



Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Πολυτεχνική Σχολή
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών
Τομέας Ηλεκτρικής Ενέργειας

Ηλεκτρική και Μηχανική Μελέτη Εναέριας Γραμμής Διανομής
Μέσης Τάσης 20 kV με Προδιαγραφές ΔΕΔΔΗΕ

Διπλωματική Εργασία
του
Ευριπίδη Μποστάνη
Α.Ε.Μ. 9586

Επιβλέπων: Δημήτριος Λαμπρίδης
Καθηγητής ΤΗΜΜΥ ΑΠΘ

Θεσσαλονίκη, 2024



Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Πολυτεχνική Σχολή
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών
Τομέας Ηλεκτρικής Ενέργειας

Ηλεκτρική και Μηχανική Μελέτη Εναέριας Γραμμής Διανομής
Μέσης Τάσης 20 kV με Προδιαγραφές ΔΕΔΔΗΕ

Διπλωματική Εργασία

του

Ευριπίδη Μποστάνη

Α.Ε.Μ. 9586

Επιβλέπων: Δημήτριος Λαμπρίδης
Καθηγητής ΤΗΜΜΥ ΑΠΘ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 21^η Ιουνίου 2024.

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

.....
Δημήτριος Λαμπρίδης
Καθηγητής Α.Π.Θ.

.....
Μηνάς Αλεξιάδης
Επίκουρος Καθηγητής
Α.Π.Θ.

.....
Γεώργιος Ανδρέου
Επίκουρος Καθηγητής
Α.Π.Θ.

(Υπογραφή)

ΕΥΡΙΠΙΔΗΣ ΜΠΟΣΤΑΝΗΣ

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών
Α.Π.Θ

Copyright © Ευριπίδης Μποστάνης, 2024

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

Αφιερωμένη στη μητέρα μου, Θωμαή

Ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, Διονύσιο και Θωμαή, για την αγάπη, την υποστήριξη και τα εφόδια που μου παρείχαν σε όλη την διάρκεια της ζωής μου και ιδίως κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω όλα τα οικογενειακά και φιλικά άτομα που ήταν δίπλα μου σε όλη αυτή τη διαδρομή και με στήριξαν τόσο πολύ, ο καθένας με τον δικό του τρόπο. Ένα ξεχωριστό ευχαριστώ θα ήθελα να απευθύνω στη Ζωή Κεφαλά, για την αμέτρητη ψυχολογική υποστήριξη, την ανιδιοτελή αγάπη και την υπομονή της σε κάθε όμορφη και άσχημη στιγμή όλα αυτά τα χρόνια.

Ευχαριστώ ακόμη, τον κ. Δημήτριο Μαργούδη για τη συνδρομή του στην παρούσα εργασία, τόσο μέσω συμβουλών που μου προσέφερε, όσο και μέσω των επαφών και γνωριμιών του με άτομα και στελέχη του ΔΕΔΔΗΕ Σερρών και Θεσσαλονίκης, που μου παρείχαν καθοδήγηση και υλικό αναγκαίο για την εκπόνηση της εργασίας και τα οποία ευχαριστώ ομοίως.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τον βαθύ σεβασμό και τις θερμές ευχαριστίες μου στον κ. Δημήτριο Λαμπρίδη, επιβλέποντα καθηγητή της εργασίας μου, για τις γνώσεις που μου μετέδωσε όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών μου, για την ευκαιρία να συνεργαστώ μαζί του καθώς και για την άριστη επιτήρηση, επικοινωνία και διάθεση του κατά την διάρκεια εκπόνησης αυτής της εργασίας.

Περίληψη

Η ανακάλυψη του ηλεκτρισμού και η εκμετάλλευση της ηλεκτρικής ενέργειας καθόρισαν την πορεία της ανθρωπότητας και διαμόρφωσαν τον σύγχρονο κόσμο. Μετά την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας στους σταθμούς παραγωγής, ιδιαίτερα σημαντική είναι και η αποτελεσματική μεταφορά και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας στους καταναλωτές. Στα παγκόσμια ηλεκτρικά δίκτυα, η μεταφορά και η διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται με διάφορους τρόπους ανάλογα με τις εκάστοτε απαιτήσεις και συνθήκες. Έτσι, οι γραμμές μεταφοράς και διανομής μπορούν να είναι εναέριες, υπόγειες ή και υποθαλάσσιες.

Στην Ελλάδα υπεύθυνες για τη μεταφορά και τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι οι εταιρίες ΑΔΜΗΕ ΑΕ και ΔΕΔΔΗΕ ΑΕ αντίστοιχα. Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής αποτελεί η μελέτη για τον τρόπο κατασκευής, εφαρμογής και επίβλεψης των εναέριων γραμμών Διανομής Μέσης Τάσης 20 kV σύμφωνα με τις προδιαγραφές που ορίζει ο Διαχειριστής του Ελληνικού Ηλεκτρικού Δικτύου Διανομής (ΔΕΔΔΗΕ).

Η εργασία αποτελείται από επτά κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μία συνοπτική εισαγωγή στις έννοιες του ηλεκτρισμού και τις ηλεκτρικής ενέργειας και περιγράφονται οι τρόποι παραγωγής, μεταφοράς και διανομής της. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύεται το βασικό θεωρητικό υπόβαθρο που απαιτείται για την πληρέστερη κατανόηση της εργασίας. Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα βασικά υλικά και εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται στα δίκτυα διανομής μέσης τάσης. Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μία σύντομη αναφορά στις τυποποιημένες κατασκευές των δικτύων διανομής, που έχουν διαμορφωθεί σε βάθος χρόνου από τους διαχειριστές του ελληνικού δικτύου. Το πέμπτο και έκτο κεφάλαιο αποτελούν τον βασικό κορμό της εργασίας και αφορούν στη μηχανική και ηλεκτρική μελέτη αντίστοιχα, των παραμέτρων και στοιχείων που συνθέτουν τα δίκτυα. Τέλος στο έβδομο και τελευταίο κεφάλαιο γίνεται μία ανασκόπηση του συνόλου της εργασίας και παρατίθενται τα βασικά συμπεράσματα και οι στόχοι της μελέτης.

Λέξεις - Κλειδιά: Ηλεκτρισμός, Διανομή Ηλεκτρικής Ενέργειας, ΔΕΔΔΗΕ, Εναέριες Γραμμές Διανομής, Μέση Τάση, Αγωγοί, Στύλοι, Τάνυση, Επιφόρτιση, Βέλος Κάμψης, Επιτρεπόμενο Ύψος, Τυποποιημένες Κατασκευές

Diploma Thesis

“Electrical and Mechanical Study of 20 kV Medium Voltage Overhead Distribution Lines in Accordance with HEDNO Specifications”

Abstract

The discovery of electricity and the exploitation of electrical energy have shaped the course of humanity and defined the modern world. Following the generation of electrical energy in power plants, the efficient transmission and distribution of electrical energy to consumers is particularly important. In global electrical networks, the transmission and distribution of electrical energy is carried out in various ways depending on the specific requirements and conditions. Thus, transmission and distribution lines can be aerial, underground, or even submarine.

In Greece, the two companies responsible for the transmission and distribution of electricity are IPTO S.A. and HEDNO S.A. respectively. The subject of the present thesis is the study of the construction, application and supervision of medium voltage (20 kV) overhead distribution lines according to the specifications set by the Hellenic Electricity Distribution Network Operator (HEDNO).

The thesis consists of seven chapters. The first chapter starts off with a short introduction on the basic concepts of electricity and electrical power and concludes with a quick analysis of the power generation, transmission and distribution systems. The second chapter contains the basic theoretical framework that is needed for the better understanding of the thesis. In the third chapter, the fundamental components and materials of distribution networks are presented and described. The fourth chapter contains a brief reference to the standardised constructions of the distribution network, that have been collected and formulated over the years by the greek network operators. Chapters five and six form the main core of the thesis and concern the mechanical and electrical study respectively, of the parameters and elements that constitute the distribution network. Finally in the seventh and last chapter, the main points of the thesis are reviewed and the main conclusions and objectives of the study are summarized.

Keywords: Electricity, Distribution of Electricity, HEDNO, Overhead Transmission Lines, Medium Voltage, Conductors, Poles, String Efficiency, Loading Effect, Overhead Line Sag, Maximum Height, Standardised Constructions

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα	vi
Κατάλογος Εικόνων	xii
Κατάλογος Πινάκων.....	xiv
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	1
1.1 Ηλεκτρισμός και Ηλεκτρική Ενέργεια.....	1
1.1.1 Ορισμοί - Έννοιες	1
1.1.2 Ιστορική Αναδρομή.....	1
1.1.3 Σημασία.....	2
1.2 Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας	3
1.2.1 Συμβατικές Πηγές Ενέργειας	3
1.2.2 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	4
1.3 Μεταφορά και Διανομή Ηλεκτρικής Ενέργειας	8
1.4 Το Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας στην Ελλάδα	10
1.4.1 Ιστορική Αναδρομή.....	11
1.4.2 Σταθμοί Παραγωγής ΗΕ	11
1.4.3 Σύστημα Μεταφοράς ΗΕ - ΑΔΜΗΕ.....	12
1.4.4 Σύστημα Διανομής ΗΕ - ΔΕΔΔΗΕ	13
Κεφάλαιο 2: Θεωρητικό Υπόβαθρο Μελέτης	15
2.1 Τυποποίηση Γραμμών Διανομής ΜΤ	17
2.1.1 Υποσταθμοί YT/MT και MT/XT	17
2.1.2 Εναέρια Δίκτυα ΜΤ	19
2.1.3 Υπόγεια δίκτυα ΜΤ	19
2.2 Δομή Συστημάτων Διανομής ΜΤ	20
2.2.1 Ακτινικό Σύστημα	20
2.2.2 Βροχοειδές Σύστημα	21
2.2.3 Αραχνοειδές Σύστημα	23
2.2.4 Ατρακτοειδές Σύστημα	25
2.2.5 Σύστημα Μικρών Βρόχων	26
2.2.6 Επιλογή Συστήματος.....	27
2.3 Παροχές ΜΤ	28
2.3.1 Παροχές τύπου A1 και A2	28

2.3.2 Παροχές τύπου B1 και B2	28
2.4 Μετασχηματιστές	29
2.4.1 Κατηγορίες Μετασχηματιστών	29
2.4.2 Απόδοση Μ/Σ	30
2.4.3 Απώλειες Μ/Σ	31
2.5 Προστασία Δικτύων Διανομής ΜΤ	32
2.5.1 Είδη Σφαλμάτων	32
2.5.2 Ρεύματα και Ισχύς Βραχυκύκλωσης	35
2.5.3 Μέσα Ζεύξης	36
2.5.4 Μέσα Προστασίας	38
Κεφάλαιο 3: Βασικά Υλικά Δικτύου Διανομής ΜΤ	42
3.1 Αγωγοί	42
3.1.1 Υλικά Αγωγών	42
3.1.2 Τύποι Αγωγών	44
3.1.3 Εναέρια Καλώδια ΔΕΔΔΗΕ	46
3.1.4 Υπόγεια Καλώδια ΔΕΔΔΗΕ	46
3.2 Στύλοι - Πυλώνες	47
3.2.1 Ξύλινοι Στύλοι	47
3.2.2 Στύλοι Οπλισμένου Σκυροδέματος	48
3.3 Μονωτήρες	49
3.3.1 Κατηγορίες Μονωτήρων	49
3.4 Εξαρτήματα Στήριξης και Σύνδεσης	51
Κεφάλαιο 4: Τυποποιημένες Κατασκευές Διανομής	52
4.1 Γενικά για το ΕΤΚΔ	53
4.2 Κεφάλαιο G – Γενικά	54
4.3 Κεφάλαιο C – Ελάχιστες Αποστάσεις και Κλάσεις Κατασκευής	55
4.4 Κεφάλαιο CS – Τανύσεις Αγωγών	56
4.5 Κεφάλαιο FC – Εξαρτήματα Αγωγών	57
4.6 Κεφάλαιο FCP – Εξαρτήματα Τσιμεντένιων Στύλων	58
4.7 Κεφάλαιο F – Εξαρτήματα Ξύλινων Στύλων	59
4.8 Κεφάλαιο P – Κατασκευές για Μέση Τάση	60
4.9 Κεφάλαιο S – Κατασκευές για Χαμηλή Τάση	61
4.10 Κεφάλαιο T – Υποσταθμοί Διανομής με Τροφοδότηση από Εναέριο Δίκτυο	62

4.11 Κεφάλαιο U – Υπόγεια Καλώδια και Υποσταθμοί Διανομής με Τροφοδότηση από Υπόγειο Δίκτυο	63
Κεφάλαιο 5: Μηχανική Μελέτη Εναέριου Δικτύου ΜΤ	64
5.1 Δυνάμεις Καταπόνησης στα Εναέρια Δίκτυα	64
5.1.1 Μηχανική Επιφόρτιση Δικτύων	64
5.1.2 Δυνάμεις Καταπόνησης Αγωγών	66
5.1.3 Βασικό Άνοιγμα Στύλων	67
5.1.4 Δύναμη Τάνυσης Αγωγών	68
5.1.5 Παράγοντες που Επηρεάζουν την Τάνυση	70
5.1.6 Εξίσωση Καμπύλης Αγωγού	71
5.1.7 Μέγιστη Εφελκυστική Δύναμη Καταπόνησης Αγωγού	72
5.1.8 Κατακόρυφα Φορτία Στύλων λόγω Αγωγών	72
5.1.9 Μέγιστο Οριζόντιο Άνοιγμα Αγωγών	73
5.1.10 Ελάχιστες Κατακόρυφες Αποστάσεις Αγωγών από Στοιχεία	76
5.2 Μηχανική Αντοχή Ξύλινων Στύλων	77
5.2.1 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Ξύλινων Στύλων	77
5.2.2 Κλάσεις Κατασκευής και Συντελεστές Ασφαλείας	79
5.2.3 Δυνάμεις Καταπόνησης Στύλων	79
5.2.4 Σημείο Εφαρμογής των Δυνάμεων	84
5.2.5 Έκκεντρη Φόρτιση	84
5.2.6 Αντοχή Στύλων σε Λυγισμό	85
5.2.7 Αντοχή Στύλων σε Θραύση	88
5.2.8 Αντοχή Στύλων σε Παραμόρφωση	90
5.3 Θεμελίωση Ξύλινων Στύλων	93
5.3.1 Πλευρική Θεμελίωση Στύλων – Μέθοδος Mohr	93
5.3.2 Κατακόρυφη Θεμελίωση	94
5.3.3 Τυποποίηση Θεμελίωσης Στύλων	95
5.4 Στύλοι Οπλισμένου Σκυροδέματος – Φυγοκεντρικοί Τσιμεντόστυλοι	96
5.4.1 Μηχανικά Χαρακτηριστικά Τσιμεντόστυλων	96
5.4.2 Αντοχή Αυτοστήρικτων Τσιμεντόστυλων	98
5.4.3 Επίτονοι σε Τσιμεντόστυλους	100
5.4.4 Θεμελίωση Τσιμεντόστυλων	100
5.5 Εξαρτήματα Στήριξης – Σύνδεσης	102

5.5.1 Επίτονοι.....	102
5.5.2 Κλίση Επιτόνων	105
5.5.3 Επίτονοι Κεφαλής	106
5.5.4 Πολλαπλοί Επίτονοι.....	107
5.5.5 Αγκύρωση Επιτόνου σε Τοίχο	108
5.5.6 Αντηρίδες	108
5.5.7 Δίδυμοι Στύλοι	109
5.5.8 Ξύλινοι Βραχίονες.....	110
5.5.9 Χαλύβδινοι Βραχίονες	113
5.5.10 Στηρίγματα Αγωγών ΜΤ.....	114
5.6 Εφαρμογή Μελέτης σε Αστικά Δίκτυα ΜΤ	117
5.6.1 Θέση Στύλων.....	117
5.6.2 Επιλογή Στύλων	117
5.6.3 Χρήση Επιτόνων	118
5.6.4 Επιλογή Είδους Αγωγών	118
5.6.5 Τανύσεις Αστικών και Αρδευτικών Δικτύων	118
5.6.6 Υπόγειο Δίκτυο σε Αστικές Περιοχές.....	121
5.7 Εφαρμογή Μελέτης σε Υπεραστικά Δίκτυα ΜΤ	122
5.7.1 Χάραξη	122
5.7.2 Μηκοτομή	123
5.7.3 Πασσάλωση.....	123
5.7.4 Φύλλο Πασσαλώσεως.....	124
5.7.5 Επιλογή Στύλων και Επιτόνων.....	124
5.7.6 Επιλογή Είδους Αγωγών	124
5.7.7 Τανύσεις Υπεραστικών Δικτύων	124
5.8 Παράρτημα Μηχανικής Μελέτης.....	129
Κεφάλαιο 6: Ηλεκτρική Μελέτη Δικτύου ΜΤ	132
6.1 Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά Αγωγών	132
6.1.1 Ωμική και Επαγωγική Αντίδραση	132
6.1.2 Μέγιστα Επιτρεπόμενα Όρια Φόρτισης Αγωγών	133
6.1.4 Ικανότητα Υπερφόρτισης Καλωδίων.....	134
6.1.3 Αντοχή Αγωγών σε Βραχυκυκλώματα	136
6.2 Πτώση Τάσης στα Δίκτυα.....	139

6.2.1 Υπολογισμός Πτώσης Τάσης.....	139
6.2.2 Τυποποιημένα Όρια Πτώσης Τάσης	141
6.3 Ηλεκτρικές Απώλειες Δικτύων	142
6.3.1 Απώλειες Ισχύος.....	142
6.3.2 Απώλειες Ενέργειας	143
6.3.3 Κοστολόγηση Απωλειών	144
Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα - Επίλογος.....	145
Βιβλιογραφία	146

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.1: Ακατέργαστο ήλεκτρο, ορυκτή ρητίνη (κεχριμπάρι).....	1
Εικόνα 1.2: Πατέντα ευρεσιτεχνίας της λυχνίας του Edison.....	2
Εικόνα 1.3: Θερμοηλεκτρικός σταθμός.....	4
Εικόνα 1.4: Κατανομή πηγών για την κάλυψη ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο 2019-2022 (Statista)	4
Εικόνα 1.5: Αιολικό Πάρκο.....	5
Εικόνα 1.6: Ηλιακό Πάρκο.....	5
Εικόνα 1.7: Αναπαράσταση υδροηλεκτρικού σταθμού.....	6
Εικόνα 1.8: Σταθμός εκμετάλλευσης γεωθερμικής ενέργειας στην Ισλανδία.....	7
Εικόνα 1.9: Σταθμός κυματικής ενέργειας	7
Εικόνα 1.10: Το σύνολο ενός ηλεκτρικού δικτύου. Με μπλε και πράσινο απεικονίζονται τα συστήματα μεταφοράς και διανομής αντίστοιχα	8
Εικόνα 1.11: Γραμμές μεταφοράς (αριστερά) και διανομής (δεξιά)	9
Εικόνα 1.12: Δομή Ελληνικού ΣΗΕ	10
Εικόνα 1.13: Κατανομή πηγών για την κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης στην Ελλάδα	11
Εικόνα 1.14: Το δίκτυο γραμμών μεταφοράς του ΑΔΜΗΕ (2017)	12
Εικόνα 1.15: Οργανωτική δομή ομίλου ΔΕΗ	14
Εικόνα 2.1: Διάτοξη Y/S YT/MT	18
Εικόνα 2.2: Διάτοξη Y/S MT/XT	18
Εικόνα 2.3: Εναέριο δίκτυο	19
Εικόνα 2.4: Υπόγειο δίκτυο	19
Εικόνα 2.5: Μορφή ακτινικού συστήματος ΜΤ	20
Εικόνα 2.6: Μορφή βροχοειδούς συστήματος εναέριου δικτύου ΜΤ	21
Εικόνα 2.7: Μορφή βροχοειδούς συστήματος υπόγειου δικτύου ΜΤ	22
Εικόνα 2.8: Μορφή αραχνοειδούς συστήματος εναέριου δικτύου ΜΤ	23
Εικόνα 2.9: Μορφή αραχνοειδούς συστήματος υπόγειου δικτύου ΜΤ	24
Εικόνα 2.10: Μορφή ατρακτοειδούς συστήματος ΜΤ	25
Εικόνα 2.11: Μορφή συστήματος μικρών βρόχων για δίκτυα ΜΤ	26
Εικόνα 2.12: Μετασχηματιστής	29
Εικόνα 2.13: Διάφορα είδη σφαλμάτων. Συγκεκριμένα: (α) Τριφασικό βραχυκύλωμα, (β) μονοφασικό βραχυκύλωμα, (γ) διφασικό βραχυκύλωμα χωρίς γη, (δ) διφασικό βραχυκύλωμα με γη	33
Εικόνα 2.14: Διάγραμμα κατηγοριοποίησης των σφαλμάτων στις γραμμές διανομής	34
Εικόνα 2.15: Τριπολικός αποζεύκτης ΜΤ (ABB)	36
Εικόνα 2.16: Τριπολικοί διακόπτες φορτίου ΜΤ (ABB)	37
Εικόνα 2.17: Διακόπτης ισχύος κενού (ABB)	37
Εικόνα 2.18: Ηλεκτρονόμοι προστασίας δικτύου ΜΤ (Schneider Electric)	38
Εικόνα 2.19: Διακόπτης αυτόματης επαναφοράς (ABB)	39
Εικόνα 2.20: Διακόπτης απομόνωσης	39
Εικόνα 2.21: Ασφάλεια εκτόνωσης (αριστερά) και ασφάλεια σκόνης (δεξιά)	40
Εικόνα 2.22: Απαγωγείς υπερτάσεων ΜΤ	41
Εικόνα 3.1: Μεγέθη πολύκλωνου αγωγού AAC	44
Εικόνα 3.2: Αγωγός AAAC	44
Εικόνα 3.3: Μορφή αγωγού αλουμινίου-χάλυβα ACSR	45

Εικόνα 3.4: Μορφή αγωγού ACCC	45
Εικόνα 3.5: Χάλκινο καλώδιο MT	45
Εικόνα 3.6: Τυποποιημένοι ξύλινοι στύλοι διανομής MT (ΔΕΔΔΗΕ)	47
Εικόνα 3.7: Τσιμεντόστυλοι MT (ΔΕΔΔΗΕ)	48
Εικόνα 3.8: Εξαρτήματα στήριξης και σύνδεσης. Από αριστερά προς τα δεξιά α) ξύλινος βραχίονας, β)σφιγκτήρας, γ)κοκλιοσυνδετήρας, δ)ενωτήρας.....	51
Εικόνα 4.1: Σελίδες G-7 έως G-9 – ETKΔ	54
Εικόνα 4.2: Σελίδα C-20 – ETKΔ.....	55
Εικόνα 4.3: Σελίδα CS-2 – ETKΔ	56
Εικόνα 4.4: Σελίδα CS-24 – ETKΔ	57
Εικόνα 4.5: Σελίδα FCP-4 – ETKΔ	58
Εικόνα 4.6: Σελίδα F-4 – ETKΔ	59
Εικόνα 4.7: Κατασκευή MT P-3 (δεξιά) και υλικά υλοποίησης της P-2 (αριστερά) – ETKΔ	60
Εικόνα 4.8: Κατασκευή S-3 (δεξιά) και τα υλικά της S-2 (αριστερά) – ETKΔ	61
Εικόνα 4.9: Κατασκευή T-9 (δεξιά) και τα υλικά της T-8 (αριστερά) – ETKΔ.....	62
Εικόνα 4.10: Κατασκευή U-2 – ETKΔ.....	63
Εικόνα 5.1: Κατακόρυφη και εγκάρσια επιφόρτιση αγωγού.....	67
Εικόνα 5.2: Ολική επιφόρτιση αγωγού.....	67
Εικόνα 5.3: Ανάλυση δυνάμεων ισορροπίας αγωγού.....	69
Εικόνα 5.4: Δύναμη τάνυσης T και καταπόνησης F.....	69
Εικόνα 5.5: Σχέση βέλους με τάνυση αγωγού	71
Εικόνα 5.6: Οριζόντια και κατακόρυφη μετατόπιση αγωγού	73
Εικόνα 5.7: Διάγραμμα απόστασης διαχωρισμού αγωγών – βέλους αγωγών	75
Εικόνα 5.8: Δυνάμεις λόγω ανεμοπίεσης σε στύλο ευθυγραμμίας	80
Εικόνα 5.9: Δυνάμεις λόγω ανεμοπίεσης σε στύλο τέρματος	81
Εικόνα 5.10: Δυνάμεις λόγω ανεμοπίεσης σε στύλο γωνίας	81
Εικόνα 5.11: Ανάλυση δυνάμεων επιτόνου επί στύλου	83
Εικόνα 5.12: Βέλος κορυφής f λόγω παραμόρφωσης	90
Εικόνα 5.13: Βέλος κορυφής με επίδραση φορτίου Q και G υπό εκκεντρότητα e.....	92
Εικόνα 5.14: Ανάλυση βάθους και δυνάμεων θεμελίωσης	93
Εικόνα 5.15: Εσωτερική και εξωτερική διάμετρος βάσης ενός τσιμεντόστυλου	101
Εικόνα 5.16: Ανάλυση δυνάμεων σε στύλο MT με επίτονο	102
Εικόνα 5.17: Ξυλοδοκός επιτόνου.....	103
Εικόνα 5.18: Αγκύρωση ξυλοδοκού.....	104
Εικόνα 5.19: Είδη ράβδων αγκύρωσης.....	105
Εικόνα 5.20: Κλίση φ επιτόνου και βάθος θεμελίωσης Y ξυλοδοκού	106
Εικόνα 5.21: Επίτονος κεφαλής (TKΔ F-27Y).....	107
Εικόνα 5.22: α) Διπλός επίτονος και β) τριπλός επίτονος	107
Εικόνα 5.23: Αγκύρωση επιτόνου σε τοίχο	108
Εικόνα 5.24: Αντηρίδα σε στύλο XT.....	108
Εικόνα 5.25: Ανάλυση δυνάμεων που δέχεται ο βραχίονας στην κατασκευή P-3	111
Εικόνα 5.26: Ανάλυση δυνάμεων βραχίονα και εντατήρα	114
Εικόνα 5.27: Στήριγμα μονωτήρα κώδωνα	114
Εικόνα 5.28: Στήριγμα ευθυγραμμίας ή μικρής γωνίας	115
Εικόνα 5.29: Στήριγμα μεγάλης γωνίας.....	116
Εικόνα 5.30: Στήριγμα τέρματος	116
Εικόνα 5.31: Δομή υπεραστικού δικτύου	122

Εικόνα 6.1: Μεταβολή της θερμοκρασίας καλωδίου σε συνάρτηση με το χρόνο.....	134
Εικόνα 6.2: Διάγραμμα βραχυχρόνιας υπερφόρτισης καλωδίου.....	135
Εικόνα 6.3: Διανυσματική ανάλυση πτώσης τάσης	139
Εικόνα 6.4: Πτώση τάσης γραμμής	140

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1.1: Διοικητικές περιφέρειες και περιοχές του ΔΕΔΔΗΕ.....	13
Πίνακας 2.1: Έννοιες και συντομογραφίες μελέτης.....	15
Πίνακας 2.2: Τυποποιημένες παροχές ΜΤ του ΔΕΔΔΗΕ.....	28
Πίνακας 3.1: Κατηγοριοποίηση μονωτήρων.....	50
Πίνακας 4.1: Κεφάλαια του ΕΤΚΔ.....	53
Πίνακας 5.1: Βασική απόσταση διαχωρισμού αγωγών ΜΤ στις ΤΚΔ.....	75
Πίνακας 5.2: Ελάχιστες κατακόρυφες αποστάσεις αγωγών από άλλα στοιχεία.....	76
Πίνακας 5.3: Είδη ξυλείας για κατασκευή στύλων – Οδηγία ΔΕΗ GR-49.....	78
Πίνακας 5.4: Βασική κατηγοριοποίηση και χαρακτηριστικά ξύλινων στύλων.....	78
Πίνακας 5.5: Τυποποιημένες ελάχιστες διαστάσεις διαμέτρων ξύλινων στύλων σε cm ανάλογα με το ύψος (σε απόσταση 1.8 m από το κάτω άκρο) – Οδηγία ΔΕΗ GR-49.....	78
Πίνακας 5.6: Βασικά Χαρακτηριστικά Ξύλινων Στύλων.....	82
Πίνακας 5.7: Ειδικά εγκάρσια και κατακόρυφα φορτία ανά αγωγό (daN/m).....	82
Πίνακας 5.8: Μέγιστα επιτρεπόμενα φορτία λυγισμού στύλων ευθυγραμμίας.....	85
Πίνακας 5.9: Μέγιστα επιτρεπόμενα φορτία P_{ep} τερματικών ή γωνιακών στύλων με επίτονο.....	87
Πίνακας 5.10: Συνολικό επιτρεπόμενο κατακόρυφο φορτίο σε στύλους διπλών τερμάτων με επίτονο (daN).....	87
Πίνακας 5.11: Φορτία θραύσης και επικίνδυνο σημείο θραύσης ξύλινων στύλων.....	88
Πίνακας 5.12: Βάθη θεμελιώσεως στύλων σε m ανάλογα με το είδος εδάφους.....	95
Πίνακας 5.13: Κατηγορίες, φορτία θραύσης και διαστάσεις τσιμεντόστυλων.....	96
Πίνακας 5.14: Μηχανικά χαρακτηριστικά τσιμεντόστυλων.....	98
Πίνακας 5.15: Έλεγχος αντοχής σε θραύση.....	99
Πίνακας 5.16: Επιτρεπόμενα φορτία συρματόσχοινων επιτόνων (daN).....	103
Πίνακας 5.17: Επιτρεπόμενα φορτία ξυλοδοκών επιτόνων.....	104
Πίνακας 5.18: Φορτία θραύσης απλών και δίδυμων στύλων (daN).....	110
Πίνακας 5.19: Αντοχή εξαρτημάτων κορυφής ξύλινων στύλων σε κατακόρυφα φορτία.....	112
Πίνακας 5.20: Φορτία θραύσης και όρια ελαστικότητας στις αντίστοιχες φορτίσεις για στήριγμα ευθυγραμμίας ή μικρής γωνίας.....	115
Πίνακας 5.21: Φορτία θραύσης στις αντίστοιχες φορτίσεις για στήριγμα μεγάλης γωνίας.....	115
Πίνακας 5.22: Φορτία θραύσης στις αντίστοιχες φορτίσεις για στήριγμα τέρματος.....	116
Πίνακας 5.23: Δυνάμεις τάνυσης αστικών δικτύων.....	119
Πίνακας 5.24: Δυνάμεις τάνυσης αρδευτικών δικτύων.....	119
Πίνακας 5.25: Δυνάμεις τάνυσης αστικών δικτύων (ΣΚ ΜΤ).....	120
Πίνακας 5.26: Δυνάμεις τάνυσης αστικών δικτύων (Ατάνυστα CS-7).....	120
Πίνακας 5.27: Βέλη αστικών και αρδευτικών γραμμών ΜΤ	120
Πίνακας 5.28: Τανύσεις αγωγών υπεραστικών δικτύων – Ελαφρά επιφόρτιση.....	125
Πίνακας 5.29: Τανύσεις αγωγών υπεραστικών δικτύων – Μέση επιφόρτιση.....	126
Πίνακας 5.30: Τανύσεις αγωγών υπεραστικών δικτύων – Βαριά επιφόρτιση.....	127
Πίνακας 5.31: Τανύσεις αγωγών υπεραστικών δικτύων – Υπερβαριά και εξαιρετικά βαριές επιφόρτισεις.....	128
Πίνακας Π.1: Διεθνής ανεμομετρική κλίμακα Beaufort.....	129
Πίνακας Π.2: Κατηγορίες εδάφους.....	130
Πίνακας Π.3: Ελάχιστοι διάμετροι ξύλινων στύλων (cm).....	130
Πίνακας Π.4: Τυπικά βάθη θεμελίωσης ξύλινων στύλων.....	131

Πίνακας Π.5: Παράμετροι α , β , γ , ε των ξύλινων στύλων.....	131
Πίνακας 6.1: Τιμές των συντελεστών α_{20} και ρ_{20} για τα διάφορα είδη υλικών των αγωγών.....	132
Πίνακας 6.2: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά εναέριων και υπόγειων αγωγών.....	133
Πίνακας 6.3: Μέγιστη επιτρεπόμενη φόρτιση εναέριων και υπόγειων αγωγών.....	136
Πίνακας 6.4: Θερμική αντοχή εναέριων αγωγών.....	137
Πίνακας 6.5: Θερμική αντοχή υπόγειων αγωγών.....	138
Πίνακας 6.6: Συντελεστής υπολογισμού πτώσης τάσης K για MT 20 kV.....	140

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Ηλεκτρισμός και Ηλεκτρική Ενέργεια

1.1.1 Ορισμοί - Έννοιες

Το ηλεκτρικό φορτίο είναι μία θεμελιώδης ιδιότητα της ύλης, η οποία δημιουργείται λόγω της παρουσίας των ηλεκτρονίων. Ως **ηλεκτρισμό** ορίζουμε το σύνολο των φυσικών φαινομένων που σχετίζονται με την παρουσία και την κίνηση των ηλεκτρικών φορτίων [1]. Ο ηλεκτρισμός είναι άμεσα συνδεδεμένος με τον μαγνητισμό, έννοιες οι οποίες αμφότερες διέπουν την ευρύτερη έννοια του ηλεκτρομαγνητισμού. Η **ηλεκτρική ενέργεια** αφορά την ενέργεια που προκύπτει ως αποτέλεσμα του ηλεκτρισμού και της ροής ηλεκτρικών φορτίων[2].

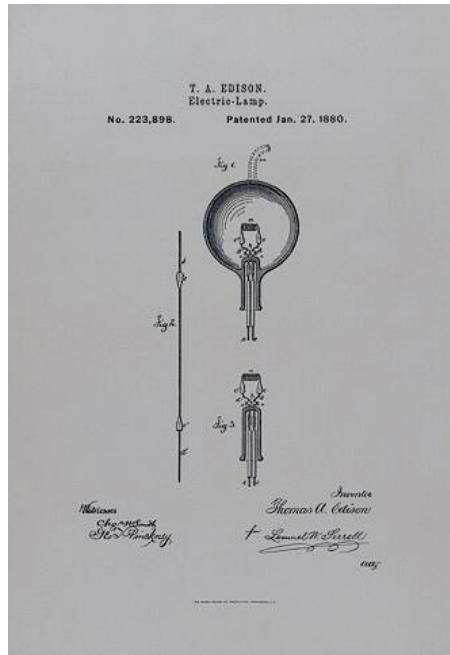
1.1.2 Ιστορική Αναδρομή

Κάποιες από τις πρώτες αναφορές στο φαινόμενο του ηλεκτρισμού και ιδιαίτερα του στατικού ηλεκτρισμού έγιναν από τον Θαλή τον Μιλήσιο τον 7^ο αιώνα π.Χ., ο οποίος παρατήρησε την ιδιότητα του ήλεκτρου να καθίσταται μαγνητικό, μέσω της τριβής του σε μάλλινο ύφασμα. Πολλούς αιώνες μετά, γύρω στο 1600 μ.Χ., ο άγγλος επιστήμονας William Gilbert μέσω των μελετών του και εμπνεόμενος από την ελληνική λέξη για το ορυκτό “ήλεκτρο” δίνει για πρώτη φορά στο φαινόμενο αυτό την ονομασία ηλεκτρισμός.



Εικόνα 1.1: Ακατέργαστο ήλεκτρο, ορυκτή ρητίνη (κεχριμπάρι)

Τους ακόλουθους αιώνες οι εξελίξεις πάνω στο πεδίο του ηλεκτρισμού ήταν συνεχείς. Ο Benjamin Franklin το 1750 μ.Χ. πραγματοποιεί σημαντικά πειράματα πάνω στον ηλεκτρισμό και αποδεικνύει την ηλεκτρική φύση του κεραυνού. Μεταγενέστερα, οι Faraday, Galvani, Ampere, Ohm διατυπώνουν τους βασικούς νόμους που περιγράφουν τον ηλεκτρισμό, με αποκορύφωμα τον Maxwell, ο οποίος διατυπώνει τις ομώνυμες εξισώσεις του και δημιουργεί τη θεωρητική βάση του ηλεκτρομαγνητισμού. Έπειτα, ο Edison τελειοποιεί την κατασκευή της λυχνίας ηλεκτρικού φωτισμού και ο Tesla καινοτομεί στην παραγωγή, διανομή και χρήση του εναλλασσόμενου ρεύματος. Σταδιακά ο ηλεκτρισμός επεκτείνεται, οι πόλεις φωταγωγούνται και η ηλεκτρική ενέργεια γίνεται κινητήρια δύναμη της βιομηχανικής επανάστασης και βασικός πυλώνας του σύγχρονου πολιτισμού.



Εικόνα 1.2: Πατέντα ευρεσιτεχνίας της λυχνίας του Edison

1.1.3 Σημασία

Η σπουδαιότητα της ηλεκτρικής ενέργειας είναι εμφανής σε κάθε πτυχή της σύγχρονης κοινωνίας λόγω της ευελιξίας, της αξιοπιστίας και της χρησιμότητας που την χαρακτηρίζουν. Συγκεκριμένα οι βασικοί άξονες που αναδεικνύουν την σημασίας της ηλεκτρικής ενέργειας είναι:

- Ηλεκτροδότηση Υποδομών και Βιομηχανιών.
- Βελτίωση Ποιότητας Ζωής.
- Διευκόλυνση Παγκόσμιας Διασυνδεσιμότητας.
- Υποστήριξη Οικονομικής Ανάπτυξης.

1.2 Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας, η ηλεκτροπαραγωγή, είναι η διαδικασία που απαιτείται για την μετατροπή μιας πρωτογενούς μορφής ενέργειας σε ηλεκτρική[2]. Σήμερα, για την παραγωγή αυτή χρησιμοποιείται κυρίως η μετατροπή κάποιας μορφής ενέργειας αρχικά σε μηχανική και έπειτα σε ηλεκτρική μέσω γεννητριών.

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας διακρίνεται σε δύο μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με το είδος της πρωτογενούς πηγής που χρησιμοποιείται. Οι κατηγορίες είναι:

- Ηλεκτροπαραγωγή με **χρήση συμβατικών καυσίμων**. Ως πηγή χρησιμοποιούνται ορυκτά στερεά, υγρά ή αέρια καύσιμα (πετρέλαιο, άνθρακας, φυσικό αέριο), τα οποία έχουν σχηματιστεί στο υπέδαφος σε βάθος χρόνου, έχουν περιορισμένα αποθέματα και προκαλούν έντονη περιβαλλοντική επιβάρυνση [3].
- Ηλεκτροπαραγωγή από **ανανεώσιμες πηγές ενέργειας**. Πρόκειται για πηγές ανεξάντλητων αποθεμάτων (αέρας, νερό, ήλιος) χωρίς αρνητικό περιβαλλοντικό αντίκτυπο [3].

1.2.1 Συμβατικές Πηγές Ενέργειας

➤ Θερμοηλεκτρικοί Σταθμοί

Η θερμότητα που εκλύεται από την καύση των ορυκτών καυσίμων μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια μέσω κινητήριων μηχανών και στη συνέχεια σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω γεννητριών[4]. Ανάλογα με το μέσο και τις μηχανές που χρησιμοποιούν στο θερμοδυναμικό τους κύκλο διακρίνονται στους εξής σταθμούς:

→ Ατμοηλεκτρικοί: Χρησιμοποιούν συμβατικά καύσιμα (άνθρακα, μαζούτ, φυσικό αέριο) που καίγονται στο λέβητα για να δημιουργηθεί ατμός, ο οποίος κινεί τον στρόβιλο. Έχουν χαμηλό κόστος, αργή εκκίνηση και απόδοση 30-45%[5].

→ Αεριοστροβιλικοί: Ο ατμοσφαιρικός αέρας αφού συμπιεστεί εισέρχεται στον θάλαμο καύσης, όπου ψεκάζεται με πετρέλαιο ή φυσικό αέριο. Στη συνέχεια, τα αέρια οδηγούνται στον αεριοστρόβιλο και τον αναγκάζουν να περιστραφεί. Λόγω του μικρού κόστους και της γρήγορης εκκίνησης χρησιμοποιούνται ως μονάδες αιχμής με απόδοση 20-28%[5].

→ Εσωτερικής Καύσης: Χρησιμοποιούν πετρέλαιο ή φυσικό αέριο ως καύσιμο το οποίο εκρήγνυνται μέσα στο πιστόνι και καίγεται. Το πιστόνι δημιουργεί περιστρεφόμενη κίνηση μέσω ενός άξονα και μετατρέπουν την πίεση σε μηχανική ενέργεια. Χρησιμοποιούνται σε μεγάλες εφαρμογές ως εφεδρική ισχύς[6].

→ Συνδυασμένου Κύκλου: Συνδυασμός αεριοστροβιλικού και ατμοηλεκτρικού σταθμού. Τα αέρια από την έξοδο του αεριοστροβίλου οδηγούνται σε άλλο λέβητα όπου παράγουν ατμό, ο οποίος κινεί τον στρόβιλο. Απόδοση 50%[4].

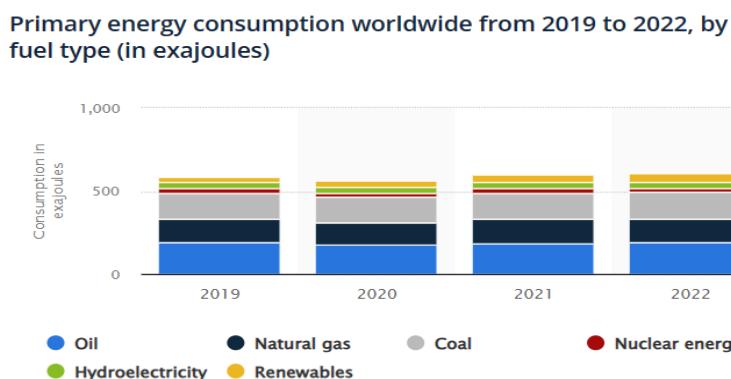
→ Πυρηνικοί Σταθμοί: Πρόκειται στην ουσία για ατμοηλεκτρικό σταθμό με τη διαφορά πως η παραγωγή του ατμού γίνεται με τη χρήση της πυρηνικής ενέργειας που εκλύεται από τον πυρηνικό αντιδραστήρα μέσω της σχάσης ουρανίου και άλλων ισοτόπων του[5].



Εικόνα 1.3: Θερμοηλεκτρικός σταθμός

1.2.2 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Η αυξημένη ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας, τα υψηλά κόστη και οι κρίσεις καυσίμων του προηγούμενου αιώνα, κατέστησαν αναγκαία την εύρεση νέων πηγών ενέργειας που δεν παρουσιάζουν ζητήματα αποθεμάτων. Με τη βοήθεια των τεχνολογικών εξελίξεων των τελευταίων δεκαετιών και δεδομένου του ανεξάντλητου χαρακτήρα τους, οι **ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ)** αποτελούν πλέον μία βιώσιμη λύση για τον περιορισμό των ορυκτών καυσίμων και την εξομάλυνση της περιβαλλοντικής μόλυνσης.



Εικόνα 1.4: Κατανομή πηγών για την κάλυψη ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο 2019-2022 (Statista)

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας διακρίνονται σε:

➤ Αιολική Ενέργεια

Η δύναμη του ανέμου κινεί την ανεμογεννήτρια η οποία μετατρέπει την κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική[8]. Η αιολική ενέργεια έχει εξελιχθεί ραγδαία τις τελευταίες δεκαετίες.

