

**ΑΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ**



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ**

## **ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**« ΜΕΛΕΤΗ ΓΡΑΜΜΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΥΨΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ  
ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ IEC - 60826 »**



Εισηγητής : Σιδεράκης Κυριάκος

Σπουδαστής : Χαριτάκης Ιωάννης

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

---

<b>Εισαγωγή</b>	<b>1</b>
<b>Στοιχεία Γραμμών Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας</b>	<b>4</b>
<b>Κεφάλαιο 1 – Θεμέλια</b>	<b>5</b>
• 1.1 – Θεμέλιο βάσης από δοκούς χάλυβα	7
• 1.2 – Θεμέλιο κυλινδρικής βάσης	8
• 1.3 – Θεμέλιο με άξονα	8
• 1.4 – Θεμέλιο σε πέτρωμα	9
• 1.5 – Θεμέλιο άμεσης τοποθέτησης	9
• 1.6 – Θεμέλιο με πασσάλους	10
• 1.7 – Θεμέλιο τύπου άγκυρας	11
• 1.8 – Δομή τοποθέτησης θεμελίου	12
• 1.9 – Εργασίες εκσκαφής θεμελίου	13
<b>Κεφάλαιο 2 - Πυλώνες</b>	<b>15</b>
• 2.1 – Είδος πυλώνα	16
• 2.2 – Ύψος πυλώνα	17
• 2.3 – Στύλοι και πυλώνες, μονού και διπλού κυκλώματος	18
• 2.4 – Μεταφορά και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας	26
<b>Κεφάλαιο 3 - Μονωτήρες</b>	<b>28</b>
• 3.1 – Μονωτήρες τύπου αναρτήσεως και στηρίξεως	28
• 3.2 – Μονωτήρες τύπου Longrod	32
• 3.3 – Μονωτήρες τύπου διέλευσης	33
• 3.4 – Σχεδιασμός και κατασκευή μονωτήρα	33
• 3.5 – Αστοχία Μονωτήρων	36
<b>Κεφάλαιο 4 - Αγωγοί</b>	<b>38</b>
• 4.1 – Αγωγοί Χαλκού	38
• 4.2 – Αγωγοί Χάλυβα	39

• 4.3 – Αγωγοί Αλουμινίου AAC	40
• 4.4 – Αγωγοί Αλουμινίου ACSR	41
• 4.5 – Αγωγοί Κραμάτων Αλουμινίου AAAC	42
• 4.6 – Φαινόμενο corona	42
• 4.7 – Αγωγοί γείωσης	44
• 4.8 – Λοιποί εξοπλισμοί	45
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ – ΠΡΟΤΥΠΟ IEC 60826	46
<b>Κεφάλαιο 5 – α) Προμελέτη</b>	<b>47</b>
<b>Κεφάλαιο 6 – β1) Επιλογή επιπέδου αξιοπιστίας</b>	<b>54</b>
• 6.1 – Προσεγγιστικές τιμές για την αξιοπιστία	56
• 6.2 – Εκτίμηση αξιοπιστίας της γραμμής	58
• 6.3 – Διορθωτικοί παράγοντες	60
• 6.4 – Φορτία	61
<b>Κεφάλαιο 7 – β2) Επιλογή απαιτήσεων ασφαλείας</b>	<b>64</b>
• 7.1 – Φορτία Στρέψης	65
• 7.2 – Διαμήκη φορτία	66
• 7.3 – Ενίσχυση απαιτήσεων ασφαλείας	67
• 7.4 – Συντελεστής Φορτίου RSL	68
<b>Κεφάλαιο 8 – β3) Ασφάλεια - Άνθρωπος</b>	<b>71</b>
• 8.1 – Ηλεκτρικές αποστάσεις ασφαλείας	72
• 8.2 – Ηλεκτρικές επιδράσεις	73
• 8.3 – Ηλεκτρικές και μαγνητικά πεδία	74
• 8.4 – Θόρυβος	75
• 8.5 – Ρεύματα και τάσεις εξ επαγωγής	76
• 8.6 – Παρεμβολές επικοινωνιών	76
• 8.7 – Ειδικά φορτία	77

<b>Κεφάλαιο 9 – γ)Υπολογισμός των κλιματικών μεταβλητών</b>	<b>79</b>
• 9.1 – Οριακό φορτίο	<b>79</b>
• 9.2 – Όριο φθοράς και αποτυχίας	<b>80</b>
• 9.3 – Φορτία ανέμου	<b>83</b>
• 9.4 – Φορτία πάγου	<b>97</b>
• 9.5 – Συνδυασμός φορτίων ανέμου και πάγου	<b>112</b>
<b>Κεφάλαιο 10 – ε) Προσδιορισμός συνδυασμού αντοχών</b>	<b>119</b>
• 10.1 – Συνδυασμός αντοχών στοιχείων της γραμμής	<b>120</b>
• 10.2 – Οριακές συνθήκες για τα στοιχεία της γραμμής	<b>124</b>
<b>Κεφάλαιο 11 – Αντικεραυνική προστασία και γείωση</b>	<b>131</b>
<b>Κεφάλαιο 12 – Μετρήσεις θερμοκρασίας</b>	<b>135</b>
<b>Κεφάλαιο 13 – Τάνυση αγωγών</b>	<b>136</b>
<b>Παράρτημα</b>	<b>148</b>
<b>Βιβλιογραφία</b>	<b>165</b>

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ



Η πρώτη πρακτική χρήση των εναερίων γραμμών μεταφοράς ήταν στο πλαίσιο της τηλεγραφίας. Αν πάμε λιγάκι πίσω στην Ιστορία φτάνουμε στο 1891 όπου συναντάει κανείς ως ευρεσιτεχνία τότε την πρώτη γραμμή μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας (3 φάσεων) των 25 kV μεταξύ Frankfurt και Lauffen της Γερμανίας. Το 1912 έχουμε την πρώτη εναέρια γραμμή 110 kV μεταξύ Riesa και Lauchlammer. Προχωρώντας στο 1926 έχουμε την γραμμή των 220 kV μεταξύ Brauweiler και Frankfurt και το 1957 την γραμμή των 380 kV μεταξύ Romerskirchen και Ludwigsburg-Honechen. Το 1967 στην Ρωσία κατασκευάζονται πλέον γραμμές για 765 kV και από το 1982 έχουμε στην Σοβιετική Ένωση γραμμή 1150 kV, η γραμμή Ekibastuz-Kokshetau. Το 1999 στην Ιαπωνία έχουμε τον σχεδιασμό της πρώτης γραμμής 1000 kV διπλού κυκλώματος, η γραμμή Kita-Iwaki.

Ας έλθουμε στο σήμερα και στο δικό μας ελληνικό σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Από τους σταθμούς παραγωγής προς τις καταναλώσεις συναντάμε γραμμές των 66, 150 και 400 kV όσο αφορά την Υ.Τ.. Από στοιχεία της ΔΕΗ καταγράφονται 12.041 km γραμμές μεταφοράς και 220.200

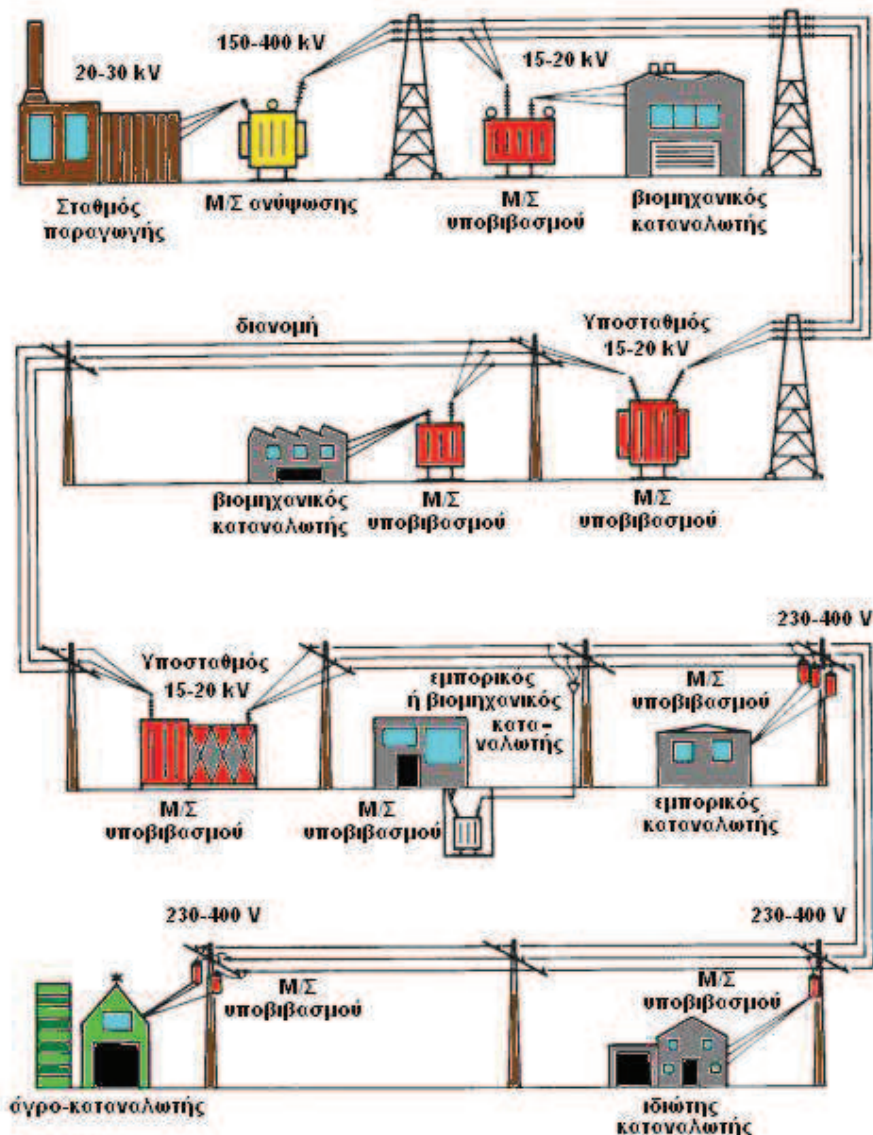
km γραμμές διανομής. Αυτά προέρχονται από τους (διαφόρων ειδών) 102 σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με περίπου 12.814 MW επίσημη εγκατεστημένη ισχύ. Η διανομή γίνεται με γραμμές μέσης τάσης κυρίως 15 και 20 kV ενώ ακολουθεί η χαμηλή τάση με τα 400 V.

Η Ελλάδα αποτελεί μια χώρα, όπως και πολλές άλλες στα βαλκάνια, που εναρμονίζεται πλήρως με τους κανόνες του UCTE (Union for the Coordination of Transmission of Electricity) και διασυνδέεται με τις παρακάτω χώρες : Αλβανία, FYROM, Βουλγαρία και Ιταλία. Με τις 3 πρώτες έχουμε διασύνδεση με γραμμή 400 kV, ενώ με την Ιταλία υπάρχει υποβρύχιος αγωγός διασύνδεσης 400 kV DC.

Η υπέρ-υψηλή τάση (400 kV) χρησιμοποιείται για τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από τη Δυτική Μακεδονία στην Αττική, σε εξαιρετικά μεγάλους βιομηχανικούς καταναλωτές καθώς και στη σύνδεση με τις αναφερθείσες παραπάνω χώρες. Η υψηλή τάση (150, 66 kV) χρησιμοποιείται για τη μεταφορά από τους σταθμούς σε αστικά κέντρα και σημεία εστίασης της κατανάλωσης. Η μέση τάση (22KV, 20KV, 15KV, 6.6KV) χρησιμοποιείται για τη μεταφορά σε οικισμούς (όπου θα μειωθεί στη χαμηλή τάση) και για βιομηχανικούς και άλλους μεγάλους καταναλωτές. Η χαμηλή τάση αποτελεί το τέλος της αλυσίδας για τους μικρούς καταναλωτές. Το διασυνδεδεμένο δίκτυο καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος της χώρας και εξυπηρετεί το 92% της κατανάλωσης, ενώ το υπόλοιπο 8% είναι οι καταναλωτές μικρών αυτόνομων δικτύων στα νησιά.

Η πτυχιακή αυτή εργασία είναι μια ανάλυση στην μεθοδολογία που ακολουθείται στον σχεδιασμό και την κατασκευή μιας γραμμής μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Ένας τέτοιος σχεδιασμός ελέγχεται από διεθνή και ευρωπαϊκά πρότυπα τα οποία ισχύουν και στη χώρα μας.

## ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

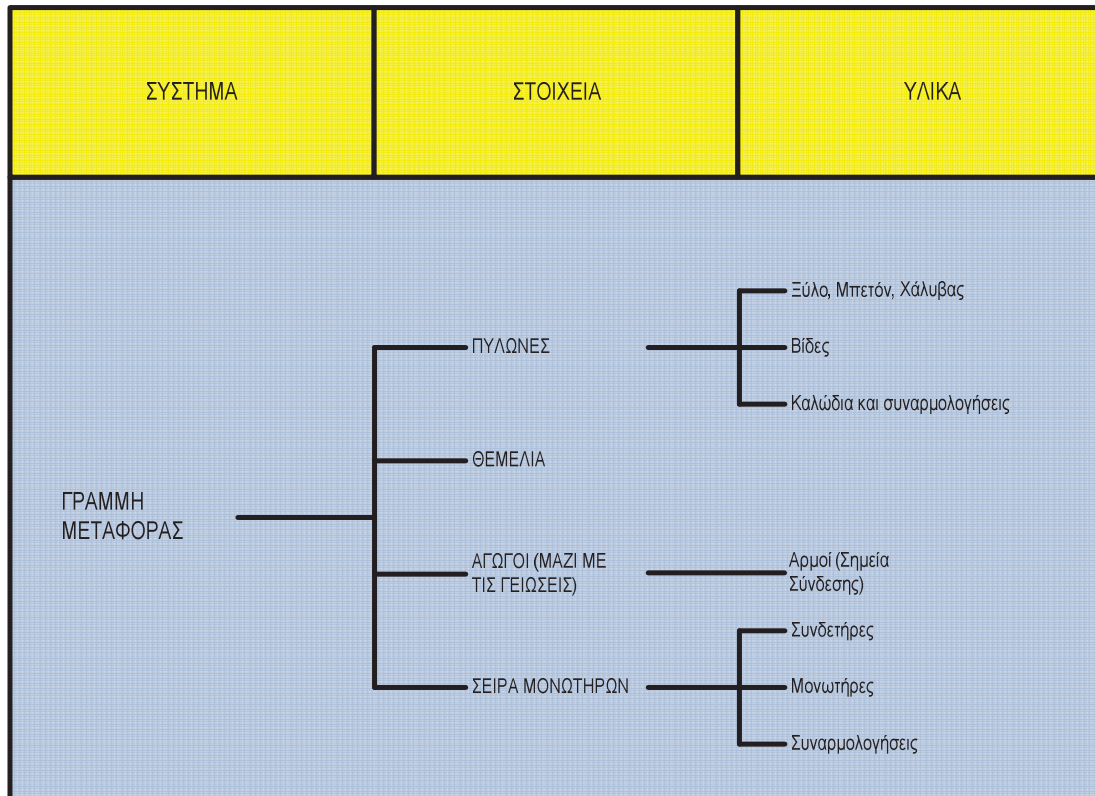


Πριν ασχοληθούμε με το κυρίως μέρος της πτυχιακής εργασίας, που είναι η μεθοδολογία σχεδίασης, είναι χρήσιμο να δούμε κάποια βασικά στοιχεία της γραμμής τα οποία αναλύονται στα παρακάτω κεφάλαια. Τα στοιχεία της γραμμής που μας ενδιαφέρουν, είναι αυτά που έχουν άμεση σχέση με το επόμενο βήμα, την μεθοδολογία σχεδίασης. Αυτά τα στοιχεία τα βλέπουμε παρακάτω :



## ΣΤΟΙΧΕΙΑ Γ.Μ. ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Μια γραμμή μεταφοράς αποτελείται από κάποια στοιχεία και εξαρτήματα. Στο παρακάτω σχεδιάγραμμα παρουσιάζονται αυτά τα στοιχεία :



Τα βασικά στοιχεία λοιπόν μιας Γ.Μ. είναι :

- τα **θεμέλια**
- οι **πυλώνες**,
- οι **αγωγοί** και
- οι **μονωτήρες** (αλύσεις).

Τα παραπάνω αναλύονται και αυτά καθώς αποτελούνται από διάφορα εξαρτήματα.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΘΕΜΕΛΙΑ

Κόστος θεμελίου 10-30 % του συνολικού κόστους κατασκευής του πυλώνα	Θεμέλιο με βάση από δοκούς χάλυβα (Steel grillage)
Θεμέλιο με επιτόπια ρίψη ειδικού μείγματος τσιμέντου (Cast in place concrete)	Θεμέλιο με άξονα (Drilled Concrete Shafts)
Θεμέλιο Πετρώματος (Rock foundation)	Θεμέλιο άμεσης τοποθέτησης (Direct Embedment)
Θεμέλιο με πασσάλους (Pile foundation)	Θεμέλιο τύπου «άγκυρας» (Anchor foundation)

Η σχεδίαση των θεμελίων ενός πυλώνα απαιτεί εμπειρία και αρίστη γνώση μηχανικής. Τα θεμέλια ανάλογα με το έδαφος ποικίλλουν σε μέγεθος και κόστος. Το κόστος του θεμελίου κυμαίνεται από 10-30 % του συνολικού κόστους κατασκευής του πυλώνα. Η σχεδίαση των θεμελίων αποτελεί συνήθως το τελευταίο βήμα στον σχεδιασμό του πυλώνα, αλλά στην κατασκευή, όπως είναι φυσικό, είναι το πρώτο που πραγματοποιείται.



Google Pics Θεμέλιο 1



Google Pics Θεμέλιο 2

Η μορφολογία του εδάφους είναι ένα κρίσιμο σημείο καθώς το έδαφος και τα πετρώματα μπορούν να αλλάζουν σημαντικά κατά το μήκος μιας Γ.Μ.. Επιπλέον οι διαδικασίες κατασκευής και η πυκνότητα της επιχωμάτωσης (μπάζωμα) επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την απόδοση του θεμελίου. Πρέπει

να διευκρινιστούν οι εδαφικές συνθήκες για να υπάρξει διασταύρωση και εξακρίβωση της ευστοχίας των ορίων σχεδιασμού που υπολογίστηκαν για το θεμέλιο του πυλώνα.

Εξετάζονται διάφορα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά. Ένα από τα βασικά σημεία είναι το επίπεδο του υδροφόρου ορίζοντα, όπως επίσης η κατάσταση του εδάφους όσο αφορά την πυκνότητα, αλλά και τη συνοχή του (π.χ. άμμος, λάσπη κλπ). Προσοχή δίνεται στις περιπτώσεις εισχώρησης πάγου, συστελλόμενων ή διαστελλόμενων εδαφών, περιοχές κατολισθήσεων, εδάφη που εμπεριέχουν σχιστόλιθο, εδάφη που είναι προβληματικά λόγω καταβόθρων, και εδάφη σε κατάσταση *permafrost*. Σε αυτά τα εδάφη δεν υποχωρεί η θερμοκρασία και παραμένει υπό το μηδέν, δημιουργώντας στρώματα πάγου σε βάθος, αλλοιώνοντας την συνοχή και την πυκνότητα του εδάφους. Σε περίπτωση εδαφών που χαρακτηρίζονται πολύ δυσχερή για θεμελίωση, τότε για την ασφάλεια του θεμελίου ρίχνεται επιπρόσθετο σκυρόδεμα (μπετό). Π.χ. κοντά στην θάλασσα λόγω αυξημένης κινητικότητας και ισχυρότερων ανέμων σε σχέση με την ενδοχώρα, συναντά κανείς μεγαλύτερα και ισχυρότερα θεμέλια πυλώνων. Τα θεμέλια φτιάχνονται για να αντέχουν δυνάμεις όπως η ανέγερση και η καθίζηση του πυλώνα, τα πλευρικά φορτία και πιθανή ανατροπή.

Πολλές φορές θα δούμε προσπάθεια ενδυνάμωσης της κατασκευής με βοηθητικά καλώδια στήριξης (*guy-wires*).



Google Pics Guy-Wires 1

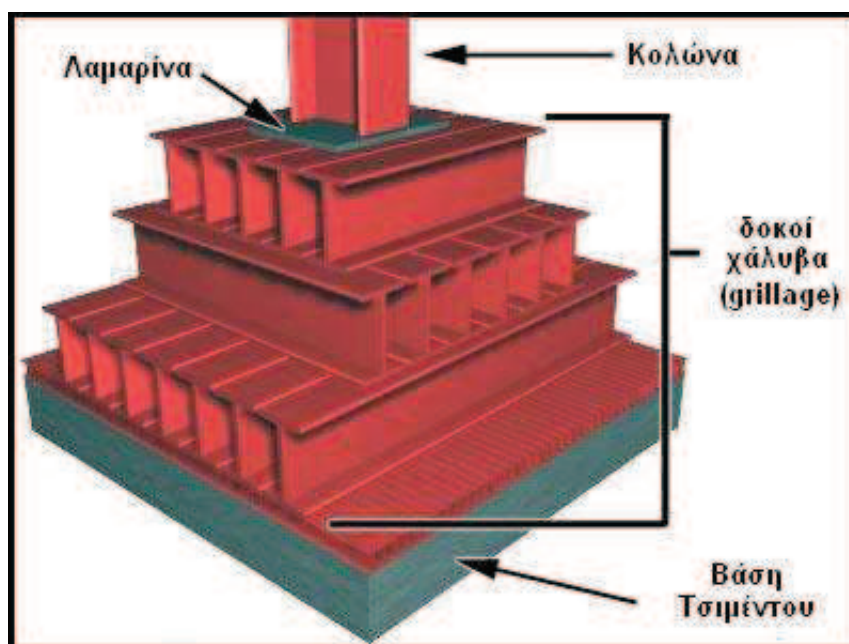


Google Pics Guy Wires-2

Σημαντικός παράγοντας στην εκτίμηση του φόρτου είναι το ίδιο το μέγεθος του πυλώνα. Υπάρχουν διάφορα είδη θεμελίων όπως βάσεις από ασάλι (σχήμα σχάρας), πεπιεσμένες πλάκες, τσιμεντένιες βάσεις προκατασκευασμένες και μη, θεμέλια από πέτρα, θεμέλια με άξονα, θεμέλια άμεσης ενσωμάτωσης, θεμέλια με τσιμεντοκολώνες, και θεμέλια 'άγκυρας'.

### 1.1 - Steel grillage (βάση από δοκούς χάλυβα)

Αυτή η βάση από στήλες ασαλιού όπως φαίνεται και στην παρακάτω φωτογραφία τοποθετείται αφού γίνει εκσκαφή σε αρκετό βάθος.



Google Pics Θεμέλιο Grillage

Από την βάση αυτή ανεβαίνουν σιδεροσωλήνες μέχρι την επιφάνεια όπου 'ακουμπούν' τα πόδια του πύργου. Τα πλεονεκτήματα που έχει αυτή η κατασκευή :

- Γρήγορη εγκατάσταση
- Μεγαλύτερη άνεση – αποφυγή της διαδικασίας ρίψης μπετού
- Μειωμένο κόστος

## 1.2 - Cast in Place Concrete (θεμέλιο κυλινδρικής βάσης)



Google Pics Θεμέλιο κυλινδρικής βάσης 1



Google Pics Θεμέλιο κυλινδρικής βάσης 2

Εδώ το θεμέλιο αποτελείται από μια κυλινδρική βάση. Γίνεται εκσκαφή συνήθως σε σχήμα κυλίνδρου, τοποθέτηση της βάσης και έπειτα ακολουθεί ρίψη ενός ειδικού μείγματος τσιμέντου. Το πλεονέκτημα εδώ είναι ότι η κατασκευή αυτή μπορεί να γίνει και μακριά από το χώρο τοποθέτησης σε ειδική φόρμουλα.

## 1.3 - Drilled Concrete Shafts (θεμέλιο με άξονα)

Αυτού του τύπου το θεμέλιο είναι το πλέον συνηθισμένο για την θεμελίωση πυλώνων.



Google Pics Θεμέλιο με άξονα 1



Google Pics Θεμέλιο με άξονα 2

Εδώ, όπως φαίνεται και στις παραπάνω φωτογραφίες, γίνεται μια κυκλική εκσκαφή με τρυπάνι, όπου τοποθετούνται ο βασικός άξονας (στέλεχος) και μια 'θήκη' από ατσαλοσωλήνες στην περίμετρο. Έπειτα γίνεται η ρίψη του μπετού. Αυτή η 'στρογγυλή θήκη' αφού πέσει το μπετόν αφαιρείται για να 'δέσει' το μπετόν με το υπόλοιπο έδαφος. Αν οι συνθήκες είναι ιδανικές, αυτός ο τύπος θεμελίου είναι ο πιο γρήγορος και ο πιο οικονομικός καθώς δεν χρειάζεται να γίνει μπάζωμα.

#### **1.4 - Rock Foundations (Θεμέλια σε πέτρωμα)**

Αν υπάρχει βραχώδης υπόστρωμα κοντά στην επιφάνεια τότε μπορεί να εγκατασταθεί αυτού του είδους το θεμέλιο. Πρέπει βέβαια να γίνει μια μελέτη της ποιότητας του πετρώματος. Για να αυξηθεί η δυνατότητα μεγαλύτερης ανύψωσης, μπορεί να γίνει μορφοποίηση της πέτρας, ή τοποθέτηση ράβδων μετά από τρύπημα της πέτρας. Αποφεύγεται η χρήση εκρηκτικών για να μην υπάρξουν ρωγμές. Γι' αυτό προτιμούνται τρυπάνια ή μηχανικά σφυριά για την μορφοποίηση. Επίσης όταν είναι να γίνει η ρίψη μπετού προτιμάται η ρίψη νερού για να υπάρξει καλύτερο 'δέσιμο' με το έδαφος.

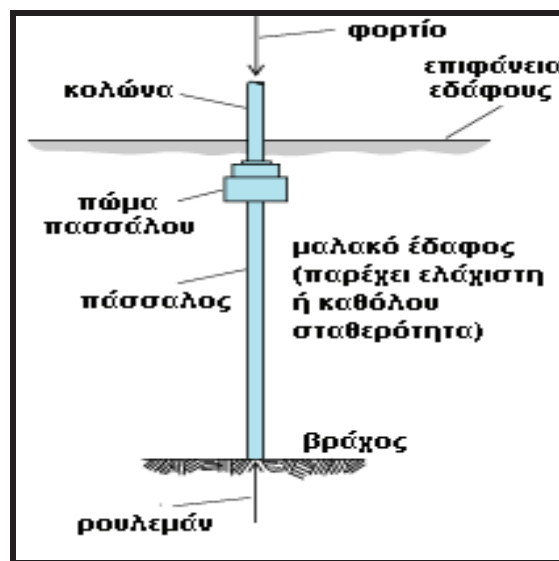
#### **1.5 - Direct Embedment (Άμεση τοποθέτηση)**

Η απευθείας τοποθέτηση κατασκευών, είναι η παλαιότερη μορφή και χρησιμοποιείται συνήθως για ξύλινους στύλους μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Γίνεται μια απλή εκσκαφή στο έδαφος, τοποθέτηση του στύλου και έπειτα ακολουθεί μπάζωμα. Έτσι ο στύλος στην προκειμένη περίπτωση είναι από μόνος του το θεμέλιο, μεταφέροντας το βάρος στο έδαφος. Το μπάζωμα γίνεται είτε με χαλίκι, είτε με μείγμα τσιμέντου-χαλικιού, είτε με αφρό πολυουρεθάνης, είτε με απλό τσιμέντο. Το μειονέκτημα της άμεσης τοποθέτησης είναι ότι εξαρτάται από την ποιότητα του μπάζωματος.



## 1.6 - Pile foundations (Θεμέλιο με πασσάλους)

Οι πάσσαλοι χρησιμοποιούνται για να 'μεταφέρουν' το βάρος του πυλώνα μέσα από μαλακά στρώματα εδάφους σε πιο συμπαγή εδάφη και σε πέτρα. Αυτοί οι πάσσαλοι μπορεί να είναι ξύλινοι, από επεξεργασμένο τσιμέντο (μείγμα τσιμέντου με ίνες ασαλιού), ασάλινοι πάσσαλοι τύπου Η ή ασαλοσωλήνες γεμισμένοι με τσιμέντο. Η επιλογή εξαρτάται από το φορτίο, το έδαφος και φυσικά το κόστος. Αυτού του είδους τα θεμέλια χρησιμοποιούνται συνήθως για πυλώνες πλέγματος (lattice towers).



Google Pics Θεμέλιο με πάσσαλο

## 1.7 - Anchor foundations (Θεμέλια τύπου άγκυρας)

Τέτοιου είδους θεμέλια σχεδιάζονται για να αντιτίθενται κυρίως σε δυνάμεις εφελκυσμού και χαρακτηρίζονται ως 'άγκυρες'. Βρίσκουν εφαρμογή σε περιπτώσεις που η κατασκευή πρέπει να προστατευτεί από δυνάμεις εφελκυσμού ή άλλων ειδών μετακινήσεις, αλλά και έχουν τις δυνατότητες να αντέξουν τα υπόλοιπα φορτία. Παρακάτω στην φωτογραφία βλέπουμε ένα σωλήνα τύπου *helix anchor* ο οποίος είναι χαρακτηριστικός του τρόπου θεμελίωσης.

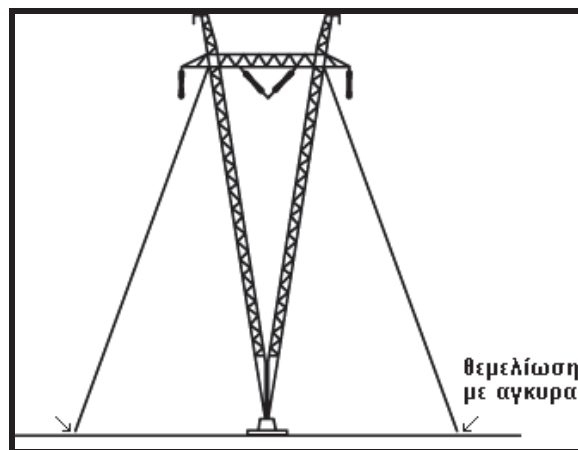


Google Pics Άγκυρα για θεμέλιο 1



Google Pics Άγκυρα για θεμέλιο 2

Συνήθως τέτοιου είδους θεμέλια χρησιμοποιούνται σε πύργους που στηρίζονται σε βοηθητικά σύρματα (guyed-structures).



Google Pics Άγκυρα για τα Guyed-Wires

Υπάρχουν διάφορων ειδών τύπου 'άγκυρες', όπως είναι οι άγκυρες που καρφώνονται στην πέτρα ή στο χώμα. Οι αντοχές εφελκυσμού της άγκυρας εξαρτάται από τη ποιότητα του εδάφους (είτε πέτρα, είτε χώμα) και το πόσο καλά έχει γίνει η σύνδεση μεταξύ άγκυρας και εδάφους.

### 1.8 - Δομή τοποθέτησης θεμελίου

Στην διαδικασία τοποθέτησης θεμελίων υπάρχει η εξής δομή :

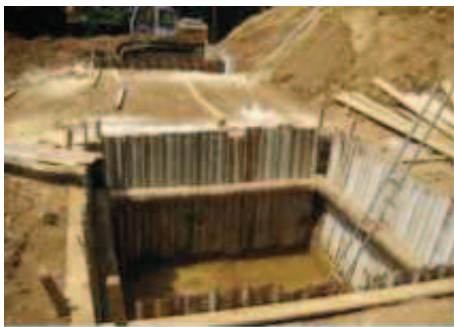


- 1) Σχεδιασμός θεμελίου ανάλογα με το έδαφος
- 2) Σχέδιο εκσκαφής
- 3) Σχηματισμός πλαισίου
- 4) Τοποθέτηση στελέχους (το πόδι του πυλώνα)
- 5) Ρίψη μπετού
- 6) Προτείχισμα κατωτέρου εδάφους
- 7) Γειώσεις

### 1.9 - Εργασίες εκσκαφής θεμελίου

Αφού αποφασιστεί το μέγεθος του θεμελίου ξεκινούν οι εργασίες εκσκαφής.

- Σε απλές περιπτώσεις γίνεται απλή εκσκαφή στο μέγεθος και στο σωστό βάθος, ανάλογη του μεγέθους του θεμελίου. Κατόπιν τοποθετείται το θεμέλιο.
- Σε περιπτώσεις που το έδαφος δεν είναι πρόσφορο για απλή εκσκαφή υπάρχουν άλλες μέθοδοι και συνήθως η εκσκαφή γίνεται σε μεγαλύτερο βάθος. Ένα παράδειγμα είναι η χρήση λεπτών φύλλων μετάλλου (συναρμολογημένα μεταξύ τους) που καρφώνονται στο έδαφος σε τέσσερις γωνίες δημιουργώντας ένα *box*. Όσο προχωρά σε βάθος η εκσκαφή αυτά τα φύλλα μετάλλου προσφέρουν σταθερά τοιχώματα.

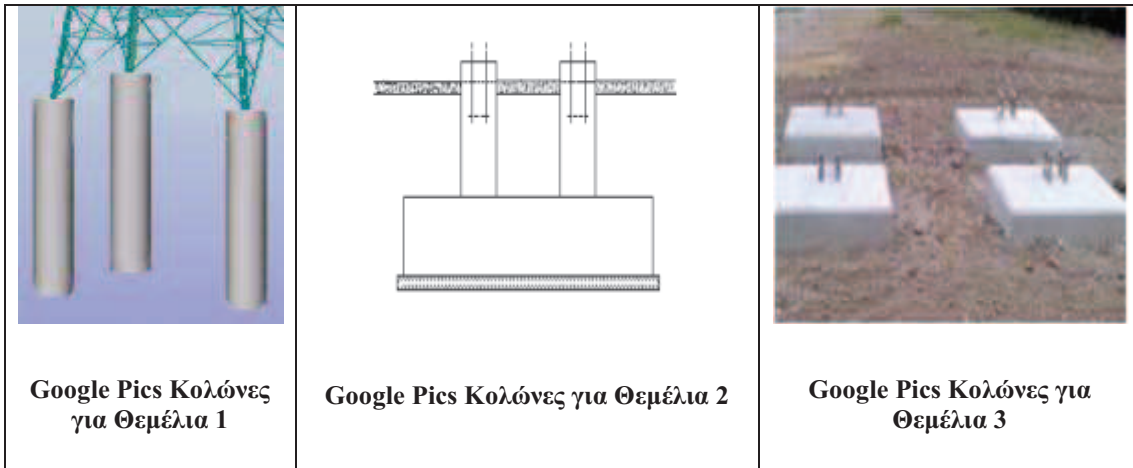


Google Pics Διάφορα για θεμέλια 1



Google Pics Διάφορα για θεμέλια 2

- Υπάρχουν μέθοδοι οι οποίες προορίζονται για ιδιαίτερα ισχυρά θεμέλια σε δυσχερή εδάφη . Εδώ καρφώνονται σε αρκετό βάθος τσιμεντοκολώνες (10m) και εξέχει ένα μέρος της κολώνας (0.5-1m). Στο σημείο που εξέχουν οι κολώνες διαλύεται το τσιμέντο και οι σιδερόβεργες λυγίζονται στο επίπεδο του εδάφους . Από πάνω ρίχνεται το θεμέλιο. Αυτή η μέθοδος δίνει εξαιρετική σταθερότητα.



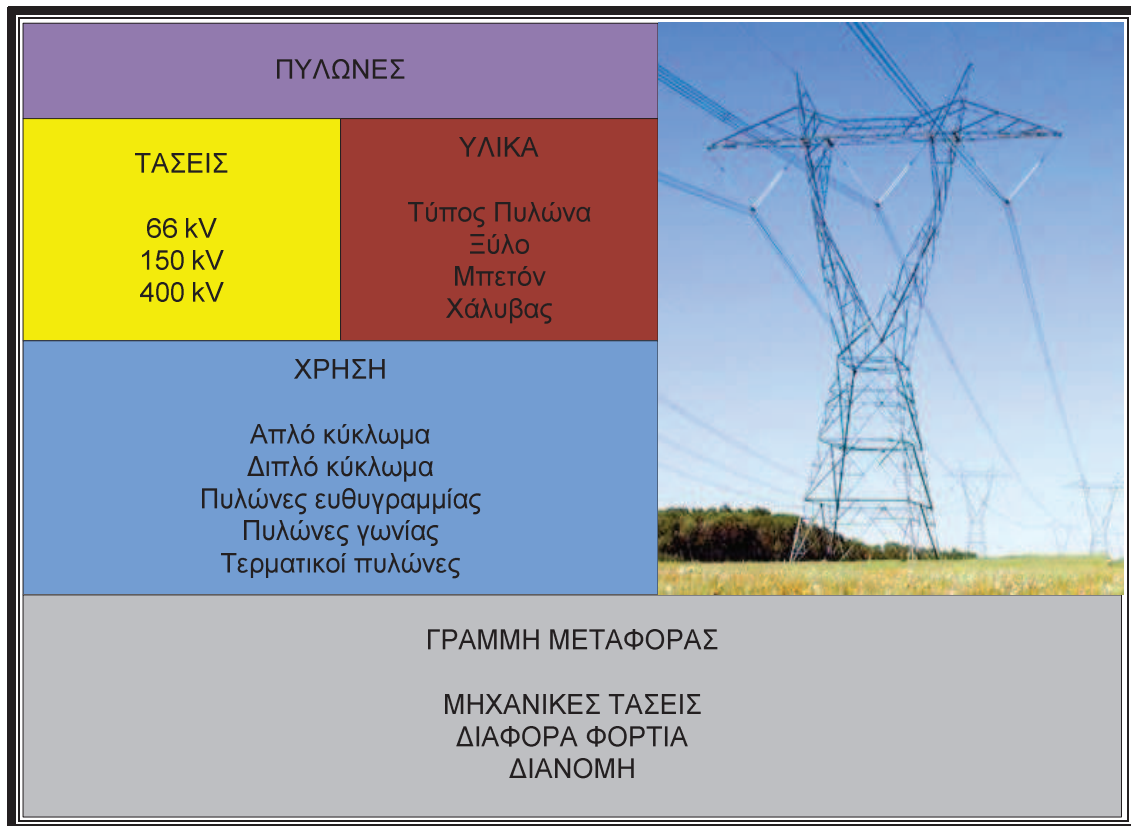
*\*Υπάρχουν βεβαία πολλοί άλλοι τρόποι, αλλά δε έχουμε σκοπό στην εμβάθυνση, απλά δίδονται μερικά παραδείγματα για να δείξουμε πως προχωρεί η όλη διαδικασία.*

Στα θεμέλια αυτά όπου γίνονται εκσκαφές αναγκαίο χαρακτηριστικό είναι η δημιουργία συμπαγούς εδάφους. Γι' αυτό το λόγο πραγματοποιούνται κάποιες σειρές μελετών και επιθεωρήσεων που πρέπει να γίνουν και που αυξάνουν το κόστος του έργου. Το είδος του εδάφους, η υγρασία αλλά και κάποιες διαρροές ρευμάτων μπορούν να έχουν ως αποτέλεσμα διάβρωση των μετάλλων που είναι θαμμένα. Και εδώ πραγματοποιούνται έλεγχοι της τοποθεσίας και του εδάφους , εφαρμόζονται ειδικές μονώσεις και σε ακραίες περιπτώσεις έχουμε γειώσεις για προστασία από διάβρωση. Προσοχή πρέπει να δίνεται και στο τσιμέντο καθώς μπορεί να επιδεινωθεί η κατάσταση του σε βάθος χρόνου λόγω οξύτητας του εδάφους ή χώμα υψηλό σε περιεκτικότητα θειικού άλατος.

Σε κάθε περίπτωση ο μηχανικός που είναι υπεύθυνος πρέπει να μεριμνεί για την τήρηση των εκάστοτε κανονισμών ασφαλείας που προτείνουν και

επιβάλλουν τα διεθνή και ευρωπαϊκά πρότυπα. Μεγάλο πρόβλημα στις κατασκευές πυλώνων και στη θεμελίωση τους, αποτελεί το γεγονός ότι υπάρχει μεγάλη διαφορά στα αποτελέσματα των δοκιμαστικών ελέγχων που γίνονται στα εργοστάσια, σε αντιστοιχία με το τι συμβαίνει στην πραγματικότητα. Είναι δηλαδή δύσκολο λόγω της εκάστοτε ποικιλίας αλλά και της ιδιομορφίας του εδάφους να γίνουν απόλυτα αξιόπιστες προβλέψεις όσο αφορά το σχεδιασμό των θεμελίων. Μπορεί επίσης να παρουσιάζονται έκτακτα προβλήματα, όπως το θέμα των μετακινήσεων του εδάφους, αφότου έχει ολοκληρωθεί η θεμελίωση, λόγω σεισμών ή κάποιας άλλης μορφής δύναμη.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΠΥΛΩΝΕΣ



Οι εναέρια γραμμές μεταφοράς αναρτώνται όπως γνωρίζουμε σε πυλώνες. Υπάρχουν πολλών ειδών τέτοιοι πυλώνες που χρησιμοποιούνται ανάλογα την περίπτωση. Ο πυλώνας αναλογεί συνήθως στο 30 - 40% του συνολικού κόστους της γραμμής μεταφοράς. Καταλαβαίνει κανείς ότι η σωστή επιλογή του πυλώνα στο σχεδιασμό της γραμμής, παίζει μεγάλο ρόλο για να πετύχει κανείς το καλύτερο (οικονομικότερο) δυνατό κόστος. Όπως είδαμε στα θεμέλια, έτσι και εδώ, γίνεται μελέτη για την βέλτιστη επιλογή του πυλώνα που θα εξυπηρετήσει τη γραμμή. Να πούμε ότι για μια Γ.Μ., αφότου έχει επιλεγεί ο κατάλληλος τύπος πυλώνα, γίνεται πολλαπλή κατασκευή του αλλά και όμοιες κατασκευές, για την τοποθέτησή τους κατά μήκος της γραμμής. Οι διαφοροποιήσεις αφορούν τις ιδιομορφίες του εδάφους που τυχόν θα υπάρχουν. Οι πυλώνες σχεδιάζονται βάση του φορτίου που καλούνται να εξυπηρετήσουν.

**2.1- Είδος πυλώνα.** Οι πυλώνες χωρίζονται σε :

- **πυλώνες ‘ευθυγραμμίας’**
- **πυλώνες ‘γωνίας’**
- **τερματικούς πυλώνες**

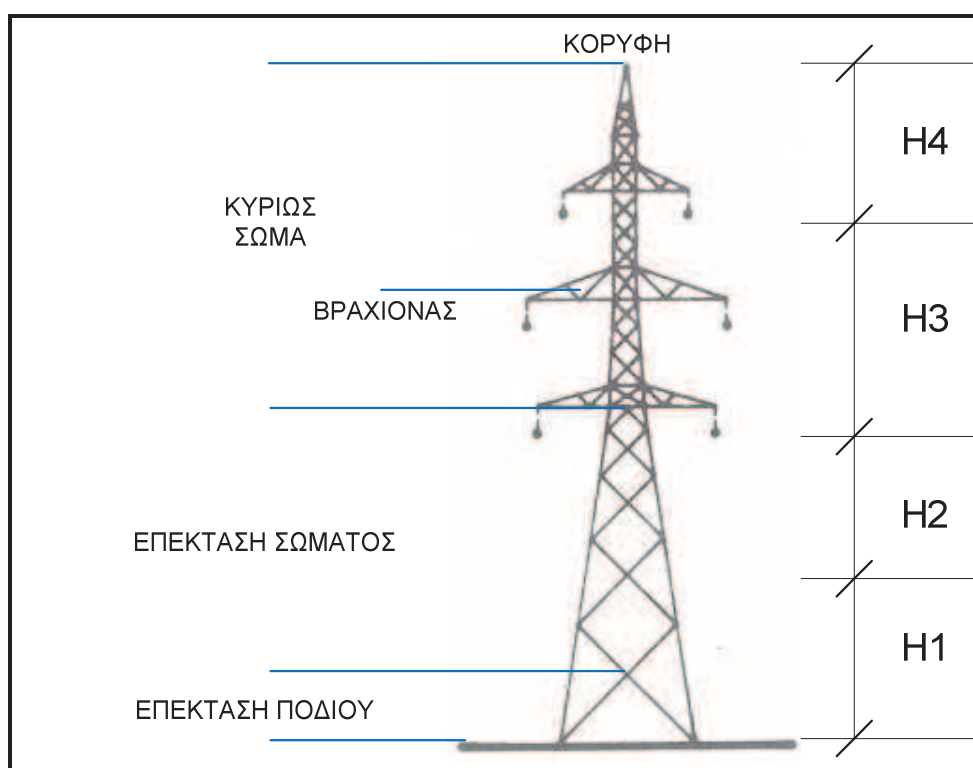
Οι πυλώνες ‘ευθυγραμμίας’ όπως καταμαρτυρά και η λέξη χρησιμοποιούνται όταν η γραμμή είναι σε ευθεία ή έχει μια πολύ μικρή γωνία που δεν υπερβαίνει τις 3°. Αυτοί οι τύποι πυλώνων χρησιμοποιούνται συνήθως σε ομαλά εδάφη, όπου τα ανοίγματα είναι ουσιαστικά περίπου ίσα. Σε άλλες περιοχές όμως, όπως κοιλάδες ή βουνά, τα ανοίγματα αλλά και οι γωνίες μπορούν να διαφέρουν αρκετά. Σε τέτοιες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται πυλώνες γωνίας. Οι πυλώνες ευθυγραμμίας συνήθως αποτελούν το 80-90% του συνολικού αριθμού των πυλώνων της γραμμής μεταφοράς.

Όπως είπαμε οι πυλώνες ‘γωνίας’ χρησιμοποιούνται όπου η γραμμή αλλάζει κατεύθυνση. Το σημείο όπου εμφανίζεται αυτή η αλλαγή κατεύθυνσης (γωνία), λέγεται σημείο διασταύρωσης (τομής). Οι πυλώνες γωνίας τοποθετούνται στα σημεία διασταυρώσεως, ώστε ο εγκάρσιος άξονας του βραχίονα να διχοτομεί την γωνία που δημιουργεί ο αγωγός, εξισορροπώντας έτσι τα διαμήκη φορτία των αγωγών στα παρακείμενα ανοίγματα. Σε περιπτώσεις γραμμών όπου υπάρχουν διαφορετικά σημεία διασταυρώσεων αλλά και δυσανάλογες γωνίες, για να είναι πιο οικονομικός ο σχεδιασμός της γραμμής, προβλέπονται περισσότερες κατασκευές που καλύπτουν περισσότερες γωνίες.

Όπου οι γωνίες υπερβαίνουν τις 30°, η συνήθης πρακτική είναι η χρήση τερματικού πυλώνα (ή πυλώνα τέρματος). Αυτού του είδους οι πυλώνες είναι σχεδιασμένοι να αντέχουν στην μια τους πλευρά τους εφελκυσμούς των αγωγών. Επίσης χρησιμοποιούνται είτε ως τερματικές κατασκευές, είτε για να τμηματοποιούν μεγάλο μήκους γραμμές που αποτελούνται επί το πλείστον από πυλώνες ευθυγραμμίας. Ακόμα χρησιμοποιούνται για να αντέχουν φορτία ανύψωσης.

**2.2 - Ύψος πυλώνων.** Στο επόμενο σχήμα βλέπουμε κάποια μέρη ενός πυλώνα όσο αφορά το ύψος του (στη συγκεκριμένη περίπτωση 150 kV διπλού κυκλώματος). Έχουν χαρακτηριστεί οι αποστάσεις H1,H2,H3,H4 που αντιστοιχούν σε :

- H1: Ελάχιστη ασφαλής απόσταση εκκαθάρισης από το έδαφος
- H2: Μέγιστη κατάπτωση χαμηλότερου αγωγού (αγωγός σε κατάσταση χαλάρωσης)
- H3: Κάθετη απόσταση μεταξύ αγωγών
- H4: Κάθετη απόσταση εκκαθάρισης μεταξύ αγωγού γείωσης και του υψηλότερου σε θέση αγωγού.

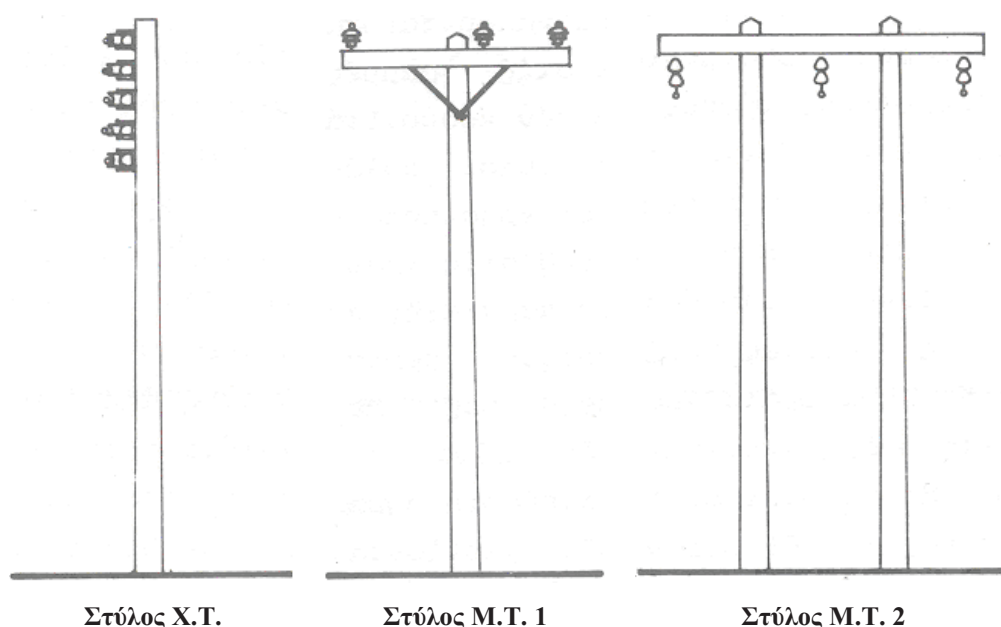


Google Pics Ανάλυση ύψους πυλώνα

Το ολικό ύψος του πύργου εξαρτάται από το άνοιγμα των αγωγών μεταξύ δυο πυλώνων. Συνήθως σε όμοιους πυλώνες χρησιμοποιείται σχεδόν πάντα το ίδιο κυρίως σώμα. Αυτό που αλλάζει για την επίτευξη του επιθυμητού ύψους είναι οι επεκτάσεις των ποδιών και η επέκταση του σώματος. Βλέπουμε την κορυφή η οποία στηρίζει τον αγωγό γείωσης, τον κλωβό που βρίσκεται μεταξύ κορυφής και κυρίου σώματος, τους βραχίονες που στηρίζουν τους αγωγούς

και τέλος το σώμα του πύργου που πατά στο θεμέλιο με τα 'πόδια' του πύργου.

**2.3 - Στύλοι και πυλώνες, μονού και διπλού κυκλώματος.** Στην Χ.Τ. και Μ.Τ υπάρχουν οι συνήθεις ξύλινοι στύλοι. Επίσης χρησιμοποιούνται και στύλοι από τσιμέντο. Όσο έχουμε αύξηση της τάσης οι στύλοι αλλάζουν, ειδικότερα όσο αφορά στους βραχίονες, για να υπάρχουν μεγαλύτερες αποστάσεις μεταξύ των αγωγών. Για μεγαλύτερες τάσεις χρησιμοποιούνται πιο σύνθετοι πυλώνες που μπορεί να είναι και από χάλυβα.

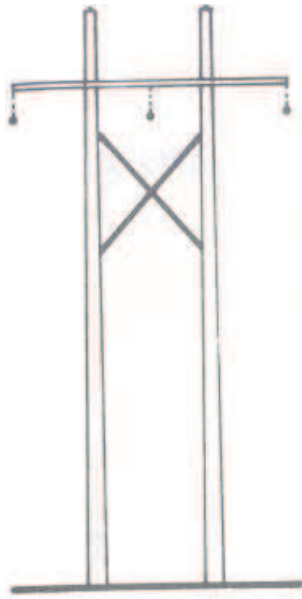


Παραπάνω βλέπουμε ένα ξύλινο απλό στύλο Χ.Τ. , ενώ οι επόμενοι είναι της Μ.Τ.. Μάλιστα ο τελευταίος ονομάζεται και τύπος 'Η' ή 'πλαίσιο Η'. Το πλαίσιο Η χρησιμοποιείται αρκετά στις περιοχές μεταξύ 66 και 150 kV, ενώ λιγότερο από 230kV και πάνω. Το ξύλο έχει το πλεονέκτημα της αύξησης της μόνωσης της γραμμής. Επίσης έχει λιγότερο κόστος εγκατάστασης αλλά έχει μικρότερη διάρκεια ζωής, με το μεγαλύτερο πρόβλημα να είναι η δαπανηρή του συντήρηση και αντικατάσταση. Οι στύλοι (από ξύλο ή μπετό) χρησιμοποιούνται κατά πολλούς στην διανομή και όχι στις γραμμές υψηλών τάσεων.

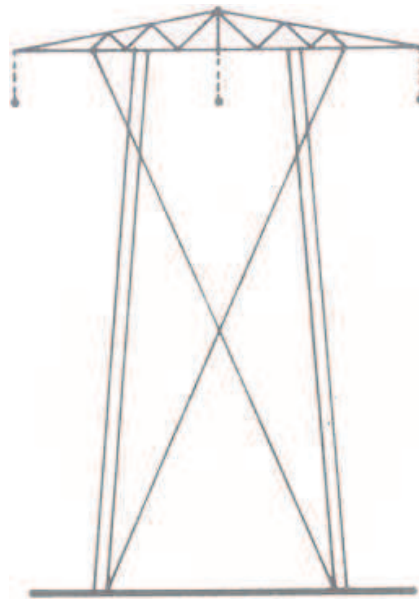


Για υψηλότερες τάσεις όπου υπάρχει η ανάγκη για ισχυρότερες κατασκευές χρησιμοποιούνται οι χαλύβδινοι πυλώνες. Ωστόσο αυτό δεν είναι απόλυτο. Όσο αφορά το ξύλο σαν υλικό όπως έχουμε πει έχει δυο επιθυμητά πλεονεκτήματα : έχει αρχικό χαμηλό κόστος αλλά και καλή ποιότητα μόνωσης. Το μειονέκτημα του ξύλου είναι η αναπόφευκτη φθορά του σε σημείο που χρειάζεται αντικατάσταση, αλλά και τα όρια στην αντοχή μεγάλων μηχανικών τάσεων. Σε κάποιες χώρες έχουν προχωρήσει στην κατασκευή στύλων από λαμινέ ξύλο (κομμάτια ξύλου κολλημένα μεταξύ τους σε μορφή ελασμάτων). Αυτό είναι φυσικά πιο δαπανηρό αλλά δίνει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και καλύτερες αντοχές στο στύλο. Ως εκ τούτου έχει παρατηρηθεί ότι η χρήση τέτοιων στύλων, αντί των χαλύβδινων πυλώνων, στις περιπτώσεις που καλύπτονται οι απαιτήσεις με τη συγκεκριμένη κατασκευή, έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του κόστους.