Οι ανεμογεννήτριες έχουν γίνει πολύ μεγαλύτερες, οι συντελεστές χωρητικότητας έχουν αυξηθεί και το κόστος του συστήματος έχει μειωθεί σημαντικά. Στα αρνητικά είναι η μεταβλητότητα της απόδοσης του ανέμου και οι γεωγραφικές απαιτήσεις.



Εικόνα 1.5: Αιολικό Πάρκο

➤ Ηλιακή Ενέργεια

Πρόκειται για το σύνολο των διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον ήλιο (φως, θερμότητα, ακτινοβολία). Μέσω της χρήσης φωτοβολταϊκών, ηλιακών συλλεκτών και ηλιακών θερμικών συστημάτων, η απεριόριστη ενέργεια του ήλιου χρησιμοποιείται για θερμικές εφαρμογές καθώς και για την παραγωγή ηλεκτρισμού[9]. Αποτελεί την πιο διαδεδομένη και αποδοτική ανανεώσιμη πηγή ενέργειας ενώ οι θεωρητικές εκτιμήσεις προβλέπουν πως η πλήρης εκμετάλλευση της θα μπορούσε να καλύψει τις ανάγκες για ηλεκτρική ενέργεια σε παγκόσμια επίπεδο. Ενδεικτικά, το 2023 η ηλιακή ενέργεια κάλυψε το 5% της παγκόσμιας ηλεκτρικής κατανάλωσης σε σχέση με το 1% το 2015[7].



Εικόνα 1.6: Ηλιακό Πάρκο

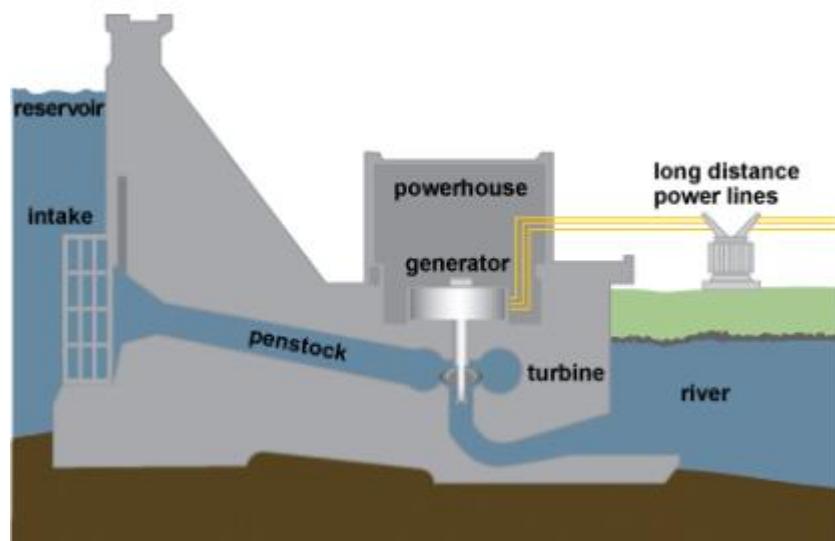
➤ Υδραυλική Ενέργεια

Στους υδροηλεκτρικούς σταθμούς η υδραυλική - μηχανική ενέργεια του νερού μετατρέπεται, μέσω των κατάλληλων διατάξεων (υδροστρόβιλος - γεννήτρια), σε ηλεκτρική ενέργεια[9]. Η ποσότητα της ενέργειας που παράγεται, εξαρτάται από τον ρυθμό παροχής του νερού, τον χρόνο λειτουργίας, την υψομετρική διαφορά της υδατόπτωσης και του βαθμού απόδοσης της μονάδας. Διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

→ Φυσικής Ροής: Εκμεταλλεύονται την ενέργεια διερχόμενου υδάτινου ρεύματος.

→ Ρυθμιζόμενης Ροής: Χρησιμοποιούν το νερό που συλλέγεται σε ταμιευτήρες (τεχνητές λίμνες, φράγματα), ώστε μέσω της υψομετρικής διαφοράς που δημιουργείται να εκμεταλλεύονται την ελεγχόμενη υδατόπτωση.

→ Υδραντλητικοί: Λειτουργούν με παρόμοιο τρόπο με τους ρυθμιζόμενης ροής με τη διαφορά ότι έχουν δύο φράγματα σε διαφορετικές στάθμες από το σταθμό και χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια τις ώρες χαμηλού φορτίου, για να αποταμιεύσουν νερό που θα χρησιμοποιηθεί σε ώρες αιχμής.



Εικόνα 1.7: Αναπαράσταση νδροηλεκτρικού σταθμού

➤ Βιομάζα - Βιοκαύσιμα

Πρόκειται για δευτερογενή ηλιακή ενέργεια που προέρχεται από την αποδέσμευση της ενέργειας που δεσμεύτηκε από το φυτό κατά την φωτοσύνθεση. Πρακτικά, η χημική ενέργεια του βιοαποικοδομήσιμου κλάσματος προϊόντων βιολογικής προέλευσης μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια. Παράγονται έτσι στερεά και υγρά βιοκαύσιμα τα οποία θεωρούνται “καθαρές” πηγές ενέργειας και έχουν εφαρμογές σε βιομηχανικές και οικιακές χρήσεις[10].

➤ Γεωθερμική Ενέργεια

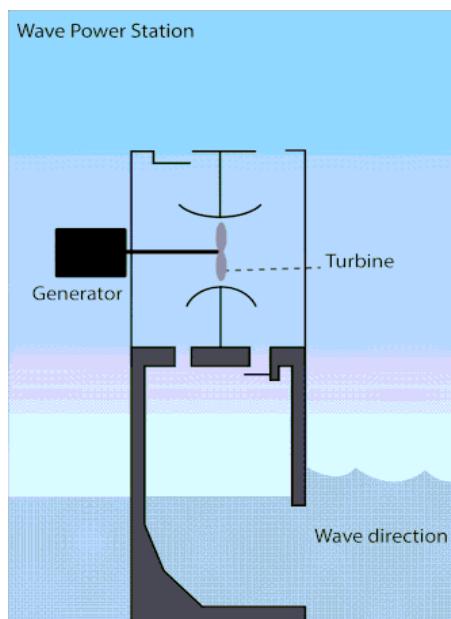
Είναι η φυσική θερμική ενέργεια που προέρχεται από τον φλοιό της γης [11]. Πρόκειται για ένα συνδυασμό της ενέργειας σχηματισμού του πλανήτη και της ενέργειας που εκλύεται από τη ραδιενεργό αποσύνθεση των πετρωμάτων του φλοιού. Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει σημαντικά βήματα για την εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας με καλή απόδοση και χαμηλό κόστος, αλλά ακόμη η εφαρμογή τους είναι μικρής κλίμακας.



Εικόνα 1.8: Σταθμός εκμετάλλευσης γεωθερμικής ενέργειας στην Ισλανδία

> Ενέργεια από τη θάλασσα

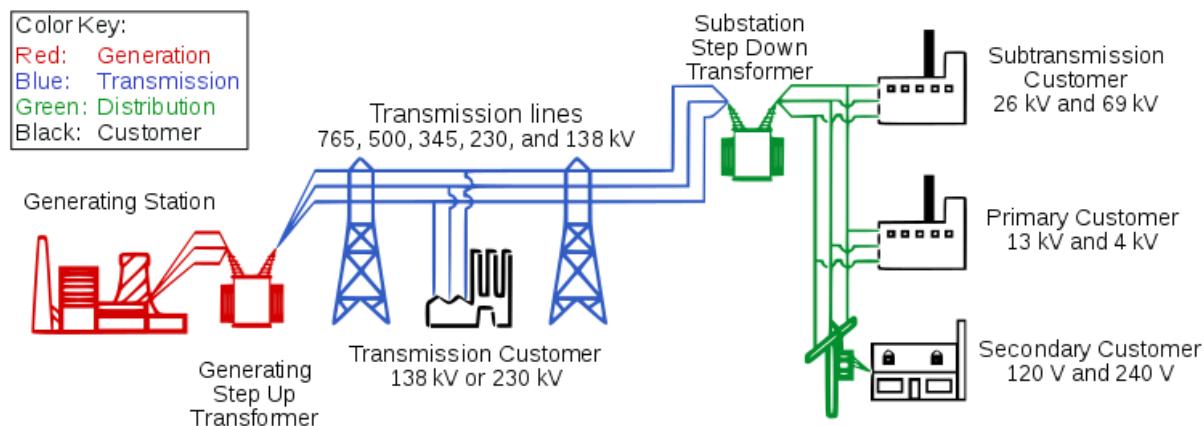
Πρόκειται για την ενέργεια που παράγει η θάλασσα είτε λόγω του φυσικού φαινομένου της παλίρροιας, είτε λόγω της κυματικής της ενέργειας [12][13]. Με τη χρήση υποθαλάσσιων γεννητριών η κινητική ενέργεια της θάλασσας μετατρέπεται σε ηλεκτρική. Εφαρμόζεται σε συγκεκριμένα μέρη όπου οι συνθήκες είναι ευνοϊκές και παρουσιάζουν καλή απόδοση. Χρήζει περαιτέρω έρευνας και ανάπτυξης.



Εικόνα 1.9: Σταθμός κυματικής ενέργειας

1.3 Μεταφορά και Διανομή Ηλεκτρικής Ενέργειας

Λόγω της φύσης της, η μαζική αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας είναι δύσκολη και ασύμφορη οικονομικά, οπότε κρίνεται σκόπιμο ο ρυθμός παραγωγής της να συμβαδίζει με τον ρυθμό κατανάλωσης της. Μετά την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας στους σταθμούς παραγωγής ακολουθεί η **μεταφορά** της στους ηλεκτρικούς υποσταθμούς (transmission) και από εκεί η **διανομή** της στους καταναλωτές (distribution). Η υλοποίηση ενός συστήματος μεταφοράς και διανομής που προσφέρει δυνατότητες μεταφοράς μεγάλης ισχύος και ταυτόχρονα παρουσιάζει μικρές απώλειες είναι ζωτικής σημασίας για την αποτελεσματική και οικονομική λειτουργία του συνόλου του ηλεκτρικού δικτύου. Η κύρια διαφορά μεταξύ της μεταφοράς και της διανομής είναι τα επίπεδα τάσης, στα οποία μεταφέρεται η ηλεκτρική ενέργεια.

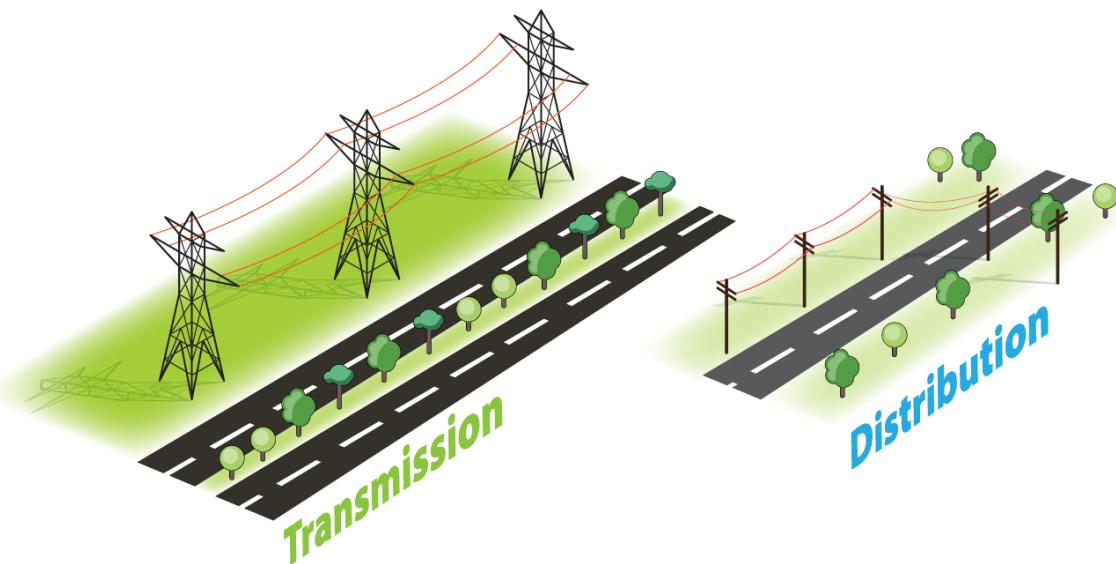


Εικόνα 1.10: Το σύνολο ενός ηλεκτρικού δικτύου. Με μπλε και πράσινο απεικονίζονται τα συστήματα μεταφοράς και διανομής αντίστοιχα

Η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας, αναφέρεται στη διαδικασία μεταφοράς μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας από τα σημεία παραγωγής σε μεγάλες αποστάσεις προς υποσταθμούς κοντά σε περιοχές ζήτησης για ηλεκτρική ενέργεια. Οι καταναλωτές μπορεί να αναγνωρίζουν τις γραμμές μεταφοράς ως τους μεγαλύτερους, υψηλότερους ατσάλινους στύλους ή πύργους που μεταφέρουν πολλά καλώδια σε μεγαλύτερες αποστάσεις. Οι γραμμές μεταφοράς μεταφέρουν μεγάλες ποσότητες ισχύος σε υψηλό επίπεδο τάσης, ένα επίπεδο που είναι πάρα πολύ υψηλό για να παραδοθεί απευθείας σε ένα σπίτι ή επιχείρηση. Οι γραμμές μεταφοράς, οι μετασχηματιστές, οι υποσταθμοί και ο υπόλοιπος εξοπλισμός έχουν συνήθεις τάσεις 100 kV (100000 Volt) και άνω.

Η ισχύς που μεταφέρεται μέσω των γραμμών μεταφοράς πρέπει να μειωθεί σε χαμηλότερα επίπεδα τάσης από τους διαχειριστές του ηλεκτρικού δικτύου ώστε να παραδοθεί στους καταναλωτές. Η μείωση αυτή επιτυγχάνεται αρχικά μέσω μετασχηματιστών και έπειτα η ισχύς μειωμένου επιπέδου τάσης μεταφέρεται μέσω γραμμών διανομής. Η διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας δηλαδή, αφορά το τελικό στάδιο λειτουργίας ενός ηλεκτρικού δικτύου. Οι γραμμές διανομής είναι οι γραμμές με τους χαρακτηριστικούς ξύλινους στύλους, που πολλοί άνθρωποι

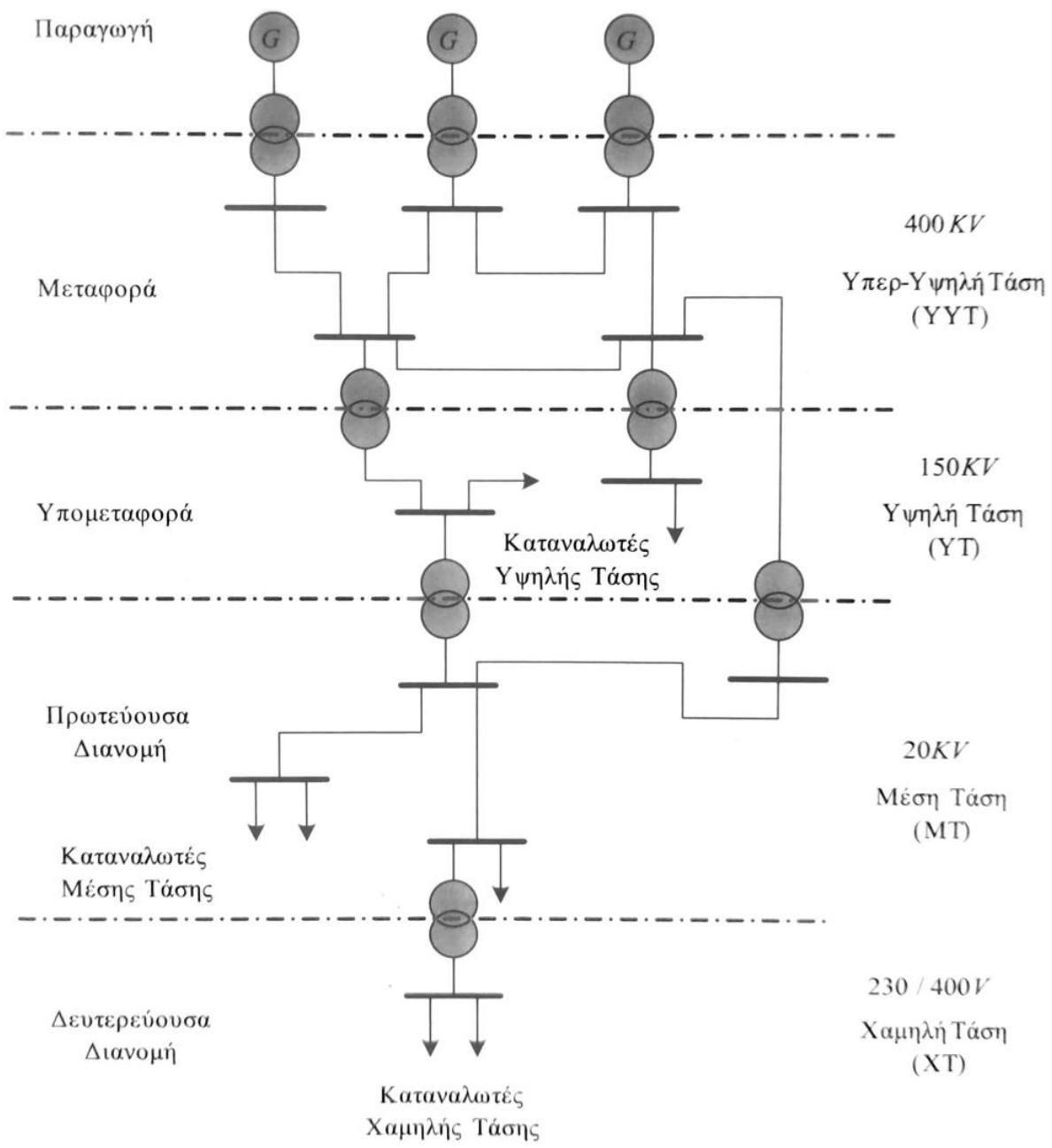
βλέπουν κατά μήκος των αστικών δικτύων. Η τάση των γραμμών διανομής κυμαίνεται ανάλογα με τις συνθήκες και το ηλεκτρικό δίκτυο κάθε χώρας από 2 kV έως 33 kV.



Εικόνα 1.11: Γραμμές μεταφοράς (αριστερά) και διανομής (δεξιά)

1.4 Το Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας στην Ελλάδα

Ος Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ), ορίζουμε το σύνολο των συνεργαζόμενων εγκαταστάσεων που αφορούν την παραγωγή, μεταφορά και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας όπως αναλύθηκαν και παραπάνω[5]. Βασικός στόχος ενός ΣΗΕ είναι, η αδιάλειπτη τροφοδότηση των καταναλωτών με αξιόπιστη ηλεκτρική ισχύ καλής ποιότητας, με το μικρότερο δυνατό κόστος.



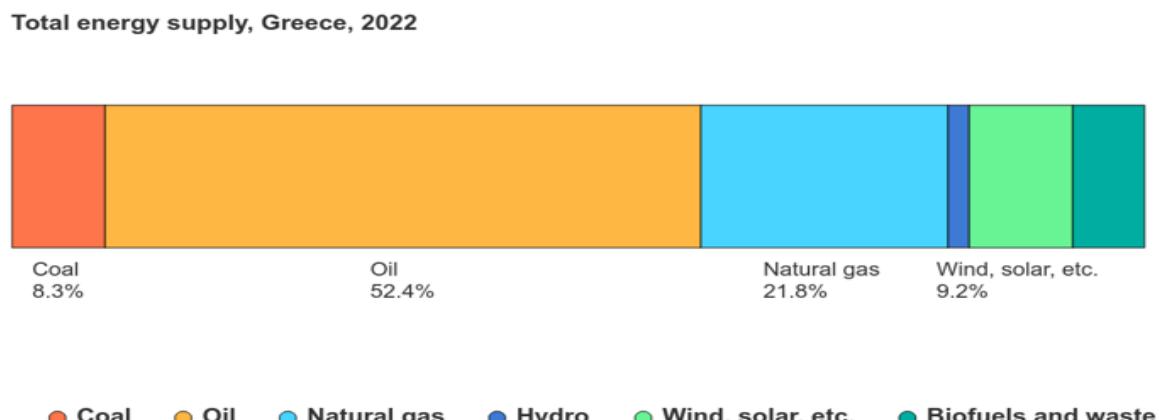
Εικόνα 1.12: Λογική Ελληνικού ΣΗΕ

1.4.1 Ιστορική Αναδρομή

Ο ηλεκτρισμός κάνει την “εμφάνιση” του στην Ελλάδα το 1889. Η Γενική Εταιρεία Εργοληψιών, κατασκευάζει στην Αθήνα την πρώτη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος και φωταγωγεί αρχικά τα ανάκτορα και έπειτα την υπόλοιπη πρωτεύουσα. Τα επόμενα χρόνια διάφορες πολυεθνικές εταιρίες κάνουν την εμφάνιση τους στην Ελλάδα με την Thomson-Houston να ιδρύει την Ελληνική Ηλεκτρική Εταιρία. Μέχρι το 1929 ηλεκτροδοτούνται 250 πόλεις σε όλη τη χώρα. Τον Αύγουστο του 1950, ιδρύεται η **Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ)** και σταδιακά εξαγοράζει όλες τις μεμονωμένες επιχειρήσεις ηλεκτρισμού, με στόχο την προώθηση της ηλεκτρικής ενέργειας σε όλη την ελληνική επικράτεια και την εφαρμογή μιας ενιαίας εθνικής ενεργειακής πολιτικής. Σήμερα, η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού Α.Ε. είναι η μεγαλύτερη εταιρεία παραγωγής και προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα, με πάνω από 7 εκατομμύρια πελάτες (στοιχεία 2020). Μετά τον διαχωρισμό των κλάδων Μεταφοράς και Διανομής, συστάθηκαν δύο 100% θυγατρικές εταιρείες της ΔΕΗ, ο **ΑΔΜΗΕ Α.Ε** (Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας) και ο **ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε.** (Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας). Ο ΑΔΜΗΕ από τη μία έχει την ευθύνη της λειτουργίας, ανάπτυξης, διαχείρισης και συντήρησης του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας ενώ ο ΔΕΔΔΗΕ από την άλλη, έχει την ευθύνη για τη διαχείριση, ανάπτυξη, λειτουργία και συντήρηση του Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας.

1.4.2 Σταθμοί Παραγωγής ΗΕ

Στην Ελλάδα σήμερα, η κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης προέρχεται κυρίως από ορυκτά καύσιμα (πετρέλαιο, φυσικό αέριο, άνθρακας). Σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας (ΔΟΕ), ή International Energy Agency (IEA), η Ελλάδα έχει κάνει σημαντικά βήματα για τη μείωση της εξάρτησης από τον λιγνίτη (μείωση από 60% το 2005 σε 10% το 2021) και την αύξηση της παραγωγής των ΑΠΕ[14].



Source: International Energy Agency. Licence: CC BY 4.0

Εικόνα 1.13: Κατανομή πηγών για την κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης στην Ελλάδα

1.4.3 Σύστημα Μεταφοράς ΗΕ - ΑΔΜΗΕ

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, το σύστημα μεταφοράς περιλαμβάνει τις γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας υπερυψηλής τάσης και τους υποσταθμούς ανύψωσης και υποβιβασμού. Για τη μεταφορά αυτή, χρησιμοποιούνται εναέριες γραμμές ή υπόγεια καλώδια τριφασικού ρεύματος ή υποθαλάσσια καλώδια συνεχούς ρεύματος. Η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας στο Ελληνικό Δίκτυο γίνεται από τον ΑΔΜΗΕ Α.Ε. στα τυπικά επίπεδα των **150 και 400 kV**. Οι γραμμές μεταφοράς τερματίζονται στους υποσταθμούς στα αστικά και βιομηχανικά κέντρα κατανάλωσης, όπου οι τάσεις υποβιβάζονται στο επίπεδο των τάσεων του συστήματος διανομής (20 kV).



Εικόνα 1.14: Το δίκτυο γραμμών μεταφοράς του ΑΔΜΗΕ (2017)

1.4.4 Σύστημα Διανομής ΗΕ - ΔΕΔΔΗΕ

Αποτελείται από το σύνολο των εναέριων και υπόγειων γραμμών, καθώς και των υποσταθμών υποβιβασμού της τάσης μέχρι και τον μετρητή της παρεχόμενης στον καταναλωτή ενέργειας. Η συνολική έκταση του δικτύου διανομής είναι πολλαπλάσια από αυτή του δικτύου μεταφοράς ενώ και το πλήθος των στοιχείων που απαιτούνται για τη λειτουργία του δικτύου διανομής είναι πολύ μεγαλύτερο. Οι τάσεις λειτουργίας του δικτύου διανομής διακρίνονται σε Μέση Τάση (MT) στα **20 kV** κυρίως (σε περιπτώσεις χρησιμοποιούνται 6.6 και 15 kV) και σε Χαμηλή Τάση (XT) στα **0.4 kV ή 400 V**.

Σύμφωνα με τον νόμο 4001/2011, με την απόσχιση του κλάδου διανομής της ΔΕΗ Α.Ε., δημιουργείται η ανεξάρτητη θυγατρική εταιρεία ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε.. Σκοπός του ΔΕΔΔΗΕ είναι η διαφανής και αμερόληπτη λειτουργία και συντήρηση του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα, καθώς και η εξυπηρέτηση βιομηχανικών και οικιακών καταναλωτών. Για το εξειδικευμένο και δύσκολο έργο της κατασκευής και ανάπτυξης του δικτύου διανομής ο ΔΕΔΔΗΕ λειτουργεί με τη μέθοδο ανάθεσης εργολαβιών. Δηλαδή μέσω διαγωνισμών που προκηρύσσει, επιλέγει εξωτερικούς συνεργάτες οι οποίοι αναλαμβάνουν τα έργα. Ο ΔΕΔΔΗΕ από την πλευρά του, είναι υπεύθυνος για την επίβλεψη των έργων και την εκπόνηση των απαραίτητων μελετών.

Ο ΔΕΔΔΗΕ είναι οργανωμένος σε διοικητικές περιφέρειες, με στόχο τον πληρέστερο και αποτελεσματικότερο έλεγχο των έργων και των εξωτερικών συνεργατών. Κάθε διοικητική περιφέρεια χωρίζεται σε διοικητικές περιοχές, οι οποίες αναλαμβάνουν τον συντονισμό και την επίβλεψη των εργασιών του Δικτύου Διανομής εντός των γεωγραφικών τους ορίων. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται η δομή του ΔΕΔΔΗΕ[15].

Πίνακας 1.1: Διοικητικές περιφέρειες και περιοχές του ΔΕΔΔΗΕ

ΔΕΔΔΗΕ				
Διοικητικές Περιφέρειες				
1. Αττικής	2. Μακεδονίας - Θράκης	3.Πελοποννήσου - Ηπείρου	4.Κεντρικής Ελλάδας	5.Νησιών
Διοικητικές Περιοχές				
Αθήνα, Πειραιάς, Καλλιθέα, Φιλοθέη- Κηφισιά, Περιστέρι, Μεσόγεια, Ελευσίνα	Κεντρική Θεσ/νίκη, Ανατολική Θεσ/νίκη, Δυτική Θεσ/νίκη, Κιλκίς, Πολύγυρος, Σέρρες, Δράμα, Καβάλα, Κομοτηνή, Αλεξ/πολη, Έδεσσα, Κατερίνη, Βέροια, Κοζάνη, Φλώρινα, Καστοριά, Ξάνθη	Αγρίνιο, Αίγιο, Άρτα, Ζάκυνθος, Ιωάννινα, Καλαμάτα, Κέρκυρα, Κεφαλονιά, Κόρινθος, Ναύπλιο, Πάτρα, Πύργος, Σπάρτη, Τρίπολη	Αλιβέρι, Άμφισσα, Βόλος, Θήβα, Καρδίτσα, Λαμία, Λάρισα, Λιβαδειά, Τρίκαλα, Χαλκίδα	Λέσβος, Χίος, Σάμος, Σύρος, Κως, Ρόδος, Ηράκλειο, Χανιά, Ρέθυμνο, Αγ. Νικόλαος

Κάποια βασικά μεγέθη του δικτύου διανομής ηλεκτρισμού σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία του ΔΕΔΔΗΕ [16] παρουσιάζονται παρακάτω:

– Δίκτυο

- 113.358 χλμ. Δίκτυο Μέσης Τάσης (MT).
- 128.211 χλμ. Δίκτυο Χαμηλής Τάσης (XT).
- **Συνολικό Δίκτυο: 241.569 χλμ.**

– Υποσταθμοί

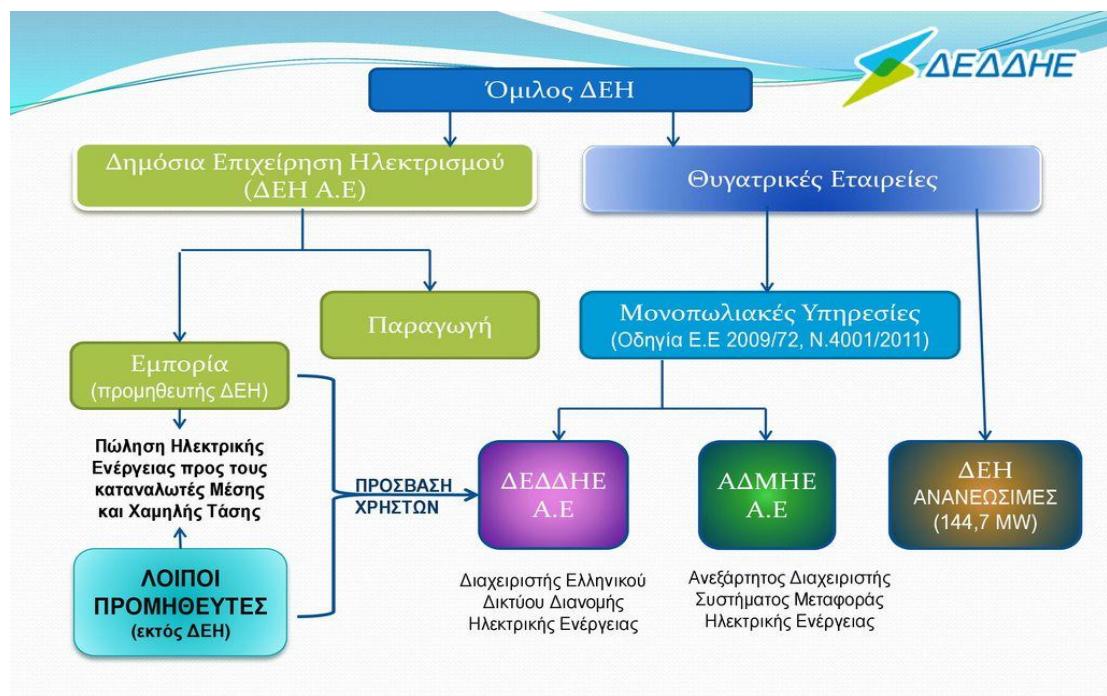
- 165.290 Υποσταθμοί Μέσης Τάσης προς Χαμηλή Τάση (Y/Σ MT/XT).
- 241 Υποσταθμοί Υψηλής Τάσης προς Μέση Τάση (Y/Σ YT/MT).

– Πελάτες

- 7.593.412 Πελάτες (12.668 ΜΤ και 7.580.744 XT).
- 41.983 GWH Καταναλώσεις Πελατών (10.950 στη ΜΤ και 31.033 στη XT).

– Προσωπικό και Οργάνωση

- 5.820 μισθωτοί.
- 5 Γενικές Διευθύνσεις, 23 Κεντρικές Διευθύνσεις, 5 Περιφερειακές Διευθύνσεις, 1 Κεντρικό κλιμάκιο.
- 58 Περιοχές, 66 Πρακτορεία, 76 Υποπρακτορεία.



Εικόνα 1.15: Οργανωτική δομή ομίλου ΔΕΗ

Κεφάλαιο 2: Θεωρητικό Υπόβαθρο Μελέτης

Βασικό αντικείμενο κάθε μελέτης δικτύου διανομής είναι η σωστή επιλογή της μορφής του δικτύου (εναέριο – υπόγειο), των υλικών (αγωγοί – στύλοι), των οδεύσεων των γραμμών, της κλάσης κατασκευής, της προστασίας, του κόστους. Κύριο κριτήριο, λοιπόν, για την ορθότητα της μελέτης σε μακροχρόνια βάση, είναι ο καθορισμός όλων αυτών των παραμέτρων. Επομένως κρίνεται σκόπιμο, στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, να παρουσιαστεί και να αναλυθεί το θεωρητικό υπόβαθρο όλων αυτών των παραμέτρων και επιλογών που θα γίνουν σε επόμενα κεφάλαια, τόσο για λόγους πληρότητας της εργασίας, όσο και την καλύτερη κατανόηση της από τον αναγνώστη.

Για την καλύτερη ευχέρεια του αναγνώστη, παρατίθεται παρακάτω ένας συνοπτικός πίνακας με τις βασικές έννοιες και συντομογραφίες που θα χρησιμοποιηθούν εκτενώς στο παρόν και στα επόμενα κεφάλαια.

Πίνακας 2.1: Έννοιες και συντομογραφίες μελέτης

ΕΝΝΟΙΕΣ - ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

ΑΔΜΗΕ ΑΕ (IPTO S.A.): Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (Independent Power Transmission Operator)

A/Z: Ασφαλειοαποζεύκτης

ΒΑ: Βασικό Άνοιγμα

Β.Θ. ή β.θ.: Βάθος Θεμελίωσης

Β.τ.: Βύθιση τάσης

Δ/ΑΕ: Διακόπτης αυτόματης επαναφοράς

ΔΕΗ ΑΕ (PPC S.A.): Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (Public Power Corporation)

ΔΕΔΔΗΕ ΑΕ (HEDNO S.A.): Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (Hellenic Electricity Distribution Network Operator)

Δ/Φ – Δ/Ι – Δ/Α: Διακόπτης Φορτίου – Διακόπτης Ισχύος – Διακόπτης Απομόνωσης

Ε/Δ: Ελαιοδιακόπτης προστασίας γραμμής στον Y/Σ YT/MT

ΕΤΚΔ: Εγχειρίδιο Τυποποιημένων Κατασκευών Διανομής

Η/Ν: Ηλεκτρονόμοι

ΚΑ: Κατακόρυφο Άνοιγμα

Πίνακας 2.1(συνέχεια): Έννοιες και συντομογραφίες μελέτης

ΕΝΝΟΙΕΣ - ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

ΚΕΗΕ: Κανονισμός Εσωτερικών Ηλεκτρικών Εγκαταστάσεων

ΚΕΣΥΓΗΕ: Κανονισμός Εγκατάστασης Συντήρησης Υπαίθριων Γραμμών Ηλεκτρ. Ενέρ.

ΜΣ: Μετασχηματιστής

ΜΤ: Μέση Τάση (20, 15, 6.6 kV)

Π.τ.: Πτώση τάσης

ΟΔ Νο: Οδηγία Διανομής με αριθμό...

ΣΗΕ: Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας

ΣΚ ΜΤ & ΧΤ: Συνεστραμμένο Καλώδιο Μέσης Τάσης & Χαμηλής Τάσης

ΤΚΔ: Τυποποιημένες Κατασκευές Διανομής

ΧΤ: Χαμηλή Τάση (230/400 V)

Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ: Υποσταθμός υψηλής προς μέση τάση

Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ: Υποσταθμός μέσης προς χαμηλή τάση

ΥΤ: Υψηλή Τάση (150, 66 kV)

ΥΥΤ: Υπερυψηλή Τάση (400 kV)

ΑΑΑC: All Alloy Aluminum Conductors - Γυμνοί αγωγοί από κράματα αλουμινίου

AAC: All Aluminum Conductor – Γυμνοί αγωγοί από αλουμίνιο

ΑCCC: Aluminum Conductor Composite Core – Γυμνοί αγωγοί αλουμινίου με πυρήνα από ανθρακόνημα

ACSR: Aluminum Conductor Steel Reinforced - Γυμνοί σύνθετοι αγωγοί αλουμινίου και χάλυβα

AL: Aluminum Cable - Γυμνοί αγωγοί αλουμινίου

CU: Copper Cable - Γυμνοί αγωγοί χαλκού

daN: Μονάδα δύναμης = 10 Νιούτον (Newton) = 1 kg βάρους

ΝΑΕΚΒΑ: Καλώδιο μόνωσης χάρτου

XLPE: Cross linked polyethylene cable – Καλώδιο με μόνωση πολυαιθυλενίου

2.1 Τυποποίηση Γραμμών Διανομής MT

Το τμήμα του ΣΗΕ ανάμεσα στους ζυγούς MT των υποσταθμών YT και στους ζυγούς MT των υποσταθμών διανομής MT/XT, χαρακτηρίζεται ως **Δίκτυο Πρωτεύουσας Διανομής (primary distribution network)**, το οποίο περιλαμβάνει τις κύριες γραμμές τροφοδότησης (feeders), τις πλευρικές διακλαδώσεις τους (laterals), καθώς επίσης και τα μέσα προστασίας και διακοπής τους[17]. Αντίστοιχα, το τμήμα μεταξύ των δευτερευόντων τυλιγμάτων των M/S MT/XT και των καταναλωτών XT χαρακτηρίζεται ως **Δίκτυο Δευτερεύουσας Διανομής (secondary distribution network)**[17]. Η παρούσα μελέτη επικεντρώνεται κυρίως στο δίκτυο πρωτεύουσας διανομής, δηλαδή το δίκτυο MT, με κάποιες ενδεχόμενες αναφορές και στο δίκτυο XT όπου κρίνεται αναγκαίο.

Μέχρι το 1970, τα δίκτυα της χώρας στην MT λειτουργούσαν στα 15 kV, με εξαίρεση την Αττική όπου υπήρχε το δίκτυο στα 22 kV σε συνδυασμό με το, υπόγειο κυρίως, δίκτυο στα 6.6 kV. Σήμερα, το μεγαλύτερο μέρος του δικτύου διανομής έχει τυποποιηθεί στο επίπεδο των 20 kV, με στόχο την εναρμόνιση του ελληνικού δικτύου με τις ευρωπαϊκές προδιαγραφές, ενώ συναντάται και η τάση των 6.6 kV σε σπάνιες περιπτώσεις (νησιά, υπόγειες γραμμές).

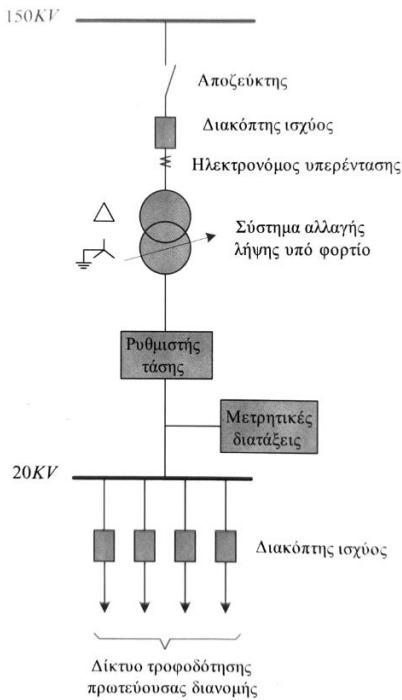
Η τυποποίηση του δικτύου στα 20 kV, οδήγησε στην υιοθέτηση του **βασικού επιπέδου μόνωσης** (Basic Insulation Level – BIL) **125 kV** και **στάθμης βραχυκύκλωσης** (ισχύς βραχυκύκλωσης) **250 MVA**. Τα δίκτυα διανομής MT στο σύνολο τους είναι τριφασικά, τριών αγωγών, με γειωμένο τον ουδέτερο κόμβο του δευτερεύοντος του M/S προς τους Y/S YT/MT μέσω αντιστάσεως, ώστε να διαμορφωθεί το ρεύμα σφάλματος ως προς τη γη στα 1000 A.

2.1.1 Υποσταθμοί YT/MT και MT/XT

Οι **Y/S YT/MT** (High Voltage Substations) υποβιβάζουν την υψηλή τάση των 150 kV (σε ελάχιστες περιπτώσεις 66 kV) σε μέση τάση 20 kV (σπανιότερα 6.6 ή 15 ή 22 kV). Τα τυποποιημένα μεγέθη M/S που τοποθετούνται σε αυτούς τους υποσταθμούς είναι:

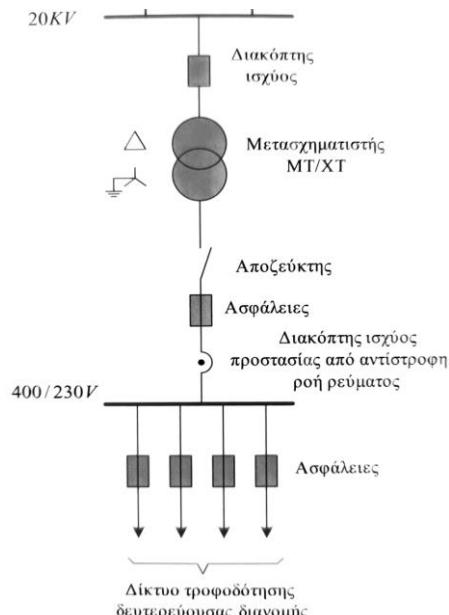
- 10/12.5 MVA.
- 20/25 MVA.
- 40/50 MVA.
- 100 MVA (εξαίρεση που αφορά μόνο τους Y/S της περιοχής της Αττικής).

Οι δύο τιμές ονομαστικής ισχύος των M/S αφορούν τον τρόπο ψύξης και πιο συγκεκριμένα, η πρώτη αντιστοιχεί σε ψύξη με φυσική κυκλοφορία του αέρα, ενώ η δεύτερη σε ψύξη με εξαναγκασμένη κυκλοφορία του αέρα με τη χρήση ανεμιστήρων. Πλέον, οι νεότερες παραγγελίες M/S που προμηθεύονται οι διαχειριστές του δικτύου αφορούν τις τιμές ισχύος 40/50 MVA[18].



Εικόνα 2.1: Διάταξη Y/Σ YT/MT

Αντίστοιχα, στους **Y/Σ MT/XT** (Medium Voltage Substations) το εναλλασσόμενο ρεύμα MT υποβιβάζεται σε ρεύμα XT στα 0.4 kV. Οι M/S ισχύος που χρησιμοποιούνται σήμερα στο ελληνικό δίκτυο έχουν τις συνήθεις σχέσεις των 20/0.4 kV ή 15/0.4 kV σε συνδεσμολογία τριγώνου – αστέρα στα ακόλουθα τυποποιημένα μεγέθη σε kVA: 50, 100, 160, 250, 400, 630, 1000, 1600 και 2500. Οι πρόσφατες, αλλά και μελλοντικές παραγγελίες M/S από τον ΔΕΔΔΗΕ αφορούν M/S με σχέση 20/0.4 kV, ώστε να γίνει η σταδιακή εφαρμογή του επιπέδου των 20 kV σε όλη την έκταση του δικτύου πρωτεύουσας διανομής.



Εικόνα 2.2: Διάταξη Y/Σ MT/XT

2.1.2 Εναέρια Δίκτυα ΜΤ

Τα **Εναέρια Δίκτυα Διανομής ΜΤ** (Overhead Distribution Lines) μεταφέρουν την ηλεκτρική ενέργεια από τους κεντρικούς Υ/Σ YT/ΜΤ στους τοπικούς ανά περιοχή Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ. Η χρήση τους ενδέικνυται κυρίως για την ηπειρωτική χώρα καθώς και για αγροτικές και αραιοκατοικημένες περιοχές λόγω των απαιτήσεων που εμφανίζουν για επαρκή χώρο εγκατάστασης. Κύρια πλεονεκτήματα των εναέριων δικτύων είναι, η εύκολη προσβασιμότητα για ταχύτερο εντοπισμό και επιδιόρθωση βλαβών, η γρήγορη και εύκολη εγκατάσταση τους και το μικρότερο οικονομικό κόστος σε σύγκριση με τα υπόγεια δίκτυα. Αντίθετα, στα μειονεκτήματα τους, εκτός από τις απαιτήσεις γης, περιλαμβάνονται και η κακή αισθητική τους, η μειωμένη ασφάλεια καθώς και το περιβαλλοντικό αντίκτυπο που έχουν. Οι εναέριες γραμμές είναι κατασκευασμένες είτε από ξύλινους στύλους είτε από στύλους οπλισμένου σκυροδέματος (τσιμεντόστυλους), στην κορυφή των οποίων τοποθετούνται οι τρεις αγωγοί των φάσεων.



Εικόνα 2.3: Εναέριο δίκτυο

2.1.3 Υπόγεια δίκτυα ΜΤ

Σε περιοχές όπου η πυκνότητα φορτίου είναι μεγάλη, όπως είναι τα αστικά κέντρα, ή σε περιπτώσεις μεγάλων ανοιγμάτων όπου δεν μπορούν να στηριχθούν οι εναέριοι αγωγοί, τα δίκτυα διανομής ΜΤ έχουν **υπόγεια μορφή** (Underground Distribution Lines). Βασικά πλεονεκτήματα των υπόγειων δικτύων είναι η καλή αισθητική εικόνα, λόγω της έλλειψης εμφανών στοιχείων, η αυξημένη ασφάλεια που προσφέρουν και το χαμηλό περιβαλλοντικό αντίκτυπο που έχουν. Από την άλλη, τα υπόγεια δίκτυα είναι δύσκολα προσβάσιμα, κοστοβόρα και έχουν μειωμένη δυνατότητα φόρτισης λόγω του ενταφιασμού τους.



Εικόνα 2.4: Υπόγειο δίκτυο

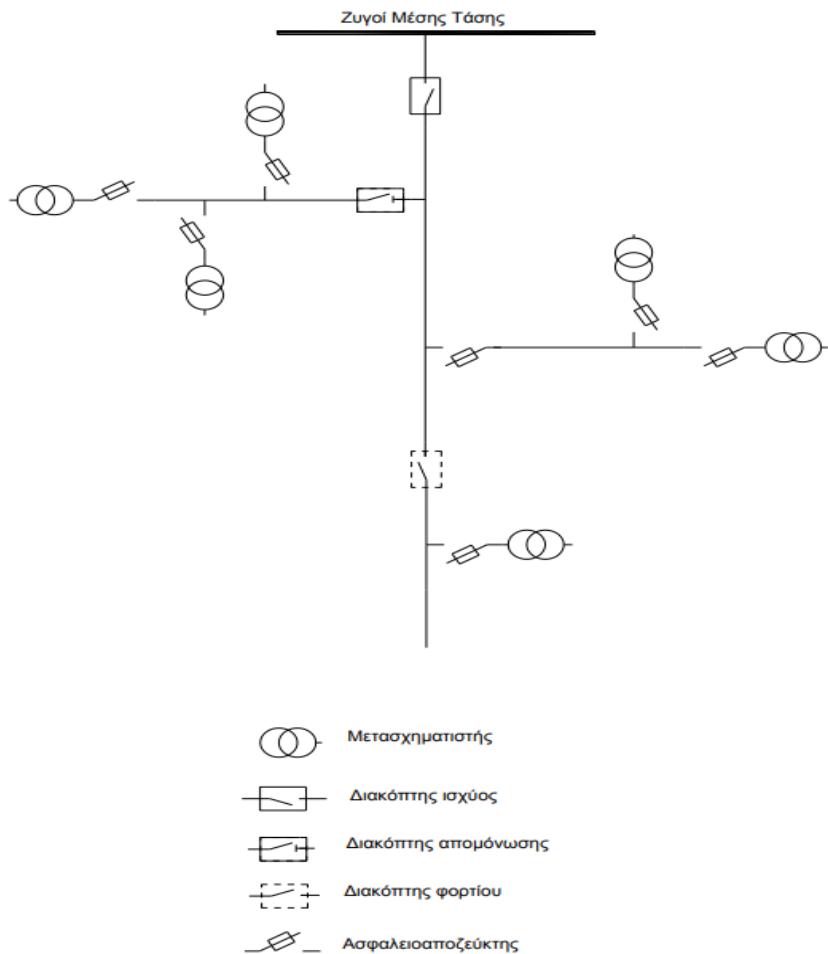
2.2 Δομή Συστημάτων Διανομής ΜΤ

Κατά γενικό κανόνα, τα συστήματα διανομής μέσης τάσης διακρίνονται σε πέντε βασικές μορφές, με βάση τη δομή τους ή τον τρόπο λειτουργίας τους. Οι κατηγορίες αυτές είναι[19]:

- ❖ **Ακτινικό**
- ❖ **Βροχοειδές**
- ❖ **Αραχνοειδές**
- ❖ **Ατρακτοειδές**
- ❖ **Μικρών Βρόχων**

2.2.1 Ακτινικό Σύστημα

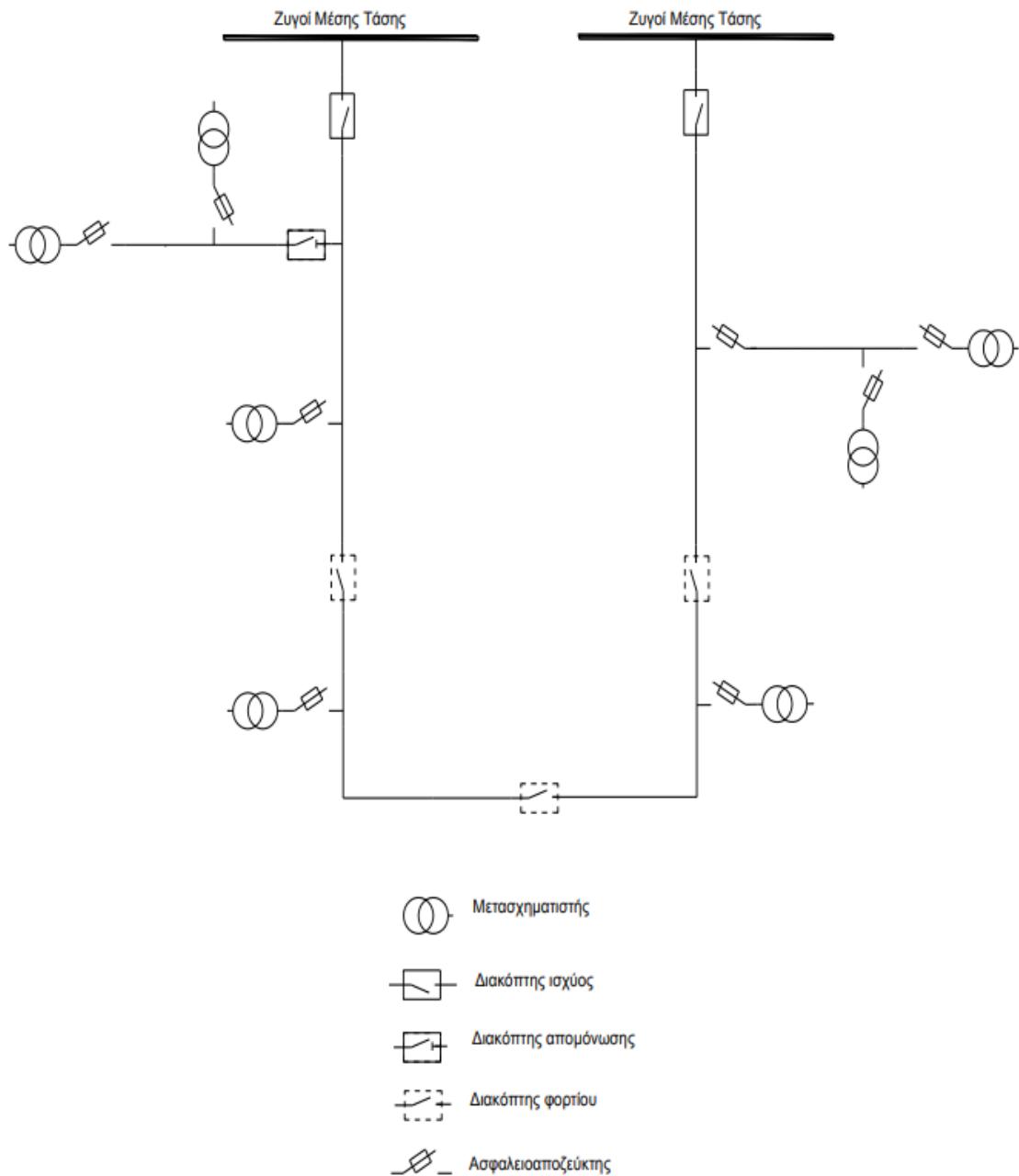
Συναντάται κυρίως σε εναέρια δίκτυα που τροφοδοτούν περιοχές και φορτία με χαμηλές απαιτήσεις αξιοπιστίας. Δομικά, το σύστημα αποτελείται από μία κεντρική γραμμή, τον κορμό, με τις διακλαδώσεις του. Ο κορμός ελέγχεται από ένα Δ/I, ο οποίος εκτελεί αυτόματες επαναφορές. Αντίστοιχα, οι διακλαδώσεις ελέγχονται από Α/Z και από Δ/A. Τέλος, υπάρχει η δυνατότητα τοποθέτησης διακοπών αυτόματης επαναφοράς, με στόχο την καλύτερη εξυπηρέτηση των αναγκών του δικτύου και τον έλεγχο σφαλμάτων.



Εικόνα 2.5: Μορφή ακτινικού συστήματος ΜΤ

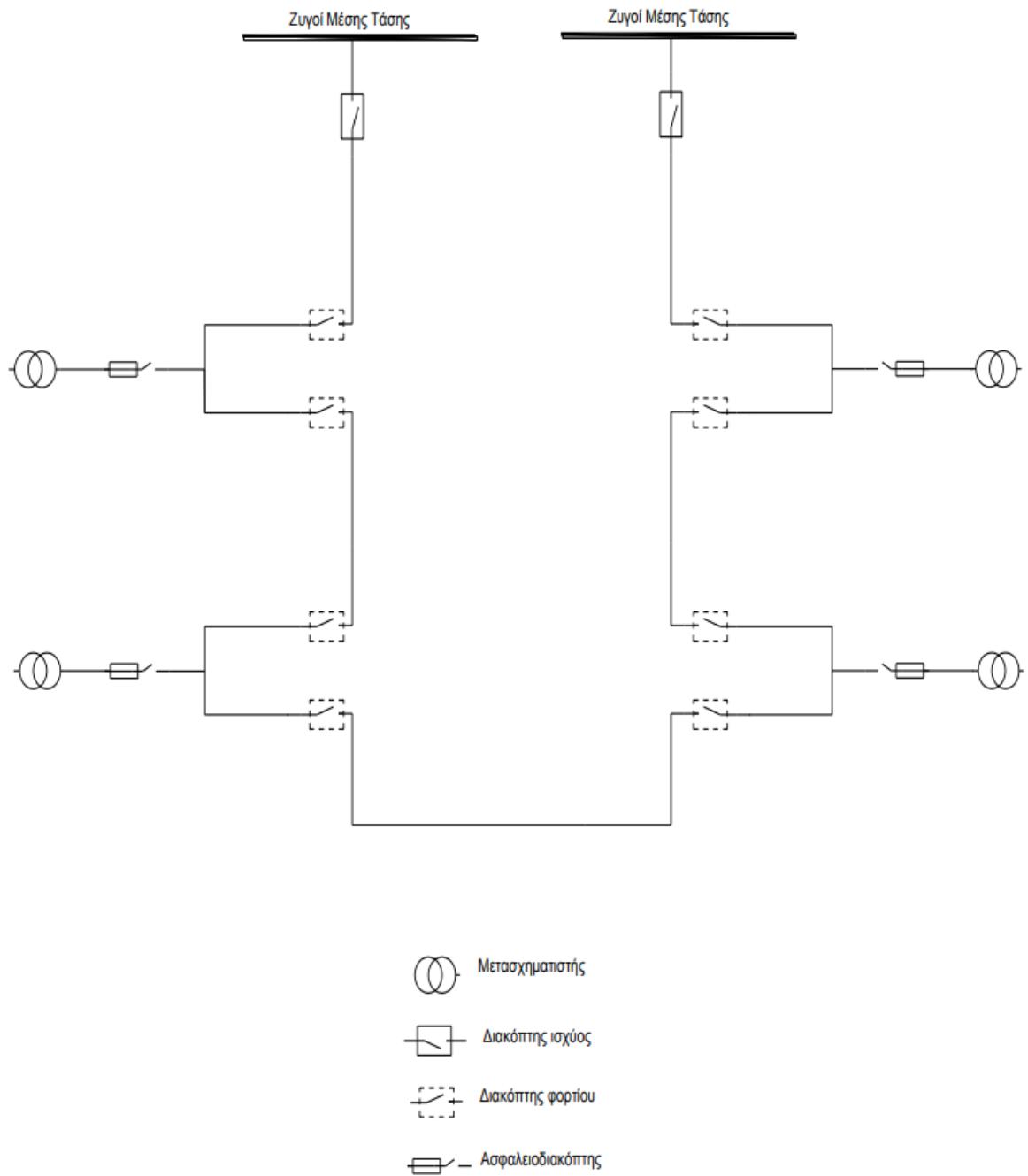
2.2.2 Βροχοειδές Σύστημα

1. Εναέρια Δίκτυα: Το σύστημα αυτό είναι παρόμοιο με το ακτινικό με τη βασική διαφορά πως τροφοδοτείται από δύο σημεία του ίδιου ή διαφορετικού Y/Σ. Η κεντρική γραμμή διαχωρίζεται από Δ/Φ ή τριπολικό A/Z.



Εικόνα 2.6: Μορφή βροχοειδούς συστήματος εναέριου δικτύου MT

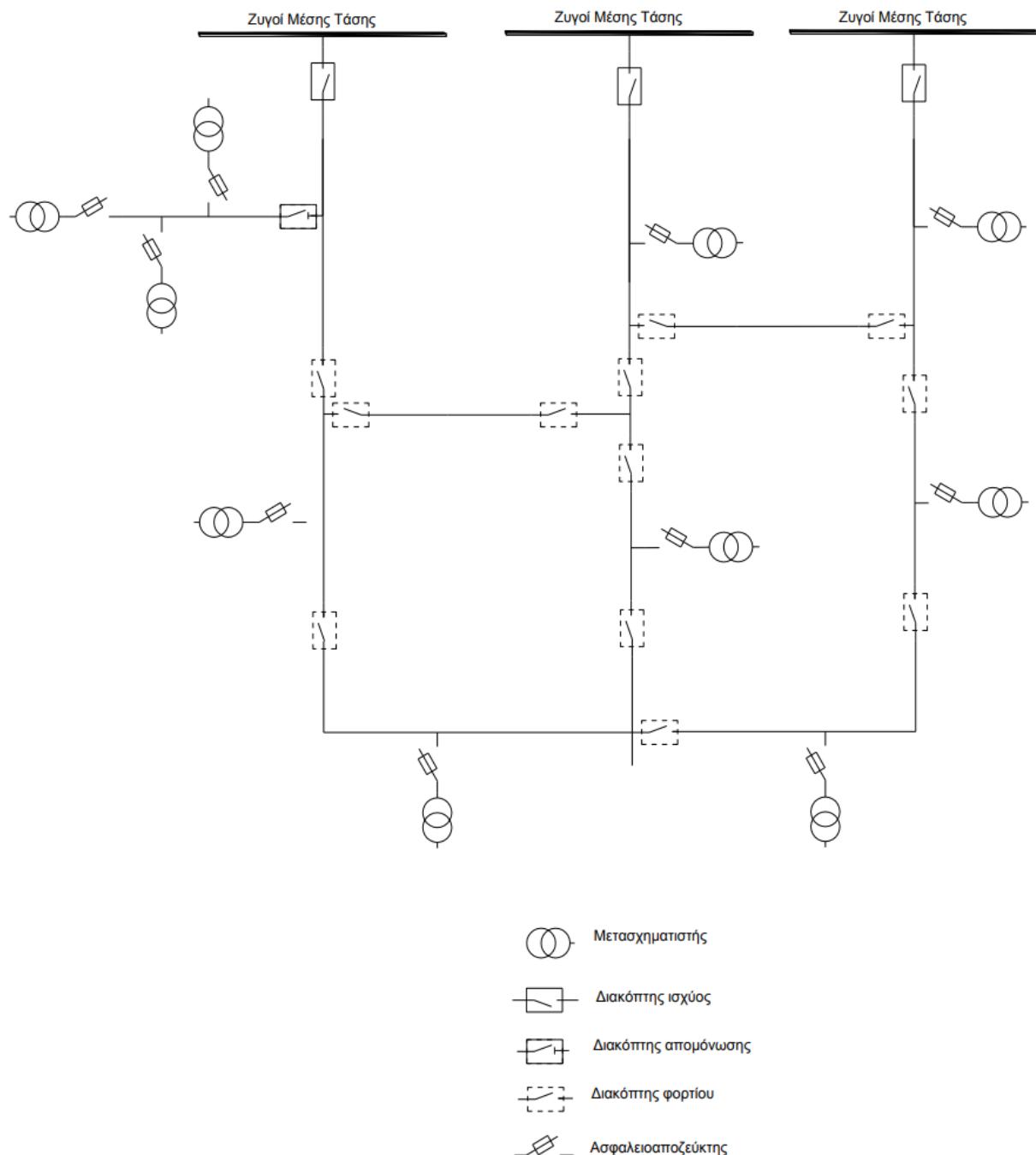
2. Υπόγεια Δίκτυα: Σε αυτή την περίπτωση, η τροφοδότηση του βρόχου γίνεται από δύο διακόπτες που ανήκουν στον ίδιο ή σε διαφορετικούς Υ/Σ. Υπάρχουν δύο Δ/Φ σε κάθε Υ/Σ διανομής για τις αφίξεις των καλωδίων. Ο βρόχος παραμένει λειτουργικά ανοικτός σε ένα Δ/Φ των Υ/Σ διανομής. Για την πλήρη αξιοποίηση του βρόχου, κρίνεται αναγκαίο κάθε αναχώρηση να φορτίζεται μέχρι το 50% της ικανότητας της.



Eikόνα 2.7: Μορφή βροχοειδούς συστήματος υπόγειου δικτύου ΜΤ

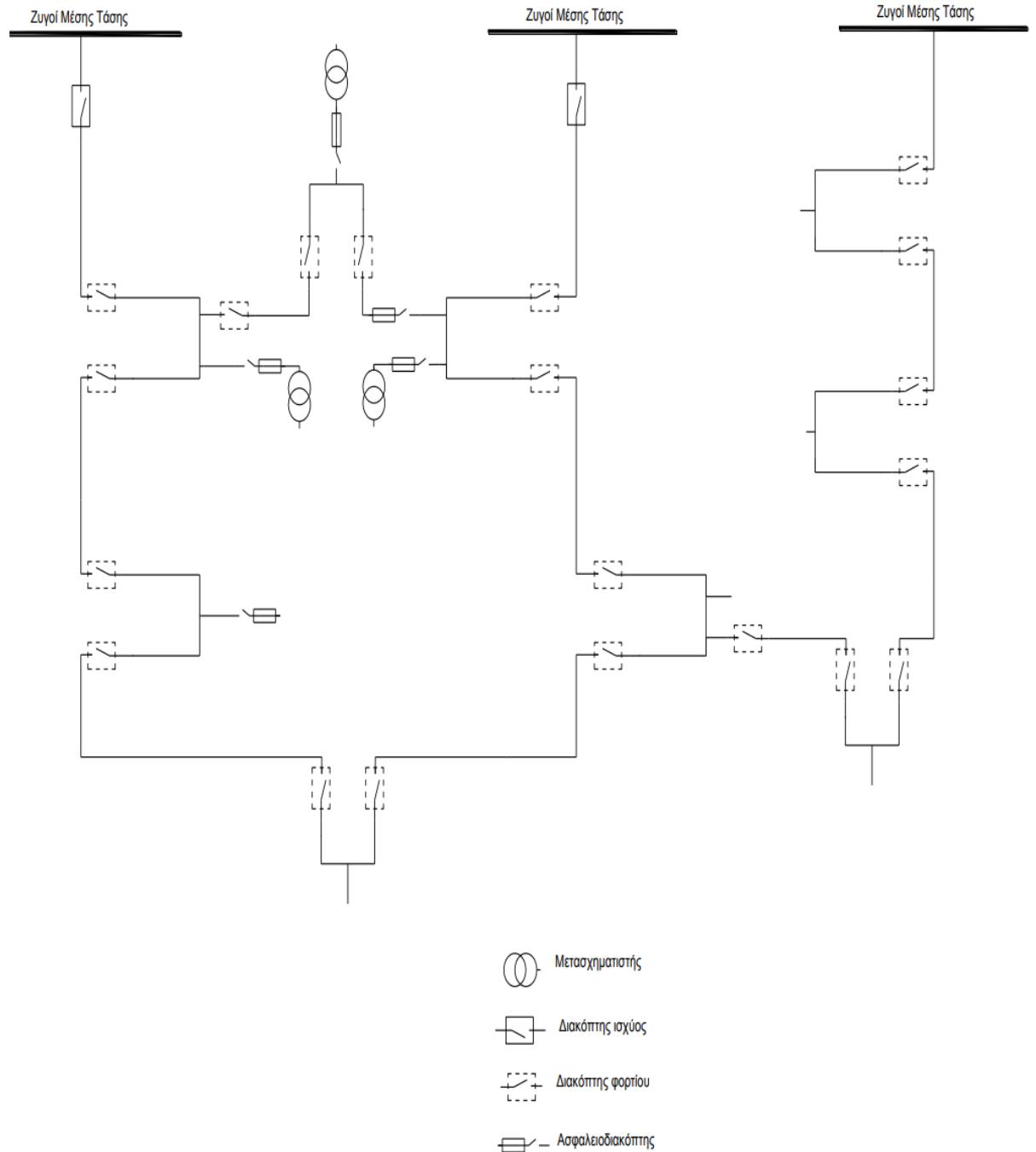
2.2.3 Αραχνοειδές Σύστημα

1. Εναέρια Δίκτυα: Πρόκειται για μία παραλλαγή του βροχοειδούς συστήματος, με τρεις συνεργαζόμενες γραμμές και πλήθος πλευρικών συνδέσεων. Σε πιθανή βλάβη μίας εκ των γραμμών, οι άλλες δύο αναλαμβάνουν την κάλυψη του φορτίου. Κάθε αναχώρηση επομένως, επιτρέπεται να φορτίζεται έως το 66% της ικανότητας της σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας. Τέλος, ειδικοί Δ/Φ τοποθετούνται σε κατάλληλες θέσεις του δικτύου για τη μεταφορά φορτίων.



Εικόνα 2.8: Μορφή αραχνοειδούς συστήματος εναέριου δικτύου MT

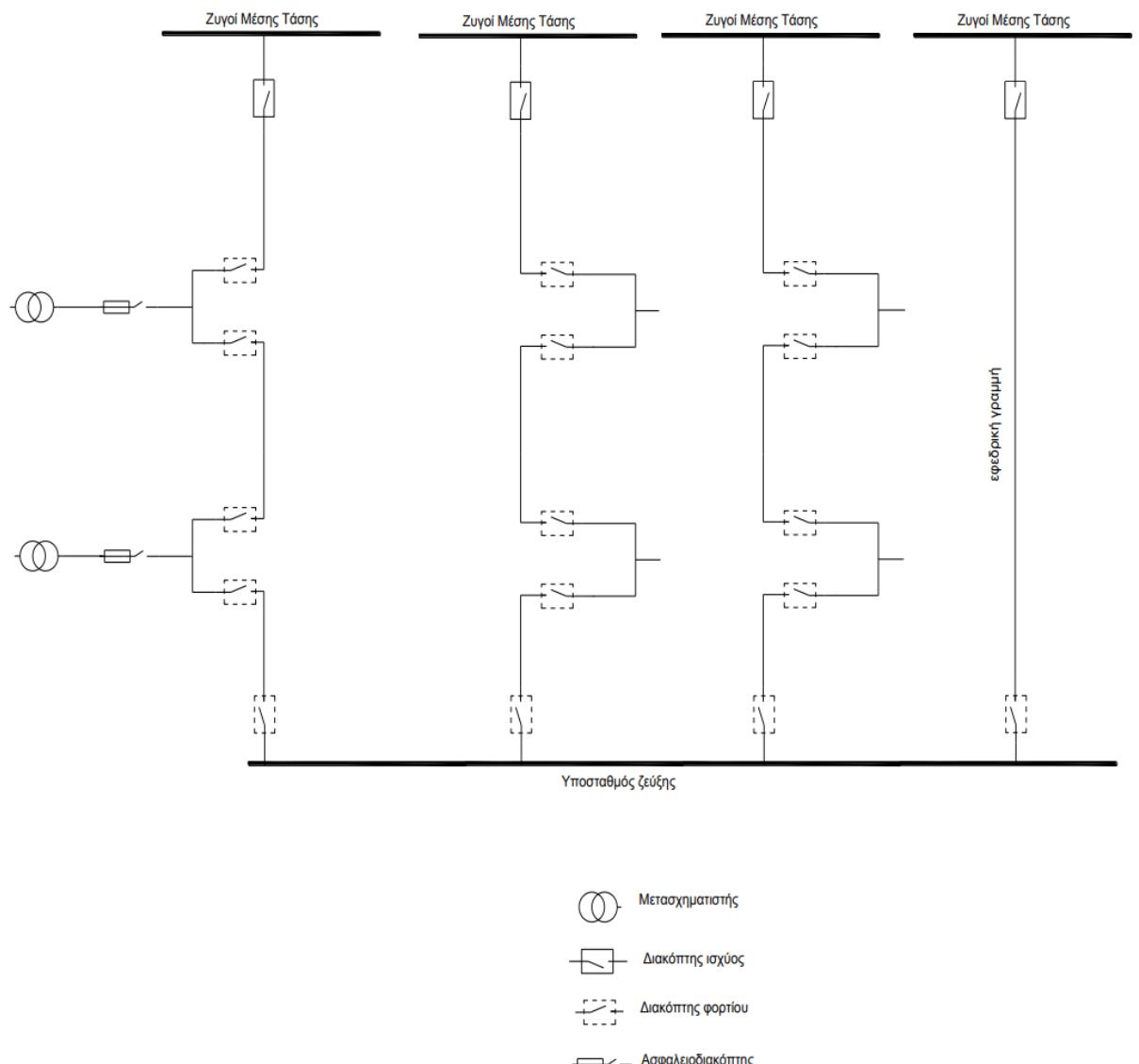
2. Υπόγεια Δίκτυα: ίδια δομή με το εναέριο σύστημα με την απαίτηση, αποφυγής ακτινικών διακλαδώσεων για την τροφοδοσία Υ/Σ και χρήσης Δ/Φ για τους απαραίτητους χειρισμούς μεταφοράς φορτίων.



Εικόνα 2.9: Μορφή αραχνοειδούς συστήματος υπόγειου δικτύου MT

2.2.4 Ατρακτοειδές Σύστημα

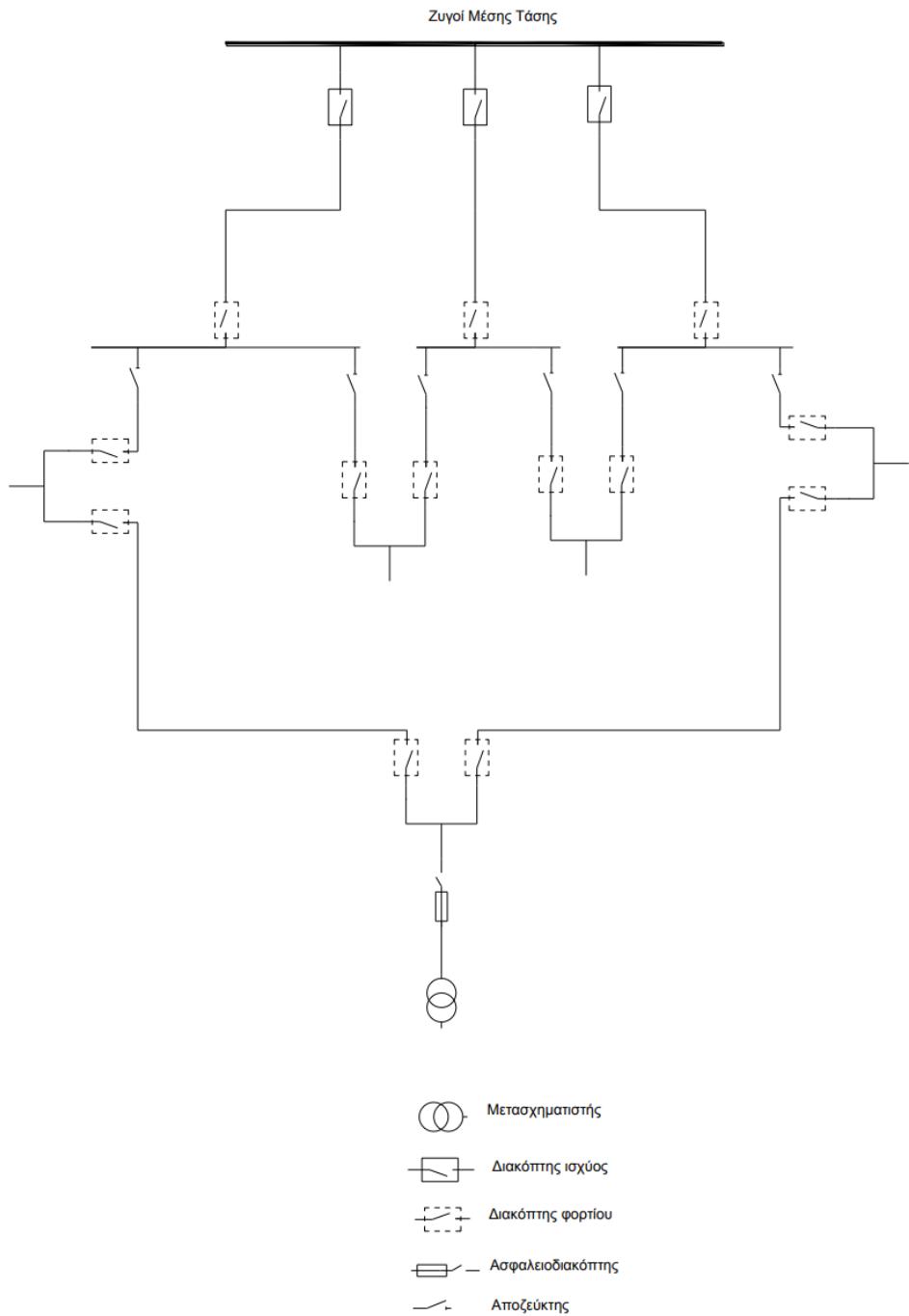
Το συγκεκριμένο σύστημα αποτελείται από μία ομάδα γραμμών που αναχωρούν από τον Y/Σ YT/MT-150/20 kV και καταλήγουν σε έναν Y/Σ ζεύξης. Ακόμη, μία εκ των γραμμών έχει εφεδρικό χαρακτήρα και είναι απαλλαγμένη από φορτία, ώστε αν χρειαστεί να μπορεί να αναλάβει όλα τα φορτία μιας άλλης γραμμής. Ο αριθμός των ενεργών και της εφεδρικής γραμμής δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τις έξι, αλλιώς μειώνεται ο βαθμός αξιοπιστίας τους συστήματος. Ο συντελεστής χρησιμοποίησης των γραμμών είναι υψηλός και αγγίζει το 80-85% της ικανότητας τους. Το ατρακτοειδές σύστημα συναντάται σε μεγάλο βαθμό στα υπόγεια δίκτυα πόλεων.



Εικόνα 2.10: Μορφή ατρακτοειδούς συστήματος MT

2.2.5 Σύστημα Μικρών Βρόχων

Στο σύστημα Μικρών Βρόχων, κάθε κύρια γραμμή υποδιαιρείται σε δύο δευτερεύουσες, που σχηματίζουν βρόχο μεταξύ τους ή σε δευτερεύουσες άλλης αναχώρησης. Επιπλέον, οι βρόχοι είναι δυνατόν να συνδεθούν μεταξύ τους με πλευρικές συνδέσεις. Οι γραμμές των βρόχων φορτίζονται έως το 50% της ικανότητας φόρτισης τους, ώστε να επιτρέπεται η ομαλή ένταξη παλαιών υφιστάμενων καλωδίων μικρότερης διατομής στο σύστημα. Τέλος, το σύστημα παρέχει δυνατότητες επανατροφοδότησης τμημάτων με βλάβες ή σφάλματα.



Εικόνα 2.11: Μορφή συστήματος μικρών βρόχων για δίκτυα MT

2.2.6 Επιλογή Συστήματος

Ως επί το πλείστον, τα δύο κύρια συστήματα που χρησιμοποιούνται σε παγκόσμιο επίπεδο είναι τα **ακτινικά** και τα **βροχοειδή**. Τα υπόλοιπα συστήματα από την άλλη εφαρμόζονται σε συγκεκριμένες περιπτώσεις, καθώς το αραχνοειδές καθιστά δύσκολη την πλήρη εκμετάλλευση του δικτύου, το ατρακτοειδές επιλέγεται αρχικά λόγω χαμηλού κόστους με την προοπτική να μετατραπεί σε βροχοειδές, ενώ το σύστημα μικρών βρόχων αποτελεί μία λύση ανάγκης για την αξιοποίηση καλωδίων μικρότερων διατομών.

Τα ακτινικά συστήματα αποτελούν την οικονομικότερη λύση συγκριτικά με τα υπόλοιπα, ενώ προσφέρουν και απλότητα στην ανάλυση και τη λειτουργία τους. Κύριο μειονέκτημα τους είναι η ύπαρξη μοναδικού μονοπατιού μεταξύ καταναλωτή και υποσταθμού, γεγονός που τα καθιστά αναξιόπιστα για συνεχή παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς η εμφάνιση σφάλματος σε οποιοδήποτε σημείο προκαλεί διακοπή του δικτύου στα φορτία που βρίσκονται κατάντι του σημείου αυτού. Το φαινόμενο αυτό, όπως αναφέρθηκε και στην αντίστοιχη υποενότητα, μπορεί να αντιμετωπιστεί ολικά ή εν μέρει μέσω της ύπαρξης A/Z που είναι ανοικτοί υπό φορτίο και συνδέονται μεταξύ τους διάφορα σημεία κατά μήκος των κύριων γραμμών διανομής. Μόλις απομονωθεί λοιπόν η περιοχή του σφάλματος με την βοήθεια των κατάλληλων Δ/A, το υπόλοιπο μέρος του δικτύου θα συνδεθεί σε κάποια γραμμή διανομής με το κλείσιμο των κατάλληλων A/Z.

Τα βροχοειδή συστήματα επιλέγονται λόγω του υψηλού βαθμού αξιοπιστίας που προσφέρουν. Το βασικότερο πλεονέκτημα αυτής της τοπολογίας του δικτύου είναι η ύπαρξη δύο «διαδρομών», μέσω της ύπαρξης ενός αποζεύκτη βρόχου, ο οποίος παραμένει ανοικτός σε κανονική λειτουργία, μεταξύ του υποσταθμού YT/MT και των απολήξεων του δικτύου. Στα μειονεκτήματα είναι το μεγαλύτερο κόστος που παρουσιάζουν και η πολυπλοκότητα της κατασκευής και της λειτουργίας τους.

Στην Ελλάδα, σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία του ΔΕΔΔΗΕ στο έγγραφο «**Σχέδιο Ανάπτυξης Δικτύου 2021-2025**»[18], η δομή του δικτύου MT κατηγοριοποιείται ως εξής:

- Βροχοειδές Δίκτυο (βασική δομή).
- Δίκτυο αραχνοειδούς δομής (αστικό δίκτυο κυρίως στην Αττική).
- Ακτινικό Δίκτυο (κυρίως σε νησιά και δυσπρόσιτα σημεία).

2.3 Παροχές ΜΤ

Ο ΔΕΔΔΗΕ (πρώην ΔΕΗ) έχει τυποποιήσει του ακόλουθους τέσσερις τύπους παροχών Μέσης Τάσης[20]:

Πίνακας 2.2: Τυποποιημένες παροχές ΜΤ του ΔΕΔΔΗΕ

Τύπος	Εγκατάσταση μέτρησης	Μέγιστη Ισχύς Μ/Σ
A1	Εξωτερικά (υπαίθρια)	630 kVA
A2	Εξωτερικά (υπαίθρια)	Περιορισμένη μόνο από το δίκτυο ΜΤ
B1	Εσωτερικά (στεγασμένη)	630 kVA
B2	Εσωτερικά (στεγασμένη)	Περιορισμένη μόνο από το δίκτυο ΜΤ

2.3.1 Παροχές τύπου A1 και A2

Πρόκειται για την απλούστερη σε διατάξεις παροχή, από το εναέριο δίκτυο των 20 kV. Ο ΔΕΔΔΗΕ χρησιμοποιεί A/Z, μετασχηματιστές μέτρησης έντασης και τάσης τα οποία είναι όλα τοποθετημένα πάνω στον στύλο, δηλαδή υπαίθρια. Οι μετρητές ενέργειας τοποθετούνται σε ειδικό ερμάριο. Επίσης, από το στύλο αναχωρεί γραμμή καλωδίων προς τον Y/S του καταναλωτή, η οποία κατασκευάζεται από τον ίδιο τον καταναλωτή. Τέλος, η παροχή A1 ασφαλίζεται μέσω ασφαλειών εκτόνωσης βραδείας τήξης και ονομαστικής έντασης 30 Α. Η διαφοροποίηση μεταξύ των A1 και A2, έγκειται στη χρήση διακόπτη απομόνωσης (Δ/A) στην περίπτωση της παροχής A2.

2.3.2 Παροχές τύπου B1 και B2

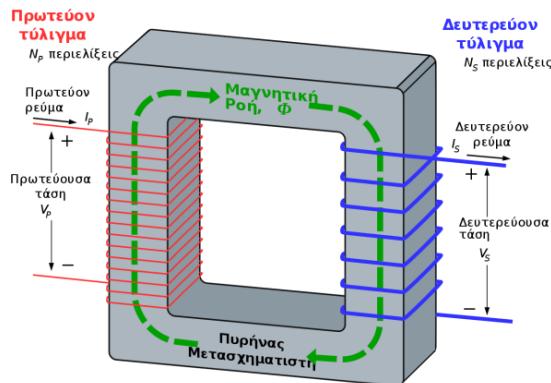
Εφαρμόζονται σε καταναλωτές με αυξημένη ζήτηση ισχύος και με εγκαταστάσεις εσωτερικού τύπου. Ο καταναλωτής υποχρεούται να παραχωρήσει στον ΔΕΔΔΗΕ ένα χώρο διαμορφωμένο, σύμφωνα με τις οδηγίες του διαχειριστή. Στο χώρο εγκαθίσταται προκατασκευασμένος πίνακας 20 kV, μαζί με τους διακόπτες, τους Μ/Σ μέτρησης και τους μετρητές ενέργειας. Για εναέρια δίκτυα η σύνδεση με τον ΔΕΔΔΗΕ γίνεται ακτινικά, ενώ για τα υπόγεια δίκτυα βροχοειδώς.

2.4 Μετασχηματιστές

Ο **Μετασχηματιστής** (Transformer) είναι μία ηλεκτρική συσκευή που τοποθετείται στους Υ/Σ και σε άλλα σημεία και καθιστά δυνατή τη μετατροπή ηλεκτρικής ενέργειας ενός επιπέδου τάσης σε ηλεκτρική ενέργεια διαφορετικού επιπέδου τάσης, μέσω της επίδρασης ενός μαγνητικού πεδίου[21][22].

Ο Μ/Σ αποτελείται από δύο ή περισσότερα πηνία, τα οποία τυλίγονται γύρω από ένα σιδηρο-μαγνητικό πυρήνα. Τα πηνία αυτά κατά κανόνα δεν είναι ηλεκτρικά συνδεδεμένα μεταξύ τους. Το κοινό μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό του πυρήνα είναι η μόνη σύζευξη που υπάρχει μεταξύ των σπειρών. Το ένα εκ των δύο πηνών του Μ/Σ συνδέεται με μία πηγή εναλλασσόμενης τάσης, ενώ το δεύτερο (ή και τρίτο αν υπάρχει) συνδέεται με το φορτίο.

Το πρώτο τύλιγμα ονομάζεται **πρωτεύον τύλιγμα** (primary winding) ή τύλιγμα εισόδου, ενώ το δεύτερο ονομάζεται **δευτερεύον τύλιγμα** (secondary winding) ή τύλιγμα εξόδου. Στην περίπτωση ύπαρξης και τρίτου τυλίγματος, αυτό ονομάζεται τριτεύον τύλιγμα του Μ/Σ.



Εικόνα 2.12: Μετασχηματιστής

2.4.1 Κατηγορίες Μετασχηματιστών

Ανάλογα με τον τρόπο χρήσης τους οι Μ/Σ διακρίνονται στις εξής κατηγορίες[22]:

- ❖ **Μετασχηματιστές Ισχύος:** Οι Μ/Σ που χρησιμοποιούνται για την ανύψωση της τάσης των γεννητριών στους σταθμούς παραγωγής στο επίπεδο τάσης του συστήματος μεταφοράς. Χρησιμοποιούνται επίσης, για τον υποβιβασμό της τάσης στους Υ/Σ διανομής για την τροφοδότηση του δικτύου διανομής του ΔΕΔΔΗΕ και των καταναλωτών Μέσης Τάσης.
- ❖ **Μετασχηματιστές Διανομής:** Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν οι Μ/Σ που υποβιβάζουν την τάση από το επίπεδο Μέσης Τάσης (20 kV) σε Χαμηλή Τάση (400 V).
- ❖ **Μετασχηματιστές Τάσης:** Συνδέονται παράλληλα με τη γραμμή ισχύος ώστε να μετασχηματίσουν την Υψηλή Τάση μεταφοράς ή διανομής σε Χαμηλή Τάση.

- ❖ **Μετασχηματιστές Έντασης:** Συνδέονται σε σειρά με τη γραμμή ισχύος ώστε να μετασχηματίσουν τα υψηλά ρεύματα μεταφοράς ή διανομής σε ρεύματα χαμηλής έντασης.

Ανάλογα με τον τρόπο ψύξης τους διακρίνουμε τους **ελαιόψυκτους M/S** (Oil-Immersed Transformer) και τους **M/S ξηρού τύπου** (Dry-type Transformer)[17]. Πιο συγκεκριμένα:

- **Ελαιόψυκτοι M/S:**
 1. Φυσική ψύξη (ONAN – Oil Natural Air Natural). Σε αυτούς του M/S η θερμότητα που αναπτύσσεται στο εσωτερικό τους απομακρύνεται μέσω της φυσικής κυκλοφορίας του λαδιού και της εξωτερικής κυκλοφορίας ατμοσφαιρικού αέρα.
 2. Εξαναγκασμένη ψύξη (ONAF – Oil Natural Air Forced). Σε αυτή την κατηγορία, η θερμότητα που αναπτύσσεται αποβάλλεται μέσω της φυσικής κυκλοφορίας λαδιού και της εξαναγκασμένης ροής αέρα ψύξης μέσω ειδικών ανεμιστήρων.
 3. Εξαναγκασμένη κυκλοφορία λαδιού (OFAF – Oil Forced Air Forced). Εδώ η κυκλοφορία του λαδιού γίνεται μέσω αντλιών και σωληνώσεων και η κυκλοφορία του αέρα μέσω ανεμιστήρων.
- **M/S ξηρού τύπου:**
 1. Φυσική ψύξη. Το ενεργό μέρος των M/S είναι σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα και δεν εμποτίζεται στο λάδι.
 2. Εξαναγκασμένη ψύξη. Απομάκρυνση της θερμότητας με τη χρήση ανεμιστήρων.