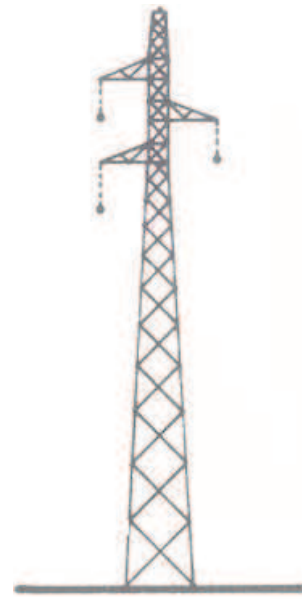
Το πρόβλημα με τους χαλύβδινους πυλώνες είναι ότι αποτελούνται από μέταλλο και έτσι είναι ευάλωτοι στη σκουριά και στις διαβρώσεις. Αυτό κοστίζει διότι πρέπει να γίνεται συντήρηση σε τακτά χρονικά διαστήματα. Το πλεονέκτημα σαφώς για τους χαλύβδινους πυλώνες είναι η μεγαλύτερη αντοχή τους στις μηχανικές τάσεις. Όπου λοιπόν απαιτείται πολύ μεγάλη αντοχή αλλά και διάρκεια ζωής χρησιμοποιούνται οι χαλύβδινοι πυλώνες. Στα σχήματα της επόμενης σελίδας μπορούμε να δούμε τέτοιους φορείς μονού και διπλού κυκλώματος που χρησιμοποιούνται στις γραμμές μεταφοράς από την ΔΕΗ για 66 kV, 150 kV και 400 kV.



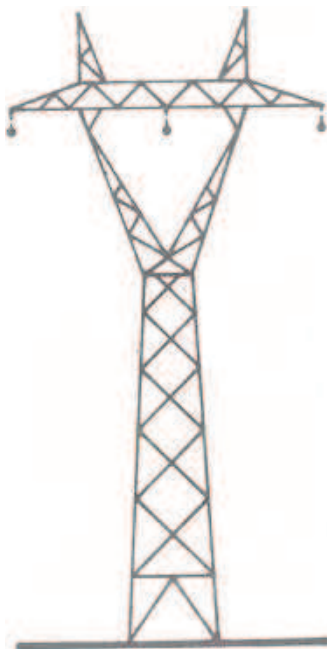
**Πυλώνας Υ.Τ. και Υ.Υ.Τ  
μονού κυκλώματος 1**



**Πυλώνας Υ.Τ. και Υ.Υ.Τ μονού  
κυκλώματος 2**



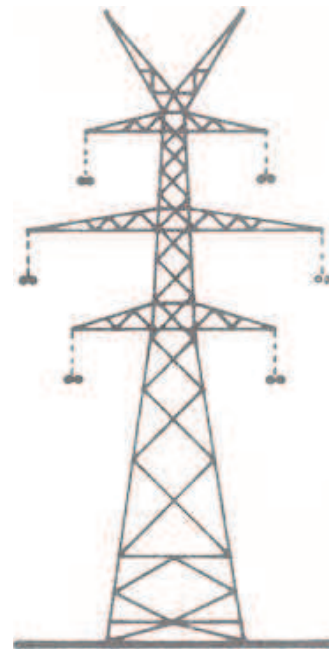
**Πυλώνας Υ.Τ. και Υ.Υ.Τ  
μονού κυκλώματος 3**



**Πυλώνας Υ.Τ. και Υ.Υ.Τ  
μονού κυκλώματος 4**



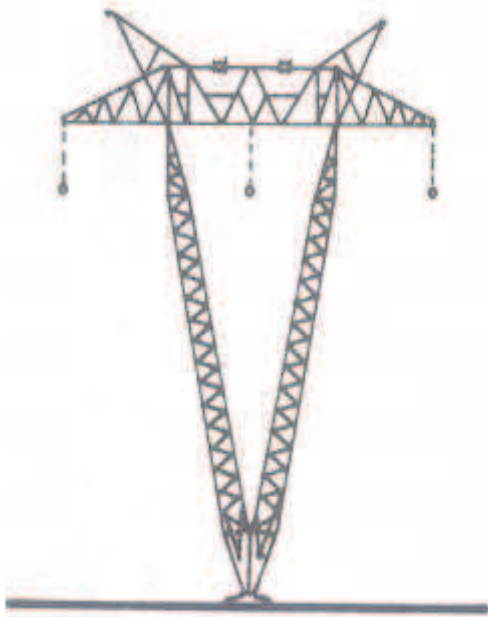
**Πυλώνας Υ.Τ. και Υ.Υ.Τ  
διπλού κυκλώματος 1**



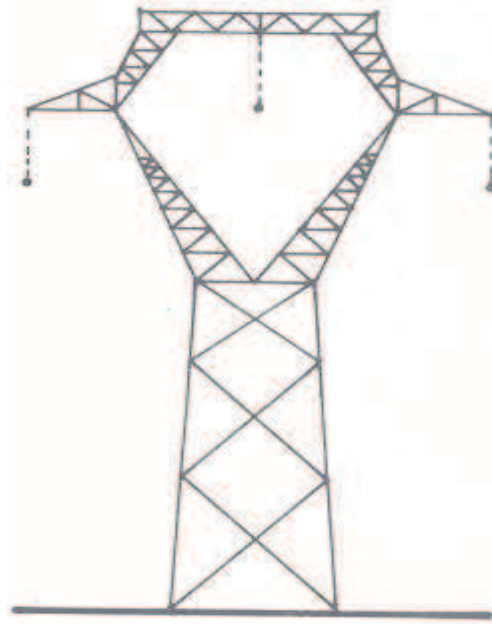
**Πυλώνας Υ.Τ. και Υ.Υ.Τ  
διπλού κυκλώματος 2**

Από τα παραπάνω σχήματα, ο πυλώνας Νο.1 απλού κυκλώματος είναι πυλώνας τύπου Η, με ξύλινους φορείς. Η ΔΕΗ χρησιμοποιεί αυτό το τύπο σε μερική εφαρμογή στις γραμμές 66 kV, όπως επίσης και τον πυλώνα Νο.4 και Νο.1 διπλού κυκλώματος σε γραμμές 150 kV. Τέλος ο πυλώνας Νο.2 διπλού κυκλώματος χρησιμοποιείται σε γραμμές 400 kV. Στα παρακάτω σχήματα βλέπουμε και άλλους τύπους πυλώνων που χρησιμοποιούνται σε διάφορα επίπεδα τάσης.

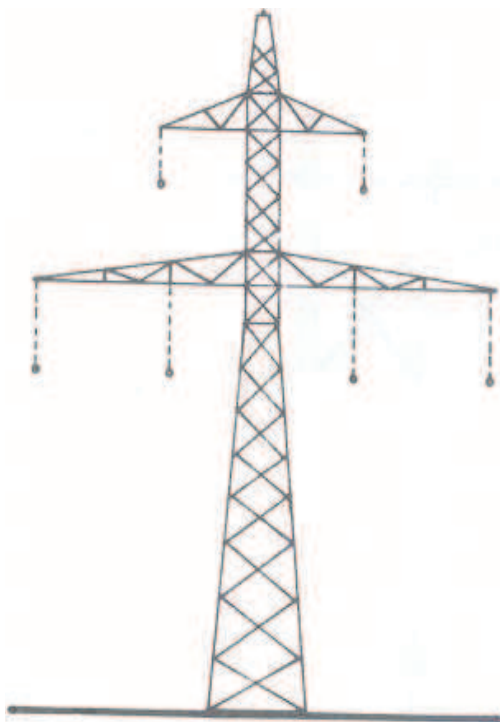
**Γραμμές μεταφοράς διπλού κυκλώματος** – Μεγαλύτερη αξιοπιστία μεταφοράς επιτυγχάνεται όταν κάθε κύκλωμα αποτελεί χωριστή και ανεξάρτητη γραμμή. Αυτό όμως σε κάποιες περιπτώσεις είναι και δαπανηρό και πρακτικά ανεφάρμοστο όπως π.χ. σε κατοικημένες περιοχές. Εκεί έχουμε το πρόβλημα, ότι η διάθεση των ζωνών διελεύσεως των γραμμών γίνεται πιο δυσχερής. Όπου είναι δύσκολη η εξεύρεση επαρκών διαδρόμων διέλευσης (όπως π.χ. σε ορεινή περιοχή ή σε πυκνοκατοικημένες περιοχές όπου δεν επαρκούν οι ζώνες διελεύσεως των γραμμών), χρησιμοποιούνται γραμμές μεταφοράς διπλού κυκλώματος, στις οποίες δυο ανεξάρτητα κυκλώματα φέρονται σε κοινούς πυλώνες. Την τεχνική αυτή την συναντάμε πολύ στα δίκτυα μεταφοράς 150 kV και 400 kV του ελληνικού συστήματος. Το πρόβλημα στην περίπτωση των γραμμών διπλού κυκλώματος είναι ότι υπάρχει πάντα ο κίνδυνος να γίνει βλάβη (μηχανική, προσβολή γραμμής από κεραυνό) ταυτόχρονα και στα δυο κυκλώματα, άρα είναι λιγότερο αξιόπιστο.



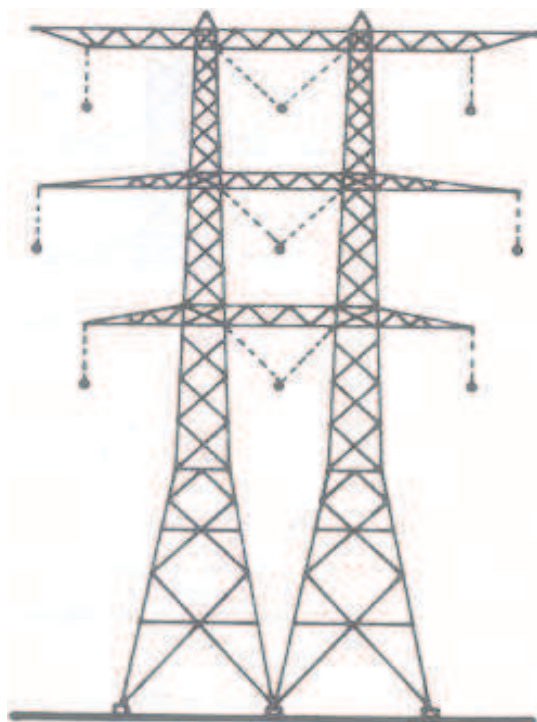
Πυλώνας Υ.Τ. και Υ.Υ.Τ ενός κυκλώματος



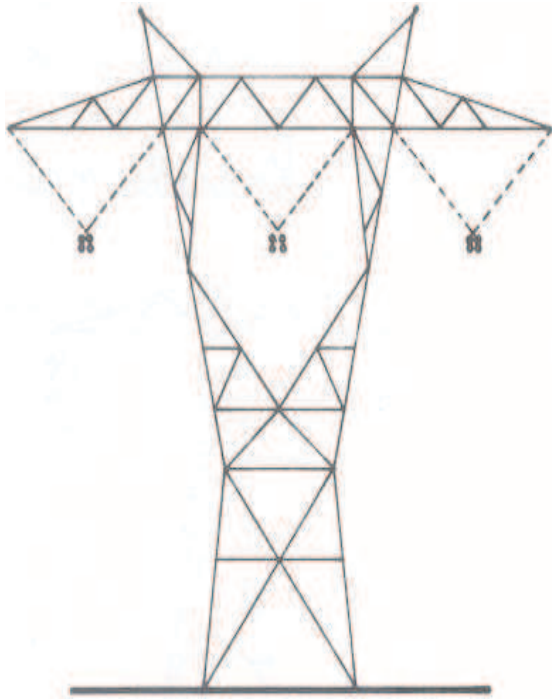
Πυλώνας Υ.Τ. και Υ.Υ.Τ ενός κυκλώματος



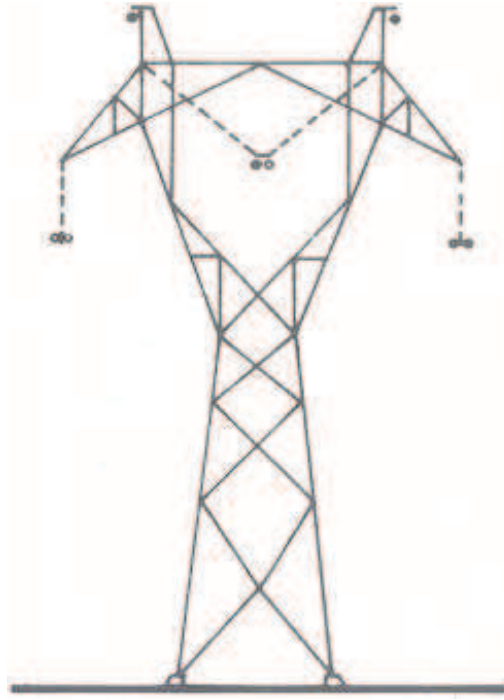
Πυλώνας Υ.Τ. και Υ.Υ.Τ διπλού κυκλώματος



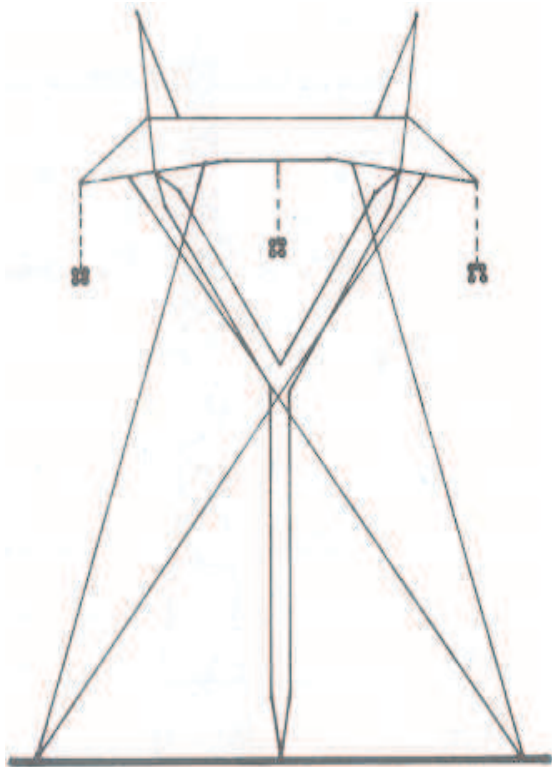
Πυλώνας Υ.Τ. και Υ.Υ.Τ 3πλού κυκλώματος



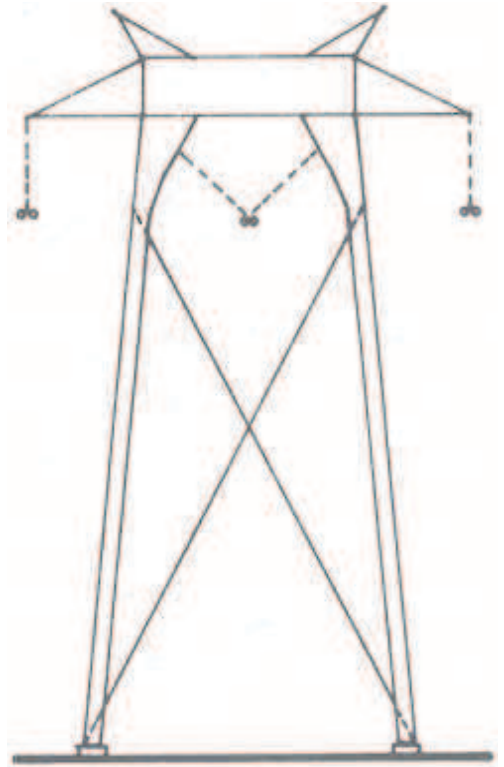
**Πυλώνας γραμμής 500 kV**



**Πυλώνας γραμμής 500 kV**

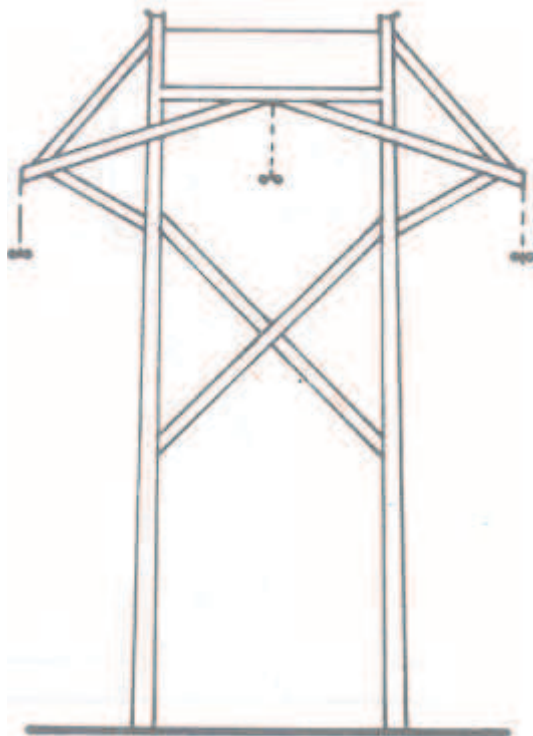


**Πυλώνας γραμμής 500 kV**

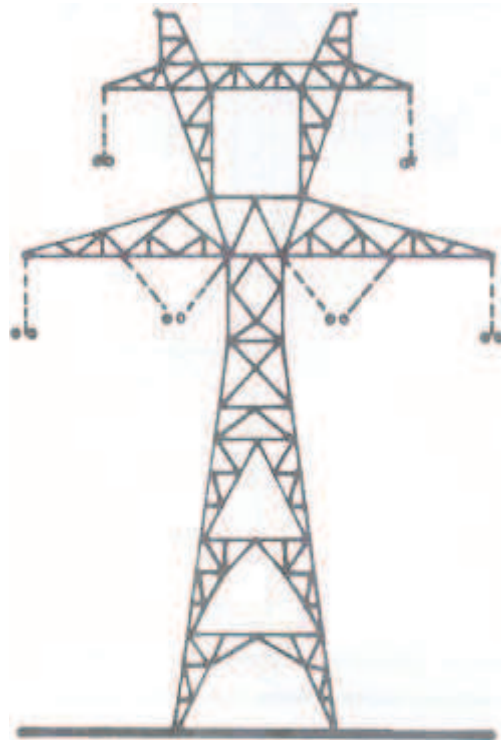


**Πυλώνας γραμμής 735 kV**

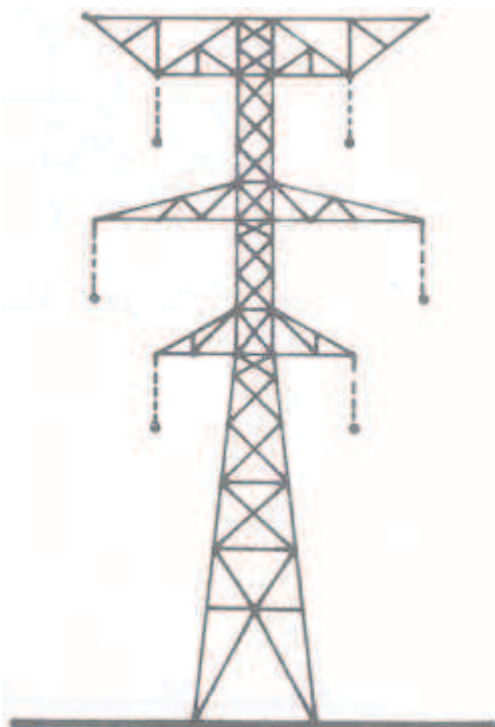




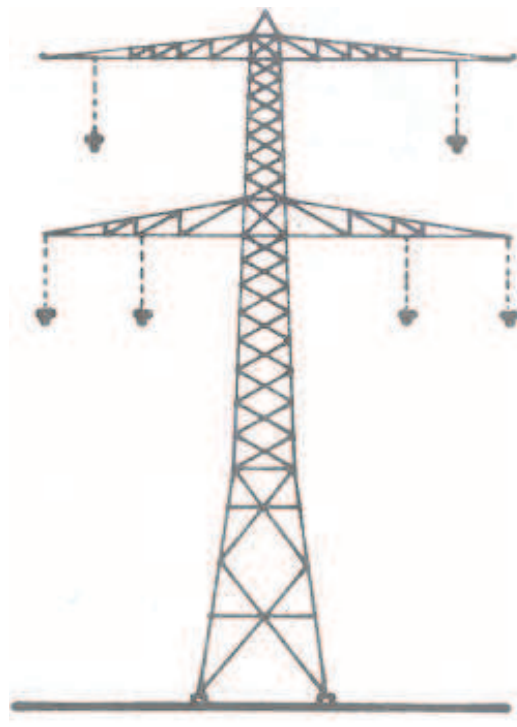
Πυλώνας γραμμής 345-400 kV μονού κυκλ.



Πυλώνας γραμμής 345-400 kV διπλού κυκλ.



Πυλώνας γραμμής 345-400 kV διπλού κυκλ.



Πυλώνας γραμμής 345-400 kV διπλού κυκλ.

**Αντιμεταθέσεις φάσεων γραμμής** – Ειδικές και συνήθως πολύ σύνθετες κατασκευές πυλώνων απαιτούνται στις θέσεις αντιμεταθέσεως των φάσεων μιας γραμμής, σε όσες περιπτώσεις εφαρμόζεται αυτή για την εξισορρόπηση της αυτεπαγωγής και της χωρητικότητας της γραμμής. Ο καθορισμός καταλλήλων θέσεων για τις αντιμεταθέσεις προϋποθέτει, σε ορισμένες περιπτώσεις, εκτεταμένη μελέτη της αλληλεπίδρασης μεταξύ γειτονικών κυκλωμάτων. Στις περιπτώσεις όπου εφαρμόζεται η αντιμετάθεση στις γραμμές μεταφοράς, ο αριθμός των απαιτούμενων αντιμεταθέσεων δεν είναι μεγάλος, άρα δεν χρειάζονται πολλοί τέτοιοι πυλώνες.

**Προβλήματα σχεδιασμού και κόστους** – Το πρόβλημα στο σχεδιασμό των πυλώνων είναι κυρίως μηχανικό και οικονομικό, από τη στιγμή, κατά την οποία είναι δεδομένα ο αριθμός των αγωγών, το μέγεθός τους, και οι επιβαλλόμενες από ηλεκτρικής απόψεως αποστάσεις μεταξύ των αγωγών και μεταξύ των αγωγών και της γης. Προφανώς οι πυλώνες πρέπει να είναι αρκετά ισχυροί για τη στήριξη των αγωγών όχι μόνο υπό ομαλές αλλά και υπό δυσμενείς καιρικές συνθήκες, δηλ. με ισχυρό άνεμο και με σχηματισμό πάγου στην επιφάνεια των αγωγών. Σε ανοικτό επίπεδο έδαφος τα ανοίγματα της γραμμής, δηλ. οι αποστάσεις μεταξύ πυλώνων, καθορίζονται κατά το πιο συμφέρον τρόπο από το μελετητή της γραμμής. Εάν τα ανοίγματα είναι μεγάλα, υπάρχουν λιγότεροι φορείς ανά χιλιόμετρο γραμμής, αλλά αυτοί πρέπει να είναι ισχυρότεροι, για να στηρίζουν μεγαλύτερο τμήμα γραμμής και υψηλότεροι, για να τηρηθεί ή απαιτούμενη απόσταση αγωγών – εδάφους, δεδομένου ότι μεγαλύτερο άνοιγμα συνεπάγεται μεγαλύτερο **βέλος\*** αγωγών για την ίδια τάση αυτών. Ως εκ τούτου το κόστος ανά πυλώνα προκύπτει μεγαλύτερο, αλλά απαιτούνται λιγότεροι πυλώνες.

*\*Στο κεφάλαιο ΤΑΝΥΣΗ ΑΓΩΓΩΝ μπορείτε να βρείτε τον ορισμό και κάποια μαθηματικά στοιχεία για το βέλος αγωγών.*

Πέρα από ένα ορισμένο μήκος ανοίγματος, για ένα δεδομένο κύκλωμα, η επιλογή του αγωγού βασίζεται περισσότερο στη μηχανική αντοχή του παρά στις ηλεκτρικές ιδιότητές του, με σύνηθες αποτέλεσμα αυξημένο κόστος αγωγού. Το μήκος του ανοίγματος καθορίζει μέχρι ενός σημείου και την



απόσταση μεταξύ αγωγών φάσεων, δεδομένου ότι επηρεάζει την πιθανότητα προσεγγίσεως και επαφής αυτών στο μέσο του ανοίγματος. Επομένως, μεγαλύτερα ανοίγματα συνεπάγονται μεγαλύτερες αποστάσεις μεταξύ αγωγών, αυξάνοντας κατά αυτό τον τρόπο το κόστος των πυλώνων. Προσοχή πρέπει επίσης να δοθεί στις έκτακτες καταπονήσεις των πυλώνων, τις προκαλούμενες από καταστροφή ενός ή δύο αγωγών και να θεσπίζεται σε κάθε περίπτωση το σχετικό κριτήριο, στο οποίο πρέπει να βασίζεται η μελέτη των πυλώνων, ώστε αυτοί να μην υποχωρούν μηχανικώς, παρά μόνο υπό τις πλέον ασυνήθεις συνθήκες.

Οι ανωτέρω παράγοντες πρέπει να σταθμιστούν κατά τη μελέτη της γραμμής ώστε να προκύψει η πιο συμφέρουσα σχεδίαση της. Τα ανοίγματα των γραμμών μεταφοράς σε τυπικές περιπτώσεις ποικίλλουν από 150 περίπου μέτρα έως και 500 μέτρα, από τα οποία τα μεγαλύτερα αντιστοιχούν στις υψηλότερες τάσεις. Σε ασυνήθεις περιπτώσεις διαβάσεως ποταμών ή μεγάλων κοιλάδων έχουν χρησιμοποιηθεί επιτυχώς και ανοίγματα μεγαλύτερα από ένα χιλιόμετρο. Οι ελάχιστες αποστάσεις αγωγών – εδάφους επίσης ποικίλλουν σημαντικά, αρχίζοντας από 7 περίπου μέτρα σε ελεύθερα εδάφη έως και 12 ή 15 μέτρα σε αγροτικές περιοχές. Όπως είναι φυσικό το ύψος των αγωγών στους πυλώνες, είναι μεγαλύτερο κατά το βέλος και το τελευταίο ποικίλλει ανάλογα με το άνοιγμα της γραμμής και την αντοχή των αγωγών. Το ύψος των αγωγών πάνω από το έδαφος μεταβάλλεται σημαντικά με τη θερμοκρασία τους, δεδομένου ότι μικρή μεταβολή του μήκους των αγωγών προκαλεί μεγάλη σχετικά μεταβολή του βέλους τους.

Οι αναφερόμενες αποστάσεις από το έδαφος θα πρέπει να θεωρούνται ως οι τιμές που αντιστοιχούν στο μέγιστο βέλος αγωγών, το οποίο θα ήταν δυνατόν να δημιουργηθεί είτε υπό μεγίστη θερμοκρασία αγωγού, είτε υπό χαμηλή θερμοκρασία και βαριά επιφόρτιση, οφειλόμενη στην επικάθιση πάγου. Μία γραμμή απλού κυκλώματος έχει φυσικά τρεις αγωγούς, οι οποίοι φέρουν ηλεκτρικό ρεύμα και μία διπλού κυκλώματος έξι. Επιπροσθέτως υπάρχουν κατά κανόνα ένας ή δύο αγωγοί γης εγκατεστημένοι υψηλότερα από τους αγωγούς των φάσεων, για να τούς προστατεύουν από τα άμεσα κεραυνικά πλήγματα. Οι αγωγοί γης, καταλλήλως εγκατεστημένοι, αποτελούν

πολύ αποτελεσματικό μέσο αποφυγής των διακοπών λειτουργίας της γραμμής κατά τη διάρκεια των καταιγίδων, πού συνοδεύονται από κεραυνική δραστηριότητα.

Για τις μηχανικές τάσεις και τα φορτία των πυλώνων γίνεται ανάλυση στη μεθοδολογία και θα τα συναντήσουμε παρακάτω. Να τονιστεί όμως ξανά ότι η μηχανική σχεδίαση των εναερίων γραμμών ηλεκτρικής ενέργειας υπόκειται σε κανόνες οι όποιοι εξασφαλίζουν το απρόσιτο των αγωγών για τον άνθρωπο, αποβλέποντας στην ασφάλειά του. Οι βασικές απαιτήσεις της μηχανικής σχεδίασης των γραμμών αφορούν στις ελάχιστες αποστάσεις των αγωγών από το έδαφος (όπως είπαμε και αριθμητικά παραπάνω), αλλά και από γειτονικά κτίσματα και τη μηχανική αντοχή των αγωγών, των μονωτήρων και των φορέων. Οι μηχανικές δυνάμεις που καταπονούν τις γραμμές, είναι το βάρος των αγωγών, η δύναμη του ανέμου και το βάρος (όπου υπάρχει) του πάγου, ο οποίος μπορεί να σχηματίζεται μετά από χιονόπτωση. Βάσει των δυνάμεων αυτών υπολογίζεται τόσο η καταπόνηση και συνεπώς και η μηχανική αντοχή των αγωγών και φορέων, όσο και η καμπύλη των αγωγών στο χώρο και οι αποστάσεις τους από το έδαφος.

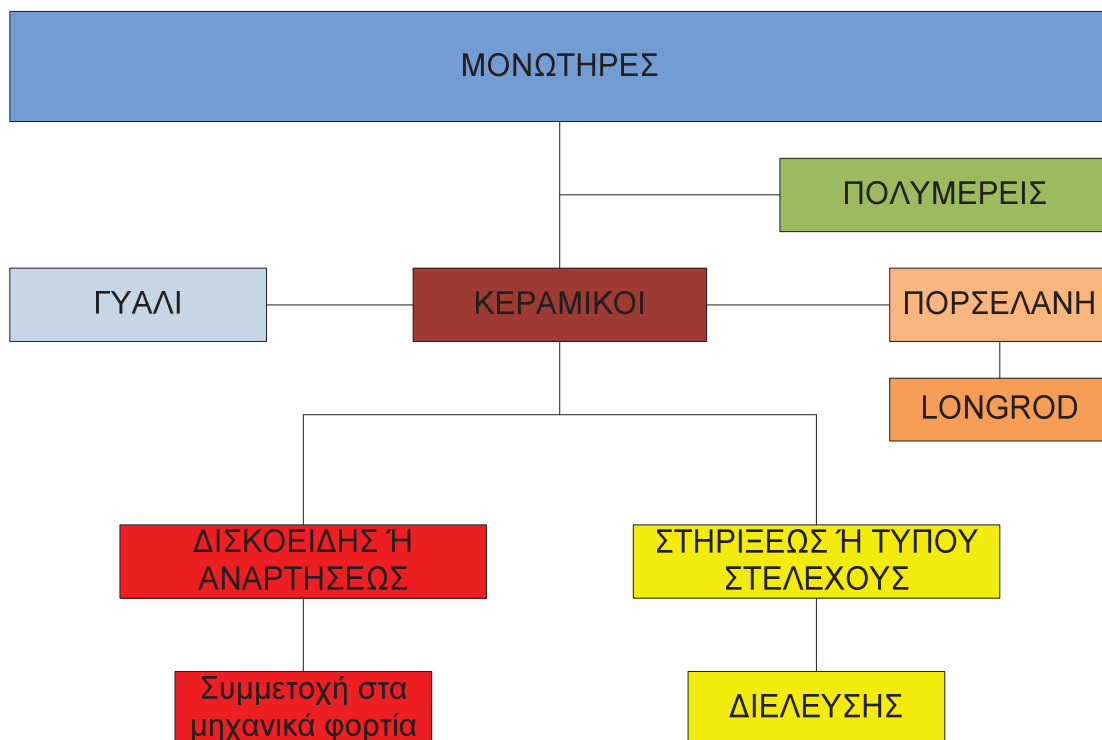
## **2.4 - Μεταφορά και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας.**

Όσο αφορά τη μεταφορά και την διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα, το σύστημα μεταφοράς περιλαμβάνει τις γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας υπερύψηλης τάσης και τους υποσταθμούς ανύψωσης και υποβιβασμού της τάσης. Για τη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούνται εναέριες γραμμές ή υπόγεια καλώδια τριφασικού εναλλασσόμενου ρεύματος. Τυπικά επίπεδα τάσης για το δίκτυο μεταφοράς είναι για το ελληνικό δίκτυο τα 150 kV και τα 400 kV (στην Ευρώπη χρησιμοποιούνται και τα 220 kV). Στους σταθμούς ή κέντρα μετασχηματισμού τάσης η τάση των ακροδεκτών των γεννητριών των σταθμών παραγωγής, η οποία συνήθως κυμαίνεται από 20 – 30 kV ανυψώνεται στα επίπεδα των τάσεων του συστήματος μεταφοράς. Στα αστικά και βιομηχανικά κέντρα κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας, οι γραμμές μεταφοράς τερματίζουν σε αντίστοιχους υποσταθμούς, όπου οι τάσεις υποβιβάζονται στο επίπεδο των

τάσεων του συστήματος διανομής, δηλαδή συνήθως στα 15 – 20 kV και πιο σπάνια στα 6 kV. Το σύστημα διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί τη συνέχεια του συστήματος μεταφοράς προς τη κατεύθυνση της κατανάλωσης. Αποτελείται και αυτό από το σύνολο των εναέριων γραμμών και υπόγειων καλωδίων, καθώς και των υποσταθμών υποβιβασμού της τάσης. Η έκταση του συστήματος διανομής είναι πολλαπλάσια του αντιστοίχου της μεταφοράς, ενώ οι τάσεις λειτουργίας του χωρίζονται σε δυο επίπεδα, τη μέση τάση (ΜΤ) και τη χαμηλή τάση (ΧΤ). Στο ελληνικό δίκτυο διανομής η μέση τάση είναι 15 kV και συνηθεστέρα 20 kV, ενώ η χαμηλή τάση είναι 400 V. Το σύστημα διανομής περιλαμβάνει και τα φορτία, δηλαδή τους καταναλωτές της ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτά μπορεί να είναι είτε οικιακοί και μικροί βιομηχανικοί καταναλωτές της ηλεκτρικής ενέργειας, είτε και μεγαλύτεροι βιομηχανικοί καταναλωτές.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΜΟΝΩΤΗΡΕΣ

Οι μονωτήρες των εναερίων γραμμών χρησιμοποιούνται για την ανάρτηση των αγωγών στους πυλώνες και ουσιαστικά για να μονώσουν ηλεκτρικά τα μεταλλικά μέρη των αγωγών στις συνδέσεις τους. Μια τέτοια μονάδα μονωτήρων αποτελείται από σειρά μονωτήρων (αλύσεις μονωτήρων) και όσο ανεβαίνουν τα επίπεδα της τάσης, τόσο προστίθενται στη σειρά κι άλλοι μονωτήρες. Χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι και αυτό εξαρτάται από το επίπεδο της τάσης αλλά και τις απαιτήσεις των μηχανικών τάσεων. Οι τύποι των μονωτήρων που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι οι εξής :

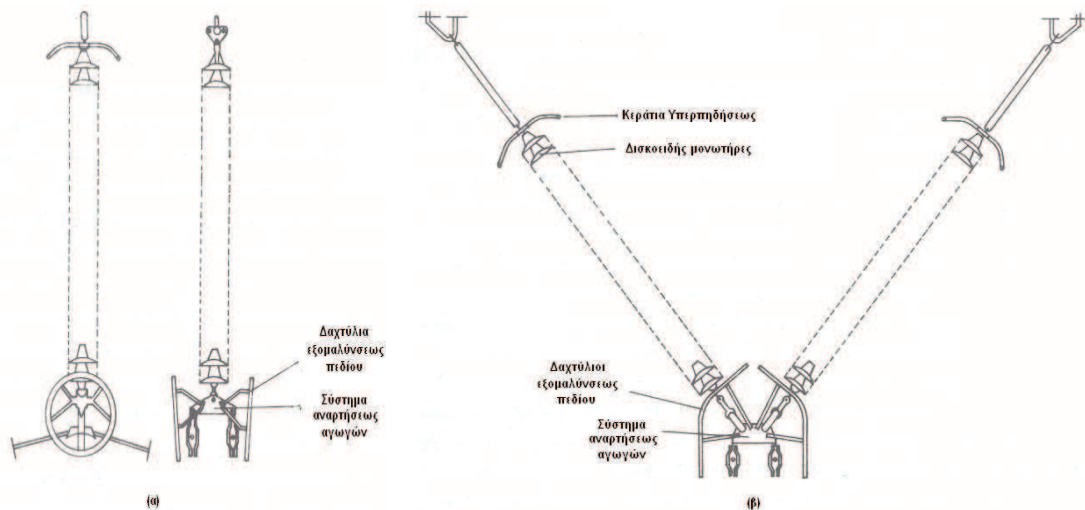


### 3.1 - Μονωτήρες τύπου αναρτήσεως και στηρίξεως

Οι μονωτήρες χωρίζονται ανάλογα με το υλικό από το οποίο είναι φτιαγμένοι. Μια αρχική διάκριση είναι αν ο μονωτήρας είναι κεραμικός ή όχι. Ο κεραμικός μονωτήρας είναι ο κλασσικός μονωτήρας θα λέγαμε, αλλά τα τελευταία χρόνια έχουν κατασκευαστεί και μονωτήρες από πολυμερή υλικά λόγω των

ιδιαίτερων χαρακτηριστικών που μπορούν αυτά να προσδώσουν στο μονωτήρα. Εμείς θα ασχοληθούμε με τους κεραμικούς μονωτήρες μιας και ακόμα κυριαρχούν στο Ελληνικό Σύστημα. Περαιτέρω, ο κεραμικός μονωτήρας κατασκευάζεται είτε από γυαλί είτε από πορσελάνη. Στις γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας δύο κύριοι τύποι μονωτήρων χρησιμοποιούνται που είναι οι μονωτήρες στηρίξεως (ή τύπου στελέχους) και οι μονωτήρες αναρτήσεως (ή δισκοειδής). Επίσης έχουμε τους μονωτήρες διελεύσεως και τους μονωτήρες longrod. Παρακάτω θα γίνει μια ανάλυση στους μονωτήρες που χρησιμοποιούνται κυρίως (στηρίξεως και αναρτήσεως), αλλά θα δοθούν και κάποια στοιχεία για τους υπολοίπους.

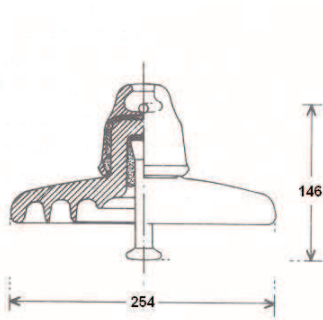
- 1) **Μονωτήρας αναρτήσεως (Cap & Pin)** : Οι μονωτήρες αναρτήσεως, οι όποιοι χρησιμοποιούνται πολλές φορές και στις γραμμές μέσης τάσης, χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά σε γραμμές τάσεων υψηλότερων από 66 kV. Οι μονωτήρες αναρτήσεως, οι οποίοι καλούνται και μονωτικές αλυσεις, ή αλυσεις μονωτήρων, αποτελούνται από αριθμό όμοιων δισκοειδών μονωτήρων συνδεδεμένων σε σειρά, όπως βλέπουμε στα παρακάτω σχήματα.



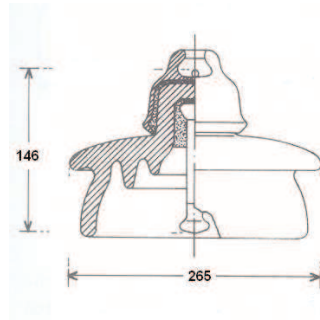
**Κατακόρυφος απλής αναρτήσεως**

**Διπλής αναρτήσεως τύπου V**

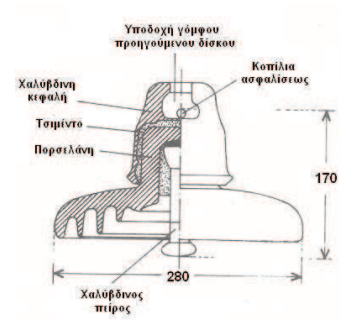
Το στοιχείο της αλύσεως, δηλ. ο δισκοειδής μονωτήρας, αποτελείται από δίσκο από πορσελάνη, ή γυαλί, με χαλύβδινη κεφαλή (**cap**) προσαρμοσμένη στο επάνω μέρος του, ενώ στο κάτω μέρος προεξέχει χαλύβδινο καρφί (**pin**) όπως φαίνεται και στα παρακάτω σχήματα όπου βλέπουμε κάποιους μονωτήρες αναρτήσεως πορσελάνης και υάλου.



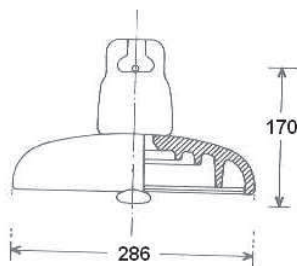
150 kV πορσελάνης κοινός



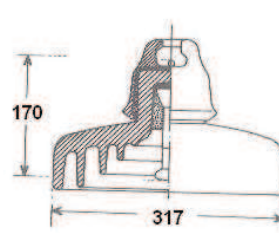
150 kV πορσελάνης τύπου ομίγλης



400 kV πορσελάνης κοινός



400 kV γυάλινος κοινός



400 kV γυάλινος ομίγλης

Η σύνδεση των διαδοχικών δίσκων για τη συγκρότηση της αλύσεως γίνεται με την εισδοχή του καρφιού (**pin**) κάθε δίσκου στην υποδοχή της κεφαλής (**cap**) του επομένου, η οποία υπάρχει εκεί για το σκοπό αυτό.

Ένα σύνηθες μέγεθος δισκοειδούς μονωτήρα, που χρησιμοποιείται στις γραμμές μεταφοράς υψηλής τάσης, έχει διάμετρο 254 mm και ύψος 146 mm, όπου ως ύψος του δίσκου θεωρείται το διάστημα μεταξύ αντιστοίχων σημείων δύο διαδοχικών δίσκων της αλύσεως. Τέτοιοι μονωτήρες χρησιμοποιούνται στις γραμμές 150 kV της ΔΕΗ, ενώ

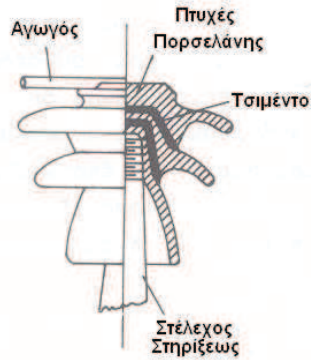
μονωτήρες διαμέτρου 280 mm και ύψους 170 mm χρησιμοποιούνται στις γραμμές των 400 kV. Πολλοί τύποι δισκοειδών μονωτήρων με διάφορες μηχανικές αντοχές κατασκευάζονται για να χρησιμοποιηθούν στους διάφορους τύπους των γραμμών μεταφοράς. Ο αριθμός των χρησιμοποιούμενων δίσκων σε ένα μονωτήρα αναρτήσεως εξαρτάται από την τάση της γραμμής και την επιθυμητή στάθμη μονώσεως αυτής, δηλ. την επιθυμητή κρουστική αντοχή αυτής. Υπό κανονικές συνθήκες το μέτρο ποικίλλει από 10 έως 25 kV πολιτικής τάσεως της γραμμής ανά μονάδα μονωτήρα. Στα δίκτυα μεταφοράς του ελληνικού συστήματος χρησιμοποιούνται στις μεν γραμμές 150 kV συνήθως 10 δίσκοι μεγέθους 250 x 146 mm, ενώ στις γραμμές 400 kV 17 έως 19 δίσκοι μεγέθους 280 x 170 mm, από πορσελάνη ή γυαλί.

Η σύνδεση των αγωγών στους μονωτήρες αναρτήσεως γίνεται μέσω ειδικών διατάξεων πρόσδεσης, όπου καταβάλλεται προσπάθεια να μη δημιουργούνται απότομες κάμψεις των αγωγών στα σημεία αυτά. Η τελευταία απαίτηση έχει ιδιαίτερη σημασία, όσο αφορά στην πρόληψη βλάβης των αγωγών από τις μηχανικές ταλαντώσεις τις προκαλούμενες από τον άνεμο και τον πάγο.

- 2) **Μονωτήρας στηρίξεως (ή τύπου στελέχους)** : Οι μονωτήρες αυτοί χρησιμοποιούνται συνήθως στις γραμμές διανομής μέσης τάσεως και αποτελούνται από περισσότερες από μια πτυχές από πορσελάνη ή γυαλί. Στο κάτω μέρος τους οι μονωτήρες στηρίξεως φέρουν το μεταλλικό στέλεχος στηρίξεως του μονωτήρα επί του στύλου, ενώ η πρόσδεση του αγωγού γίνεται στην κεφαλή του μονωτήρα, όπου υπάρχει συνήθως κατάλληλο αυλάκι.

Μονωτήρες του είδους αυτού χρησιμοποιούνται από την ΔΕΗ στα δίκτυα της διανομής 6,6-15-20 και 22 kV. Τυπικός μονωτήρας στηρίξεως εικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.

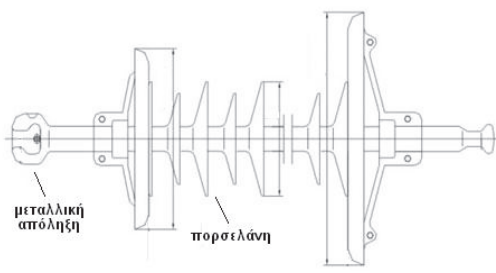




### Τυπικός Μονωτήρας Στηρίξεως

Ο συγκεκριμένος μονωτήρας κατασκευαστικά δεν έχει σχεδιαστεί για να συμμετέχει στα μηχανικά φορτία και απλά λειτουργεί ως μονωτήρας στηρίξεως όπως λέει και το όνομα του.

- 3) **3.2 - Μονωτήρες τύπου Longrod:** Οι μονωτήρες Longrod κατασκευάζονται από πορσελάνη και είναι παρόμοιοι με τους μονωτήρες στηρίξεως, αλλά είναι ελαφρύτεροι και χρησιμοποιούνται ως μονωτήρες αναρτήσεως. Οι μονωτήρες Longrod έχουν το πλεονέκτημα ότι τα μεταλλικά εξαρτήματά τους, βρίσκονται στα άκρα τους. Το στοιχείο που διαχωρίζει αυτούς τους μονωτήρες είναι το μεγαλύτερο μήκος τους, που τους κάνει χρήσιμους στην ανά φάση μόνωση για την μείωση της ταλάντωσης της γραμμής (καλπασμός) κατά τη διάρκεια ισχυρών ανέμων. Παρακάτω βλέπουμε δυο σχήματα μονωτήρα Longrod.



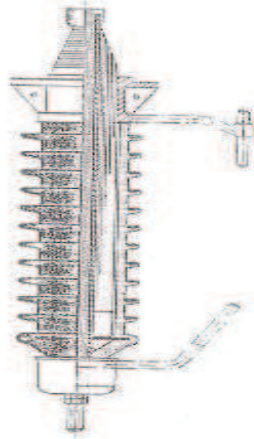
**Μονωτήρας Longrod 1**



**Μονωτήρας Longrod 2**

- 4) **3.3 - Μονωτήρες διέλευσης και μονωτήρες τύπου shackle** : Οι μονωτήρες διελεύσεως χρησιμοποιούνται για να εξασφαλίσουν την διέλευση ενός αγωγού Υψηλής Τάσης μέσα από ένα γειωμένο (ή σε άλλο δυναμικό) φράγμα. Συνήθως κατασκευάζονται από πορσελάνη.

Υπάρχουν και αλλού είδους μονωτήρες όπως οι μονωτήρες τύπου shackle που χρησιμοποιούνται σε αλλαγές κατεύθυνσης της γραμμής γιατί παρέχουν μηχανική στήριξη. Είναι όμως σχεδιασμένοι για χαμηλότερες τάσεις. Παρακάτω βλέπουμε δυο σχήματα με ένα μονωτήρα διελεύσεως και ένα μονωτήρα τύπου shackle.



**Μονωτήρας Διέλευσης**



**Μονωτήρας Shackle**

### **3.4 - Σχεδιασμός και κατασκευή μονωτήρα**

Τα υλικά από τα οποία κατασκευάζονται οι μονωτήρες είναι η πορσελάνη, το γυαλί και μια πιο μοντέρνα κατηγορία είναι τα συνθετικά προϊόντα ή πολυμερή. Αυτά μπορεί να είναι συνδυασμός υαλοβάμβακα, πλαστικού και κάποιας ρητίνης όπως και ελαστικών σιλικόνης. Η επιλογή της κατάλληλης σχεδίασης για ένα μονωτήρα, είναι μια αρκετά σύνθετη διαδικασία, δεδομένου των απαιτήσεων που υπάρχουν, αλλά και των καταπονήσεων που πρόκειται

να εμφανισθούν σε πραγματικές συνθήκες. Η σχεδίαση των μονωτήρων εναερίων γραμμών γίνεται ώστε αυτοί να έχουν και τη κατάλληλη ηλεκτρική μόνωση αλλά και μηχανική αντοχή όπως φυσικά λαμβάνονται υπόψη και τα καιρικά φορτία. Χρησιμοποιούνται υλικά υψηλής μονώσεως και οι επιφάνειες των μονωτήρων κατασκευάζονται ώστε να έχουν τέτοια μορφή που να μην επιτρέπεται η συνεχής ροή του νερού σε περίπτωση βροχής. Για την πορσελάνη γίνεται στίλβωση ώστε να απαλλαγεί από τραχιά μερίδια και γενικά από ανισότητες. Το γυαλί πρέπει να είναι απαλλαγμένο από εσωτερικές φυσαλίδες οι οποίες επιτρέπουν μερική διάσπαση και θέτουν σε κίνδυνο αποτυχίας και καταστροφής τον μονωτήρα. Επίσης να πούμε ότι κατά το σχεδιασμό οι αποστάσεις των ζεύξεων μονωτήρα εξαρτώνται από την αντοχή του υλικού που χρησιμοποιείται. Τονίζουμε και πάλι ότι η επιλογή του είδους των μονωτήρων που γίνεται σε μια γραμμή έχει να κάνει με τις απαιτήσεις μηχανικού φορτίου, απαιτήσεις ηλεκτρικής αντοχής και τις αποστάσεις ερπυσμού.

(Σε κάποιες χώρες λαμβάνονται υπόψη για τις αποστάσεις ερπυσμού\* η προσαρμογή τους σε περιοχές με μεγάλα επίπεδα ρύπανσης, περιοχές όπου υπάρχουν στην ατμόσφαιρα άλατα θαλάσσης, περιοχές παγετού, ακόμα και περιοχές με άγρια ζώα όπως μεγάλα πτηνά. Σε τέτοιες λοιπόν περιοχές ο σχεδιασμός των αποστάσεων γίνεται με ειδική μέριμνα ώστε να αποφευχθεί μια ακούσια ανάφλεξη λόγω της παρουσίας υψηλών ιόντων στην ατμόσφαιρα).

***\*Μήκος ερπυσμού : Η απόσταση που παρεμβάλλεται μεταξύ των μεταλλικών ακρών ενός μονωτήρα εξαιρώντας τα ενδιάμεσα μεταλλικά στοιχεία.***

Σε χώρες που ισχύουν τα πρότυπα IEC γίνονται δυο ειδών δοκιμές σε μονωτήρες πορσελάνης και γυαλιού. Η μια δοκιμή έχει να κάνει με την ηλεκτρική τους αντοχή ενώ η άλλη δόκιμη έχει να κάνει με το συνδυασμό ηλεκτρικής αλλά και μηχανικής αντοχής. Οι δοκιμές που γίνονται στους μονωτήρες πολυμερούς υλικού είναι αρκετά περισσότερες αλλά δεν θα εστιάσουμε σε αυτό. Να πούμε μονάχα εδώ για τους μονωτήρες από πολυμερή υλικά ότι πλεονεκτήματα τους είναι η υδρόφοβή τους επιφάνεια που εξασφαλίζει αναβαθμισμένη συμπεριφορά σε περιβάλλον ρύπανσης και

το χαμηλό τους βάρος το οποίο βοηθά στην εγκατάσταση τους αλλά και στην συντήρησή τους. Το σημαντικότερό τους μειονέκτημα είναι σαφώς η μικρή διάρκεια ζωής τους σε σχέση με τους κεραμικούς μονωτήρες.

Στο σχεδιασμό των μονωτήρων βλέπουμε επίσης ότι το περίγραμμα της κατακόρυφης τομής του μονωτικού τμήματος είναι δυνατόν να ποικίλλει σημαντικά. Είναι βασική απαίτηση της σχεδίασεως των μονωτήρων, σε περίπτωση ηλεκτρικής διασπάσεως τους να γίνεται ή διάσπαση υπό μορφή εξωτερικής υπερπηδήσεως της επιφάνειάς τους, παρά υπό μορφή εσωτερικής διατρήσεως της πορσελάνης ή του γυαλιού. Είναι προφανής ή προτίμηση της διασπάσεως της μονώσεως του αέρος, ή οποία αυτό-αποκαθίσταται από την καταστρεπτική διάσπαση της στερεάς μονώσεως.

Φυσικά ούτε υπερπήδηση ούτε διάτρηση των μονωτήρων αναμένεται υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας, παρά μόνο σε περιπτώσεις υψηλών υπερτάσεων, οπότε ή διάσπαση είναι αναπόφευκτη και προτιμάται ή εξωτερική υπερπήδηση. Στους σύγχρονους μονωτήρες μία υπερπήδηση, εάν δεν διατηρηθεί επί σημαντική σχετικώς χρονική διάρκεια, πολύ μικρή ζημιά συνεπάγεται για τον μονωτήρα και μόλις ή υπέρταση περάσει ο μονωτήρας παρουσιάζει την κανονική του συμπεριφορά. Αντίθετα, μία διάτρηση αχρηστεύει σχεδόν πάντοτε ένα μονωτήρα. Στην περίπτωση ενός μονωτήρα αναρτήσεως ή αχρήστευση ενός δίσκου είναι δυνατόν να μη συνεπάγεται αχρήστευση και όλης της αλύσεως, δεδομένου ότι οι, παραμένουσες μονάδες παρέχουν την απαιτούμενη μόνωση, οπωσδήποτε όμως ο συντελεστής ασφαλείας έχει μειωθεί και ή μονάδα πρέπει να αντικατασταθεί αμέσως μόλις ανακαλυφθεί ή βλάβη.

Η τάση υπερπηδήσεως ενός μονωτήρα επηρεάζεται από τη γεωμετρική μορφή του, το υλικό της επιφάνειάς του, την ρύπανση της επιφάνειάς του, την υγρασία της και κατά ορισμένο ποσοστό από τη μορφή και το υλικό των παρακειμένων αντικειμένων. Οι περισσότεροι μονωτήρες παραμένουν σε λειτουργία επί πολλά χρόνια με πολύ μικρή φροντίδα και καθαρισμό μόνο από τον άνεμο και την βροχή. Ως εκ τούτου ένα από τα προβλήματα των μονωτήρων είναι η κατάλληλη σχεδίαση της μορφής των επιφανειών τους,

ώστε ή τάση υπερπηδήσεως να επηρεάζεται μόνο σε μικρό ποσοστό από τις συγκεντρωμένες επικαθήσεις και την υγρασία. Στους συνήθεις τύπους μονωτήρων η επάνω επιφάνεια είναι λεία, ώστε να συμβάλει στην παρεμπόδιση εύκολης επικαθήσεως ακαθαρσιών, ενώ ή κάτω επιφάνεια τους έχει πτυχώσεις για την αύξηση του μήκους τής επιφανειακής διαδρομής μεταξύ άνω και κάτω μεταλλικών μελών και αύξηση του μη εκτεθειμένου στη βροχή τμήματός της, ώστε να παρεμποδιστεί ο σχηματισμός συνεχούς υδάτινης διαδρομής κατά τη διάρκεια τής βροχής.