Σε μεγάλες ισχύς και υψηλές τάσεις, όπως στους Y/S YT/MT, χρησιμοποιούνται αποκλειστικά ελαιόψυκτοι M/S. Αντίθετα, στους Y/S MT/XT οι M/S ξηρού τύπου κερδίζουν συνεχώς έδαφος τα τελευταία χρόνια έναντι των ελαιόψυκτων M/S, καθώς καταλαμβάνουν μικρότερο όγκο, χρειάζονται λιγότερη συντήρηση και δεν υπάρχει περιορισμός στη χρήση τους λόγω επικίνδυνων περιβάλλοντων.

2.4.2 Απόδοση M/S

Κατά τη σχεδίαση και κατασκευή ενός M/S, βασικός στόχος είναι η μείωση των απωλειών ισχύος, τόσο για οικονομικούς λόγους όσο και την καλύτερη λειτουργία του ίδιου του M/S.

Γενικά σε οποιοδήποτε σύστημα ο όρος απόδοση αποτελεί ένα κριτήριο αξιολόγησης για την εκπλήρωση των στόχων του συστήματος. Στους M/S ο **βαθμός απόδοσης** (Transformer efficiency) ορίζεται ως ο λόγος της ωφέλιμης ισχύος στην έξοδο του M/S προς την απαιτούμενη ισχύ εισόδου του M/S[17][22].

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (2.1)$$

2.4.3 Απώλειες Μ/Σ

Οι συνολικές απώλειες ισχύος ενός Μ/Σ διακρίνονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με την προέλευση τους στο εσωτερικό του Μ/Σ[22]:

- **Μαγνητικές Απώλειες.** Στο σιδερένιο μέρος του Μ/Σ εμφανίζονται δινορρεύματα και μαγνητική υστέρηση που προκαλούν τις μαγνητικές απώλειες. Ονομάζονται απώλειες σιδήρου ή απώλειες κενού, καθώς εμφανίζονται κατά τη διάρκεια σύνδεσης του Μ/Σ στο δίκτυο.
- **Ηλεκτρικές Απώλειες.** Οφείλονται στις ωμικές αντιστάσεις των χάλκινων τυλιγμάτων χαμηλής και μέσης τάσης των Μ/Σ για αυτό και ονομάζονται και απώλειες χαλκού. Όταν ο Μ/Σ λειτουργεί εν κενώ οι απώλειες χαλκού είναι μηδενικές, ενώ όταν λειτουργεί σε πλήρες φορτίο λαμβάνουν τη μέγιστη τιμή τους.

2.5 Προστασία Δικτύων Διανομής ΜΤ

Κατά τη μελέτη, ανάλυση και λειτουργία των δικτύων, ανεξαρτήτως της βαθμίδας τάσης στην οποία ανήκουν, κρίνεται ζωτικής σημασίας και η εφαρμογή ενός αξιόπιστου συστήματος προστασίας, το οποίο εξασφαλίζει τη συνεχή λειτουργία του δικτύου και τη μέγιστη ασφάλεια φορτίων και καταναλωτών. Τα μέσα ζεύξης και προστασίας, τα οποία θα αναλυθούν παρακάτω, συνθέτουν αυτό το σύστημα ασφαλείας έναντι των σφαλμάτων και η ορθή επιλογή και διαστασιολόγηση τους χαρακτηρίζει την αποτελεσματικότητα όλου του δικτύου.

2.5.1 Είδη Σφαλμάτων

Ως **σφάλμα ή βραχυκύκλωμα** σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας ορίζεται η σκόπιμη ή ανεπιθύμητη δημιουργία αγώγιμης διαδρομής μεταξύ στοιχείων του συστήματος τα οποία, στην κανονική κατάσταση λειτουργίας, βρίσκονται σε διαφορετικό δυναμικό ή μεταξύ στοιχείων του συστήματος σε δυναμικό και της γης[23]. Η σύνθετη αντίσταση της αγώγιμης διαδρομής είναι δυνατόν να κυμαίνεται από μηδενικές ή προσεγγιστικά μηδενικές τιμές, έως και τιμές που αγγίζουν το άπειρο. Το αποτέλεσμα του βραχυκυκλώματος σε ένα ηλεκτρικό δίκτυο ονομάζεται **ρεύμα βραχυκύκλωσης**.

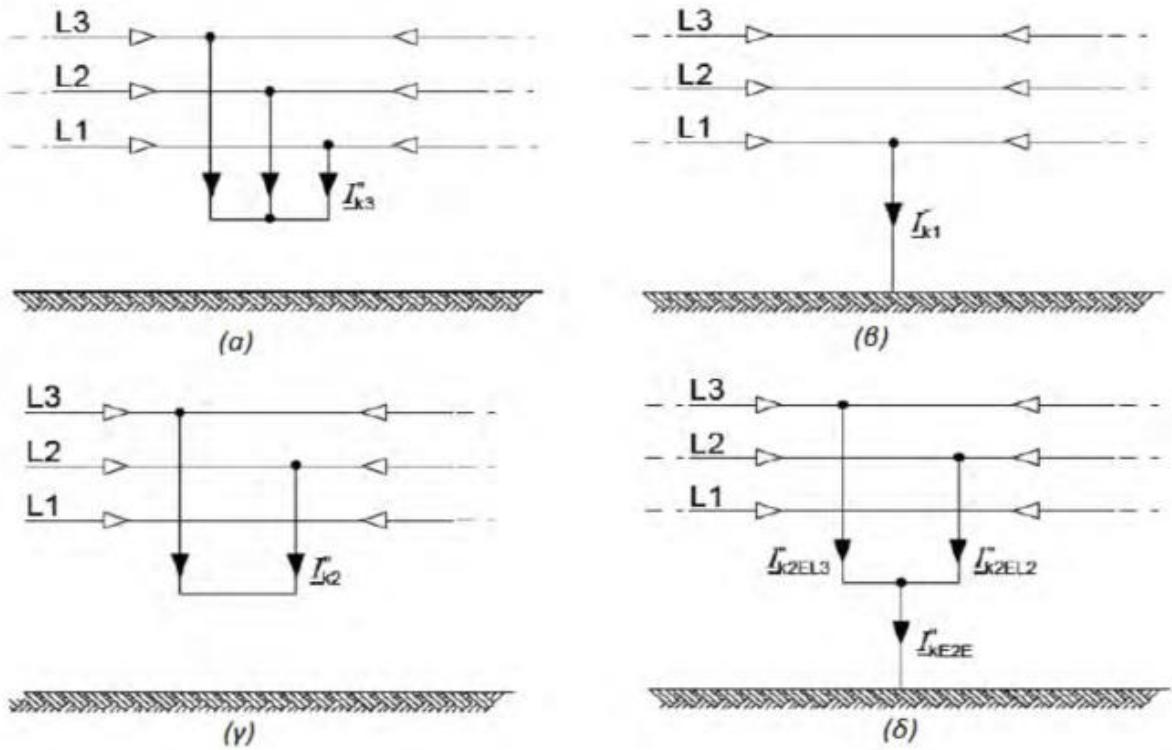
Είναι προφανές λοιπόν, πως τα σφάλματα προκαλούν ιδιαίτερα δυσμενείς επιπτώσεις στα φορτία των καταναλωτών (μηχανές, εγκαταστάσεις, δίκτυα), αλλά και στην ασφάλεια του ανθρώπινου δυναμικού. Για την αντιμετώπιση όλων των ενδεχόμενων κινδύνων των σφαλμάτων είναι αναγκαίο να ληφθούν τα αντίστοιχα μέτρα.

Βασική προϋπόθεση στα πρώτα βήματα σχεδιασμού ενός συστήματος προστασίας, είναι η κατηγοριοποίηση και η ανάλυση των σφαλμάτων και των χαρακτηριστικών που αυτά εμφανίζουν στην εκάστοτε περίπτωση. Πιο αναλυτικά, ανάλογα με τα στοιχεία μεταξύ των οποίων δημιουργείται η αγώγιμη διαδρομή, τα σφάλματα διακρίνονται σε:

- **Μονοφασικά σφάλματα** προς γη.
- **Πολυφασικά σφάλματα** με ή χωρίς γη.

Ακόμη, υπάρχει και ο διαχωρισμός των σφαλμάτων με βάση τη συμμετρία. Έτσι, υπάρχει η εξής διαφοροποίηση:

- ❖ **Συμμετρικά σφάλματα.** Στα σφάλματα αυτά ανήκουν τα τριφασικά βραχυκυκλώματα (three-phase symmetrical fault), στα οποία υπάρχει επαφή των τριών φάσεων μεταξύ τους σε κάποιο σημείο.
- ❖ **Ασύμμετρα σφάλματα.** Πρόκειται είτε για μονοφασικά (single line-to-ground fault) είτε για διφασικά βραχυκυκλώματα με ή χωρίς γη (line-to-line fault or double line-to-ground fault)



Εικόνα 2.13: Διάφορα είδη σφαλμάτων. Συγκεκριμένα: (α) Τριφασικό βραχυκύκλωμα, (β) μονοφασικό βραχυκύκλωμα, (γ) διφασικό βραχυκύκλωμα χωρίς γη, (δ) διφασικό βραχυκύκλωμα με γη.

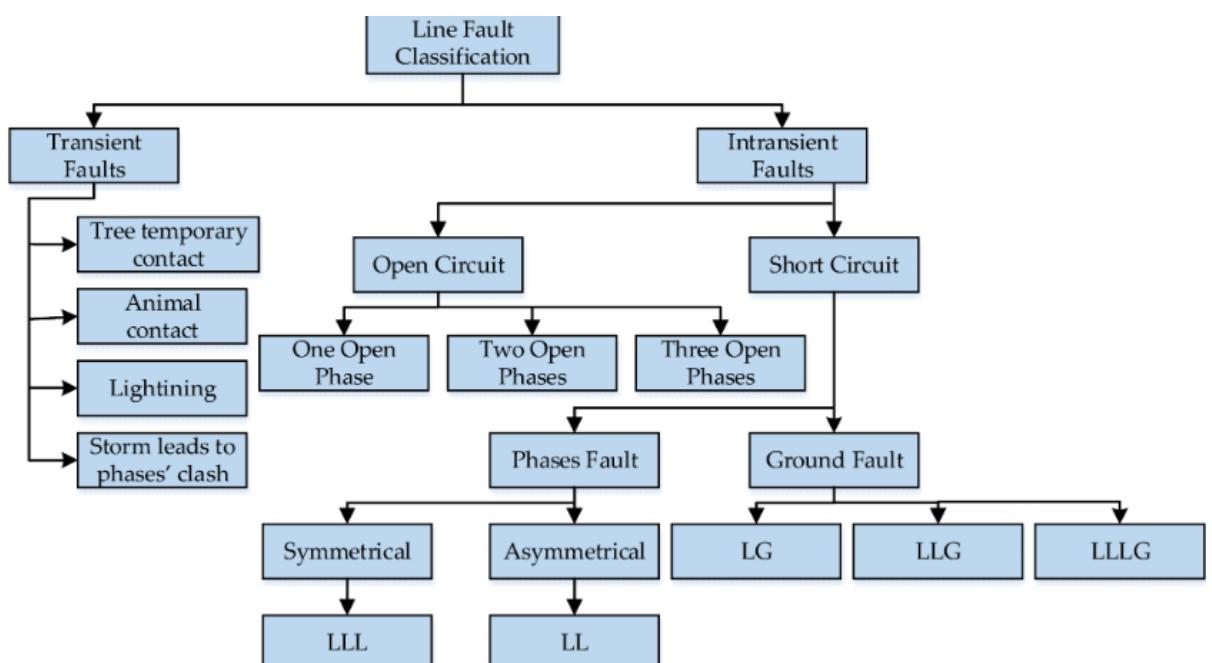
Τα σφάλματα με τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης είναι τα μονοφασικά (80% των περιπτώσεων), ενώ ακολουθούν τα διφασικά με ή χωρίς γη (15% των περιπτώσεων). Η πιο σπάνια περίπτωση αφορά στα τριφασικά σφάλματα (5% των περιπτώσεων).

Τέλος, στα συστήματα διανομής τα σφάλματα ανάλογα με τα χρόνο παραμονής τους στα δίκτυα και τον τρόπο εκκαθάρισης τους διακρίνονται σε:

- **Παροδικά σφάλματα (transient faults).** Τα παροδικά σφάλματα εκκαθαρίζονται χωρίς την παρέμβαση ανθρώπου στο σημείο του σφάλματος. Αποτελούν γενικά το 90% των περιπτώσεων και χωρίζονται σε:
 - Αυτοαποσβενύμενα: Απαλείφονται χωρίς την απαίτηση διακοπής της τάσης του δικτύου.
 - Κυρίως παροδικά: Απαλείφονται με μία στιγμιαία διακοπή της τάσης (διάρκεια διακοπής δέκατα του δευτερολέπτου).
 - Ημιμόνιμα: Απαλείφονται με διακοπή της τάσης για διάρκεια της τάξης μερικών δευτερολέπτων.
- **Μόνιμα σφάλματα (permanent or intransient faults).** Τα μόνιμα σφάλματα παραμένουν στο δίκτυα, ανεξαρτήτως διακοπής ή μη της τάσης. Για την εξάλειψη τους και την αποκατάσταση της ομαλής λειτουργίας απαιτείται η παρέμβαση εξειδικευμένου προσωπικού των διαχειριστών του ηλεκτρικού δικτύου στο σημείο του σφάλματος.

- **Διαλείποντα ή σφάλματα επανέναυσης (restriking faults).** Πρόκειται για ένα συνδυασμό παροδικών και μόνιμων σφαλμάτων, καθώς πρόκειται κυρίως για αυτοαποσβενούμενα σφάλματα τα οποία δεν απαλείφονται οριστικά, αλλά εμφανίζονται ανά διαστήματα αποκτώντας έτσι έναν μόνιμο χαρακτήρα. Λόγω των μεταβατικών υπερτάσεων που δημιουργούνται από τη συνεχή επανεμφάνιση τους, προκαλούν μεγαλύτερες καταπονήσεις στα δίκτυα. Για την οριστική εξάλειψη τους, όπως και στα μόνιμα, απαιτείται η παρέμβαση εξειδικευμένου προσωπικού. Αφορούν το 10% των πιθανών σφαλμάτων.

Όπως είναι εύκολα αντιληπτό, τα παροδικά και διαλείποντα σφάλματα εμφανίζονται κατά κανόνα στα εναέρια δίκτυα μεταφοράς, ενώ τα μόνιμα σφάλματα εμφανίζονται τόσο στα εναέρια όσο και στα υπόγεια δίκτυα. Οι βασικότερες αιτίες σφαλμάτων στα εναέρια δίκτυα είναι οι ατμοσφαιρικές υπερτάσεις, τα ξένα αντικείμενα (πτώση κλαδιών ή δένδρων) και οι δυσχερείς καιρικές συνθήκες. Από την άλλη, στα υπόγεια δίκτυα η μεγάλη πλειονότητα των σφαλμάτων οφείλεται σε βλάβη της μόνωσης των καλωδίων, είτε λόγω γήρανσης είτε λόγω ζημιάς.



Εικόνα 2.14: Διάγραμμα κατηγοριοποίησης των σφαλμάτων στις γραμμές διανομής

2.5.2 Ρεύματα και Ισχύς Βραχυκύκλωσης

Τα στοιχεία του ενός δικτύου θα πρέπει να αντέχουν στις δυναμικές και μηχανικές καταπονήσεις που προκαλούνται κατά τη διάρκεια της επίδρασης των ρευμάτων βραχυκύκλωσης, λόγω των ηλεκτρομαγνητικών δυνάμεων που δημιουργούνται. Επίσης, είναι πολύ σημαντικό να αντέχουν και στις θερμικές καταπονήσεις που προκύπτουν ως αποτέλεσμα της ανύψωσης της θερμοκρασίας, λόγω των μεγάλων ωμικών απωλειών σε περίπτωση βραχυκύκλωματος.

Για την ανάλυση και τον προσδιορισμό των πιθανών επιδράσεων ενός βραχυκύκλωματος στα στοιχεία των δικτύων, γίνεται χρήση ενός συνόλου μεγεθών καθένα από τα οποία περιγράφουν και ένα διαφορετικό χαρακτηριστικό του βραχυκύκλωματος. Έτσι, σύμφωνα με τον κανονισμό IEC 60909[23][24] μελετώνται τα εξής μεγέθη:

1. **Αρχικό συμμετρικό ρεύμα βραχυκύκλωσης I_k''** (initial symmetrical short-circuit current): Είναι η ενεργός (rms) τιμή της εναλλασσόμενης συμμετρικής συνιστώσας του ρεύματος βραχυκύκλωσης, θεωρώντας ως αρχή μέτρησης τον χρόνου τη στιγμή εμφάνισης του σφάλματος.
2. **Μέγιστο ρεύμα βραχυκύκλωσης I_p** (peak short-circuit current): Είναι η μέγιστη στιγμιαία τιμή που λαμβάνει το ρεύμα βραχυκύκλωσης.
3. **Ρεύμα διάσπασης I_b** (short-circuit breaking current): Είναι η ενεργός (rms) τιμή του συμμετρικού ρεύματος βραχυκύκλωσης που ρέει μέσω του διακόπτη ισχύος κατά την αποκοπή του πρώτου πόλου
4. **Ρεύμα βραχυκύκλωσης μόνιμης κατάστασης I_k** (steady-state short-circuit current): Είναι η ενεργός (rms) τιμή του ρεύματος βραχυκύκλωσης μετά την εξάλειψη του μεταβατικού φαινομένου
5. **Αρχική συμμετρική ισχύς βραχυκύκλωσης S_k''** (short-circuit power): Πρόκειται για μία φανταστική μεταβλητή που προκύπτει ως το γινόμενο του αρχικού συμμετρικού ρεύματος βραχυκύκλωσης με την τάση του δικτύου (20 kV για MT) και τον συντελεστή $\sqrt{3}$ σύμφωνα με τον τύπο:

$$S_k'' = \sqrt{3} \times U_n \times I_k'' \quad (2.2)$$

6. **Ισχύς διακοπής S_a** (short-circuit breaking power): Είναι το γινόμενο του ρεύματος διάσπασης με την ονομαστική τάση δικτύου και τον συντελεστή $\sqrt{3}$

Τα μεγέθη S_k'' και S_a χρησιμοποιούνται για τον χαρακτηρισμό της αντοχής των στοιχείων του δικτύου στις καταπονήσεις λόγω βραχυκύκλωμάτων. Υψηλότερες τιμές ρεύματος και μεγαλύτερες θερμικές και μηχανικές καταπονήσεις προκύπτουν κατά τη διάρκεια τριφασικού βραχυκύκλωματος, για αυτό το λόγο και τα μεγέθη αυτά ορίζονται μόνο για αυτόν τον τύπο σφάλματος.

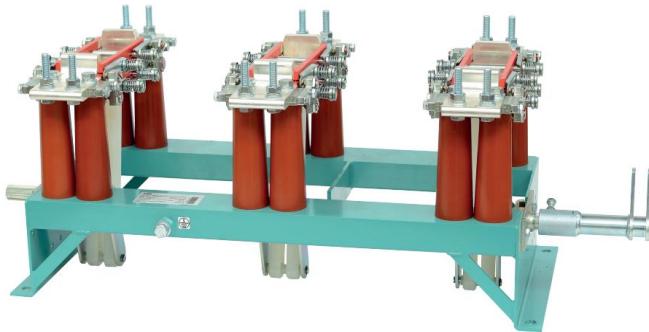
Ο ΔΕΔΔΗΕ ορίζει την ισχύ βραχυκύκλωσης του Ελληνικού Δικτύου MT στα **250 MVA**.

2.5.3 Μέσα Ζεύξης

Τα χρησιμοποιούμενα μέσα ζεύξης στα δίκτυα πρωτεύουσας διανομής κατατάσσονται στις παρακάτω κατηγορίες[20]:

- Αποζεύκτες A/Z (disconnect switches)
- Διακόπτες φορτίου Δ/Φ (load switches)
- Διακόπτες ισχύος Δ/I (circuit breakers)

Οι **αποζεύκτες** είναι διακόπτες που ανοίγουν ένα κύκλωμα υπό ελάχιστο φορτίο και το κλείνουν υπό ελάχιστη τάση. Η χρήση τους συνδυάζεται με επιπλέον μέσα ζεύξης, ώστε να εξασφαλιστεί η ηλεκτρική απομόνωση του κυκλώματος στο οποίο είναι τοποθετημένοι. Η σύνδεση με άλλα μέσα γίνεται με ηλεκτρικές και μηχανικές μανδαλώσεις, καθώς δεν επιτρέπεται ο χειρισμός τους υπό φορτίο. Οι μανδαλώσεις εξασφαλίζουν ουσιαστικά, ότι κατά την απόζευξη του κυκλώματος πρώτα ανοίγει ο Δ/Φ ή Δ/I και στη συνέχεια ο αποζεύκτης. Τέλος, συνδυάζονται με χειροκίνητους ή αυτόματους γειωτές, ώστε να γειώνεται το κύκλωμα για λόγους πρόσθετης ασφάλειας.



Εικόνα 2.15: Τριπολικός αποζεύκτης MT (ABB)

Οι **διακόπτες φορτίου** διακόπτουν και επανασυνδέουν τμήματα του δικτύου υπό ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας και όχι σε συνθήκες σφάλματος, όπου και εντοπίζονται πολύ υψηλότερες τιμές ρευμάτων. Διαθέτουν θάλαμο σβέσης, για την ασφαλή διακοπή του αναπτυσσόμενου ηλεκτρικού τόξου κατά την απόζευξη. Ανάλογα με το μέσο που περιέχει ο θάλαμος σβέσης οι Δ/Φ διακρίνονται σε διακόπτες αέρα, εξαφθοριούχου θείου (SF6) ή κενού. Βασικό κριτήριο επιλογής τους αποτελεί ο αριθμός των χειρισμών που θα εκτελέσουν στο χρονικό διάστημα μεταξύ συντηρήσεων, ωστόσο λαμβάνονται υπόψιν και άλλες παράμετροι όπως η ονομαστική τάση και ένταση λειτουργίας, η θερμική και ηλεκτροδυναμική αντοχή και η μέγιστη ένταση διακοπής ρευμάτων.



Εικόνα 2.16: Τριπολικοί διακόπτες φορτίου MT (ABB)

Οι **διακόπτες ισχύος** θεωρούνται ανώτεροι των Δ/Φ, καθώς έχουν τη δυνατότητα να διακόπτουν και να αποκαθιστούν εντάσεις, τόσο υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας όσο και σε συνθήκες σφάλματος με ρεύματα υψηλών εντάσεων. Η σβέση του τόξου σε αυτήν την περίπτωση επιτυγχάνεται με την εκτόξευση πάνω του ενός άλλου μέσου και ανάλογα το μέσο οι Δ/Ι διακρίνονται σε διακόπτες πτωχού ελαίου, αέρα, εξαφθοριούχου θείου και κενού. Δύο βασικά χαρακτηριστικά που καθορίζουν την επιλογή των Δ/Ι είναι η ικανότητα διακοπής του διακόπτη ανάλογα με την ισχύ βραχυκύκλωσης του δικτύου και ο χρόνος διακοπής του σφάλματος.



Εικόνα 2.17: Διακόπτης ισχύος κενού (ABB)

2.5.4 Μέσα Προστασίας

Οι διατάξεις προστασίας έχουν καίριο ρόλο στην απρόσκοπτη και ασφαλή λειτουργία του δικτύου και στην αξιοπιστία και ποιότητα της παρεχόμενης ενέργειας. Τα μέσα προστασίας ενός ΣΗΕ θα πρέπει να δίνουν τη δυνατότητα εντοπισμού της θέσης του σφάλματος και ταυτόχρονα να εξασφαλίζουν την ταχύτερη ηλεκτρική απομόνωση του. Στα δίκτυα πρωτεύουσας διανομής (ΜΤ) τα κυριότερα μέσα προστασίας διαχωρίζονται στις εξής κατηγορίες[20]:

- ❖ **Ηλεκτρονόμοι προστασίας** (protection relays). Αποτελούν βασική συνιστώσα των συστημάτων προστασίας. Οι συγκεκριμένοι Η/Ν παρακολουθούν κάποιο φυσικό μέγεθος (ρεύμα, τάση) και ενεργοποιούνται όταν το επιτηρούμενο μέγεθος υπερβεί κάποια προκαθορισμένα όρια.



Εικόνα 2.18: Ηλεκτρονόμοι προστασίας δικτύου MT (Schneider Electric)

- ❖ **Επαναληπτικοί διακόπτες ισχύος με Η/Ν υπερέντασης.** Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη ενότητα οι Δ/Ι εκτελούν τόσο χειρισμούς ζεύξης/απόζευξης, όσο και διακοπή βραχυκυκλωμάτων και απομόνωση του σφάλματος. Η ικανότητα διακοπής του διακόπτη θα πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με την ισχύ βραχυκύκλωσης του δικτύου στη θέση του σφάλματος. Οι Η/Ν υπερέντασης που διαθέτουν, επιτηρούν την ένταση του ρεύματος της γραμμής και μόλις αυτή υπερβεί μία συγκεκριμένη τιμή (υπερένταση) διεγείρονται και κλείνουν την επαφή τους. Το κλείσιμο της επαφής των Η/Ν υπερέντασης διεγείρει με τη σειρά της τον βοηθητικό Η/Ν, ο οποίος στέλνει σήμα και ανοίγει ο Δ/Ι. Η δυνατότητα επαναληπτικής λειτουργίας που διαθέτουν οι συγκεκριμένοι Δ/Ι είναι ιδιαίτερα χρήσιμα στα εναέρια δίκτυα όπου το μικρότερο ποσοστό των σφαλμάτων χαρακτηρίζονται ως μόνιμα.
- ❖ **Διακόπτες αυτόματης επαναφοράς** (reclosers). Οι Δ/ΑΕ εκτελούν τις ίδιες λειτουργίες με τους Δ/Ι, με τη διαφορά ότι δεν ελέγχονται από εξωτερικούς Η/Ν. Είναι αυτοελεγχόμενες συσκευές, καθώς μέσα από τον ελεγκτή τους εξασφαλίζεται η δυνατότητα κύκλων διακοπής-επαναφοράς και χειρισμών (χειροκίνητα ή εξ-αποστάσεως). Οι Δ/ΑΕ μπορούν να είναι είτε τριφασικοί, οι οποίοι διακρίνονται σε τύπου ελαίου και ξηρού τύπου, είτε μονοφασικοί. Βασικό πλεονέκτημα των μονοφασικών Δ/ΑΕ είναι ότι στην περίπτωση μονοφασικού σφάλματος λειτουργεί μόνο ο αντίστοιχος διακόπτης της πληγείσας φάσης, χωρίς να διαταράσσεται η λειτουργία και παροχή των υπόλοιπων δύο φάσεων. Από την

άλλη, οι Δ/ΑΕ υστερούν έναντι των Δ/Ι καθώς έχουν μικρότερη ικανότητα διακοπής ρευμάτων βραχυκύκλωσης και χρησιμοποιούνται κυρίως ως ενδιάμεση βαθμίδα προστασίας.



Εικόνα 2.19: Διακόπτης αυτόματης επαναφοράς (ABB)

- ❖ **Διακόπτες απομόνωσης** (sectionalizers). Οι Δ/Α αποτελούν συσκευές προστασίας των εναέριων δικτύων διανομής και συνδυάζονται πάντα με Δ/Ι ή Δ/ΑΕ. Λειτουργούν ουσιαστικά ως διακόπτες φορτίου, καθώς ανοίγουν και κλείνουν τις επαφές τους μόνο σε συνθήκες πλήρους φορτίου και όχι υπό σφάλμα. Το άνοιγμα τους κατά το σφάλμα γίνεται αυτόματα, ενώ το κλείσιμο τους χειροκίνητα. Παρόμοια με τους Δ/ΑΕ μπορούν να είναι είτε τριφασικοί είτε μονοφασικοί.



Εικόνα 2.20: Διακόπτης απομόνωσης

- ❖ **Ασφάλειες** (fuses). Οι ασφάλειες προστατεύουν το κύκλωμα στο οποίο είναι τοποθετημένες σε περιπτώσεις υπερφορτίσεων αυξημένης χρονικής διάρκειας ή και βραχυκύκλωμάτων. Η λειτουργία τους βασίζεται στο τηκτό στοιχείο που διαθέτουν. Το τηκτό είναι ένας ειδικά διαμορφωμένος αγωγός από άργυρο ή και κράματα του, αρκετά μικρότερης διατομής συγκριτικά με τον αγωγό της γραμμής που είναι τοποθετημένη η ασφάλεια. Σε περίπτωση σφάλματος ή διαρκής υπερφόρτισης προκαλείται έντονη υπερθέρμανση του τηκτού, η οποία ακολουθώς οδηγεί στην τήξη και καταστροφή του προκαλώντας ασυνέχεια στο κύκλωμα (διακοπή).

Οι ασφάλειες Μέσης Τάσης (ΜΤ) διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- 1) **Ασφάλειες σκόνης**
- 2) **Ασφάλειες εκτόνωσης**

Ο μηχανισμός της τήξης είναι ίδιος για όλους τους τύπους ασφαλειών, ωστόσο διαφέρει ο μηχανισμός σβέσης του τόξου. Στις ασφάλειες σκόνης η σβέση του τόξου γίνεται εντός του χώρου του φυσιγγίου της, μέσω της κατάλληλης σκόνης που διαθέτει. Στις ασφάλειες εκτόνωσης η σβέση του τόξου πραγματοποιείται μέσω της εκτόνωσης του αέρα, λόγω της τήξης του τηκτού, εντός του κυλινδρικού σωλήνα μέσα στον οποίο βρίσκεται ο αγωγός του τηκτού.

Οι ασφάλειες πλεονεκτούν συγκριτικά με τα άλλα μέσα προστασίας από υπερεντάσεις (Δ/I , Δ/AE) στο γεγονός ότι οι χρόνοι διακοπής τους σε ρεύματα βραχυκύκλωσης είναι αισθητά μικρότεροι, με αποτέλεσμα να περιορίζουν σημαντικά τις θερμικές και μηχανικές καταπονήσεις στο δίκτυο. Στα μειονεκτήματα τους είναι η απαιτούμενη χρονική διάρκεια και η οικονομική δαπάνη που απαιτεί η αντικατάσταση του μετά από κάθε διακοπή της λειτουργίας τους.



Εικόνα 2.21: Ασφάλεια εκτόνωσης (αριστερά) και ασφάλεια σκόνης (δεξιά)

- ❖ **Απαγωγείς υπερτάσεων** (surge arresters). Οι υπερτάσεις αποτελούν φαινόμενα κατά τα οποία εντοπίζεται μεγάλη αύξηση του μεγέθους της τάσης του δικτύου. Τα αίτια των φαινομένων αυτών μπορούν να είναι είτε εσωτερικά είτε εξωτερικά. Πηγές των εξωτερικών υπερτάσεων είναι οι ατμοσφαιρικές εκκενώσεις (κεραυνοί), ενώ των εσωτερικών είναι τα εσωτερικά λειτουργικά φαινόμενα του δικτύου, όπως το άνοιγμα και το κλείσιμο διακοπών υπό συνθήκες έντονης φόρτισης. Γενικά στο σύνολο τους οι εξωτερικές υπερτάσεις είναι πολύ πιο έντονες από τις εσωτερικές. Τα εναέρια δίκτυα μπορούν να πληγούν τόσο από εξωτερικές όσο και από εσωτερικές υπερτάσεις, σε αντίθεση με τα υπόγεια όπου εμφανίζονται μόνο εσωτερικές υπερτάσεις. Είναι προφανές λοιπόν, πως ένα ολοκληρωμένο και αξιόπιστο σύστημα προστασίας δικτύων και γραμμών πρέπει να εξασφαλίζει και την απαραίτητη προστασία έναντι των υπερτάσεων.

Οι απαγωγείς υπερτάσεων χρησιμοποιούνται για την προστασία του εξοπλισμού του δικτύου κατά των έντονων ηλεκτρικών και μηχανικών καταπονήσεων που προκαλούν οι υπερτάσεις. Οι απαγωγείς αυτοί τοποθετούνται μεταξύ των αγωγών των φάσεων και του αγωγού γης, σε συγκεκριμένα σημεία του δικτύου που είναι περισσότερο ευαίσθητα και πιο πιθανά να πληγούν από υπερτάσεις. Σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας οι απαγωγείς

εμφανίζουν πολύ υψηλή αντίσταση, με αποτέλεσμα το ρεύμα που τους διαρρέει να είναι μηδενικό. Κατά την εμφάνιση υπέρτασης, όπως στη πτώση ενός κεραυνού, η αναπτυσσόμενη υπέρταση μηδενίζει την αντίσταση του απαγωγέα και επιτρέπει την ασφαλή δίοδο του ρεύματος δια μέσω του και προς τη γη, περιορίζοντας στο ελάχιστο την επίδραση στο υπόλοιπο δίκτυο. Μετά τη λήξη του φαινομένου, η αντίσταση του απαγωγέα επιστρέφει στα αρχικά της επίπεδα. Η αντίσταση αυτή έχει μορφή κυλινδρικού δίσκου και μπορεί να είναι κατασκευασμένη από ανθρακικό πυρίτιο (CaSiO_3), οξείδιο του ψευδαργύρου (ZnO) και άλλα μεταλλοξείδια.



Εικόνα 2.22: Απαγωγέις υπερτάσεων MT

Κεφάλαιο 3: Βασικά Υλικά Δικτύου Διανομής ΜΤ

Ιδιαίτερη σημασία κατά τη μελέτη και υλοποίηση ενός δικτύου διανομής, έχουν και τα υλικά τα οποία συνθέτουν το δίκτυο και καθιστούν εφικτή την αποτελεσματική μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας. Τα κύρια υλικά σε ένα δίκτυο διανομής είναι τα εξής:

- i. **Αγωγοί** (Conductors).
- ii. **Στύλοι – Πυλώνες** (Poles – Structures).
- iii. **Μονωτήρες** (Insulators).
- iv. **Εξαρτήματα στήριξης και σύνδεσης** (κοχλίες, επίτονοι, σύνδεσμοι).

Στο παρόν κεφάλαιο, λοιπόν, γίνεται μία παρουσίαση και σύντομη αναφορά στα βασικά υλικά των δικτύων διανομής, ενώ η πλήρης ανάλυση της μηχανικής λειτουργίας τους και των χαρακτηριστικών τους θα γίνει στο κεφάλαιο της βασικής μηχανικής μελέτης των εναέριων δικτύων διανομής (βλ. κεφάλαιο 5).

3.1 Αγωγοί

Οι αγωγοί (καλώδια) είναι ένα από τα βασικότερα υλικά των δικτύων διανομής, καθώς το είδος, τα χαρακτηριστικά και οι ιδιότητες τους αποτελούν τη βάση για την επιλογή όλων των υπόλοιπων υλικών του δικτύου. Για την επιλογή των κατάλληλων αγωγών θα πρέπει να καλύπτονται και κάποιες προϋποθέσεις[25]. Συγκεκριμένα:

- a) Υψηλή αντοχή εφελκυσμού (tensile strength), ώστε να αντέχουν τις μηχανικές καταπονήσεις.
- b) Υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα.
- c) Χαμηλό ειδικό βάρος, ώστε ο λόγος βάρους προς μονάδα όγκου να είναι μικρός.
- d) Χαμηλό κόστος ανά χιλιόμετρο, ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μεγάλες αποστάσεις.

Η ικανοποίηση όλων των παραπάνω προϋποθέσεων ταυτόχρονα δεν είναι εφικτή, οπότε κατά την επιλογή των αγωγών σε κάποια εφαρμογή και εγκατάσταση δικτύου διανομής είναι σημαντικό να γίνεται ένας συμβιβασμός μεταξύ του κόστους και των απαιτούμενων ηλεκτρικών και μηχανικών χαρακτηριστικών που θα διαθέτουν οι αγωγοί.

3.1.1 Υλικά Αγωγών

Τα πρώτα δίκτυα διανομής κατασκευάζονταν σχεδόν αποκλειστικά με αγωγούς χαλκού, οι οποίοι αν και έχουν υψηλό λόγο βάρους, με αποτέλεσμα οι αποστάσεις μεταξύ των στύλων να είναι μικρές, έχουν πολύ υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα. Σταδιακά οι εξελίξεις στην τεχνολογία εισήγαγαν και το αλουμινίο ως υλικό των αγωγών. Οι αγωγοί αλουμινίου παρουσιάζουν μικρότερο βάρος από τον χαλκό και παρόλο που έχουν χαμηλότερη ηλεκτρική αγωγιμότητα, η αναλογία κόστους ανά χιλιόμετρο γραμμής που προσφέρουν καθιστά πιο ευνοϊκή τη χρήση τους. Άλλα υλικά που χρησιμοποιούνται ως αγωγοί είναι ο γαλβανισμένος

χάλυβας και ο χαλκός που έχει υποστεί επικαδμίωση. Πιο αναλυτικά για τα διάφορα υλικά των αγωγών αξίζει να αναφερθούν τα εξής:

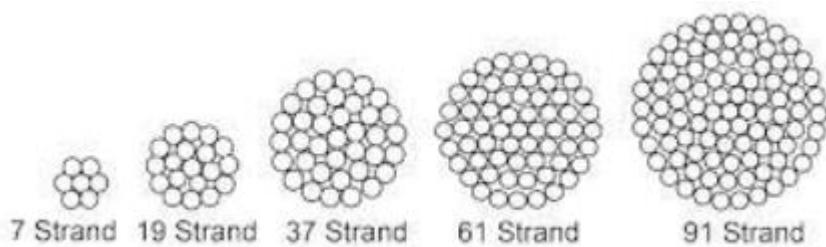
- **Χαλκός (Copper).** Ο χαλκός είναι ένα πολύ καλό υλικό για τους αγωγούς των γραμμών διανομής λόγω της καλής αντοχής εφελκυσμού και της υψηλής αγωγιμότητας του. Στους αγωγούς χρησιμοποιείται χαλκός σκληρής ολκήσεως με τη μορφή πολύκλωνων καλωδίων. Ένα ακόμη θετικό του χαλκού είναι η καλή ρευματική πυκνότητα που παρουσιάζει. Ως αποτέλεσμα εμφανίζει μικρότερες απαιτήσεις σε διατομές και λόγω της μικρότερης επιφάνειας του ο αγωγός δέχεται και λιγότερες μηχανικές καταπονήσεις από το περιβάλλον (πάγος, άνεμος). Ο βασικός περιορισμός στη χρήση του χαλκού αφορά τα υψηλό κόστος και τη χαμηλή διαθεσιμότητα του υλικού.
- **Αλουμίνιο (Aluminum).** Είναι ένα υλικό φθηνότερο και ελαφρύτερο του χαλκού, αλλά με μικρότερη ηλεκτρική αγωγιμότητα και αντοχή εφελκυσμού. Πιο συγκεκριμένα, η αγωγιμότητα του αλουμινίου είναι της τάξης του 60% της αγωγιμότητας του χαλκού. Αυτό σημαίνει πως για να εξασφαλιστεί ίδια ικανότητα μεταφοράς ρεύματος ο αγωγός αλουμινίου θα πρέπει να έχει μεγαλύτερη διατομή συγκριτικά με τον αγωγό χαλκού. Από την άλλη το ειδικό βάρος του αλουμινίου (2.71 gm/cc) είναι πολύ μικρότερο από αυτό του χαλκού (8.9 gm/cc), οπότε ο αγωγός αλουμινίου είναι σχεδόν 1.5 φορές ελαφρύτερος από τον αγωγό χαλκού. Επίσης ανάλογα με την διατομή που επιλέγεται για τους αγωγούς, το κόστος του αλουμινίου είναι αισθητά μικρότερο.
- **Γαλβανισμένος χάλυβας (Galvanized steel).** Ο χάλυβας (ατσάλι) εμφανίζει ιδιαίτερα σημαντική αντοχή εφελκυσμού, οπότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μεγάλα μήκη γραμμών ή σε μικρότερα μήκη σε γραμμές που δέχονται υψηλές καταπονήσεις λόγω ακραίων συνθηκών. Λόγω της χαμηλής αγωγιμότητας και της υψηλής αντίστασης του χάλυβα, δεν χρησιμοποιούνται τέτοιοι αγωγοί για τη μεταφορά μεγάλης ισχύος σε μεγάλες αποστάσεις. Αγωγοί γαλβανισμένου χάλυβα τοποθετούνται αντί αγωγών χαλκού, κυρίως σε κοντές γραμμές και σε αγροτικές περιοχές εφόσον καλύπτουν τις απαιτήσεις διατομών, κόστους και αντοχής.
- **Χαλκός με επικαδμίωση (Cadmium Copper).** Η προσθήκη 1-2% καδμίου στο χαλκό αυξάνει την αντοχή εφελκυσμού κατά 50%, ενώ η αγωγιμότητα μειώνεται μόνο κατά 15% σε σχέση με τον καθαρό χαλκό. Αυτοί οι αγωγοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε γραμμές πολύ μεγάλου μήκους. Ωστόσο λόγω του υψηλού κόστους του καδμίου, τέτοιοι αγωγοί αποτελούν καλή τεχνο-οικονομική λύση μόνο για μακριές γραμμές μικρής διατομής και επομένως δεν αποτελούν καλή επιλογή για τη μεταφορά MT.

Λαμβάνοντας υπόψιν όλα τα παραπάνω γίνονται εμφανής οι λόγοι που η χρήση του χαλκού και του αλουμινίου ως αγωγών προτιμάται από τους κατασκευαστές των ηλεκτρικών δικτύων σε παγκόσμιο επίπεδο. Ακόμη, στα δίκτυα διανομής μεγάλης ισχύος (δίκτυα MT, YT και YYT) το αλουμίνιο αποτελεί την καλύτερη επιλογή αγωγού, δεδομένου του χαμηλού κόστους και της ικανοποιητικής δυνατότητας μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας που προσφέρει.

3.1.2 Τύποι Αγωγών

Οι αγωγοί αλουμινίου που χρησιμοποιούνται στα δίκτυα μεταφοράς και διανομής διακρίνονται στις εξής κατηγορίες[26]:

- **AAC** (All Aluminum Conductor). Πρόκειται για πολύκλωνους αγωγούς που κατασκευάζονται από καθαρό αλουμίνιο. Οι αγωγοί AAC χρησιμοποιούνται σε αστικές περιοχές όπου τα ανοίγματα των στύλων είναι μικρά ή σε παραθαλάσσιες περιοχές καθώς εμφανίζουν πολύ χαμηλή διαβρωτικότητα.