Σε περιοχές υποκειμένες σε έντονους σχηματισμούς ομίχλης ή ψεκασμούς άλατος από τη θάλασσα, χρησιμοποιούνται ειδικοί μονωτήρες, οι οποίοι ονομάζονται τύπου ομίχλης. Παρόλα αυτά, ένα από τα πλέον αποτελεσματικά μέτρα αποτελεί ο περιοδικός καθαρισμός. Σε ορισμένες περιπτώσεις οι μονωτήρες των κύριων σταθμών ή υποσταθμών πλένονται υπό τάση η εκτός τάσεως, με τη χρησιμοποίηση συστημάτων κατάλληλης εκτοξεύσεως ύδατος για τον καθαρισμό τους από τη σκόνη και τις καθαλατώσεις. Σε παραπάνω σχήματα είδαμε δισκοειδείς μονωτήρες τύπου ομίχλης, οι οποίοι χρησιμοποιούνται από την ΔΕΗ στις γραμμές μεταφοράς, που οδεύουν παράλληλα στην θάλασσα ή διέρχονται μέσα από βιομηχανικές περιοχές όπου υπάρχει μεγάλη ρύπανση του αέρα. Οι καθαλατώσεις αποτελούν ένα σημαντικό πρόβλημα των γραμμών των ελληνικών δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας, που βρίσκονται εγκατεστημένες κοντά στις ακτές της θάλασσας.

### **3.5 - Αστοχία Μονωτήρων**

**Διάτρηση** - Ο όρος διάτρηση αναφέρεται στην διάσπαση που λαμβάνει χώρο εντός του όγκου του διηλεκτρικού. Στην περίπτωση των μονωτήρων, διάτρηση μπορεί να παρατηρηθεί στον τύπο Cap and Pin, λόγω της μικρής απόστασης μεταξύ των μεταλλικών απολήξεων. Συνήθως εμφανίζεται κατά την καταπόνηση από κρουστικές τάσεις ιδιαίτερα απότομου μετώπου, όταν ο χρόνος καθυστέρησης για την διάτρηση είναι μικρότερος από αυτόν για την υπερπήδηση του μονωτήρα. Διάτρηση μπορεί να εμφανιστεί και στην

περίπτωση των μονωτήρων από μη κεραμικά υλικά, οπότε και υπάρχει η πιθανότητα αποκάλυψης του πυρήνα (brittle fracture).

**Θρυμματισμός** - Ο θρυμματισμός παρατηρείται στην περίπτωση των μονωτήρων από γυαλί, ως αποτέλεσμα της καταπόνησης από ένα ηλεκτρικό τόξο ή λόγω βανδαλισμού. Το μονωτικό υλικό θρυμματίζεται, ενώ είναι σημαντικό το ότι διατηρούν τη μηχανική ακεραιότητά τους.

**Επιφανειακή διάβρωση** - Παρατεταμένη επιφανειακή δραστηριότητα μπορεί να οδηγήσει στην επιφανειακή διάβρωση μονωτήρων από γυαλί, με αποτέλεσμα την μερική καταστροφή της επιφάνειας ως και την συνολική καταστροφή του μονωτήρα. Στην περίπτωση των συνθετικών μονωτήρων μπορεί επίσης να παρατηρηθεί επιφανειακή διάβρωση με αποτέλεσμα την αποκάλυψη του πυρήνα (brittle fracture).

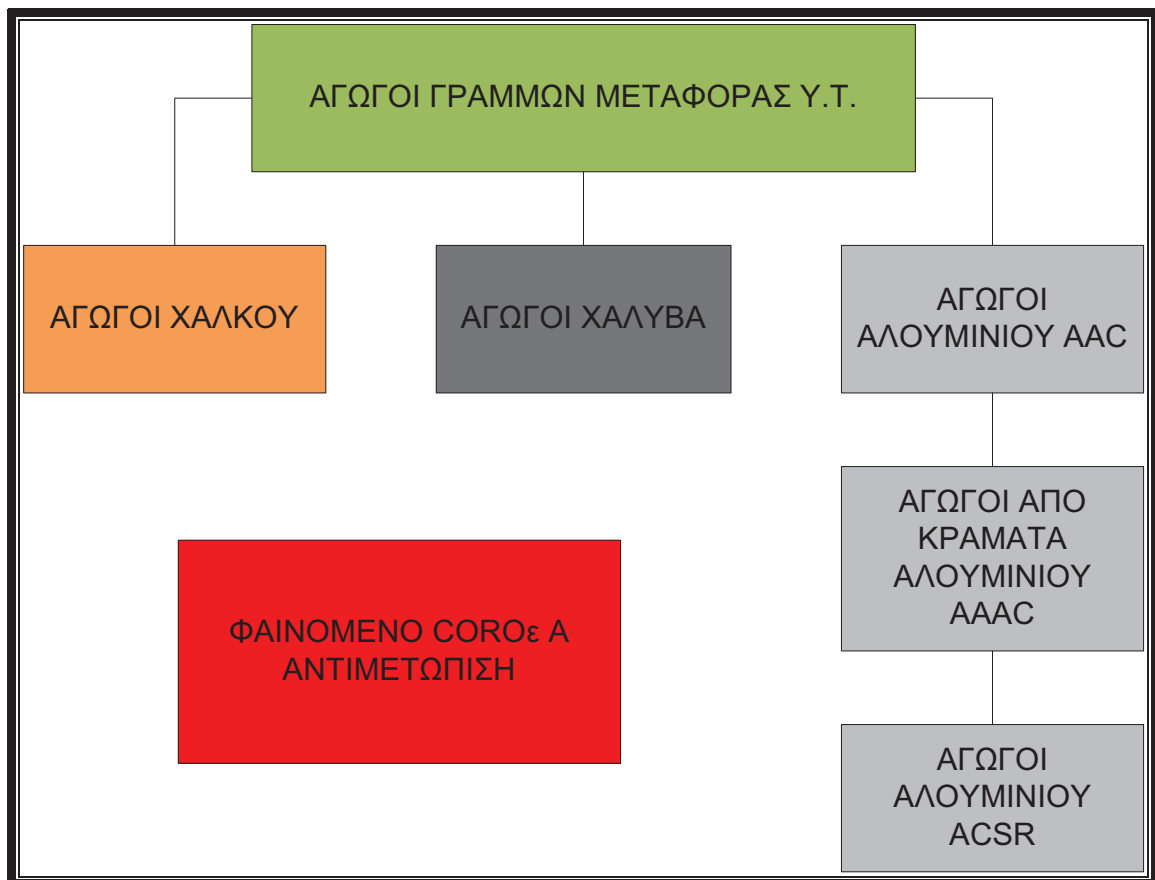
**Διάβρωση** - Επιπλέον της διάβρωσης στο μονωτικό υλικό παρατηρείται και διάβρωση στα μεταλλικά τμήματα ενός μονωτήρα, είτε ως αποτέλεσμα της επίδρασης του περιβάλλοντος, είτε λόγω του ρεύματος διαρροής που εμφανίζεται σε συνθήκες ρύπανσης.

**Φαινόμενο Tracking** - Το φαινόμενο tracking αναφέρεται στην δημιουργία αγώγιμων διαδρομών (tracks) στην επιφάνεια ενός μονωτήρα. Εμφανίζεται σε μονωτήρες από πολυμερή υλικά που περιλαμβάνουν άνθρακα, ως αποτέλεσμα της ηλεκτρικής επιφανειακής δραστηριότητας.

**Φαινόμενο Brittle Fracture** - Το φαινόμενο Brittle Fracture εμφανίζεται στους μονωτήρες από μη κεραμικά υλικά, στην περίπτωση αποκάλυψης του πυρήνα και την εισροή υγρασίας παρουσία ηλεκτρικής δραστηριότητας. Προκαλεί την θραύση του πυρήνα και κατά συνέπεια την απώλεια της μηχανικής αντοχής του μονωτήρα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΑΓΩΓΟΙ

Τα κύρια υλικά των αγωγών των εναερίων γραμμών είναι ο χαλκός και το αλουμίνιο. Σε περιορισμένες εφαρμογές χρησιμοποιείται και ο χάλυβας. Το αλουμίνιο με άλλα κράματα μετάλλων είναι μια άλλη κατηγορία υλικών αγωγού.



### 4.1 - ΧΑΛΚΟΣ

Ο χαλκός έχει υψηλή αγωγιμότητα και όταν είναι σκληρής ελκύσεως, εμφανίζει μεγάλη μηχανική αντοχή. Βασικό τεχνικό μειονέκτημά του είναι το βάρος του. Αν και υπάρχει άφθονο στη φύση αποτελεί πλέον παρωχημένο υλικό όσο αφορά τους αγωγούς Υ.Τ.. Τα πλεονεκτήματά του όμως είναι η καλή αγωγιμότητα και είναι μέταλλο εύκολο σε επεξεργασία. Οι αγωγοί χαλκού υπάρχουν σε τρεις μορφές : Μαλακής, μέσης και σκληρής έλκυσης. Οι αγωγοί

μαλακής έλκυσης χρησιμοποιούνται στις γραμμές για μικρά ανοίγματα ή για γειώσεις. Είναι εύκαμπτοι και ανθεκτικοί στο σπάσιμο ακόμη και υπό μεγάλο μηχανικό φορτίο. Οι αγωγοί μέσης έλκυσης χρησιμοποιούνται για μεσαία ανοίγματα, ενώ οι αγωγοί σκληρής έλκυσης σε μεγαλύτερα. Οι τελευταίοι είναι και οι ισχυρότεροι από τους άλλους. Η δύναμη τους όμως τους κάνει δύσκολους στην επεξεργασία αλλά και κατά την διάρκεια της εργασίας.



Google Pics Αγωγός Χαλκού

#### 4.2 - ΧΑΛΥΒΑΣ

Οι αγωγοί χάλυβα χρησιμοποιούνται όπως είπαμε σε ελάχιστες εφαρμογές. Είναι 90% λιγότερο αποδοτικοί σε σχέση με το χαλκό και πιάνουν εύκολα σκουριά. Για αυτό το λόγο δεν χρησιμοποιούνται σχεδόν ποτέ μόνοι τους. Οι αγωγοί χάλυβα συνήθως υπόκεινται σε γαλβανισμό (ή επικαλύπτονται με ένα στρώμα ψευδαργύρου για την αντιμετώπιση της σκουριάς). Το πλεονέκτημα τους είναι ότι είναι 3-5 φορές πιο ισχυροί από τους αγωγούς χαλκού και όπως θα δούμε και παρακάτω χρησιμοποιούνται ως αγωγοί γης.



Google Pics Αγωγός Χάλυβα με επένδυση Αλουμινίου



### 4.3 - ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ AAC (All Aluminium Conductors)

Το αλουμίνιο μπορεί εύκολα να οξειδωθεί και έχει χειρότερη συμπεριφορά στην θερμότητα σχετικά με το χαλκό. Το αλουμίνιο είναι κατώτερο του χαλκού σε αγωγιμότητα και αντοχή, αλλά είναι πολύ ελαφρύτερο από το χαλκό και συνδυαζόμενο με χάλυβα για απόκτηση τής απαιτούμενης μηχανικής αντοχής είναι δυνατόν να συναγωνισθεί αποτελεσματικά το χαλκό. Κατά τα τελευταία χρόνια λόγω μεγαλύτερου κόστους, αλλά και επειδή πολλές φορές δεν ήταν εύκολα διαθέσιμος ο χαλκός, ή χρήση του αλουμινίου ως αγωγού έχει επεκταθεί πολύ σε βάρος του χαλκού. Στις γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας ειδικότερα, το αλουμίνιο χρησιμοποιείται ήδη σε συντριπτική πλειοψηφία έναντι του χαλκού. Στις γραμμές μεταφοράς του ελληνικού συστήματος χρησιμοποιούνται αποκλειστικά αγωγοί αλουμινίου.



Google Pics AAC Αγωγός Αλουμινίου

### ΚΛΩΝΟΙ

Οι αγωγοί των γραμμών, στα μεγέθη τα οποία χρησιμοποιούνται συνήθως στις γραμμές μεταφοράς, δεν είναι συμπαγείς, αλλά αποτελούνται από πλήθος συνεστραμμένων κλώνων, για λόγους ευκαμψίας. Στη συνήθη τυποποίηση ένας κεντρικός κλώνος περιβάλλεται από αριθμό διαδοχικών στρωμάτων, κάθε ένα από τα οποία αποτελείται από πολλούς όμοιους κλώνους, τα διαδοχικά δε στρώματα των κλώνων είναι εναλλάξ συνεστραμμένα κατ' αντίθετες φορές. Με αυτό τον τρόπο στον πλήρη αγωγό

οι κλώνοι συγκρατούνται στερεά μεταξύ τους, αλλά ό αγωγός έχει ακόμη πολύ μεγαλύτερη ευκαμψία παρότι θα είχε, εάν ήταν συμπαγής της αυτής διατομής.

#### **4.4 - ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ ACSR (All Aluminium Conductor Steel Reinforcement)**

Όπως αναφέρθηκε ήδη προηγουμένως το αλουμίνιο δεν χρησιμοποιείται μόνο του σαν αγωγός των εναέριων γραμμών μεταφοράς, λόγω μικρής μηχανικής αντοχής. Η τεχνική των συνεστραμμένων κλώνων διευκολύνει την ενσωμάτωση μέσα στον αγωγό αλουμινίου συρμάτων χάλυβα, τα οποία, προσδίδουν σε αυτόν την απαιτούμενη μηχανική αντοχή. Προκύπτει κατ' αυτό τον τρόπο ο χρησιμοποιούμενος ευρύτατα "αγωγός αλουμινίου με ενίσχυση χάλυβα", ο οποίος στο κέντρο έχει τούς κλώνους από χάλυβα και επάνω από αυτούς τούς κλώνους του αλουμινίου. Οι κλώνοι χάλυβα, εάν είναι περισσότεροι του ενός, είναι διατεταγμένοι σε στρώματα, τα οποία αποτελούν τον "πυρήνα" του αγωγού, πάνω στην οποία είναι διατεταγμένα τα στρώματα των κλώνων αλουμινίου. Η επιλογή σε κάθε περίπτωση τής κατάλληλης συνθέσεως του αγωγού βασίζεται στις μηχανικές και ηλεκτρικές απαιτήσεις τής γραμμής. Πολύ διαδεδομένη είναι ή αμερικανική τυποποίηση των αγωγών ACSR, ή οποία προβλέπει εκτεταμένη περιοχή διατομών. Στις ελληνικές γραμμές μεταφοράς χρησιμοποιούνται οι εξής τρεις διατομές αγωγών ACSR: 336 MCM, 636 MCM και 954 MCM. Η πρώτη χρησιμοποιείται στις γραμμές 66 kV και στις ελαφρές γραμμές 150 kV, η δεύτερη στις βαριές γραμμές 150 kV και η τρίτη στις γραμμές 400 kV. Οι τιμές των διατομών, οι οποίες χαρακτηρίζουν τους αγωγούς ACSR είναι οι τιμές των διατομών του αλουμινίου των αγωγών.



Google Pics Αγωγός ACSR

#### **4.5 - ΚΡΑΜΑΤΑ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ AAAC (All Aluminium Alloy Conductor)**

Κατά τα τελευταία χρόνια αναπτύχθηκαν και χρησιμοποιούνται και αγωγοί από κράματα αλουμινίου με άλλα μέταλλα, όπως το μαγνήσιο και πυρίτιο. Οι αγωγοί αυτοί έχουν αυξημένη μηχανική αντοχή, ώστε να ικανοποιούν τις μηχανικές απαιτήσεις των γραμμών χωρίς ενίσχυση από χάλυβα, ενώ διατηρούν αγωγιμότητα παραπλήσια εκείνης του αλουμινίου. Πλεονέκτημα των αγωγών από κράματα αλουμινίου είναι ή ομοιογένεια του υλικού τους, λόγω της οποίας αποφεύγονται και ορισμένα προβλήματα ηλεκτρολυτικής διαβρώσεως, τα όποια εμφανίζει πολλές φορές ή συνύπαρξη δύο διαφορετικών μετάλλων, όπως το αλουμίνιο και ο χάλυβας στους αγωγούς ACSR, όπως και η απλούστευση των συνδέσεων και τερματισμών. Η ΔΕΗ χρησιμοποιεί αγωγούς κραμάτων αλουμινίου στις γραμμές μέσης τάσης.



Google Pics AAAC Αγωγός κράματος Αλουμινίου

#### **4.6 - ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ CORONA – ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ**

Υπό τις υψηλές τάσεις λειτουργίας των γραμμών μεταφοράς ή ένταση του ηλεκτροστατικού πεδίου πάνω στην επιφάνεια του αγωγού είναι ισχυρή και είναι σε θέση να προκαλέσει διάσπαση του αέρα γύρω από αυτόν. Η διάσπαση αυτή, η οποία είναι γνωστή ως εκκένωση "corona" συνοδεύεται από θόρυβο, ο οποίος μοιάζει με τριγμό και είναι αισθητός πολλές φορές κοντά στις γραμμές μεταφοράς ή υποσταθμούς υψηλής τάσεως. Η εκκένωση corona έχει ως αποτέλεσμα μια κατηγορία απωλειών ενέργειας και αποτελεί πηγή ταλαντώσεων υψηλής συχνότητας, οι οποίες παρενοχλούν παρακείμενες εγκαταστάσεις ή συσκευές τηλεπικοινωνιών και ειδικότερα, τις

ραδιοφωνικές. Στόχος είναι φυσικά ή corona να αποφεύγεται η να ελαχιστοποιείται.

Ο πιο αποτελεσματικός τρόπος μείωσης της εντάσεως του ηλεκτρικού πεδίου, προς μείωση τού φαινόμενου corona είναι ή αύξηση της ακτίνας καμπυλότητας όλων των εκτεθειμένων αγώγιμων επιφανειών, δεδομένου ότι για ορισμένη τάση το πεδίο εξαρτάται σημαντικά από τη γεωμετρία των αγωγών. Στην περίπτωση γραμμών μεταφοράς αυτό επιτυγχάνεται με τη χρησιμοποίηση αγωγών με μεγαλύτερες διαμέτρους και για κάθε επίπεδο τάσης λειτουργίας βρίσκεται η κατά προσέγγιση ελάχιστη διατομή προς αποφυγή της corona. Στις μικρότερες τάσεις το απαιτούμενο από τη μηχανική αντοχή ή την ικανότητα φορτίσεως μέγεθος τού αγωγού, υπερβαίνει σχεδόν πάντοτε την ελάχιστη αυτή διατομή. Για τις υψηλότερες όμως τάσεις, τις μεγαλύτερες περίπου από 110 kV, η ελάχιστη διατομή καθορίζεται συχνά από τούς περιορισμούς τής corona σε τιμή μεγαλύτερη από εκείνη, την οποία θα απαιτούσαν οι άλλες συνθήκες. Οι αγωγοί ACSR, οι όποιοι έχουν μεγαλύτερη διάμετρο για δεδομένη αντοχή και αγωγιμότητα από τούς αντίστοιχους αγωγούς χαλκού, πλεονεκτούν έναντι των τελευταίων από απόψεως corona. Προς αντιμετώπιση του φαινόμενου corona στους αγωγούς χαλκού αναπτύχθηκαν οι καλούμενοι "κοίλοι αγωγοί" χαλκού, οι οποίοι έχουν αυξημένη διάμετρο για ορισμένη αγωγιμότητα και αντοχή. Αυτοί αποτελούνται από κυκλικούς ή πεπλατυσμένους κλώνους διατεταγμένους στην περιφέρεια κύκλου, του όποιου το εσωτερικό μένει κενό, προσδίδοντας στους αγωγούς σωληνωτή δομή.



**Κοίλος Αγωγός Χαλκού**



**Κοίλος Αγωγός Χαλκού με διαμήκη αγωγήμη δοκό**

Οπωσδήποτε ή αντιμετώπιση των προβλημάτων της corona στις εξαιρετικά υψηλές τάσεις μεταφοράς με αύξηση της διαμέτρου των αγωγών δεν είναι συμφέρουσα και για το λόγο αυτόν εφαρμόζεται κατά κανόνα ή πλεονεκτικότερη τεχνική των πολλαπλών αγωγών ανά φάση. Αυτή συνίσταται στον εξοπλισμό κάθε φάσεως της γραμμής με δύο, τρεις, τέσσερις ή και περισσότερους αγωγούς με κατάλληλο διάστημα μεταξύ τους, το άθροισμα των διατομών των οποίων αποτελεί την ολική διατομή του πολλαπλού αγωγού. Η χρησιμοποίηση πολλών αγωγών ανά φάση, έχει ως αποτέλεσμα μία σοβαρή μείωση της επιφανειακής εντάσεως του ηλεκτρικού πεδίου, καθενός από τους αγωγούς αυτούς και αντίστοιχη μείωση της corona και των συνεπειών της. Η μείωση της εντάσεως του ηλεκτρικού πεδίου οφείλεται γενικώς στην ισοκατανομή του ηλεκτρικού φορτίου, το οποίο αντιστοιχεί σε ορισμένη τάση, σε όλους τους επί μέρους αγωγούς. Στις γραμμές 150 kV του ελληνικού συστήματος μεταφοράς χρησιμοποιούνται απλοί αγωγοί, ενώ στις γραμμές 400 kV δύο αγωγοί ανά φάση, ο καθένας διατομής 954 MCM (διατομή πολλαπλού αγωγού φάσεως 2 x 954 MCM).

#### **4.7 - ΑΓΩΓΟΙ ΓΕΙΩΣΗΣ**

Οι αγωγοί γης, οι οποίοι δεν διαρρέονται από ρεύμα υπό κανονικές συνθήκες, είναι συνήθως χαλύβδινοι και αποτελούνται από συνεστραμμένους κλώνους. Οι αγωγοί γης διαρρέονται από ρεύματα βιομηχανικής συχνότητας κατά τη διάρκεια μονοφασικών ή διφασικών προς γη βραχυκυκλωμάτων και από κρουστικά ρεύματα, όταν πλήττονται από κεραυνό. Εν τούτοις, η διάρκεια των ρευμάτων αυτών είναι τόσο μικρή, ώστε η ικανότητα φορτίσεως των χαλύβδινων αγωγών να επαρκεί για τα ρεύματα αυτά. Εάν όμως για οποιοδήποτε λόγο απαιτούνται αυξημένες αγωγιμότητες αγωγών γης, τότε είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν αγωγοί αλουμινίου με ενίσχυση χάλυβα. Στις ελληνικές γραμμές μεταφοράς χρησιμοποιούνται χαλύβδινοι αγωγοί γης, διαμέτρου 9,4 mm στις γραμμές 150 kV, και 12,6 mm στις γραμμές 400 kV.

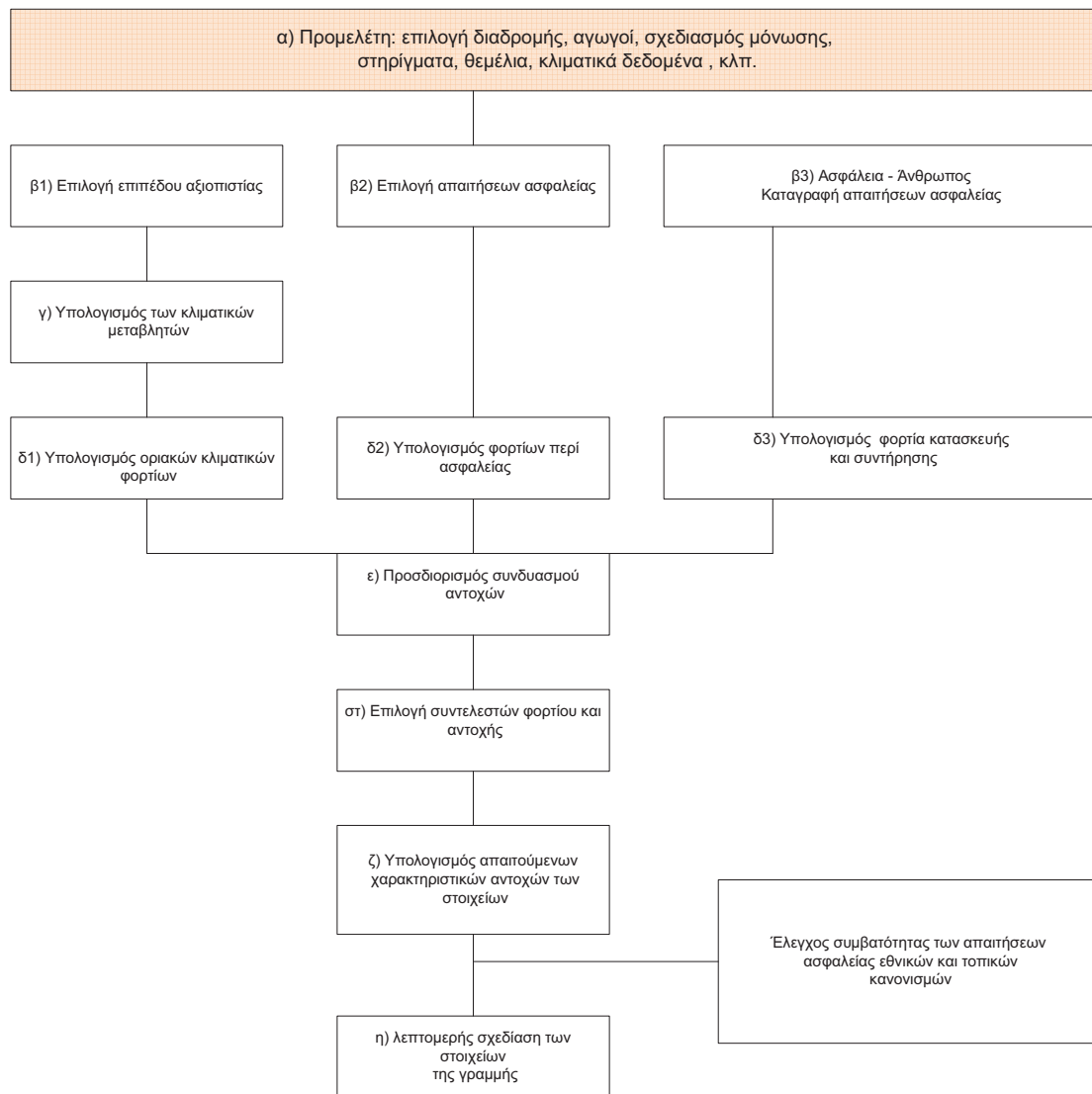
#### 4.8 - Λοιποί εξοπλισμοί

Στα προηγούμενα θέματα της πτυχιακής εργασίας περιγράφηκαν σε γενικά πλαίσια τα στοιχεία των γραμμών μεταφοράς. Το πλήρες σύστημα μεταφοράς περιλαμβάνει σημαντικό ακόμη εξοπλισμό και συσκευές απαραίτητες για τη λειτουργία και προστασία του, όπως είναι οι διακόπτες ισχύος, οι αποζεύκτες, οι μετασχηματιστές τάσεως και εντάσεως, τα αλεξικέραυνα και ο λοιπός εξοπλισμός των υποσταθμών. Οι διακόπτες ισχύος λειτουργούν κατά βούληση, για καθορισμό της λειτουργικής διάταξης του δικτύου και αυτόματα για προστασία του σε περίπτωση βλάβης. Τα αλεξικέραυνα αποσκοπούν στην προστασία του εξοπλισμού του δικτύου από τις επικίνδυνες για τις μονώσεις υπερτάσεις. Υπάρχουν επίσης ολόκληρα βοηθητικά συστήματα προστασίας και έλεγχου για την εξυπηρέτηση της λειτουργίας του συστήματος μεταφοράς ή για την αντιμετώπιση ανώμαλων καταστάσεων.

Η περιγραφή και η θεωρία των ανωτέρω συσκευών και βοηθητικών συστημάτων βρίσκονται εκτός της περιοχής ανάλυσης της παρούσας πτυχιακής εργασίας όσο αφορά τις γραμμές μεταφοράς και αποτελεί αντικείμενο ιδιαίτερων κεφαλαίων της τεχνικής των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας και δε θα εστιάσουμε σε αυτά περαιτέρω μιας και ο σκοπός της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας όπως έχουμε πει είναι η μεθοδολογία σχεδιασμού και κατασκευής γραμμών μεταφοράς (πρότυπο IEC-60826).

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΕΝΑΕΡΙΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΒΑΣΕΙ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ IEC-60826

Η μελέτη αυτή βασίζεται στο διεθνές πρότυπο IEC 60826 το οποίο πρότυπο έχει ως σκοπό : Να ορίζει τις απαιτήσεις φορτίων και αντοχών των εναέριων γραμμών μεταφοράς από 45 kV και πάνω με βάση την αξιοπιστία.



**IEC-60826 Διάγραμμα βημάτων μεθοδολογίας**



Όπως φαίνεται και στο παραπάνω διάγραμμα η μεθοδολογία που ακολουθείται για τον σχεδιασμό μιας γραμμής μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και εισαγωγής της στο δίκτυο αποτελείται από κάποια βήματα που είναι και το βασικό θέμα της μελέτης αυτής. Αυτά τα βήματα θα τα αναλύσουμε παρακάτω :

### **ΒΗΜΑ α) Προμελέτη: επιλογή διαδρομής, αγωγοί, σχεδιασμός μόνωσης, φορείς, θεμέλια, κλιματικά δεδομένα , κλπ.**

Μια γραμμή μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας κατά το σχεδιασμό της οφείλει να πληρεί τους κατασκευαστικούς κανόνες και τις αρχές των προδιαγραφών της μηχανικής σχεδίασης. Θα πρέπει να είναι συνεπής με τα σύγχρονα στάνταρντ (πρότυπα), τους κανονισμούς, τις οδηγίες, και τις σχετικές προβλέψεις.

#### **ΠΡΟΜΕΛΕΤΗ**

Η πρώτη φάση σχεδιασμού όπως είπαμε είναι η συγγραφή της προμελέτης. Αποτελεί τη βάση του κατασκευαστικού σχεδιασμού. Τα ζητήματα που καλείται να αναλύσει η προμελέτη αυτή έχουν να κάνουν με τομείς όπως :

- Προσδιορισμός των αρχών σχεδιασμού.
- Επιλογή της διαδρομής δικτύου βάσει και του οικονομικού παράγοντα.
- Επιλογές τοποθέτησης, χωροταξίας και ανάλογες διευθετήσεις που πρέπει να επιχειρηθούν.
- Γραμμές καλωδίωσης και γραμμές φωτισμού.
- Συνδυασμός των μονώσεων και σχεδιασμός της αντικεραυνικής προστασίας.
- Διάφορα θέματα ηλεκτρικής φύσεως όπως και ο βέλτιστος υπολογισμός των αποστάσεων (ανοίγματα) των αγωγών (μεταξύ τους και από το έδαφος).
- Επιλογή κατάλληλου τύπου πυλώνα όπως και της θεμελίωσης αυτού.

- Επίσης στην λογική της σύνθεσης της προμελέτης μπαίνουν και στοιχεία τα οποία ασχολούνται με τις τυχόν παρεμβολές στις τηλεπικοινωνίες και το πώς η γραμμή μεταφοράς δε θα δημιουργεί προβλήματα σε αυτές.
- Τι προβλέπεται για μολυσματικές περιοχές (π.χ. σκουπιδότοποι, περιοχές με ραδιενέργεια, και άλλα).
- Τι προβλέπεται για περιοχές ισχυρών ανέμων ή περιοχές με παγετό και βαρύ χειμώνα. Τι προβλέπεται για περιοχές κοντά σε θάλασσα.
- Τι προβλέπεται για περιοχές δυσμενών γεωλογικών συνθηκών και περιοχές με κίνδυνο κατολισθήσεων ή κίνδυνο πλημμύρας.
- Η προμελέτη επίσης ασχολείται στην ανάδειξη του τρόπου συλλογής μετεωρολογικών δεδομένων ανά περιοχή.
- Με βάση τα γεωλογικά χαρακτηριστικά γίνονται και οι υπολογισμοί του μηχανικού σχεδιασμού.
- Όλα τα παραπάνω, έχουν ένα κοινό παρονομαστή που δεν είναι άλλος από τον οικονομικό παράγοντα.

Στην περίπτωση λοιπόν της ανάγκης κατασκευής μια γραμμής μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας όπως είπαμε γίνεται η κατάρτιση της προμελέτης. Εκεί γίνεται η καταχώρηση των διεργασιών σχεδίασης που απαιτούνται και δημιουργείται έτσι μια σειρά προαπαιτούμενων διενεργειών. Αυτές οι εργασίες (σχεδιασμός κατασκευής) υπόκεινται σε έλεγχο και απαιτούν έγκριση. Εξετάζεται λοιπόν αν συμφωνούν οι εργασίες αυτές με τον σχεδιασμό συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας και τις γενικότερες ντιρεκτίβες (οδηγίες) του κράτους αλλά και των ευρωπαϊκών και διεθνών προτύπων. Συνήθως τίθενται τα νομικά ζητήματα που εγείρονται στο συμβόλαιο που υπογράφουν οι κατασκευαστές με τους σχεδιαστές του εν λόγω εγχειρήματος.

Η προμελέτη ως βάση σχεδιασμού περιγράφει το μέγεθος και το στόχο της σχεδίασης. Η κλίμακα του μηχανικού σχεδιασμού βασίζεται στα προαπαιτούμενα που ορίζει το κράτος. Εκεί υποδεικνύονται διάφορα θέματα όπως τα επίπεδα τάσης του κομματιού του δικτύου που εξετάζεται, η ικανότητα μετάδοσης ηλεκτρικής ενέργειας, όπου καθοριστικό ρόλο παίζει η επιλογή της διαδρομής και η ανάλυση των εμποδίων που συναντά η γραμμή,

όπως και το αντιπροσωπευτικό δείγμα των υλικών που θα χρειαστούν για την διεκπεραίωση της κατασκευής. Επίσης ορίζονται οι κατευθύνσεις των γραμμών, τα ανάλογα μήκη, οι διάφοροι βρόγχοι (εδώ σε ένα σύστημα καταγραφής υπάρχει ονομαστική και αριθμητική 'ταυτότητα' της γραμμής μεταφοράς), το μέσον σημείο της καθόδου (καμπύλη ανοίγματος) αλλά και οι τρόποι των συνδέσεων. Στην κατάρτιση εμπεριέχεται επίσης ο σχεδιασμός των φορέων της γραμμής (επιλογή κατάλληλου πυλώνα ανά περιοχή), η αντιμετώπιση των παρεμβολών στις τηλεπικοινωνίες, ο σχεδιασμός της αντικεραυνικής προστασίας όπως και διαφορές άλλες μηχανικές εκτιμήσεις με κοινό σημείο όλων των παραπάνω να είναι ο προϋπολογισμός και το κόστος κατασκευής. Στο κόστος θα πρέπει να υπολογίζονται επίσης λειτουργικά έξοδα και έξοδα συντήρησης, έξοδα βοηθητικού εξοπλισμού και έξοδα που αφορούν άλλους παράγοντες στην σχεδίαση κατασκευής.

Επίσης πρέπει να γίνεται πρόβλεψη στο τι γίνεται στην περίπτωση που η γραμμή μεταφοράς για κάποιον λόγο (π.χ. βλάβη) πρέπει να τεθεί εκτός δικτύου. Πρέπει δηλαδή να υπάρχει το step-down που χρησιμοποιείται στην αγγλική ορολογία, το 'κατέβασμα' της γραμμής. Πρέπει να προβλέπεται και για τις δυο κατευθύνσεις της γραμμής ύπαρξη προσωρινών γραμμών μέσω υποσταθμών και σταθμών συντήρησης. Στην κατάρτιση ορίζεται το χρονοδιάγραμμα και οι μονάδες κατασκευής. Υπολογίζονται και παρατίθενται οικονομοτεχνικοί δείκτες και δείκτες κατανάλωσης των υλικών. Σαφώς ένα ξεχωριστό κεφάλαιο της κατάρτισης είναι η ανάλυση του κόστους, σε ολικό κόστος σχεδιασμού και κατασκευής αλλά και επιμέρους κόστη όπως ολικό κόστος ανά χιλιόμετρο κατασκευής, δείκτες κατανάλωσης αγωγών ανά χιλιόμετρο, κόστος προστατευτικών αγωγών, κόστος αγωγών και μονωτήρων που χρησιμοποιούνται στη φάση της αντικεραυνικής προστασίας, κόστος φορέων, κόστος θεμελίωσης, κόστος ανάρτησης και σύνδεσης, υλικά μονώσεων και διάφορα άλλα θέματα.

Ένα άλλο ζήτημα και κεφάλαιο της κατάρτισης της προμελέτης αποτελεί ο σχεδιασμός του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας και τις προδιαγραφές της ένταξης της γραμμής σε αυτό. Σημειώνονται όλοι οι τερματικοί και ενδιάμεσοι υποσταθμοί που συναντά η γραμμή μεταφοράς και γίνεται προσανατολισμός

της κατεύθυνσης της γραμμής. Παρέχονται επίσης λεπτομέρειες των χαρακτηριστικών στοιχείων που διέπουν την διαδρομή που έχει επιλεγεί. Γίνεται επιλογή δυο και τριών εναλλακτικών διαδρομών και σύγκριση μεταξύ τους για πιθανά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και βασιζόμενοι στις συγκρίσεις αυτές καταλήγουν στην βέλτιστη επιλογή της διαδρομής.

Οι λεπτομέρειες αυτές που συναντά κάποιος στην διαδρομή της γραμμής μεταφοράς είναι η πιθανότητα ύπαρξης συγκεκριμένης μορφής εμποδίων όπως π.χ. σιδηροδρομικές γραμμές, αυτοκινητόδρομοι, ποτάμια ή λίμνες και διάφορες άλλες συνθήκες που αποτελούν εμπόδιο κατά μήκος της διαδρομής. Τα κύρια προβλήματα έχουν να κάνουν με τη τοπογραφία και τη μορφή του εδάφους, τον υδροφόρο ορίζοντα και το κατά πόσο επηρεάζει τη θεμελίωση των πυλώνων, οι γεωλογικές και γεωμορφολογικές συνθήκες που επικρατούν, αν μιλάμε π.χ. για σαθρό έδαφος, περιοχές όπου επικρατούν ειδικά καιρικά φαινόμενα, περιοχές σκουπιδιών όπως π.χ. χωματερές, περιοχές δασώδεις και γενικά προστατευμένες περιοχές, δύσβατες ορεινές περιοχές κλπ. Οι λεπτομέρειες λοιπόν αυτές αφορούν σε οτιδήποτε μπορεί να σταθεί και να αποτελέσει εμπόδιο κατά μήκος της γραμμής μεταφοράς. Στην κατάρτιση της προμελέτης περιγράφονται όλα τα μειονεκτήματα και ίσως πλεονεκτήματα που αφορούν όλες τις παραπάνω λεπτομέρειες.

Εκτός βέβαια της τεχνικής σύγκρισης των διαδρομών μεγάλη βάση θα πρέπει επίσης να δίνεται στην ασφαλή λειτουργία της γραμμής ως προς τον άνθρωπο αλλά και ως προς το υπόλοιπο δίκτυο, στην γενικότερη διευκόλυνση της κατασκευής, το χαμηλότερο δυνατό κόστος αλλά και την αποτελεσματική αντιμετώπιση των όποιων εμποδίων, την διασφάλιση της κατασκευής όπου απαιτούνται μεγάλα ανοίγματα, καθώς αυτές θεωρούνται και οι πιο δύσκολες περιπτώσεις και μια σειρά άλλων περιπτώσεων που χρίζουν περαιτέρω ανάλυσης και σύγκρισης.

Οι μετεωρολογικές συνθήκες είναι και αυτές ένα κεφάλαιο στην κατάρτιση της προμελέτης και χρίζουν πάντα ανάλυσης. Η συλλογή και η εμπειρία των δεδομένων των καιρικών φαινομένων και δεδομένων ανά περιοχή είναι απαραίτητη για τον σχεδιασμό της γραμμής μεταφοράς. Σε τέτοιες

περιπτώσεις ενδιαφέρουν κυρίως τα δύσκολα (ακραία) καιρικά φαινόμενα αλλά και παράγοντες που δεν είναι περιοδικοί όπως π.χ. μια φυσική καταστροφή κλπ. Υπάρχει ως εκ τούτου ανάγκη ανάλυσης των μετεωρολογικών φαινομένων και καταγραφή των δεδομένων ανά περιοχή. Οι πληροφορίες που καταγράφονται έχουν να κάνουν με τιμές της μεγίστης ταχύτητας του ανέμου, τα επίπεδα επικαθήσεως του πάγου, τους συνδυασμούς πάγου και αέρα, τον προσδιορισμό της ετησίας μέσης θερμοκρασίας, τιμές χαμηλότερης και υψηλότερης θερμοκρασίας, την καταγραφή καταιγίδων ημερολογιακά (κεραυνικά πλήγματα), όπως και άλλα φαινόμενα. Ανάλογα λοιπόν με την μετεωρολογική ζώνη θα πρέπει βάσει των δεδομένων που προκύπτουν να γίνουν και οι ανάλογες τροποποιήσεις και σωστές επιλογές εξοπλισμού.

Σε άλλα θέματα η κατάρτιση της προμελέτης ασχολείται με τα τεχνικά χαρακτηριστικά που αφορούν τα ηλεκτρικά μέρη και εξαρτήματα. Ο μηχανικός σχεδιασμός βάσει των προαπαιτούμενων του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει να περιγράφει τις κύριες μηχανικές και ηλεκτρικές ιδιότητες ανάλογα με το τι συναντάμε κατά μήκος της διαδρομής της γραμμής μεταφοράς. Υπάρχουν σημεία που θα πρέπει να είναι ειδικής φύσεως τα εξαρτήματα όπως π.χ. αντιδιαβρωτικά καλώδια, συστήματα αντικραδασμού των αγωγών, πιθανή ανάγκη μετατόπισης αγωγών λόγω προβληματικού εδάφους, αποστάσεις ανοιγμάτων (εκεί χρειάζονται καλύτερα υλικά λόγω μεγάλων δυνάμεων εφελκυσμού και τάνυσης που ασκούνται στις συνδέσεις και στους φορείς), αλλά και αποστάσεις αγωγών από το έδαφος σύμφωνα με τους κανονισμούς. Επίσης γίνεται ανάλυση όσο αφορά τις γειώσεις. Σύμφωνα με τους κανόνες σχεδίασης, μετά από αναλύσεις και συγκρίσεις για τον προσδιορισμό του προτύπου της αντικεραυνικής γραμμής (φάσης) γίνεται και ανάλυση προδιαγραφών και απόδοσης αυτής. Επιχειρείται ανάδειξη του τύπου καλωδίωσης και των μονωτήρων που θα αναρτηθούν στην γραμμή μεταφοράς. Επισημαίνεται ο τρόπος που θα γίνει η αντικραδασμική προστασία, οι αποστάσεις που πρέπει να έχουν τα κενά των μονωτήρων μεταξύ τους αλλά και οι αποστάσεις των αγωγών μεταξύ τους. Ανάλογα με την μορφή του εδάφους και την σύστασή του υποδεικνύονται οι προϋποθέσεις μόνωσης και τα εξαρτήματα που θα χρησιμοποιηθούν για την επίτευξή της.

Σύμφωνα με τις συνθήκες φόρτου και τις προαπαιτούμενες αποδόσεις των αγωγών για την αντιμετώπιση του φαινομένου corona πρέπει να γίνει και η σωστή επιλογή τους. Υπάρχει και αναφορά στην αποφυγή αλλοίωσης των ραδιοφωνικών συχνοτήτων και το πως επιτυγχάνεται αυτό. Αναλύεται επίσης ο τρόπος επιλογής των πυλώνων και των πύργων και ο τρόπος θεμελίωσης τους. Εδώ βασικό ρόλο παίζει ο τύπος και η μορφολογία του εδάφους, βάσει της οποίας γίνεται και η επιλογή του πυλώνα. Σημαντικός παράγοντας και παρονομαστής σε όλα αυτά αποτελεί ο οικονομικός παράγοντας. Ανάλογα με τα ποσά χάλυβα και τσιμέντου, όσο αφορά τους πυλώνες και τη θεμελίωσή τους, αυξάνεται το ολικό κόστος. Οι επιλογές των πυλώνων βασίζονται στην εμπειρική γνώση που συμπερασματικά αποκτάται από τα επιστημονικά πειράματα που γίνονται για να επιτευχθεί το είδος πυλώνα που χρειάζεται. Ιδιότητες όπως : η κατασκευαστική αντοχή του πυλώνα - στην μέγιστη ταχύτητα ανέμου, στο βάρος του επικαθήμενου πάγου, στις διαβρώσεις που μπορεί να προκληθούν από τους συνδυασμούς αέρα και πάγου, στο είδος του ανοίγματος (γωνία), το μέγιστο δυνατό άνοιγμα που κατασκευαστικά αντέχει ο πυλώνας, οι αποστάσεις των αγώνων μεταξύ δυο φορέων, το ύψος του πυλώνα, το ίδιο το βάρος του αλλά και την ίδια την αρχή κατασκευής του πυλώνα (προορισμός).

Η επιλογή του κατάλληλου τύπου πυλώνα είναι συνυφασμένη με τη τοπογραφία, την μορφολογία του εδάφους, τον υδροφόρο ορίζοντα, αλλά και από τον συσχετισμό δυνάμεων που θα επιληφθεί να εξυπηρετήσει ο πυλώνας, αλλά και το τρόπο θεμελίωσης, την περιγραφή των βασικών χαρακτηριστικών στοιχείων κάθε τύπου πυλώνα, πρακτικές τοποθέτησης κλπ.. Και πάλι ο παράγοντας κόστος καθορίζει τις αποφάσεις. Στον προϋπολογισμό γίνεται αναλυτική περιγραφή της κατανάλωσης των υλικών που απαιτούνται, καθώς και οι σχετικοί τεχνικοοικονομικοί δείκτες. Όσο πιο δυσμενές το έδαφος, τόσο πιο ειδική η ανάγκη θεμελίωσης του πυλώνα άρα και η πιθανή αύξηση του κόστους.

Ειδικό σημείο αποτελεί ο σχεδιασμός μεγάλου ανοίγματος καθώς μπορεί να υπάρχει αυτή η ανάγκη με τη παρουσία κάποιου εμποδίου όπως π.χ. ένας πόταμος, μια λίμνη, ορεινή περιοχή κλπ.. Εδώ υπάρχει αυξημένος κίνδυνος

ατυχήματος καθώς μεγαλώνουν κατά πολύ οι δυνάμεις που ασκούνται στους πυλώνες και τους αγωγούς. Όπως καταλαβαίνει κανείς σε τέτοιες περιπτώσεις, όπως π.χ. μιας ορεινής περιοχής, υπάρχουν δυσκολίες στην πρόσβαση, στην μεταφορά υλικών και στην διεκπεραίωση επιδιορθώσεων. Σε τέτοιες λοιπόν περιπτώσεις γίνεται ειδική ανάλυση στην επιλογή πυλώνα και αγωγών.

Ένα συμπέρασμα που μπορεί εύκολα κανείς να βγάλει όσο αφορά την κατάρτιση μιας τέτοιας προμελέτης για τον σχεδιασμό κατασκευής μια γραμμής μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας είναι η πολυπλοκότητα του αντικειμένου εργασίας.



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΒΗΜΑ β1) Επιλογή επιπέδου αξιοπιστίας**

Ο σκοπός που έχει ο σχεδιασμός κατασκευής που βασίζεται στην έννοια της αξιοπιστίας, είναι το τελικό αποτέλεσμα να μας δίνει ένα σύστημα το οποίο είναι συγχρόνως και οικονομικό αλλά και δυναμικό. Για να επιτευχθεί όμως αυτό οι αποφάσεις σχεδιασμού θα πρέπει να είναι στο βέλτιστο επίπεδο σε σχέση με τον παράγοντα της αβεβαιότητας. Οι απαιτήσεις αξιοπιστίας στοχεύουν στο να εξασφαλίσουν ότι οι γραμμές μπορούν να αντέξουν τα προκαθορισμένα κλιματικά φορτία (άνεμο, πάγο, συνδυασμό πάγου και άνεμου, σε χρονική περίοδο T) και τα φορτία που προέρχονται από αυτά τα γεγονότα κατά τη προβλεπόμενη διάρκεια του συστήματος και να μπορούν να προσφέρουν απρόσκοπτα υπηρεσίες κάτω από αυτές τις συνθήκες. Αν και η αβεβαιότητα μπορεί να μειωθεί σε κάποιο βαθμό μέσω πειραματικών διαδικασιών και συλλογή στατιστικών δεδομένων που προκύπτουν από έρευνα, παραμένει όμως σημαντικός παράγοντας και αυτό οφείλεται στην μεταβλητότητα των φορτίων, στην ποιότητα κατασκευής, σε λάθη στην κατασκευή εξαρτημάτων και την φυσική φθορά του συστήματος της γραμμής μεταφοράς. Συγκεκριμένα ο παράγοντας της αβεβαιότητας όσο αφορά τα καιρικά και περιβαλλοντικά φορτία έχει οδηγήσει στην επανεξέταση των υπάρχοντων προτύπων σχεδιασμού γραμμών μεταφοράς όπως και των πρακτικών αναβαθμίσεων τους.

Ο σχεδιασμός βάσει της αξιοπιστίας οφείλει να λαμβάνει υπόψη του την πιθανότητα να συμβεί ένα δυσμενές γεγονός και συνάμα την συνέπεια που θα έχει αυτό το γεγονός εάν και όταν τελικά συμβεί, για να ορίσει το βέλτιστο τρόπο σχεδιασμού. Οι συνέπειες που προκύπτουν, συνήθως αφορούν οικονομικούς παράγοντες, όπως το κόστος επισκευών, το κόστος αποκατάστασης, την ανθρώπινη ασφάλεια, αλλά και καταστάσεις ενόχλησης και φθορών του καταναλωτή. Η κατασκευαστική αποτυχία της γραμμής μεταφοράς είναι ένα γεγονός με πολυάριθμες δυσμενείς συνέπειες που περιλαμβάνουν κίνδυνο διακοπής της παροχής ρεύματος, κόστος για αποκατάσταση εξαρτημάτων και διάφορα αλλά. Όταν σχεδιάζονται καινούριες γραμμές μεταφοράς ή επαναξιολογούνται παλαιότερες (ήδη εγκατεστημένες)

είναι επιθυμητό να υπάρχει περιορισμός των εξόδων διατηρώντας παράλληλα μια αποδεκτή μικρή πιθανότητα αποτυχίας. Οι παροχές ηλεκτρικής ενέργειας ανά το κόσμο έχουν αναγνωρίσει την αξία του σχεδιασμού βάσει της αξιοπιστίας.

Υπάρχουν προτάσεις που λένε ότι η βέλτιστη ετήσια πιθανότητα αποτυχίας της γραμμής μεταφοράς θα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 0,1% και 1%, ανάλογα με τις συνέπειες της αποτυχίας. Οι αποδεκτές πιθανότητες αποτυχίας σε αυτή την εμβέλεια αντιστοιχούν σε καιρικά φορτία περιόδων 50 μέχρι 500 χρόνια ζωής. Οι γραμμές μεταφοράς μπορούν να σχεδιαστούν για διαφορετικά επίπεδα αξιοπιστίας (ή τάξεις). Για τους σκοπούς του προτύπου, το επίπεδο αναφοράς της αξιοπιστίας ορίζεται ως, η αξιοπιστία μιας γραμμής σχεδιασμένη για περίοδο 50 χρόνων καιρικών φαινομένων με ένα επιπλέον 10%, να αποτελεί το όριο αποκλεισμού της αντοχής (εφαρμόζεται για τα στοιχεία που επιλέγονται ως τα λιγότερο αξιόπιστα). Αυτό το επίπεδο αναφοράς της αξιοπιστίας θεωρείται γενικά ότι παρέχει ένα αποδεκτό επίπεδο αξιοπιστίας σε θέματα ασφαλείας και συνεχούς εξυπηρέτησης. Οι γραμμές μπορούν να σχεδιαστούν για υψηλότερα επίπεδα αξιοπιστίας με την αύξηση της περιόδου T των καιρικών φαινομένων. Μια μεγαλύτερη αξιοπιστία μπορεί να δικαιολογηθεί για παράδειγμα, από τη σημασία της γραμμής στο δίκτυο. Τρία επίπεδα αξιοπιστίας προτείνονται στο πρότυπο και γίνεται η υπόθεση ότι καλύπτουν το εύρος των τιμών που λαμβάνονται υπόψη για τις περισσότερες γραμμές μεταφοράς. Αυτά τα επίπεδα εκφράζονται σε σχέση με τις περιόδους των οριακών κλιματικών φορτίων όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

#### Π.6.1 - Τα επίπεδα αξιοπιστίας για γραμμές μεταφοράς

Επίπεδα αξιοπιστίας	1	2	3
T, περίοδος κλιματικών οριακών φορτίων, σε χρόνια	50	150	500

*ΣΗΜΕΙΩΣΗ* Ορισμένοι εθνικοί κανόνες ή / και κώδικες πρακτικής, μερικές φορές επιβάλλουν άμεσα ή έμμεσα, απαιτήσεις σχεδιασμού που μπορεί να περιορίσει την επιλογή που προσφέρεται στους κατασκευαστές. Άλλες τιμές του T από 50 έως 500 χρόνια, όπως 100, 200 και 400 χρόνια, μπορεί να χρησιμοποιούνται αν δικαιολογούνται από τις τοπικές συνθήκες.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, απαιτήσεις μεμονωμένης χρησιμότητας μπορεί να υπαγορεύσουν διαφοροποιήσεις, που εξαρτώνται από τη κατάλληλη βελτιστοποίηση μεταξύ αρχικού κόστους της γραμμής και το κόστος των μελλοντικών ζημιών, καθώς και για αβεβαιότητες που σχετίζονται με εισαγόμενες παραμέτρους του σχεδιασμού.

Σε αντίθεση με τον παραδοσιακό σχεδιασμό, η προσέγγιση ενός σχεδιασμού βάσει της αξιοπιστίας θα πρέπει να αναγνωρίζει τις τυχαίες ποσότητες όσο αφορά το φόρτο και τις αντιστάσεις και να συλλέγει επαρκή δεδομένα ώστε να μπορέσει να υπολογίσει τη διανομή αυτών των τυχαίων ποσοτήτων. Επιπρόσθετα, λόγω του ότι τα φορτία και οι αντοχές διαφοροποιούνται σε συνάρτηση με το χρόνο και επειδή το κόστος συντήρησης η αποκατάστασης βλάβης συσσωρεύεται με το χρόνο, ο χρόνος ζωής του συστήματος θα πρέπει να υπολογίζεται πολύ προσεκτικά. Με άλλα λόγια, ενώ ο παραδοσιακός σχεδιασμός τυπικά εισάγει μονάχα χαρακτηριστικές τιμές των παραμέτρων φόρτου και αντοχών, μαζί με εμπειρικές γνώσεις παραγόντων ασφαλείας, εν αντιθέσει, ο σχεδιασμός βάσει της αξιοπιστίας πρέπει να γνωρίζει και να καταγράφει ένα αριθμό στοιχείων, όπως : το κόστος κατασκευής, το κόστος συντήρησης, το κόστος αποτυχίας, την ολική διανομή όλων των τυχαίων παραμέτρων φόρτου και αντοχών, αλλά και πως μεταβάλλονται χρονικά όλες αυτές οι παράμετροι. Αυτό απαιτεί μεγαλύτερη συλλογή πληροφοριών που δεν υπάρχει μέχρι σήμερα.

### 6.1 - Προσεγγιστικές ετήσιες τιμές για την αξιοπιστία

Τα φορτία (Q) και οι αντοχές (R) είναι στοχαστικές μεταβλητές και η συνδυασμένη αξιοπιστία είναι υπολογίσιμη, αν οι στατιστικές συναρτήσεις του φορτίου Q και αντοχής R είναι γνωστές. **Η προϋπόθεση για μια γραμμή να είναι αξιόπιστη, είναι όταν οι επιδράσεις των φορτίων είναι λιγότερες από τις δυνάμεις αντοχής της γραμμής.** Ο όρος αξιοπιστίας μεταφράζεται στην ακόλουθη εξίσωση :

Ετήσια αξιοπιστία (πιθανότητα επιβίωσης) = 1 - Ετήσια πιθανότητα αποτυχίας

$$1 - \int_{-0}^{+\infty} f_{(Q)} \times F_{(R)} \times dQ \quad \text{E.6.1}$$

όπου

$f_{(Q)}$  είναι η συνάρτηση πιθανότητας υστέρησης του φορτίου Q

$F_{(R)}$  είναι η συνάρτηση αθροιστικής κατανομής της αντοχής R

*ΣΗΜΕΙΩΣΗ η συνάρτηση αθροιστικής κατανομής είναι το ολοκλήρωμα της συνάρτησης πιθανότητας υστέρησης, δηλαδή*

$$F_{(R)} = \int_{-\infty}^{+\infty} f_{(R)} \times dR \quad \text{E.6.2}$$

Όταν η χαρακτηριστική αντοχή, που θεωρείται ότι είναι η αντοχή που υπερβαίνεται με 90% πιθανότητα (δηλαδή το όριο αποκλεισμού είναι 10%), είναι ίση με το φορτίο  $Q_T$  (για περίοδο T), διάφοροι συνδυασμοί πιθανοτήτων οδηγούν σε μια θεωρητική ετήσια ελάχιστη αξιοπιστία της τάξης  $1 - 1/2T$ . Η πραγματική αξιοπιστία μπορεί να είναι διαφορετική εάν τα δεδομένα εισόδου φορτίου και αντοχής δεν είναι επαρκώς εύστοχα ή διαθέσιμα. Στην τελευταία περίπτωση, η απόλυτη αξιοπιστία πιθανόν να μην είναι γνωστή, όμως, η τιμή της σε σχέση με ένα σχέδιο αναφοράς μπορεί να υπολογιστεί αν οι νέες παράμετροι της γραμμής είναι συγκρίσιμες με τις τιμές αναφοράς.

Η αξιοπιστία ενός συστήματος συναρτάται από την αξιοπιστία των επιμέρους στοιχείων του. Εδώ ταιριάζει η φράση : «Μια αλυσίδα είναι τόσο δυνατή όσο ο πιο αδύναμος της κρίκος». Άρα μπορούμε να βγάλουμε το συμπέρασμα ότι η αξιοπιστία της γραμμής μπορεί εκτιμηθεί παίρνοντας υπόψη το λιγότερο αξιόπιστο στοιχείο της. Τα στοιχεία λοιπόν της γραμμής είναι αυτά που μεμονωμένα αλλά και σαν σύνολο αποτελούν τη συνάρτηση αξιοπιστίας της γραμμής. Εάν τα στοιχεία αυτά είναι σε σειρά, τότε η ετήσια αξιοπιστία του συστήματος ( $P_{ss}$ ) δίνεται από το γινόμενο των επιμέρους στοιχείων ( $P_{si}$ ) της γραμμής που 'επιβιώνουν'.

$$P_{ss} = P_{s1} P_{s2} \dots P_{sn} \quad \text{E.6.3}$$

Όπως είπαμε η αξιοπιστία της γραμμής μπορεί να εκτιμηθεί από το λιγότερο αξιόπιστο στοιχείο της. Αυτό είναι ένα φυσικό επακόλουθο όσο αφορά τις γραμμές μεταφοράς. Κάποια στοιχεία (εξαρτήματα) μπορεί να υποστούν μεγαλύτερες καταπονήσεις ενώ άλλα μπορεί να έχουν κατασκευαστικά λάθη και άλλα πάλι να ευνοούνται από τις συνθήκες και να παρουσιάζουν καλύτερα επίπεδα αξιοπιστίας. Για παράδειγμα οι αγωγοί των γραμμών μεταφοράς σε περιοχές που δεν υπόκεινται σε δύσκολα καιρικά φαινόμενα, με την προϋπόθεση ότι έχουν εγκατασταθεί σωστά και προστατεύονται καλά από δυνάμεις εφελκυσμών και από τους κραδασμούς, είναι φυσιολογικό να θεωρούνται πιο αξιόπιστοι από κάποια άλλα στοιχεία όπως π.χ. ένας παλιός φορέας ή οι συνδέσεις των αγωγών σε κάποιο φορέα.

**6.2 - Εκτίμηση αξιοπιστίας της γραμμής.** Θεωρητικά, η αξιοπιστία της γραμμής (πιθανότητα επιβίωσης) μπορεί να εκτιμηθεί ως εξής :

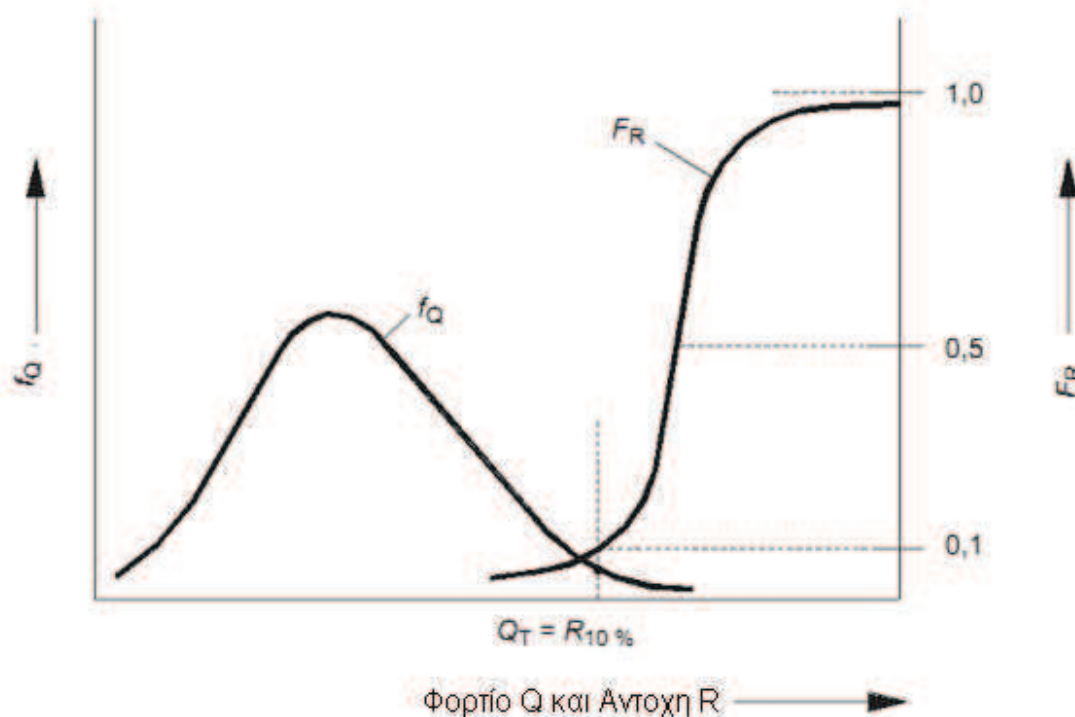
- 1) Πρέπει να καθοριστεί η συνάρτηση φόρτου  $f_Q$  (συνάρτηση πιθανότητας υστέρησης του φορτίου  $Q$ ). Αυτό εξαρτάται από το είδος των καιρικών φορτίων που αντιμετωπίζει η γραμμή. Στην ουσία η συνάρτηση αυτή μας υποδεικνύει ποια θα είναι η μέγιστη ένταση φορτίου που θα έχουμε στο κομμάτι της γραμμής στο οποίο αναφερόμαστε.
- 2) Επίσης θα πρέπει να καθοριστεί η συνάρτηση αντοχής της γραμμής  $f_R$  (συνάρτηση πιθανότητας υστέρησης της αντοχής  $R$ ). Αυτή η συνάρτηση μπορεί να γίνει αρκετά περίπλοκη, εκτός και αν οι γραμμές σχεδιάζονται με προσέγγιση στο συνδυασμό (συντονισμό) της αντοχής. Σε τέτοιες περιπτώσεις η συνάρτηση  $f_R$  μπορεί να εκτιμηθεί από την συνάρτηση  $f_R$  του πιο αδύναμου στοιχείου της γραμμής. Πρακτικά όμως, είναι προτιμότερο να χρησιμοποιείται μια άλλη συνάρτηση, η  $F_R$  που είναι η συνάρτηση αθροιστικής κατανομής της αντοχής  $R$  όπως έχουμε προαναφέρει σε παραπάνω παράγραφο.

- 3) Θα πρέπει να σχεδιαστούν οι καμπύλες  $f_Q$  και  $F_R$  βάσει της περιόδου  $T$ . Η θέση των καμπυλών αυτών μπορεί να βρεθεί από την εξίσωση :

$$Q_T = 10\% R \quad \text{E.6.5}$$

Η σχέση αυτή μας λέει ότι ένα φορτίο  $Q$  που έχει πιθανότητα να συμβεί σε περίοδο  $1/T$  ισούται με το γινόμενο της αντοχής  $R$  επί το όριο αποκλεισμού 10%. Όπως είδαμε σε παραπάνω πίνακα η επιλογή της περιόδου  $T$  έχει να κάνει με το επιθυμητό επίπεδο αξιοπιστίας π.χ. περίοδος  $T=100$  χρόνια.

Σχέση μεταξύ φορτίου και αντοχής



$f_Q$  : συνάρτηση πιθανότητας υστέρησης ετήσιων μέγιστων φορτίων

$F_R$  : συνάρτηση αθροιστικής διανομής της αντοχής  $R$

$Q_T$  : φορτίο με επιλεγμένη περίοδο  $T$  - π.χ.  $T = 50$  ή  $100$  χρόνια

**6.3 – Διορθωτικοί παράγοντες.** Στην πράξη όμως η αξιοπιστία που υπολογίστηκε από την σχέση  $Q_T=10\% R$ , μπορεί να θεωρηθεί ως μια

ελάχιστη ή ενδεικτική τιμή. Οι υπολογισμοί μπορούν να βελτιωθούν περαιτέρω εισάγοντας κάποιους διορθωτικούς παράγοντες όπως :

- **Παράγοντας χρήσης στοιχείου ή εξαρτήματος** : είναι γεγονός ότι δεν χρησιμοποιούνται όλα τα στοιχεία (εξαρτήματα) στο μέγιστο των κατασκευαστικών τους προδιαγραφών (καταπόνηση ανέμου, καταπόνηση βάρους, ύψος φορέα, γωνία αγωγού). Αυτό σημαίνει ότι ο υπολογισμός της αξιοπιστίας που υπολογίστηκε μπορεί να βελτιστοποιηθεί, εισάγοντας πιο ακριβείς παραμέτρους.
- **Χαρακτηριστική αντοχή** : Στις γραμμές μεταφοράς, η χαρακτηριστική αντοχή των περισσότερων στοιχείων αντιστοιχεί σε όριο αποκλεισμού μικρότερο του 10%. Άρα αν θεωρείται ίσο με 10% στο σχεδιασμό, τότε το αποτέλεσμα της αξιοπιστίας στη γραμμή θα είναι μεγαλύτερο.
- **Συνδυασμός (συντονισμός) της αντοχής** : Πριν μιλήσαμε για την μέθοδο της προσέγγισης του συνδυασμού αντοχής όπου λαμβάνεται υπόψη για το σύνολο των στοιχείων μια ορισμένη τιμή. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα κάποια στοιχεία με πιθανόν μεγαλύτερες δυνατότητες να προσφέρουν θετικά στην αξιοπιστία της γραμμής.
- **Αριθμός στοιχείων (εξαρτημάτων) που υπόκεινται σε μέγιστη ένταση φορτίου** : Σε περιπτώσεις καιρικών φαινομένων όπως μια καταιγίδα ή ένας παγετός, δεν καταπονούνται το ίδιο όλα τα στοιχεία, μιας και τα καιρικά φαινόμενα αυτά λαμβάνουν χώρα σε περιορισμένη έκταση και συνήθως όχι σε όλο το μήκος της γραμμής.
- **Έλεγχος ποιότητας κατά την κατασκευή των στοιχείων** : Με τέτοιες μεθόδους μπορούν να εξαλειφθούν υλικά χαμηλής ποιότητας ώστε να υπάρχει ένα ελάχιστο όριο στις προδιαγραφές των στοιχείων. Έτσι δε θα χρησιμοποιούνται στοιχεία που δεν πιάνουν το όριο αυτό.



- **Κατεύθυνση ανέμου** : Στις περιπτώσεις των φορτίων ανέμου έχουμε επίσης στον υπολογισμό την θεώρηση ότι οι ταχύτητες ανέμου δρουν πάντα στην πιο δυσμενή κατεύθυνση. Η ομάδα της CIGRE μετά από παρατηρήσεις και υπολογισμούς προσθέτει ότι θα πρέπει να γίνεται πιο ρεαλιστική θεώρηση των κατευθύνσεων ανέμου στον υπολογισμό της αξιοπιστίας.

Τα στοιχεία που αναφέρουμε παραπάνω μετά από τον καθορισμό της σχέσης φορτίου – αντοχής ( $Q_T=10\% \times R$ ) συνήθως «ανεβάζουν» το επίπεδο αξιοπιστίας. Υπάρχουν όμως παράγοντες που μπορεί να συντελέσουν στη μείωση του επιπέδου της αξιοπιστίας, όπως για παράδειγμα, η φθορά που φέρνει ο χρόνος σε κάποια στοιχεία αλλά και η κόπωση κάποιων στοιχείων που υπόκεινται σε μεγάλα φορτία.

#### 6.4 - ΦΟΡΤΙΑ

Οι φορτίσεις που δέχονται οι γραμμές μεταφοράς χωρίζονται σε τρεις υποομάδες : Εξωτερικά φορτία, νεκρά (ή ίδια) φορτία και ειδικά φορτία.

- **Εξωτερικές φορτία** : Τα εξωτερικά φορτία αποτελούν τυχαία φορτία λόγω ανέμων ή πάγου ή συνδυασμό των δύο. Το μέγεθος αλλά και η συχνότητα τους μπορεί να καταγράφονται ανά περίπτωση (και περιοχή) χρησιμοποιώντας τις κατάλληλες συναρτήσεις πιθανοτήτων. Εάν υπάρχουν στατιστικά στοιχεία των ετήσιων μεγίστων τιμών ανέμου και πάγου, τότε είναι γενικά αποδεκτό ότι αυτές οι κλιματικές μεταβλητές ακολουθούν συναρτήσεις τύπου **Gumbel\*** (Ανάλυση της συνάρτησης αυτής μπορείτε να βρείτε στο παράρτημα της Πτυχιακής). Σε ειδικές περιπτώσεις όπου η επικάθηση πάγου δεν παρατηρείται ετησίως μπορεί να χρησιμοποιηθεί η γενική συνάρτηση **Pareto\*** (Επίσης παράδειγμα στο παράρτημα). Η εξίσωση Gumbel μπορεί να χρησιμοποιηθεί ορίζοντας δυο παραμέτρους : την μέση τιμή και την σταθερή απόκλιση της μεταβλητής που εφαρμόζεται. Ωστόσο αυτές οι τιμές πρέπει να λαμβάνονται από εκτιμήσεις μετρήσεων που πραγματοποιούνται σε μια καθορισμένη έκταση χρόνου. Όσο

μεγαλώνει η περίοδος T είναι σίγουρα πιο δύσκολο να γίνουν πιο σωστές ή αν θέλετε πιο αξιόπιστες προβλέψεις.

- **Νεκρά φορτία** : Αυτά τα φορτία αποτελούνται από το ίδιο το βάρος των στοιχείων της γραμμής (πυλώνες, αγωγοί, μονωτήρες κλπ.). Αν και έχουν από μόνα τους σταθερή τιμή βάρους, τα νεκρά φορτία διαφέρουν από τον ένα φορέα στον επόμενο γιατί διαφοροποιούνται στοιχεία όπως το ύψος του φορέα και το άνοιγμα των αγωγών.

Η **αξιοπιστία** γραμμών μεταφοράς που υπόκεινται μονάχα στα δικά τους 'νεκρά' φορτία, θα πρέπει να θεωρείται πρακτικά 100%. Αυτό το επίπεδο αξιοπιστίας είναι εύκολο να δει κανείς, είναι προαπαιτούμενο των απαιτήσεων ασφαλείας όπου καθορίζεται ότι στην πράξη ο φορέας θα πρέπει να σχεδιάζεται να αντέχει δυο φορές το βάρος των αγωγών και των μονωτήρων. Αυτά τα προαπαιτούμενα καλύπτουν την αύξηση του κάθετου επιπρόσθετου φορτίου κατά την διάρκεια της κατασκευής και της συντήρησης. Το νεκρό βάρος των αγωγών που στηρίζουν οι φορείς είναι το γινόμενο του καθαρού βάρους ανά μονάδα μήκους, που είναι σταθερό, επί το εύρος βάρους που μπορεί να διαφέρει ανάλογα με την απόσταση μεταξύ φορέων, την υψομετρική διαφορά, την τάνυση των αγωγών (η οποία διαφοροποιείται ανάλογα με τη θερμοκρασία). Σε όλες τις περιπτώσεις, το εύρος του βάρους ενός είδους φορέα έχει μια μέγιστη προσδιορισμένη τιμή η οποία υπολογίζεται κατά τον σχεδιασμό του φορέα. Υπάρχει επίσης μια ελάχιστη τιμή του εύρους βάρους που έχει να κάνει σε διαδικασίες ανύψωσης των αναρτημένων αγωγών ή μονωτήρων ή ακόμη και των θεμελίων.

Καθότι για τους φορείς μιας γραμμής μεταφοράς δεν συνηθίζεται να χρησιμοποιούνται στην μέγιστη κατασκευαστική τους τιμή του εύρους του βάρους τους, αυτή η διαφοροποίηση, αν παραμεληθεί, αποτελεί μια αύξηση στην αξιοπιστία. Για σκοπούς εκτιμήσεων η αναλογία του πραγματικού εύρους σε σχέση με το μέγιστο εύρος

ορίζεται ως  $U$  (παράγοντας χρήσης εύρους). Η μεταβλητή  $U$  φτιάχτηκε έτσι, ώστε η επιρροή της σε υπολογισμούς αξιοπιστίας να μπορεί να εφαρμοστεί για φορτία των φορέων μέσω καταλλήλων διορθωτικών παραγόντων  $\gamma_U$ .

- **Ειδικά φορτία** : Τα ειδικά φορτία αποτελούνται από εξωτερικά φορτία που μπορεί να συμβούν κατά την διάρκεια κατασκευής ή συντήρησης της γραμμής καθώς και τα διαμήκη και εγκάρσια φορτία. Οι απαιτήσεις ασφαλείας δίνουν μεγάλο βάρος σε αυτές τις περιπτώσεις καθώς προΐσταται η αποφυγή αποτυχιών 'ντόμινο'. Η αποτυχία δηλαδή εκείνη που συμπαρασύρει ένα μεγάλο κομμάτι της γραμμής επίσης σε αποτυχία.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 - Βήμα β2) Επιλογή Απαιτήσεων Ασφαλείας**

Οι απαιτήσεις ασφαλείας αναφέρονται σε ειδικά φορτία και καταστάσεις, όπου σκοπός είναι η αποφυγή μιας διογκωμένης και ανεξέλεγκτης βλάβης της γραμμής, πολύ πέραν ενός μεμονωμένου περιστατικού. Μια τέτοια περίπτωση όπου οι βλάβες επεκτείνονται, φέρνει καταστροφικά αποτελέσματα και μεγάλη οικονομική ζημιά, γιατί μπορεί να καταστραφούν ολόκληροι τομείς της γραμμής. Μπορεί να πάρει εβδομάδες ή και μήνες να επισκευαστούν. Οι μέθοδοι που ακολουθούνται για την μείωση τέτοιου κινδύνου, πρωτίστως υπαγορεύονται από τα χαρακτηριστικά της ίδιας της γραμμής, τη φύση του συστήματος αγωγών και τον σχεδιασμό των φορέων.

Παρακάτω θα δούμε αυτά τα ειδικά φορτία τα οποία εφαρμόζονται στα σημεία σύνδεσης και έτσι στον ολικό υπολογισμό των φορτίων της γραμμής συμβάλλουν και αυτά για τις σωστές απαιτήσεις ασφαλείας. Κάποια περιστατικά που επιφέρουν φορτία στις γραμμές μεταφοράς, δεν μπορούν να περιγραφούν στατιστικά, γιατί η φύση τους είναι τέτοια, ώστε να μην υπάρχει η δυνατότητα, είτε να προβλεφτούν, είτε να υπάρχει ακριβής καταγραφή τέτοιων δεδομένων. Τέτοια ατυχή περιστατικά μπορεί να είναι η καταστροφή κάποιου εξαρτήματος λόγω ελαττωμάτων, ή φθοράς, ή κόπωσης, ή και ακόμα λόγω φυσικών καταστροφών όπως κατολισθήσεις, καταιγίδες, ανεμοστρόβιλοι και όποιο άλλο τέτοιο φαινόμενο ανήκει σε αυτή τη κατηγορία.

Ο σχεδιασμός της γραμμής μεταφοράς δεν μπορεί να προβλέψει τέτοια φαινόμενα, αλλά γίνεται η προσπάθεια ελαχιστοποίησης και περιορισμού της βλάβης, όπου και όποτε συμβεί το γεγονός αυτό. Αυτές οι **απαιτήσεις ασφαλείας** μπορούν να επιτευχθούν μέσω του σχεδιασμού που προβλέπει για τις περιπτώσεις αυτές τον περιορισμό αυτών των εξωτερικών φορτίων μέσω κάποιων άλλων φορτίων (διαμήκη φορτία, φορτία στρέψης) σε όλες ή σε κάποιες κατασκευές (φορείς), χρησιμοποιώντας ειδικά εξαρτήματα που απομονώνουν τα φορτία αυτά, όπως είναι οι μηχανικοί διακόπτες ασφαλείας αλλά και η τοποθέτηση τερματικών φορέων ανά συγκεκριμένα διαστήματα της γραμμής μεταφοράς. Τα παρακάτω μέτρα ασφαλείας αφορούν τις ελάχιστες απαιτήσεις ασφαλείας του συστήματος, ενώ όπου υπάρχει ανάγκη λόγω

αυξημένου κινδύνου, τότε διαφοροποιούνται και οι απαιτήσεις αυτές. Τα φορτία στα οποία γίνεται η αναφορά (διαμήκη φορτία, φορτία στρέψης) παρέχουν τα μέσα σε συμβατικούς φορείς ή άλλες κατασκευές για την ελαχιστοποίηση της πιθανότητας να εξαπλωθεί η βλάβη. Αυτές οι απαιτήσεις διαμορφώθηκαν βάσει εμπειρικών γνώσεων περισσότερο, πάνω στις διάφορες κατασκευές και εξαρτήματα. Ανάλογα με τη κατασκευή και το υλικό οι απαιτήσεις ασφαλείας ενδέχεται να διαφέρουν και σε αυτό το σημείο παίζει ρολό περισσότερο η εμπειρία του Μηχανικού ως προς την επιλογή που θα κάνει για τις κατασκευές που σκοπεύει να χρησιμοποιήσει. Οι πιέσεις που θα δεχτεί το σύστημα υπό αυτά τα φορτία δεν ξεπερνούν τα όρια της βλάβης. Οι ελάχιστες απαιτήσεις που θα δούμε είναι εφαρμόσιμες στις περισσότερες γραμμές μεταφοράς.

**7.1 - ΦΟΡΤΙΑ ΣΤΡΕΨΗΣ.** Η διαμήκης έλξη που προκαλείται σε μια κατάσταση όπου έχουμε σπασμένο αγωγό, επιβάλλει μια ροπή στρέψης στον πυλώνα που ισούται με αυτή την ανισόροπη οριζόντια έλξη και την απόσταση της, από το κέντρο του πυλώνα με επιπλέον την καθετή έλξη που μεταφέρεται ισόποσα σε διαμήκη διάτμηση. Αυτή η διάτμηση και η ροπή στρέψης μεταφέρεται στον ίδιο τον πυλώνα. Με λίγα λόγια το αποτέλεσμα του σπασμένου αγωγού είναι τελικά να δέχεται ο πυλώνας επιπλέον φορτία.

Σε οποιοδήποτε σημείο σύνδεσης αγωγού γείωσης ή αγωγού φάσης υπάρξει ένας σπασμένος αγωγός, η απελευθέρωση της τάνυσης αυτής μεταφέρεται στο επόμενο άνοιγμα. Αυτό το φορτίο τεχνικά ονομάζεται **RSL** (Residual Static Load = παραμένων στατικό φορτίο). Το φορτίο RSL εφαρμόζεται σε περίπτωση που σπάει ο αγωγός στο επόμενο άνοιγμα δηλαδή στο επόμενο κομμάτι μήκους αγωγού. Σαν αριθμητικός δείκτης το φορτίο RSL υπολογίζεται για θερμοκρασίες όπου η τάνυση των αγωγών είναι σε χαλάρωση δίχως να υπολογίζονται τα φορτία ανέμου και πάγου.

Για τους φορείς το φορτίο RSL υπολογίζεται για μέσο άνοιγμα και για τανύσεις σε χαλάρωση, επιτρέποντας έτσι να επέλθει η ηρεμία σε οποιαδήποτε ταλάντωση των αλύσεων μονωτήρων, έκτροπη ή περιστροφή του φορέα, του θεμέλιου, των βραχιόνων και στηριγμάτων, καθώς και την αλληλεπίδραση με

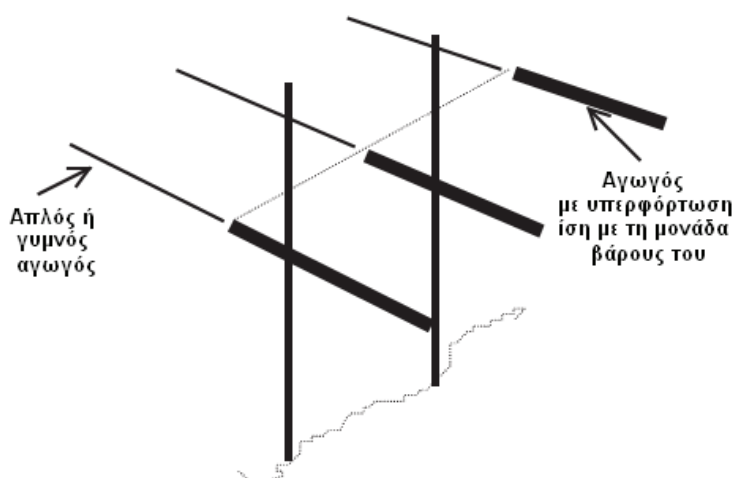
αγωγούς άλλων φάσεων ή αγωγούς που επηρεάζουν το συγκεκριμένο φορτίο. Η τιμή του φορτίου RSL μπορεί να περιοριστεί με την βοήθεια ειδικών εξαρτημάτων (π.χ. σφικτήρες ολισθήσεως), όποτε γίνεται και η ανάλογη προσαρμογή στο επίπεδο των απαιτήσεων ασφαλείας.

**7.2 - ΔΙΑΜΗΚΗ ΦΟΡΤΙΑ.** Τα διαμήκη φορτία επιδρούν σε ένα πυλώνα σε παράλληλη κατεύθυνση με τη γραμμή και αυτό συμβαίνει όταν έχουμε ανισότητες στις τανύσεις των αγωγών του πυλώνα. Αυτή η άνιση τάνυση των αγωγών μπορεί να οφείλεται είτε σε έναν τερματικό πυλώνα (που αναλαμβάνει μεγαλύτερο φορτίο τάνυσης αγωγών), είτε λόγω ενός κομμένου ή σπασμένου αγωγού, είτε ακόμα σε ύπαρξη ανισοτήτων στα μήκη των ανοιγμάτων κλπ. Η επίδραση που θα έχει αυτή η κατάσταση στον πυλώνα, τον υποβάλλει σε πιθανή ανατροπή (σε κάποιο χρονικό σημείο) ή στρέψη ή συνδυασμό των δυο. Σε περίπτωση πυλώνα με αγωγούς τάνυσης (π.χ. τερματικός πυλώνας), εάν υπάρξει σπάσιμο κάποιου αγωγού, τότε όλη η τάνυση του αγωγού αυτού θα δράσει ως διαμήκης φορτίο πάνω στον πυλώνα, ενώ σε περίπτωση πυλώνα με αγωγούς ανάρτησης (απλός φορέας), καθώς ο αγωγός ταλαντώνεται μακριά του ανοίγματος αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση της τάνυσης και αντίστοιχα του διαμήκους φορτίου του πυλώνα.

Μια από της πιο χρήσιμες προσθήκες στην φιλοσοφία σχεδίασης γραμμών είναι η γνώση της σημαντικής συνεισφοράς στο πρόβλημα της εξάπλωσης στα διαμήκη φορτία των αγωγών της γείωσης. Μέχρι τώρα η μεγαλύτερη προσοχή είχε δοθεί στο πως αντιμετωπίζεται το πρόβλημα στους εναέριους αγωγούς. Πλέον είναι πιο εύστοχο να αξιολογείται ολόκληρο το σύστημα αγωγών για τον περιορισμό βλαβών. Τμήματα γραμμών τα οποία έχουν περιορισμένη χαλαρότητα και περιορισμένη μετάδοση χαλαρότητας, ή μικρή διαμήκης αντοχή, μπορεί να συνεισφέρουν στην εξάπλωση των βλαβών.

Τα διαμήκη φορτία εφαρμόζονται ταυτόχρονα σε όλα τα σημεία σύνδεσης των αγωγών. Αυτά είναι ίσα 1) με τα ανισόροπα φορτία που παράγονται από τις τανύσεις των απλών αγωγών σε όλα τα ανοίγματα στην μια κατεύθυνση του

φορέα και 2) με μια πλασματική υπερφόρτωση που ισούται με το βάρος των αγωγών ( $w$ ) σε όλα τα ανοίγματα προς την αντίθετη κατεύθυνση του φορέα.



Προσομοίωση διαμήκους φορτίου σε φορέα μονού κυκλώματος

**7.4 - Συντελεστής Φορτίου RSL.** Το μέσο άνοιγμα υπολογίζεται θεωρώντας τις τανύσεις αγωγών σε χαλάρωση (και όχι σε πλήρη εφελκυσμό) και συνεκτιμώνται και οποιές άλλες επιδράσεις χαλάρωσης υπάρχουν. Μια εναλλακτική πρόταση είναι να θεωρήσουμε για κάθε σημείο σύνδεσης αγωγών το 50% της τάνυσης σε χαλάρωση. Τα διαμήκη φορτία θα πρέπει να υπολογίζονται στο σχεδιασμό της γραμμής. Ο σχεδιαστής μπορεί να ενισχύσει τις απαιτήσεις ασφαλείας χρησιμοποιώντας κάποιες πρακτικές που βλέπουμε παρακάτω :

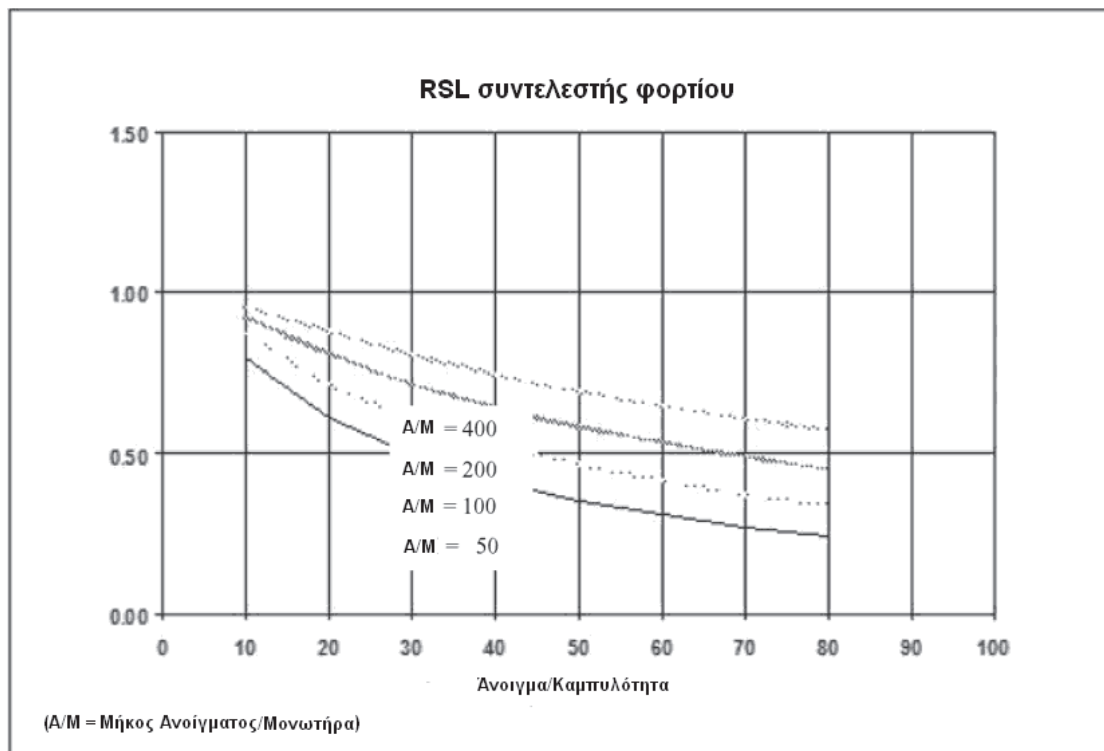
- 1) Όπου δικαιολογούνται αυξημένα μέτρα ασφαλείας για τη γραμμή μπορεί να γίνει αύξηση του δείκτη RSL με ένα συντελεστή 1,5 για οποιοδήποτε σημείο.
- 2) Αν η αύξηση των μέτρων ασφαλείας χρειάζεται να γίνει σε γραμμές διπλού ή πολλαπλού κυκλώματος, τότε μπορεί να γίνει αύξηση των μονάδων φορτίου στρέψης σε είτε δυο αγωγούς φάσεων, είτε δυο αγωγούς γείωσης όπου και εφαρμόζεται ο δείκτης RSL.
- 3) Όπου έχουμε φορείς γωνίας ή γραμμές που υπόκεινται σε δυσμενείς καιρικές συνθήκες, τότε γίνεται υπολογισμός του δείκτη RSL για τανύσεις μεγαλύτερες των συνηθισμένων, χρησιμοποιώντας τα



αντίστοιχα φορτία ανέμου ή πάγου για χρονική περίοδο 3 έτη σε συνδυασμό με το φορτίο που εξετάζεται.

- 4) Όπου έχουμε μεγάλης σημασίας γραμμές μεταφοράς σε περιοχές με δύσκολο καιρό και χιόνια, τότε μπορεί να γίνει τοποθέτηση τερματικών πυλώνων σε συγκεκριμένες θέσεις της γραμμής (τυπικά κάθε  $10^{05}$  πυλώνας), για την αποφυγή εξάπλωσης της βλάβης (φαινόμενο domino). Οι πυλώνες αυτοί σχεδιάζονται για όλους τους σπασμένους αγωγούς στο οριακό τους φορτίο.

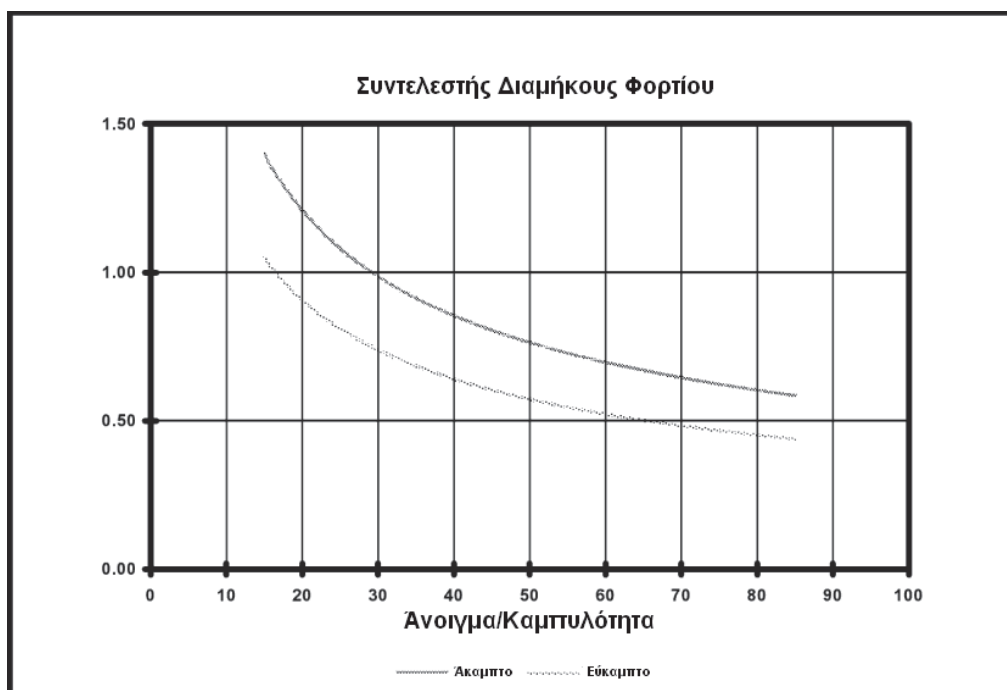
Ο σχεδιασμός όλων των φορέων συνίσταται να περιλαμβάνει και τα διαμήκη φορτία. Το παρακάτω σχήμα δείχνει τις καμπύλες του RSL συναρτήσει της αναλογίας ανοίγματος/καμπυλότητας.



Αν πολλαπλασιάσουμε μια τάνυση ενός αγωγού με τον συντελεστή φορτίου RSL το αποτέλεσμα προβλέπει την τελική παραμένουσα στατική τάνυση στον αγωγό, αφότου έχουν εκλείψει όλες οι δυνάμεις που επιδρούν κατά την θραύση του αγωγού. Ο υπολογισμός αυτός θεωρείται για άκαμπτους φορείς και 10 ισομήκη ανοίγματα μεταξύ του σημείου θραύσης και τον τερματικό πυλώνα. Η αναλογία ανοίγματος/μονωτήρων είναι η αναλογία του μέσου

ανοίγματος (μέσα σε ορισμένη περιοχή τάνυσης) προς το μέσο ενεργό μήκος μονωτήρα. Για αγωγό γείωσης ισχύει  $RSL=1$ . Να προσθέσουμε ότι οι συντελεστές RSL του παραπάνω σχήματος αποτελούν τα ελάχιστα απαιτούμενα στατικά φορτία που θα πρέπει να αντισταθμίζουν οι φορείς για την αποφυγή βλάβης (οι συντελεστές αυτοί δεν υπολογίζουν δυναμικά στοιχεία). Τα υπολογίσιμα ανισόρροπα διαμήκη φορτία δρουν στο φορέα σε αντίθετη φορά από το σημείο της δημιουργίας της βλάβης και θα πρέπει να θεωρείται ότι δρουν ταυτόχρονα με τις επιδράσεις οποιασδήποτε μόνιμης ανισορροπίας φορτίου που εφαρμόζεται.

Μια επιτυχής και οικονομική σχεδίαση γραμμής προϋποθέτει την αποδοχή βλάβης ενός μικρού αριθμού φορέων που όμως δε θα είναι ποτέ αρκετός για την εξάπλωση βλάβης. Το πόσοι φορείς μπορούν να αποτύχουν είναι ανάλογο με τη φιλοσοφία του σχεδιαστή και τα επιθυμητά επίπεδα αξιοπιστίας. Το επόμενο σχήμα παρέχει τους συντελεστές διαμήκους φορτίου συναρτήσει της αναλογίας ανοίγματος/καμπυλότητας και την ακαμψία των φορέων. Αν πολλαπλασιάσουμε την τάνυση ενός αγωγού με τον συντελεστή διαμήκους φορτίου το αποτέλεσμα μας δίνει προσεγγιστικά τιμές για τα φορτία σχεδιασμού τα οποία περιλαμβάνουν δυναμικά στοιχεία, ακαμψία των φορέων, και μήκη αλύσεων μονωτήρων.



Να προσθέσουμε εδώ ότι το παραπάνω σχήμα βασίζεται στην υπόθεση ότι η απώλεια ενός ή δυο φορέων σε κάθε κατεύθυνση από το σημείο της βλάβης είναι αποδεκτή για την αποφυγή εξάπλωσης της βλάβης.

Εγκατάσταση μηχανισμών για απελευθέρωση των φορτίων – Οι σφικτήρες ολισθήσεως είναι ένα καλό μέτρο για την προστασία από την εξάπλωση βλάβης. Αυτοί περιορίζουν τα διαμήκη φορτία τα οποία πιθανώς να μεταφερθούν σε παρακείμενους φορείς. Είναι επιτακτική ανάγκη ο σχεδιασμός του μηχανισμού αυτού να διασφαλίζει σταθερή απόδοση κάτω από οποιεσδήποτε καιρικές και λειτουργικές συνθήκες, κατά το σύνολο της διάρκειας ζωής της γραμμής. Για αυτό γίνονται δοκιμές πριν γίνει η εγκατάσταση ώστε να πιστοποιηθεί το υλικό και να βαθμονομηθεί κατάλληλα. Μερικοί τέτοιοι μηχανισμοί μπορεί να μην είναι κατάλληλοι για χρήση σε περιοχές όπου π.χ. έχουμε συχνά σφοδρές χιονοπτώσεις. Μια πρόωρη ενεργοποίηση της συσκευής λόγω υπερβολικού χιονιού θα μπορούσε να έχει ως αποτέλεσμα μια επικίνδυνη και απαρατήρητη διαρροή προς γη και να απειλήσει κάποιον άνθρωπο.

**ΣΤΟ ΒΗΜΑ Β2) ΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΕΤΑΙ ΚΑΙ ΤΟ ΒΗΜΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ**  
**Δ2) ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΟΡΤΙΩΝ ΠΕΡΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ**

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 - Βήμα β3) Ασφάλεια και Άνθρωπος

Όπως βλέπουμε οι απαιτήσεις ασφαλείας χωρίζονται και σε μια δεύτερη κατηγορία, η οποία είναι η ασφάλεια που απαιτείται για την προστασία του ανθρώπου. Οι απαιτήσεις αυτές αφορούν σε ειδικά φορτία για τα οποία τα στοιχεία της γραμμής κατασκευάζονται κατά τέτοιο τρόπο ώστε η κατασκευή και η συντήρηση της γραμμής δεν θέτουν σε κίνδυνο τους ανθρώπους (είτε μιλάμε για εργάτες είτε το απλό κοινό). Παρακάτω θα δούμε τις διάφορες επιδράσεις που δημιουργούνται στις γραμμές μεταφοράς, τους κινδύνους που υπάρχουν αλλά και τα φορτία και τις καταστάσεις που οφείλουν να λαμβάνονται υπόψη στον σχεδιασμό της γραμμής.



Google Pics Εργάτης σε συντήρηση γραμμής

Οι εργασίες κατασκευής και συντήρησης της γραμμής συγκεντρώνουν τις περισσότερες πιθανότητες όπου μια βλάβη ενός στοιχείου της γραμμής ή κάποιου μηχανήματος μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα τον τραυματισμό ή και δυστυχώς την απώλεια ζωής. Αυτές οι εργασίες θα πρέπει να γίνονται λοιπόν κατά τέτοιο τρόπο ώστε να εκμηδενίζονται τα περιττά και προσωρινά φορτία που θέτουν τον άνθρωπο σε κίνδυνο. Σε γενικές γραμμές παρέχονται κάποιοι ελάχιστοι κανόνες ασφαλείας από το κράτος για την ασφάλεια του κοινού. Το πρότυπο στο οποίο βασίζεται (IEC-60826) η πτυχιακή αυτή, θεωρεί τα φορτία

κατασκευής και συντήρησης ως συνιστώμενα για νέες γραμμές μεταφοράς. Οι πιέσεις που δέχεται το δίκτυο υπό αυτά τα φορτία δε θα ξεπερνούν τα όρια βλάβης και η ισχύς των φορέων θα μπορεί να πιστοποιείται με την διενέργεια δοκιμών.

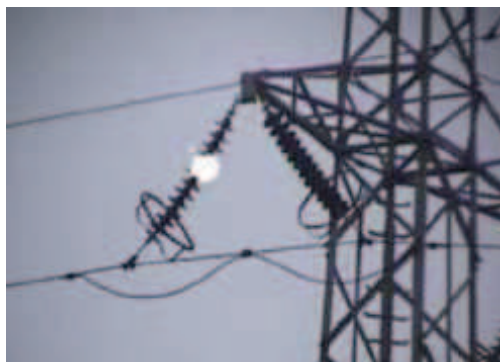
**8.1 - Ηλεκτρικές αποστάσεις ασφαλείας.** Οι εναέριες γραμμές μεταφοράς υψηλής τάσης αποτελούνται συνήθως από γυμνούς αγωγούς που αναρτώνται μέσω φορέων και συνδέονται μέσω αλύσεων μονωτήρων από πορσελάνη, γυαλί, ή πολυμερής μονωτήρες. Ο αέρας γύρω από τον ηλεκτροφόρο αγωγό λειτουργεί ως το μονωτικό μέσο. Η διατήρηση επαρκών αποστάσεων ασφαλείας, ή επαρκούς εναερίου χώρου, γύρω από τους αγωγούς για την προστασία του κοινού και των εργατών είναι υψίστης σημασίας για την ασφαλή λειτουργία της γραμμής. Η απόσταση ασφαλείας που απαιτείται γύρω από τους αγωγούς καθορίζεται από τις ονομαστικές τάσεις λειτουργίας, τις θερμοκρασίες των αγωγών, κάποιες βραχυπρόθεσμα μη ομαλές τάσεις, τους αγωγούς που ταλαντώνονται λόγω του άνεμου, τη μόλυνση των μονωτήρων, αποστάσεις που αφορούν τους εργάτες και αποστάσεις για τη δημόσια ασφάλεια. Συνήθως, οι αποστάσεις που καθορίζονται είναι οι εξής:

- Απόσταση μεταξύ των ηλεκτροφόρων αγωγών.
- Απόσταση μεταξύ των ηλεκτροφόρων αγωγών από το φορέα.
- Απόσταση μεταξύ των ηλεκτροφόρων αγωγών και άλλων αγωγών ενέργειας ή τηλεπικοινωνιών που βρίσκονται στον ίδιο φορέα, ή που βρίσκονται επάνω και κάτω από τους ηλεκτροφόρους αγωγούς.
- Απόσταση μεταξύ των ηλεκτροφόρων αγωγών και του εδάφους και πιο χαρακτηριστικά σιδηρόδρομους, δρόμους κυκλοφορίας οχημάτων, πάρκινγκ, ποταμούς, αεροδρόμια κλπ.
- Απόσταση μεταξύ των ηλεκτροφόρων αγωγών και κτιρίων αλλά και σημάτων.
- Απόσταση μεταξύ των ηλεκτροφόρων αγωγών και άλλες γραμμές μεταφοράς.



Google Pics Σήμα προειδοποίησης για Υ.Τ.

**8.2 - Ηλεκτρικές επιδράσεις.** Οι ηλεκτρικές επιδράσεις της υψηλής τάσης γραμμών μεταφοράς εμπίπτουν σε δύο ευρείες κατηγορίες : Οι επιδράσεις corona και οι επιδράσεις πεδίου. Το φαινόμενο corona είναι ο ιονισμός του αέρα που γίνεται στην επιφάνεια του ηλεκτροφόρου αγωγού και του υλικού σύνδεσης, λόγω της πολύ υψηλής έντασης ηλεκτρικού πεδίου στην επιφάνεια του μετάλλου, που συμβαίνει υπό ορισμένες συνθήκες. Το φαινόμενο corona μπορεί να οδηγήσει σε παρεμβολές στις ραδιοηλεκτροπικοινωνίες, θόρυβο, εκλάμψεις και την παραγωγή όζοντος. Οι επιδράσεις πεδίου είναι οι τάσεις και τα ρεύματα που μπορεί να προκληθούν σε παρακείμενα ηλεκτροφόρα αντικείμενα. Αυτά δημιουργούνται από τα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία της γραμμής.



Έκλαμψη λόγω φαινόμενου corona

**8.3 - Ηλεκτρικά και Μαγνητικά πεδία.** Οι εν λειτουργία γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, όπως και τα ενεργά στοιχεία μιας ηλεκτρικής μηχανής, όπως η καλωδίωση των σπιτιών, όπως οι γραμμές φωτισμού, καθώς και όλες οι ηλεκτρικές συσκευές, παράγουν ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο, που έχει ονομαστεί ηλεκτρομαγνητικό πεδίο (ΗΜΠ). Το ΗΜΠ που παράγεται από το σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικού εναλλασσομένου ρεύματος στην Ελλάδα έχει συχνότητα 50 Hz, που σημαίνει ότι η ένταση και ο προσανατολισμός του πεδίου αλλάζει 50 φορές το δευτερόλεπτο.

Τα ηλεκτρικά πεδία γύρω από τις γραμμές μεταφοράς παράγονται από ηλεκτρικά φορτία του ηλεκτροφόρου αγωγού. Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου είναι ευθέως ανάλογη με την τάση της γραμμής. Η αυξημένη τάση δηλαδή, παράγει ένα ισχυρότερο ηλεκτρικό πεδίο. Σε μια δεδομένη απόσταση από τον αγωγό της γραμμής, το ηλεκτρικό πεδίο είναι αντιστρόφως ανάλογο με την απόσταση από τους αγωγούς, έτσι ώστε η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου να μειώνεται καθώς αυξάνει η απόσταση από τον αγωγό. Το ηλεκτρικό πεδίο γύρω από μια γραμμή μεταφοράς παραμένει σταθερό και δεν επηρεάζεται από την κοινή ημερήσια και εποχιακή διακύμανση στη χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας από τους καταναλωτές.

Τα μαγνητικά πεδία γύρω από τις γραμμές μεταφοράς, παράγονται από το επίπεδο της ροής του ρεύματος μέσω των αγωγών, το οποίο μετράται σε αμπέρ. Η ένταση του μαγνητικού πεδίου είναι επίσης, ευθέως ανάλογη με το ρεύμα. Άρα, τα αυξημένα αμπέρ παράγουν ένα ισχυρότερο μαγνητικό πεδίο. Η ένταση του μαγνητικού πεδίου είναι αντιστρόφως ανάλογη με την απόσταση από τους αγωγούς, και ως εκ τούτου, όπως και το ηλεκτρικό πεδίο, η ένταση του μαγνητικού πεδίου μειώνεται καθώς αυξάνεται η απόσταση από τον αγωγό. Το μαγνητικό πεδίο, γύρω από μια γραμμή μεταφοράς, διακυμαίνεται καθημερινά και εποχιακά, ανάλογα με το επίπεδο χρήσης του ρεύματος από τους καταναλωτές.

Σημαντική έρευνα έχει πραγματοποιηθεί κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών σχετικά με τις πιθανές βιολογικές επιπτώσεις και τις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία από τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Η έρευνα αυτή έχει βγάλει



πολλές μελέτες που δεν προσφέρουν ομοιόμορφα συμπεράσματα για το κατά πόσον η μακροχρόνια έκθεση στα ηλεκτρομαγνητικά πεδία είναι επιβλαβής ή όχι. Ελλείπει αποδεικτικών στοιχείων, σε ορισμένες χώρες, έχουν επιλέξει να μην ορίζονται μέγιστα αποδεκτά επίπεδα των ΗΜΠ. Σε κάποιες άλλες χώρες δίδονται εντολές για προσπάθεια αποφυγής έκθεσης του κοινού σε ΗΜΠ, η οποία θα πρέπει να ελαχιστοποιείται με τη χρήση τεχνικών χαμηλού κόστους για τη μείωση των επιπέδων των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων.

Για να δείξουμε το μέγεθος της ανησυχίας που υπήρχε και υπάρχει για την επίδραση των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων στον άνθρωπο, δε χρειάζεται παρά μόνον να αναφέρουμε μια ερευνά που έγινε, για τη πιθανότητα συσχέτισμού των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων με το καρκίνο και συγκεκριμένα τη λευχαιμία στα μικρά παιδιά. Αλλά όπως τονίζουμε και παραπάνω τα αποτελέσματα των ερευνών είναι ανάμικτα και δεν έχει βγει κάποιο κατηγορηματικό συμπέρασμα.

**8.4 - Θόρυβος.** Το φαινόμενο corona μπορεί να οδηγήσει στην παραγωγή θορύβου σε μία γραμμή μεταφοράς. Το φαινόμενο corona είναι συνάρτηση της τάσης της γραμμής, της διαμέτρου του αγωγού και της κατάστασης του αγωγού και του υλικού ανάρτησης. Η κλίση του ηλεκτρικού πεδίου είναι ο ρυθμός με τον οποίο το ηλεκτρικό πεδίο αλλάζει και είναι ανάλογη με την τάση της γραμμής. Η κλίση του ηλεκτρικού πεδίου είναι η μεγαλύτερη στην επιφάνεια του αγωγού. Μεγάλης διαμέτρου αγωγοί έχουν χαμηλότερες κλίσεις ηλεκτρικού πεδίου στην επιφάνεια του αγωγού και ως εκ τούτου, χαμηλότερο έντασης φαινόμενο corona από μικρότερους αγωγούς, αν υποθέσουμε ότι τα υπόλοιπα στοιχεία είναι τα ίδια. Επίσης, παρατυπίες (όπως γρατσουνιές και γδαρσίματα στην επιφάνεια του αγωγού) ή αιχμηρές άκρες του υλικού ανάρτησης επικεντρώνουν το ηλεκτρικό πεδίο σε αυτά τα σημεία και κατά συνέπεια, υπάρχει αύξηση του φαινομένου corona σε αυτά τα σημεία. Ομοίως, η μόλυνση στην επιφάνεια του αγωγού, όπως η σκόνη ή τα έντομα, μπορεί να προκαλέσει παρατυπίες που αποτελούν πηγή για φαινόμενο corona. Σταγόνες βροχής, χιόνι, ομίχλη και υγρασία είναι επίσης, πηγές των παρατυπιών. Το φαινόμενο corona απασχολεί συνήθως τον σχεδιασμό των γραμμών μεταφοράς που έχουν τάσεις των 345 kV και άνω.

**8.5 - Ρεύματα και Τάσεις εξ επαγωγής.** Ένα αντικείμενο που μπορεί να άγει, όπως ένα όχημα ή ένα άτομο σε ηλεκτρικό πεδίο, θα προκαλείται σε αυτό τάσεις και ρεύματα. Η ισχύς του ρεύματος εξ επαγωγής θα εξαρτηθεί από την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου, το μέγεθος και το σχήμα του αγωγίμου αντικείμενου και την αντίσταση του αντικειμένου προς το έδαφος. Όταν ένα αγωγίμο αντικείμενο είναι απομονωμένο από το έδαφος και ένα άτομο που πατά στη γη αγγίζει το αντικείμενο, ένα αισθητό ρεύμα ή τίνιγμα μπορεί να το διαπεράσει καθώς το ρεύμα ρέει στο έδαφος. Πρέπει λοιπόν να εφαρμόζονται τα σωστά πρότυπα σχεδιασμού για την πρόληψη των επικίνδυνων περιστατικών ηλεκτροπληξίας, με την εξασφάλιση ότι τα μεταλλικά αντικείμενα πάνω ή κοντά στις ζώνες διέλευσης της γραμμής είναι γειωμένα και ότι υπάρχουν επαρκείς ασφαλείς αποστάσεις που παρέχονται σε δρόμους και χώρους στάθμευσης, για να κρατηθούν τα ηλεκτρικά πεδία σε αυτές τις θέσεις αρκετά χαμηλά, ώστε να μην έχουμε ρεύματα βραχυκύκλωσης που υπερβαίνουν τα 5 mA. Τα μαγνητικά πεδία, μπορεί επίσης, να προκαλέσουν τάσεις και ρεύματα στα αγωγίμα αντικείμενα. Σε τέτοιες περιπτώσεις, αυτό συμβαίνει σε μεγάλου μήκους μεταλλικά αντικείμενα, όπως ένας μεταλλικός φράχτης ή μια σωλήνα που βρίσκεται πάνω από το έδαφος και είναι γειωμένη σε ένα μόνο σημείο. Ένα άτομο που κλείνει τον ηλεκτρικό βρόχο γειώνοντας το αντικείμενο σε διαφορετική τοποθεσία θα νοιώσει τίνιγμα. Τα πρότυπα σχεδιασμού για τη διαχείριση του θέματος, υπαγορεύουν πολλαπλές γειώσεις σε φράχτες ή σωλήνες, ειδικά εκείνους που είναι προσανατολισμένοι παράλληλα με τη γραμμή μεταφοράς.