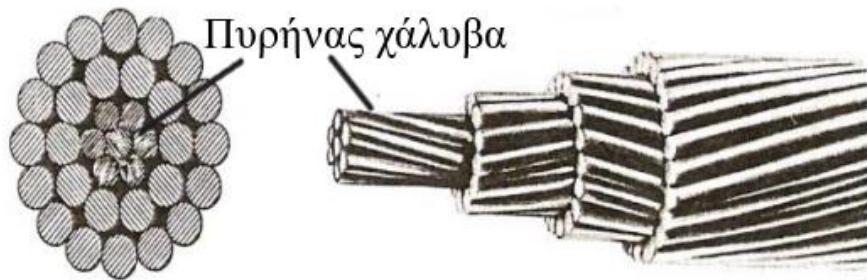
Eικόνα 3.1: Μεγέθη πολύκλωνου αγωγού AAC

- **AAAC** (All Aluminum Alloy Conductor). Οι αγωγοί αυτοί κατασκευάζονται από ένα κράμα Αλουμινίου-Μαγνησίου-Πυριτίου για να αυξηθεί η αγωγιμότητα και τα μηχανικά χαρακτηριστικά του αλουμινίου. Πιο συγκεκριμένα, το κράμα αποτελείται από Αλουμίνιο 6201, Μαγνήσιο 0.6-0.9% και Θείο 0.5-0.9%. Οι αγωγοί AAAC έχουν καλύτερη αγωγιμότητα και εμφανίζουν μικρότερες απώλειες από τους ACSR, αλλά έχουν ταυτόχρονα και μεγαλύτερα συντελεστή θερμικής διαστολής.



Eικόνα 3.2: Αγωγός AAAC

- **ACSR** (Aluminum Conductor, Steel Reinforced). Για τη βελτίωση της εφελκυστικής αντοχής και την αύξηση του μήκους των γραμμών με αγωγούς αλουμινίου, ο πυρήνας του αγωγού ενισχύεται με γαλβανισμένο χάλυβα. Έτσι, η μεγαλύτερη «ποσότητα» του ρεύματος μεταφέρεται μέσω του αλουμινίου, ενώ ο χάλυβας προσδίδει ταυτόχρονα μηχανική αντοχή στον αγωγό. Ο λόγος των διατομών των δύο μετάλλων είναι συνήθως 1:6, αλλά μπορεί να μεταβληθεί και στο 1:4 αν απαιτείται μεγαλύτερη αντοχή εφελκυσμού.



Εικόνα 3.3: Μορφή αγωγού αλουμινίου-χάλυβα ACSR

- **ACCC** (Aluminum Conductor Composite Core). Πρόκειται για αγωγούς αλουμινίου, που έχουν στον πυρήνα τους ανθρακόνημα, το οποίο περιβάλλεται από υαλοβάμβακα. Έχουν πολύ χαμηλό συντελεστή θερμικής διαστολής και συνδυάζουν υψηλή απόδοση και καλή αντοχή εφελκυσμού.



Εικόνα 3.4: Μορφή αγωγού ACCC

Τέλος, να σημειωθεί πως πολύ συχνά χρησιμοποιείται για τους αγωγούς αλουμινίου ο όρος **ισοδύναμη διατομή χαλκού**. Ο όρος αυτός περιγράφει τη διατομή που θα είχε ένας αγωγός ίσης αντίστασης, αν κατασκευαζόταν από χαλκό.

Όπως αναλύθηκε και παραπάνω, εκτός από τους αγωγούς αλουμινίου, στα δίκτυα διανομής ΜΤ χρησιμοποιούνται και αγωγοί χαλκού.



Εικόνα 3.5: Χάλκινο καλώδιο ΜΤ

3.1.3 Εναέρια Καλώδια ΔΕΔΔΗΕ

Οι αγωγοί που χρησιμοποιούνται στα Εναέρια Δίκτυα Διανομής από τον ΔΕΔΔΗΕ διαφέρουν ανάλογα με το επίπεδο της τάσης. Έτσι λοιπόν στη ΜΤ ο ΔΕΔΔΗΕ χρησιμοποιεί αγωγούς ACSR και χαλκού (Cu), ενώ σε παλαιότερες εφαρμογές εντοπίζονται και αγωγοί AAC. Πιο συγκεκριμένα, στις απλές γραμμές με ξύλινους στύλους χρησιμοποιεί δίκτυο 3 αγωγών ACSR ή Cu και στις διπλές 6 αγωγούς. Στις γραμμές με στύλους οπλισμένου σκυροδέματος (τσιμεντόστυλοι) μπορεί να υπάρχει κάτω από τις φάσεις και αγωγός γης. Αναλυτικά, συναντώνται τα εξής τυποποιημένα είδη αγωγών και διατομών[27]:

- Γυμνοί αγωγοί
 - Αγωγοί ACSR 16 mm^2 , 35 mm^2 , 95 mm^2 (Ισοδύναμες διατομές χαλκού).
 - Αγωγοί Cu 16 mm^2 , 35 mm^2 , 95 mm^2 .
 - Αγωγοί AAC πραγματικής διατομής 35 και 185 mm^2
- Συνεστραμμένα καλώδια: Καλώδια αναρτημένου τύπου 3 φάσεων από αλουμίνιο και αναρτώνται από ατσάλινο συρματόσχοινο με πλαστική επένδυση. Χρησιμοποιούνται σε δασώδεις περιοχές, σε παραθαλάσσιες ή περιοχές με χημική ρύπανση και σε ορεινές περιοχές όπου συναντάται έντονη επικάθιση πάγου στους αγωγούς.
 - $3 \times 50 \text{ mm}^2$ Al + 50 mm^2 St.
 - $3 \times 150 \text{ mm}^2$ Al + 50 mm^2 St.

3.1.4 Υπόγεια Καλώδια ΔΕΔΔΗΕ

Στα υπόγεια δίκτυα χρησιμοποιούνται σήμερα από τον ΔΕΔΔΗΕ οι εξής αγωγοί[27]:

- Τριπολικό καλώδιο (NAEKBA) με αγωγούς αλουμινίου, μόνωση κατασκευασμένη από εμποτισμένο χαρτί, τριών ανεξάρτητων μολύβδινων μανδύων με κοινό χαλύβδινο οπλισμό και διατομής $3 \times 240 \text{ mm}^2$.
- Τρία μονοπολικά καλώδια με αγωγούς αλουμινίου, με μόνωση XLPE, θωράκιση Al και εξωτερικό προστατευτικό μανδύ από PVC, διατομής 240 mm^2 , συνεστραμμένα γύρω από αγωγό γης από Al, διατομής 25 mm^2 που περιβάλλεται από μολύβδινο μανδύ. Για ευκολία συμβολίζονται ως $3 \times 240 \text{ mm}^2$ Al + 25 mm^2 Al. Πλέον, τα καλώδια XLPE αντικαθιστούν σταδιακά τα καλώδια τύπου NAEKBA.

3.2 Στύλοι - Πυλώνες

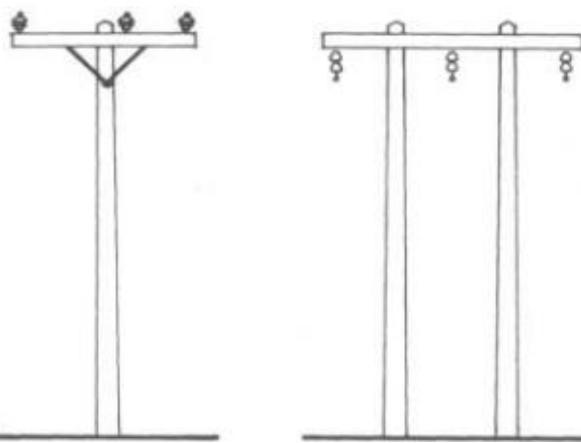
Μετά την επιλογή τους οι αγωγοί αναρτώνται και στηρίζονται στους στύλους ή πυλώνες, οι οποίοι αποτελούν ένα ακόμη βασικό υλικό των εναέριων δικτύων διανομής. Οι στύλοι οφείλουν να καλύπτουν ορισμένες προδιαγραφές για να μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις γραμμές. Συγκεκριμένα[25]:

- i. Να έχουν όσο το δυνατόν μικρότερο βάρος χωρίς όμως να επηρεάζεται η μηχανική τους αντοχή
- ii. Να έχουν την κατάλληλη μηχανική αντοχή για να υποστηρίξουν το βάρος των αγωγών και τις επιφορτίσεις του περιβάλλοντος (αέρας, πάγος)
- iii. Να έχουν μεγάλο χρόνο ζωής
- iv. Να διασφαλίζουν εύκολη προσβασιμότητα στους αγωγούς
- v. Να έχουν χαμηλό κόστος κατασκευής, μεταφοράς και συντήρησης

Σήμερα υπάρχουν διάφορα είδη στύλων ανάλογα με το υλικό κατασκευής τους, όπως είναι οι ξύλινοι στύλοι, οι τσιμεντόστυλοι και χαλύβδινοι στύλοι (κυρίως στα δίκτυα μεταφοράς υψηλής τάσης), ενώ παλαιότερα υπήρχαν και οι σιδερένιοι δικτυωτοί στύλοι που έχουν πλέον καταργηθεί. Ο ΔΕΔΔΗΕ χρησιμοποιεί ξύλινους στύλους και τσιμεντόστυλους ανάλογα με τις προδιαγραφές και τις απαιτήσεις κάθε εφαρμογής.

3.2.1 Ξύλινοι Στύλοι

Οι **ξύλινοι στύλοι** (Wooden Poles) υπερτερούν σημαντικά έναντι των τσιμεντόστυλων για την κατασκευή υπεραστικών γραμμών ΜΤ και ιδιαίτερα σε ανώμαλα εδάφη, καθώς είναι ελαφρότεροι και ελαστικότεροι που συνεπάγεται ευκολότερη μεταφορά, τοποθέτηση και συμπεριφορά κατά τη μηχανική λειτουργία της γραμμής. Στα αρνητικά των ξύλινων στύλων είναι η τάση της βάσης του στύλου που βρίσκεται στο υπέδαφος να σαπίζει, ο σχετικά μικρός χρόνος ζωής τους (20-25 χρόνια), η αδυναμία χρήσης τους σε ΥΤ και YYΤ και η συχνή ανάγκη για επίβλεψη.



Εικόνα 3.6: Τυποποιημένοι ξύλινοι στύλοι διανομής ΜΤ (ΔΕΔΔΗΕ)

3.2.2 Στύλοι Οπλισμένου Σκυροδέματος

Τα βασικά πλεονεκτήματα των **στύλων οπλισμένου σκυροδέματος** (Reinforced Cement Concrete Pole) είναι η μηχανική αντοχή τους και η μεγάλη διάρκεια ζωής τους σε συνδυασμό με τις λιγότερες απαιτήσεις συντήρησης τους. Από την άλλη το κόστος κατασκευής τους και ιδιαίτερα το υψηλό κόστος μεταφοράς τους, λόγω του βάρους τους, περιορίζει τη χρήση τους κυρίως σε αστικές περιοχές με έντονη οικοδόμηση και ελάχιστο πράσινο, καθώς πλεονεκτούν αισθητικά.



Εικόνα 3.7: Τσιμεντόστυλοι ΜΤ (ΔΕΛΔΗΕ)

3.3 Μονωτήρες

Οι μονωτήρες που χρησιμοποιούνται στα δίκτυα διανομής έχουν ως στόχο τη στήριξη και το διαχωρισμό των αγωγών, καλωδίων και ζυγών και την ηλεκτρική τους απομόνωση ως προς τη γη ή άλλους αγωγούς και μη ηλεκτροφόρα στοιχεία. Πρόκειται για διατάξεις σχετικά χαμηλού κόστους που επηρεάζουν σημαντικά τη λειτουργία του συστήματος. Η μόνωση του δικτύου μέσω των μονωτήρων πρέπει να είναι υψηλής αξιοπιστίας, γιατί σε περίπτωση αστοχίας τους μπορεί να διακοπεί η λειτουργία ενός τμήματος ή και ολόκληρου του δικτύου. Η επιλογή των μονωτήρων πρέπει να γίνεται βάσει συγκεκριμένων προδιαγραφών[28]:

- I. **Υψηλή αντίσταση.** Οι μονωτήρες πρέπει να εμφανίζουν υψηλή αντίσταση έναντι της διαρροής του ρεύματος μέσω αυτών.
- II. **Διηλεκτρική αντοχή.** Πρέπει να έχουν υψηλή διηλεκτρική αντοχή έναντι υψηλών τάσεων για την αποφυγή της ηλεκτρικής διάσπασης του υλικού τους.
- III. **Μηχανική αντοχή.** Πρέπει να αντέχουν το βάρος των αγωγών και την επίδραση περιβαλλοντικών και ηλεκτρομαγνητικών επιβαρύνσεων.
- IV. **Θερμική αντοχή.** Τα φυσικά και ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των μονωτήρων πρέπει να παραμένουν αναλλοίωτα στις θερμικές επιδράσεις, λόγω των υψηλών ρευμάτων και τάσεων των γραμμών.
- V. **Χημική αδράνεια.** Πρέπει να κατασκευάζονται από κατάλληλα υλικά και να προστατεύονται, καθώς οι καιρικές συνθήκες και η έκθεση σε ρύπους μπορούν να προκαλέσουν την χημική διάβρωση των μονωτήρων.

3.3.1 Κατηγορίες Μονωτήρων

Οι μονωτήρες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σύμφωνα με το υλικό κατασκευής, τη χρήση, το σχήμα και του χώρου τοποθέτησης τους[29]. Αναλυτικά:

- **Κατηγοριοποίηση βάσει υλικού:**
- Μονωτήρες πορσελάνης (Porcelain Insulators). Κατασκευάζονται από μία σύνθετη ύλη αργιλίου (Al), πυριτίου (Si) και μαγνησίου (Mg).
 - Μονωτήρες γυαλιού (Glass Insulators).
 - Μονωτήρες κεραμικών υψηλής συχνότητας από στεατίτη (Ceramic Insulators).
 - Μονωτήρες εποξειδικής ρητίνης (Epoxy-resin Insulators).
 - Πολυμερείς μονωτήρες (Polymer Insulators). Κατασκευάζονται από ίνες γυαλιού μέσα σε ρητίνη. Περιβάλλονται από ένα ελαστομερές κάλυμμα που προστατεύει από τις καιρικές συνθήκες. Γύρω από αυτό τοποθετούνται ελαστομερείς δίσκοι (σιλικονόχο ή μονομερές καστσούκ), οι οποίοι δημιουργούν μία επιφάνεια που αυξάνει το μήκος ερπυσμού και αποτρέπει τη συγκέντρωση υγρασίας.
- **Κατηγοριοποίηση βάσει της χρήσης:**
- Μονωτήρες ανάρτησης (Suspension Insulators). Χρησιμοποιούνται για την ανάρτηση γραμμών μεταφοράς YT. Αποτελούνται από δισκοειδής μονωτήρες σε αλυσιδωτή μορφή.
 - Μονωτήρες στήριξης (Pin Insulators/Strain Insulators/Shackle Insulators). Τοποθετούνται στις βάσεις των βραχιόνων Μέσης και Υψηλής Τάσης.

- Μονωτήρες γραμμών (Spool Insulators). Χρήση στους αγωγούς δικτύων διανομής έως 70kV.
- Μονωτήρες διέλευσης (Post Insulators). Τοποθετούνται στις θέσεις εξόδου των αγωγών από τους Μ/Σ.

➤ **Κατηγοριοποίηση βάσει του χώρου τοποθέτησης:**

- Τύπου ομίχλης (Fog-type Insulator). Οι μονωτήρες αυτοί χρησιμοποιούνται σε περιοχές με υψηλή υγρασία και δυσχερείς καιρικές συνθήκες, καθώς το μεγάλο μήκος ερπυσμού και το περίπλοκο γεωμετρικό τους σχήμα εμποδίζει την επικάθιση ρύπων
- Κανονικού τύπου (Standard/Normal Insulator). Κατάλληλοι για χρήση σε φυσιολογικές συνθήκες περιβάλλοντος.
- Εσωτερικού τύπου (Indoor Insulator). Χρησιμοποιούνται κυρίως σε υποσταθμούς κλειστού τύπου

➤ **Κατηγοριοποίηση βάσει του σχήματος:**

- Τύπου pin.
- Τύπου cap and pin.
- Τύπου disc (δισκοειδής).

Με βάση λοιπόν όλα τα δομικά χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες που αναλύθηκαν διαμορφώνεται ο παρακάτω πίνακας κατηγοριοποίησης των μονωτήρων.

Πίνακας 3.1: Κατηγοριοποίηση μονωτήρων

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΕΙΔΟΣ
Υλικό Κατασκευής	<ol style="list-style-type: none"> Πορσελάνης Γυαλιού Κεραμικών Υψηλής Συχνότητας Εποξειδικής Ρητίνης Πολυμερών
Τρόπος Σύνδεσης	<ol style="list-style-type: none"> Μονωτήρες Ανάρτησης Μονωτήρες Στήριξης Μονωτήρες Γραμμής Μονωτήρες Διέλευσης
Περιοχή Εγκατάστασης	<ol style="list-style-type: none"> Τύπου Ομίχλης Κανονικού Τύπου Εσωτερικού Τύπου
Σχήμα - Χρήση	<ol style="list-style-type: none"> Μονωτήρες πορσελάνης τύπου pin Μονωτήρες τύπου cap & pin Σύνθετοι πολυμερείς μονωτήρες Μονωτήρες πορσελάνης μεγάλου μήκους Δισκοειδής Μονωτήρες

3.4 Εξαρτήματα Στήριξης και Σύνδεσης

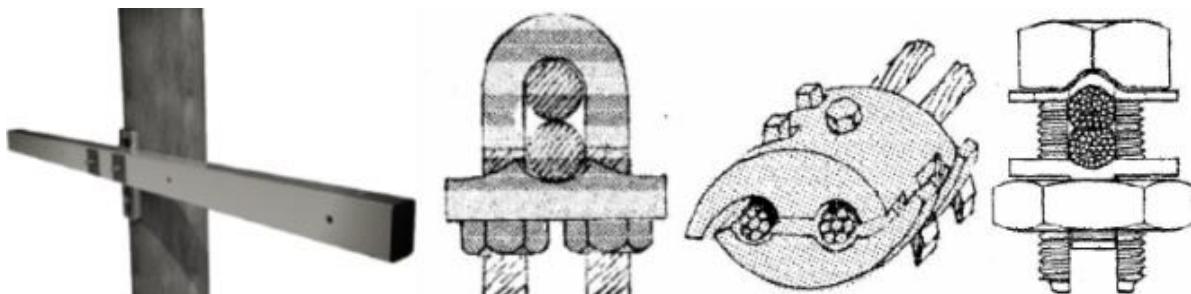
Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται όλα τα εξαρτήματα που είτε τοποθετούνται απευθείας πάνω στους στύλους για την στήριξη και σύνδεση των αγωγών, είτε τοποθετούνται στα σημεία υποστήριξης των στύλων και λοιπών στοιχείων. Μερικά παραδείγματα τέτοιων εξαρτημάτων είναι οι βραχίονες, οι κοχλίες σύνδεσης, οι αντηρίδες και οι επίτονοι.

Οι **οριζόντιοι βραχίονες** (τραβέρσες) τοποθετούνται λίγο πριν την κορυφή των στύλων και αποτελούν ένα ιδιαίτερα σημαντικό εξάρτημα των δικτύων καθώς πάνω σε αυτούς στηρίζονται ή αναρτώνται οι μονωτήρες και οι αγωγοί των γραμμών. Οι βραχίονες μπορούν να είναι ξύλινοι, από οπλισμένο σκυρόδεμα ή ατσάλινοι ανάλογα με τις συνθήκες και την τάση του δικτύου. Ο ΔΕΔΔΗΕ στα δίκτυα διανομής χρησιμοποιεί κυρίως ξύλινους βραχίονες, καθώς συνδυάζουν καλή μηχανική αντοχή, διαθεσιμότητα και χαμηλό κόστος.

Εξαρτήματα στήριξης είναι και τα **υλικά επιτόνωσης**. Οι επίτονοι είναι ουσιαστικά ένα χαλύβδινο συρματόσχοινο, το οποίο προσδένεται από τη μία πλευρά στην κορυφή των στύλων και σε μία αγκυρωμένη ράβδο ή πάσσαλο ή βράχο στο έδαφος από την άλλη.

Ως εξαρτήματα σύνδεσης εννοούμε τους **κοχλίες** και τα **περικόχλια** που χρησιμοποιούνται για τη εγκατάσταση των βραχιόνων και των υλικών επιτόνωσης στους στύλους. Επίσης στα εξαρτήματα σύνδεσης ανήκουν και τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την πρόσδεση, σύνδεση, συνένωση και τερματισμό των αγωγών των γραμμών. Τέτοια εξαρτήματα είναι οι **ενωτήρες**, οι **σφιγκτήρες συμπιέσεως**, οι **κοχλιοσυνδετήρες** και οι **σφιγκτήρες αναρτήσεως τέρματος**.

Τέλος στα συμπληρωματικά υλικά των δικτύων περιλαμβάνονται και οι πινακίδες σήμανσης τάσης και επικινδυνότητας, καθώς και τα φωτιστικά σώματα που τοποθετούνται στους στύλους.



Εικόνα 3.8: Εξαρτήματα στήριξης και σύνδεσης. Από αριστερά προς τα δεξιά α) ξύλινος βραχίονας, β) σφιγκτήρας, γ) κοχλιοσυνδετήρας, δ) ενωτήρας

Κεφάλαιο 4: Τυποποιημένες Κατασκευές Διανομής

Στα δίκτυα διανομής ο ΔΕΔΔΗΕ χρησιμοποιεί κατασκευές που πολλές φορές επαναλαμβάνονται είτε κατά μήκος μιας γραμμής, είτε σε δίκτυα με παρόμοιες συνθήκες και απαιτήσεις. Για λόγους ευκολίας, εξοικονόμησης κόστους και χρόνου οι κατασκευές αυτές έχουν τυποποιηθεί. Αυτό πρακτικά σημαίνει πως ανάλογα με τις προδιαγραφές μιας γραμμής (μήκος, τοπογραφικά στοιχεία, καιρικές συνθήκες), οι κατασκευές που θα χρησιμοποιηθούν σε αυτή επιλέγονται από ένα κατάλογο διαθέσιμων κατασκευών που έχουν μελετηθεί και διαμορφωθεί από τον ΔΕΔΔΗΕ με την πάροδο του χρόνου. Ετσι αποφεύγεται η εκπόνηση πολυδάπανων και χρονοβόρων ειδικών μελετών για κάθε νέο ή υπάρχον δίκτυο.

Η τυποποίηση αυτή ξεκίνησε το 1969 από τη ΔΕΗ με τη συγγραφή της πρώτης έκδοσης του **ΕΤΚΔ (Εγχειρίδιο Τυποποιημένων Κατασκευών Διανομής)**[30]. Το ΕΤΚΔ συνεχίζει να μεταβάλλεται και να ανανεώνεται από τον ΔΕΔΔΗΕ σύμφωνα με τις τελευταίες τεχνολογικές εξελίξεις και κανονισμούς. Η εφαρμογή και τήρηση του ΕΤΚΔ κατά την κατασκευή των δικτύων είναι υποχρεωτική και οποιαδήποτε παρέκκλιση δεν επιτρέπεται.

Ο ΚΕΗΕ και ο ΚΕΣΥΓΗΕ είναι οι δύο θεσμοθετημένοι από τους εθνικούς νόμους κανονισμοί, στους οποίους βασίστηκε η τυποποίηση των δικτύων και κατά επέκταση το ΕΤΚΔ. Ο ΚΕΗΕ προδιαγράφει την ορθή λειτουργία των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων και την ασφάλεια του ανθρώπινου δυναμικού που απασχολούν, ενώ ο ΚΕΣΥΓΗΕ καθορίζει τις τυποποιημένες καιρικές και κλιματικές συνθήκες, τη μορφή των γραμμών, τις ελάχιστες αποστάσεις των στύλων κ.α.

Τέλος, πρέπει να επισημανθεί πως στο υπόλοιπο της εργασίας και ιδίως στο κεφάλαιο της μηχανικής μελέτης, θα γίνονται συχνές αναφορές σε διάφορες τυποποιημένες κατασκευές διανομής. Για την καλύτερη κατανόηση της μηχανικής μελέτης και της εργασίας γενικότερα, προτείνεται στον αναγνώστη ή μελετητή να συμβουλεύεται ταυτόχρονα το **Εγχειρίδιο Τυποποιημένων Κατασκευών Διανομής** (ΕΤΚΔ) το οποίο μπορεί να βρεθεί διαθέσιμο σε ηλεκτρονική μορφή στην ιστοσελίδα του ΔΕΔΔΗΕ.

4.1 Γενικά για το ΕΤΚΔ

Το Εγχειρίδιο Τυποποιημένων Κατασκευών Διανομής χωρίζεται σε 10 κεφάλαια. Το κάθε κεφάλαιο συμβολίζεται από συγκεκριμένα γράμματα του λατινικού αλφάριθμου και περιγράφει τα διάφορα είδη κατασκευών που συναντώνται στα Δίκτυα Διανομής. Η κάθε κατασκευή συμβολίζεται από το λατινικό γράμμα του κεφαλαίου, ακολουθούμενο από έναν αύξοντα αριθμό των κατασκευών του κεφαλαίου π.χ. P-3, G-1, U-20. Στον πίνακα παρακάτω αναλύονται οι συμβολισμοί και το περιεχόμενο κάθε κεφαλαίου. Τέλος, ιδιαίτερα σημαντική είναι η πρώτη σελίδα κάθε κεφαλαίου (FCP-1, F-1, P-1, S-1, T-1, U-1), γιατί σε αυτή εμπεριέχονται πολύ βασικές αρχές για την εφαρμογή τους.

Πίνακας 4.1: Κεφάλαια του ΕΚΤΔ

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ	
Συμβολισμός Κεφαλαίου	Περιεχόμενα Κεφαλαίου
G	ΓΕΝΙΚΑ
C	ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΚΛΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ
CS	ΤΑΝΥΣΕΙΣ ΑΓΩΓΩΝ
FC	ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΑΓΩΓΩΝ
FCP	ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΤΣΙΜΕΝΤΕΝΙΩΝ ΣΤΥΛΩΝ
F	ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΞΥΛΙΝΩΝ ΣΤΥΛΩΝ
P	ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΓΙΑ ΜΕΣΗ ΤΑΣΗ
S	ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΓΙΑ ΧΑΜΗΛΗ ΤΑΣΗ
T	ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΙ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΜΕ ΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗ ΑΠΟ ΕΝΑΕΡΙΟ ΔΙΚΤΥΟ
U	ΥΠΟΓΕΙΑ ΚΑΛΩΔΙΑ ΚΑΙ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΙ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΜΕ ΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗ ΑΠΟ ΥΠΟΓΕΙΟ ΔΙΚΤΥΟ

Στις επόμενες ενότητες του κεφαλαίου ακολουθεί μία συνοπτική περιγραφή των κεφαλαίων του ΕΤΚΔ.

4.2 Κεφάλαιο G – Γενικά

Στο κεφάλαιο αυτό περιέχονται γενικά στοιχεία και οδηγίες που αφορούν στην κατασκευή των δικτύων διανομής. Συγκεκριμένα περιλαμβάνονται τοπογραφικά σύμβολα και συμβολισμοί που περιέχονται στα κατασκευαστικά σχέδια του ΔΕΔΔΗΕ καθώς και οδηγίες που υποδεικνύουν τον τρόπο κλαδέματος των δέντρων που γειτνιάζουν με τους αγωγούς ή τις τυποποιημένες χειρονομίες που πρέπει να εκτελεί το προσωπικό που εργάζεται σε γραμμές του δικτύου διανομής. Ενδεικτικά παρουσιάζονται παρακάτω οι σελίδες G-7 έως G-9 με τους συμβολισμούς των εναέριων δικτύων.

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ ΕΝΑΕΡΙΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ			G-7
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΥΠΑΡΧΟΝΤΑ	ΠΡΟΒΛΕΠΟΜΕΝΑ	
Γραμμή ΜΤ	—	—	
Γραμμή ΧΤ	—	—	
Γραμμή πού πρέπει νά καταργηθεί	—	—	
Γραμμή πού πρέπει νά μεταβληθεί	—	—	
Παροχέτευση	—	—	
Γραμμή τηλεπικοινωνίας έναερία	—	—	
Γραμμή έπιτοιχου καλώδιου	—	—	
Έναερια γραμμή αύξοστήρικου καλώδιου ή στηριζόμενη σε συμπατόσχοντο.	—	—	
Κύβιτο διακλαδώσεως έπιτοιχου καλώδιου 2 κατεύθυνσης	—	—	
Κύβιτο διακλαδώσεως έπιτοιχου καλώδιου 3 κατεύθυνσης.	—	—	
Κύβιτο διακλαδώσεως έπιτοιχου καλώδιου 4 κατεύθυνσης.	—	—	
Κύβιτο διακλαδώσεως έπιτοιχου καλώδιου τέρματος	—	—	
Γραμμή Δημοτικού φωτισμού	—	—	
Φωτιστικό σύμμα μέλαμπτηρα πυρακτώσεως	—	—	
Φωτιστικό σύμμα μέλαμπτηρα φθορισμού	—	—	
Φωτιστικό σύμμα μέλαμπτηρα άτμων θερμαργύρου	—	—	
Τομή γραμμής	—	—	
Αλλαγή κατευθύνσεως	—	—	
Ξύλινος στήλος	○	○	
Τοιμεντένιος στήλος κυλινδρικός	○	○	
Το μεντένιος στήλος δροσιγωνικής διατομής	□	□	
Στήλος χαλύβδινος κυλινδρικός	●	●	
Στήλος χαλύβδινος δικτυωτός τετραγωνικής διατομής	■	■	
Στήλος χαλύβδινος δικτυωτός δροσιγωνικής διατομής	■	■	
Στήλος παροχής	▲	▲	
Πλαίσιο ΧΤ ή πρόσθιος ΜΤ σε στήλο	●	●	
ΔΗΜΟΣΙΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ			MAI 1977
G-7			

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ ΕΝΑΕΡΙΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ			G-8
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΥΠΑΡΧΟΝΤΑ	ΠΡΟΒΛΕΠΟΜΕΝΑ	
Γραμμή Μ.Τ., Ανοιγμάτα, Είδος άγνωμη, Διατομές	—	—	
Γραμμή ΜΤ σε κατασκευή προβόλου (P-5)	—	—	
Μική γραμμή Μ ή ΧΤ, Αριθμητηρική	—	—	
Γραμμή ΧΤ, Αριθμητηρική Ανοιγμάτα, Διατομές, Φάσεις	—	—	
Γραμμές σε διδύμηση στήλους	—	—	
Άγνοις διάταξης	—	—	
Αντηρίδια βινύλινου στήλου	—	—	
Επίπονοι	—	—	
Επίπονος κεφαλής	—	—	
Παράσταση στήλου ΧΤ. (Κύκλος 20 mm)	—	—	
Παράσταση στήλου μικτής γραμμής Μ ή ΧΤ	—	—	
Απεικόνιση διαφόρων κατεσκεψών ΧΤ (Συμβολίζονται έδωσεις στήλαις)	S-3 S-5 S-7 S-9 S-11 S-11 II (S-3) + (S-13) (S-9) + 2(S-13) S-15	S-3 S-5 S-7 S-9 S-11 S-11 II (S-3) + (S-13) (S-9) + 2(S-13) S-15	
ΔΗΜΟΣΙΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ			MAI 1977
G-8			

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ ΕΝΑΕΡΙΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ			G-9
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΥΠΑΡΧΟΝΤΑ	ΠΡΟΒΛΕΠΟΜΕΝΑ	
Υποσταθμοί Διανομής	□	□	
Υποστριος ήποσταθμός (έπινειος)	□	□	
Υποσταθμός σε κλειστό χώρο	—	—	
Έναεριος ήποσταθμός σε ένα στήλο	—	—	
Έναεριος ήποσταθμός σε δύο στήλους	—	—	
Φορτός ήποσταθμάς	—	—	
Μετασχηματιστής με άνωρθωτη	—	—	
Παράσταση ήποσταθμού διανομής	Y/Δ 15 25 KVA 15/0.4 KV	Y/Δ 15 25 KVA 15/0.4 KV	
Υποσταθμοί ΥΤ / ΜΤ	▲	△	
Υποσταθμός 150 KV / ΜΤ	▲	△	
Υποσταθμός 66 KV / ΜΤ	▲	△	
ΔΗΜΟΣΙΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ			MAI 1977
G-9			

Εικόνα 4.1: Σελίδες G-7 έως G-9 – ETKA

4.3 Κεφάλαιο C – Ελάχιστες Αποστάσεις και Κλάσεις Κατασκευής

Στο κεφάλαιο C του ΕΤΚΔ καθορίζονται οι αποστάσεις ασφαλείας που πρέπει να έχουν όλα τα στοιχεία των δικτύων διανομής (αγωγοί, στύλοι κ.α.), από το έδαφος, το οδόστρωμα, τα κτίρια, αλλά και τις σιδηροδρομικές και ραδιοτηλεφωνικές γραμμές άλλων υπηρεσιών. Στην σελίδα C – 20, όπως φαίνεται παρακάτω, ορίζονται οι ελάχιστες αποστάσεις των αγωγών από στύλους άλλης γραμμής.

C - 20		ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΑΠΟΣΤΑΣΙΕΣ ΑΓΩΓΩΝ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΣΤΥΛΟΥΣ ΆΛΛΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ						
		'Ελάχιστη Διάσταση των άγωγών γραμμής Δύο τούς στύλους ή περγους άλλης γραμμής κοντά στον δύο τούς διέρχονται χωρίς δύμως νά στηρίζονται σ' αυτούς, σε θερμοκρασία 16°C και με άπνοια, δίνονται στον πιοκάτω πίνακα (1).						
'Αγωγοί Γραμμής		O.T.E.	400V	20KV	66KV	150KV	400KV	
Στύλος Γραμμής		'Α ποστ & σε ις σε οι						
O.T.E.	(2)	90 ή τελ	(2)	δ + α	σ + α	ρ + α	ψ + α	
400V	90 ή 15+α	90 ή τελ	δ + α	σ + α	ρ + α	ψ + α		
20KV	90 ή 15+α	90 ή τελ	δ + α	σ + α	ρ + α	ψ + α		
66KV	90 ή 15+α	90 ή τελ	δ + α	σ + α	ρ + α	ψ + α		
150KV	90 ή 15+α	90 ή τελ	δ + α	σ + α	ρ + α	ψ + α		
400KV	90 ή 15+α	90 ή τελ	δ + α	σ + α	ρ + α	ψ + α		

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ:

(1) Οι έλαχιστες διαστάσεις πού διαγράφονται στον πίνακα διφορούν κατ' τις διαστάσεις.

(2) Λαμβάνεται η μεγαλύτερη δύο τιμές.

ΠΛΕΟΝΤΗΣΗ:

α : Διάσταση ίση πρός 2,5m για κάθε 60cm της διαστάσεως των στύλου της διεύθυνσης γραμμής δύο των πλησιέστερο στύλο πρώτης.

δ : δριεζντιος διαχωρισμός των άγωγών 20 KV: λαμβάνεται 90 cm για κατασκευή P-3, 115 cm για P-3B και 156 cm για κατασκευή P-31.

τ : 55 cm για άγωγον 35² και πάνω ή 80 cm για άγωγον 16².

σ : διαχωρισμός άγωγών 66 KV, δ διπλος γενικά είναι 290 cm, ή νά χρησιμοποιείται η πραγματική διάσταση μεταξύ άγωγών.

ρ : διαχωρισμός άγωγών 150 KV, δ διπλος είναι γενικά 500 cm, ή νά χρησιμοποιείται η πραγματική διάσταση μεταξύ άγωγών.

ψ : διαχωρισμός άγωγών 400 KV, δ διπλος λαμβάνεται 1200 cm.

ΙΟΥΛ. 1982

C - 20

ΔΗΜΟΣΙΑ ΕΡΓΧΕΙΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ

Eikόνα 4.2: Σελίδα C-20 – ETKΔ

4.4 Κεφάλαιο CS – Τανύσεις Αγωγών

Το κεφάλαιο αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό και μακροσκελές, καθώς περιέχει πληροφορίες για τους διάφορους αγωγούς που χρησιμοποιούνται στα δίκτυα διανομής και πλήθος εξειδικευμένων διαγραμμάτων που αναλύουν την τάνυση των αγωγών με στόχο τη μέγιστη ισορροπία δυνάμεων. Στην σελίδα CS-2, όπως φαίνεται παρακάτω, περιγράφονται τα χαρακτηριστικά των διάφορων αγωγών.

CS - 2 ΙΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΓΥΜΝΩΝ ΑΓΩΓΩΝ ΣΥΝΕΣΤΡΑΜΜΕΝΩΝ ΚΑΛΩΔΙΩΝ ΙΤ ΚΑΙ ΣΥΡΜΑΤΩΝ ΕΠΙΤΟΝΩΝ				
Διετομή ΛΤΩΝΩΝ mm ²	Βάρος kg/m	Διάμετρος	Κλίνος	Φορτίο Θραύσεως kg
ΑΓΩΓΟΙ ΛΑΟΥΜΙΝΙΟΥ ΜΕ ΧΑΛΥΒΑΙΝΗ ΥΞΗ (ACSR)				
16	0,102	6,96	{6AL 1St}/2,32	934
35	0,224	10,32	{6AL 1St}/3,44	1.953
50	0,321	12,33	{6AL 1St}/4,11	2.665
95	0,609	17,24	26AL/2,72+7St/2,12	5.461
ΑΓΩΓΟΙ ΛΑΟΥΜΙΝΙΟΥ ΜΕ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΗ ΧΑΛΥΒΑΙΝΗ ΥΞΗ (ACSR-R)				
16	0,372	10,32	(3A L+ 4St)/3,11	4.403
ΑΓΩΓΟΙ ΕΚ ΚΡΑΜΜΑΤΟΣ ΛΑΟΥΜΙΝΙΟΥ (AAAC)				
35	0,098	7,50	7/2,50	980
70	0,189	10,50	19/2,10	1.875
185	0,525	17,50	37/2,50	5.176
ΑΓΩΓΟΙ ΛΑΟΥΜΙΝΙΟΥ (AL)				
16	0,074	6,63	7/2,21	468
35	0,158	9,66	7/3,22	905
50	0,229	11,75	19/2,35	1.409
70	0,320	13,90	19/2,78	1.890
ΑΓΩΓΟΙ ΧΑΛΚΟΥ (CU)				
16	0,144	5,13	7/1,71	667
35	0,315	7,59	7/2,53	1.440
50	0,453	9,20	19/1,83	2.084
70	0,634	10,70	19/2,17	2.904
95	0,857	12,65	19/2,53	3.907
ΣΥΝΕΣΤΡΑΜΜΕΝΑ ΚΑΛΩΔΙΑ Ι.Τ.				
3X35+54,6+25	0,815	10,6-12,7-9,2//7X2,33-7X0,21-7X2		7.692
3X70+54,6+25	1,175	13,8-12,7-9,2//12X1,96-7X0,21-7X2		1.692
ΣΥΡΜΑ ΕΠΙΤΟΝΩΝ (S\$)				
Ελαφρύ	0,147	5,60	7/1,83	1.740
Μέσο	0,306	7,80	7/2,64	3.630
Βαρύ	0,595	11,10	7/3,68	6.580
ΣΗΜ. 1. Οι διετομές των αγωγών ACSR, ACSR-R και AL είναι ισοδύν. διετομές CU είναι των αγωγών CU AAAC και των αγωγών των συνεστραμμένων καλώδιων είναι πραγματικές				
2. Οι διετομές οι διάβιμετροι και ο αριθμός κλώνων των συνεστραμμένων καλώδιων δίνονται με την είδησ σειρά : Φεσσεις-φέρων αγωγώς (που είναι και ο ουδέτερος) - κτυπήσεις δημοτικού φωτισμού.				
Οι διάβιμετροι των εμβόλων των συνεστραμμένων καλώδιων περιλαμβάνουν και το πέχος της ημέρας.				
3. Στα συνεστραμμένα καλώδια οι αγωγοί φέσσων και δημοτικού φωτισμού είναι από AL, ενώ ο φέρων είναι από AAAC.				
ΝΟΕΜ. 1985				
CS - 2				

Εικόνα 4.3: Σελίδα CS-2 – ETKA

4.5 Κεφάλαιο FC – Εξαρτήματα Αγωγών

Το κεφάλαιο αυτό περιγράφει τα εξαρτήματα των αγωγών και τη χρήση τους. Αναλύει δηλαδή τους τρόπους με τους οποίους πρέπει να γίνεται η πρόσδεση, σύνδεση, η συνένωση, ο τερματισμός, η ανάρτηση και οι επισκευή των αγωγών χαλκού, αλουμινίου (AAAC) και κράματος αλουμινίου (ACSR και ACSR-R). Παρακάτω φαίνονται οι οδηγίες επισκευής αγωγών ACSR στην περίπτωση τραυματισμού των κλώνων αλουμινίου και χάλυβα.

FC-24	ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΑΓΩΓΩΝ ACSR ΜΕ ΠΡΟΣΧΗΜΑΤΙΣΜΕΝΕΣ ΕΛΙΚΟΕΙΔΕΙΣ ΡΑΒΔΟΥΣ ΘΡΑΥΣΗ ΚΛΩΝΩΝ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΚΑΙ ΧΑΛΥΒΑ						
<p>1. Λανάρια με τη θέση τραυματισμού του αγωγού, το είδος και τη διατομή του να χρησιμοποιήστε τις κατάλληλες ελικοειδείς ράβδους των οποίων ο κύβικας υλικού δίνεται στον παρακάτω πίνακα.</p> <p>2. Μετρήστε και σημειώστε από τις δύο πλευρές του σημείου τραυματισμού ή θραύσεως της καλύβδινης γωνίας, το μήκος της καλύβδινης δεσμίδας αυτού μένο κατά 5 έως 7 χλστ. Επειτα τοποθετείστε στα σημεία αυτά μία περιέλειπτη μονωτική τσιγνά, για να συγκρατηθούν οι κλώνοι του αλουμινίου. Εάν ο σημείος δεν μπει στην ασύρματη αλουμινίου, οι κλώνοι δεν πρέπει να κοπούν τελείως, για να μην τραυματιστεί η καλύβδινη γωνία, αλλά δύο χριστάσται για να σπάνε με το χέρι. Στους αγωγούς με δύο στρώσεις αλουμινίου, να κοπούν τελείως μόνο οι κλώνοι της εξωτερικής στρώσης. Για την επισκευή στρέψτε ή ίδια μέθοδος κομίς που αναφέρεται προηγουμένως.</p> <p>3. Τοποθετείστε το μέρος μιας καλύβδινης δεσμίδας, εκείνης που έχει τον μεγαλύτερο οριζόμενο κλώνο, στο σημείο τραυματισμού ή θραύσεως και τυλίξτε την γύρω από τα δύο τμήματα της καλύβδινης γωνίας (FC-25 Σχ.ΒΙΙ).</p> <p>4. Τοποθετείστε τις υπόλοιπες καλύβδινες δεσμίδες και τυλίξτε τις κατά δύο εις τρία θίμημα από κάθε πλευρά της τομής. Υπέρτα πελένοντας με τον αντίτελπα το τελευταίο θίμιο των ράβδων, φέρτε τις στην κανονική τους θέση. Για να διευκολυνθείτε μπορείτε να κόμψετε τον αγωγό (FC-25 Σχ.ΒΙΙΙ).</p> <p>5. Τοποθετείστε τώρα τις συμπληρωματικές ράβδους αλουμινίου (εφόσον προβλέπονται) επάνω στις καλύβδινες, φροτίζοντας να συμπίεσουν τα μέσα τους (FC-25 Σχ.ΒΙV) και εφαρμόστε τις κανονικά (FC-25 Σχ.ΒV).</p> <p>6. Καθαρίστε καλά τον αγωγό με συρρατόδοχορτα και να τον επιλείψτε με πολτό εμπλοπιάρα σε μήκος έδουν, όσο είναι το μήκος των εξωτερικών ράβδων. Επειτα τοποθετείτε την πρώτη δεσμίδα των εξωτερικών ράβδων (FC-25 Σχ.ΒVI) και στη συνέχεια τις υπόλοιπες (FC-25 Σχ.ΒVII) όπως περιγράφεται στη σελίδα FC-22, μέχρις ότου πάρουν την τελική τους θέση (FC-25 Σχ.ΒVIII).</p>							
ΠΙΝΑΚΑΣ ΚΑΙ ΟΔΗΓΙΕΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΕΛΙΚΟΕΙΔΩΝ ΡΑΒΔΩΝ							
ΠΡΟΣΧΗΜΑΤΙΣΜΕΝΕΣ ΕΛΙΚΟΕΙΔΕΙΣ ΡΑΒΔΟΙ				ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΟΣ ΑΓΩΓΟΣ		ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗ ΉΛΙΔΗ	
α/α	Κύβικας Υλικού	Όνοματος Κατηγορίας Ράβδων	Έλδος Ηλιωτών	Κλώνοι	Όποιαν θέση	Οδηγημένοι Κλώνοι	Ηλίδη πάσας
A ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ : ΘΡΑΥΣΗ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΚΛΩΝΩΝ ΑΛ ΚΑΙ ΧΑΛΥΒΑ (ST) ΣΕ ΔΡΟΙΓΜΑ ΓΡΑΜΜΗΣ							
1.	430008377	Εμπικός ενωτήρας τρομητής	ACSR 16	6AL+1ST	Ανοτυρία	AL-ST	Όλοι
2.	430008390	" "	ACSR 35	6AL+1ST	"	AL-ST	"
3.	430008419	" "	ACSR 50	6AL+1ST	"	AL-ST	"
4.	430008432	" "	ACSR 95	26AL+7ST	"	AL-ST	"

ΠΙΝΕΙΟΣΙΕΣ :

- Οπώς είναι ευνότο, δλα τα είδη προσχηματισμένων ελικοειδών ράβδων είναι κατάλληλα και για επιλογές αισθάνων με λιγότερους θραυσμένους κλώνους από το μέγιστο μήκος θραύσεων κλώνων που επιτρέπεται και αναγράφεται στον πίνακα αυτό.
- Δεύτερη επιλογή στον ίδιο αγωγό μπορεί να γίνει, εάν το άκρο της νέας αισθάνας ράβδων απέκει από το γειτονικό άκρο της προηγούμενης 150 χλστ. Η περισσότερο.
- Η θέση "δύνατημα", περιλαμβάνει όλο το τμήμα του αγωγού μεταβούν δύο τετονικών στύλων, στο οποίο είναι πορονιασθεί θλάδων, η απορτία ράβδων που θα τοποθετηθεί δεν θα εφέπεται στον μονωτήρα.
- Εάν οι αγωγοί είναι γρασσοριμένοι θα πρέπει να αφαιρεθεί το γράσσο με κατάλληλο απολιπαντικό και στη συνέχεια να γίνει ο καθαρισμός με συρματόδοχοτρα.

ΝΟΕΜ. 1992

FC-24 ΔΗΜΟΣΙΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ

Εικόνα 4.4: Σελίδα CS-24 – ΕΤΚΑ

4.6 Κεφάλαιο FCP – Εξαρτήματα Τσιμεντένιων Στύλων

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύονται οι στύλοι οπλισμένου σκυροδέματος που χρησιμοποιούνται στα δίκτυα διανομής, καθώς και τα εξαρτήματα που τους συνοδεύουν όπως είναι οι επίτονοι, οι βραχίονες, οι θεμελιώσεις κ.α. Πολλά από αυτά τα εξαρτήματα χρησιμοποιούνται και στους ξύλινους στύλους. Στην ακόλουθη εικόνα φαίνεται η κατηγοριοποίηση και η επισήμανση των τσιμεντόστυλων.

FCP-4		ΤΣΙΜΕΝΤΕΝΙΟΙ ΣΤΥΛΟΙ ΚΑΙ ΕΡΙΕΗΜΑΝΗ ΑΥΤΟΝ					
<u>Π Ι Ν Α Κ Α Σ "Α"</u>							
<p>Σθυμβόλα, φορτίο θραύσεως, διάμετρος κορυφής και ανέζηση διαμέτρου (καν κάτητα) τσιμεντένιων στύλων.</p>							
Κατηγορία Στύλου	Σθυμβόλα	Φορτίο θραύσεως kp	Μέγιστη διάμετρος κορυφής εε	Ανέζηση Διαμέτρου εε/ε			
Νάνας	Η	790	12,5	1,5			
Έλαφρδς	Ξ	600	14,5(1)	1,5			
Κανονικδς	Κ	900	17,5	1,5			
Μέσος	Η	1200	17,5	1,5			
Βαρνς	Β	2550	26,5	1,5			
Άξιαν Βαρνς	ΑΒ	3000	26,5	1,5			
Εξατρετικδς Βαρνς	ΞΒ	5100	26,5(2)	1,5			
Γολδθ	Γ	6600	35,5	1,5			
<u>Π Ι Ν Α Κ Α Σ "Β"</u>							
Διάσταση Α							
Σήμα Στύλου	9	10	11	12	13	14	15
Σήμα Στύλου							
Τύπος 1	1,30	1,40	-	-	-	-	-
Τύπος 2	-	1,40	1,40	-	-	-	-
Τύπος 3	-	-	-	1,50	1,50	1,60	1,70
<u>ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ:</u>							
1. Οι στύλοι κατηγορίας Ξ, μήκους 10 ε εχουν διάμετρο κορυφής 15 mm.							
2. Οι στύλοι ΞΒ προσέρχονται έντονας τικά παί με διάμετρο κορυφής 31 cm.							
3. Οι δύες των στύλων εχουν διάμετρο 22 mm.							
4. Οι στύλοι τύπου 1 χρησιμοποιούνται άποκλειστικά σε δίκτυα Χ.Τ. με συνετριμμένα καλώδια.							
5. Οι στύλοι τύπου 3, κατηγορίαν Β, ΑΒ καν ΞΒ, ύψους 14 ε εχουν 22 ζεύγη δύον, ένα διεσείνον ύψους 15 ε εχουν 26 ζεύγη δύον.							
6. Παραγγέλλονται μόνον οι εξής στύλοι :							
Κατηγορία	Μήκη σε μέτρα						
N	9, 10						
E	10, 11						
K	10, 11, 12						
M	11, 12, 14						
B	12, 14, 15						
ΑΒ	11, 12, 14						
ΞΒ	11, 13, 15						
ΟΚΤ. 90							
FCP-4							
ΔΗΜΟΣΙΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ							

Εικόνα 4.5: Σελίδα FCP-4 – ΕΤΚΔ

4.7 Κεφάλαιο F – Εξαρτήματα Ξύλινων Στύλων

Σε αυτό το κεφάλαιο περιέχονται όλες οι πληροφορίες για τους ξύλινους στύλους και για τη θεμελίωση και γείωση αυτών. Περιλαμβάνονται επίσης οι επίτονοι και οι αντηρίδες που χρησιμοποιούνται στους ξύλινους στύλους μαζί με τις οδηγίες αγκύρωσης και ανάρτησης τους. Στη σελίδα F-4 δίνεται η περιγραφή και κατηγοριοποίηση των ξύλινων στύλων.

ΣΥΑΙΝΟΙ ΣΤΥΛΟΙ ΚΑΙ ΕΠΙΣΗΜΑΝΕΣ ΑΥΤΩΝ			
Α/Α	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	
		ΣΤΥΛΟΣ Μ.Τ.	ΣΤΥΛΟΣ Χ.Τ.
1	ΠΙΝΑΚΙΔΑ ΕΠΙΣΗΜΑΝΕΣΩΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ	1	-
2	ΠΙΝΑΚΙΔΑ ΕΠΙΣΗΜΑΝΕΣΩΣ ΣΤΥΛΩΝ	1	1
3	ΚΑΡΦΙΑ Ø 2,5 ΜΗΚΟΥΣ 35 mm	8	4

Υπόλοιπα

Τέ στοιχεῖα πού σίνατε έκτυπωμένα στο στύλο, κάτω από την πινακίδα έπισημάνσεως, σημαίνουν:

1η γραμμή : - Άριθμος πού δείχνει τό μήκος στύλου σε μέτρα, π.χ. 10.
 - Γράμμα κεφαλαίο τού λατινικού ἀλφαριθμού πού δείχνει τήν κατηγορία τού στύλου (Λ=Έλαφρος, Μ=έσος και Η=Βαρύς);
 - Δύο γράμματα τού λατινικού ἀλφαριθμού πού δείχνουν τό είδος τού ξύλου, π.χ. PS=PINUS SILVESTRIS.

2η γραμμή : - Γράμμα κεφαλαίο λατινικού αλφαριθμού πού δείχνει τό είδος έμποτισμού, π.χ. C=Κρεδζωτο.
 - Μήνας έμποτισμού π.χ. 12
 - Τέ δύο τελευταία φράσεις τού έτους έμποτισμού, π.χ. 69

3η γραμμή : - Α=θέση τού σήματος τού προμηθευτή.

4η γραμμή : - Β=θέση τού σήματος τού έργαστηρού έμποτισμού.

Συμβολισμοί είδους ξύλων και έμποτισμού

Περιγραφή	Συμβολισμοί
Μαύρη πεύκη (PINUS NIGRA)	PN
Δασική πεύκη (PINUS SILVESTRIS)	PS
Λιμναϊκή πεύκη (PINUS PALUSTRIS)	PP
Νοτιά πεύκη (SOUTHERN PINE)	SP
Κεφαλληνιακή έλατη (ABIES CEFALEONICA)	AC
Κρεδζωτο	C
Πενταχλωροφαίνδη	P

Φορτίο θρανσεώς τῶν στύλων

Τό έλαχιστο φορτίο θρανσεώς τῶν στύλων, όταν έφαρμοζεται σε άποσταση 0,25 m από τήν κορυφή τους, είναι:

Έλαφρος στύλος	500 kg
Μέσος στύλος	825 kg
Βαρύς στύλος	1250 kg

OKT.1978

F-4

ΔΗΜΟΣΙΑ ΣΠΙΧΙΔΙΡΗ ΝΑΕΚΤΡΙΕΙΟΥ

Eikόνα 4.6: Σελίδα F-4 – ΕΤΚΑ

4.8 Κεφάλαιο P – Κατασκευές για Μέση Τάση

Το κεφάλαιο αυτό αναλύει τις τυποποιημένες κατασκευές που χρησιμοποιούνται για τη ΜΤ με ξύλινους ή χαλύβδινους βραχίονες. Οι σελίδες P-1 έως P-43 αφορούν τις κατασκευές με ξύλινους στύλους, ενώ οι P-101 έως P-141 τους τσιμεντόστυλους. Η πιο διαδεδομένη κατασκευή που εφαρμόζεται στην πλειονότητα των δικτύων διανομής ΜΤ είναι η P-3 και οι παραλλαγές της (P-3E, P-3A, P-3B, P-3C).

P-2		ΓΡΑΜΜΗ Μ.Τ. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΥΘΥΓΡΑΜΜΙΑΣ Η ΜΙΚΡΗΣ ΓΩΝΙΑΣ ΑΠΛΗ ΣΤΗΡΙΞΗ ΜΕ ΞΥΛΙΝΟ ΒΡΑΧΙΟΝΑ		P-3		ΓΡΑΜΜΗ Μ.Τ. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΥΘΥΓΡΑΜΜΙΑΣ Η ΜΙΚΡΗΣ ΓΩΝΙΑΣ ΑΠΛΗ ΣΤΗΡΙΞΗ ΜΕ ΞΥΛΙΝΟ ΒΡΑΧΙΟΝΑ		P-3			
A/A	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ		P-3	P-3E						
1	ΒΡΑΧΙΟΝΑΣ ΞΥΛΙΝΟΣ 2500X120X100	1	-								
2	ΒΡΑΧΙΟΝΑΣ ΞΥΛΙΝΟΣ 2500X176X126	-	1								
3	ΑΝΤΗΡΙΔΑ ΒΡΑΧΙΟΝΑ ΠΕΠΛΑΤΥΣΜΕΝΗ	2	2								
4	ΚΟΧΑΙΔΑΣ ΜΕ ΠΕΡΙΚΟΧΑΙΟ Μ 20 ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΥ ΜΗΚΟΥΣ	1	1								
5	ΚΟΧΑΙΔΑΣ ΜΕ ΠΕΡΙΚΟΧΑΙΟ Μ 16 ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΥ ΜΗΚΟΥΣ	1	1								
6	ΚΟΧΑΙΔΑΣ ΜΕ ΠΕΡΙΚΟΧΑΙΟ Μ 16 ΜΗΚΟΥΣ 130 mm	2	-								
7	ΚΟΧΑΙΔΑΣ ΜΕ ΠΕΡΙΚΟΧΑΙΟ Μ 16 ΜΗΚΟΥΣ 150 mm	-	2								
8	ΜΟΝΟΤΗΡΑΣ ΤΥΠΟΥ ΚΩΔΩΝΟΣ Μ.Τ. ΚΑΤΑΛΛΑΛΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΕΡΓΙΣΜΟΥ	3	3								
9	ΣΤΗΡΙΓΜΑ ΜΟΝΟΤΗΡΑ Μ.Τ. ΤΥΠΟΥ 1A ή 1B ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟ ΕΙΔΟΣ ΤΟΥ ΜΟΝΟΤΗΡΑ	3	-								
10	ΣΤΗΡΙΓΜΑ ΜΟΝΟΤΗΡΑ Μ.Τ. ΤΥΠΟΥ 2A ή 2B ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟ ΕΙΔΟΣ ΤΟΥ ΜΟΝΟΤΗΡΑ	-	3								
11	ΥΑΙΚΑ ΠΡΙΣΙΔΕΣΙΩΣ ΤΟΥ ΑΓΓΟΥ ΣΤΟΝ ΜΟΝΟΤΗΡΑ ΚΑΤΑ FC-9E ή FC-11 ή FC-27I ή FC-27II ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΚΑΙ ΤΟ ΕΙΔΟΣ ΤΟΥ ΑΓΓΟΥ	3	3								
12	ΠΑΡΑΚΥΚΛΟΣ ΤΕΤΡΑΓΩΝΟΣ 60X60 mm ΟΠΗΣ 22 mm (ΕΙΔΟΣ 2)	2	2								
13	ΠΑΡΑΚΥΚΛΟΣ ΤΕΤΡΑΓΩΝΟΣ 50X50 mm ΟΠΗΣ 18 mm (ΕΙΔΟΣ 1)	3	3								
ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ											
1. Η κατασκευή P-3 εφαρμόζεται για μεγάλα κατακόρυφα ανοίγματα σύμφωνα με τις διηγές.											
OKT. 1990		ΔΗΜΟΣΙΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ				ΔΗΜΟΣΙΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ				ΜΑΪΟΣ 1986	
P-2										P-3	

Εικόνα 4.7: Κατασκευή ΜΤ P-3 (δεξιά) και υλικά υλοποίησης της P-2 (αριστερά) – ΕΤΚΑ

4.9 Κεφάλαιο S – Κατασκευές για Χαμηλή Τάση

Οι κατασκευές του κεφαλαίου S αφορούν τους ξύλινους και τσιμεντένιους στύλους της ΧΤ. Παρακάτω φαίνεται και η κατασκευή S-3 που χρησιμοποιείται ευρέως σε αστικά περιβάλλοντα, μαζί με τα υλικά που απαιτούνται για την κατασκευή.

S - 2		ΧΑΜΗΛΗ ΤΑΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΥΟΥΓΡΑΜΜΙΑΣ Η ΓΩΝΙΑΣ ΜΕΧΡΙ 60°		S - 3	
Α/Α	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ		ΧΑΜΗΛΗ ΤΑΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΑΣ Η ΓΩΝΙΑΣ ΜΕΧΡΙ 60°	
		S - 3	S-3II		
1.	ΣΤΗΡΙΓΜΑ ΜΟΝΟΤΗΡΑ Χ.Τ.	1	1		
2.	ΜΟΝΟΤΗΡΑΣ Χ.Τ.	1	2		
3.	ΚΟΧΛΙΑΣ ΜΕ ΠΕΡΙΚΟΧΑΙΟ 20 φ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΥ ΜΗΚΟΥΣ	1	-		
4.	ΠΑΡΑΚΥΚΛΟΣ ΤΕΤΡΑΓΩΝΟΣ 60χ60mm ΟΠΗΣ 23mm	1	-		
5.	ΥΛΙΚΑ ΠΡΟΣΔΕΣΕΩΝ ΤΟΥ ΑΓΓΟΥ ΚΑΤΑ FC-5I ή FC-7I	1	-		
6.	ΥΛΙΚΑ ΤΕΡΜΑΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΣΥΝΔΕΣΕΩΣ ΤΩΝ ΑΓΓΩΝ ΚΑΤΑ FC-SIV ή FC-7IV	-	3		
7.	ΣΤΕΛΕΧΟΣ ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΕΩΣ Χ.Τ.	-	2		
8.	ΠΕΤΡΟΣ	-	1		
9.	ΠΕΡΟΝΗ	-	1		
10.	ΚΟΧΛΙΑΣ ΜΕ ΠΕΡΙΚΟΧΑΙΟ 20 φ ΜΗΚΟΥΣ 45 mm	-	1		
11.	ΠΑΡΑΚΥΚΛΟΣ ΑΣΒΑΛΕΙΑΣ ΟΠΗΣ 23 mm	-	1		

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ :

- Στήν κατασκευή S-3II οι άγωγοι που τερματίζουν σε κάθε φύση είναι της ίδιας διατομής.
- Η κατασκευή S-3II χρησιμοποιεί νάρθηκα πλαίσιο, δύντι της κατασκευής S-11 II, έσσιν άποιτερη μεγαλύτερη πλευρική άποσταση διστάσεις δύο κτίρια. Στήν περίπτωση αυτή τό άλικα A/A 10 κατ' 11 νάρθηκα προσδιοριστούν κατάλληλα.
- Γιατί τόν ούδετερο άγωγό χρειάνεται μονωτήρας χρώματος καφέ.

IAN 1986
S - 2

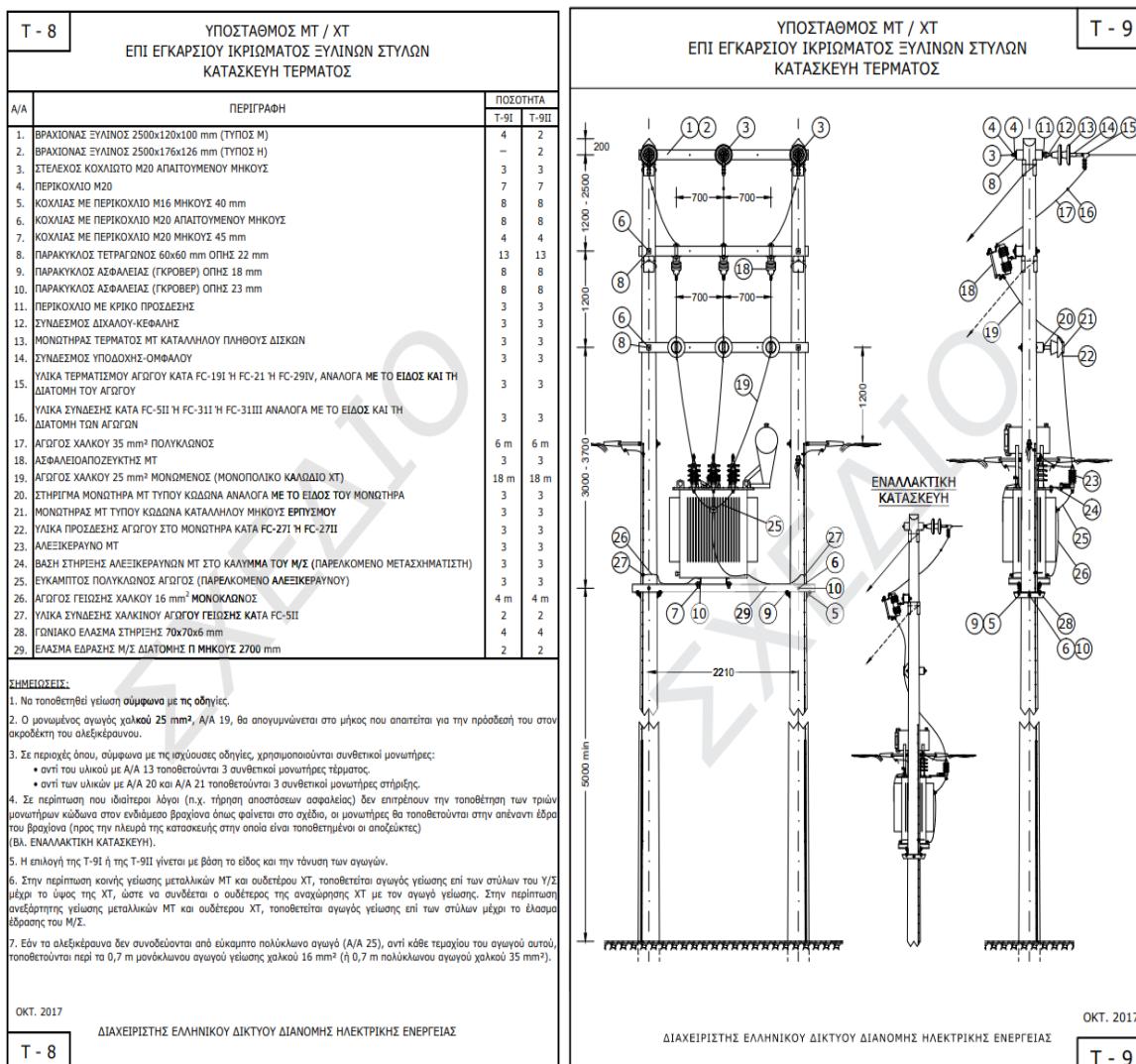
ΔΗΜΟΣΙΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ

OCT. 1982
S - 3

Εικόνα 4.8: Κατασκευή S-3 (δεξιά) και τα υλικά της S-2 (αριστερά) – ΕΤΚΔ

4.10 Κεφάλαιο Τ – Υποσταθμοί Διανομής με Τροφοδότηση από Εναέριο Δίκτυο

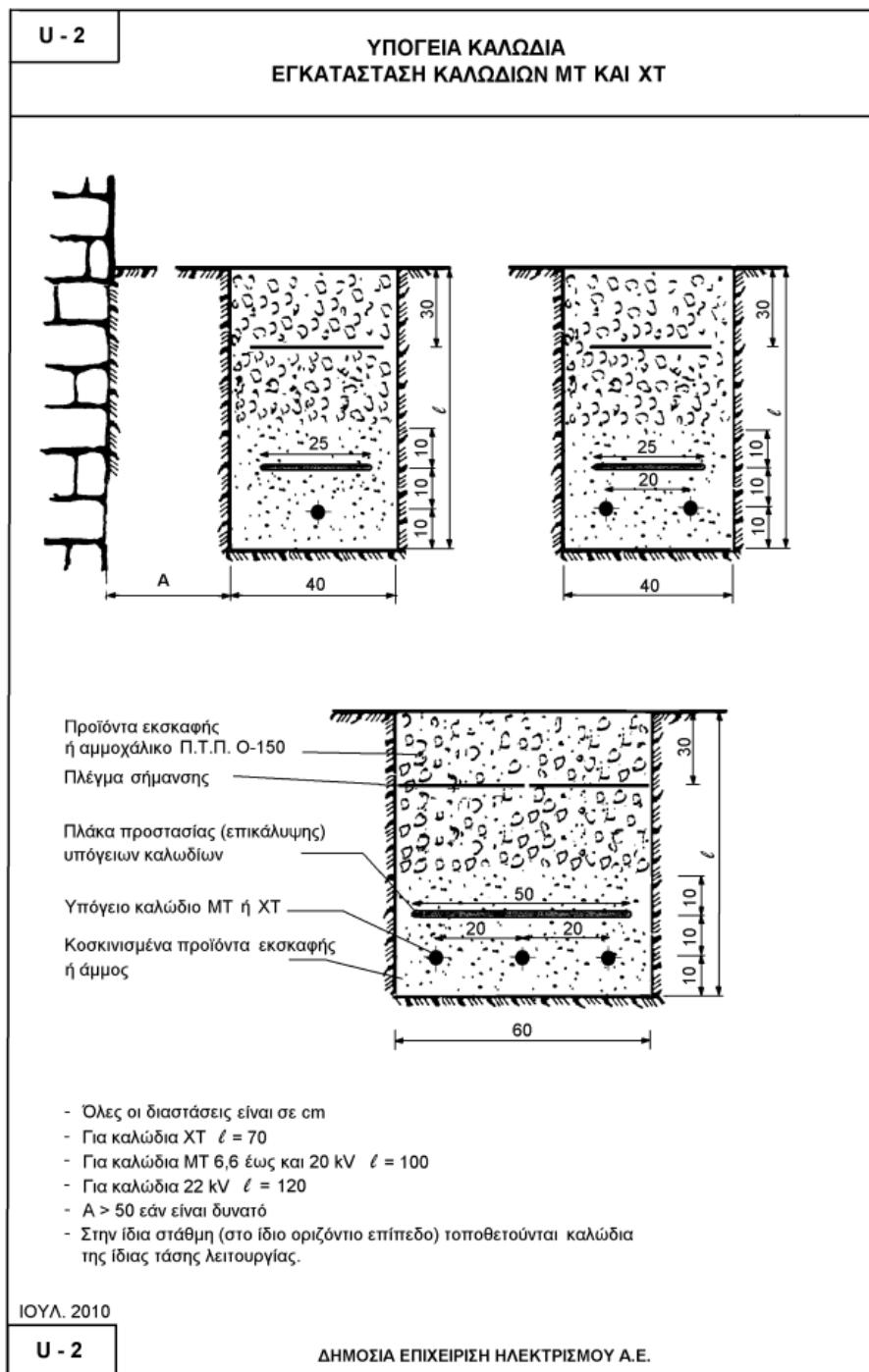
Το συγκεκριμένο κεφάλαιο του ΕΤΚΔ πραγματεύεται τη εγκατάσταση Μ/Σ ή άλλων συσκευών ΜΤ που τροφοδοτούνται από εναέριες γραμμές ΜΤ. Οι Μ/Σ ανάλογα με την ισχύ τους και το εξυπηρετούμενο φορτίο δύνανται να αναρτώνται είτε σε ένα στύλο είτε μεταξύ δύο στύλων. Πολλές από τις κατασκευές που περιέχονται στο κεφάλαιο Τ αναθεωρήθηκαν από τον ΔΕΔΔΗΕ το 2017. Ακολούθως φαίνεται η κατασκευή Τ-9 που αφορά Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ, οι οποίοι τοποθετούνται στο εγκάρσιο ικρίωμα μεταξύ των δύο στύλων.



Εικόνα 4.9: Κατασκευή Τ-9 (δεξιά) και τα υλικά της Τ-8 (αριστερά) – ΕΤΚΔ

4.11 Κεφάλαιο U – Υπόγεια Καλώδια και Υποσταθμοί Διανομής με Τροφοδότηση από Υπόγειο Δίκτυο

Το τμήμα αυτό του ΕΤΚΔ αφορά στην εγκατάσταση υπόγειων καλωδίων, καθώς και σε κατασκευές συνδέσεων υπόγειων καλωδίων με εναέριες γραμμές. Πρόκειται για πιο απλοποιημένες κατασκευές με εμφανώς λιγότερα υλικά υλοποίησης. Η βασική κατασκευή U-2 παρουσιάζεται παρακάτω.



Εικόνα 4.10: Κατασκευή U-2 – ΕΤΚΔ

Κεφάλαιο 5: Μηχανική Μελέτη Εναέριου Δικτύου ΜΤ

Η μηχανική μελέτη ενός Εναέριου Δικτύου Διανομής είναι μία ιδιαίτερα περίπλοκη, πολύπλευρη και εξειδικευμένη διαδικασία. Το δίκτυο που θα κατασκευαστεί σύμφωνα με τις προδιαγραφές κάθε μελέτης, θα πρέπει να παρέχει τη δυνατότητα αδιάλειπτης τροφοδοσίας των ηλεκτρικών φορτίων και καταναλωτών με αξιοπιστία και σε βάθος χρόνου τουλάχιστον 30 ετών.

Οι βασικότερες απαιτήσεις της μηχανικής σχεδίασης των δικτύων αφορούν στη μηχανική αντοχή των αγωγών, των στύλων και των υπόλοιπων εξαρτημάτων. Στις μηχανικές δυνάμεις που καταπονούν τα εναέρια δίκτυα περιλαμβάνονται τόσο αυτές που επηρεάζουν τους αγωγούς (βάρος, άνεμος, πάγος), όσο και αυτές που επηρεάζουν το σύνολο των γραμμών (φορτία στύλων, δύναμη τάνυσης και εφελκυσμού). Στη μελέτη καθορίζονται επίσης οι ελάχιστες αποστάσεις των γραμμών από το έδαφος, τα γειτονικά κτίσματα και άλλες γραμμές.

Βασικός οδηγός για τη συγγραφή τόσο του κεφαλαίου 5, που αφορά στη μηχανική μελέτη, όσο και του κεφαλαίου 6, που αφορά στην ηλεκτρική μελέτη, αποτέλεσε το σύγγραμμα “Μελέτη Ηλεκτρικών Δικτύων Διανομής” του Κ. Λαμπρόπουλου[27], ο οποίος διετέλεσε για πολλά χρόνια Περιφερειακός Διευθυντής Δυτικής Ελλάδας και Ιονίων Νήσων της Δ.Ε.Η.

5.1 Δυνάμεις Καταπόνησης στα Εναέρια Δίκτυα

5.1.1 Μηχανική Επιφόρτιση Δικτύων

Η σωστή επιλογή της **επιφόρτισης** γίνεται σύμφωνα με τα παρακάτω κριτήρια που έχουν τεθεί από τους ΔΕΗ-ΔΕΔΗΕ:

- Ελαφρά:** Η ελαφρά επιφόρτιση πρέπει να εφαρμόζεται στην αιγιάλεια ζώνη και στην πεδινή ενδοχώρα μέχρι το υψόμετρο των 300 μ. και συγκεκριμένα στις εξής περιοχές της χώρας:
 - Δήμων Πειραιά, Ν. Φαλήρου, Μοσχάτου, Δραπετσώνας, Περάματος και στην επαρχία Πυλίας του Νομού Μεσσηνίας.
 - Νησιά Σαλαμίνα, Μακρόνησος, Κέα, Αίγινα, Ζάκυνθος, Κεφαλλονιά, Ιθάκη, Κρήτη, αλλά και όλων των νησιών του Αιγαίου νοτιότερα του $37^{\circ} 30'$ παραλλήλου.

Ελάχιστη θερμοκρασία = 0°C . Πάχος πάγου κατά την ακτίνα $t = 0 \text{ mm}$. Οριζόντια πίεση ανέμου $p = 44 \text{ daN/mm}^2$. Σταθερή προσαύξηση $St = 0.075 \text{ daN/m}$.

- Μέση ή Κανονική:** Εφαρμόζεται σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις που δεν υπάρχουν ιδιαίτερα δυσχερείς καιρικές συνθήκες.

Ελάχ. Θερμ. = -10°C . Πάχος πάγου κατά την ακτίνα $t = 6.5 \text{ mm}$. Οριζόντια πίεση ανέμου $p = 20 \text{ daN/mm}^2$. Σταθερή προσαύξηση $St = 0.33 \text{ daN/m}$.

3. **Βαριά:** Εφαρμόζεται σε περιοχές με χαμηλές θερμοκρασίες και μεγάλες χιονοπτώσεις. Ελάχ. Θερμ. = -20 °C. Πάχος πάγου κατά την ακτίνα $t = 13$ mm. Οριζόντια πίεση ανέμου $p = 20$ daN/mm². Σταθερή προσαύξηση $St = 0.46$ daN/m.
4. **Υπερβαριά:** Εφαρμόζεται μόνο για αγωγούς ACSR 35 και 95 mm² και σε συνεστραμμένα καλώδια MT. Ελάχ. Θερμ. = -20 °C. Πάχος πάγου κατά την ακτίνα $t = 25.4$ mm. Οριζόντια πίεση ανέμου $p = 20$ daN/mm². Σταθερή προσαύξηση $St = 1$ daN/m.
5. **EB/20:** Εφαρμογή σε πολύ δυσμενείς καιρικές συνθήκες με συχνές και εξαιρετικά έντονες χιονοπτώσεις σε μεγάλα υψόμετρα. Εφαρμόζεται μόνο για αγωγούς ACSR 95mm² και σε συνεστραμμένα καλώδια MT. Συναντώνται σε ψηλές κορυφές τοποθέτησης ραδιοτηλεοπτικών ή ραδιοφωνικών κεραιών, χιονοδρομικά κέντρα κ.α. Ελάχ. Θερμ. = -20 °C. Πάχος πάγου κατά την ακτίνα $t = 75$ mm. Οριζόντια πίεση ανέμου $p = 20$ daN/mm². Σταθερή προσαύξηση $St = 0$ daN/m.
6. **EB/40:** Εφαρμόζεται μόνο σε αγωγούς 95 ACSR σε ακραίες καιρικές συνθήκες με εξαιρετικά έντονες χιονοπτώσεις σε μεγάλα ύψη. Ελάχ. Θερμ. = -20 °C. Πάχος πάγου κατά την ακτίνα $t = 110$ mm. Οριζόντια πίεση ανέμου $p = 20$ daN/mm². Σταθερή προσαύξηση $St = 0$ daN/m.
7. **EB/60:** Εφαρμογή σε καίριας σημασίας γραμμή με αγωγό ACSR 95 mm² και με συνθήκες ακόμη πιο δυσχερείς από την επιφόρτιση EB/40. Ελάχ. Θερμ. = -20 °C. Πάχος πάγου κατά την ακτίνα $t = 140$ mm. Οριζόντια πίεση ανέμου $p = 20$ daN/mm². Σταθερή προσαύξηση $St = 0$ daN/m.

Σημειώσεις:

- i. Στην περίπτωση της «Ελαφράς» επιφόρτισης τα κριτήρια είναι γεωγραφικά, ενώ στις υπόλοιπες επιφορτίσεις τα κριτήρια επιλογής αφήνονται προς εξέταση από την κάθε εφαρμογή μελέτης δικτύου.
- ii. Αν κάποιο τμήμα μίας γραμμής δεν βρίσκεται σε μεγάλο υψόμετρο, αλλά παρατηρηθεί έντονη καταπόνηση αυτού από δυνατούς ανέμους και επικάθιση πάγου, τότε είναι δυνατή η μηχανική απομόνωση του και η επιλογή ισχυρότερης επιφόρτισης.
- iii. Στη MT εφαρμόζονται όλες οι παραπάνω επιφορτίσεις, ενώ στη XT εφαρμογή έχουν μόνο οι «Ελαφρά», «Μέση» και «Βαριά».

5.1.2 Δυνάμεις Καταπόνησης Αγωγών

❖ Κατακόρυφη Επιφόρτιση WK

Κατά γενικό κανόνα η κατακόρυφη επιφόρτιση WK (daN/m) δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$WK = WA + WP \quad (5.1)$$

Όπου,

WA = βάρος αγωγού.

WP = βάρος πάγου ανά μέτρο αγωγού.

Το βάρος του πάγου που έχει επικαθίσει περιμετρικά του αγωγού υπολογίζεται ως η διαφορά του βάρους του εσωτερικού από τον εξωτερικό κύλινδρο. Στα ΣΚ ΜΤ λαμβάνεται ως εσωτερική διάμετρος η τυπική «φαινόμενη» διάμετρος της πλεξούδας. Άρα το βάρος του πάγου είναι ίσο με:

$$WP = 1 \cdot \gamma \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 10^{-6} \cdot \{(D + 2t)^2 - D^2\} = 1 \cdot \gamma \cdot 10^{-6} \cdot t \cdot \pi \cdot (t + D) \quad (5.2)$$

Όπου,

Ειδικό βάρος πάγου $\gamma = 912$ daN/m.

D = φαινόμενη διάμετρος αγωγού (mm).

t = περιμετρικό πάχος πάγου επικάλυψης ανάλογα με την κατηγορία επιφόρτισης (mm).

Τελικά συνδυάζοντας τις παραπάνω σχέσεις η κατακόρυφη επιφόρτιση υπολογίζεται ως εξής:

$$WK = WA + 10^{-6} \cdot t \cdot \pi \cdot \gamma \cdot (t + D) \quad (5.3)$$

❖ Εγκάρσια Επιφόρτιση WE

Η εγκάρσια επιφόρτιση οφείλεται κυρίως στην δύναμη που ασκεί ο άνεμος στους αγωγούς με επικάθιση πάγου. Η δύναμη αυτή εξαρτάται από την πίεση που ασκεί ο άνεμος σε επιφάνεια μήκους 1 m και πλάτος D+2t. Η επιφάνεια αυτή ορίζεται ως η προβολή της κυλινδρικής επιφάνειας του αγωγού με επικάθιση πάγου σε επίπεδο κάθετο στη διεύθυνση του ανέμου που λαμβάνεται οριζόντια. Προκύπτει:

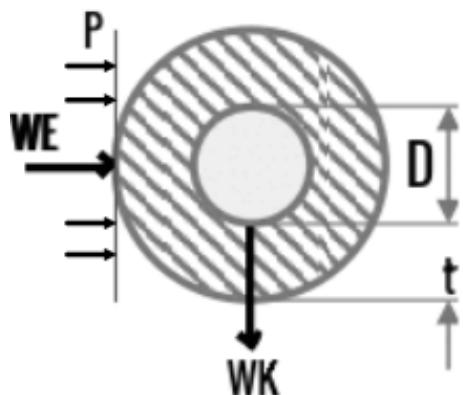
$$WE = 0.001 \cdot P \cdot (D + 2t) \text{ (daN/m)} \quad (5.4)$$

Όπου,

P = οριζόντια πίεση του ανέμου (daN/m).

D = φαινόμενη διάμετρος αγωγού (mm).

t = περιμετρικό πάχος πάγου επικάλυψης ανάλογα με την κατηγορία επιφόρτισης (mm).



Εικόνα 5.1: Κατακόρυφη και εγκάρσια επιφόρτιση αγωγού

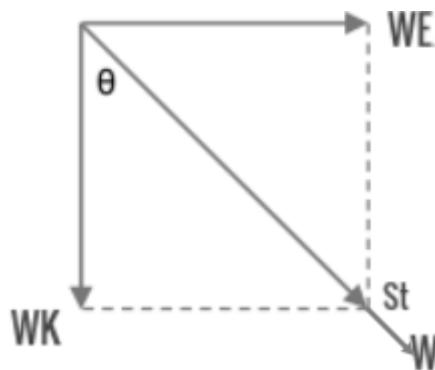
❖ Ολική (Πλήρης) Επιφόρτιση W

Η ολική ή πλήρης επιφόρτιση W (daN/m) ενός αγωγού είναι η συνισταμένη των επιμέρους επιφορτίσεων προσαυξημένη κατά μία σταθερά St για μεγαλύτερη εξασφάλιση.

$$W = \sqrt{WK^2 + WE^2} + St \quad (5.5)$$

Όπου,

St = σταθερά προσαύξησης ανάλογα με την επιφόρτιση του δικτύου (daN/m).



Εικόνα 5.2: Ολική επιφόρτιση αγωγού

5.1.3 Βασικό Άνοιγμα Στύλων

Κατά μήκος μίας πραγματικής γραμμής δικτύου οι αποστάσεις, ή αλλιώς **ανοίγματα**, μεταξύ των στύλων δεν μπορεί να είναι σταθερά ίδια. Για τον προσδιορισμό του κατάλληλου ανοίγματος ανά περίπτωση, καθιερώθηκε από τους μελετητές ένα σύνολο διαφορετικών τυποποιημένων ανοιγμάτων. Το κατάλληλο άνοιγμα αυτό μεταξύ δύο στύλων ονομάζεται «Βασικό Άνοιγμα» και υπολογίζεται σε μια ως εξής:

$$BA = MA + \frac{2}{3}(MAX - MA) = \frac{1}{3}MA + \frac{2}{3}MAX \quad (5.6)$$

Όπου,

MA = Μέσο Άνοιγμα είναι η μέση τιμή του συνόλου των ανοιγμάτων των στύλων της γραμμής που μελετάται, δηλαδή το άθροισμα όλων των ανοιγμάτων διαιρεμένο με το πλήθος τους.

MAX = Μέγιστο Άνοιγμα που μπορεί να υφίσταται μεταξύ δύο στύλων της γραμμής, το οποίο καθορίζεται από τις ακόλουθες **οριακές συνθήκες**:

- a) Το Μέγιστο Άνοιγμα (MAX) δεν πρέπει να υπερβαίνει το MA και πλέον το 50% αυτού, δηλαδή $MAX < 1.5 \cdot MA$.
- b) Το Μέγιστο Άνοιγμα (MAX) δεν πρέπει να υπερβαίνει το BA και πλέον το 25% αυτού, δηλαδή $MAX < 1.25 \cdot BA$.

Μετά την επιλογή του βασικού ανοίγματος πρέπει να ελέγχεται πως σε ένα σύνολο ανοιγμάτων μεταξύ τερματικών, κανένα δεν είναι μεγαλύτερο του βασικού προσανξημένου κατά 25%. Ακόμη σε ένα τμήμα γραμμής με το ίδιο BA , αν η συνθήκη $MAX < 1.5 \cdot MA$ εφαρμοστεί μεταξύ δύο διαδοχικών ανοιγμάτων α και β , με $\alpha > \beta$, προκύπτει: $\alpha < 1.5 \cdot \frac{\alpha+\beta}{2} \Rightarrow \alpha < 3\beta$. Άρα μεταξύ δύο διαδοχικών ανοιγμάτων το μεγαλύτερο δεν πρέπει να υπερβαίνει το τριπλάσιο του μικρότερου.

Στις **υπεραστικές γραμμές** η τυποποίηση του βασικού ανοίγματος των ΤΚΔ ξεκινάει από τα 75 m και αυξάνει κατά 25 m. Έτσι προκύπτουν τα εξής τυποποιημένα BA : 75, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 275, 300, 325, 350, 375, 400 και 425 m. Στις εξαιρετικά βαριές επιφορτίσεις χρησιμοποιούνται και μικρότερα BA : 20, 25, 30, 35, 40.

Στις **αστικές γραμμές** τα BA των ΤΚΔ είναι: 20, 35, 40 και 50 m και στις **αρδευτικές γραμμές** 65 m.

5.1.4 Δύναμη Τάνυσης Αγωγών

Έστω ένας αγωγός που στηρίζεται μεταξύ δύο μη απαραιτήτως ισοϋψών άκρων-στύλων. Μελετάται η ισορροπία ενός τόξου του αγωγού μεταξύ τυχαίων σημείων A και B σύμφωνα με την εικόνα 5.3. Ο αγωγός αυτός δέχεται μία σταθερή μηχανική επιφόρτιση W σε όλο το μήκος του τόξου του S . Η ισορροπία του αγωγού οφείλεται στην επίδραση των δυνάμεων F_1 και F_2 στα άκρα του και της συνολικής δύναμης της εξωτερικής επιφόρτισης που είναι κατακόρυφη στο επίπεδο της καμπύλης και ίση με $W \cdot S$. Οι F_1 και F_2 έχουν τη διεύθυνση της εφαπτόμενης της καμπύλης στα αντίστοιχα σημεία και αναλύονται σε παράλληλες και κάθετες της WS , οπότε προκύπτουν οι R_1 , T_1 και R_2 , T_2 αντίστοιχα. Από τις εξισώσεις ισορροπίας λαμβάνουμε:

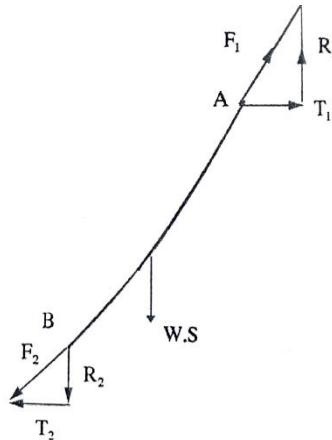
$$T_1 = T_2 \quad (5.7)$$

και

$$R_1 - R_2 = W \cdot S \quad (5.8)$$

Η ισότητα της σχέσης (5.7) ισχύει για κάθε σημείο της καμπύλης και είναι ανεξάρτητη του μήκους S του τόξου. Προκύπτει τελικά πως όταν ένα αγωγός ισορροπεί, η οριζόντια συνιστώσα που καταπονεί τον αγωγό είναι σταθερή σε όλες τις θέσεις του.