**8.6 - Παρεμβολές επικοινωνιών.** Το φαινόμενο corona που προκαλείται από τη γραμμή μεταφοράς (όπως αναλύσαμε σε παραπάνω παράγραφο) μπορεί να προκαλέσει παρεμβολές στους δέκτες ραδιοφώνου και τηλεόρασης. Η γραμμή θα πρέπει να σχεδιάζεται έτσι, ώστε να ελαχιστοποιείται ο θόρυβος corona με την σωστή επιλογή του αγωγού και των υπολοίπων υλικών. Θα πρέπει να εκτελούνται προκατασκευαστικές έρευνες σε επίπεδα περιβάλλοντος θορύβου και στη συνέχεια να γίνεται σύγκριση με τα επίπεδα του θορύβου μετά την κατασκευή.

## 8.7 - ΕΙΔΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ

**Ανέγερση φορέων** – Οι αντοχές όλων των σημείων ανέγερσης και όλων των στοιχείων (εξαρτημάτων) πρέπει να πιστοποιούνται για τουλάχιστον διπλάσια των παραγόμενων στατικών φορτίων της επιλεγμένης μεθόδου ανέγερσης. Αν οι εργασίες είναι υπό πλήρη έλεγχο και εκτελούνται με μεγάλη προσοχή ο συντελεστής μπορεί να πέσει μέχρι το 1,5.

**Τανύσεις αγωγών** – Οι τανύσεις των αγωγών πρέπει να υπολογίζονται για τις χαμηλότερες θερμοκρασίες που επιτρέπεται, για την διεκπεραίωση εργασιών ανάρτησης και πρόσδεσης (σύνδεσης στον φορέα) αγωγών. Συνίσταται στον υπολογισμό των φορτίων που αντιστοιχούν στους φορείς, για μετακινούμενους αγωγούς να χρησιμοποιείται τάνυση αγωγών τουλάχιστον διπλάσια για εργασίες ανάρτησης και για τους αγωγούς που είναι ήδη αναρτημένοι συντελεστής 1,5. Οι πυλώνες γωνίας θα μπορούν να αντισταθμίζουν τα εγκάρσια φορτία που παράγονται από τις τανύσεις αγωγών που προαναφέραμε.

**Κάθετα φορτία** – Το επιπλέον φορτίο που εφαρμόζεται στους φορείς πρέπει να υπολογίζεται από τις κάθετες γωνίες, με τις τανύσεις αγωγών που προαναφέραμε. Η φόρτιση αυτή θα πρέπει να εφαρμόζεται στα σημεία σύνδεσης των αγωγών και θα αφορά όλες τις πιθανές αλληλουχίες σύνδεσης των αγωγών σε οποιοδήποτε συνδυασμό φορτιού ή μη.

**Φορτία Συντήρησης** – Όλα τα σημεία σύνδεσης αγωγών θα πρέπει να είναι ικανά να αντισταθμίσουν τουλάχιστον το διπλάσιο κάθετο φορτίο των γυμνών αγωγών σε τάνυση χαλάρωσης. Για τα σημεία πίεσης ή προσωρινής ανύψωσης, που βρίσκονται κοντά στα κανονικά σημεία σύνδεσης των αγωγών και χρησιμοποιούνται σε εργασίες συντήρησης ισχύει το παραπάνω φορτίο. Για όλα τα παραπάνω φορτία ισχύει συντελεστής 1,5 αντί για 2 εάν οι εργασίες γίνονται υπό πλήρη έλεγχο και μεγάλη προσοχή.

**ΣΤΟ ΒΗΜΑ Β3) ΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΕΤΑΙ ΚΑΙ ΤΟ ΒΗΜΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ Δ3) ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΟΡΤΙΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ**

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 - Βήμα γ) Υπολογισμός των κλιματικών μεταβλητών

**9.1 - Οριακό φορτίο.** Τα φορτία που αφορούν καιρικά φαινόμενα αποτελούν τυχαίες μεταβλητές. Τα καιρικά φορτία που θα μας απασχολήσουν στην συνέχεια και αποτελούν ένα μεγάλο κεφάλαιο στο σχεδιασμό της γραμμής είναι τα εξής : φορτία ανέμου, πάγου και συνδυασμός των δυο. Το οριακό φορτίο  $Q_T$  ορίζεται ως το καιρικό φορτίο που αντιστοιχεί σε χρονική περίοδο  $T$ , για κάθε στοιχείο που εκτίθεται στο καιρικό φορτίο το οποίο εξετάζεται. Για κάθε στοιχείο της γραμμής εξετάζεται η παρακάτω συνθήκη :

$$\gamma \times Q_T < \varphi \times R_C \quad \text{E.9.1}$$

Όπου :

$\gamma$  = συντελεστής φορτίου

$Q_T$  = οριακό φορτίο που αντιστοιχεί σε περίοδο  $T$

$\varphi$  = συντελεστής αντοχής

$R_C$  = χαρακτηριστική αντοχή

Με την παραδοχή ότι στο σχεδιασμό της γραμμής τα καιρικά οριακά φορτία  $Q_T$  χρησιμοποιούνται χωρίς να υπολογίζονται επιπρόσθετα άλλοι παράγοντες φορτίου μπορούμε να δεχτούμε ότι  $\gamma=1$ . Έτσι η παραπάνω εξίσωση θα γίνει :

$$Q_T < \varphi \times R_C \quad \text{E.9.2}$$

Λύνοντας ως προς  $R_C$  έχουμε :

$$R_C > \frac{Q_T}{\varphi} \quad \text{E.9.3}$$

Η παραπάνω εξίσωση χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί η ελαχίστη τιμή της χαρακτηριστικής αντοχής  $R_C$  που θα πρέπει να έχει ένα στοιχείο της γραμμής για να μπορεί να αντισταθμίζει τα οριακά φορτία. Όταν σχεδιάζονται στοιχεία της γραμμής ξεχωριστά τότε η εξίσωση  $Q_T < \varphi \times R_C$  μπορεί να αναπτυχθεί ως εξής :

$$\gamma_U \times Q_T < \varphi_R \times R_C \quad \text{E.9.4}$$

Το  $\gamma_U$  είναι ο συντελεστής του παράγοντα χρήσης. Προκύπτει από την συνάρτηση κατανομής του παράγοντα χρήσης  $U$  και εκφράζει την σχέση μεταξύ των πραγματικών και σχεδιαστικών συνθηκών και παραμέτρων. Το  $\gamma_U$  έχει εισαχθεί γιατί τα στοιχεία της γραμμής σχεδιάζονται κατά ομάδες και όχι ξεχωριστά το καθένα. Είναι επίσης αποδεκτό ότι  $\gamma_U = 1$  για σχεδιασμό νέων γραμμών και αυτό συμβαίνει γιατί τα εξαρτήματα σχεδιάζονται προτού τοποθετηθούν στη γραμμή, άρα δε μπορούμε να γνωρίζουμε τις πραγματικές τους παραμέτρους.

Ο δείκτης  $R_c$  αντιπροσωπεύει την χαρακτηριστική αντοχή των στοιχείων. Αυτή η τιμή επίσης ονομάζεται εγγυημένη αντοχή, ελάχιστη αντοχή ή το ελάχιστο φορτίο αποτυχίας. Εάν η τιμή αυτή δεν καθορίζεται ή δεν έχει υπολογιστεί, το όριο αποκλεισμού της  $R_c$  μπορεί συντηρητικά να πάρει τη τιμή 10%. Είναι γεγονός ότι τα στοιχεία της γραμμής φθείρονται σε βάθος χρόνου, όπως όλα τα κατασκευαστικά στοιχεία και το αποτέλεσμα είναι μια μείωση στην αντοχή τους.

**9.2 - Όριο φθοράς και αποτυχίας.** Για την αποτυχία (βλάβη) των εξαρτημάτων θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα δυο εξής όρια : όριο φθοράς και όριο αποτυχίας. Η διεξαγωγή δοκιμών στα στοιχειά γραμμών μεταφοράς αποφέρει στατιστικά αποτελέσματα εκ των οποίων λαμβάνονται στατιστικές παράμετροι. Όπως έχει διαπιστωθεί δεν είναι πρακτική, ούτε οικονομική αλλά και αρκετά χρονοβόρα η διαδικασία της λήψης των χαρακτηριστικών δεδομένων για κάθε ένα στοιχείο χωριστά. Για αυτό το λόγο δίδονται οι συντελεστές διακύμανσης για τα σημαντικά εξαρτήματα (**COV**). Η μέγιστη αντοχή των φορέων και των θεμελίων τους πρέπει να προκύπτει μετά από υπολογισμούς και δοκιμές.

Στο πίνακα της επόμενης σελίδας βλέπουμε τα όρια φθοράς και αποτυχίας για στοιχεία που θα χρησιμοποιηθούν στη διαδικασία σχεδιασμού.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΡΙΩΝ ΦΘΟΡΑΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΥΧΙΑΣ

Στοιχείο γραμμής	Φόρτιση	Όριο φθοράς	Όριο αποτυχίας
Πυλώνας χάλυβα	εφελκυσμός,  συμπίεση	αντοχή υποχώρησης  -	αντοχή θραυσμού  αντοχή στρέβλωσης
Στύλοι -χάλυβας	σημείο κάμψης	1% μη ελαστική παραμόρφωση στην κορυφή του στύλου	κατάρρευση μέσω κάμψης ή στρέβλωσης
-τσιμέντο	σημείο κάμψης	δημιουργία σχισμών ή 0,5% μη ελαστική παραμόρφωση στην κορυφή του στύλου	κατάρρευση στύλου
Θεμέλια τοποθέτησης	ανύψωση  συμπίεση	περιστροφή 1° του φορέα  μείωση 5% στην αντοχή του φορέα	υπερβολική ανύψωση 50-100 mm  Υπερβολική επικάθηση 50-100 mm
Συμπαγής θεμέλια	σημεία ανατροπής	περιστροφή 1° του φορέα	υπερβολική περιστροφή 5 και πλέον μοιρών
Αγωγοί	εφελκυσμός	περίπου 75% της αντοχής εφελκυσμού	μέγιστη αντοχή εφελκυσμού
Μονωτήρες	εφελκυσμός	περίπου 70% της ονομαστικής αντοχής	θραύση
Εξοπλισμός συνδέσεων	εφελκυσμός	μόνιμη παραμόρφωση	θραύση

### Π.9.1

Ο δείκτης  $\varphi_R$  αποτελεί τον συνολικό συντελεστή αντοχής και εφαρμόζεται στα εξαρτήματα που στο σχεδιασμό τους λαμβάνουν υπόψη τους τα εξής :

α) Χαρακτηριστικά που αφορούν το σύστημα : ο αριθμός των στοιχείων (N) που εκτίθενται στο οριακό φορτίο  $Q_T$  κατά τη διάρκεια ενός οποιουδήποτε περιστατικού του συγκεκριμένου φορτίου ( $\varphi_N$ ) και - τον συνδυασμό των αντοχών που έχει επιλεγεί μεταξύ των στοιχείων ( $\varphi_S$ ).

β) Χαρακτηριστικά που αφορούν το εξάρτημα : τη διαφορά που έγκειται στην ποιότητα του εξαρτήματος κατά τη διάρκεια της πρωτότυπης δοκιμής και της εγκατάστασης του στη γραμμή ( $\varphi_Q$ ) και – τη διαφορά που έγκειται μεταξύ του πραγματικού ορίου αποκλεισμού του δείκτη  $R_C$  και του υποτιθέμενου ορίου αποκλεισμού  $e=10\%$  ( $\varphi_C$ ).

Οι παραπάνω συντελεστές είναι στατιστικά ανεξάρτητοι μεταξύ τους :

$$\varphi_R = \varphi_N \times \varphi_S \times \varphi_Q \times \varphi_C \quad \text{E.9.5}$$

Οι παραπάνω δείκτες αναλύονται σε άλλο κεφάλαιο (περί αντοχής των στοιχείων της γραμμής).

Όπως προαναφέραμε τρία είδη φορτίων θα μας απασχολήσουν όσο αφορά τα φορτία που επιδρούν στα κατασκευαστικά μέρη της γραμμής. **Τα καιρικά φορτία τα χωρίζουμε σε φορτία ανέμου, πάγου και συνδυασμό των δυο.**

Παρακάτω θα δούμε πως ορίζονται οι διαδικασίες για την εκτίμηση του άνεμου αλλά και των αντιστοίχων θερμοκρασιών που επηρεάζουν τα στοιχεία της γραμμής (αγωγοί, αλύσεις μονωτήρων, φορείς) και που μπορούν να εφαρμοστούν αυτές. Οι διαδικασίες αυτές ορίζονται για :

- Μήκος ανοίγματος μεταξύ 200-800 μέτρα. Οι υπολογισμοί που αφορούν τους συντελεστές θα πρέπει να ελέγχονται για περιπτώσεις ανοιγμάτων που είναι έξω από αυτή την εμβέλεια. Για τις περιπτώσεις ανοιγμάτων μικρότερα από 200 μέτρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο συντελεστής ριπής που αντιστοιχεί στα 200 μέτρα. Το ίδιο ισχύει για



ανοίγματα μεγαλύτερα από 800 μέτρα δηλαδή χρησιμοποιείται ο συντελεστής ριπής των 800 μέτρων.

- Ύψος φορέων μικρότερο από 60 μέτρα. Θα μπορούσαν να σχεδιαστούν ψηλότεροι φορείς με τις ίδιες αρχές με τη διάφορα ότι θα πρέπει να ελεγχθούν οι επιδράσεις του ανέμου. Η ιδιοσυχνότητα των φορέων που είναι ψηλότεροι από 60 μέτρα αυξάνει τον συντελεστή ριπής.
- Υψόμετρο των εδαφών που διανύει η γραμμή μέχρι 1300 μέτρα πάνω από το μέσο επίπεδο του περιβάλλοντος χώρου. Για να ξεπεραστεί αυτό το όριο θα πρέπει να γίνει ειδική έρευνα.
- Εδάφη χωρίς γεωγραφικές ιδιαιτερότητες των όποιων το σχήμα και μέγεθος επηρεάζουν όμως σημαντικά τα δεδομένα του ανέμου της περιοχής.

### 9.3 - ΦΟΡΤΙΑ ΑΝΕΜΟΥ

**Τραχύτητα εδάφους** - Σημαντικό ρόλο παίζει η τραχύτητα του εδάφους για να μπορέσουμε να διευκρινίσουμε την ταχύτητα αναφοράς του ανέμου μιας και οι επιδράσεις του ανέμου επηρεάζονται απευθείας από αυτήν. Όσο μεγαλύτερη η τραχύτητα τόσο πιο ταραχώδης αλλά και μειωμένης ταχύτητας είναι ο άνεμος. Στον σχεδιασμό της γραμμής η τραχύτητα επηρεάζει το καθορισμό της ταχύτητας αναφοράς του ανέμου αλλά και του συντελεστή ριπής. Ο συντελεστής τραχύτητας ορίζεται ως  $K_R$  και θα τον συναντήσουμε και παρακάτω. Αναφέρονται τέσσερις κατηγορίες τραχύτητας εδαφών :

- |                     |  |
|---------------------|--|
| <b>Κατηγορία A)</b> | Επίπεδη έρημος, επίπεδη ακτή, μεγάλες εκτάσεις με νερό εκτεθειμένες στον άνεμο.              |
| <b>Κατηγορία B)</b> | Ύπαιθρος με ελάχιστα εμπόδια (π.χ. βαλτοτόπια ή καλλιέργειες, με λιγοστά δέντρα και κτίρια). |
| <b>Κατηγορία C)</b> | Εδάφη με αρκετά και μικρά εμπόδια χαμηλού ύψους (π.χ. φράχτες, δέντρα και κτίρια).           |
| <b>Κατηγορία D)</b> | Προάστια ή εδάφη δασώδη με ψηλά δέντρα.  |

Οι γραμμές που διασχίζουν κατοικημένες περιοχές θα πρέπει να λογίζονται στην κατηγορία D. Ωστόσο, λόγω των μεγαλύτερων επιπέδων αξιοπιστίας των γραμμών αυτών προτείνεται σχεδιασμός για κατηγορία B ή C. Για γραμμές που ακολουθούν τις κορυφογραμμές λόφων γίνεται επιλογή μιας κατηγορίας επάνω από την αρχική. Για γραμμές που διασχίζουν κοιλάδες αυτές άμεσα κατατάσσονται πάντα στην κατηγορία C.

**Ταχύτητα αναφοράς του ανέμου  $V_R$**  – Ο δείκτης  $V_R$  ορίζεται ως η ταχύτητα αναφοράς του ανέμου, μετριέται σε m/sec και αντιστοιχεί σε χρονική περίοδο T. Το  $V_R$  προκύπτει από την στατιστική ανάλυση δεδομένων σχετικής ταχύτητας ανέμου στα 10 μέτρα απόσταση από το έδαφος (τοποθέτηση ανεμόμετρου) σε μια μέση χρονική περίοδο 10 λεπτών. Αυτές οι στατιστικές καταμετρήσεις συνήθως γίνονται σε μετεωρολογικούς σταθμούς. Αυτοί οι σταθμοί τοποθετούνται σε περιοχές κατηγορίας B (τραχύτητα). Η ταχύτητα αναφοράς στην κατηγορία B είναι  $V_{RB}$ . Τότε μπορούμε να καθορίσουμε την  $V_R$  από τον τύπο  $V_R = K_R \times V_{RB}$ . Ε.9.6

Σε περιοχές όπου δεν μπορεί να διευκρινιστεί η ταχύτητα αναφοράς του ανέμου  $V_R$  με την βοήθεια του  $V_{RB}$  και το συντελεστή τραχύτητας  $K_R$ , έχουμε την βοήθεια του γραφήματος της επόμενης σελίδας, όπου βλέπουμε την σχέση μεταξύ της ταχύτητας του ανέμου σε υψόμετρο 10m συναρτήσει της κατηγορίας του εδάφους και της χρονικής περιόδου.

**Εκτίμηση της ταχύτητας του ανέμου  $V_R$  αναφοράς χωρίς την βοήθεια του  $V_{RB}$**  - Εάν η εκτίμηση της ταχύτητας του ανέμου  $V_R$  δε μπορεί να γίνει με τη βοήθεια στατιστικών δεδομένων που έχουν καταμετρηθεί σε κοντινούς μετεωρολογικούς σταθμούς (τοποθέτηση σταθμού σε κατηγορία εδάφους B και μέτρηση  $V_{RB}$ ) και του συντελεστή τραχύτητας εδάφους  $K_R$ , τότε γίνεται μια γενική μέτρηση σε υψόμετρο 10m στην τοποθεσία που θέλουμε.

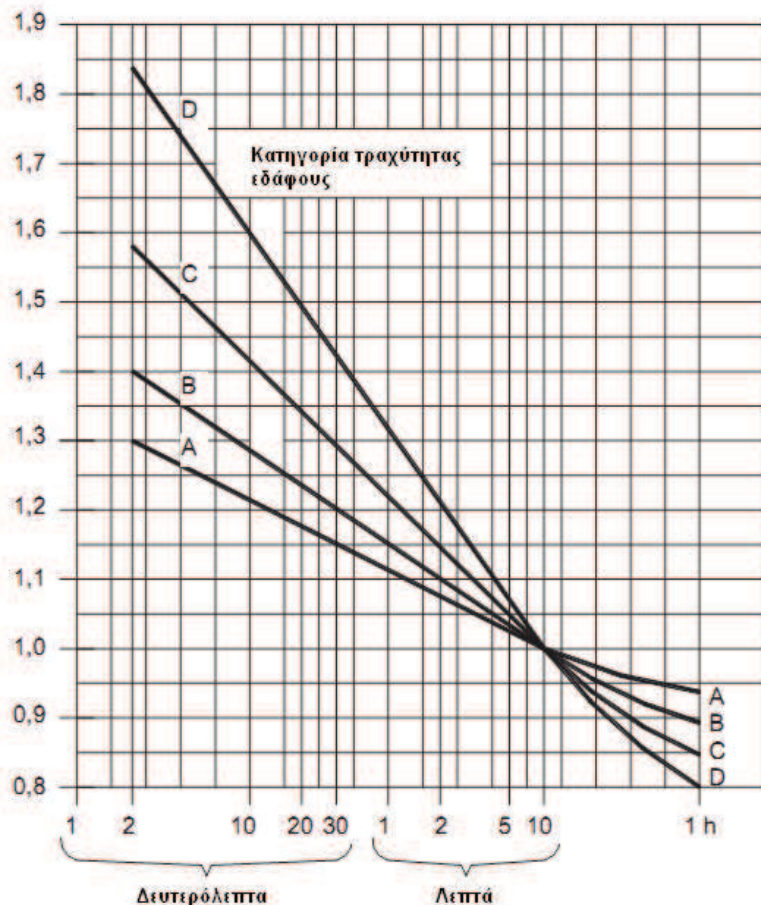
Ας υποθέσουμε ότι η κατηγορία εδάφους είναι x και η χρονική περίοδος που καταμετράται ας είναι t, ώστε η ταχύτητα του ανέμου να είναι η  $V_{x,t}$ . Από το γράφημα που έχει παρατεθεί στην επόμενη σελίδα μπορεί να καθοριστεί η αναλογία  $V_{x,t} / V_{x,10min}$  ως συνάρτηση του μέσου όρου της περιόδου για κάθε

κατηγορία τραχύτητας στην τοποθεσία του μετεωρολογικού σταθμού που εκεί γίνονται οι μετρήσεις. Για γνωστές τιμές του  $V_{x,10min}$ , η ταχύτητα  $V$  δίνεται από τη παρακάτω σχέση :

$$V = V_{X,10min} / K_R \quad \text{Ε.9.7}$$

Η διαφοροποίηση της ταχύτητας  $V$  όσο αφορά το ύψος δεν έχει ληφθεί υπόψη, καθώς τα ανεμόμετρα συνήθως, τοποθετούνται στα 10m περίπου του περιβάλλοντος χώρου όπου γίνονται οι μετρήσεις. Εάν το ύψος αυτό έστω  $z(m)$  διαφέρει από το σύνηθες των 10m, τότε η διαφορά της ταχύτητας του ανέμου σε αυτό το ύψος  $z$  μπορεί να βρεθεί από τις παρακάτω εξισώσεις :

$$V_Z = V_R \left( \frac{z}{10} \right)^a \quad \text{Ε.9.8} \quad \text{ή πιο γενικά} \quad V_{z1} = V_{z2} \left( \frac{z1}{z2} \right)^a \quad \text{Ε.9.9}$$



Γράφημα της ταχύτητας του ανέμου σε υψόμετρο 10 m συναρτήσει της κατηγορίας του εδάφους και της χρονικής περιόδου

**Πίνακας – Συντελεστής διόρθωσης  $\tau$  της δυναμικής πίεσης του ανέμου αναφοράς  $q_0$  που οφείλεται στο υψόμετρο και τη θερμοκρασία :**

Θερμοκρασία °C	Υψόμετρο M			
	0	1000	2000	3000
30	0,95	0,84	0,75	0,66
15	1,00	0,89	0,79	0,69
0	1,04	0,94	0,83	0,73
-15	1,12	0,99	0,88	0,77
-30	1,19	1,05	0,93	0,82

ΣΗΜΕΙΩΣΗ η τιμή αναφοράς αντιστοιχεί σε υψόμετρο 0 m και θερμοκρασία 15 °C

**Π.9.2**

Στον παρακάτω πίνακα δίδονται τιμές για τον συντελεστή τραχύτητας  $K_R$ .

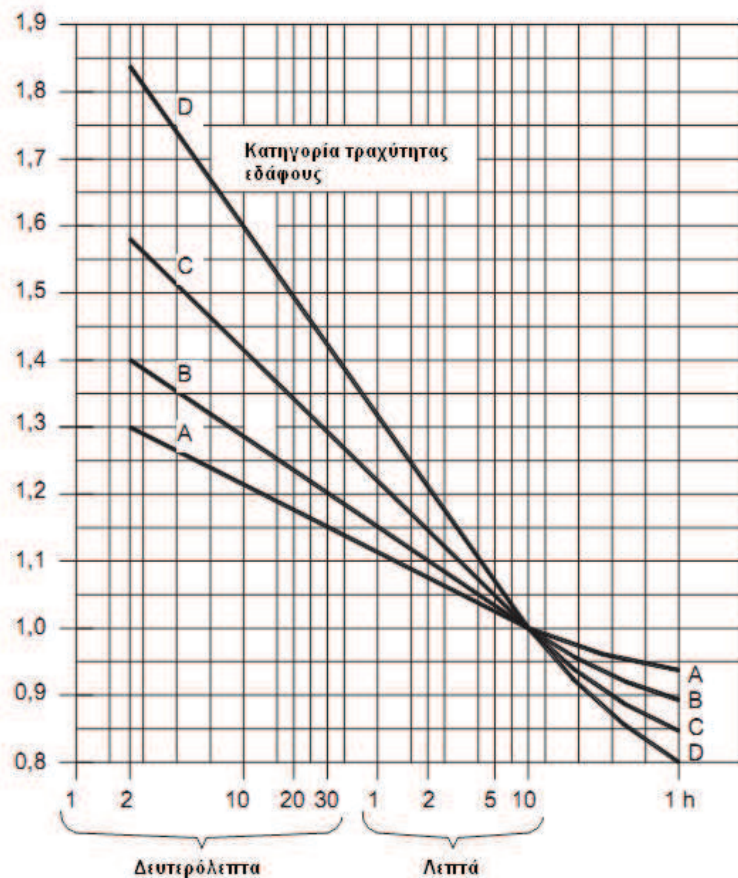
Παράγοντας	Κατηγορία Εδάφους			
	A	B	C	D
$z_0$ (μήκος τραχύτητας) (m)	0,01	0,05	0,3	1,00
$\alpha$	0,1 – 0,12	0,16	0,22	0,28
$K_R$	1,08	1	0,85	0,67

**Πίνακας Π.9.3**

Σε περιοχές όπου υπάρχει ο σχεδιασμός για ανέγερση νέας γραμμής και τυγχάνει αυτές να βρίσκονται απομακρυσμένες από κάποιο μετεωρολογικό σταθμό, χρησιμοποιείται ως βάση μέτρησης η κλίση της ταχύτητας του ανέμου. Η κλίση αυτή ορίζεται ως η ταχύτητα του ανέμου σε οριακό επίπεδο πάνω από το έδαφος και χαρακτηρίζεται από τη μέση τιμή της ετήσιας μέγιστης κλίσης της ταχύτητας του ανέμου  $\overline{V}_G$  και της τυπικής απόκλισης  $\sigma_{V_G}$ .

Ακολουθώντας μέσω της  $\overline{V}_G$  βρίσκουμε την μέση τιμή της  $\overline{V}_m$  που είναι το ανώτατο όριο της ετήσιας μέγιστης ταχύτητας του ανέμου (για μέτρηση 10m

πάνω από το έδαφος) :  $\overline{V}_m = 0,5 \times \overline{V}_G$  Ε.9.10

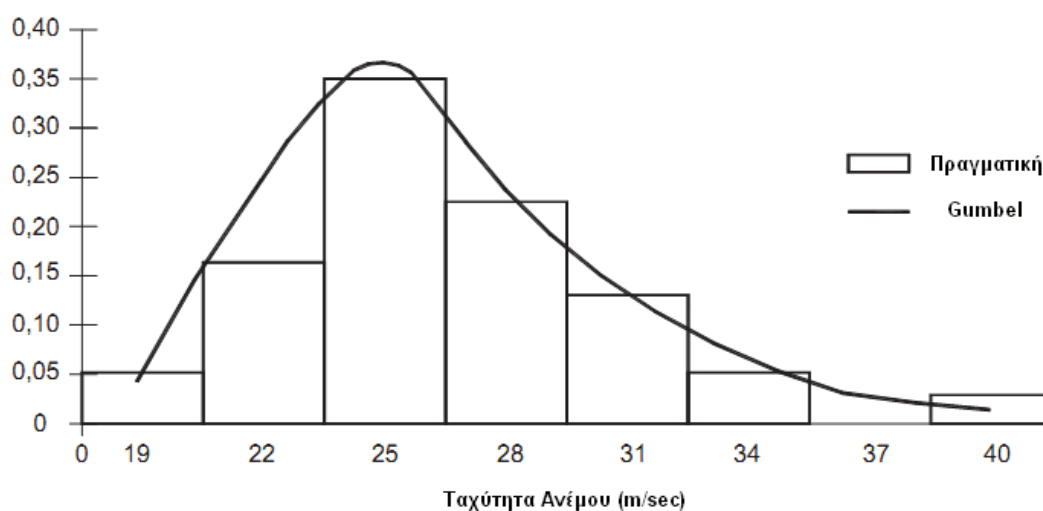


Γράφημα της ταχύτητας του ανέμου σε υψόμετρο 10 m συναρτήσει της κατηγορίας του εδάφους και της χρονικής περιόδου

**Μετρήσεις ανέμων** – Οι μετρήσεις των ανέμων θα πρέπει να ακολουθούν τους κανόνες και τις οδηγίες που δίνονται από το Παγκόσμιο Οργανισμό Μετεωρολογίας (WMO – World Meteorological Organization). Θα πρέπει να ελέγχονται και να τηρούνται οι παρακάτω συνθήκες :

- για την κατηγορία εδάφους προτιμότερες οι ανοιχτές χωρίς εμπόδια περιοχές για τοποθέτηση οργάνων καταμέτρησης.
- υψόμετρο από το έδαφος  $\geq 10\text{m}$ .
- μέση χρονική περίοδος = 10min για τη μέση τιμή της ταχύτητας του ανέμου και 3-5 sec για τις ριπές ανέμου.
- λαμβάνεται υπόψη η κατεύθυνση του ανέμου.

Συνίσταται να υπάρχει ειδική μελέτη, εμπειρία και γενικότερη βοήθεια από τους ειδικούς εμπειρογνώμονες και μηχανικούς όσο αφορά το ποια όργανα καταμέτρησης πρέπει να χρησιμοποιηθούν, πως γίνεται η ανάλυση των δεδομένων, ποια είναι η βέλτιστη επιλογή της τοποθεσίας της καταμέτρησης, την εφαρμογή πρωτοκόλλων κλπ. Παρακάτω βλέπουμε ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα μιας κατανομής Gumbel των ετησίων μεγίστων ταχυτήτων ανέμου.



**Κατανομή Gumbel σε γράφημα ιστορικού δεδομένων ταχύτητας του ανέμου συναρτήσει της χρονικής περιόδου σε έτη**

Πρέπει να πούμε σε αυτό το σημείο ότι η κατανομή Gumbel χαρακτηρίζεται ως απλή περίπτωση διότι εισάγει απλά δυο μεταβλητές  $V$  (m/sec) και  $t$  (sec). Σε πολλές περιπτώσεις προτιμάται η ανάλυση της επίδρασης που έχει η πίεση του ανέμου. Επιπλέον να προστεθεί ότι πολλές χώρες παρέχουν μετεωρολογικούς χάρτες κίνησης του ανέμου και συνίσταται η χρησιμοποίησή τους.

Ο πίνακας που παρατίθεται στην επόμενη σελίδα δείχνει τις ταχύτητες του ανέμου στην κλίμακα Beaufort (Μποφόρ) και τις επιδράσεις σε γη και θάλασσα. Η κλίμακα αυτή φυσικά χρησιμοποιείται στους μετεωρολογικούς σταθμούς για την καταμέτρηση της ταχύτητας των ανέμων.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ ΜΠΟΦΟΡ

Αριθμός κλίμακας Μποφόρ	Συνθήκη	Ενδείξεις		Ταχύτητα ανέμου (m/sec)
		Σε στεριά	Σε θάλασσα	
0	ηρεμία	ο καπνός υψώνεται κάθετα	θάλασσα σαν καθρέπτης	0-0,2
1	ελαφρύς άνεμος	ο καπνός ακολουθεί ελαφρά τη κίνηση του ανέμου	μικρές διακυμάνσεις στην επιφάνεια του νερού	0,3-1,5
2	ελαφριά αύρα	τα φύλλα θροούν	μικρά κυματίδια	1,6-3,3
3	ευγενής αύρα	τα φύλλα κινούνται	μεγάλα κυματίδια	3,4-5,4
4	ήπια αύρα	κίνηση μικρών κλαδιών των δέντρων	μικρά κύματα που μεγαλώνουν	5,5-7,9
5	δροσερή αύρα	ταλαντώσεις μικρών δέντρων	δημιουργία μέτριων κυμάτων	8,0-10,7
6	δυνατή αύρα	ταλαντώσεις μεγαλύτερων κλαδιών	δημιουργία μεγαλύτερων κυμάτων	10,8-13,8
7	μικρή θύελλα	σειρές δέντρων σε κίνηση	συσσώρευση όγκου κυμάτων	13,9-17,1
8	θύελλα	σπάζουν κλαδιά σε μικρά και μεγάλα δέντρα	δημιουργία κυμάτων πολύ μεγάλου μήκους	17,2-20,7
9	δυνατή θύελλα	σπάζουν μεγάλα κλαδιά σε δέντρα και μικρές ζημιές σε κατασκευές	μεγάλα κύματα, μεγάλη αναταραχή της θάλασσας	20,8-24,4
10	καταιγίδα	ξεριζωμός δέντρων, ήπιες ζημιές σε κατασκευές	τεράστια κύματα, βίαιοι κυματισμοί, μειωμένη ορατότητα	24,5-28,4
11	βίαιη καταιγίδα	εκτεταμένες ζημιές	τεράστιοι και βίαιοι κυματισμοί, περαιτέρω μείωση ορατότητας	28,5-32,6
12	τυφώνας	βίαιη κίνηση δέντρων και μεγάλες εκτεταμένες καταστροφές	Ο αέρας γεμίζει αφρούς της θάλασσας, ορατότης μηδέν, τεράστια και βίαια κύματα σε μεγάλες ταχύτητες	32,7-36,9 και πάνω

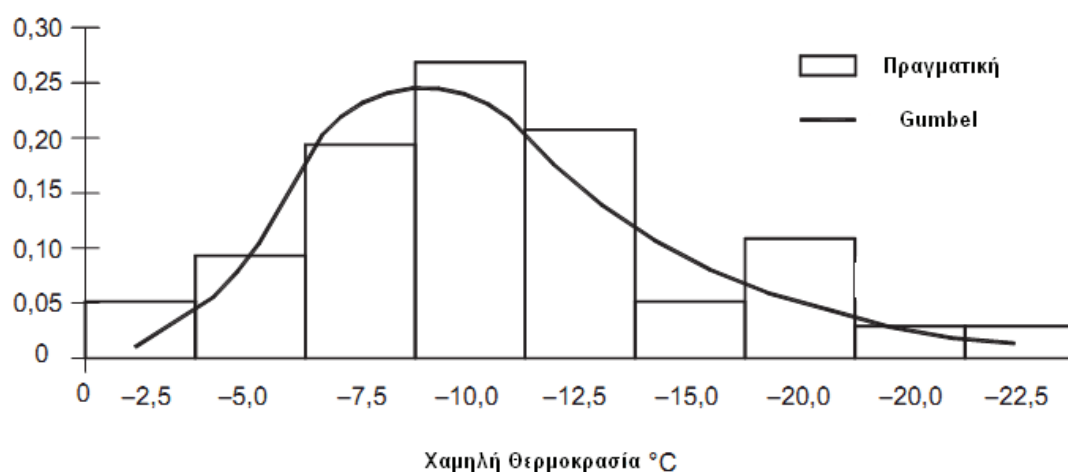
Π.9.4



**Συνδυασμός της ταχύτητας του ανέμου και της θερμοκρασίας –** Δυο συνδυασμοί λαμβάνονται υπόψη για τους σκοπούς της σχεδίασης και αυτοί είναι οι εξής :

- 1) Υψηλή ταχύτητα ανέμου σε συνθήκες θερμοκρασίας αναφοράς : Η μέση και υψηλή ταχύτητα του ανέμου θεωρείται ότι συμβαίνει σε θερμοκρασία ίση με το μέσο όρο της χαμηλότερης καθημερινής θερμοκρασίας.
- 2) Μειωμένη ταχύτητα ανέμου στη συνθήκη ελάχιστης χαμηλής θερμοκρασίας – Η μειωμένη ταχύτητα ανέμου ισούται με  $V_R$  επί συντελεστή που επιλέγεται ανάλογα με τις μετεωρολογικές συνθήκες. Όταν δεν επαρκούν τα στοιχεία προτείνεται συντελεστής 0,6. Η χαμηλότερη θερμοκρασία θεωρείται πως είναι ίση με την ελάχιστη θερμοκρασία για χρονική περίοδο  $T$  έτη.

Στο παρακάτω γράφημα βλέπουμε και πάλι ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα πραγματικής καταμέτρησης θερμοκρασίας συναρτήσει της χρονικής περιόδου σε έτη και πως εφαρμόζεται σε αυτή η κατανομή Gumbel.



**Κατανομή Gumbel της χαμηλής θερμοκρασίας συναρτήσει της χρονικής περιόδου σε έτη**

Χρησιμοποιούνται και σε αυτή τη περίπτωση εάν υπάρχουν οι μετεωρολογικοί χάρτες καταμέτρησης της θερμοκρασίας.

**Επίδραση της ταχύτητας του ανέμου στα στοιχεία της γραμμής** – Δίνεται η παρακάτω **γενική** εξίσωση η οποία μπορεί να αλλάζει αναλόγως το στοιχείο που εξετάζεται :

$$a = q_0 \times C_x \times G \quad \text{E.9.11}$$

Όπου :

$q_0$  – είναι η δυναμική πίεση του ανέμου αναφοράς.

$C_x$  – είναι ο συντελεστής υστέρησης και εξαρτάται από τις ιδιότητες του σχήματος και της επιφάνειας του στοιχείου που εξετάζεται.

$G$  – είναι ο ολικός συντελεστής ανέμου, ο οποίος λαμβάνει υπόψη του τις επιδράσεις του ύψους του στοιχείου πάνω από το επίπεδο του εδάφους, την κατηγορία τραχύτητας του εδάφους, τις ριπές των ανέμων και την δυναμική αντίδραση των στοιχείων – σε περίπτωση που μιλάμε για φορτία αγωγών, ο συντελεστής αυτός διασπάται σε επαγωγικό και χωρητικό συντελεστή  $G_L$  και  $G_C$  αντίστοιχα.

Η επίδραση που έχει ο άνεμος (φυσώντας σε ορθές γωνίες) στα στοιχεία της γραμμής (αγωγοί, πυλώνες, αλύσεις μονωτήρων κλπ.) δίνεται από τη παραπάνω χαρακτηριστική τιμή του  $a$  - που είναι η ανά μονάδα επίδραση της ταχύτητας του ανέμου και μετριέται σε Pascal ( $N/m^2$ ). Η δυναμική πίεση του ανέμου αναφοράς  $q_0$ , που βλέπουμε στη παρακάτω εξίσωση, μετριέται επίσης σε Pascal ( $N/m^2$ ) και δίνεται σε σχέση με την ταχύτητα αναφοράς του ανέμου  $V_R$ , τροποποιημένη με τον συντελεστή τραχύτητας  $K_R$  που αντιστοιχεί στην κατηγορία εδάφους της γραμμής η οποία εξετάζεται.

$$q_0 = \frac{1}{2} \times \tau \times \mu (K_R V_{RB})^2 \quad \text{E.9.12}$$

Όπου :

$\mu$  – είναι η μάζα του αέρα ανά μονάδα όγκου και ισούται με  $1,225 \text{ kg/m}^3$  σε συνθήκες θερμοκρασίας  $15^\circ\text{C}$  και ατμοσφαιρικής πίεσης  $101,3 \text{ kPa}$  στο επίπεδο της θαλάσσης.

$\tau$  – είναι ο συντελεστής διόρθωσης της πυκνότητας του ανέμου. Όταν οι οριακές ταχύτητες του ανέμου σχετίζονται άμεσα με ένα συγκεκριμένο υψόμετρο ή/και θερμοκρασία, που διαφέρουν σημαντικά από την αρχική υπόθεση (επίπεδο της θαλάσσης,  $15^\circ\text{C}$ ), τότε ο συντελεστής διόρθωσης  $\tau^*$  μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην  $q_0$ , σε διαφορετική περίπτωση θεωρείται ότι έχουμε  $\tau=1$ . (\*πίνακας για τις τιμές που λαμβάνει ο συντελεστής διόρθωσης  $\tau$  της δυναμικής της πίεσης του ανέμου αναφοράς  $q_0$  υπάρχει στο παράρτημα).

**Φορτία ανέμου σε αγωγούς** – Η επίδραση του ανέμου έχει ως αποτέλεσμα να ασκείται πίεση στους αγωγούς και εφελκυσμοί μεταξύ των ανοιγμάτων. Στην παρακάτω εξίσωση βλέπουμε αυτή τη πίεση  $A_c$  (που μετριέται σε Newton) :

$$A_c = q_0 \times C_{xc} \times G_c \times G_L \times d \times L \times \sin^2 \times \Omega \quad \text{E.9.13}$$

Όπου :

$q_0$  – είναι η δυναμική πίεση του ανέμου αναφοράς ( $N/m^2$ ).

$C_{xc}$  – είναι ο συντελεστής υστέρησης του αγωγού και θεωρείται ότι  $C_{xc} = 1$  για γυμνούς αγωγούς και κανονικές ταχύτητες ανέμου. Αν υπάρχουν διαθέσιμα συγκεκριμένα δεδομένα τότε δύναται να υπάρξει τροποποίηση του συντελεστή.

$G_c$  – είναι ο ολικός συντελεστής ανέμου ο οποίος εξαρτάται από το ύψος  $z$  και την κατηγορία τραχύτητας του εδάφους.

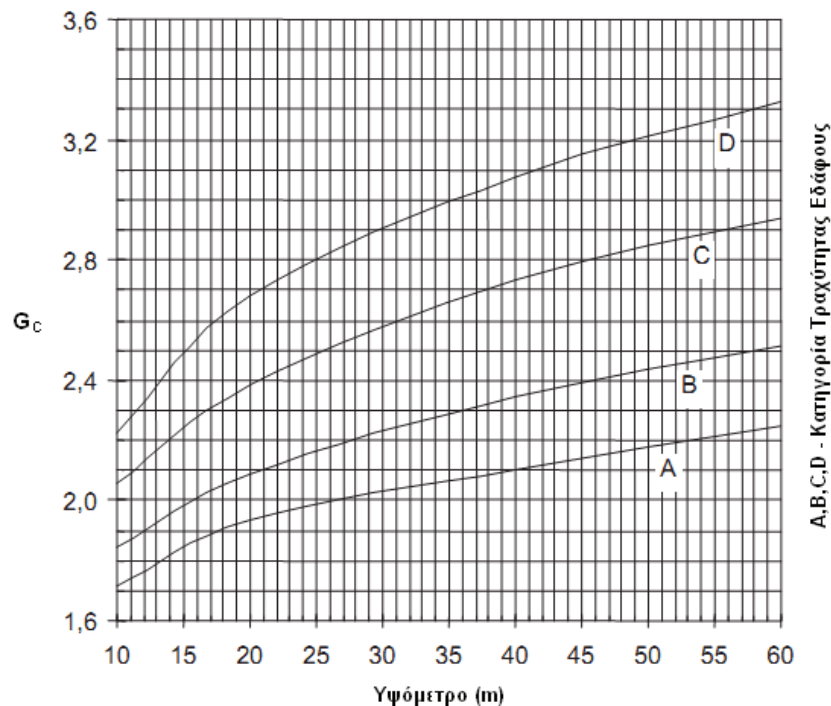
$G_L$  – είναι ο συντελεστής ανοίγματος.

$d$  – είναι η διάμετρος του αγωγού (m).

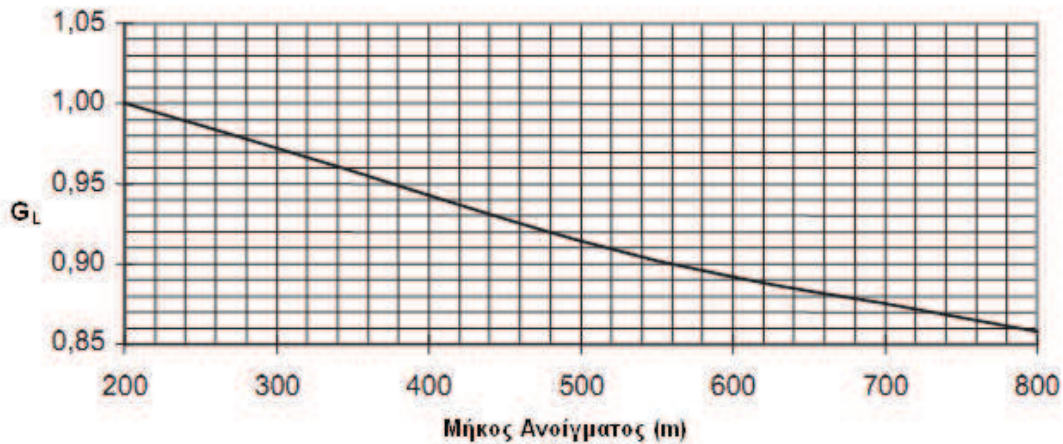
$L$  – είναι το άνοιγμα του φορέα και ισούται με το ήμισυ του αθροίσματος του μήκους των παρακείμενων ανοιγμάτων του φορέα.

$\Omega$  – είναι η γωνία μεταξύ κατεύθυνσης του ανέμου και του αγωγού.

Παρακάτω βλέπουμε δυο γραφήματα που αφορούν τους συντελεστές  $G_c$  και  $G_L$ .



Ολικός συντελεστής αγωγού  $G_c$  για τις διάφορες κατηγορίες εδάφους και υψόμετρο



Συντελεστής ανοίγματος  $G_L$  συναρτήσει του μήκους ανοίγματος

Οι επιδράσεις του ανέμου, όπως προείπαμε, δημιουργούν μηχανικές τάσεις και εφελκυσμούς σε αγωγούς και ανοίγματα. Σε ξεχωριστό κεφάλαιο θα δούμε παρακάτω μια ανάλυση στην **TΑΝΥΣΗ** των αγωγών. Σε περίπτωση γραμμής μεταφοράς που αποτελείται από ανοίγματα με μονωτήρες αναρτήσεως, τότε για τον υπολογισμό των φορτίων ανέμου μπορεί να εφαρμοστεί ο κανόνας του ολικού ανοίγματος. Αυτός ο κανόνας υποθέτει ότι η ίδια πίεση ανέμου εφαρμόζεται σε όλα τα ανοίγματα κατά μήκος μιας γραμμής όπου οι αγωγοί συνδέονται μέσω μονωτήρων αναρτήσεως. Έτσι μπορεί να εισαχθεί ένας συντελεστής μείωσης (0,6 - 1) της πίεσης του ανέμου. Ο κανόνας πάντως αυτός εφαρμόζεται με ιδιαίτερη προσοχή γιατί σε πολλές φορές είναι απαγορευτική μια τέτοια μείωση στον υπολογισμό της πίεσης του ανέμου.

**Φορτία ανέμου στους μονωτήρες** – Το φορτίο  $A_i$  (μετριέται σε Newton), αντιστοιχεί στο φορτίο που αναλογεί στους μονωτήρες και μεταφέρεται σε αυτούς από τη πίεση του ανέμου που ασκείται στους αγωγούς. Η παρακάτω εξίσωση δίνει το φορτίο  $A_i$  :

$$A_i = q_0 \times C_{xi} \times G_t \times S_i \quad \text{E.9.14}$$

Όπου:

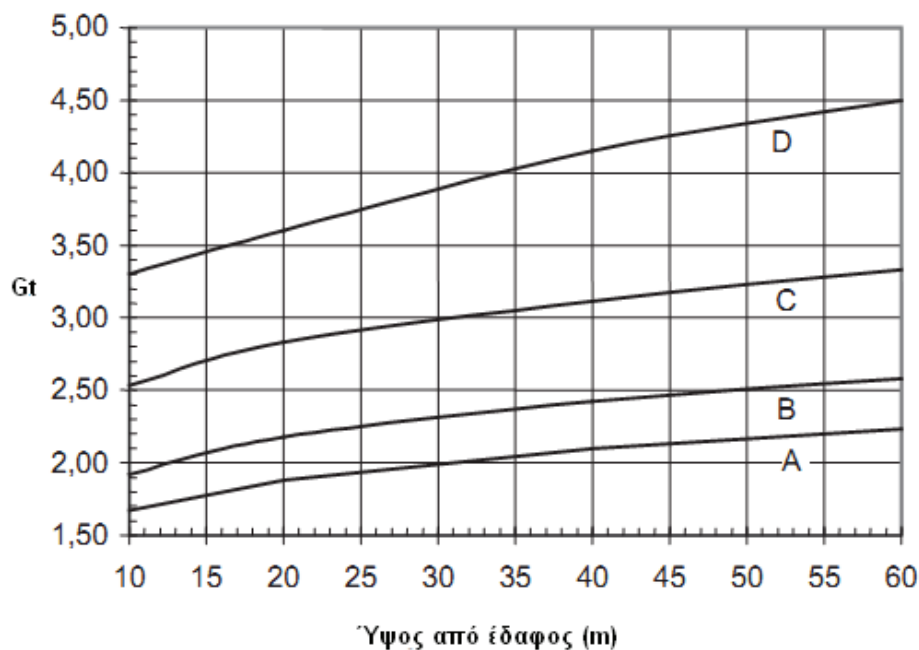
$q_0$  – είναι η δυναμική πίεση του ανέμου αναφοράς ( $N/m^2$ ).

$C_{xi}$  – είναι ο συντελεστής υστέρησης των μονωτήρων και θεωρείται ότι  $C_{xi} = 1,2$

$G_t$  – είναι ο ολικός συντελεστής ανέμου, ο οποίος διαφοροποιείται ανάλογα με τη τραχύτητα του εδάφους και αφορά τους μονωτήρες.

$S_i$  – είναι ο δείκτης που αναφέρεται στην κάθετη επιφάνεια του μονωτήρα ( $m^2$ ).

Να πούμε εδώ ότι όσο αφορά τον σχεδιασμό των φορέων, η πίεση από τα φορτία ανέμου που ασκείται στις αλύσεις των μονωτήρων θεωρείται ελάχιστη. Στο παρακάτω γράφημα βλέπουμε την καμπύλη του συντελεστή ανέμου  $G_t$  συναρτήσει του ύψους από το έδαφος.



Συντελεστής ανέμου  $G_t$  συναρτήσει του ύψους από το έδαφος σε διαφορετικές κατηγορίες τραχύτητας εδάφους

**Φορτία ανέμου στους φορείς** – Τα φορτία του ανέμου που αφορούν τους πυλώνες, ασκούνται σε αυτούς από την μετάδοση των εφελκυσμών λόγω της πίεσης του ανέμου στους αγωγούς και στους μονωτήρες, αλλά και στον ίδιο το πυλώνα. Ο υπολογισμός όμως αυτών των φορτίων θα πρέπει να εξειδικεύεται ανάλογα με τον τύπο και τη κατασκευή του φορέα που συναντάμε στη γραμμή και αυτό διότι τα τελικά δεδομένα θα έχουν αρκετές διαφορές. Έτσι διαφοροποιείται πολλές φορές (όπως επισημαίνει και το πρότυπο IEC-60826) η μαθηματική ανάλυση των δεδομένων καθότι δεν ορίζονται διαφορετικοί κανόνες ανάλογα με το φορέα που εξετάζεται. Τα φορτία ανέμου σε αυτή τη περίπτωση υπολογίζονται μετά το πέρας της κατασκευής του φορέα, όπου πλέον είναι γνωστά τα αναγκαία δεδομένα,

όπως τύπος, μέγεθος, χρήση και κατασκευή. Το πρότυπο μας παρέχει δυο παραδείγματα υπολογισμού φορτίων ανέμου σε φορείς που επισημαίνουμε επιγραμματικά παρακάτω :

**Υπολογισμός φορτίου ανέμου σε πυλώνα πλέγματος (lattice tower)** – Οι πυλώνες αυτού του τύπου κυριαρχούν στα υψηλά επίπεδα τάσεων. Το φορτίο  $A_t$  (σε Newton) θα δίνεται τότε από την παρακάτω εξίσωση :

$$A_t = q_0 \times G_t \times (1 + 0,2 \times \sin^2 2\theta)(S_{t1} \times C_{xt1} \times \cos^2 \theta + S_{t2} \times C_{xt2} \times \sin^2 \theta)$$

E.9.15

Όπου :

$q_0$  – είναι η δυναμική πίεση του ανέμου αναφοράς ( $N/m^2$ ).

$G_t$  – είναι ο ολικός συντελεστής ανέμου για τους φορείς.

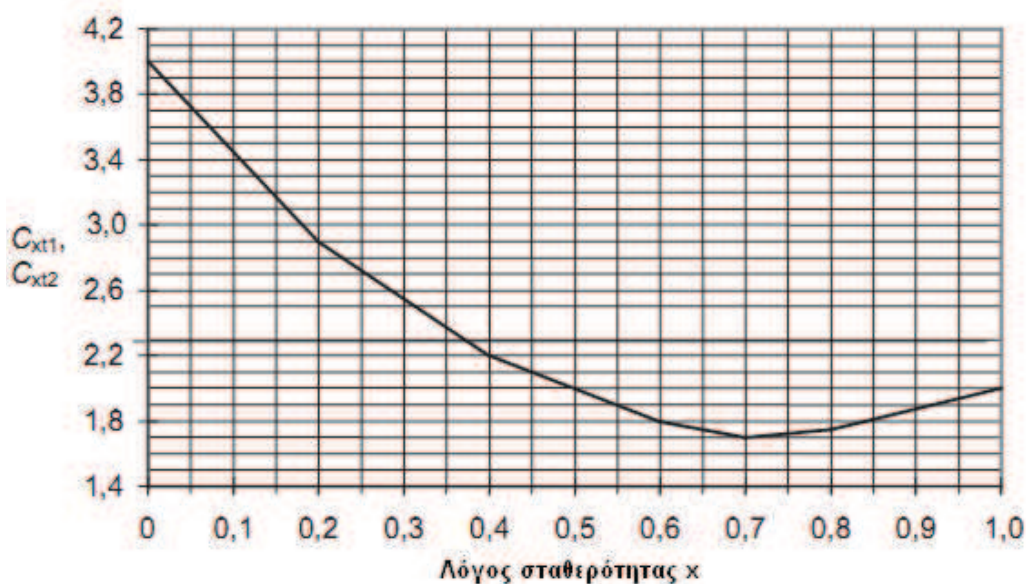
$S_{t1,2}$  – είναι οι επιφάνειες του πυλώνα για τον υπολογισμό του φορτίου ( $m^2$ ) - (1 = οριζόντια, 2 = κάθετη).

$C_{xt1,2}$  – είναι οι συντελεστές υστέρησης που αφορούν τις επιφάνειες.

$\theta$  – είναι η γωνία κατεύθυνσης του ανέμου στην οριζόντια επιφάνεια του φορέα.

$x$  – είναι η αναλογία στερεότητας που αφορά τις επιφάνειες του φορέα.

Στο παρακάτω γράφημα μπορούμε να δούμε το λόγο σταθερότητας  $x$  σε συνάρτηση με τους συντελεστές υστέρησης  $C_{xt1,2}$  για τους πυλώνες (lattice towers).



Συνάρτηση λόγου σταθερότητας  $x$  με τους συντελεστές υστέρησης  $C_{xt1,2}$



**Υπολογισμός φορτίου ανέμου σε στύλους (κυλινδρικού σχήματος)** – Για τους στύλους λόγω διαφορετικής μορφής και κατασκευής έχουμε διαφοροποίηση στον υπολογισμό του φορτίου. Η σημαντική διαφορά είναι η μεγάλη διάμετρος που έχει το σώμα του στύλου. Η εξίσωση για το φορτίο  $A_{tc}$  (σε Newton) έτσι γίνεται :

$$A_{tc} = q_0 \times C_{xtc} \times G_t \times d_t \times l_e \times \sin^3 \theta' \quad \text{E.9.16}$$

Όπου :

$C_{xtc}$  – είναι ο συντελεστής υστέρησης για άνεμο που φυσά κάθετα στον άξονα του κυλίνδρου (σώμα του στύλου). Η τιμή του εξαρτάται από τον αριθμό Reynolds που αντιστοιχεί στην ταχύτητα ριπής στο αντίστοιχο ύψος αλλά και τη ανθεκτικότητα του κυλίνδρου. Ο αριθμός Re δίδεται από την εξίσωση  $Re = (d_t \times V_R) / \nu$ .

$\nu$  – είναι το ιξώδες του ανέμου ( $\nu = 1,45 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{sec}$  σε  $15^\circ\text{C}$ ).

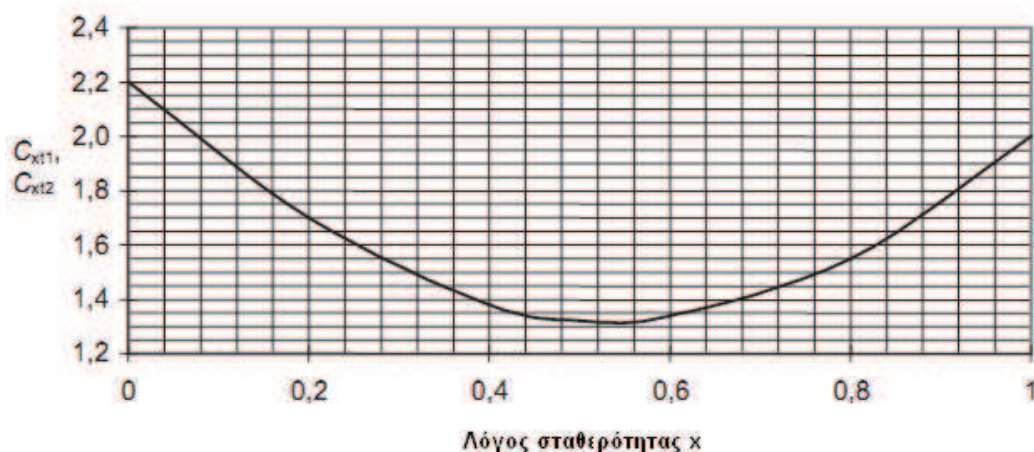
$G_t$  – είναι ο ολικός συντελεστής ανέμου για τους φορείς.

$l_e$  – είναι το μήκος του σώματος του στύλου (m).

$d_t$  – είναι η διάμετρος του κυλίνδρου (σώμα του στύλου) (m).

$\theta'$  – είναι η γωνία που σχηματίζει η κατεύθυνση του ανέμου και τον άξονα του κυλίνδρου.

Στο παρακάτω γράφημα μπορούμε να δούμε το λόγο σταθερότητας  $\chi$  σε συνάρτηση με τους συντελεστές υστέρησης  $C_{xt1,2}$  για τους στύλους (cylindrical member towers).



Συνάρτηση λόγου σταθερότητας  $\chi$  με τους συντελεστές υστέρησης  $C_{xt1,2}$



## 9.4 - ΦΟΡΤΙΑ ΠΑΓΟΥ

**Ατμοσφαιρικός πάγος** – Η δημιουργία πάγου στην ατμόσφαιρα συμβαίνει υπό διαφορετικές προϋποθέσεις που φέρουν διαφορετικά αποτελέσματα και μορφές πάγου. Στις διαδικασίες αυτές το νερό παγώνει σε διάφορες μορφές και προσκολλάται ή επικάθεται στις διάφορες επιφάνειες που είναι εκτεθειμένες (όπως π.χ. οι αγωγοί των γραμμών μεταφοράς). Όσο αφορά το πρότυπο IEC-60826 θα μας απασχολήσουν δυο περιπτώσεις επικάθησης πάγου, ο πάγος λόγω χιονόπτωσης και ο πάγου λόγω νέφους.

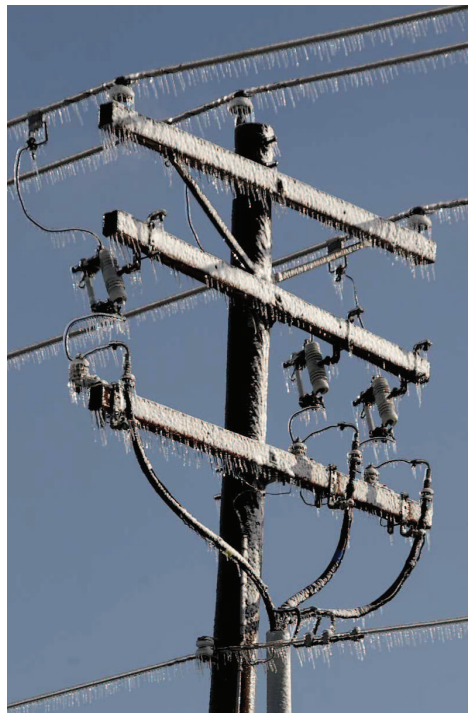
**Παγωμένη βροχή** – Η επικάθηση πάγου σε επιφάνειες λόγω παγωμένης βροχής, μπορεί να παρουσιαστεί σε οποιοδήποτε υψόμετρο. Μεγαλύτερες όμως πιθανότητες συγκεντρώνει η περίπτωση της δημιουργίας πάγου στα χαμηλά επίπεδα μιας κοιλάδας επειδή εκεί φυσά ψυχρότερος αέρας (στα χαμηλά στρώματα έχουμε ψυχρό αέρα ενώ όσο ανεβαίνουμε αυτός θερμαίνεται). Όπως καταλαβαίνουμε η ροή του αέρα παίζει μεγάλο ρόλο στην επικάθηση του πάγου. Έτσι παρατηρείται ότι η επικάθηση πάγου στις γραμμές μεταφοράς είναι περισσότερη εκεί όπου οι γραμμές δρομολογούνται κάθετα ή λοξά σε σχέση με τη κοιλάδα και λιγότερη εκεί όπου ακολουθούν κατά μήκος τη κοιλάδα. Στην παρακάτω φωτογραφία βλέπουμε μια περίπτωση όπου η επικάθηση πάγου λόγω χιονόπτωσης έφερε καταστροφικές συνέπειες σε γραμμή μεταφοράς.



**Επικάθηση πάγου σε γραμμή μεταφοράς με συνέπεια να λυγίσει υπό το βάρος του πάγου**

**Δημιουργία παγοκρυστάλλου λόγω παγωμένης βροχής** – Όταν τα σταγονίδια της βροχής συναντούν ρεύματα ψυχρού αέρα σε θερμοκρασίες κάτω των  $0^{\circ}\text{C}$ , οι σταγόνες αυτές ψύχονται. Βρίσκονται όμως ακόμη σε υγρή μορφή και δεν παγώνουν ωσότου πέσουν στο έδαφος ή σε κάποια επιφάνεια. Το αποτέλεσμα μιας τέτοιας επικάθησης είναι η δημιουργία μιας μορφής διάφανου αλλά συμπαγούς πάγου ο οποίος ονομάζεται παγοκρύσταλλος (ή υαλόπαγος). Αυτή η μορφή επικάθησης πάγου είναι πολλή ανθεκτική και αφαιρείται δύσκολα. Η πυκνότητα αυτής της μορφής υπολογίζεται από  $800\text{-}900\text{ kg/m}^3$  αναλόγως την περιεκτικότητα του πάγου σε φυσαλίδες αέρος.

Μια τέτοια παγωμένη βροχή τη συναντάμε πιο πολύ σε μεγάλες και ανοιχτές πεδιάδες και λεκανοπέδια όπου υπάρχουν σχετικά μεγάλα ρεύματα ψυχρού αέρα, ιδιαίτερα σε εποχές χειμώνα και σε περιόδους κακοκαιρίας. Συχνά πάντως όταν πέφτει παγωμένη βροχή οι ταχύτητες του ανέμου είναι μέτριες. Σε τέτοιες περιπτώσεις η ποσότητα του επικαθήμενου πάγου εξαρτάται από τη συχνότητα και τη διάρκεια της χιονόπτωσης. Στη παρακάτω φωτογραφία βλέπουμε μια γραμμή μεταφοράς όπου έχει δημιουργηθεί παγοκρύσταλλος.



**Παγοκρύσταλλος που έχει δημιουργηθεί στην επιφάνεια του πυλώνα και των αγωγών**

**Υγρό χιόνι** - Σε περίπτωση που υπάρξει χιονόπτωση η οποία συναντά ρεύματα θερμού αέρα, τότε οι νιφάδες του χιονιού αρχίζουν και λιώνουν όπου η θερμοκρασία είναι άνω των  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Οι νιφάδες θα συνεχίζουν να λιώνουν, ανάλογα με το πόσο μεγάλο είναι αυτό το ρεύμα θερμού αέρα ωστόσο γίνουν σταγονίδια βροχής. Όσο όμως δεν έχουν λιώσει εντελώς οι νιφάδες, που τώρα είναι ένα μείγμα χιονιού και νερού, παραμένουν κολλώδης και μπορούν να προσκολληθούν σε επιφάνειες, όπως είναι οι αγωγοί των γραμμών μεταφοράς.

Η πυκνότητα του υγρού χιονιού μπορεί να ποικίλλει μεταξύ  $100\text{-}800\text{ kg/m}^3$ , αλλά πιο ακριβείς μετρήσεις δείχνουν  $400\text{-}600\text{ kg/m}^3$ . Η πυκνότητα και η ένταση των ποσοτήτων επικάλυψης υγρού χιονιού, φυσικά εξαρτάται από την χιονόπτωση, τις ταχύτητες του ανέμου και την θερμοκρασία. Αν μετά την επικάλυψη η θερμοκρασία πέσει κάτω από  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , το χιόνι θα μετατραπεί σε πάγο συμπαγούς και ανθεκτικής μορφής με μεγάλη ευκολία στην προσκόλληση σε επιφάνειες. Παρακάτω βλέπουμε δυο φωτογραφίες όπου έχει γίνει επικάλυψη υγρού χιονιού σε γραμμές μεταφοράς.



Επικάλυψη υγρού χιονιού σε γραμμή 1



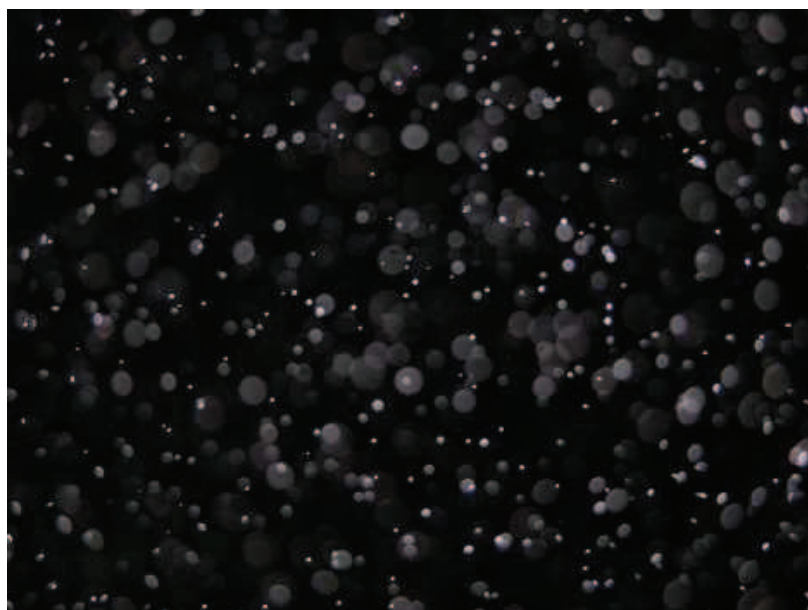
Επικάλυψη υγρού χιονιού σε γραμμή 2

**Παγετός** – Υπάρχει ακόμη μια περίπτωση δημιουργίας πάγου, όπου οι υδρατμοί του νερού μεταμορφώνονται απευθείας σε πάγο, όταν η θερμοκρασία πέσει κάτω από τους  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , κυρίως σε ήρεμες και καθαρές από πλευράς καιρού νύκτες και δημιουργείται έτσι παγετός που έχει τη μορφή

μικρών βελονών. Αυτή όμως η περίπτωση δεν μας απασχολεί ιδιαίτερα καθώς δεν δημιουργούνται σημαντικά φορτία κατά αυτό το τρόπο.

**Πάγος λόγω νέφους ή ομίχλης** – Η τοποθεσία και γενικά ο περιβάλλον χώρος είναι ένας παράγοντας που επηρεάζει την δημιουργία και επικάθηση πάγου σε επιφάνειες. Σε περιοχές όπως βουνά, οι μεριές οι οποίες βρίσκονται εκτεθειμένες στους ανέμους, τείνουν να οδηγούν την υγρασία προς τα επάνω, με αποτέλεσμα να έχουμε ψυχρότερο αέρα, συμπύκνωση υδρατμών και εντελή δημιουργία σταγονιδίων. Αυτή η διαδικασία έχει ως συνέπεια να δημιουργείται πάγος εντός νέφους (υδρατμοί) ή εντός ομίχλης.

Οι περισσότερες περιπτώσεις δημιουργίας πάγου αυτής της μορφής, παρατηρούνται σε μεγάλα ύψη και περάσματα, όπου οι άνεμοι γίνονται ισχυρότεροι. Από την άλλη μεριά στις υπήνεμες μεριές (μεριές που δεν εκτίθενται σε ανέμους), η κάθοδος θερμού αέρα οδηγεί στην εξάτμιση των σταγονιδίων και έτσι προστατεύονται οι γραμμές μεταφοράς, οι οποίες δρομολογούνται σε τέτοιες περιοχές, από την υψηλή επικάθηση πάγου. Στην παρακάτω φωτογραφία βλέπουμε μια μικροσκοπική ανάλυση σταγονιδίων οι οποίες αρχίζουν και παγώνουν λόγω του ψυχρού αέρα. Αυτή είναι μια προσέγγιση στο πως δημιουργείται πάγος μέσα σε νέφος (σύννεφο) ή ομίχλη.



Σταγονίδια τα οποία αρχίζουν και παγώνουν λόγω του ψυχρού αέρα

**Δημιουργία στρώματος πάχνης** - Η δημιουργία πάγου μέσα σε νέφος είναι μια διαδικασία, όπως είπαμε και παραπάνω, όπου ψυχρά σταγονίδια που βρίσκονται μέσα σε νέφος ή ομίχλη, παγώνουν άμεσα και προσκολλούνται σε επιφάνειες στην ροή του αέρα, όπως είναι οι αγωγοί γραμμών μεταφοράς, των οποίων το δρομολόγιο περνά από μεγάλο υψόμετρο, όπως είναι τα βουνά. Το αποτέλεσμα της επικάθησης πάγου σε τέτοια περίπτωση δημιουργεί στρώματα πάχνης.

Αναλόγως την πυκνότητα που θα έχει αυτό το στρώμα, η πυκνότητα θα κυμαίνεται μεταξύ  $200-600 \text{ kg/m}^3$  για αραιά στρώματα πάχνης. Όταν οι συνθήκες είναι πιο δυσμενείς τότε μπορεί το στρώμα αυτό να πυκνώσει και τότε η πυκνότητα θα κυμαίνεται μεταξύ  $700-900 \text{ kg/m}^3$ . Σε θερμοκρασίες κάτω των  $-10 \text{ }^\circ\text{C}$  παρατηρείται μια μείωση της επικάθησης πάγου, λόγω του ότι τα αποθέματα νερού στον αέρα λιγοστεύουν. Στην παρακάτω φωτογραφία βλέπουμε από κοντά πως είναι ένα τέτοιο στρώμα πάχνης.



*Στρώμα πάχνης που έχει δημιουργηθεί λόγω της απότομης ψύξης σταγονιδίων*

Στην επόμενη σελίδα παραθέτουμε δυο πίνακες. Ο 1<sup>ος</sup> πίνακας αναφέρει κάποιες από τις φυσικές ιδιότητες που έχει ο πάγος. Ο 2<sup>ος</sup> πίνακας έχει να κάνει με τις παραμέτρους που αφορούν την επικάθηση του πάγου.

### Πίνακας φυσικών ιδιοτήτων του πάγου

Είδος πάγου	Πυκνότητα Kg/m <sup>3</sup>	Προσκόλληση	Εμφάνιση		Συνοχή
			Χρώμα	Σχήμα	
Κρύσταλλος	700-900	δυνατή	διάφανο	κυλινδρικός παγοκρύσταλλος	Ισχυρή
Υγρό χιόνι	400-600	μέτρια	λευκό	κυλινδρικό	μέτρια ως ισχυρή
Πάχνη πυκνού στρώματος	700-900	δυνατή	θολό ως διάφανο	τριγωνική μορφή στην κατεύθυνση του ανέμου	πολλή ισχυρή
Πάχνη αραιού στρώματος	200-600	μέτρια	λευκό	τριγωνική μορφή στην κατεύθυνση του ανέμου	χαμηλή ως μέτρια

Π.9.5

### Πίνακας παραμέτρων ελέγχου επικάλυψης πάγου

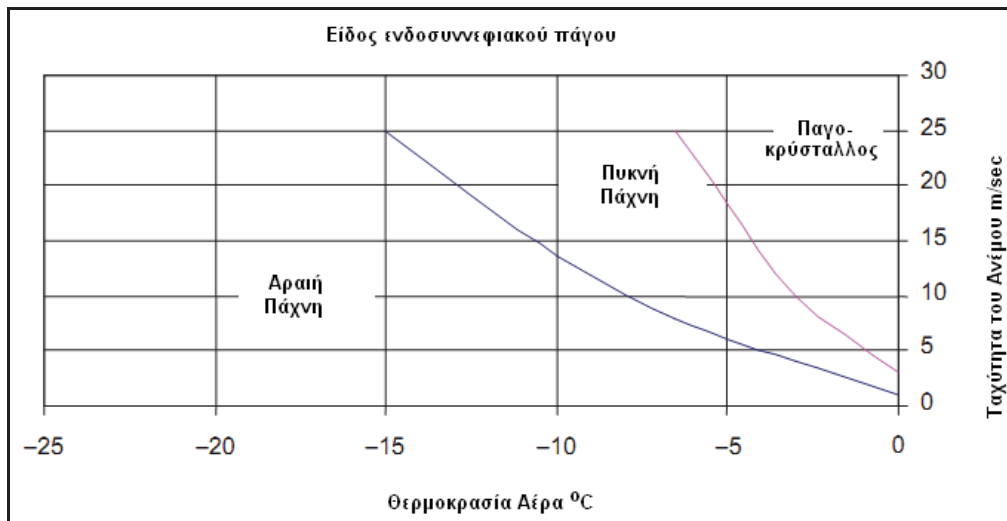
Είδος πάγου	Θερμοκρασία αέρα t °C	Μέση ταχύτητα ανέμου V m/s	Μέγεθος σταγόνας	Ποσότητα υγρού που περιέχει	Τυπική διάρκεια κακοκαιρίας
Παγοκρύσταλλος	-10 < t < 0	όλες	μεγάλη	μέτρια	Ώρες
Υγρό Χιόνι	0 < t < 3	όλες	νιφάδα	πολλή υψηλή	Ώρες
Πυκνή Πάχνη	-10 < t < 1	V > 10	μέτρια	μέτρια ως Υψηλή	Ημέρες
Αραιή Πάχνη	-20 < t < 1	V < 10	μικρή	χαμηλή	Ημέρες

Π.9.6

Η μετάβαση από το στάδιο της αραιής πάχνης σε πυκνή πάχνη και τελικά στην δημιουργία παγοκρυστάλλου είναι μια συνάρτηση μεταξύ θερμοκρασίας του αέρα και της ταχύτητας του ανέμου όπως βλέπουμε στο γράφημα της επόμενης σελίδας.



**Γράφημα της δημιουργίας πάγου συναρτήσει της θερμοκρασίας του αέρα και της ταχύτητας του ανέμου**



**Δεδομένα και στοιχεία για τα φορτία πάγου** – Τα φορτία πάγου αποτελούν τυχαία μεταβλητή και ορίζονται είτε με τον δείκτη  $g$  (N/m), είτε με το δείκτη  $t$  (mm). Ο δείκτης  $g$  εκφράζει το βάρος ανά μονάδα μήκους αγωγού, ενώ ο δείκτης  $t$ , εκφράζει το πάχος του συμπαγούς πάγου σε ακτίνα γύρω από τους αγωγούς και τις γειώσεις.

Παραπάνω είδαμε τον πίνακα με τις φυσικές ιδιότητες του πάγου, όπου μπορεί να βγει το συμπέρασμα ότι η επικάλυψη πάγου είναι ένα τυχαίο φαινόμενο όσο αφορά το σχήμα και την πυκνότητα που αυτός μπορεί να αποκτήσει. Ωστόσο, για την διευκόλυνση στους υπολογισμούς των φορτίων πάγου, γίνεται μια μετατροπή η οποία θεωρεί ότι έχουμε ένα ομοιόμορφο πάχος πάγου, σε ακτίνα γύρω από τους αγωγούς  $t$  (mm), με μια σχετική πυκνότητα  $\delta = 0,9$ . Την σχέση μεταξύ των δεικτών  $g$  και  $t$  την βλέπουμε στην παρακάτω εξίσωση :

$$g = 9,82 \times 10^{-3} \times \delta \times \pi \times t \left( d + \frac{t}{1000} \right) \quad \text{Ε.9.20}$$

Όπου :

$g$  – είναι το βάρος πάγου ανά μονάδα μήκους αγωγού (N/m).

$\delta$  – είναι η πυκνότητα του πάγου ( $\text{kg/m}^3$ ).

$t$  – είναι το πάχος του πάγου (mm), σε ακτίνα γύρω από τον αγωγό (υποθετικά ομοιόμορφο).

$d$  – είναι η διάμετρος του αγωγού (m).



Ανάλογα με τις συνθήκες που συναντάμε μπορεί η παραπάνω εξίσωση να γίνει πιο απλή, π.χ. για πυκνότητα πάγου σε μια συνήθη τιμή  $\delta = 900 \text{ kg/m}^3$  και οι μεταβλητές  $g$  και  $t$  να είναι εκφρασμένες σε **mm**, τότε η σχέση γίνεται :

$$g = 0,0277 \times t(t + d) \quad \text{E.9.21}$$

Αν υπάρχουν δεδομένα για το ετήσιο μέγιστο φορτίο πάγου για χρονική περίοδο, το ελάχιστο 10 έτη, τότε μπορεί να υπολογιστεί μια μέση τιμή  $\bar{g}$  από αυτά τα δεδομένα. Στον παρακάτω πίνακα μπορούμε να δούμε τιμές της τυπικής απόκλισης  $\sigma_g$ . Αν δεν έχουμε στατιστικά δεδομένα αλλά είναι γνωστή η μεταβλητή  $g_{\max}$  του φορτίου πάγου σε βάθος μερικών χρόνων , τότε η μέση τιμή μπορεί να ληφθεί από  $\bar{g} = 0,45 \times g_{\max}$  και η τυπική απόκλιση  $\sigma_g = 0,5 \times \bar{g}$

Αριθμός παρατήρησης σε χρόνια (n)	Μέση τιμή $\bar{g}$	Τυπική απόκλιση $\sigma_g$
$10 \leq n \leq 20$	$\bar{g}$	$0,5\bar{g} \leq \sigma_g \leq 0,7\bar{g}$
$\leq 20$	$\bar{g}$	$\sigma_g < 0,7\bar{g}$

#### Π.9.7 - Στατιστικές παράμετροι φορτίων πάγου

Τα φορτία πάγου και οι μορφές της επικάθησης του, είναι ένα πεδίο όπου γίνονται μελέτες και συλλογή στατιστικών δεδομένων ώστε να βρεθούν κάποια μοντέλα καταγραφής της ποσοτικής αλλά και ποιοτικής επικάθησης του πάγου σε μια περιοχή. Όσο αφορά την στατιστική προσέγγιση της ανάλυσης και καταγραφής των δεδομένων, η χρονική διάρκεια που θεωρείται ως ελάχιστο είναι 20 χρόνια, σε συνδυασμό με την παρατήρηση της συμπεριφοράς των φορτίων πάγου πάνω στη γραμμή μεταφοράς για 5 χρόνια.

Η συλλογή και καταγραφή δεδομένων που αφορούν τα φορτία πάγου, είναι πιο σωστό και χρήσιμο να γίνεται στις τοποθεσίες της γραμμής οι οποίες εξετάζονται. Ας μην ξεχνάμε ότι πρωτεύοντα ρόλο στην όλη διαδικασία παίζει η μορφολογία του περιβάλλοντος χώρου. Όπου υπάρχει δυνατότητα πρέπει

να γίνεται αξιοποίηση δεδομένων για φορτία πάγου μέσω κοντινού μετεωρολογικού σταθμού.

Πολλές φορές όμως και ιδιαίτερα σε απομακρυσμένες περιοχές δεν υπάρχει αυτή η δυνατότητα, οπότε την στατιστική ανάλυση δεδομένων αντικαθιστά η εμπειρία του ανθρωπίνου δυναμικού, αλλά και των εργασιών συντήρησης της γραμμής που εξετάζεται. Οι μηχανικοί, επίσης, με την εμπειρία τους μπορούν να προσφέρουν πολύτιμες πληροφορίες όσο αφορά τις τοποθεσίες των γραμμών μεταφοράς αλλά και τις συνθήκες που επικρατούν εκεί, ώστε να υπάρχει ένα εμπειρικό μοντέλο καταγραφής δεδομένων και πρόβλεψης της συμπεριφοράς των μετεωρολογικών φαινομένων. Ένα τέτοιο μοντέλο πρόβλεψης μπορεί να είναι απλό αλλά και σύνθετο ανάλογα με την μορφολογία του εδάφους τον τοπικό καιρό, τις δρομολογήσεις των γραμμών μεταφοράς κλπ.

**Προγράμματα παρατήρησης συμπεριφοράς πάγου** – Στον σχεδιασμό των γραμμών μεταφοράς, μέχρι και σήμερα, δεν υπάρχει έμμεσος τρόπος να ληφθούν όλα τα απαραίτητα δεδομένα, παρότι έχουν γίνει σοβαρές προσπάθειες, με μαθηματικές αναλύσεις, με συλλογή δεδομένων και εισαγωγή τους σε υπολογιστικά προγράμματα, αλλά και την γενική χρήση της εμπειρίας του ανθρωπίνου δυναμικού ανάλογα με τη περιοχή που εξετάζεται. Οι σχεδιαστές όμως της γραμμής, θα πρέπει να έχουν την πρόσβαση στα απαραίτητα δεδομένα, όπως οι ταχύτητες ανέμου, η συσσώρευση χιονιού και η μορφοποίηση πάγου, αλλά και επίσης το εύρος των θερμοκρασιών που υφίστανται. Όλα αυτά χρειάζονται για να έχουν μια σφαιρική εικόνα και να μπορέσουν να σχεδιάσουν σωστά τα στοιχεία και εξαρτήματα της γραμμής.

Η συλλογή δεδομένων πάγου αναζητείται με τους παρακάτω τρόπους :

- Η καταμέτρηση του πάχους ή του βάρους που σκεπάζει τους αγωγούς. Πρέπει να περιλαμβάνονται δείγματα από διάφορα ανοίγματα για να έχουμε αξιοπιστία στις μετρήσεις μας. Ως δείγματα μπορούν να ληφθούν ακόμα και κομμάτια πάγου που έχουν πέσει πλέον από τους αγωγούς αλλά καταδεικνύουν την ποσότητα που είχε συσσωρευτεί.

- Χρησιμοποίηση μηχανημάτων προσομοίωσης. Αυτές οι συσκευές μπορούν να προσομοιώσουν την συσσώρευση πάγου και έτσι μπορούν να ληφθούν δείγματα καταμέτρησης με αυτό το τρόπο. Οι συσκευές αυτές είναι συνήθως απλής κατασκευής, αποτελούμενες από σωλήνες ή ράβδους 2-5m από το έδαφος για τις διαδικασίες προσομοίωσης όπως βλέπουμε στη φωτογραφία :

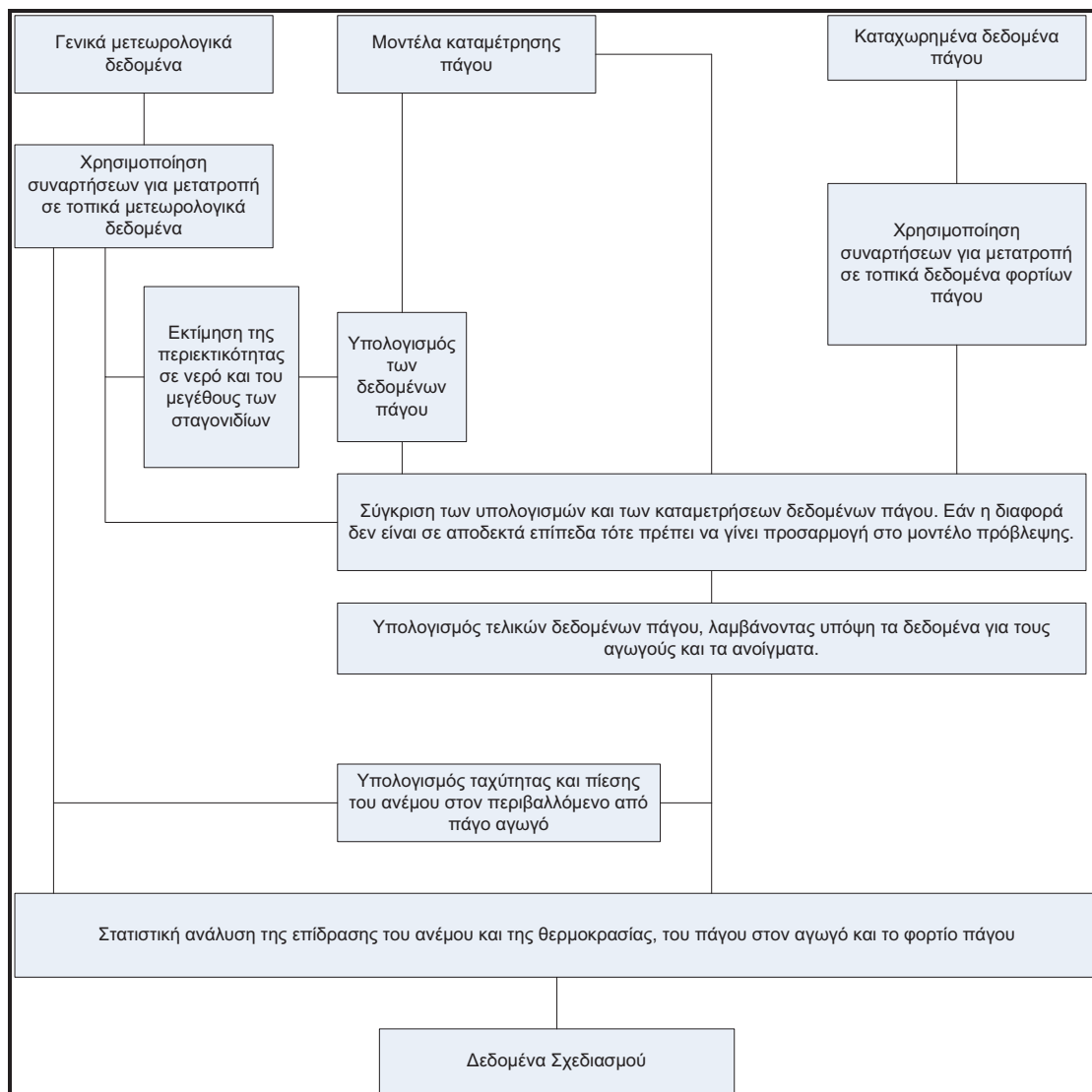


**Προσομοιωτής επικάθησης πάγου**

- Μπορεί επίσης να γίνει καταμέτρηση της τάνυσης των επιβαρημένων αγωγών ή καταμέτρηση του κάθετου διανύσματος του βάρους που ασκείται στα σημεία σύνδεσης με τους φορείς.
- Υπολογισμός της καμπύλης των αγωγών (μαθηματικό μοντέλο).

Τα δεδομένα των φορτίων πάγου είναι πολύ σημαντικά, γιατί συμβάλλουν στον υπολογισμό των φορτίων σχεδιασμού της γραμμής, ώστε να γνωρίζουμε τα όρια αποτυχίας, αλλά επίσης μπορούν να φανούν χρήσιμα σε επιλογές όπως το δρομολόγιο που θα ακολουθήσει μια νέα γραμμή μεταφοράς. Να τονιστεί ότι ακόμα και στους φορείς μπορεί να παρουσιαστεί πρόβλημα από την επικάθηση πάγου, ενώ τα μεγαλύτερα προβλήματα από τα φορτία πάγου τα αντιμετωπίζουν οι αγωγοί των ανοιγμάτων. Παρακάτω βλέπουμε ένα γράφημα που μας δίνει το πρότυπο και αποτελεί ένα σχέδιο για το πώς πρέπει να γίνεται η συλλογή δεδομένων :

**Στρατηγικός χάρτης ροής, για την αξιοποίηση μετεωρολογικών δεδομένων,  
μοντέλων συμπεριφοράς πάγου και μετρήσεων φορτίων πάγου**



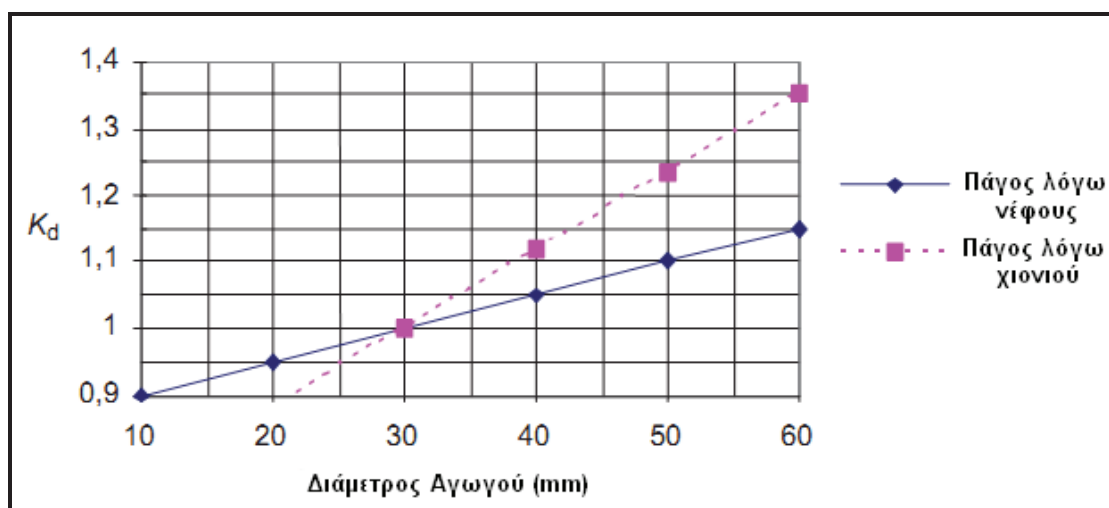
Το παραπάνω γράφημα παραπέμπει σε ένα άλλο πρότυπο, το IEC-61774 το οποίο αφορά σε μεγάλο βαθμό τα κλιματικά δεδομένα γενικότερα και ειδικά τα φορτία πάγου. Ο χάρτης αυτός παρουσιάζει τις κινήσεις που πρέπει να ακολουθεί κανείς ώστε να μπορεί να αξιοποιεί τα δεδομένα που συλλέγονται και να υπάρχει ένα αξιόπιστο αποτέλεσμα όσο αφορά τα μετεωρολογικά στοιχεία, τα μοντέλα συμπεριφοράς του πάγου και τις καταμετρήσεις των φορτίων πάγου. Δίδονται επίσης περαιτέρω πληροφορίες όσο αφορά τις τοποθεσίες και τα δρομολόγια της γραμμής μεταφοράς, τα μηχανήματα

καταμέτρησης αλλά και γενικά τις συσκευές που χρησιμοποιούνται σε όλες τις διαδικασίες. Συνίσταται η παρουσία και επίβλεψη όλων των παραπάνω διαδικασιών καταμέτρησης, συλλογής και ανάλυσης δεδομένων με τη βοήθεια ενός επαγγελματία μετεωρολόγου.

**ΟΡΙΑΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (για το φορτίο πάγου)** – Το οριακό φορτίο αναφοράς  $g_R$  (ή  $t_R$ , ανάλογα με το ποιο επιλέγεται), είναι το οριακό φορτίο που αντιστοιχεί σε χρονική περίοδο  $T$  έτη. Οι τιμές  $g_R$  ή  $t_R$  μπορούν να ληφθούν από την στατιστική ανάλυση δεδομένων είτε απευθείας μετρήσεων, είτε μαθηματικών μοντέλων ή συνδυασμό των δυο.

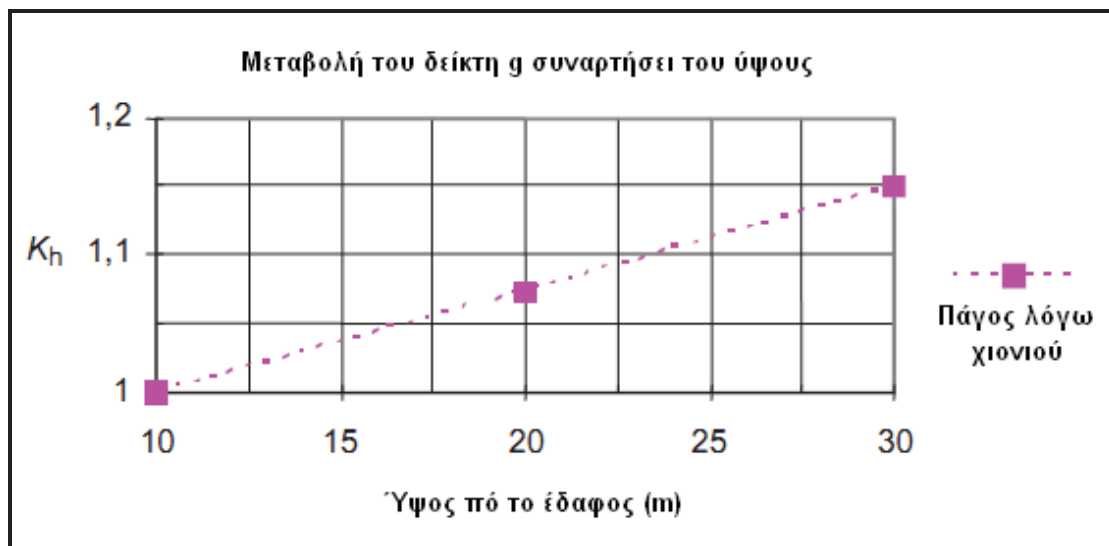
Εάν η καταμέτρηση των δεδομένων (ή στατιστική εξομοίωση), όσο αφορά τις διαμέτρους των αγωγών και του υψόμετρου γίνεται στην τοποθεσία της γραμμής, τότε δεν χρειάζεται κάποια προσαρμογή των τιμών αυτών. Εάν όμως τα δεδομένα καταμετρώνται με τις αρχικές τιμές υπόθεσης, για το ύψος (10m) και τη διάμετρο των αγωγών (30mm), τότε θα πρέπει να γίνεται τροποποίηση με χρήση των συντελεστών διαμέτρου  $K_d$  και ύψους  $K_h$ , για να πετύχουμε τις ακριβείς συνθήκες της γραμμής η οποία εξετάζεται.

Στα παρακάτω γραφήματα βλέπουμε τους δυο συντελεστές  $K_d$  και  $K_h$  :



Συντελεστής  $K_d$  συναρτήσει της διαμέτρου των αγωγών

Για τις δυο μορφές πάγου ισχύει ότι όταν  $K_d \times \bar{g} > 100 \text{ N/m}$ , η τιμή του  $K_d$  δε μπορεί να λάβει περαιτέρω αύξηση. Εάν  $\bar{g} > 100 \text{ N/m}$ , και  $d > 30 \text{ mm}$  τότε θεωρείται ότι  $K_d = 1$ . Η μεταβλητή  $K_h$  περιγράφει τη μεταβλητότητα του δείκτη  $g$  συναρτήσει του ύψους των αγωγών από το έδαφος.



Σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχουν καταγεγραμμένα δεδομένα για τα φορτία πάγου θα πρέπει να γίνεται μια αξιολόγηση με βάση την εμπειρία του ανθρώπινου δυναμικού και τις παρατηρήσεις που έχει αυτό να δώσει όσο αφορά τα πραγματικά φορτία πάγου, που τυχόν οδήγησαν σε βλάβη κάποιου στοιχείου. Στην περίπτωση όμως αυτή δεν θα είναι γνωστή η χρονική περίοδος  $T$  ούτε το επίπεδο αξιοπιστίας. **Η θερμοκρασία στις συνθήκες πάγου θεωρείται ότι είναι  $-5 \text{ }^\circ\text{C}$ .**

**Φορτία στους πυλώνες** – Στον καθορισμό των φορτίων του φορέα, ελέγχονται τρεις περιπτώσεις φορτίων πάγου σε αγωγούς. Αυτοί θεωρούνται ως οι πιο σημαντικοί και εμπεριέχουν την πλειονότητα των συνθηκών πάγου που μπορεί να συμβούν :

1. Σχηματισμός ομοιόμορφου πάγου : συνθήκη βάρους.
2. Σχηματισμός ανομοιόμορφου πάγου : συνθήκη διαμήκουσ και κάθετης κάμψης.
3. Σχηματισμός ανομοιόμορφου πάγου : συνθήκη στρέψης.

Οι τιμές των φορτίων πάγου δίνονται ως συναρτήσεις του οριακού φορτίου αναφοράς  $g_R$  μπορεί να διαφέρει από το ένα άνοιγμα στο άλλο και αυτό οφείλεται στις διαφορές που υπάρχουν στην πορεία της διαδρομής της γραμμής μεταφοράς με συνέπεια να εμφανίζονται καταστάσεις ανομοιομορφίας. Ο σκοπός εδώ είναι η χρησιμοποίηση συμβατικών συνθηκών φορτίσεως ώστε να μπορούν να γίνουν οι υπολογισμοί των τανύσεων των αγωγών για γνωστές περιπτώσεις φορτίων πάγου.

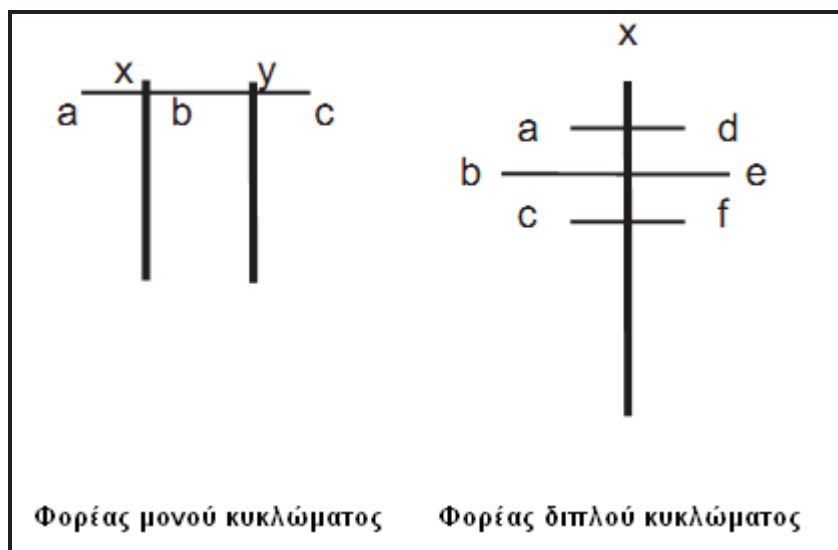
Όταν υπολογίζουμε φορτία που μεταφέρονται στους πυλώνες από τους αγωγούς, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη επιδράσεις όπως οι ταλαντώσεις των αλύσεων μονωτήρων, οι εκτροπές ή στρέψεις των φορέων ή/και των θεμελίων αλλά και η αλληλεπίδραση με τους αγωγούς. Όπως είπαμε ότι ο πάγος δεν συσσωρεύονται ούτε αποβάλλονται κατ' ανάγκη ομοιόμορφα σε όλα τα ανοίγματα. Ένας ανομοιόμορφος σχηματισμός πάγου ορίζεται ως ένα φορτίο πάγου που αντιστοιχεί στην πιθανότητα μιας συσσώρευσης πάγου σε 1 ως 3 παρακείμενα ανοίγματα του φορέα.

**Ομοιόμορφος σχηματισμός πάγου** – Το μέγιστο ομοιόμορφο φορτίο πάγου στους αγωγούς θεωρείται ότι συμβαίνει όταν το φορτίο πάγου του αγωγού είναι ίσο με το οριακό φορτίο αναφοράς  $g_R$ . Η ανά μονάδα μήκους υπερφόρτιση είναι  $g_R$  (N/m) και το ολικό φορτίο ανά μονάδα μήκους αγωγού είναι  $w+g_R$  ( $w$ = το ανά μονάδα βάρους αγωγού N/m).

**Ανομοιόμορφος σχηματισμός πάγου σε αγωγούς φάσης και γειώσεις** – Οι ανομοιόμορφες συσσωρεύσεις ή αποβολές πάγου στα παρακείμενα ανοίγματα ενός φορέα μπορούν να προκαλέσουν ανισόροπα διαμήκη φορτία σε αυτόν. Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε πως περιγράφει το πρότυπο τις ανομοιογενείς συνθήκες πάγου στους φορείς, αλλά και του παρακάτω πίνακα που περιγράφει τις συνθήκες αυτές.

Γίνεται γενικά παραδεκτό ότι στις περισσότερες περιπτώσεις έχουμε ανομοιόμορφες συσσωρεύσεις και αποβολές πάγου.





Διαμόρφωση συνθηκών ανομοιόμορφης συσσώρευσης πάγου

Είδος φορέα	Συνθήκη διαμήκους κάμψης		Συνθήκη εγκάρσιας κάμψης		Συνθήκη στρέψης	
	Αριστερό άνοιγμα	Δεξιό άνοιγμα	Αριστερό άνοιγμα	Δεξιό άνοιγμα	Αριστερό άνοιγμα	Δεξιό άνοιγμα
Μονό κύκλωμα	xyabc	XYABC	XYabC	xYabC	XYabC	XYABC
Διπλό κύκλωμα	xabcdef	XABCDEF	XabcDEF	XabcDEF	XabcDEF	XABCDEF
<p style="text-align: center;">Σημείωση : Σε αυτό το πίνακα, τα γράμματα A,B,C,D,E,F,X,Y αντιστοιχούν σε αγωγούς και ανοίγματα επιφορτισμένα με δείκτη 0,7g<sub>R</sub>, τα γράμματα a,b,c,d,e,f,x,y αντιστοιχούν σε αγωγούς και ανοίγματα επιφορτισμένα με 0,28 g<sub>R</sub>. Οι συντελεστές αυτοί υπόκεινται σε διαφοροποίηση εάν υπάρχουν δεδομένα που υποδεικνύουν αυτή την ανάγκη.</p>						

Π.9.8  
Συνθήκες ανομοιόμορφου φορτίου πάγου

**Επιδράσεις πάγου στους φορείς** – Η συσσώρευση πάγου στους φορείς διογκώνει τα εγκάρσια φορτία στον φορέα και μπορεί να επηρεαστεί ακόμα και το θεμέλιό του. Το βάρος του πάγου μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας γεωμετρικά στοιχεία του φορέα και το σχετικό πάχος της συσσώρευσης. Ένας

άλλος τρόπος είναι να ληφθούν προσεγγιστικά τιμές με τη βοήθεια του παρακάτω πίνακα :

Πάχος συσσώρευσης πάγου (mm)	15	25	30	35	40	45	50
Λόγος του βάρους του πάγου ως προς το βάρος του φορέα	0,57	1,00	1,23	1,48	1,73	2,00	2,28

Π.9.9

Προσεγγιστικές τιμές συνάρτησης του πάχους συσσώρευσης με το λόγο του βάρους του πάγου προς το βάρος του φορέα

## 9.5 - ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΦΟΡΤΙΩΝ ΑΝΕΜΟΥ ΚΑΙ ΠΑΓΟΥ

Όταν αναφερόσαστε στο συνδυασμό των φορτίων αυτών, εννοούμε τα φορτία όπου εξετάζεται η επίδραση του ανέμου σε καλυμμένους από πάγο αγωγούς, αλύσεις μονωτήρων, φορείς κλπ. Όλα τα παραπάνω στους υπολογισμούς τους εισάγουν ειδικούς συντελεστές υστέρησης που χρίζουν ιδιαίτερης προσοχής, καθώς καθορίζουν την ορθότητα των υπολογισμών.

Η επίδραση του ανέμου σε αγωγούς που επικαλύπτονται από πάγο εξετάζει τρεις συνδυασμούς μεταβλητών : η ταχύτητα του ανέμου που επιδρά όταν υπάρχει συσσώρευση πάγου, ο ρόλος του βάρους του και η μορφή που παίρνει ο πάγος κατά το σχηματισμό του με συνέπεια να δημιουργεί ανισόρροπα φορτία, διαμήκη, εγκάρσια και κάθετα στις επιφάνειες.

Όπως αναφέραμε και σε παραπάνω παράγραφο, η ιδανική περίπτωση είναι να υπάρχει ένα μοντέλο καταμέτρησης και ανάλυσης δεδομένων, ώστε να μπορεί να υπολογίζεται ο συνδυασμός των φορτίων ανέμου και πάγου, στο καλύτερο δυνατό βαθμό που ορίζει το επίπεδο αξιοπιστίας που έχει οριστεί. Όμως, δυστυχώς μέχρι σήμερα σε πάρα πολλές περιπτώσεις, είτε δεν υπάρχει η δυνατότητα αυτή, είτε λόγω κόστους αποφεύγεται αυτή η διαδικασία. Αυτό που προτείνεται είναι να υπάρχει ένα μοντέλο που μπορεί να αντικαταστήσει την διαδικασία καταγραφής και ανάλυσης δεδομένων. Αυτό γίνεται με την προσπάθεια συνδυασμού των μεταβλητών που εξετάζονται ώστε ο συνδυασμός των φορτίων που προκύπτει να αντιστοιχεί στο ίδιο επίπεδο αξιοπιστίας και στην ίδια χρονική περίοδο T σε έτη.

Έτσι έχει επινοηθεί μια απλή διαδικασία, όπου θεωρείται ότι οι συνθήκες παρουσιάζονται με την μια από τις μεταβλητές να βρίσκεται στην μέγιστη της τιμή. Πιο συγκεκριμένα το μοντέλο που προτείνεται έχει ως εξής :

Συνθήκες φορτίσεως	Βάρος πάγου	Ταχύτητα ανέμου	Συντελεστής υστέρησης	Πυκνότητα
Συνθήκη 1	$g_L$	$V_{iH}$	$C_{iH}$	$\delta_1$
Συνθήκη 2	$g_H$	$V_{iL}$	$C_{iH}$	$\delta_2$
Συνθήκη 3	$g_H$	$V_{iH}$	$C_{iL}$	$\delta_3$

Π.9.10

Συνθήκες συνδυασμών φορτίσεων ανέμου και πάγου

Μια μεταβλητή μικρής πιθανότητας (δείκτης L) συνδυάζεται με τις άλλες μεταβλητές μεγάλης πιθανότητας (δείκτης H). Στο παρακάτω πίνακα βλέπουμε αυτούς τους δείκτες και τις μεταβλητές.

Επίπεδο αξιοπιστίας	Χρονική περίοδος T σε έτη	Χρονική περίοδος της μεταβλητής με μικρή πιθανότητα (δείκτης L)	Χρονική περίοδος υπολοίπων μεταβλητών (δείκτης H)
1	50	50	Μέσος όρος ετήσιων μέγιστων τιμών
2	150	150	Μέσος όρος ετήσιων μέγιστων τιμών
3	500	500	Μέσος όρος ετήσιων μέγιστων τιμών

Π.9.11

Πίνακας αντιστοιχίας δεικτών L και H

Επειδή η πυκνότητα του πάγου διαφοροποιείται αναλόγως με την μορφή και τον σχηματισμό του, συνίσταται η χρησιμοποίηση μιας αμφίδρομης σχέσης :Ο πάγος χαμηλής πυκνότητας θα πρέπει να συνδυάζεται με συντελεστή υστέρησης υψηλής πιθανότητας και αντιστρόφως.

Το πρότυπο IEC-60826 αναφέρει δυο βασικούς συνδυασμούς φορτίων :

- 1) Χαμηλή πιθανότητα σχηματισμού πάγου (σε χρονική περίοδο  $T$  σε έτη), σε συνδυασμό με το μέσο όρο της ετήσιας μέγιστης ταχύτητας του ανέμου υπό την παρουσία πάγου.
- 2) Χαμηλή πιθανότητα της ταχύτητας του ανέμου υπό την παρουσία συσσώρευσης πάγου (σε χρονική περίοδο  $T$  σε έτη), σε συνδυασμό με τον μέσο όρο της ετήσιας μέγιστης συσσώρευσης πάγου.

**Ορισμός φορτίων πάγου** – Οι δυο κύριες κατηγορίες που είδαμε σε παραπάνω παραγράφους, ο σχηματισμός πάγου λόγω χιονόπτωσης και ο σχηματισμός πάγου λόγω νέφωσης, ορίζονται χωριστά όσο αφορά το μέγιστο φορτίο πάγου σε συνδυασμό με την ταχύτητα ανέμου.

Εάν δεν υπάρχουν δεδομένα του συνδυασμένου φορτίου ανέμου και πάγου γίνονται αποδεκτοί οι παρακάτω συντελεστές :

$$g_L = g_R \quad \text{και} \quad g_H = 0,4 \times g_R \quad \text{E.9.22,23}$$

Εάν όμως υπάρχουν τα απαραίτητα δεδομένα, τότε χρησιμοποιούνται στατιστικές μέθοδοι που υπολογίζουν το συνδυασμό των φορτίων (για χρονική περίοδο  $T$  σε έτη), ή το μέσο όρο της ετήσιας μέγιστης ταχύτητας του ανέμου. Η θερμοκρασία που ορίζεται για τον υπολογισμό του συνδυασμένου φορτίου είναι  $-5 \text{ }^\circ\text{C}$  για όλες τις μορφές πάγου.

**Ορισμός ταχύτητας του ανέμου σε συνδυασμό με τις συνθήκες του πάγου :**

- **Παγωμένη βροχή** : Οι παρακάτω υποθέσεις ορίζονται για τον υπολογισμό της ταχύτητας του ανέμου σε συνδυασμό με την παρουσία συσσώρευσης πάγου. Στις υποθέσεις αυτές, η ταχύτητα αναφοράς του ανέμου πολλαπλασιάζεται με τον συντελεστή μείωσης  $B_i$ .

$$V_{iL} = B_i \times V_R \quad \text{όπου : } B_i = 0,6 - 0,85 \quad \text{E.9.24}$$

Η εμβέλεια αυτή του συντελεστή  $B_i$  θεωρείται ότι αντιστοιχεί στην ταχύτητα αναφοράς του ανέμου (για  $T = 50, 150, 500$  χρόνια), κατά την διάρκεια της συσσώρευσης πάγου στους αγωγούς.

$$V_{iH} = B_i \times V_R \quad \text{όπου : } B_i = 0,4 - 0,5 \quad \text{E.9.25}$$

Η εμβέλεια αυτή του συντελεστή  $B_i$  θεωρείται ότι αντιστοιχεί στον μέσο όρο της ετήσιας μέγιστης ταχύτητας του ανέμου, κατά τη διάρκεια της συσσώρευσης πάγου στους αγωγούς.