Η σταθερή αυτή οριζόντια συνιστώσα ονομάζεται δύναμη τάνυσης του αγωγού και συμβολίζεται με T (daN).



Eikόνα 5.3: Ανάλυση δυνάμεων ισορροπίας αγωγού

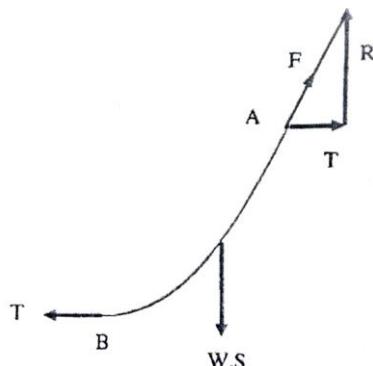
Έστω πάλι τόξο της καμπύλης του αγωγού μεταξύ του κατώτερου σημείου της B και ενός άλλου σημείου A (εικόνα 5.4). Στο B η μοναδική δύναμη είναι η οριζόντια εφαπτομένη T , ενώ στο A ασκείται η οριζόντια T αλλά και η κάθετη προς αυτή $R = W \cdot S$, όπου S το μήκος του τόξου. Προκύπτει τελικά πως:

Η δύναμη F που καταπονεί τον αγωγό, σε οποιοδήποτε σημείο του, είναι το γεωμετρικό άθροισμα της δύναμης τάνυσης και της ολικής δύναμης επιφόρτισης από το κατώτερο σημείο μέχρι το σημείο αναφοράς.

$$\triangleright \text{ Για το διάνυσμα της ισχύει: } \vec{F} = \vec{R} + \vec{T} \quad (5.9)$$

και

$$\triangleright \text{ Για το μέτρο των διανυσμάτων: } F = \sqrt{T^2 + R^2} = \sqrt{T^2 + W^2 S^2} \quad (5.10)$$



Eikόνα 5.4: Δύναμη τάνυσης T και καταπόνησης F

5.1.5 Παράγοντες που Επηρεάζουν την Τάνυση

Η τάνυση ενός αγωγού σε κάθε άνοιγμα μεταξύ δύο στύλων, εξαρτάται από το βάρος του, από την επιφόρτιση, τη θερμοκρασία στην οποία λειτουργεί λαμβάνοντας υπόψη και το φαινόμενο της θερμικής διαστολής. Επίσης η φθορά λόγω παλαιότητας, καθώς και η πιθανή μετατόπιση των στύλων επηρεάζουν την τάνυση του αγωγού.

- ❖ **Θερμοκρασία.** Η αύξηση της θερμοκρασίας σε έναν αναρτημένο αγωγό σε χαλαρότητα μπορεί να προκαλέσει αύξηση του μήκους του αγωγού λόγω διαστολής και μείωση της τάνυσης του. Η αύξηση αυτή σε m είναι ίση με:

$$\Delta L = \alpha \cdot \Delta T \cdot S \quad (5.11)$$

Όπου,

α είναι ο συντελεστής θερμικής διαστολής ($^0\text{C}^{-1}$).

ΔT είναι η αύξηση της θερμοκρασίας (^0C).

S το μήκος ανοιγμάτος της καμπύλης του αγωγού (m).

Όταν είναι γνωστή η δύναμη τάνυσης ενός αγωγού σε ένα συγκεκριμένο άνοιγμα, θερμοκρασία και επιφόρτιση, είναι δυνατό να βρεθεί η τάνυση του αγωγού σε διαφορετική θερμοκρασία και επιφόρτιση. Ο υπολογισμός αυτός γίνεται μέσω της ακόλουθης τριτοβάθμιας εξίσωσης αλλαγής κατάστασης με άγνωστο το T :

$$\frac{l^2}{24} \cdot \left(\frac{W^2}{T^2} - \frac{W_1^2}{T_1^2} \right) = \frac{T-T_1}{E \cdot q} + \alpha \cdot (\Theta - \Theta_1) \quad (5.12)$$

Όπου,

W_1 είναι η ειδική φόρτιση του αγωγού στην αρχική κατάσταση και W η ειδική φόρτιση στη ζητούμενη κατάσταση (daN/m).

T_1 είναι η δύναμη τάνυσης στην αρχική κατάσταση και T η τάνυση στη ζητούμενη κατάσταση (daN).

Θ_1 είναι η αρχική θερμοκρασία και Θ η τελική (^0C).

E είναι το μέτρο ελαστικότητας του αγωγού (daN/mm²).

q είναι η πραγματική διατομή του αγωγού (mm²).

α είναι ο συντελεστής θερμικής διαστολής ($^0\text{C}^{-1}$).

- ❖ **Ανεμος.** Ο άνεμος ασκεί δυνάμεις στον αγωγό σε οριζόντια και κάθετη διεύθυνση ανξάνοντας έτσι το φαινόμενο βάρος του. Ως αποτέλεσμα το συνολικό μήκος του αγωγού ανξάνεται λόγω ελαστικής επέκτασης, ως εξής:

$$\Delta L = \frac{(T_0 - T)}{E \cdot A} \quad (5.13)$$

Όπου,

T_0 είναι η αρχική τάνυση (daN).

T είναι η τελική τάνυση (daN).

E είναι ο συντελεστής ελαστικότητας (daN/mm²).

A είναι η διατομή του αγωγού (mm²).

- ❖ **Πάγος.** Η επικάθιση πάγου στις γραμμές αυξάνει τη φαινόμενη διάμετρο και το βάρος των αγωγών. Για φυσιολογική επικάθιση δύναται να γίνει χρήση των τύπων αυτού του κεφαλαίου. Για έντονη παρουσία πάγου απαιτείται ειδική ανάλυση για τον προσδιορισμό της τάνυσης.

5.1.6 Εξίσωση Καμπύλης Αγωγού

Έστω τωρα οτί ο αγωγός αναρτάται από δύο ισοϋψή σημεία A και B που έχουν οριζόντια απόσταση l . Το βέλος γ της καμπύλης γίνεται μέγιστο όταν $x = \frac{l}{2}$ και με ανάλυση των δυνάμεων στο σημείο O και την εφαρμογή της εξίσωσης παραβολής προκύπτουν οι εξής τύποι:

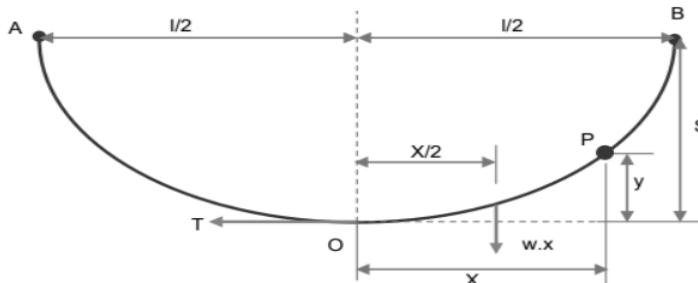
$$y = \frac{W \cdot l^2}{8 \cdot T} \quad (5.14)$$

και

$$T = \frac{W \cdot l^2}{8 \cdot y} \quad (5.15)$$

Η (5.14) εκφράζει το μέγιστο βέλος της καμπύλης του αγωγού που αναρτάται από δύο ισοϋψή σημεία απόστασης l με ειδική φόρτιση w και δύναμη τάνυσης T

Η (5.15) εκφράζει τη δύναμη τάνυσης T που πρέπει να εφαρμοστεί σε έναν αγωγό που αναρτάται από ισοϋψή σημεία απόστασης l με ειδική φόρτιση W , για να προκύψει μέγιστο βέλος y .



Εικόνα 5.5: Σχέση βέλους με τάνυση αγωγού

Παρατηρήσεις:

- Το πραγματικό μήκος S της καμπύλης είναι: $S = l + \frac{W^2 \cdot l^3}{24 \cdot T^2}$ ή $S = l + \frac{8}{3} \cdot \frac{y^2}{l}$
- Στην περίπτωση μεγάλης υψομετρικής διαφοράς στο άνοιγμα, ο τύπος του βέλους γίνεται: $y = \frac{W \cdot l^2}{8T} \cdot \sqrt{1 + \frac{H^2}{l^2}}$, όπου H είναι η υψομετρική διαφορά των δύο σημείων ανάρτησης.
- Μεγαλύτερη ακρίβεια στην εξίσωση καμπύλης του αγωγού δίνει η εξίσωση της αλυσοειδούς $y = \frac{T}{W} \cdot \cosh \frac{W \cdot x}{T} - \frac{T}{W}$, σε ίδιους άξονες.

5.1.7 Μέγιστη Εφελκυστική Δύναμη Καταπόνησης Αγωγού

Έστω αγωγός αναρτημένος από δύο σημεία που έχουν οριζόντια απόσταση l (m) και κατακόρυφη H (m), τότε στο ψηλότερο σημείο ασκείται η μεγαλύτερη εφελκυστική δύναμη στον αγωγό. Η δύναμη αυτή σε daN υπολογίζεται ως εξής:

$$F_{max} = T + \frac{W^2 \cdot l^2}{8T} + \frac{1}{2} \cdot T \cdot \left(\frac{H}{l}\right)^2 + \frac{1}{2} \cdot W \cdot H \quad (5.16)$$

Όπου,

T είναι η δύναμη τάνυσης του αγωγού (daN).

W είναι η συνολική επιφόρτιση του αγωγού (daN/m).

$$\text{και πραγματικό μήκος καμπύλης αγωγού } S = l + \frac{W^2 \cdot l^3}{24 \cdot T^2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{H^2}{l}$$

Σύμφωνα με τον ΚΕΣΥΓΗΕ η δύναμη αυτή δεν πρέπει να υπερβαίνει το 60% του φορτίου θραύσης με τον αγωγό σε πλήρη επιφόρτιση και το 25% με αφόρτιστο αγωγό σε θερμοκρασία $+16^0 C$. Στα ΣΚ ΜΤ αρκεί η συνθήκη του 60%. Η έννοια του όρου «**φορτίο θραύσης**» θα εξηγηθεί σε επόμενη ενότητα.

5.1.8 Κατακόρυφα Φορτία Στύλων λόγω Αγωγών

Η στήριξη των αγωγών στους στύλους έχει ως αποτέλεσμα να ασκούνται κατακόρυφα φορτία σε αυτούς, τα οποία οφείλονται στο βάρος και στην τάνυση των αγωγών. Στις θερμοκρασίες -1 , -10 , -20 0C στην ελαφρά, μέση και βαριά επιφόρτιση αντίστοιχα, εντοπίζονται οι τανύσεις με τη μεγαλύτερη κατακόρυφη συνιστώσα, αλλά σε φόρτιση μόνο από το κατακόρυφο φορτίο επί των αγωγών. Οι τανύσεις αυτές ονομάζονται τανύσεις σε «κατακόρυφη επιφόρτιση» συμβολίζονται με TK και δεν αναφέρονται στο ETKΔ.

Έστω οι διαδοχικοί στύλοι 1 , 2 , 3 με οριζόντιες αποστάσεις μεταξύ τους l_1 και l_2 . Θεωρώντας υψόμετρα πρόσδεσης των αγωγών στους αντίστοιχους στύλους h_1 , h_2 , h_3 , τότε η κατακόρυφη δύναμη που δέχεται ο στύλος 2 από έναν αγωγό με κατακόρυφη τάνυση TK και κατακόρυφη επιφόρτιση WK υπολογίζεται ως εξής:

$$P_k = 0.5 \cdot (l_1 + l_2) \cdot WK + TK \cdot \left(\frac{h_2 - h_1}{l_1} + \frac{h_2 - h_3}{l_2} \right) \quad (5.17)$$

Αν ο στύλος 2 είναι τερματικός και ο 1 προηγούμενος του, τότε:

$$P_k = 0.5 \cdot l_1 \cdot WK + TK \cdot \left(\frac{h_2 - h_1}{l_1} \right) \quad (5.18)$$

Για κατακόρυφο ή ισοκλινές έδαφος η κατακόρυφη δύναμη είναι ίση με το κατακόρυφο φορτίο του αγωγού στο μέσο άνοιγμα: $P_k = 0.5 \cdot (l_1 + l_2) \cdot WK$ (5.19)

Παρατήρηση

- Σε γραμμή τριών ίδιων αγωγών το αποτέλεσμα των παραπάνω τύπων πρέπει να πολλαπλασιαστεί επί 3 και σε διπλή γραμμή 6 αγωγών επί 6.

5.1.9 Μέγιστο Οριζόντιο Άνοιγμα Αγωγών

Κατά την ανάρτηση των γραμμών στους στύλους πρέπει να τηρηθούν συγκεκριμένες αποστάσεις μεταξύ των αγωγών, ώστε σε περίπτωση δυσχερών συνθηκών να μην πλησιάσουν οι αγωγοί σε απόσταση που μπορεί να δημιουργήσει ηλεκτρικό τόξο. Όταν οι αγωγοί είναι στο ίδιο κατακόρυφο επίπεδο και είναι ομοιόμορφα φορτισμένοι, περίπτωση επαφής υπάρχει μόνο λόγω αναπήδησης του χαμηλότερου αγωγού. Όταν από την άλλη βρίσκονται στο ίδιο οριζόντιο επίπεδο, αλλά σε διαφορετικά κατακόρυφα, εφόσον έχουν ομοιόμορφη κατακόρυφη φόρτιση και ανεμοπίεση, η κίνηση των αγωγών είναι προς όμοιες κατευθύνσεις και δεν πλησιάζουν εύκολα μεταξύ τους. Ωστόσο λόγω ταλαντώσεων και αποσυντονισμού είναι δυνατόν οι αγωγοί να κινηθούν και προς αντίθετες κατευθύνσεις.

Έστω αγωγός με μέγιστο βέλος $OA = f$ στη δυσμενέστερη επιφόρτιση (εικ. 5.6). Με την επίδραση εγκάρσιας επιφόρτισης WE , λόγω ανέμου, θα μετακινηθεί επί της περιφέρειας κύκλου με ακτίνα OA και θα ισορροπήσει τελικά σε θέση B , σχηματίζοντας γωνία θ τέτοια ώστε: $\tan \theta = \frac{WE}{WK}$.

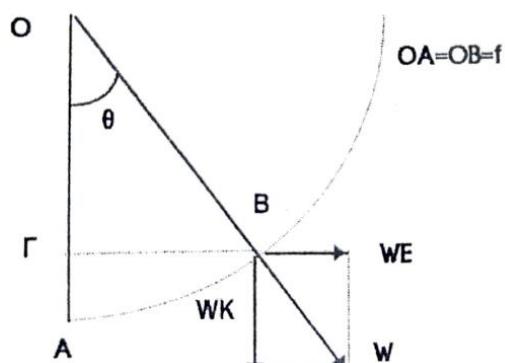
Η απόσταση οριζόντιας μετατόπισης από την αρχική θέση A είναι: $BG = f \cdot \sin \theta$

Άρα η απόσταση διαχωρισμού δ σε m με τον γειτονικό αγωγό πρέπει να είναι μεγαλύτερη από $2BG + e$ ή $\delta \geq 2f \cdot \sin \theta + e$, οπότε τελικά προκύπτει ο εξής τύπος:

$$\delta \geq \frac{2f \cdot WE}{\sqrt{WK^2 + WE^2}} + e \quad (5.20)$$

Όπου,

είναι η απόσταση έκρηξης του ηλεκτρικού τόξου μεταξύ δύο αγωγών υπό τάση U .



Εικόνα 5.6: Οριζόντια και κατακόρυφη μετατόπιση αγωγού

Έχει διαπιστωθεί ωστόσο πως ο τύπος (5.20) οδηγεί σε εξαιρετικά μεγάλες αποστάσεις διαχωρισμού των αγωγών, με αποτέλεσμα την υπερδιαστασιολόγηση και το υψηλό κόστος κατασκευής των γραμμών. Στην πράξη δεν απαιτείται η εφαρμογή τόσο αυστηρών περιορισμών, αλλά ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες κάθε χώρας έχει επικρατήσει ευρέως ο τύπος της εξής μορφής:

$$\delta = n \cdot \sqrt{f} + m \cdot U \quad (5.21)$$

Όπου,

δ είναι η απόσταση διαχωρισμού (m).

U είναι η πολική τάση (kV).

f είναι το βέλος του αφόρτιστου αγωγού στους 16°C (m).

n είναι συντελεστής που λαμβάνει τιμές από 0.3 έως 0.8.

m είναι συντελεστής με συνήθεις τιμές $m = 0.75 \text{ cm/kV} = 0.0075 \text{ m/kV}$ ή $m = 1 \text{ cm/kV} = 0.01 \text{ m/kV}$.

Στον ΚΕΣΥΓΗΕ βρίσκονται οι ακόλουθοι τύποι υπολογισμού της απόστασης διαχωρισμού δ μεταξύ των αγωγών, ανάλογα με τη διατομή τους:

$$\bullet \quad \text{για αγωγούς διατομής } < 35 \text{ mm}^2 \quad \delta = 9 \sqrt{\left(\frac{f}{2} - 30\right)} + 0.75 \cdot U \quad (5.22)$$

$$\bullet \quad \text{για αγωγούς διατομής } > 35 \text{ mm}^2 \quad \delta = 9 \sqrt{\frac{f}{6}} + 0.75 \cdot U \quad (5.23)$$

Όπου,

f, δ και U όμοια με παραπάνω.

Ακόμη στον ΚΕΣΥΓΗΕ αναφέρεται πως στην περίπτωση των στύλων με μονωτήρες ανάρτησης ελεύθερης αιώρηση, η απόσταση οριζόντιου διαχωρισμού πρέπει να προσαυξάνεται, έτσι ώστε μια αλυσίδα μονωτήρων να δύναται να αιωρείται μέχρι γωνίας 30° από την κατακόρυφο. Παρόλα αυτά στην Ελλάδα οι καιρικές συνθήκες θεωρούνται δυσμενείς, οπότε εφαρμόζεται και ο τύπος των Ιταλικών προτύπων που δίνει αποτελέσματα από την ασφαλή πλευρά:

$$\delta = n \cdot \sqrt{f + \alpha} + 0.01 \cdot U \quad (5.24)$$

Όπου,

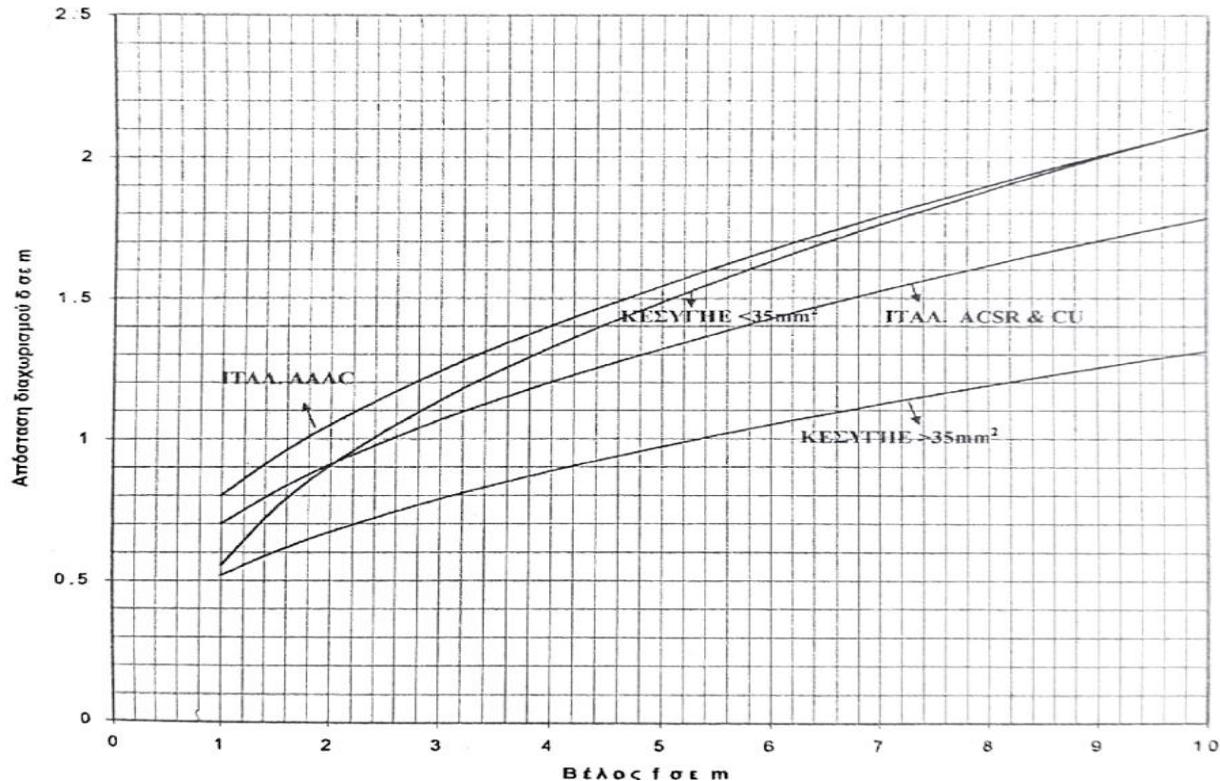
f, δ και U όμοια με παραπάνω.

α είναι το μήκος μιας αλυσίδας μονωτήρων ανάρτησης σε ελεύθερη αιώρηση. Για περιπτώσεις μονωτήρων στήριξης ή τέρματος $\alpha=0$.

n=0.5 για αγωγούς ACSR ή CU και n=0.6 για αγωγούς AAC.

Ανάλογα με τα αποτελέσματα που δίνουν οι τύποι (5.22), (5.23) και (5.24) επιλέγεται αυτός που δίνει δυσμενέστερο αποτέλεσμα.

Συνδυάζοντας τα πρότυπα που αναφέρονται στον ΚΕΣΥΓΗΕ και τους Ιταλικούς κανονισμούς δίνεται παρακάτω ένα διάγραμμα μεταβολής της απόστασης διαχωρισμού δ των αγωγών συναρτήσει του βέλους f. Σαν απόσταση δ λαμβάνεται η μικρότερη απόσταση αγωγών μεταξύ οριζόντιας, πλάγιας και κατακόρυφης διεύθυνσης.



Εικόνα 5.7: Διάγραμμα απόστασης διαχωρισμού αγωγών – βέλονς αγωγών

Τέλος, για την απλοποίηση όλης αυτής της διαδικασίας και την γρήγορη διεκπεραίωση των μελετών, έχει γίνει μία τυποποίηση της απόστασης διαχωρισμού στις διάφορες κατασκευές ΜΤ της ΔΕΗ-ΔΕΔΔΗΕ, όπως φαίνεται στον πίνακα 5.1.

Πίνακας 5.1: Βασική απόσταση διαχωρισμού αγωγών ΜΤ στις ΤΚΔ

Τυποποιημένη Κατασκευή ΜΤ	Απόσταση Διαχωρισμού δ (m)
P-103, P-103ΑΙΙ	0.8
P-3, P-3ΑΙΙ	0.9
P-3ΙΙ	0.9
P-19ΙV, P-19ΙΙ, P-9Ι (*1 m), P-9ΙΙ (*1 m)	0.9
P-3Β, P-3ΑΒ, P-103Β, P-103ΑΒ	1.15
P-3ΒΙΙ	1.15
P-11, P-11Β, P-13, P-13Α, P-15, P-23, P-25, P-25Τ, P-27, P-27Τ, P-29, P-29Β, P-41, P-43, P-109ΙV, P-109ΙΙ, P-113, P-113Β, P115, P-123, P-125, P-127, P-127Τ, P-129, P-129Α, P-129Β, P141, P-9ΙV (*1.25 m), P-9ΙΙ (*1.25 m)	1.15
P-17	1.25
P-17ΙΙ	1.25
P-19Β	1.25
P-31, P-31Ε, P-31ΙΙ	1.35
P-3C, P-103C, P-33	1.56
P-3CΙΙ, P-103CΙΙ	1.56
P-13C, P-35, P-35Ε, P-37, P-37Ε, P-113C, P-9ΙV (*1.5 m), P-9ΙΙ (*1.5 m)	1.56

5.1.10 Ελάχιστες Κατακόρυφες Αποστάσεις Αγωγών από Στοιχεία

Οι ελάχιστες επιτρεπόμενες κατακόρυφες αποστάσεις των αγωγών από το έδαφος, τους δρόμους, τα σπίτια, τις άλλες γραμμές και τα διάφορα στοιχεία, καθορίζονται από τον ΚΕΣΥΓΗΕ και από τις σελίδες C-2 έως C-14 του ΕΤΚΔ. Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται οι κατακόρυφες αποστάσεις από τα συνηθέστερα στοιχεία που συναντώνται στα δίκτυα. Οι αποστάσεις αυτές πρέπει να ισχύουν σε θερμοκρασία 16 °C, με συνθήκες άπνοιας, ενώ εφαρμόζονται και προσαυξήσεις για ανοίγματα μεγαλύτερα των 50 m στη βαριά επιφόρτιση, 75 m στη μέση και 100 m στην ελαφρά.

Πίνακας 5.2: Ελάχιστες κατακόρυφες αποστάσεις αγωγών από άλλα στοιχεία

Στοιχεία	Απόσταση από αγωγούς MT (m)	Απόσταση από αγωγούς XT (m)	Υποδείξεις
Δρόμοι και έδαφος προσιτό σε οχήματα	6	5.5	Για κάθε μέτρο ανοίγματος που υπερβαίνει τα παραπάνω (50, 75, 100 m), στην ελάχιστη απόσταση πρέπει να προστίθεται 1 cm ανά μέτρο υπέρβασης
Απρόσιτο έδαφος	4.5	4.5	
Σιδηροτροχιές	8.5	8.25	Κατά γενικό κανόνα τα ανοίγματα που διασταυρώνονται με σιδηροδρομικές γραμμές δεν υπερβαίνουν τα 50 m, οπότε δεν απαιτείται κάποια προσαυξήση
Γραμμές Τηλεπικοινωνίας	1.8	1.8	Για κάθε μέτρο ανοίγματος που υπερβαίνει τα 50, 75, 100 m, στην ελάχιστη απόσταση πρέπει να προστίθενται 3 cm ανά μέτρο υπέρβασης στους μικρούς αγωγούς (16 CU, 16 ACSR, 35 AAAC) και 1.5 cm στους αγωγούς μεγαλύτερης διατομής
Κεραίες ηλεκτρικών οχημάτων	1.8	1.8	
Αγωγοί MT ή XT, συρματόσχοινα, επίτονοι, σύρματα ανάρτησης	1.2	1.2	
Κτίρια	3	2.5	Η απόσταση αυτή ισχύει για ανοίγματα μέχρι 45 m και προσαυξάνεται κατά 1cm για κάθε μέτρο άνω των 45

5.2 Μηχανική Αντοχή Ξύλινων Στύλων

5.2.1 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Ξύλινων Στύλων

Στην οδηγία ΔΕΗ – GR49[31] αναφέρονται οι προδιαγραφές προέλευσης, παραγωγής, επεξεργασίας και εμποτισμού ξύλινων στύλων, ξυλοδοκών αγκύρωσης και ξύλινων πασσάλων ενίσχυσης. Ακόμη αναλύονται τα απαιτούμενα δομικά και μηχανικά χαρακτηριστικά που πρέπει να καλύπτουν τα παραπάνω στοιχεία, ώστε να μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν στα δίκτυα διανομής. Τα χαρακτηριστικά αυτά αφορούν την κατάσταση του υλικού, το μήκος, το ύψος, τη διάμετρο, το βάρος κ.α. Συγκεκριμένα για τους ξύλινους στύλους αναφέρονται τα εξής στοιχεία:

- **Είδη και προέλευση ξύλινων στύλων.** Σύμφωνα με τις οδηγίες η ξυλεία που θα χρησιμοποιηθεί με τη μορφή στύλων πρέπει να αποκοπεί από ζώντα και σταθερά δένδρα και συγκεκριμένα αποκόπτονται οι κορμοί αυτών. Η χώρα προέλευσης της ξυλείας θα πρέπει να ελέγχεται και να αναφέρεται. Οι στύλοι XT και MT στα δίκτυα διανομής του ΔΕΔΔΗΕ προέρχονται από δασική Πεύκη σε ποσοστό 90%. Τα διάφορα είδη ξυλείας φαίνονται και στον πίνακα 5.1.
- **Κατάσταση υλικού.** Πριν τη χρήση της η ξυλεία ελέγχεται, ώστε να εντοπισθούν πιθανά ελαττώματα και ανομοιομορφίες. Η σήψη του ξύλου, οι κοιλότητες κορμών, τα ρήγματα, οι οπές και οι ρωγμές, αποτελούν αίτια απόρριψης της ξυλείας. Ακόμη, υπάρχει συγκεκριμένη διαδικασία καθαρισμού, αποφλοίωσης και αποξήρανσης της ξυλείας.
- **Τύψος.** Οι στύλοι μπορούν να έχουν τα εξής τυποποιημένα ύψη (HS): 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 m.
- **Φορτίο θραύσης.** Τα φορτία θραύσης εφαρμόζονται 20 ή 25 cm κάτω από την κορυφή των στύλων και φαίνονται στον πίνακα 5.2. Επίσης η τάση θραύσης κατά τη διεύθυνση των ινών του ξύλου λαμβάνεται ίση με: $\sigma_{\theta} = 520 \text{ daN/cm}^2$.
- **Κωνικότητα.** Είναι η αύξηση της διαμέτρου ανά μέτρο στύλου. Στην περιοχή θεμελίωσης η κωνικότητα όλων των ξύλινων στύλων είναι $t = 1 \text{ cm/m}$.
- **Μέτρο ελαστικότητας.** Για τους ξύλινους στύλους λαμβάνεται $E = 110000 \text{ daN/cm}^2$.
- **Άλλες παράμετροι.** Υπάρχουν επίσης και οι παράμετροι $\alpha, \beta, \gamma, \varepsilon$ και t , οι οποίοι χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς των δυνάμεων που καταπονούν τους στύλους και ορίζονται ως εξής:

$$\alpha = \frac{1}{H-h} = \frac{1}{h} \cdot \left(\frac{d_1}{d_0} - 1 \right) = \frac{t}{d_0} \quad (5.25)$$

$$\beta = \frac{H}{h} = \frac{d_1}{d_1-d_0} \quad (5.26)$$

$$\gamma = \frac{d_1-d_0}{h \cdot d_1} = \frac{t}{d_1} \quad (5.27)$$

$$\varepsilon = \frac{\alpha}{\beta} = \frac{h \cdot t^2}{d_1 \cdot d_0} \quad (5.28)$$

$$t = \frac{d_1 - d_0}{h} = \frac{d_\beta - d_k}{HS} \quad (5.29)$$

Όπου,

d_1 είναι η διάμετρος στύλου στην επιφάνεια του εδάφους.

d_0 είναι η διάμετρος στύλου στο σημείο εφαρμογής των δυνάμεων.

d_β και d_k είναι η διάμετρος βάσης και κορυφής αντίστοιχα.

h είναι το ύψος του στύλου μεταξύ των δύο παραπάνω σημείων.

HS είναι το ύψος του στύλου από την κορυφή μέχρι το σημείο πάκτωσης.

Τέλος, παρατίθενται και κάποιοι πίνακες που περιγράφουν τα βασικά χαρακτηριστικά των ξύλινων στύλων.

Πίνακας 5.3: Είδη ξυλείας για κατασκευή στύλων – Οδηγία ΔΕΗ GR-49

Κοινή Ονομασία	Βοτανική Ονομασία	Τόπος Προέλευσης
Μαύρη Πεύκη	Pinus Nigra	Ευρώπη
Δασική Πεύκη	Pinus Silvestris	Ευρώπη
Νότια Πεύκη – Παχυλή	Pinus Taeda	Ν. Αμερική
Νότια Πεύκη – Λιμναία	Pinus Palustris	Ν. Αμερική
Νότια Πεύκη – Βραχύφυλλη	Pinus Echinata	Ν. Αμερική
Νότια Πεύκη – Ελιότια	Pinus Elliotti	Ν. Αμερική

Πίνακας 5.4: Βασική κατηγοριοποίηση και χαρακτηριστικά ξύλινων στύλων

Κατηγορία Στύλων	Συμβολισμός	Ελάχιστη διάμετρος κορυφής d_k (cm)	Φορτίο Θραύσης $F_{θρ}$ (daN)	Κωνικότητα t (cm/m)
Ελαφρός	E	12	500	1
Μέσος	M	15	825	1.06
Βαρύς	B	18	1250	1.1

Πίνακας 5.5: Τυποποιημένες ελάχιστες διαστάσεις διαμέτρων ξύλινων στύλων σε cm ανάλογα με το ύψος (σε απόσταση 1.8 m από το κάτω άκρο) – Οδηγία ΔΕΗ GR-49

Μήκος (m)	Ελαφρός	Μέσος	Βαρύς
9	19	22.5	26
10	20	23.5	27
11	21	24.5	28
12	22	25.5	29
13	23	26.5	30
14	24	27.5	31
15	25	28.5	32

5.2.2 Κλάσεις Κατασκευής και Συντελεστές Ασφαλείας

Γενικά οι γραμμές των Δικτύων Διανομής ΜΤ και ΧΤ μελετώνται σε **κλάση κατασκευής**. Β. Στις αστικές περιοχές, οι γραμμές ΜΤ και οι μικτές γραμμές γίνονται με **κλάση κατασκευής Α**. Στις αγροτικές περιοχές η κλάση Β αρκεί. Ακόμη, όταν σε μικτή γραμμή εφαρμόζεται η κλάση Α, αυτό ισχύει τόσο για τη ΜΤ όσο και την υποκείμενη ΧΤ. Η κλάση Α εφαρμόζεται εκεί που απαιτείται μεγαλύτερος βαθμός αξιοπιστίας του δικτύου, καθώς έχει μεγαλύτερους συντελεστές ασφαλείας από την Β.

Τα επιτρεπόμενα φορτία καταπόνησης προκύπτουν από τα αντίστοιχα φορτία κρίσιμου λυγισμού¹ ή φορτία θραύσης¹, αφού διαιρεθούν με τους συντελεστές ασφαλείας της κάθε κλάσης. Έτσι προκύπτουν οι ακόλουθοι **συντελεστές ασφαλείας**:

- Ξύλινοι στύλοι σε λυγισμό.
 - Στύλοι ευθυγραμμίας και διπλών τερμάτων με επιτόνους:
 $v_{\lambda}=2.7$ για κλάση κατασκευής Β και $v_{\lambda}=4$ για κλάση Α.
 - Στύλοι απλού τέρματος ή γωνίας με επίτονο:
 $v_{\lambda}=1.5$ για κλάση κατασκευής Β και $v_{\lambda}=2$ για κλάση Α.
- Ξύλινοι στύλοι σε θραύση.
 - Εγκάρσια και κατακόρυφα φορτία (στύλοι ευθυγραμμίας, τερμάτων και γωνίας με επίτονο):
 $v_{\theta_p}=2.7$ για κλάση κατασκευής Β και $v_{\theta_p}=4$ για κλάση Α.
 - Διαμήκη φορτία (Αυτοστήρικτοι στύλοι ή στύλοι με αντηρίδες):
 $v_{\theta_p}=1.35$ για κλάση κατασκευής Β και $v_{\theta_p}=2$ για κλάση Α.

Άρα οι επιτρεπόμενες τάσεις θραύσης των στύλων υπολογίζονται:

- Εγκάρσια και κατακόρυφη φόρτιση (στύλοι ευθυγραμμίας, τερμάτων και γωνίας με επίτονο):
 $\sigma_{ep}=520/2.7=192.6 \text{ daN/cm}^2$ για την κλάση Β και $\sigma_{ep}=520/4=130 \text{ daN/cm}^2$ για την Α.
- Διαμήκη φόρτιση (αυτοστήρικτοι στύλοι ή στύλοι με αντηρίδες)
 $\sigma_{ep}=520/1.35=385 \text{ daN/cm}^2$ για την κλάση Β και $\sigma_{ep}=520/2=260 \text{ daN/cm}^2$ για την Α.

¹Σημείωση: Οι έννοιες «κρίσιμο φορτίο λυγισμού» και «φορτίο θραύσης» θα αναλυθούν σε επόμενες υποενότητες (5.2.6 και 5.2.7 αντίστοιχα).

5.2.3 Δυνάμεις Καταπόνησης Στύλων

Οι βασικές δυνάμεις που καταπονούν τους στύλους είναι:

- ❖ **Κατακόρυφο φορτίο G λόγω βάρους και τάνυσης αγωγού.** Το κατασκευαστικό βάρος των αγωγών σε συνδυασμό με την εμφάνιση πάγου πάνω στην επιφάνεια τους και τη δύναμη τάνυσης που εμφανίζουν, καταπονούν τους στύλους ως προς την κατακόρυφη

διεύθυνση. Το φορτίο G είναι δυνατό να λάβει και αρνητικές τιμές (τράβηγμα στύλων), ή να είναι και μηδέν. Επίσης για μία ολοκληρωμένη μελέτη στο κατακόρυφο φορτίο G πρέπει να προστίθεται και το βάρος ενός τεχνίτη αλλά και το βάρος των εξαρτημάτων των γραμμών. Συγκεκριμένα, στους γυμνούς αγωγούς MT λαμβάνεται πρόσθετα δύναμη $100+50 = 150$ daN, ενώ στα ΣΚ MT λαμβάνεται $100+3 = 103$ daN.

- ❖ **Εγκάρσιο φορτίο Q που οφείλεται στον άνεμο.** Η πίεση του ανέμου ασκεί δυνάμεις στο σύνολο των αγωγών με ή χωρίς πάγο. Για όλες τις επιφορτίσεις πλην της ελαφράς λαμβάνεται πίεση ανέμου $p = 20$ daN/m². Στην ελαφρά επιφόρτιση $p = 44$ daN/m². Οι συγκεκριμένες τιμές αφορούν τις κυλινδρικές επιφάνειες αγωγών και στύλων, θεωρώντας ως προσπίπτουσα επιφάνεια την προβολή της κυλινδρικής σε επίπεδο κάθετο στη διεύθυνση του ανέμου. Στην περίπτωση επίπεδων επιφανειών (επιφάνεια Μ/Σ, ασφαλειοκιβώτια κ.α.) οι παραπάνω τιμές για την πίεση του ανέμου προσαυξάνονται κατά 60%.

Κατά γενικό κανόνα το εγκάρσιο φορτίο Q δίνεται από τον τύπο:

$$Q = E\Phi\alpha + E\Phi\sigma \quad (5.30)$$

Όπου,

$E\Phi\alpha$ είναι το εγκάρσιο φορτίο επί των αγωγών.

$E\Phi\sigma$ είναι το εγκάρσιο φορτίο επί του στύλου.

Για τους διάφορους στύλους που χρησιμοποιούνται στα δίκτυα διανομής με πλήθος η αγωγών και αποστάσεις μεταξύ των αγωγών L_1 και L_2 ισχύουν οι εξής τύποι:

- Στύλος ευθυγραμμίας MT:

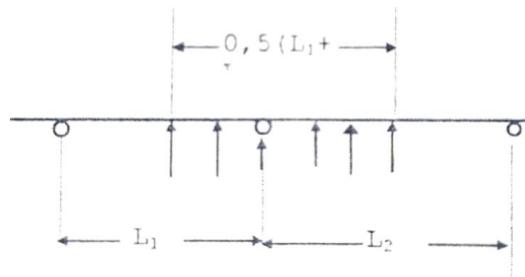
$$Q = 0.5 \cdot (L_1 + L_2) \cdot nWE + E\Phi\sigma \quad (5.31)$$

- Ευθυγραμμία μικτής γραμμής MT/XT:

$$Q = 0.5 \cdot (L_1 + L_2) \cdot [nWE_{MT} + 0.9 \cdot nWE_{XT}] + E\Phi\sigma \quad (5.32)$$

- Στύλοι διπλής γραμμής MT (τυποπ. κατασκ. P-17):

$$Q = 0.5 \cdot (L_1 + L_2) \cdot 5.4WE + E\Phi\sigma \quad (5.33)$$



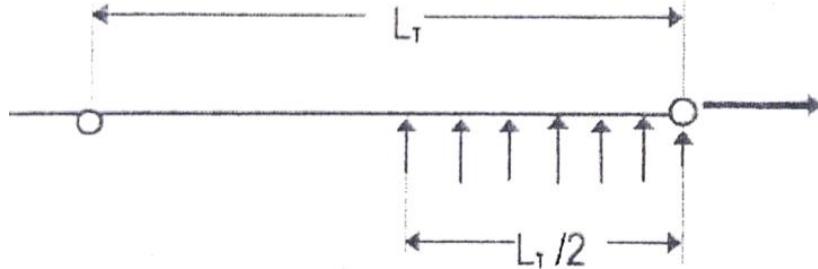
Εικόνα 5.8: Δυνάμεις λόγω ανεμοπίεσης σε στύλο ευθυγραμμίας

- Στύλος τέρματος MT:

$$Q = 0.5 L_T \cdot nWE + E\Phi\sigma \quad (5.34)$$

- Στύλος τέρματος μικτής γραμμής:

$$Q = 0.5 \cdot L_T \cdot [nWE_{MT} + 0.9 \cdot nWE_{XT}] + E\Phi\sigma \quad (5.35)$$



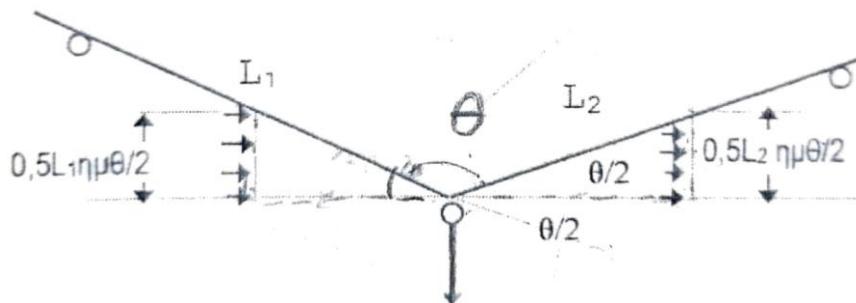
Εικόνα 5.9: Δυνάμεις λόγω ανεμοπίεσης σε στύλο τέρματος

- Στύλος MT γωνίας θ με επίτονο:

$$Q = 0.5 \cdot (L_1 + L_2) \cdot \sin \frac{\theta}{2} \cdot nWE + E\Phi\sigma \quad (5.36)$$

- Στύλος μικτής γραμμής με γωνία θ :

$$Q = 0.5 \cdot (L_1 + L_2) \cdot \sin \frac{\theta}{2} \cdot [nWE_{MT} + 0.9 \cdot nWE_{XT}] + E\Phi\sigma \quad (5.37)$$



Εικόνα 5.10: Δυνάμεις λόγω ανεμοπίεσης σε στύλο γωνίας

Τα βασικά χαρακτηριστικά, όπως οι διάμετροι βάσης και κορυφής, το βάρος, οι ανεμοπίεσεις κ.α., παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 5.6: Βασικά Χαρακτηριστικά Ξύλινων Στύλων

		Διάμετρος						Ανεμοπίεση - Επιφόρτιση	
Στύλοι		Βάσης	Κορυφής	Όγκος	Βάρος	Απόσταση Κέντρου Βάρους από Βάση	Καν. + Βαρ.	Ελαφρά	
HS	Κατηγ.	d _β	d _κ	V	GS	XKB	QS – 20 daN/m ²	QS – 44 daN/m ²	
m		cm	cm	m ³	daN	m	daN	daN	
9	E	20.8	12	0.195	160	3.71	14	30	
10	E	21.8	12	0.231	180	4.06	16	34	
11	E	22.8	12	0.270	220	4.40	17	38	
12	E	23.8	12	0.313	250	4.73	19	43	
9	M	24.3	15	0.278	220	3.80	17	37	
10	M	25.3	15	0.326	260	4.17	19	41	
11	M	26.3	15	0.378	300	4.52	21	46	
12	M	27.3	15	0.433	350	4.87	23	51	
13	M	28.3	15	0.494	400	5.21	26	56	
14	M	29.3	15	0.558	450	5.54	28	62	
9	B	27.8	18	0.376	300	3.87	20	43	
10	B	28.8	18	0.438	350	4.24	22	48	
11	B	29.8	18	0.504	410	4.61	25	54	
12	B	30.8	18	0.574	460	4.97	27	60	
13	B	31.8	18	0.649	520	5.33	30	66	
14	B	32.8	18	0.729	570	5.68	33	72	
15	B	33.8	18	0.815	650	6.02	35	78	

Τέλος, στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται το ανά μέτρο βάρος με ή χωρίς πάγο και η ανά μέτρο δύναμη του ανέμου για τους διάφορους αγωγούς των δικτύων ΜΤ.