- **Υγρό χιόνι** : Η εμπειρία όπως και η παρακολούθηση των τοπικών μετεωρολογικών στοιχείων, έχουν δείξει ότι η μείωση της ταχύτητας του ανέμου  $V_R$  μπορεί να υπολογιστεί με τα ίδια δεδομένα που περιγράφηκαν στην παραπάνω παράγραφο (παγωμένη βροχή) και προτείνεται η χρησιμοποίηση των ίδιων συντελεστών μείωσης. Τα ίδια ισχύουν και για την συσσώρευση στεγνού χιονιού.
- **Πάχνη (πυκνή μορφή)** : Σε μεγάλα υψόμετρα όπως είναι τα βουνά ή οι κορυφές λόφων, η μέγιστη συσσώρευση πάγου ως στρώματα πάχνης πάνω στους αγωγούς, συνήθως παρουσιάζεται όταν έχουμε την μέγιστη ταχύτητα του ανέμου σε σχηματισμό πάγου λόγω νέφωσης. Αυτό δεν είναι απόλυτο μιας και υπάρχουν περιπτώσεις όπου αυτή η μέγιστη συσσώρευση μπορεί να παρουσιαστεί με σχετικά ήπιες ταχύτητες ανέμων.

Σε περιπτώσεις όπως οι παραπάνω, θα πρέπει να εισάγονται τοπικά μετεωρολογικά δεδομένα και πληροφορίες για την μορφολογία του εδάφους, ώστε να μπορέσουμε να προχωρήσουμε στον ορθό υπολογισμό της πιθανότητας μεγάλης συσσώρευσης πάγου κατά μήκος της γραμμής. Αν ωστόσο απουσιάζουν τα δεδομένα αυτά, θα πρέπει να εισάγονται στους υπολογισμούς οι συντελεστές που είδαμε σε παραπάνω παράγραφο (παγωμένη βροχή).

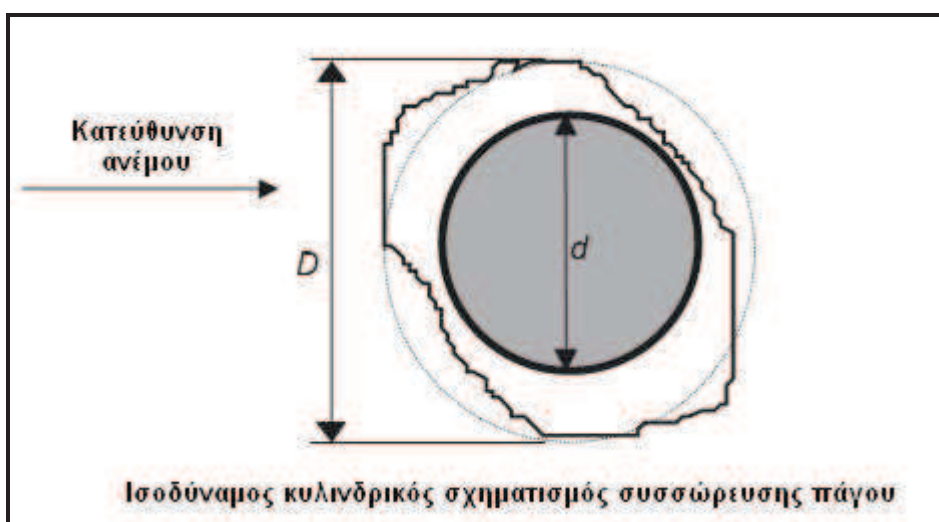
**Συντελεστές υστέρησης αγωγών επικαλυμμένων με πάγο** – Ο παρακάτω πίνακας συνοψίζει του συντελεστές υστέρησης και τις πυκνότητες πάγου που θα εισάγονται στους υπολογισμούς. Ωστόσο όπου υπάρχει δυνατότητα θα πρέπει οι συντελεστές αυτοί να προέρχονται από πραγματικές μετρήσεις που γίνονται στην γραμμή.

	Υγρό χιόνι	Αραιή πάχνη	Πυκνή πάχνη	Παγοκρύσταλλος
Συντελεστής υστέρησης $C_{iH}$	1,0	1,2	1,1	1,0
Πυκνότητα $\delta_1$ ( $\text{kg/m}^3$ )	600	600	900	900
Συντελεστής υστέρησης $C_{iL}$	1,4	1,7	1,5	1,4
Πυκνότητα $\delta_2$ ( $\text{kg/m}^3$ )	400	400	700	900

Π.9.12

Συντελεστές υστέρησης και πυκνότητα επικαλυμμένων από πάγο αγωγών

Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε μια διατομή ενός αγωγού καλυμμένο με πάγο. Η υπόθεση που γίνεται είναι ότι ο σχηματισμός πάγου στον αγωγό είναι και αυτός ίδιου (κυλινδρικού) σχήματος. Ο συντελεστής υστέρησης αντανακλά το σύνολο του βάρους αγωγού και πάγου.



Αγωγός με συσσώρευση πάγου όπου ο συντελεστής υστέρησης  $C_i$  υπολογίζει το ολικό βάρος αγωγού και πάγου

Θεωρείται ότι η τιμή  $C_i$  είναι ίδια για τις αντίστοιχες χρονικές περιόδους  $T=50,150$  και  $500$  χρόνια. Επίσης υπάρχουν ενδείξεις που υποστηρίζουν την αύξηση του συντελεστή υστέρησης σε αγωγούς επικαλυμμένους με πάγο για δυο λόγους :  $1^{ov}$  – λόγω της επίδρασης της ισοδύναμης διαμέτρου και  $2^{ov}$  – λόγω του πραγματικού σχηματισμού της συσσώρευσης πάγου.

**Ορισμός των φορτίων στους φορείς** – Η ανά μονάδα επίδραση του ανέμου  $a$  σε καλυμμένους από πάγο αγωγούς, ορίζεται με την παρακάτω εξίσωση :

$$a = q_0 \times C_i \times G_C \times G_L \quad \text{E.9.26}$$

Επίσης :

$$q_{0L} = \frac{1}{2} \times \mu \times \tau \times K_R^2 \times V_{iL}^2 \quad q_{0H} = \frac{1}{2} \times \mu \times \tau \times K_R^2 \times V_{iH}^2 \quad \text{E.9.27,28}$$

και αναλόγως με την περίπτωση του φορτίου, έχουμε  $C_i = C_{iL}$  ή  $C_{iH}$

όπου :

$G_C$  – είναι ο ολικός συντελεστής ανέμου

$G_L$  – είναι ο συντελεστής ανοίγματος

$\tau$  – είναι ο συντελεστής διόρθωσης πυκνότητας

Δυο συνδυασμοί συνθηκών φορτίσεων ανέμου και πάγου θεωρούνται για τους φορείς.

- Συνθήκη 1 – Μέγιστη τιμή του φορτίου πάγου σε συνδυασμό του μέσου όρου της ετήσιας μέγιστης ταχύτητας του ανέμου στην διάρκεια συσσώρευσης πάγου.

$$A_{c1} = q_{0H} \times C_{iH} \times G_C \times G_L \times D_L \times L \times \sin^2 \Omega \quad \text{E.9.29}$$

$$\text{όπου : } D_L = \sqrt{d^2 + \frac{4g_L}{9,82 \times \pi \times \delta}} \quad \text{E.9.30}$$



- Συνθήκη 2 – Μέγιστη τιμή της ταχύτητας του ανέμου στην διάρκεια της συσσώρευσης πάγου σε συνδυασμό του μέσου όρου του ετήσιου μέγιστου φορτίου πάγου.

$$A_{c2} = q_{0L} \times C_{iH} \times G_C \times G_L \times D_H \times L \times \sin^2 \Omega \quad \text{E.9.31}$$

$$\text{όπου : } D_H = \sqrt{d^2 + \frac{4g_H}{9,82 \times \pi \times \delta}} \quad \text{E.9.32}$$

Όπου : (για τις εξισώσεις των συνθηκών 1 και 2)

$D_L$  και  $D_H$  – είναι διάμετροι (m) για τα κυλινδρικά σχήματα για τις διάφορες μορφές συσσώρευσης πάγου.

$g_L$  και  $g_H$  – είναι το φορτίο πάγου (N/m).

$\delta$  – είναι η μέγιστη πυκνότητα για την συσσώρευση πάγου που εξετάζεται ( $\text{kg/m}^3$ ).

$\Omega$  – είναι η γωνία μεταξύ της κατεύθυνσης του ανέμου και του αγωγού.

$L$  – είναι το άνοιγμα του φορέα.

### **ΣΤΟ ΒΗΜΑ Γ) ΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΕΤΑΙ ΚΑΙ ΤΟ ΒΗΜΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ**

#### **Δ1) ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΟΡΙΑΚΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ**

## Κεφάλαιο 10 - ε) Προσδιορισμός συνδυασμού αντοχών

Υπάρχουν δυο όρια που λαμβάνονται υπόψη στον σχεδιασμό της γραμμής και αφορούν τα στοιχεία της. Το 1<sup>ο</sup> όριο είναι το όριο βλάβης (ή όριο αποκατάστασης). Εδώ κάποιο στοιχείο της γραμμής δέχεται φορτίο το οποίο προκαλεί φθορά και πιθανόν βλάβη. Ωστόσο, αυτό το όριο μπορεί να διορθωθεί και να αποκαταστηθεί χωρίς να έχουμε εκτεταμένη διακοπή στην λειτουργία της γραμμής μεταφοράς. Το 2<sup>ο</sup> όριο ονομάζεται όριο αποτυχίας (ή έσχατο όριο). Αν το στοιχείο εξακολουθεί να δέχεται το φορτίο που το έχει φέρει σε αυτό το όριο, τότε μπορεί να επέλθουν καταστροφικές συνέπειες στην γραμμή.

Η γραμμή μεταφοράς θεωρείται ότι λειτουργεί σωστά και άθικτα όταν τα στοιχεία εκτίθενται σε τέτοια φορτία ώστε να μην γίνεται υπέρβαση του ορίου βλάβης. Το παρακάτω γράφημα αποτυπώνει τις καταστάσεις και τα όρια της γραμμής μεταφοράς.



Γράφημα καταστάσεων και ορίων της γραμμής μεταφοράς

**Γενική εξίσωση των αντοχών των στοιχείων** – Ας θεωρήσουμε την παρακάτω εξίσωση που έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο :

$$Q_T < \Phi_N \times \Phi_S \times \Phi_Q \times \Phi_C \times R_C \quad \text{E.10.1}$$

Κατά το σχεδιασμό, όλα τα στοιχεία θα πρέπει να τηρούν προϋποθέσεις όσο αφορά το φορτίο και την αντοχή για τις συνθήκες αξιοπιστίας ασφαλείας λειτουργίας της γραμμής και ασφάλειας για τον άνθρωπο. Μεγαλύτερη βάση δίνεται στις απαντήσεις που αφορούν την αξιοπιστία της γραμμής, καθώς

θεωρείται πως αν τηρούνται οι απαιτήσεις αυτές τότε καλύπτονται σε μεγάλο βαθμό και οι απαιτήσεις ασφαλείας.

**10.1 - Συνδυασμός αντοχών των στοιχείων της γραμμής.** Τα στοιχεία των γραμμών μεταφοράς έχουν διάφορες διακυμάνσεις αντοχών και αντιδρούν έτσι και διαφορετικά στα φορτία. Η αποτυχία λοιπόν κάποιου εξαρτήματος της γραμμής, με την υπέρβαση της αντοχής του, μπορεί να γίνει σε οποιοδήποτε σημείο της γραμμής. Γι' αυτό το λόγο, στον σχεδιασμό της γραμμής εισάγεται η θεωρία του συνδυασμού των αντοχών των στοιχείων της γραμμής. Όμως για να επιτευχθεί αυτό, πρέπει να ακολουθήσουμε την εξής διαδικασία :

**α)** Το πρώτο κατά σειρά στοιχείο, που υπολογίζεται να αποτύχει θα πρέπει να σχεδιάζεται έτσι, ώστε να μην μεταφέρει το φορτίο του σε άλλο στοιχείο και έτσι να αποφευχθεί η μετάδοση της καταστροφής (φαινόμενο ντόμινο).

**β)** Ο χρόνος αποκατάστασης και αποσκευών θα πρέπει να γίνεται στο μικρότερο δυνατό χρόνο.

**γ)** Το πρώτο στοιχείο που υπολογίζεται ότι είναι πιο πιθανό να αποτύχει θα πρέπει να τηρεί όσο το δυνατόν καλύτερα την εξής

$$\text{παραδοχή : } \frac{\text{ΟΡΙΟ ΒΛΑΒΗΣ}}{\text{ΟΡΙΟ ΑΠΟΤΥΧΙΑΣ}} \leq 1$$

**δ)** Αν έχουμε δυο στοιχεία σε σειρά και το 1<sup>ο</sup> στοιχείο είναι χαμηλού κόστους, ενώ το 2<sup>ο</sup> είναι μεγαλύτερου κόστους, τότε κατά τον σχεδιασμό οι χαρακτηριστικές τους αντοχές  $R_c$  θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν ίσες. Μια εξαίρεση αποτελεί η περίπτωση ο σχεδιασμός ενός στοιχείου να αποσκοπεί ώστε το συγκεκριμένο στοιχείο να αποτελεί στοιχείο αποφόρτισης.

Αν τα στοιχεία της γραμμής σχεδιάζονται με τα παραπάνω δεδομένα τότε τα κριτήρια ισχύουν ως εξής :

- Οι αγωγοί δεν θα πρέπει να είναι τα λιγότερο ανθεκτικά στοιχεία της γραμμής (λόγω των κριτηρίων **α, β, γ**).

- Οι εξοπλισμοί συνδέσεων δεν θα πρέπει να είναι τα λιγότερο ανθεκτικά στοιχεία της γραμμής (λόγω του κριτηρίου  $\delta$ ).
- Οι φορείς εφελκυσμού δεν θα πρέπει να είναι τα λιγότερο ανθεκτικά στοιχεία της γραμμής (λόγω των κριτηρίων  $\alpha$ ,  $\beta$ ).
- Τα θεμέλια δεν θα πρέπει να είναι τα λιγότερο ανθεκτικά στοιχεία της γραμμής (λόγω των κριτηρίων  $\beta$ ,  $\gamma$ ).

Το συμπέρασμα είναι, ότι οι φορείς ανάρτησης θεωρούνται ως το στοιχείο εκείνο, που αναμένεται να αποτύχει πρώτο. Άρα, ο σχεδιασμός της γραμμής μεταφοράς που βασίζεται στο πρότυπο αυτό, υπολογίζει ότι οι φορείς ανάρτησης σχεδιάζονται αναλογικά με την μικρότερη χαρακτηριστική αντοχή  $R_C$ . Η αξία που έχει ο συνδυασμός των αντοχών είναι ότι απλουστεύει κατά πολύ τους υπολογισμούς για την αξιοπιστία της γραμμής.

**Συντελεστής αντοχής  $\Phi_N$**  – Αν έχουμε  $N$  στοιχεία τα οποία υποβάλλονται στο ίδιο φορτίο  $Q_T$  κατά την διάρκεια ενός καιρικού φαινομένου, τότε η χαρακτηριστική αντοχή των στοιχείων θα πολλαπλασιάζεται με τον συντελεστή αντοχής  $\Phi_N$ , ο οποίος εξαρτάται από τον αριθμό των στοιχείων  $N$  και από τα χαρακτηριστικά του συντελεστή διαφοροποίησης  $\nu_R$  που αντιστοιχεί στην αντοχή  $R$ . Αν δεν υπάρχουν τα απαραίτητα δεδομένα, τότε ο αριθμός των στοιχείων  $N$  που υποβάλλονται στο ίδιο φορτίο βρίσκονται από τον παρακάτω πίνακα Π.9.13.

Φορτίο	Επίπεδο έδαφος	Βουνά
Μέγιστη ριπή ανέμου	1 (1-5)	1 (1-2)
Μέγιστη συσσώρευση πάγου	20 (10-50)	2 (1-10)
Μέγιστος συνδυασμός ανέμου και πάγου	1 (1-5)	1 (1-5)
Σημείωση Οι τιμές στις παρενθέσεις αντιπροσωπεύουν την τυπική εμβέλεια των φορέων που έχουν άνοιγμα 400m		

Π.9.13

Αριθμός φορέων που υπόκεινται στην μέγιστη ένταση φορτίου

Τιμές για τον συντελεστή  $\Phi_N$  μπορούμε να δούμε στον πίνακα Π.9.14, ο οποίος βασίζεται σε συναρτήσεις κατανομής του συντελεστή  $\Phi_N$ . Οι διαφοροποιημένες τιμές (που είναι σε παρένθεση) είναι βάσει λογαριθμικών συναρτήσεων κατανομής\*. (\**μαθηματική ανάλυση μιας τέτοιας συνάρτησης υπάρχει στο παράρτημα*). Στην περίπτωση που οι τιμές του συντελεστή  $\Phi_N$  και του αριθμού των στοιχείων  $N$  είναι μεγάλος η τιμή του συντελεστή  $\nu_R$  χρίζει ιδιαίτερης προσοχής, καθώς μπορεί να διαφοροποιείται δραστικά.

Παρακάτω βλέπουμε τον πίνακα Π.9.14.

N	Συντελεστής διακύμανσης της αντοχής $\nu_R$						
	0,05	0,075	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
1	1	1	1	1	1	1	1
2	0,98	0,98	0,97	0,94	0,91	0,87	0,84
5	0,96	0,94	0,92	0,85	0,80	0,72(0,83)	0,64(0,80)
10	0,94	0,92	0,89	0,81	0,72(0,82)	0,62(0,77)	0,51(0,73)
20	0,93	0,90	0,85	0,77(0,83)	0,66(0,77)	0,53(0,73)	0,38(0,68)
40	0,92	0,87	0,83	0,72(0,80)	0,59(0,74)	0,44(0,69)	0,26(0,64)
80	0,91	0,86	0,79(0,84)	0,68(0,77)	0,53(0,71)	0,36(0,65)	0,16(0,60)
160	0,90	0,85	0,79(0,83)	0,67(0,76)	0,52(0,69)	0,34(0,62)	0,13(0,57)

Π.9.14

Συντελεστής αντοχής  $\Phi_N$  συναρτήσει του αριθμού  $N$  των στοιχείων που υποβάλλονται σε μέγιστο φορτίο

**Συντελεστής συνδυασμού της αντοχής  $\Phi_S$**  – Αποτελεί πολλές φορές τακτική εξοικονόμησης να σχεδιάζονται κάποια στοιχεία έτσι ώστε να είναι πιο αξιόπιστα από κάποια άλλα, για να μπορούν να ελαχιστοποιηθούν οι αρνητικές συνέπειες, όπως ο χρόνος επισκευής και αποκατάστασης, η αποφυγή επέκτασης της βλάβης αλλά και η αποφυγή της βλάβης του ίδιου εξαρτήματος κλπ. Για να πετύχει αυτό (**συνδυασμός των αντοχών**), εισάγεται ένας συντελεστής μείωσης  $\Phi_{S2}$  για την αντοχή των στοιχείων  $R_2$  τα οποία έχουν κατασκευαστεί ώστε να είναι πιο αξιόπιστη, ενώ εισάγεται ένας συντελεστής  $\Phi_{S1} = 1$  στο στοιχείο εκείνο που θεωρητικά μπορεί να αποτύχει πρώτο. Ο συντελεστής εξαρτάται από τον συντελεστή διακύμανσης (COV) των δυο στοιχείων και δίνεται στον πίνακα Π.9.15.

		COV R <sub>1</sub>			
		0,05	0,075	0,1	0,2
COV R <sub>2</sub>	0,05-0,01	0,92	0,87	0,82	0,63
	0,1-0,4	0,94	0,89	0,86	0,66

Π.9.15

Πίνακας τιμών για τον συντελεστή  $\Phi_{S2}$

Αυτή η λογική βασίζεται στο γεγονός ότι υπάρχει πιθανότητα 90% το στοιχείο R<sub>2</sub> δεν θα αποτύχει πριν από το στοιχείο R<sub>1</sub>. Στον επόμενο πίνακα Π.9.16 βλέπουμε αποδεκτές τιμές του συνδυασμού των αντοχών.

	Σημαντικό στοιχείο	Συντονισμός με σημαντικά στοιχεία *
Λιγότερο αξιόπιστο	Πυλώνας ανάρτησης	<u>Πυλώνας</u> , θεμέλια, συνδέσεις
Περισσότερο αξιόπιστο με 90% αξιοπιστία	Πυλώνας ανάρτησης	<u>Πυλώνας</u> , θεμέλια, συνδέσεις
	Τερματικός πυλώνας Αγωγοί **	<u>Πυλώνας</u> , θεμέλια, συνδέσεις <u>Αγωγοί</u> , θεμέλια, συνδέσεις

\* Το στοιχείο με την υπογράμμιση είναι το λιγότερο αξιόπιστο με 90% αξιοπιστία  
 \*\* Συνήθως οι αγωγοί είναι το πιο αξιόπιστο στοιχείο της γραμμής

Π.9.16

Τυπικός συνδυασμός των αντοχών των στοιχείων της γραμμής

### Μέθοδοι για τον υπολογισμό του συντελεστή $\Phi_S$ :

- Χρήση διαφορετικών ορίων αποκλεισμού – Για το λιγότερο δυνατό στοιχείο, χρησιμοποιούνται οριακά φορτία σε συνδυασμό με το όριο αποκλεισμού 10%. Το επόμενο στοιχείο που θεωρείται λιγότερο δυνατό θα σχεδιάζονται με μικρότερο όριο αποκλεισμού της τάξης 1 - 2 % για το ίδιο οριακό φορτίο.
- Σχεδιασμός για επίπεδο αξιοπιστίας του συνδυασμού των αντοχών – Οι συντελεστές αντοχής πρέπει να εισάγονται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε το επίπεδο του συνδυασμού των αντοχών δυο στοιχείων σε σειρά, να φτάνει την τάξη του 80 – 90 %.

**10.2 - Οριακές συνθήκες για τα στοιχεία της γραμμής.** Οι παρακάτω πίνακες Π.9.17 έως Π.9.20 ορίζουν τα όρια βλάβης και αποτυχίας για τα στοιχεία της γραμμής. Αν δεν υπάρχουν εξειδικευμένα δεδομένα, τότε μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι πίνακες.

Φορείς			Όριο βλάβης	Όριο αποτυχίας
Τύπος	Εξαρτήματα ή υλικό	Είδος φορτίου		
Πυλώνες πλέγματος, με ή χωρίς βοηθητικά σύρματα	Όλα τα εξαρτήματα εκτός από τα βοηθητικά σύρματα	Τάνυση	ελαστική υποχώρηση	μηχανική τάση θραύσεως
		Διάτμηση	90% ελαστική διάτμηση	διάτμηση θραύσεως
		Συμπίεση	ανελαστική παραμόρφωση από $u500$ σε $u100$	κατάρρευση λόγω αστάθειας
	Βοηθητικά σύρματα	Τάνυση	Χαμηλότερη τιμή : - 70-75 % ελαστική υποχώρηση - παραμόρφωση με 5% απώλειας αντοχής -ανάγκη για επαναπροσδιορισμό της τάνυσης	μέγιστη τάνυση
Στύλοι	Χάλυβας	Στιγμιαίο	1% ανελαστική παραμόρφωση στην κορυφή, ή ελαστική παραμόρφωση που χειροτερεύει τις αποστάσεις ασφαλείας	τοπικό λύγισμα ή συμπίεση ή μέγιστη τάνυση
		Συμπίεση	ανελαστική παραμόρφωση από $l 500$ σε $l 100$	κατάρρευση λόγω αστάθειας
	Ξύλο	Στιγμιαίο	3% ανελαστική μετατόπιση στην κορυφή	μέγιστη τάνυση
		Συμπίεση	ανελαστική παραμόρφωση από $u500$ σε $u100$	κατάρρευση λόγω αστάθειας
	Τσιμέντο	Μόνιμα η προσωρινά φορτία	εμφάνιση σχισμών με την επίδραση του φορτίου, ή 0,5% ανελαστική παραμόρφωση	κατάρρευση στύλου



Σημείωση 1 : Η παραμόρφωση των στοιχείων που συμπίεζονται είναι η μέγιστη εκτροπή από τα σημεία συνδέσεων. Για τις στιγμιαίες παραμορφώσεις εννοείται η εκτροπή από τον κάθετο άξονα.  
 Σημείωση 2 :  $l$  είναι το ελεύθερο μήκος του εξαρτήματος (ελεύθερη επιφάνεια).  
 Σημείωση 3 : Το πλάτος της σχισμής στους τσιμεντένιους στύλους το οποίο θεωρείται ως παραμόρφωση είναι σημείο που εξετάζεται στον σχεδιασμό του στύλου (μπορεί να διαφέρει λόγω υλικών).

#### Π.9.17

Πίνακας ορίων βλάβης και αποτυχίας για τους φορείς

Θεμέλια			Όριο βλάβης	Όριο αποτυχίας
Τύπος	Είδος φορέα	Ορισμένη στατική κίνηση		
Ανύψωση	Με βοήθεια συρμάτων καλωδίων	Ναι	ανάγκη επαναπροσδιορισμού τάνυσης συρμάτων	υπέρμετρη ανυψωτική κίνηση εκτός εδάφους της τάξης 5-10 cm
		Όχι	μείωση 5% στην αντοχή του φορέα	
	Αυτό-στηριζόμενο	Ναι	1 <sup>ο</sup> περιστροφή του φορέα	
		Όχι	διαφορικό κάθετο εκτόπισμα ίσο με $Y/300 - Y/500$ με μέγιστο τα 2 cm	
Συμπίεση	Όλοι οι φορείς	Ναι	εκτόπιση που αντιστοιχεί σε μείωση 5% στην αντοχή του φορέα	υπέρμετρη εκτόπιση του θεμελίου εκτός εδάφους της τάξης 5-10 cm
		Όχι	διαφορική κάθετη εκτόπιση ίσο με $Y/300 - Y/500$ με μέγιστο τα 2 cm	
Στιγμιαίο (περιστροφές)	Στύλοι	Ναι	2 <sup>ο</sup> περιστροφή του φορέα	υπέρμετρη περιστροφή της τάξης 5-10 <sup>ο</sup>
		Όχι	περιστροφή που αντιστοιχεί σε 10% αύξηση του στιγμιαίου φορτίου λόγω κέντρου βάρους	
<p>Σημείωση 1 : Πρέπει να ληφθεί υπόψη μεταξύ θεμελίου και φορέα.                      Σημείωση 2 : Μια ορισμένη μετατόπιση είναι κίνηση που δεν επιφέρει εσωτερική αλλοίωση του θεμελίου.                      Σημείωση 3 : Ο δείκτης <math>Y</math> είναι η οριζόντια απόσταση μεταξύ των θεμελίων.                      Σημείωση 4 : Μερικά άκαμπτα θεμέλια ίσως να χρειάζονται χαμηλότερα όρια από τα παραπάνω.</p>				

#### Π.9.18

Πίνακας ορίων βλάβης και αποτυχίας των θεμελίων

Αγωγοί και γειώσεις	Όριο βλάβης	Όριο αποτυχίας
Όλοι οι τύποι	<p>Χαμηλότερες τιμές :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- όριο δόνησης</li> <li>- παράβαση των αποστάσεων ασφαλείας όπως έχουν διατυπωθεί</li> <li>- 75% της χαρακτηριστικής αντοχής</li> </ul>	Μέγιστη τάνυση (θραύση)

Π.9.19

Πίνακας ορίων βλάβης και αποτυχίας αγωγών και γειώσεων

Εξαρτήματα τύπου συνδέσεων	Όριο βλάβης	Όριο αποτυχίας
<p>Συνδέσεις καλωδίων</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- κομβικές συνδέσεις</li> <li>- εξοπλισμός αναρτήσεων</li> </ul>	Μη αποδεκτή μόνιμη παραμόρφωση (περιλαμβάνονται και οι σφικτήρες ολισθήσεως)	θραύση
Μονωτήρες (πορσελάνης και υάλου)	70% της βαθμονομημένης αντοχής ή θραύση καλύμματος (γυαλί)	θραύση pin, cap, τσιμέντου ή καλύμματος
Εξοπλισμός	Κρίσιμη μόνιμη παραμόρφωση	θραύση εξοπλισμού ή διάτμηση βιδών
<p>Σημείωση 1 : Κανονικά οι αρμοί σχεδιάζονται ώστε να μειώνουν ή να εξαλείφουν την τριβή. Όπου είναι ανάγκη θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στον σχεδιασμό, η παρουσία τριβής.</p> <p>Σημείωση 2 : Η κρίσιμη μόνιμη παραμόρφωση ορίζεται ως η κατάσταση όπου δεν μπορεί πλέον να γίνει αποσυναρμολόγηση του εξοπλισμού.</p>		

Πίνακας Π.9.20

Πίνακας ορίων βλάβης και αποτυχίας του εξοπλισμού σύνδεσης

**Δεδομένα των αντοχών των στοιχείων της γραμμής** – Αν δεν υπάρχουν εξειδικευμένα στοιχεία, τότε η χαρακτηριστική αντοχή  $R_c$  θεωρείται ότι αντιστοιχεί σε όριο αποκλεισμού  $e = 10\%$ . Ο παρακάτω πίνακας Π.9.21 μας δίνει τον συντελεστή διακύμανσης  $v_R$ , ο οποίος χρησιμοποιείται ως προκαθορισμένη τιμή. Αντιθέτως, αν υπάρχουν τα υπόλοιπα στοιχεία, τότε θεωρείται ότι οι τιμές του επομένου πίνακα Π.9.22, δίνονται από την αντίστοιχη λογαριθμική συνάρτηση κατανομής για τον δείκτη  $R$ .

Εξάρτημα	COV
Αγωγοί και γειώσεις (η αντοχή περιορίζεται λόγω των αρμών)	0,03
Συνδέσεις	0,05
Μονωτήρες	0,05
Χαλύβδινοι Στύλοι	0,05
Τσιμεντένιοι Στύλοι	0,15
Ξύλινοι Στύλοι	0,20
Πυλώνες ή πύργοι πλέγματος	0,10
Άγκυρες πετρώματος	0,10
Θεμέλιο πασσάλου	0,25
Θεμέλιο που έχει μπαζωθεί compact (μηχάνημα)	0,20
Θεμέλιο που έχει μπαζωθεί ελεύθερα (ασυμπιεστα)	0,30

Π.9.21

Καθορισμένες τιμές για τον συντελεστή διακύμανσης της αντοχής COV

COV	$u$
0,05	1,26
0,10	1,24
0,20	1,19
0,30	1,14
0,40	1,08

Π.9.22

**Πίνακας του παράγοντα  $u^*$  (από λογαριθμική συνάρτηση) με το όριο αποκλεισμού να είναι  $e = 10\%$**  (\* $u$  = Αριθμός τυπικών αποκλίσεων μεταξύ μέσης αντοχής και χαρακτηριστικής αντοχής)

**Ονομαστική αντοχή του φορέα** – Οι φορείς (πυλώνες) σχεδιάζονται με χαρακτηριστική αντοχή  $R_C$  ώστε να τηρείται η παρακάτω εξίσωση :

$$R_C \geq \frac{\text{Ονομαστικά φορτία του φορέα}}{\Phi_N \times \Phi_S \times \Phi_Q \times \Phi_C} \quad \text{E.10.2}$$

Όπου :

$\Phi_N$  – η επιλογή γίνεται βάσει του συντελεστή αντοχής  $\Phi_N$

$\Phi_S$  – η επιλογή των τιμών υπάρχει στο πίνακα Π.9.15. Εάν ο φορέας έχει επιλεγεί ως ο λιγότερο αξιόπιστος τότε  $\Phi_S = 1$ . Στον σχεδιασμό του φορέα συνίσταται να γίνεται πρόβλεψη, ώστε η κατάρρευση του να μπορεί να περιοριστεί τοπικά (βραχίονες, κορυφή κλπ.) και έτσι να μην καταρρέει όλος ο φορέας.

$\Phi_Q$  – Για πυλώνες πλέγματος συνιστώνται οι τιμές  $\Phi_Q$  του πίνακα Π.9.23. Πρέπει πάντα να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην ποιότητα των υπολογισμών, στην κατασκευή και στην ανέγερση του φορέα. Για τους άλλους φορείς, μετά από εξέταση των τοπικών συνθηκών, μπορούν να χρησιμοποιούνται συντελεστές του  $\Phi_Q$  της ίδιας τάξης.

$\Phi_C$  – ο δείκτης αυτός μπορεί να επιλεγεί ίσος με 1, ιδιαίτερα όταν η χαρακτηριστική αντοχή  $R_C$  αντιστοιχεί σε όριο αποκλεισμού 10%.

Ποιοτικός Έλεγχος	$\Phi_Q$
Πολύ καλή ποιότητα ελέγχου εισάγοντας ομάδες από διάφορους εμπειρογνώμονες	1
Καλή ποιότητα ελέγχου	0,95
Μέτρια ποιότητα ελέγχου	0,90

Π.9.23

Πίνακας τιμών για τον συντελεστή  $\Phi_Q$  που αφορά πυλώνες πλέγματος

Οι φορείς που υπόκεινται σε πλήρης και εντατικούς ελέγχους και δοκιμές θα πρέπει τουλάχιστον να αντέχουν ονομαστικά φορτία ίσα με την χαρακτηριστική τους αντοχή  $R_C$ . Το πρότυπο IEC-60652 παραπέμπει σε αυτές τις διαδικασίες.

**Ονομαστική αντοχή του θεμελίου** – Ένα άλλο πρότυπο, το IEC-61773, αναλύει και ορίζει τις δοκιμές που αφορούν την αντοχή των θεμελίων διεξοδικά. Στο πρότυπο όμως που εξετάζεται (IEC-60826), τα μέγιστα φορτία που ασκούνται στα θεμέλια, υπολογίζονται βάσει των φορτίων που έχουν αναλυθεί και περιλαμβάνουν τα ανοίγματα από τον ένα φορέα στον άλλο,

αλλά και το ίδιο το σώμα του πυλώνα. Η χαρακτηριστική αντοχή  $R_C$  πρέπει να τηρεί την παρακάτω εξίσωση :

$$R_C \geq \frac{\text{Ονομαστικά φορτία θεμελίου}}{\Phi_N \times \Phi_S \times \Phi_Q \times \Phi_C} \quad \text{E.10.3}$$

Όπου :

$\Phi_N$  – ο δείκτης εξαρτάται από τον αριθμό των θεμελίων που υπόκεινται σε μέγιστο φορτίο. Τιμές μπορούν να ληφθούν από το πίνακα Π.9.14.

$\Phi_S$  – τιμές για αυτό το δείκτη υπάρχουν στο πίνακα Π.9.15 και βασίζονται στην αντοχή COV. Για ονομαστικές τιμές COV συνίσταται ο πίνακας Π.9.21.

$\Phi_Q$  – ο δείκτης θα ισούται με 1, εάν οι τιμές της χαρακτηριστικής αντοχής  $R_C$  προέρχονται από πραγματικές μετρήσεις και δοκιμές στην γραμμή. Αν δεν συμβαίνει αυτό, η τιμή αυτή θα μειωθεί και συνίσταται η τιμή να ισούται με 0,9.

$\Phi_Q$  – θεωρείται ίση με 1 εάν η χαρακτηριστική αντοχή  $R_C$  αντιστοιχεί σε όριο αποκλεισμού 10%.

**Κριτήρια για τον σχεδιασμό αγωγών και γειώσεων** – Οι αγωγοί και οι γειώσεις σχεδιάζονται έτσι, ώστε να υπολογίζεται το ανά μονάδα μήκους συνιστάμενο φορτίο που αντιστοιχεί σε συγκεκριμένο άνοιγμα. Έτσι θεωρείται ότι ισχύει  $\Phi_N = \Phi_S = \Phi_Q = 1$  και η μέγιστη τάνυση αγωγού δεν ξεπερνά την χαρακτηριστική αντοχή  $R_C$ , όπως είδαμε και στον πίνακα Π.9.19. Σε διαφορετική περίπτωση υπάρχει ανάλυση για δοκιμές αγωγών στο πρότυπο IEC-61089.

**Κριτήρια για τον σχεδιασμό μονωτήρων** – Για να μπορέσουμε να υπολογίσουμε ακριβή στοιχεία για τις αλώσεις μονωτήρων, βασικό ρόλο παίζουν οι συσχετισμοί που δημιουργούνται με τους αγωγούς και τις συνδέσεις. Το μέγιστο ονομαστικό φορτίο κατά το σχεδιασμό θα πρέπει να υπολογίζεται για τον συνδυασμό αγωγού – μονωτήρα.

$\Phi_N$  – οι τιμές του δείκτη μπορούν να βρεθούν από το πίνακα Π.9.14.

$\Phi_S$  –  $\Phi_S = \Phi_{S2} = 0,90$  για όλες τις αλώσεις μονωτήρων. Για τις τιμές COV υπάρχουν οι πίνακες Π.9.15 και Π.9.20.

$\Phi_C$  και  $\Phi_Q$  – είναι ίσα με 1 (εκτός αν το υλικό είναι πολύ χαμηλής ποιότητας).

Επίσης θα πρέπει να λαμβάνεται ειδική μέριμνα, για τις περιοχές που υπόκεινται σε φορτία πάγου, όπου θα πρέπει να γίνεται η επιλογή της χαρακτηριστικής αντοχής  $R_c$  των μονωτήρων, στο ίδιο επίπεδο με τους αγωγούς με τους οποίους συνδέονται. Ανάλυση του θέματος αυτού υπάρχει στο πρότυπο IEC-61284.

**ΣΤΟ ΒΗΜΑ Ε) ΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΕΤΑΙ ΚΑΙ ΤΟ ΒΗΜΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ  
ΣΤ) ΕΠΙΛΟΓΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΦΟΡΤΙΟΥ ΚΑΙ ΑΝΤΟΧΗΣ ΑΛΛΑ ΚΑΙ ΤΟ  
ΒΗΜΑ Ζ) ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ  
ΑΝΤΟΧΩΝ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ**

---

Τα βήμα η) της μεθοδολογίας αποτελεί την **λεπτομερή σχεδίαση των στοιχείων της γραμμής** και όπως καταλαβαίνουμε είναι θέμα του κατασκευαστή και δεν τίθεται θέμα θεωρητικής ανάλυσης.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11 - ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΑΙ ΓΕΙΩΣΗ

Οι ηλεκτρικές εκκενώσεις αποτελούν την κύρια αιτία μη προγραμματισμένων διακοπών του ρεύματος των ηλεκτρικών συστημάτων. Τα διεθνή στατιστικά δείχνουν ότι το 65% περίπου των διακοπών αυτών, οφείλονται σε κεραυνικά πλήγματα που κτυπούν τις γραμμές μεταφοράς. Η προστασία της γραμμής από κεραυνούς και η μείωση των φαινομένων αυτών, γίνεται με την εγκατάσταση αγωγών γείωσης αλλά και την γείωση των ίδιων των πυλώνων. Στατιστικά όμως, παρατηρείται η αυξανόμενη ανάγκη για ενέργεια παγκοσμίως. Οι γραμμές μεταφοράς καλούνται όλο και πιο συχνά, να λειτουργούν στα όρια των δυνατοτήτων τους. Αυτό το γεγονός συνιστά ιδιαίτερα επικίνδυνα τα κεραυνικά πλήγματα γιατί πολλές φορές μπορούν να οδηγήσουν το σύστημα σε αστάθεια. Στον παράγοντα αυτό φυσικά, συμβάλλουν και τα διαφόρων ειδών βραχυκυκλώματα.



Κεραυνικό πλήγμα σε γραμμή μεταφοράς 1



Κεραυνικό πλήγμα σε γραμμή μεταφοράς 2

**Υπερτάσεις** – Ο σχεδιασμός της γραμμής θα πρέπει να αποτρέπει τα κεραυνικά πλήγματα ή έστω να απορροφά μέσω μηχανισμών τις υπερτάσεις, μιας και αυτές μπορεί να έχουν καταστροφικά αποτελέσματα. Οι υπερτάσεις που οφείλονται σε κεραυνούς στις γραμμές μεταφοράς, σχετίζονται με το σημείο όπου παρουσιάζεται το φαινόμενο και μπορούμε να τις κατατάξουμε ως εξής :

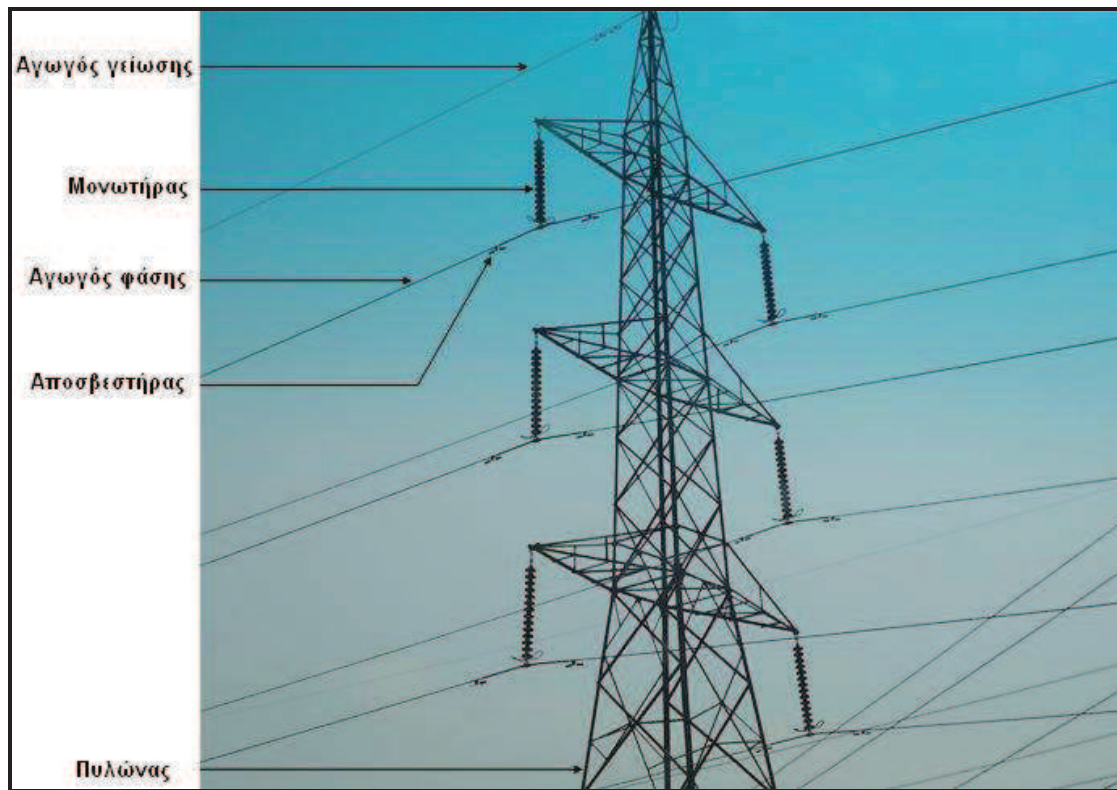


- Επαγόμενες υπερτάσεις που παρουσιάζονται όταν υπάρχει κεραυνικό πλήγμα στο έδαφος, κοντά στην γραμμή μεταφοράς.
- Υπερτάσεις που οφείλονται σε αποτυχία της θωράκισης της γραμμής (γείωση) και παρουσιάζονται όταν υπάρχει κεραυνικό πλήγμα σε κάποια φάση των αγωγών.
- Υπερτάσεις που προκαλούνται, λόγω ανάστροφων εκκενώσεων και παρουσιάζονται όταν υπάρχει κεραυνικό πλήγμα στην γείωση του πυλώνα.

Οι υπερτάσεις γενικότερα επηρεάζουν τον εξοπλισμό μικρότερων καταναλωτών, όπως είναι οι υπολογιστές και άλλες τέτοιες συσκευές. Προβλήματα μπορεί να δημιουργηθούν και σε μεγαλύτερους καταναλωτές, όπως είναι τα εργοστάσια.

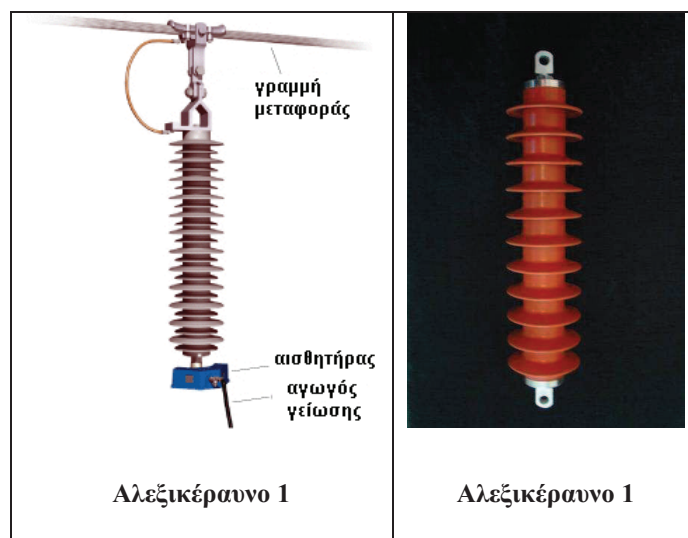
**Αγωγοί γείωσης** – Σε περιοχές όπου έχει διαπιστωθεί μέτρια ή υψηλή κεραυνική δραστηριότητα, αποτελεί κοινή πρακτική να γίνεται εξοπλισμός της γραμμής με αγωγούς γείωσης, για προστασία από ηλεκτρικές εκκενώσεις. Ο αγωγός γείωσης τοποθετείται μάλιστα υψηλότερα από τους αγωγούς φάσης, στο άνοιγμα μεταξύ δυο πυλώνων. Η αποτελεσματικότητα της θωράκισης των αγωγών αυτών, είναι ανάλογη με το ύψος που απέχουν από το έδαφος και το ρεύμα που τους διατρέχει. Κατά τον σχεδιασμό ενός αξιόπιστου και αποτελεσματικού τρόπου θωράκισης της γραμμής, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και οι επιδράσεις που προέρχονται από ανάστροφες εκκενώσεις.

Οι ανάστροφες εκκενώσεις μπορεί να δημιουργηθούν όταν κάποιος κεραυνός πέσει κοντά ή πάνω στον αγωγό γείωσης του πυλώνα. Οι ανάστροφες εκκενώσεις είναι ιδιαίτερα επικίνδυνες για την μόνωση της γραμμής. Σε όλες τις περιπτώσεις, αυτό που έχει σημασία είναι ότι δεν πρέπει τα ρεύματα που δημιουργούνται να ξεπεράσουν τη μόνωση της γραμμής. Οι αγωγοί τοποθετούνται σε γωνία θωράκισης που είναι συνήθως μεταξύ 10-35° , ανάλογα με την σπουδαιότητα της γραμμής. Όσο υψηλότεροι οι φορείς, τόσο μικρότερες οι γωνίες θωράκισης που απαιτούνται.



Αγωγός γείωσης στην κορυφή του πυλώνα

**Αλεξικέραυνα (Surge arrester)** – Μια εναλλακτική στην χρήση αγωγών γείωσης, είναι η πολύ διαδεδομένη τελευταία (τουλάχιστον μέχρι ένα επίπεδο τάσης), χρήση αλεξικέραυνων παράλληλα με τις αλυσίδες μονωτήρων. Τα αλεξικέραυνα αυτά ήδη χρησιμοποιούνται σε γραμμές μέχρι 150 kV. Για μεγαλύτερα επίπεδα τάσης βρισκόμαστε ακόμη σε πειραματικό επίπεδο.



**Μέθοδοι και προγράμματα ανάλυσης δεδομένων** – Υπάρχουν πολλά προγράμματα, τα οποία έχουν δημιουργηθεί για την αξιολόγηση και ανάλυση δεδομένων, που αφορούν τις υπερτάσεις από την κεραυνική δραστηριότητα. Ένα πολύ ενδιαφέρον πρόγραμμα, το οποίο έχει αναπτυχθεί από τον οργανισμό IEEE και ονομάζεται FLASH, αποτελεί ένα από τα πιο αξιόπιστα και ορθολογικά προγράμματα του χώρου αυτού. Η μέθοδος που αναπτύσσει το πρόγραμμα, παρουσιάζεται επιγραμματικά, ως εξής :

1. Μετατροπή των κεραυνικών επιπέδων της περιοχής που εξετάζεται, σε πυκνότητες εκκενώσεων (μαθηματική μετατροπή).
2. Καθορισμός της πιθανότητας πυκνώσεων στις εκκενώσεις προς γη, συναρτήσει της μετρήσιμης αντίστασης προς γη, του πυλώνα της γραμμής.
3. Καθορισμός της συνάρτησης - γεωμετρική κατασκευή του πυλώνα της γραμμής, σε σχέση με την κυματομορφή της εκκένωσης.
4. Υπολογισμός των δυο παραγόντων – α) ρυθμός αποτυχίας θωράκισης β) ρυθμός αποτυχίας λόγω ανάστροφων εκκενώσεων.

**Γενικός σκοπός της γείωσης** – Υπάρχουν πέντε κατηγορίες για τις οποίες απαιτείται σύστημα γείωσης στις γραμμές μεταφοράς :

- Εγγύηση της ανθρώπινης ασφάλειας, όταν παρουσιάζονται υπερτάσεις λόγω βραχυκυκλωμάτων στην γραμμή.
- Ο σχεδιασμός της γραμμής θα πρέπει να προβλέπει τις μέγιστες τιμές που μπορεί να πάρουν τα βραχυκυκλώματα ως προς γη.
- Αποφυγή ζημιών σε περιουσίες και εγκαταστάσεις.
- Εξασφάλιση αποδεκτής λειτουργίας και απόδοσης της γραμμής.
- Ικανοποιητική μηχανική αντοχή και αντίσταση διάβρωσης.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12 - ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

Το πρότυπο IEC-60826, όπως είδαμε και στα κλιματικά φορτία, ασχολείται κυρίως με την επίδραση που έχουν οι χαμηλές θερμοκρασίες στην γραμμή σε συνδυασμό με φορτία του ανέμου. Σκοπός του προτύπου δεν είναι η εξέταση μεγάλων θερμοκρασιών και οι επιδράσεις τους. Οι μεταπτώσεις στην θερμοκρασία που συναντάμε στους αγωγούς, οφείλονται κυρίως στην εναλλαγή της θερμοκρασίας των ανέμων που επιδρούν σε αυτούς. Επίσης, αλλαγή της θερμοκρασίας μπορεί να έχουμε, λόγω της διαφορετικής ακτινοβολίας (ηλιοφάνεια, συννεφιά κλπ).

**Θερμόμετρα** – Τα θερμόμετρα που έχουν τοποθετηθεί για καταμέτρηση, με τη σειρά τους μπορεί να επηρεάζονται από διάφορους παράγοντες και να αποδίδουν λανθασμένες μετρήσεις. Γι' αυτό το λόγο είναι σημαντικό τα θερμόμετρα να προστατεύονται αποτελεσματικά και να υπάρχει επαρκής εξαερισμός, όπως και να είναι κατάλληλη για μετρήσεις η τοποθεσία που έχει επιλεγεί. Το ονομαστικό ύψος τοποθέτησης θερμομέτρου είναι στα **2m** από το έδαφος. Αυτό που προτείνεται, είναι να υπάρχει η βοήθεια και συμβουλή από εμπειρογνώμονες και μετεωρολόγους για την καλύτερη αξιοποίηση τοποθεσιών, την επιλογή των αισθητήριων οργάνων, τον τρόπο συλλογής των δεδομένων αλλά και το πώς θα πρέπει να ερμηνεύονται τα καιρικά φαινόμενα. Οι τοποθεσίες καταμέτρησης θα πρέπει να συνεκτιμούν κάποια στοιχεία, όπως τα παρακάτω: Βλάστηση, δασώδεις περιοχές, κτίρια, επάρκεια εξαερισμού, ρεύματα ψυχρού αέρα, υπερθέρμανση του εδάφους, ακτινοβολία αλλά και το σωστό υψόμετρο. Επίσης συνίσταται η χρονική περίοδος των μετρήσεων να ανανεώνεται κάθε 1-2 χρόνια.



Θερμόμετρο καλυμμένο από χιόνι

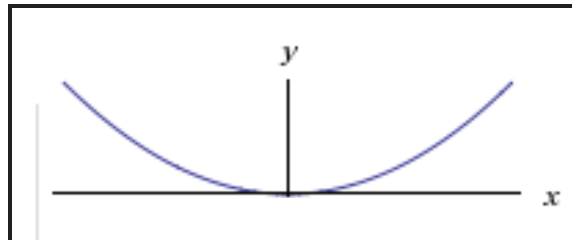
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13 - ΤΑΝΥΣΗ ΑΓΩΓΩΝ

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

### Μέθοδος Υπολογισμού

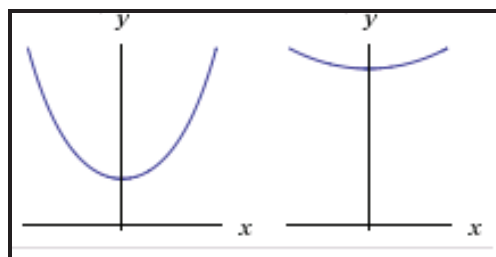
Υπάρχουν διάφορες μορφές υπολογισμού τανύσεως όσο αφορά την μαθηματική ανάλυση. Εμείς συνδυάζοντας ξένη και ελληνική βιβλιογραφία παρουσιάζουμε την παρακάτω μέθοδο που ισχύει και στην χώρα μας :

Ξένη βιβλιογραφία – Ένας ανηρτημένος αγωγός ενός ομοιόμορφου οριζόντιου φορτίου μπορεί να παρασταθεί σχηματικά ως μια παραβολή.



Αγωγός που μπορεί να παρασταθεί σχηματικά ως παραβολή

Μια άλλη μορφή που ενδέχεται να συναντήσουμε είναι, σχηματικά ο αγωγός να μοιάζει με αλυσίδα (catenary).



Αλυσειδής σχηματική παράσταση αγωγού όπου μεγάλο ρόλο παίζει το βάρος του

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

$$S = \frac{w \times L^2}{8T} \quad \text{E.13.1}$$

Όπου :

**S** – είναι η καμπύλη στο μέσον του ανοίγματος (m)

**w** – είναι το βάρος του αγωγού (N/m)

**L** – είναι το οριζόντιο μήκος ανοίγματος (m)

**T** – είναι η τάση του αγωγού (N)

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

$$w = \frac{W_c \times 9,81}{1000} \quad \text{E.13.2}$$

Όπου  $W_c$  – είναι το βάρος αγωγού σε kg/km

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

$$K = \frac{8S^2}{3L} \quad \text{E.13.3}$$

Όπου :

**K** – είναι η χαλαρότητα (m)

**S** – είναι η καμπύλη στο μέσον του ανοίγματος (m)

**L** – είναι το μήκος ανοίγματος (m)

## Παράγοντες που επηρεάζουν την τάνυση αγωγών

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

$$\Delta L = \alpha \times T \times S \quad \text{E.13.4}$$

Όπου :

$\alpha$  – είναι ο συντελεστής θερμικής διαστολής

$T$  – είναι η αύξηση θερμοκρασίας ( $^{\circ}\text{C}$ )

$S$  – είναι το μήκος ανοίγματος (m)

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

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

$$\Delta L = \frac{(T_0 - T)}{E \times A} \quad \text{E.13.5}$$

Όπου :

$T_0$  – είναι η αρχική τάνυση (N)

$T$  – είναι η τελική τάνυση (N)

$E$  – είναι ο συντελεστής ελαστικότητας

$A$  – είναι η διατομή του αγωγού (m)

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

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



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

## Τάνυση CIGRE

Η τάνυση των αγωγών μεταβάλλεται με την θερμοκρασία και το (φαινόμενο) βάρος των αγωγών και συνδέεται με το βέλος όπως βλέπουμε στην παρακάτω εξίσωση :

$$T = \frac{a^2 \times w}{8s} \quad \text{E.13.6}$$

Όπου :

**T** – είναι η Τάνυση αγωγού (N)

**a** – είναι το άνοιγμα του αγωγού (m)

**w** – είναι το βάρος αγωγού (N/m)

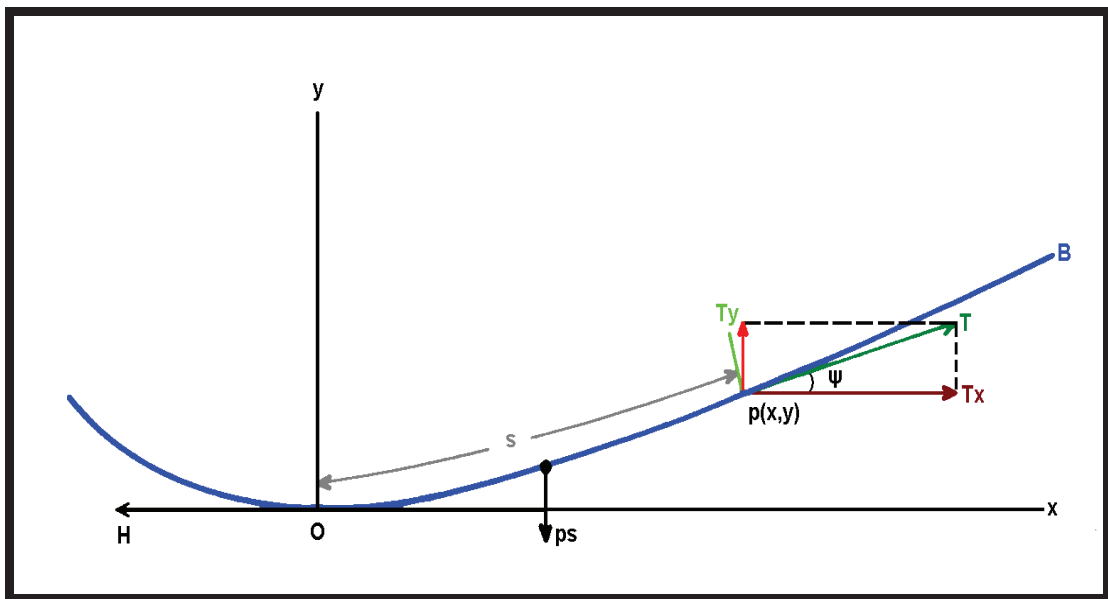
**s** – είναι το βέλος

Ο συντελεστής  $w$  είναι το βάρος του αγωγού και ορίζει όλες τις περιπτώσεις, που είναι το βάρος του γυμνού αγωγού, το συνολικό βάρος αγωγού που επικαλύπτεται από πάγο, το φαινόμενο βάρος αγωγού όταν δέχεται φορτία ανέμου και το συνολικό φαινόμενο βάρος όταν ο αγωγός δέχεται και φορτία πάγου και φορτία ανέμου. Η μέγιστη συνθήκη φόρτισης του αγωγού αναλογεί σε μέγιστη επιτρεπόμενη τάνυση που καθορίζεται μεταξύ 40-60% του ορίου θραύσεως.

Φυσικά η ομάδα CIGRE έχει κάνει και ειδικές αναλύσεις για ειδικές περιπτώσεις υπολογισμού τάνυσης και μπορούν να αναζητηθούν οι περιπτώσεις στα πρότυπα που έχουν εκδώσει.

Ελληνική βιβλιογραφία – Στην ελληνική βιβλιογραφία βρίσκουμε και μια ανάλυση για το βέλος που αναλύεται παρακάτω. Η τάνυση εδώ ,ορίζεται επίσης, ως η τάση του αγωγού στα σημεία αναρτήσεως, στα οποία αυτή είναι

και μεγαλύτερη από κάθε άλλο σημείο της γραμμής. Ας υποθέσουμε ότι αγωγός γραμμής βάρους  $p$  ανά μονάδα μήκους, αναρτάται από τα σημεία  $A$  και  $B$  και έστω  $O$  το κατώτατο σημείο του αγωγού δηλ. το σημείο, στο οποίο η καμπύλη γίνεται οριζόντια, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Έστω ένα σημείο  $P$  του αγωγού, με συντεταγμένες  $x$  και  $y$  στο σύστημα αξόνων του παραπάνω σχήματος, το οποίο ορίζει ένα τμήμα  $OP$ , μήκους  $S$ , κατά μήκος της καμπύλης του αγωγού και  $\psi$  η γωνία, την οποία σχηματίζει η εφαπτομένη της καμπύλης με την οριζόντια στο σημείο  $P$ .



Οι δυνάμεις, οι οποίες δρουν στο τμήμα  $OP$  είναι ή οριζόντια τάση  $H$  στο  $O$ , ή τάση  $T$  στο σημείο  $P$ , κατά την εφαπτομένη της καμπύλης με συνιστώσες  $T_y$  και  $T_x$ , επίσης το βάρος  $ps$  του τμήματος  $OP$ , το οποίο εφαρμόζεται κατακόρυφα στο κέντρο βάρους του τμήματος  $OP$ . Δεδομένου ότι το τμήμα του αγωγού βρίσκεται σε ισορροπία, τόσο οι οριζόντιες, όσο και οι κατακόρυφες συνιστώσες των δυνάμεων είναι ίσες μεταξύ τους, δηλ:

$$H = T_x \quad \text{E.13.7}$$

$$T_y = ps \quad \text{E.13.8}$$

Η σχέση  $H=T_x$  δείχνει ότι ή οριζόντια συνιστώσα τής τάσεως  $T_x$ , είναι σταθερή σε όλο το μήκος τής γραμμής. Θα είναι επίσης:

$$\frac{T_y}{T_x} = \tan \psi \quad \text{E.13.9}$$

Έχουμε επίσης :

$$\tan \psi = \frac{dy}{dx} \quad \text{E.13.10}$$

Με συνδυασμό των δυο παραπάνω :

$$\frac{dy}{dx} = \frac{T_y}{T_x} = \frac{ps}{H} \quad \text{E.13.11}$$

Στοιχειώδης μήκος καμπύλης στο σημείο P:

$$ds = \sqrt{dx^2 + dy^2} \quad \text{E.13.12}$$

Βάζοντας τώρα τα  $p,s,H$  :

$$\frac{ds}{dx} = \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} = \sqrt{1 + \frac{p^2 s^2}{H^2}} \quad \text{E.13.13}$$

Μπορούμε επίσης να γράψουμε :

$$dx = \frac{ds}{\sqrt{1 + \frac{p^2 s^2}{H^2}}} \quad \text{E.13.14}$$

Με ολοκλήρωση και των δυο μελών της τελευταίας εξίσωσης :

$$x + c = \frac{H}{p} \sinh^{-1} \left( \frac{ps}{H} \right) \quad \text{E.13.15}$$

Όπου  $c$  είναι η σταθερά της ολοκλήρωσης. Όμως  $c=0$  για  $s=0$ ,  $x=0$  και επιλύοντας ως προς  $s$  έχουμε :

$$s = \frac{H}{p} \sinh\left(\frac{px}{H}\right) \quad \text{E.13.16}$$

Αντικαθιστώντας σε παραπάνω εξίσωση το  $s$  θα έχουμε :

$$\frac{dy}{dx} = \sinh\left(\frac{px}{H}\right) \quad \text{ή} \quad y = \int \sinh\left(\frac{px}{H}\right) \quad \text{E.13.17,18}$$

$$\text{ή ακόμη :} \quad y = \frac{H}{p} \cosh\left(\frac{px}{H}\right) + d \quad \text{E.13.19}$$

όπου  $d$  μια άλλη σταθερά ολοκλήρωσης. Στο σημείο  $\mathbf{O}$  έχουμε  $x=0$  και  $y=0$ , οπότε για το σημείο αυτό η παραπάνω εξίσωση γίνεται :

$$0 = \frac{H}{p} + d \quad \text{λύνοντας ως προς } d \text{ θα έχουμε} \quad d = -\frac{H}{p}$$

Επομένως η εξίσωση της καμπύλης της γραμμής είναι :

$$y = \frac{H}{p} \left[ \cosh\left(\frac{px}{H}\right) - 1 \right] \quad \text{E.13.20}$$

Η καμπύλη αυτή καλείται αλυσοειδής. Η συνολική τάση  $\mathbf{T}$  στο σημείο  $\mathbf{P}$  βάσει παραπάνω εξισώσεων έχουμε :

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

$$\text{και άρα έχουμε :} \quad T = H \cosh\left(\frac{px}{H}\right) \quad \text{E.13.21}$$

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

$$T = H \cosh\left(\frac{pl}{H}\right) \quad \text{E.13.22}$$

**Βέλος** της γραμμής καλείται η τιμή του  $y$  στα σημεία **A** ή **B** και δίνεται από την παρακάτω εξίσωση για  $x=l$  :

$$d = \frac{H}{p} \left[ \cosh\left(\frac{pl}{H}\right) - 1 \right] \quad \text{E.13.23}$$

Το συνολικό μήκος του αγωγού προκύπτει από την παρακάτω εξίσωση :

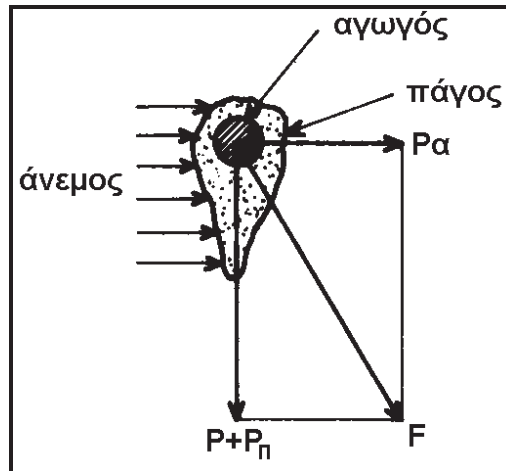
$$s = 2 \left( \frac{H}{p} \right) \sinh\left(\frac{pl}{H}\right) \quad \text{E.13.24}$$

Σε περιοχές, στις όποιες η θερμοκρασία του περιβάλλοντος πέφτει κάτω από  $0^\circ \text{C}$ , σχηματίζονται συχνά στρώματα πάγου επάνω στους αγωγούς των γραμμών, τα οποία πολλές φορές έχουν σημαντικό πάχος και επιφάνεια. Η εξωτερική επιφάνεια, την οποία προβάλλει ο αγωγός με το στρώμα του πάγου είναι, αυξημένη και επομένως, εκτός από το πρόσθετο βάρος του πάγου, ο αγωγός υφίσταται και αυξημένη δύναμη ανέμου. Κατά τον υπολογισμό του βέλους και της τάνυσης της γραμμής πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι πρόσθετες αυτές εξωτερικές καταπονήσεις.

Εάν το βάρος του πάγου είναι  $p_{\Pi}$  ανά μέτρο, το συνολικό βάρος του αγωγού είναι,  $p+p_{\Pi}$  ανά μέτρο. Εάν επίσης είναι  $p$  η δύναμη του ανέμου ανά τρέχον μέτρο αγωγού, η οποία υποτίθεται ότι δρα οριζόντια, τότε η συνολική δύναμη επί ενός μέτρου αγωγού θα είναι,

$$F = \sqrt{(p + p_{\Pi})^2 + p_a^2} \quad \text{E.13.25}$$

και θα δρα υπό γωνία ως προς την κατακόρυφο, όπως φαίνεται και από το παρακάτω σχήμα.



Αγωγός καλυμμένος

Ο αγωγός υπό την επίδραση της συνολικής δύναμης  $F$  τίθεται στο κεκλιμένο επίπεδο της δύναμης αυτής, αλλά διατηρεί το σχήμα αλυσοειδούς καμπύλης με την σταθερά  $F$  στην θέση της  $\rho$ . Εάν ή συνολική διάμετρος του αγωγού είναι  $D$  (cm) και υποθεθεί ότι το στρώμα του πάγου έχει ομοιόμορφο ακτινικό πάχος  $K$  (cm) γύρω από τον αγωγό, τότε, δεδομένου ότι το βάρος του πάγου θεωρείται στη μέγιστη τιμή  $914 \text{ Kg/m}^3$ , το βάρος του πάγου ανά μέτρο αγωγού θα είναι :

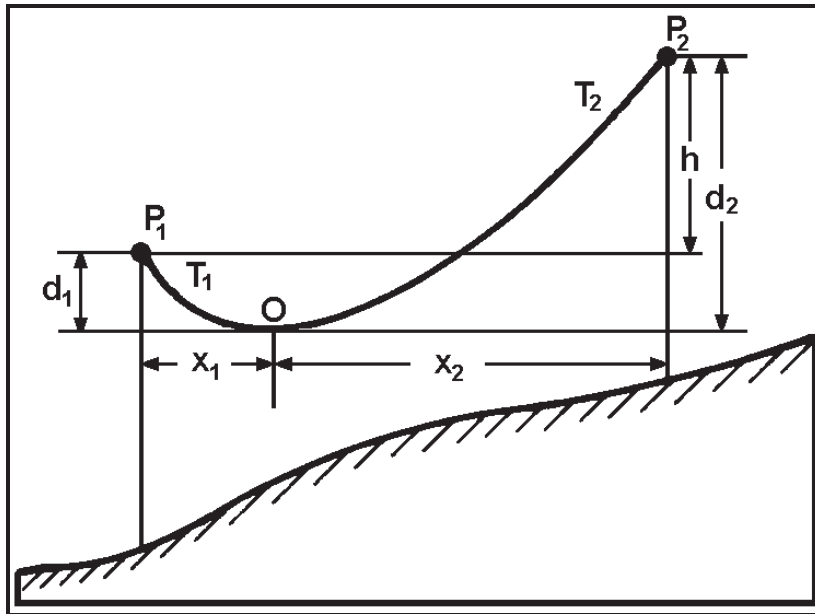
$$p = 914 \times \pi \left[ \left( \frac{D}{2} + K \right)^2 - \left( \frac{D}{2} \right)^2 \right] \times 10^{-4} \quad \text{E.13.26}$$

$$= 0,287K(D + K) \text{ Kg/m}$$

Η δύναμη του ανέμου ανά τρέχον μέτρο αγωγού, για πίεση ανέμου  $u$  (Kg/m), είναι:

$$p_a = u(D + 2K) \times 10^{-2} \text{ Kg/m} \quad \text{E.13.27}$$

Το παρακάτω σχήμα παριστάνει γραμμή αναρτημένη σε δύο σημεία  $P_1$  και  $P_2$  διαφορετικών υψομέτρων, των όποιων η υψομετρική διαφορά είναι  $h$ .



Αγωγός ανηρτημένος σε κεκλιμένο επίπεδο

Εάν το έδαφος δεν είναι πολύ απότομο, θα υπάρξει ένα σημείο, στο οποίο ο αγωγός θα είναι οριζόντιος. Τότε η καμπύλη  $OP_1$  είναι μία αλυσσοειδής ημίσεως ανοίγματος  $x_1$  και η  $OP_2$  αλυσσοειδής ημίσεως ανοίγματος  $x_2$ . Οι εξισώσεις E.13.22, E.13.23 και E.13.24 ισχύουν για κάθε μία πλευρά, οπότε είναι:

$$d_1 = \frac{H}{P} \left[ \cosh \left( \frac{px_1}{H} \right) - 1 \right] \quad \text{E.13.28}$$

$$d_2 = \frac{H}{p} \left[ \cosh \left( \frac{px_2}{H} \right) - 1 \right] \quad \text{E.13.29}$$

$$T_1 = H \times \cosh \left( \frac{px_1}{H} \right) \quad \text{E.13.30}$$

$$T_2 = H \times \cosh \left( \frac{px_2}{H} \right) \quad \text{E.13.31}$$



Προφανώς ή μέγιστη τάνυση εφαρμόζεται στο υψηλότερο στήριγμα  $P_2$  στο προηγούμενο σχήμα δεδομένου ότι το  $x_2$  είναι μεγαλύτερο του  $x_1$ . Γνωστά μεγέθη είναι τα  $p$ ,  $h$  και ή οριζόντια απόσταση μεταξύ των σημείων αναρτήσεως  $x_1+x_2$ . Είναι συνεπώς, ή μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή τής τανύσεως.

$$d_2 - d_1 = \frac{H}{p} \left[ \cosh\left(\frac{px_2}{H}\right) - \cosh\left(\frac{px_1}{H}\right) \right] h \quad \text{E.13.32}$$

$$x_1 + x_2 = m \quad \text{E.13.33}$$

Και

$$T = T_2 = \cosh\left(\frac{px_2}{H}\right) \quad \text{E.13.34}$$

Οι τρεις εξισώσεις (6.1.29) είναι αρκετές για τον προσδιορισμό των αγνώστων  $x_1+x_2$  και  $H$  από τα οποία μπορούν να βρεθούν το βέλος και ή τάση. Αναλυτικό, οι εξισώσεις μπορούν να επιλυθούν με τη μέθοδο των διαδοχικών προσεγγίσεων και είναι χρήσιμη ή εύρεση μιας προσεγγιστικής λύσεως, υποθέτοντας ότι ή καμπύλη είναι παραβολή [τύπος (6.1.13)]. Ή προσεγγιστική λύση βρίσκεται ως ακολούθως: Είναι,

$$d_1 = \frac{px_1^2}{2T}, \quad d_2 = \frac{px_2^2}{2T}, \quad T=H \quad \text{E.13.35,36,37}$$

$$\begin{aligned} d_2 - d_1 &= h = \left(\frac{p}{2T}\right)(x_2^2 - x_1^2) \\ &= \left(\frac{p}{2T}\right)(x_2 + x_1)(x_2 - x_1) \\ &= \left(\frac{p \times m}{2T}\right)(x_2 - x_1) \end{aligned} \quad \text{E.13.38}$$

Οπότε,

$$x_2 - x_1 = \frac{2T \times h}{p \times m} \quad \text{E.13.39}$$

Και συνεπώς :

$$x_2 = \frac{1}{2}m + \frac{T \times h}{p \times m} \quad \text{E.13.40}$$

$$x_1 = \frac{1}{2}m - \frac{T \times h}{p \times m} \quad \text{E.13.41}$$

Έχοντας υπολογίσει  $x_1$ ,  $x_2$  από τις εξισώσεις E.13.41, E.13.40 υπολογίζονται τα  $d_1$  και  $d_2$  από τις εξισώσεις E.13.35,36.

---

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

### Όροι και ορισμοί

<b>R<sub>c</sub></b>	<p><b>Είναι η χαρακτηριστική αντοχή, η εγγυημένη αντοχή, η ελάχιστη αντοχή, ή το ελάχιστο φορτίο αποκοπής (για τα κατάλληλα πρότυπα είναι η τιμή εγγύησης).</b></p> <p>ΣΗΜΕΙΩΣΗ Η τιμή αυτή αντιστοιχεί συνήθως σε ένα όριο αποκοπής, από 2% έως 5%, με το 10% να είναι ένα ανώτερο πρακτικά (και συντηρητικά) όριο.</p>
<b>COV</b>	<p><b>Είναι ο συντελεστής μεταβλητότητας (coefficient of variation) ή αλλιώς ο λόγος τυπικής απόκλισης με τη μέση τιμή.</b></p> <p>ΣΗΜΕΙΩΣΗ Ο συντελεστής COV του φορτίου και η αντοχή συμβολίζονται με <math>V_Q</math> και <math>V_R</math>.</p>
<b>Εξαρτήματα</b>	<p><b>Διάφορα μέρη του συστήματος μεταφοράς που έχουν ιδιαίτερο σκοπό</b></p> <p>ΣΗΜΕΙΩΣΗ Τα τυπικά στοιχεία είναι : πυλώνες, θεμέλια, αγωγοί και αλύσεις μονωτήρων.</p>
<b>Όριο φθοράς (ενός εξαρτήματος) ή οριακή κατάσταση λειτουργικότητας</b>	<p><b>Το όριο αντοχής του στοιχείου που αντιστοιχεί σε ένα καθορισμένο όριο μόνιμης (ή ανελαστικής) παραμόρφωσης αυτού του εξαρτήματος που οδηγεί σε βλάβη του συστήματος σε περίπτωση υπέρβασης του ορίου αυτού.</b></p> <p>ΣΗΜΕΙΩΣΗ Το όριο αυτό ονομάζεται επίσης οριακή κατάσταση λειτουργικότητας στις κατασκευαστικές οδηγίες βασισμένο στα ονομαστικό όρια της κατάστασης.</p>
<b>Κατάσταση βλάβης (του συστήματος)</b>	<p><b>Είναι η κατάσταση όπου το σύστημα χρειάζεται επισκευή, επειδή ένα από τα εξαρτήματά του έχει υπερβεί το όριο φθοράς.</b></p> <p>ΣΗΜΕΙΩΣΗ Το σύστημα χρειάζεται επισκευή, διότι δεν είναι σε θέση να επιτελέσει το έργο του για τα ονομαστικά φορτία ή επειδή οι αποστάσεις ασφαλείας μπορεί να έχουν μειωθεί (π.χ. βραχυκύκλωμα).</p>

<p style="text-align: center;"><b>Στοιχεία</b></p>	<p><b>Τα διάφορα μέρη ενός εξαρτήματος.</b></p> <p>ΣΗΜΕΙΩΣΗ π.χ. τα στοιχεία ενός πυλώνα όπως είναι : γωνίες, πλάκες και βίδες.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Όριο αποκλεισμού e%</b></p>	<p><b>Είναι η τιμή μιας μεταβλητής που λαμβάνεται από τη λειτουργία της διανομής και που αντιστοιχεί στην πιθανότητα e% να μην ξεπεραστεί αυτή η μεταβλητή.</b></p>
<p style="text-align: center;"><b>Όριο αποτυχίας (του εξαρτήματος)</b></p>	<p><b>Είναι η ανώτατη οριακή κατάσταση, ή το όριο αντοχής ενός εξαρτήματος που οδηγεί στην αποτυχία του συστήματος, αν αυτό το όριο ξεπεραστεί.</b></p> <p>ΣΗΜΕΙΩΣΗ Εάν αυτό το όριο αντοχής ξεπεραστεί, το σύστημα θα φτάσουν σε μια κατάσταση που ονομάζεται «ανώτατη οριακή κατάσταση», όπως ορίζεται στις κατασκευαστικές οδηγίες βασισμένο στα ονομαστικά όρια της κατάστασης.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Κατάσταση αποτυχίας (του συστήματος)</b></p>	<p><b>Είναι η κατάσταση στην οποία ένα σημαντικό εξάρτημα έχει αποτύχει, επειδή ένα από τα στοιχεία του έχει φτάσει στο όριο αποτυχίας (όπως με θραύση, κάμψη, ανατροπή)</b></p> <p>ΣΗΜΕΙΩΣΗ Αυτή η κατάσταση οδηγεί σε τερματισμό της ικανότητας της γραμμής για τη μετάδοση ισχύος και πρέπει να επισκευαστεί.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Άθικτη κατάσταση</b></p>	<p><b>Είναι η κατάσταση στην οποία ένα σύστημα μπορεί να επιτύχει την απαιτούμενη λειτουργία του και μπορεί να αντέξει τα οριακά φορτία.</b></p>
<p style="text-align: center;"><b>Οριακά φορτία</b></p>	<p><b>Είναι τα κλιματικά φορτία που αντιστοιχούν σε χρονική περίοδο T, που χρησιμοποιείται για σκοπούς σχεδιασμού, χωρίς πρόσθετους συντελεστές φορτίου.</b></p>
<p style="text-align: center;"><b>Συντελεστής φορτίου γ</b></p>	<p><b>Είναι η μεταβλητή που πολλαπλασιάζεται με τα οριακά φορτία με σκοπό το σχεδιασμό εξαρτημάτων γραμμής.</b></p>

<p><b>Περίοδος λειτουργίας</b></p>	<p><b>Είναι ένα γενικό μέτρο χρήσιμης (ή οικονομικής) "ζωής".</b></p> <p>ΣΗΜΕΙΩΣΗ Τυπικά χρονικά διαστήματα λειτουργίας των γραμμών μεταφοράς ποικίλλουν από 30 ετών έως 80 έτη.</p>
<p><b>Ταχύτητα αναφοράς του ανέμου <math>V_R</math></b></p>	<p><b>Είναι η ταχύτητα του ανέμου στα 10m ύψος, που αντιστοιχεί σε μέσο όρο χρονικό διάστημα 10 λεπτά σε αντίστοιχη περίοδο T.</b></p> <p>ΣΗΜΕΙΩΣΗ Όταν η ταχύτητα του ανέμου λαμβάνεται σε ένα πεδίο τύπου B, η οποία είναι η πιο συχνή περίπτωση στη βιομηχανία, η ταχύτητα αναφοράς του ανέμου συμβολίζεται ως <math>V_{RB}</math>.</p>
<p><b>Αξιοπιστία (κατασκευαστική)</b></p>	<p><b>Είναι η πιθανότητα ότι το σύστημα εκτελεί μια εργασία, σύμφωνα με τις λειτουργικές συνθήκες, κατά τη διάρκεια μιας καθορισμένης χρονικής διάρκειας</b></p> <p>ΣΗΜΕΙΩΣΗ Η αξιοπιστία είναι ένα μέτρο της επιτυχίας του συστήματος στην εκπλήρωση της αποστολής του. Το συμπλήρωμα στην αξιοπιστία είναι η πιθανότητα της αποτυχίας ή της αναξιοπιστίας.</p>
<p><b>περίοδος επαναφοράς (ενός καιρικού φαινομένου)</b></p>	<p><b>Είναι ο μέσος όρος εμφάνισης ενός καιρικού φαινομένου που έχει καθορισμένη ένταση</b></p> <p>ΣΗΜΕΙΩΣΗ Το αντίστροφο της περιόδου επαναφοράς είναι η ετήσια συχνότητα που αντιστοιχεί στην πιθανότητα υπέρβασης αυτό του καιρικού φαινομένου σε ένα συγκεκριμένο έτος.</p>
<p><b>Ασφάλεια (ανθρώπινη)</b></p>	<p><b>Η ικανότητα του συστήματος να μην προκαλεί τραυματισμούς ή απώλεια ζωής.</b></p> <p>ΣΗΜΕΙΩΣΗ Σε αυτό το πρότυπο, η ασφάλεια αναφέρεται κυρίως στην προστασία των εργατών κατά τη διάρκεια κατασκευών και συντήρησης. Η ασφάλεια του κοινού και του περιβάλλοντος εν γένει, καλύπτεται από εθνικούς κανονισμούς.</p>
<p><b>Ασφάλεια (κατασκευαστική)</b></p>	<p><b>Η ικανότητα του συστήματος να είναι προστατευμένο από μεγάλη κατάρρευση (ντόμινο), εάν συμβεί αστοχία σε κάποιο εξάρτημα.</b></p>

	<p>ΣΗΜΕΙΩΣΗ Η Ασφάλεια είναι μια καθορισμένη έννοια , σε αντίθεση με την αξιοπιστία που είναι μια έννοια πιθανοτήτων.</p>
<p><b>Συντελεστής αντοχής <math>\varphi</math></b></p>	<p><b>Είναι ο συντελεστής που αναφέρεται στην χαρακτηριστική αντοχή ενός εξαρτήματος.</b></p> <p>ΣΗΜΕΙΩΣΗ Αυτός ο παράγοντας λαμβάνει υπόψη το συντονισμό της αντοχής, τον αριθμό των εξαρτημάτων που υπόκεινται στο μέγιστο φορτίο, ποιοτικές και στατιστικές παραμέτρους των στοιχείων.</p>
<p><b>Σύστημα</b></p>	<p><b>Είναι το σύνολο εξαρτημάτων που συνδέονται σχηματίζοντας τη γραμμή μεταφοράς.</b></p>
<p><b>Έργο</b></p>	<p><b>Είναι η λειτουργία του συστήματος (γραμμή μεταφοράς), π.χ. για τη μετάδοση ισχύος μεταξύ των δύο άκρων του.</b></p>
<p><b>Μη διαθεσιμότητα</b></p>	<p><b>Η αδυναμία του συστήματος να ολοκληρώσει το έργο του.</b></p> <p>ΣΗΜΕΙΩΣΗ Η Μη διαθεσιμότητα των γραμμών μεταφοράς είναι αποτέλεσμα της κατασκευαστικής αναξιοπιστίας όπως και την αποτυχία που οφείλεται σε άλλα συμβάντα όπως κατολισθήσεις εδάφους, προσκρούσεις αντικειμένων, σαμποτάζ, αστοχία υλικών, κλπ.</p>
<p><b>Παράγοντας χρήσης</b></p>	<p><b>Η αναλογία του πραγματικού φορτίου (όπως κατασκευάστηκε) με το οριακό φορτίο ενός εξαρτήματος.</b></p>

### Σύμβολα και συντμήσεις

<b>a</b>	Μονάδα της ταχύτητας του ανέμου σε στοιχεία γραμμής (Pa ή N/m <sup>2</sup> ).
<b>A<sub>c</sub></b>	Δύναμη ανέμου σε αγωγούς (N).
<b>A<sub>i</sub></b>	Δύναμη ανέμου σε μονωτήρες (N).
<b>A<sub>t</sub></b>	Δύναμη ανέμου που δρα σε στα μέρη γωνιακού στύλου, A <sub>tC</sub> για τα μέρη κυλινδρικού στύλου (N).
<b>B<sub>i</sub></b>	Παράγοντας μείωσης της ταχύτητας αναφοράς του ανέμου για συνδυασμούς αέρα και πάγου
<b>C<sub>x</sub></b>	Συντελεστής υστέρησης (γενική μορφή).
<b>C<sub>i</sub></b>	Συντελεστής υστέρησης αγωγών που καλύπτονται με πάγο (C <sub>iL</sub> για μικρή πιθανότητα και C <sub>iH</sub> για μεγάλη πιθανότητα).
<b>C<sub>xc</sub></b>	Συντελεστής υστέρησης αγωγών.
<b>C<sub>xi</sub></b>	Συντελεστής υστέρησης μονωτήρων.
<b>C<sub>xt</sub></b>	Συντελεστής υστέρησης του πυλώνα C <sub>xt1</sub> , C <sub>xt2</sub> για κάθε μέλος του πύργου (C <sub>xtc</sub> για τα μέλη κυλινδρικού πύργου).
<b>COV</b>	Συντελεστής διακύμανσης, επίσης συμβολίζεται ως V <sub>x</sub> (ο λόγος της τυπικής απόκλισης με τη μέση τιμή).
<b>d</b>	Διάμετρος αγωγού (m).
<b>d<sub>tc</sub></b>	Διάμετρος των μελών κυλινδρικού πύργου (m).
<b>D</b>	Ισοδύναμη διάμετρος των επικαλυμμένων με πάγο αγωγών (D <sub>H</sub> για μεγάλη πιθανότητα και για D <sub>L</sub> χαμηλή πιθανότητα) (m).

<b>e</b>	Όριο αποκλεισμού (%).
<b>e<sub>n</sub></b>	Όριο αποκλεισμού N στοιχείων σε σειρά (%).
<b>f<sub>(x)</sub></b>	Συνάρτηση πιθανότητας υστέρησης της μεταβλητής x.
<b>F<sub>(x)</sub></b>	Συνάρτηση αθροιστικής κατανομής της μεταβλητής x.
<b>G</b>	Παράγοντας ανέμου (γενική μορφή)
<b>G<sub>c</sub></b>	Συνδυασμένος παράγοντας ανέμου των αγωγών.
<b>G<sub>t</sub></b>	Συνδυασμένος παράγοντας ανέμου των πύργων.
<b>G<sub>L</sub></b>	Παράγοντας έκτασης για τους υπολογισμούς ανέμου.
<b>g</b>	Μονάδα βάρους του πάγου (N/m).
$\bar{g}$	Η μέση τιμή του μέγιστου ετήσιου φορτίου πάγου (N/m).
<b>g<sub>max</sub></b>	Μέγιστο βάρος του πάγου ανά μονάδα μήκους που παρατηρήθηκε κατά τη διάρκεια ορισμένων ετών (N/m).
<b>g<sub>R</sub></b>	Ονομαστική αναφορά στο βάρος πάγου (N/m).
<b>g<sub>H</sub></b>	Φορτίου πάγου που έχει μεγάλη πιθανότητα (N/m).
<b>g<sub>L</sub></b>	Φορτίου πάγου που έχει μικρή πιθανότητα (N/m).
<b>h</b>	Ύψος του κέντρου βάρους ενός πίνακα σε πυλώνα (m).
<b>K<sub>R</sub></b>	Παράγοντας τραχύτητας εδάφους.



<b>K<sub>d</sub></b>	Παράγοντας που σχετίζεται με την επιρροή της διαμέτρου του αγωγού.
<b>K<sub>h</sub></b>	Παράγοντας που πρέπει να πολλαπλασιάζεται με $\bar{g}$ να ληφθεί υπόψη η επίδραση του ύψους από το έδαφος.
<b>K<sub>n</sub></b>	Παράγοντας που πρέπει να πολλαπλασιάζεται με $\bar{g}$ να ληφθεί υπόψη η επίδραση του αριθμού των ετών όπου έχει παρατηρηθεί πάγος.
<b>l<sub>e</sub></b>	Μήκος ενός πυλώνα (m).
<b>L</b>	Μήκος έκτασης ή έκταση ανέμου (m).
<b>L<sub>m</sub></b>	Μέση έκταση (m).
<b>n</b>	Αριθμός ετών παρατήρησης ενός καιρικού φαινομένου.
<b>N</b>	Αριθμός στοιχείων που υποβάλλονται σε μέγιστη ένταση φορτίου
<b>P<sub>f</sub></b>	Πιθανότητα αποτυχίας (%).
<b>P<sub>fi</sub></b>	Πιθανότητα αποτυχίας του στοιχείου i (%).
<b>P<sub>s</sub></b>	Πιθανότητα επιβίωσης (%).
<b>P<sub>si</sub></b>	Πιθανότητα της επιβίωσης του στοιχείου i (%).
<b>Q</b>	Γενική έκφραση που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των επιπτώσεων των φορτίων που σχετίζονται με τα καιρικά φαινόμενα στις γραμμές και τα στοιχεία τους.
<b>Q<sub>T</sub></b>	Το οριακό φορτίο συστήματος που αντιστοιχεί σε χρονική περίοδο T.
<b>q<sub>0</sub></b>	Δυναμική πίεσης ανέμου αναφοράς σε σχέση με την ταχύτητα ανέμου

	αναφοράς $v_R$ ( $q_{0L}$ , $q_{0H}$ για χαμηλή και υψηλή πιθανότητα) ( $\text{Pa}$ ή $\text{N/m}^2$ ).
<b><math>R_e</math></b>	Αριθμός Reynolds.
<b><math>R</math></b>	Αντοχή.
$\bar{R}$	Μέση αντοχή.
<b><math>R_c</math></b>	Χαρακτηριστική αντοχή.
<b>(e)R</b>	Όριο αποκλεισμού (e) της αντοχής.
<b><math>R_{SL}</math></b>	Παραμένων στατικό φορτίο.
<b><math>S_t</math></b>	Προβλεπόμενη περιοχή ενός πλαισίου του πύργου ( $\text{m}^2$ ).
<b><math>S_i</math></b>	Προβλεπόμενη περιοχή των μονωτήρων ( $\text{m}^2$ ).
<b><math>t</math></b>	Φορτίο πάγου που εκφράζεται σε ομοιόμορφο ακτινικό πάχος πάγου γύρω από τον αγωγό (mm).
<b><math>t_R</math></b>	Φορτίο πάγου αναφοράς που εκφράζεται σε ομοιόμορφο ακτινικό πάχος γύρω από τον αγωγό (mm).
<b><math>T</math></b>	Περίοδος σε έτη.
<b><math>u</math></b>	Αριθμός τυπικών αποκλίσεων μεταξύ μέσης αντοχής και χαρακτηριστικής αντοχής.
<b><math>U</math></b>	Παράγοντας χρήσης.
<b><math>V_x</math></b>	Συντελεστής μεταβλητότητας (COV) της μεταβλητής x.
<b><math>V_m</math></b>	Ετήσια μέγιστη ταχύτητα ανέμου (m/s).

$\overline{V}_m$	Μέση ετήσια μέγιστη ταχύτητα ανέμου (m/s).
$V_G$	Ετήσια κλίση μέγιστης ταχύτητας ανέμου (m/s).
$\overline{V}_G$	Μέση ετήσια κλίση μέγιστης ταχύτητας ανέμου (m/s).
$V_R$	Ταχύτητα ανέμου αναφοράς (m/s).
$V_{iL}$	Χαμηλής πιθανότητας ταχύτητα αναφοράς του ανέμου που σχετίζεται με πάγο (m/s).
$V_{iH}$	Υψηλής πιθανότητα ταχύτητα αναφοράς του ανέμου που σχετίζεται με πάγο (m/s).
$w$	Μονάδα βάρους του αγωγού ή της γείωσης (N/m).
$\overline{x}$	Μέση τιμή της μεταβλητής $x$ .
$Y$	Οριζόντια απόσταση μεταξύ των θεμελίων ενός πυλώνα (m).
$z$	Ύψος από το έδαφος των αγωγών, κέντρο βάρους των πλαισίων του πύργου, ή μονωτήρα (m).
$\gamma$	Συντελεστής φορτίου (γενική μορφή).
$\gamma_U$	Συντελεστής παράγοντα χρήσης.
$\gamma_{TW}$	Συντελεστής φορτίου για την προσαρμογή 50 χρόνων ταχύτητας ανέμου σε περίοδο $T$ .
$\gamma_{Tit}$	Συντελεστής φορτίου για την προσαρμογή 50 χρόνων πάχους του πάγου σε περίοδο $T$ .
$\gamma_{Tiw}$	Συντελεστής φορτίου για την προσαρμογή 50 χρόνων του βάρους πάγου σε περίοδο $T$ .

<b>δ</b>	Πυκνότητα του πάγου ( $\text{kg/m}^3$ ).
<b>φ</b>	Παράγοντας αντοχής (γενική μορφή).
<b>φ<sub>R</sub></b>	Παγκόσμιος παράγοντας αντοχής.
<b>φ<sub>N</sub></b>	Παράγοντας αντοχής που οφείλεται στον αριθμό των στοιχείων που υπόκεινται στο ανώτατο όριο έντασης φορτίου.
<b>φ<sub>S</sub></b>	Παράγοντας αντοχής που οφείλεται στον συντονισμό της αντοχής.
<b>φ<sub>Q</sub></b>	Παράγοντας αντοχής που οφείλεται στην ποιότητα.
<b>φ<sub>C</sub></b>	Παράγοντας αντοχής που οφείλεται στην χαρακτηριστική αντοχή $R_c$ .
<b>σ<sub>x</sub></b>	Τυπική απόκλιση της μεταβλητής $x$ .
<b>μ</b>	Μάζα του αέρα ανά μονάδα όγκου.
<b>τ</b>	Παράγοντας διόρθωσης πυκνότητας ανέμου.
<b>v</b>	Ιξώδες του ανέμου ( $\text{m}^2/\text{s}$ ).
<b>Ω</b>	Γωνία μεταξύ της διεύθυνσης του ανέμου και του αγωγού (μοίρες).
<b>θ</b>	Γωνία πρόσπτωσης της κατεύθυνσης του ανέμου στο πλαίσιο του πύργου (μοίρες).
<b>θ'</b>	Γωνία πρόσπτωσης της κατεύθυνσης του ανέμου με κυλινδρικά στοιχεία του πύργου (μοίρες).

## ΕΞΙΣΩΣΗ GUMBEL

Η γενική μορφή της εξίσωσης είναι για την συνάρτηση πιθανότητας υστέρησης :

$$f_{(x)} = \frac{1}{p_2} \exp \left[ -\frac{x - p_1}{p_2} - \exp \left( -\frac{x - p_1}{p_2} \right) \right], p_2 > 0$$

Και για την συνάρτηση αθροιστικής διανομής :

$$F_{(x)} = \exp \left[ -\exp \left( -\frac{x - p_1}{p_2} \right) \right]$$

Στην τυποποιημένη μορφή έχουμε αλλαγή της μεταβλητής :

$$u = \frac{x - p_1}{p_2}$$

Για την συνάρτηση πιθανότητας υστέρησης :

$$f_{(u)} = \exp \left[ -u - \exp(-u) \right]$$

Και για την συνάρτηση αθροιστικής διανομής :

$$F_{(u)} = \exp \left[ -\exp(-u) \right]$$

Σχετικά με την περίοδο  $T$  και το όριο αποκλεισμού  $e$  :

$$X(T) = p_1 - p_2 \ln \left[ -\ln(F_T) \right]$$

$$X(e) = p_1 - p_2 \ln \left[ -\ln(F_e) \right]$$

Ορισμός των παραμέτρων :

$$p_2 = \frac{\sigma}{C_1} \quad p_1 = m - C_2 p_2 = m - \frac{C_2}{C_1} \sigma$$

Οι παράμετροι  $C_1$  και  $C_2$  εξαρτώνται από τον αριθμό των τιμών που λαμβάνονται υπόψη κατά μια σειρά μετρήσεων. Υπολογίζονται ως εξής :

Για μια περίοδο μετρήσεων  $n$  χρόνων, οι τιμές  $z_i$  υπολογίζονται :

$$z_i = -\ln\left(-\ln\frac{i}{n+1}\right), 1 \leq i \leq n$$

$$C_1 = \sigma_z = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_i^2 - \bar{z}^2} \quad C_2 = \bar{z} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_i$$

Για λόγους απλοποίησης, η προσέγγιση ενός απείρου αριθμού παρατηρήσεων ( $n \rightarrow \infty$ ) μπορεί να ληφθεί ώστε :

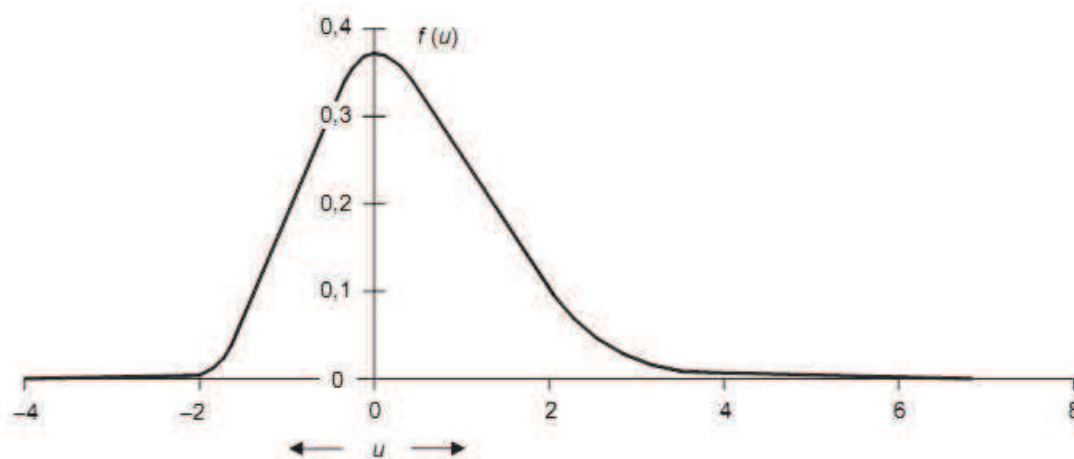
$$C_1 = \frac{\pi}{\sqrt{6}}$$

$$C_2 = 0,577216 \quad (\text{Σταθερά του Euler})$$

Ο πίνακας της επόμενης σελίδας δίνει τις παραμέτρους  $C_1$  και  $C_2$  για μια επιλογή  $n$  τιμών αν απαιτείται ακριβώς ο αριθμός των παρατηρήσεων.

$n$	$C_1$	$C_2$	$C_2/C_1$
10	0,94963	0,49521	0,52148
15	1,02057	0,51284	0,50250
20	1,06282	0,52355	0,49260
25	1,09145	0,53086	0,48639
30	1,11237	0,53622	0,48205
35	1,12847	0,54034	0,47882
40	1,14131	0,54362	0,47631
45	1,15184	0,54630	0,47428
50	1,16066	0,54854	0,47261
$\infty$	1,28255	0,57722	0,45005

Στο παρακάτω γράφημα βλέπουμε την τυποποιημένη μορφή της συνάρτησης πιθανότητας υστέρησης της εξίσωσης Gumbel.



## Λογαριθμική συνάρτηση

Η λογαριθμική συνάρτηση ορίζεται ως ο λογάριθμος  $\ln(x-p_1)$  που ακολουθεί μια κανονική συνάρτηση.

Γενική μορφή

Συνάρτηση πιθανής υστέρησης :

$$f(x) = \frac{1}{p_2(x-p_1)\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x-p_1)-p_3}{p_2}\right)^2\right],$$
$$x > p_1, p_2 > 0, p_3 > 0$$

Συνάρτηση αθροιστικής κατανομής :

$$F_{(x)} = \frac{1}{p_2\sqrt{2\pi}} \int_{p_1}^x \frac{1}{x-p_1} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x-p_1)-p_3}{p_2}\right)^2\right] dx$$

Πρότυπη μορφή :

$$u = \frac{\ln(x-p_1)-p_3}{p_2}$$

Συνάρτηση πιθανής υστέρησης :

$$f(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{u^2}{2}\right]$$

Συνάρτηση αθροιστικής κατανομής :

$$F(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u \exp\left[-\frac{u^2}{2}\right] du$$

Σχέση μεταξύ χρονικής περιόδου  $T$  και ορίου αποκλεισμού  $e$



$$X(T) = p_1 + \exp(p_3 + u(T)p_2)$$

$$X(e) = p_1 + \exp(p_3 + u(e)p_2)$$

Τιμές των παραμέτρων :

$$p_2 = \sqrt{\ln \left[ 1 + \frac{\sigma^2}{(m - p_1)^2} \right]}$$

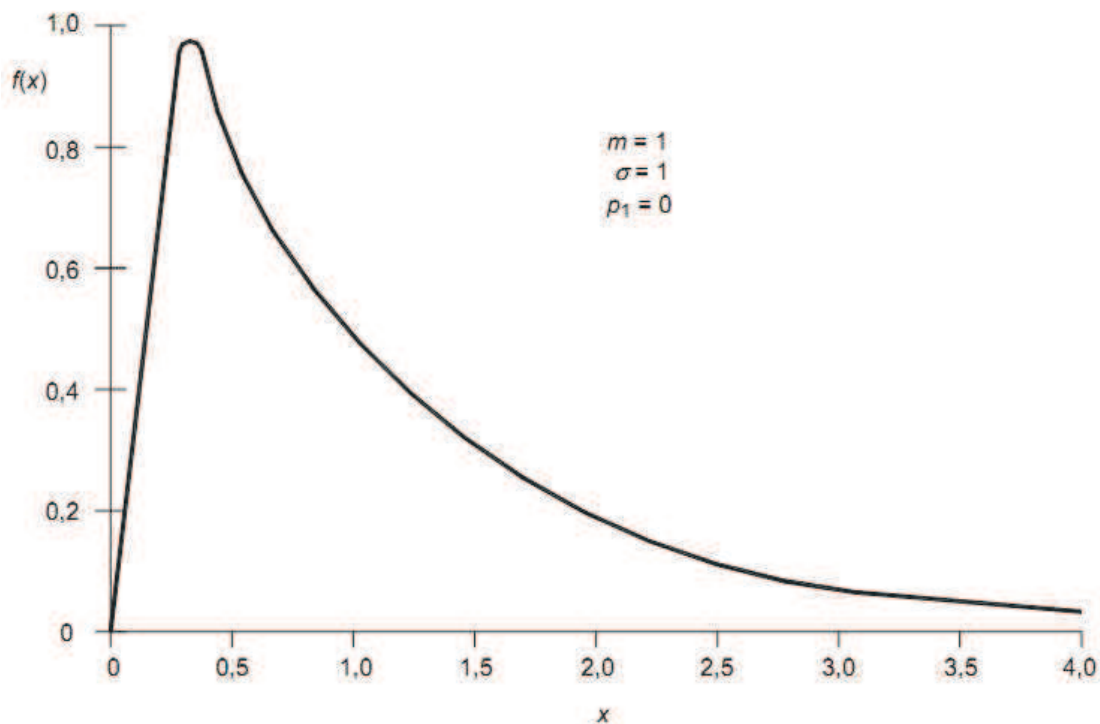
$$p_3 = \ln \left[ \frac{(m - p_1)^2}{\sqrt{(m - p_1)^2 + \sigma^2}} \right]$$

Όπου :

$p_3$  – είναι η μέση τιμή της μεταβλητής  $\ln(x-p_1)$ ,

$p_2$  – είναι η τυπική απόκλιση της μεταβλητής  $\ln(x-p_1)$ ,

$p_1$  – είναι η χαμηλότερη τιμή της συνάρτησης.



Συνάρτηση πιθανής υστέρησης λογαριθμικής συνάρτησης

## Συνάρτηση Pareto

Ελάχιστη τιμή :  $k$  (θετική)

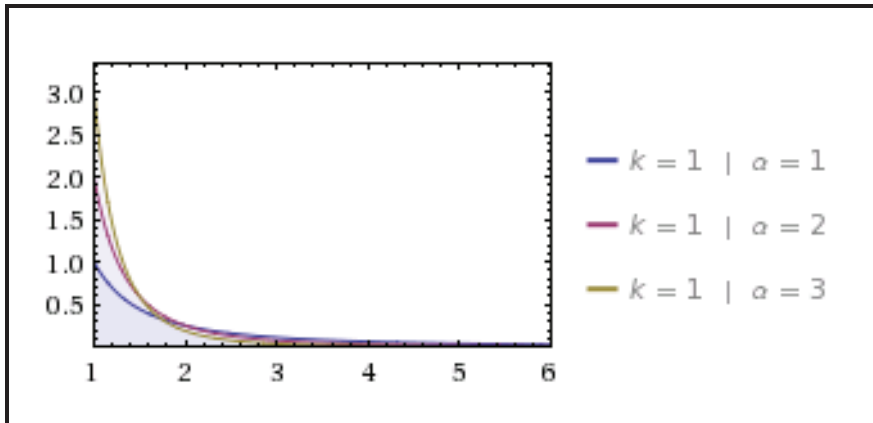
Σχήμα :  $\alpha$  (θετικό)

Στατιστικές ιδιότητες

<b>Μέση τιμή</b>	$\begin{cases} \frac{\alpha k}{\alpha - 1} & \alpha > 1 \\ \text{αόριστο} & \text{- αλλιώς} \end{cases}$
<b>Τυπική απόκλιση</b>	$\begin{cases} \sqrt{\frac{\frac{\alpha}{\alpha - 2} k}{\alpha - 1}} & \alpha > 2 \\ \text{αόριστο} & \text{- αλλιώς} \end{cases}$
<b>Διακύμανση</b>	$\begin{cases} \frac{\alpha k^2}{(\alpha - 2)(\alpha - 1)^2} & \alpha > 2 \\ \text{αόριστο} & \text{- αλλιώς} \end{cases}$
<b>Ασυμμετρία</b>	$\begin{cases} \frac{\sqrt{\frac{\alpha - 2}{\alpha}} (\alpha + 1)}{\alpha - 3} & \alpha > 3 \\ \text{αόριστο} & \text{- αλλιώς} \end{cases}$
<b>Κύρτωση</b>	$\begin{cases} \frac{3(\alpha - 2)(3\alpha^2 + \alpha + 2)}{(\alpha - 4)(\alpha - 3)\alpha} & \alpha > 4 \\ \text{αόριστο} & \text{- αλλιώς} \end{cases}$

Συνάρτηση πιθανής υστέρησης :

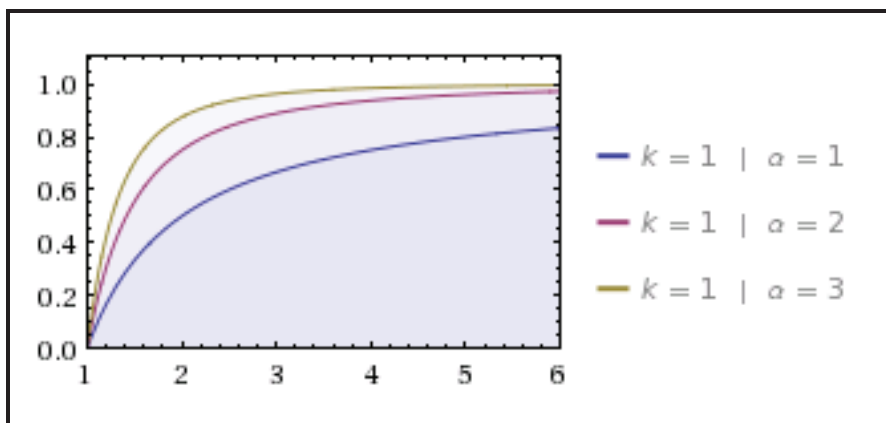
$$\alpha k^\alpha x^{-\alpha-1} \quad \text{για } x \geq k$$



Γράφημα συνάρτησης πιθανής υστέρησης

Συνάρτηση αθροιστικής κατανομής :

$$P(X \leq x) = 1 - \left(\frac{k}{x}\right)^\alpha \quad \text{για } x \geq k$$



Γράφημα συνάρτησης αθροιστικής κατανομής

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

**«Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας», Τόμος Α', Δ. Λαμπρίδης, Π. Ντοκόπουλος, Γ. Παπαγιάννης – Εκδόσεις ΖΗΤΗ**

**«Γραμμές Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας – Μόνιμη Κατάσταση Λειτουργίας», Βασίλειος Κ. Παπαδιά – Εκδόσεις Συμμετρία**

**«Τεχνολογία Υψηλών Τάσεων», Σιδεράκης Κυριάκος, βιβλίο ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ, ΣΤΕΦ Τμήμα Ηλεκτρολογίας**

**«Σημειώσεις Εργαστηρίου Υψηλών Τάσεων», Σιδεράκης Κυριάκος, ΣΤΕΦ Τμήμα Ηλεκτρολογίας**

**«Guide to Electrical Power Distribution Systems – 6<sup>th</sup> edition», Anthony J. Pansini**

**«Network Lines Standard Guidelines for Overhead Line Design», Ergon Energy**

**«Overhead Power Lines – Planning, Design, Construction», F. Kiessling, P. Nefzger, J.F. Nolasco, U. Kaintzyk, Εκδόσεις Springer**

**«Reliability – Based Transmission Line Design”, Gordon A. Fenton, Nancy Sutherland**

**«Overhead Line Insulators», Adam Junid**

**«Guidelines for Electrical Transmission Line Structural Loading – Third Edition», ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice NO. 74**

**«Transmission Lines Volume – 4 Tower Erection», Construction Management**

**«Transmission Conductors – A review of the design and selection criteria», Southwire Communications**

**«Reliability – Based Design of Utility Pole Structures», ASCE Manuals on engineering practice NO.111**

**Πρότυπο IEC-60826**

**Οι εικόνες, οι φωτογραφίες, τα σχήματα, οι πινάκες, τα γραφήματα και οι μαθηματικές αναλύσεις προέρχονται από το χώρο του διαδικτύου και την βιβλιογραφία.**