Πίνακας 5.7: Ειδικά εγκάρσια και κατακόρυφα φορτία ανά αγωγό (daN/m)

Διατομή μή (mm ²)	Αγωγός	Ελαφρά		Μέση		Βαριά		Υπερβαριά		EB/20		EB/40		EB/60	
		WE	WK ¹	WE	WK	WE	WK	WE	WK	WE	WK	WE	WK	WE	WK
16	ACSR	0.306	0.102	0.399	0.353	0.659	0.846	-	-	-	-	-	-	-	-
35	ACSR	0.454	0.225	0.466	0.538	0.726	1.093	1.222	2.824	-	-	-	-	-	-
95	ACSR	0.759	0.609	0.605	1.051	0.865	1.735	1.361	3.712	3.345	20.430	4.745	40.711	5.945	63.681
16	CU	0.226	0.144	0.363	0.361	0.623	0.819	1.119	2.366	-	-	-	-	-	-
35	CU	0.334	0.315	0.412	0.577	0.672	1.082	1.168	2.716	-	-	-	-	-	-
95	CU	0.557	0.857	0.513	1.214	0.773	1.812	1.269	3.626	3.253	19.692	-	-	-	-
50	ΣΚ ΜΤ	3.080	3.200	1.660	4.625	1.920	6.291	2.416	10.143	4.400	34.358	-	-	-	-
150	ΣΚ ΜΤ	3.960	4.900	2.060	6.697	2.320	8.736	2.816	13.298	4.800	40.356	-	-	-	-
16	AL	0.292	0.075	0.393	0.319	0.653	0.806	-	-	-	-	-	-	-	-
35	AL	0.425	0.157	0.453	0.458	0.713	1.001	-	-	-	-	-	-	-	-
50	AL	0.517	0.229	0.495	0.569	0.755	1.151	-	-	-	-	-	-	-	-

¹Υπόδειξη: Το βάρος του αγωγού είναι όσο το WK στην Ελαφρά επιφόρτιση

- ❖ **Αξονικό φορτίο P που οφείλεται στον επίτονο.** Στην περίπτωση αυτή ο επίτονος ασκεί θλιπτικό φορτίο στο στύλο. Βασική παράμετρος του φορτίου P είναι η κλίση που έχει ο επίτονος, η οποία ορίζεται ως η συνεφαπτομένη της γωνίας που σχηματίζει ο επίτονος με το στύλο.

Στον ΚΕΣΥΓΗΕ αναφέρεται πως:

- Κατά τους υπολογισμούς εγκάρσιας αντοχής, θεωρείται πως τα εγκάρσια και κατακόρυφα φορτία δρουν ταυτόχρονα
- Κατά τους υπολογισμούς διαμήκους αντοχής, θεωρείται πως τα διαμήκη φορτία ασκούνται ανεξαρτήτως από τα εγκάρσια ή κατακόρυφα

Για τον υπολογισμό του P σε daN γίνεται ανάλυση των δυνάμεων (εικόνα 5.9) και προκύπτει ο εξής γενικός τύπος:

$$P = S \cdot t \quad (5.38)$$

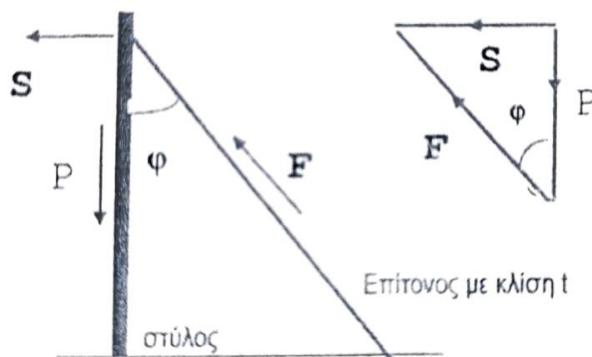
Όπου,

t είναι η κλίση.

S είναι το οριζόντιο φορτίο (daN).

Δηλαδή το φορτίο P υπολογίζεται με τον πολλαπλασιασμό του οριζόντιου φορτίου επί την κλίση του επιτόνου. Ακόμη, για την εφελκτική δύναμη F του επιτόνου ισχύει:

$$F = S \cdot \sqrt{1 + t^2} \quad (5.39)$$



Εικόνα 5.11: Ανάλυση δυνάμεων επιτόνου επί στύλου

Τέλος για τα διάφορα είδη στύλων ο τύπος για την εύρεση του φορτίου P (daN) διαμορφώνεται ως εξής:

- Στύλος ευθυγραμμίας και γενικότερα στύλος χωρίς επίτονο: $P = 0$
- Στύλος απλού τέρματος με επίτονο σε κλίση t :

$$P = n \cdot T \cdot t \quad (5.40)$$

Όπου,

$n \cdot T$ η συνολική δύναμη τάνυσης του στύλου με n αγωγούς.

- Στύλος γωνίας θ με επίτονο σε κλίση t :

$$P = \left\{ 2nT \sin \frac{\theta}{2} + 1.78 \cdot (E\Phi\alpha + E\Phi\sigma) \right\} \cdot t \quad (5.41)$$

Όπου,

$$E\Phi\alpha = 0.5(L_1 + L_2) \cdot n \cdot WE \cdot \cos \frac{\theta}{2}$$

- ❖ Στύλος διακλάδωσης με γωνία θ ως προς την κύρια γραμμή με επίτονο:

$$P = \{nT + 1.78(E\Phi\alpha + E\Phi\sigma)\} \cdot t \quad (5.42)$$

Όπου,

$$E\Phi\alpha = 0.5(L_1 + L_2) \cdot n \cdot WE \cdot \sin \theta$$

L_1 και L_2 αφορούν τις αποστάσεις των αγωγών της κύριας γραμμής

- ❖ Στύλος γωνίας θ μικτής γραμμής MT/XT με επίτονο σε κλίση t :

$$P = 2t \cdot [nT_{MT} + nT_{XT}] \cdot \sin \frac{\theta}{2} \quad (5.43)$$

- ❖ Στύλος απλού τέρματος μικτής γραμμής MT/XT με επίτονο σε κλίση t :

$$P = t \cdot [nT_{MT} + nT_{XT}] \quad (5.44)$$

- ❖ Στύλος διπλού τερματισμού σε γωνία με επιτόνους σε κλίσεις t_1 και t_2 :

$$P = n_1 \cdot T_1 \cdot t_1 + n_2 \cdot T_2 \cdot t_2 \quad (5.45)$$

Όπου,

$n_1 \cdot T_1$ είναι η συνολική δύναμη τάνυσης της διεύθυνσης 1.

$n_2 \cdot T_2$ είναι η συνολική δύναμη τάνυσης της διεύθυνσης 2.

5.2.4 Σημείο Εφαρμογής των Δυνάμεων

Στους ξύλινους στύλους γενικά, το **σημείο εφαρμογής όλων των δυνάμεων λαμβάνεται σε απόσταση 20 cm από την κορυφή τους**. Επομένως για τις απλές γραμμές MT (π.χ. κατασκευές P-3, P-11) το σημείο αυτό χρησιμοποιείται για τον καθορισμό των ορίων αντοχής των στύλων. Το ίδιο ισχύει και στις μικτές γραμμές MT/XT όπου λαμβάνεται το ίδιο σημείο εφαρμογής με την εξαίρεση πως τα εγκάρσια φορτία λαμβάνονται πολλαπλασιασμένα με συντελεστή αναγωγής 0.9. Τέλος, στις περιπτώσεις κατακόρυφων διατάξεων (π.χ. P-9IV, P-9II) και διπλών γραμμών MT (π.χ. P-17), το σημείο εφαρμογής λαμβάνεται σε ύψος 1.20 m χαμηλότερα της κορυφής.

5.2.5 Έκκεντρη Φόρτιση

Σε κάποιες κατασκευές, τα κατακόρυφα φορτία επιβάλλονται στον κατακόρυφο άξονα του στύλου (π.χ. κατασκευές P-3B), ενώ στην περίπτωση άλλων κατασκευών επιβάλλονται έξω από τον άξονα αυτό (π.χ. P-5, S-3, S-13). Ως **εκκεντρότητα** ορίζεται η οριζόντια απόσταση εφαρμογής της κατακόρυφης δύναμης από τον άξονα του στύλου και συμβολίζεται με **ΕΚ**. Η εκκεντρότητα αποτελεί πρόσθετη επιβάρυνση για την αντοχή του στύλου και διαφέρει από

κατασκευή σε κατασκευή. Ενδεικτικά, η κατασκευή P-3 έχει εκκεντρότητα που οφείλεται στο μεσαίο αγωγό και υπολογίζεται $25/3 = 8.33$ cm, ενώ στην κατασκευή P-203 με ΣΚ ΜΤ η εκκεντρότητα είναι 25 cm από την επιφάνεια του στύλου.

5.2.6 Αντοχή Στύλων σε Λυγισμό

Ο λυγισμός πρόκειται για μία καταπόνηση δυσμενέστερη της θλίψης και παρουσιάζεται όταν ο φορέας που θλίβεται, στην περίπτωση αυτοί οι στύλοι, έχει μήκος πολύ μεγαλύτερο των διαστάσεων της επιφάνειας θλίψης. Ο λυγισμός οφείλεται στις δυνάμεις που ασκεί το κατακόρυφο φορτίο G με κατεύθυνση προς τα κάτω και προηγείται της θραύσης.

Το **κρίσιμο φορτίο λυγισμού** εξαρτάται από συγκεκριμένες βασικές παραμέτρους, όπως είναι η δυνατότητα της κορυφής του στύλου να μετακινηθεί, οι γεωμετρικές διαστάσεις του στύλου, το ελεύθερο μήκος λυγισμού και το βάθος θεμελίωσης. Προκύπτουν έτσι διαφορετικοί τρόποι υπολογισμού του κρίσιμου φορτίου σε στύλους ευθυγραμμίας, τέρματος και γωνιών. Άκολούθως, το κρίσιμο φορτίο διαιρείται με το συντελεστή ασφαλείας και υπολογίζεται το **επιτρεπόμενο φορτίο λυγισμού**. Συγκεκριμένα:

- **Λυγισμός σε στύλους ευθυγραμμίας.** Το κρίσιμο φορτίο υπολογίζεται θεωρώντας ότι η κορυφή του στύλου είναι ελεύθερη να μετακινηθεί προς όλες τις κατευθύνσεις. Το κρίσιμο φορτίο G_{kp} σε daN δίνεται από τον τύπο:

$$G_{kp} = K^2 \cdot E \cdot I_1 \cdot \gamma^4 \quad (5.46)$$

Όπου,

Κ είναι η λύση της εξίσωσης $\tan(K \cdot \varepsilon) = -K \cdot \gamma$ στο διάστημα $(\pi/2\varepsilon, \pi/\varepsilon)$.

I₁ είναι η ροπή αδράνειας της διατομής στην επιφάνεια του εδάφους $I_1 = \frac{\pi \cdot d_1^4}{64}$

Τα γ, ε, I₁, και d₁ λαμβάνονται συγκεκριμένες τιμές για τους διάφορους στύλους.

Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται το κρίσιμο φορτίο G και τα επιτρεπόμενα φορτία για τις διάφορες κατηγορίες στύλων ευθυγραμμίας κλάσης A και B.

Πίνακας 5.8: Μέγιστα επιτρεπόμενα φορτία λυγισμού στύλων ευθυγραμμίας (daN)

Στύλοι		Κρίσιμο φορτίο λυγισμού	Επιτρ. φορτίο λυγισμού	
			Κλάση B	Κλάση A
Υψος (m)	Κατηγορία	G_{kp} (daN)	G_{ep} (daN)	G_{ea} (daN)
9	E	1969	729	492
10	E	1746	647	437
11	E	1584	587	396
12	E	1471	545	368
9	M	4236	1569	1059
10	M	3662	1356	916

Πίνακας 5.8 (συνέχεια): Μέγιστα επιτρεπόμενα φορτία λυγισμού στύλων ευθυγραμμίας (daN)

11	M	3248	1203	812
12	M	2964	1098	741
13	M	2717	1006	679
14	M	2540	941	635
9	B	8031	2974	2008
10	B	6817	2525	1704
11	B	6023	2231	1506
12	B	5415	2006	1354
13	B	4891	1812	1223
14	B	4517	1673	1129
15	B	4179	1548	1045

- **Λυγισμός σε στύλους απλού τέρματος ή γωνίας με επίτονο.** Σε αυτή την περίπτωση η δυνατότητα μετακίνησης της κορυφής του στύλου είναι αρκετά περιορισμένη, ενώ επιπλέον υπάρχει και η δύναμη P στη διεύθυνση του άξονα του στύλου, λόγω του επιτόνου. Το συνολικό κρίσιμο φορτίο σε daN είναι ίσο με:

$$(\mathbf{P} + \mathbf{G})_{\kappa\rho} = K^2 \cdot E \cdot I_1 \cdot \gamma^4 \quad (5.47)$$

Όπου,

$$K \text{ είναι η λύση της εξίσωσης } cot(K \cdot \varepsilon) = -\frac{1-\beta}{\gamma} \cdot \frac{1}{K} - \frac{\beta \cdot E \cdot I_1 \cdot \gamma^3}{G} \cdot K \text{ στο διάστημα } \left(\frac{\pi}{2\varepsilon}, \frac{\pi}{\varepsilon} \right).$$

$\beta, \gamma, \varepsilon$ και I_1 όμοια με παραπάνω.

Επομένως το κρίσιμο φορτίο λυγισμού εξαρτάται άμεσα από το κατακόρυφο φορτίο G. Για κάθε $G \neq 0$ το μέγιστο επιτρεπόμενο φορτίο λυγισμού τέρματος είναι ίσο με:

$$\mathbf{P}_{\varepsilon\pi} = \frac{K^2 \cdot E \cdot I_1 \cdot \gamma^4}{\nu_\lambda} - \mathbf{G} \quad (5.48)$$

Όπου,

$\nu_\lambda = 1.5$ για την κλάση B και $\nu_\lambda = 2$ για την κλάση A.

K, γ, G, I_1 όμοια με παραπάνω.

Στον πίνακα παρακάτω δίνονται τα μέγιστα επιτρεπόμενα φορτία λυγισμού $P_{\varepsilon\pi}$ για διάφορες τιμές του G, για τους διάφορους τερματικούς ή γωνιακούς στύλους με επίτονο. Η δύναμη θεωρείται πως εφαρμόζεται σε απόσταση 0.2 m από την κορυφή και οι στύλοι είναι σε οριζόντια διάταξη με βάθος θεμελίωσης (β.θ.) σε «καλό» έδαφος.

Πίνακας 5.9: Μέγιστα επιτρεπόμενα φορτία $P_{\text{επ}}$ τερματικών ή γωνιακών στύλων με επίτονο (daN)

Στύλοι		G=200 daN		G=400 daN		G=600 daN		G=1000 daN		G=1600 daN	
Υψος (m)	Κατηγ.	Κλάση B	Κλάση A	Κλάση B	Κλάση A	Κλάση B	Κλάση A	Κλάση B	Κλάση A	Κλάση B	Κλάση A
9	E	3322	2441	2935	2101	2534	1751	1689	1017	292	-
10	E	2797	2047	2417	1713	2023	1367	1186	639	-	-
11	E	2415	1761	2041	1431	1653	1090	825	369	-	-
12	E	2152	1564	1784	1238	1401	901	582	186	-	-
9	M	7935	5901	7546	5560	7152	5214	6343	4507	5077	3408
10	M	6593	4895	6211	4559	5823	4217	5024	3518	3766	2425
11	M	5630	4173	5255	3841	4872	3504	4083	2812	2834	1725
12	M	4975	3681	4605	3354	4227	3020	3446	2335	2205	1254
13	M	4407	3255	4043	2932	3670	2603	2898	1924	1667	850
14	M	4000	2950	3640	2630	3272	2304	2508	1631	1286	564
9	B	15847	11835	15456	11492	15061	11145	14261	10445	13034	9375
10	B	13023	9717	12638	9378	12249	9037	11459	8344	10244	7283
11	B	11189	8342	10809	8007	10425	7669	9644	6983	8439	5929
12	B	9793	7295	9418	6963	9039	6629	8266	5950	7071	4903
13	B	8595	6396	8225	6069	7851	5738	7087	5065	5902	4027
14	B	7742	5757	7377	5433	7007	5105	6251	4438	5076	3407
15	B	6977	5182	6616	4862	6250	4538	5503	3877	4338	2854

- **Λυγισμός σε στύλους διπλού τέρματος με επιτόνους σε γωνία.** Σε αυτή την περίπτωση η κορυφή του στύλου δεν μετακινείται σε οριζόντιο επίπεδο αλλά μόνο προς τα κάτω. Το συνολικό κρίσιμο φορτίο λυγισμού με γνωστά τα d_0 , d_1 και h , δίνεται από τον τύπο:

$$(P + G)_{\kappa\rho} = 0.991 \cdot E \cdot \left(\frac{d_0 \cdot d_1}{h}\right)^2 \quad (5.49)$$

Στον ακόλουθο πίνακα φαίνονται οι τιμές που δεν πρέπει να υπερβαίνει το κατακόρυφο φορτίο P+G, ώστε ο στύλος να θεωρείτε επαρκής. Ο πίνακας αφορά σε διπλά τέρματα MT. Μπορούν να ληφθούν είτε οι τιμές της στήλης για ύψος πρόσδεσης επιτόνου 1.35m από την κορυφή, είτε οι τιμές για την τυποποιημένη κατασκευή P-9II (ΟΔ Νο 41) καθώς διαφέρουν πολύ λίγο

Πίνακας 5.10: Συνολικό επιτρεπόμενο κατακόρυφο φορτίο σε στύλους διπλών τερμάτων με επίτονο (daN)

					Υψος πρόσδεσης επιτόνου 1.35 m		Κατασκευή P-9II	
Στύλοι		d_k (cm)	d_β (cm)	h_0 (cm)	Kλ. B	Kλ. A	Kλ. B	Kλ. A
9	E	12	20.8	150	7086	4783	6890	4640
10	E	12	21.8	150	5800	3915	5740	3870
11	E	12	22.8	150	4915	3318	4920	3310
12	E	12	23.8	160	4330	2923	4360	2930
9	M	15	24.3	170	15571	10511	15350	10340
10	M	15	24.3	170	11413	7704	12480	8400
11	M	15	25.3	170	9511	6420	10460	7040
12	M	15	26.3	180	8271	5583	9110	6130
13	M	15	27.3	180	7233	4883	7970	5360
14	M	15	28.3	190	6509	4394	7160	4820

Πίνακας 5.8(συνέχεια): Συνολικό επιτρεπόμενο κατακόρυφο φορτίο σε στύλους διπλών τερμάτων με επίτονο (daN)

9	B	18	27.8	180	30279	20438	29800	20100
10	B	18	28.8	180	23815	16075	23800	16050
11	B	18	29.8	180	19502	13164	20020	13480
12	B	18	30.8	200	16992	11470	17200	11580
13	B	18	31.8	200	14618	9867	14830	9980
14	B	18	32.8	210	12980	8762	13180	8880
15	B	18	33.8	210	11547	7794	11720	7890

5.2.7 Αντοχή Στύλων σε Θραύση

❖ Θραύση Αυτοστήρικτων Στύλων

Αν οι στύλοι ήταν απόλυτα κυλινδρικοί και με την υπόθεση πως καταπονούνται μόνο από το οριζόντιο φορτίο Q, τότε το επικίνδυνο σημείο θραύσης θα ήταν στην επιφάνεια του εδάφους όπου εντοπίζεται η μεγαλύτερη ροπή κάμψης.

Δεδομένου όμως ότι οι στύλοι έχουν σχήμα κόλουρου κώνου, οδεύοντας από την κορυφή προς τα κάτω αυξάνεται αναλογικά η ροπή κάμψης, αλλά ταυτόχρονα αυξάνεται και η διάμετρος με παράλληλη αύξηση της ροπής αντίστασης και το δυσμενέστερο σημείο θραύσης υπολογίζεται αναλυτικά θεωρώντας σταθερή κωνικότητα. Στο δυσμενέστερο αυτό σημείο αναπτύσσεται η μεγαλύτερη τάση θραύσης. Η απόσταση του **δυσμενέστερου σημείου θραύσης του στύλου σε cm από την κορυφή του προκύπτει** ως εξής:

$$x = \frac{d_0}{2t} \quad (5.50)$$

Όπου,

d_0 είναι η διάμετρος κορυφής.

t είναι η σταθερή κλίση της κωνικότητας.

Άρα για του στύλους E, M, B σχηματίζεται ο παρακάτω πίνακας:

Πίνακας 5.11: Φορτία θραύσης και επικίνδυνο σημείο θραύσης ξύλινων στύλων.

Κατηγορία Στύλου	Διάμετρος Κορυφής (d_0) cm	Κωνικότητα cm/m	Επικίνδυνο σημείο θραύσης m	Μέγιστα επιτρεπόμενα φορτία θραύσης
E	12	1	6	500
M	15	1.06	7.07	825
B	18	1.1	8.18	1250

Παρατηρήσεις:

- Ο πίνακας αφορά για υπολογισμούς μόνο σε οριζόντιο φορτίο.
- Σε καμία περίπτωση δε μπορεί το επικίνδυνο σημείο θραύσης να είναι κάτω από την επιφάνεια του εδάφους.

❖ Θραύση Στύλων Ευθυγραμμίας

Στην περίπτωση της ταυτόχρονης εφαρμογής των δυνάμεων G με εκκεντρότητα EK (ή e) και Q, η επίδραση του κατακόρυφου φορτίου προκαλεί κάποιες διαφοροποιήσεις. Ο τύπος της συνολικής θλιπτικής τάσης σ είναι:

$$\sigma = \frac{4}{\pi d_1^2} \cdot \frac{\beta^2 h^2}{x^2} \cdot \left[1 - \frac{8\beta h}{d_1} \cdot \frac{Q}{G} \cdot \frac{\sin\left(\frac{K}{x} - \alpha K\right)}{S} + \frac{8e}{d_0} \cdot \frac{\sin\left(\frac{K}{x} - K\gamma\right) + K\gamma \cos\left(\frac{K}{x} - K\gamma\right)}{S} \right] \quad (5.51)$$

Όπου,

x είναι η απόσταση από την κορυφή.

G το κατακόρυφο φορτίο σε εκκεντρότητα e.

Q το οριζόντιο φορτίο.

S = sin(Kε) + Kγcos(Kε)

και $\lambda = \frac{4G\beta^2 h^2}{\pi d_1^2}$, $\mu = \frac{8\beta h}{GSD_1}$, $\zeta = \frac{8eK\gamma}{d_0 S}$, $\rho = \frac{8e}{d_0 S}$

Η μέγιστη τάση λαμβάνεται για εκείνη την τιμή του x που μεγιστοποιεί την σ. Η μέγιστη αυτή τάση δεν πρέπει να ξεπεραστεί σε καμία περίπτωση, λαμβάνοντας υπόψη και τους συντελεστές ασφαλείας $v_\lambda = 2.7$ για την κλάση B και $v_\lambda = 4$ για την A.

❖ Θραύση στύλων Απλού Τέρματος ή γωνίας με επίτονο

Η καταπόνηση του στύλου από τον συνδυασμό των δυνάμεων G, Q, και P, αποδίδει μέγιστη τάση θλίψης σε κάποιο σημείο κάτω από την κορυφή. Για συγκεκριμένο G το άθροισμα P+G πρέπει να είναι μικρότερο του επιτρεπόμενου φορτίου λυγισμού. Δηλαδή, για επιλεγμένο G η τιμή P δεν πρέπει να υπερβαίνει τις καθορισμένες τιμές P_{ep} των στύλων. Ακόμη, η τιμή της τάσης στο σημείο μεγιστοποίησης της, δεν πρέπει να υπερβαίνει το επιτρεπόμενο φορτίο θραύσης με όριο $520/2.7 = 192.6 \text{ daN/cm}^2$ για την κλάση B και $520/4 = 130 \text{ daN/cm}^2$ για την A.

Η τάση θραύσης σε αυτήν την περίπτωση υπολογίζεται ως εξής:

$$\sigma(x) = \frac{\lambda}{x^2} \cdot \left(1 - Q\mu \cdot \sin\left(\frac{K}{x} - \alpha K\right) \right) \quad (5.52)$$

Όπου,

$$K^2 = \frac{P+G}{E \cdot I_1 \cdot \gamma^4}$$

$$\lambda = \frac{4(P+G)\beta^2 h^2}{\pi d_1^2}$$

$$\mu = \frac{\frac{8\beta h}{d_1}}{(P\beta+G) \cdot \sin(K\varepsilon) + K\gamma \cdot \cos(K\varepsilon)}$$

Η μεγιστοποίηση της $\sigma(x)$ μπορεί να γίνει είτε με κάποια αριθμητική μέθοδο μεγιστοποίησης, είτε με εύρεση του x κατά το μηδενισμό της πρώτης παραγώγου της $\sigma(x)$ και τοποθέτηση αυτής της τιμής στη $\sigma(x)$.

Τελικά, για να θεωρείται ο στύλος επαρκής πρέπει να ισχύουν ταυτόχρονα οι παρακάτω συνθήκες:

$$\text{I. } P \leq P_{\varepsilon\pi}$$

$$\text{II. } \sigma_{\max} \leq 192.6 \text{ daN/cm}^2 \text{ για κλάση B ή } \sigma_{\max} \leq 130 \text{ daN/cm}^2 \text{ για κλάση A.}$$

5.2.8 Αντοχή Στύλων σε Παραμόρφωση

Ιδιαίτερα σημαντική, εκτός από την αντοχή σε θραύση και λυγισμό, είναι η αντοχή των στύλων έναντι της παραμόρφωσης τους πέραν κάποιων ορίων, τόσο για λόγους αισθητικής όσο και για την εξασφάλιση των ελάχιστων αποστάσεων ασφαλείας. Ως **παραμόρφωση** ορίζεται η απομάκρυνση της κορυφής του στύλου από την κατακόρυφη διεύθυνση (βέλος κορυφής) και πρέπει να βρίσκεται εντός συγκεκριμένων ορίων (επιτρεπτή ελαστική παραμόρφωση). Οφείλεται μόνο στις μόνιμες δυνάμεις που καταπονούν τους στύλους, χωρίς δηλαδή να λαμβάνεται υπόψη η ανεμοπίεση.

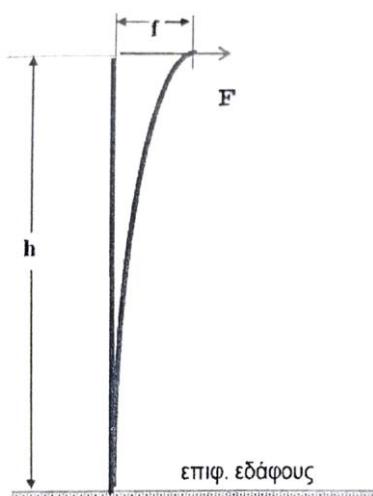
Έστω στύλος με διάμετρο κορυφής d_k και παραμόρφωση που προκαλεί σε αυτόν **βέλος κορυφής** f . Για το συνολικό βέλος f τα αποδεκτά όρια ορίζονται:

- Σε στύλους με εκκεντρότητα μικρότερη των 50 cm (κατασκ. P-3, S-3, P-203 κ.τ.λ.):

$$f \leq 2.5d_0 \quad (5.53)$$

- Σε στύλους με μεγαλύτερη εκκεντρότητα (κατασκ. P-5, P-5K, S-13 κ.τ.λ.):

$$f \leq d_0 \quad (5.54)$$



Εικόνα 5.12: Βέλος κορυφής f λόγω παραμόρφωσης

❖ **Στύλοι ευθυγραμμίας με κατακόρυφο φορτίο G**

Το βέλος f σε cm υπολογίζεται σύμφωνα με το ακόλουθο τύπο:

$$f = e \left(\frac{\alpha K}{\sin(K\varepsilon) + K\gamma \cos(K\varepsilon)} - 1 \right) \quad (5.55)$$

Όπου,

$$K = \sqrt{\frac{G}{E \cdot I_1 \cdot \gamma^4}}$$

$e = EK$ είναι η εκκεντρότητα.

α, γ , και ε παράμετροι που διαφοροποιούνται ανάλογα με το στύλο.

❖ **Αυτοστήρικτοι στύλοι**

Έστω στύλος στον οποίο ασκείται οριζόντια δύναμη F σε απόσταση h από την επιφάνεια του εδάφους (εικ 5.10). Το βέλος f σε cm υπολογίζεται ως εξής:

$$f = \frac{F \cdot h^3}{3E \cdot I_{ls}} \quad (5.56)$$

Όπου,

F η δύναμη (daN).

h, d_0 και d_1 (cm).

$E = 110000$ (daN/cm²).

$I_{ls} = \frac{\pi d_0 d_1^3}{64}$, I_{ls} είναι η ισοδύναμη ροπή αδράνειας που αντιστοιχεί στην ισοδύναμη

διάμετρο του κολουροκωνικού στύλου με διάμετρο στην επιφάνεια του εδάφους d_1 και d_0 στο σημείο της δύναμης. Δηλαδή $d_{ls} = \sqrt[4]{d_0 d_1^3}$.

Αντίστοιχα η μέγιστη δύναμη F προκύπτει από τον τύπο (5.55) ίση με:

$$F = \frac{3f \cdot E \cdot I_{ls}}{h^3} \quad (5.57)$$

$$\text{Οπότε για } f \leq 2.5d_0 : \quad F \leq \frac{7.5\pi \cdot E \cdot d_0^2 d_1^3}{64h^3} \quad (5.58)$$

$$\text{ενώ για } f \leq d_0 : \quad F \leq \frac{3\pi \cdot E \cdot d_0^2 d_1^3}{64h^3} \quad (5.59)$$

❖ **Αυτοστήρικτος Στύλος με Οριζόντιο και Έκκεντρο Κατακόρυφο Φορτίο**

Όταν ο στύλος υπόκειται σε οριζόντιο φορτίο Q και κατακόρυφο G υπό εκκεντρότητα e , θα υποστεί παραμόρφωση στην κορυφή κατά ένα βέλος f (εικ. 5.11). Πιο συγκεκριμένα, το βέλος αυτό είναι άθροισμα ή διαφορά δύο βελών f_1 και f_2 , ανάλογα με την κατεύθυνση κατά την οποία ενεργεί η δύναμη Q .

Τα f_1 και f_2 υπολογίζονται ως εξής:

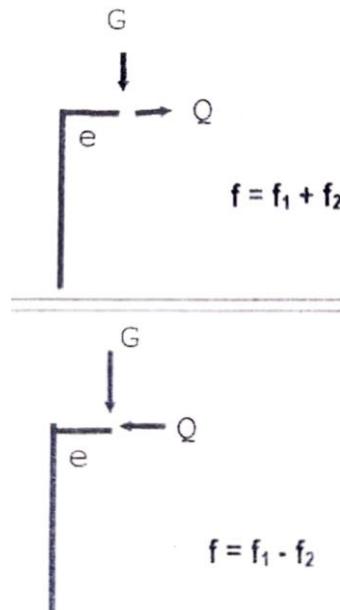
$$f_1 = e \cdot \left(\frac{\alpha K}{\sin(K\varepsilon) + K\gamma \cos(K\varepsilon)} - 1 \right) \quad (5.60)$$

$$f_2 = \frac{q}{G} \cdot \frac{\frac{\sin(K\varepsilon)}{\alpha} - K \cdot \frac{\cos(K\varepsilon)}{\beta}}{\sin(K\varepsilon) + K\gamma \cos(K\varepsilon)} \quad (5.61)$$

Όπου,

$$K = \sqrt{\frac{G}{E \cdot I_1 \cdot \gamma^4}}$$

α, β, γ και ε παράμετροι που διαφοροποιούνται ανάλογα με το στύλο.



Εικόνα 5.13: Βέλος κορυφής με επίδραση φορτίου Q και G υπό εκκεντρότητα e

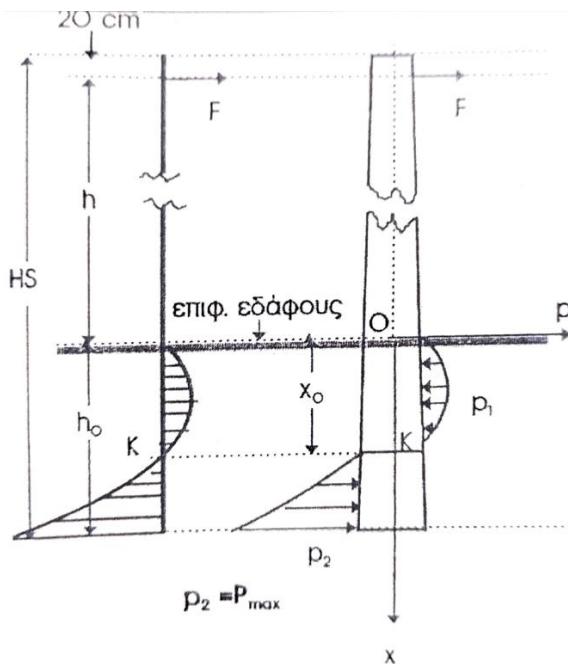
5.3 Θεμελίωση Ξύλινων Στύλων

Όπως αναλύθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, οι στύλοι των Δικτύων Διανομής καταπονούνται από οριζόντιες και κατακόρυφες δυνάμεις που επιβάλλονται στην κορυφή τους, ή γενικότερα σε κάποια συγκεκριμένα σημεία κατά το ύψος τους. Σύμφωνα με τους κανονισμούς η θεμελίωση των στύλων πρέπει να γίνεται σύμφωνα με συγκεκριμένες προδιαγραφές, ώστε να εξασφαλίζεται η σταθερότητα του εδάφους στο οποίο τοποθετούνται, υπό την επίδραση των μέγιστων καταπονήσεων.

Η θεμελίωση των στύλων διακρίνεται σε δύο κατηγορίες. Από τη μία η **πλευρική θεμελίωση** αφορά την αντοχή στις οριζόντιες δυνάμεις που καταπονούν τις πλευρικές επιφάνειες του στύλου στο έδαφος, δεδομένου πως η διάμετρος της βάσης είναι μικρή και δεν συμμετέχει ουσιαστικά στην αντίσταση ανατροπής του στύλου. Από την άλλη η **κατακόρυφη θεμελίωση** αφορά την αντοχή έναντι των κατακόρυφων δυνάμεων που καταπονούν τη βάση θεμελίωσης.

5.3.1 Πλευρική Θεμελίωση Στύλων – Μέθοδος Mohr

Έστω σύστημα αξόνων pOx και στύλος (εικ. 5.12) ύψους HS (cm) και θεμελίωση σε βάθος h_0 (cm). Ο άξονας των πιέσεων p βρίσκεται στην επιφάνεια του εδάφους, ενώ ο άξονας των x συμπίπτει με τον κατακόρυφο άξονα του στύλου με κατεύθυνση προς το έδαφος. Στον στύλο ασκείται φορτίο F παράλληλο στον άξονα p και σε απόσταση 20 cm από την κορυφή του.



Εικόνα 5.14: Ανάλυση βάθους και δυνάμεων θεμελίωσης

Η κατανομή των πιέσεων που καταπονούν τον στύλο εκφράζονται από την εξίσωση:

$$p(x) = ax(x - x_0) \quad (5.62)$$

Όπου,

$$x_0 \text{ είναι η απόσταση του κέντρου περιστροφής από την επιφάνεια: } x_0 = \frac{h_0(4h+3h_0)}{6h+4h_0}$$

$$\alpha \text{ είναι σταθερά ίση με: } \alpha = \frac{P_{max}}{h_0(h_0-x_0)}$$

Η μεγαλύτερη πίεση ασκείται στο κατώτερο σημείο του στύλου, οπότε για να υπάρχει επάρκεια θεμελίωσης πρέπει η πίεση αυτή να είναι μικρότερη από εκείνη που μπορεί να δεχτεί το έδαφος, δηλαδή $p_2 \leq P_{max}$. Επομένως για τη **μέγιστη οριζόντια δύναμη F σε daN που μπορεί να αντέξει η θεμελίωση** προκύπτει ο ακόλουθος τύπος:

$$F \leq P_{max} \cdot \frac{bh_0^2}{12\left(h+\frac{h_0}{2}\right)} \quad (5.63)$$

Όπου,

h_0 το βάθος θεμελίωσης (cm).

h το ελεύθερο ύψος του στύλου: $h = HS - h_0 - 20$ (cm).

P_{max} είναι η μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση εδάφους (daN/cm²).

b είναι το μέσο πλάτος θεμελίωσης (cm).

Παρατηρήσεις

- Αν ο στύλος είχε κυλινδρικό σχήμα διαμέτρου d τότε θα ίσχυε $b = d$. Επειδή στην πραγματικότητα έχει σχήμα κόλουρου κώνου, ως b λαμβάνεται η μέση διάμετρος του στύλου στο εντός εδάφους τμήμα του. Δηλαδή $b = 0.5(d_\beta + d_1) = 0.5(2d_\beta - th_0)$, όπου d_β η διάμετρος στην επιφάνεια του εδάφους και t η κωνικότητα στην περιοχή της θεμελίωσης ($t = 0.01$ για τους ξύλινους στύλους και $t = 0.015$ για τους τσιμεντόστυλους).
- Η μέγιστη πίεση P_{max} επί του εδάφους, εξαρτάται από το είδος του εδάφους και φαίνεται στον πίνακα του παραρτήματος.
- Στην περίπτωση που η πλευρική αντοχή της θεμελίωσης υπολείπεται ελάχιστα των απαιτούμενων προδιαγραφών, μικρή αύξηση του βάθους θεμελίωσης μπορεί να εξασφαλίζει επάρκεια. Πιο συγκεκριμένα αυξάνοντας το τυπικό βάθος κατά 10%, προκύπτει αύξηση της αντοχής της πλευρικής θεμελίωσης κατά 21%.

5.3.2 Κατακόρυφη Θεμελίωση

Η ορθή θεμελίωση των στύλων πρέπει να εξασφαλίζει επάρκεια ως προς την καταπόνηση που ασκούν τα κατακόρυφα φορτία των στύλων. Τα φορτία αυτά οφείλονται στο βάρος των αγωγών και στο ίδιο το βάρος των στύλων και ασκούν πιέσεις στο υπέδαφος μέσω της επιφάνειας της βάσης του στύλου. Έστω λοιπόν στύλος με βάρος GS και διάμετρο d_β και G το

κατακόρυφο φορτίο, τότε θα πρέπει η πίεση που θα ασκηθεί στο υπέδαφος να είναι μικρότερη της μέγιστης επιτρεπόμενης. Η συνθήκη αυτή για την ασκούμενη πίεση αποδίδει την παρακάτω σχέση:

$$G \leq P_{max} \cdot \frac{\pi d_\beta^4}{4} - GS \quad (5.64)$$

Μέσω της σχέσης αυτής μπορούν να υπολογιστούν τα μέγιστα επιτρεπόμενα φορτία G για όλους τους στύλους και για όλες τις κατηγορίες εδάφους.

5.3.3 Τυποποίηση Θεμελίωσης Στύλων

Με τη χρήση των παραπάνω σχέσεων και μέσω της πρακτικής εμπειρίας σε πλήθος εφαρμογών και σε βάθος χρόνου, η ΔΕΗ έχει προκαθορίσει τα τυπικά βάθη θεμελίωσης για τις διάφορες κατηγορίες στύλων, ανάλογα με το είδος τους εδάφους. Έτσι σύμφωνα και με τη σελίδα F-6 του ΕΤΚΔ, σχηματίζεται ο παρακάτω πίνακας:

Πίνακας 5.12: Βάθη θεμελιώσεως στύλων σε m ανάλογα με το είδος εδάφους

Υψος Στύλου (m)	Έδαφος											
	Πτωχό			Κανονικό			Καλό			Βραχώδες		
	E	M	B	E	M	B	E	M	B	E	M	B
9	1.70	2.30	2.40	1.70	1.80	2.10	1.50	1.70	1.80	1.10	1.40	1.50
10	1.70	2.40	2.50	1.70	1.80	2.20	1.50	1.70	1.80	1.10	1.40	1.60
11	1.80	2.40	2.60	1.70	2.00	2.30	1.50	1.70	1.90	1.10	1.50	1.60
12	1.80	2.60	2.70	1.80	2.10	2.30	1.60	1.80	2.00	1.10	1.50	1.70
13	-	2.60	2.80	-	2.10	2.40	-	1.80	2.00	-	1.60	1.70
14	-	2.60	2.90	-	2.10	2.40	-	1.90	2.10	-	1.60	1.80
15	-	-	3.00	-	-	2.40	-	-	2.10	-	-	1.80

5.4 Στύλοι Οπλισμένου Σκυροδέματος – Φυγοκεντρικοί Τσιμεντόστυλοι

5.4.1 Μηχανικά Χαρακτηριστικά Τσιμεντόστυλων

- ❖ **Τύπος στύλων.** Ανάλογα με το δίκτυο στο οποίο τοποθετούνται οι στύλοι διακρίνονται σε τρεις τύπους. Συγκεκριμένα:
 - Τύπος 1: Στύλος XT (Μόνο για ΣΚ XT σε ύψη 9 και 10 m).
 - Τύπος 2: Στύλος MT και XT.
 - Τύπος 3: Στύλος MT και XT (Με περισσότερες τρύπες).

- ❖ **Κατηγορίες, φορτία, ύψος και διάμετροι στύλων.** Τα βασικά μηχανικά χαρακτηριστικά των τσιμεντόστυλων αναλύονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 5.13: Κατηγορίες, φορτία θραύσης και διαστάσεις τσιμεντόστυλων

Κατηγορίες στύλων	Συμβολισμός στύλων	Υψος στύλων (m)	Φορτίο θραύσης P_θ (kg ή daN)	Μέγιστη διάμετρος κορυφής (mm)	Μέγιστη διάμετρος οπλισμού d_{max} (mm)
Νάνος	N	9-10	390	145	8
Ελαφρός	E	10-11	600	175	8
Κανονικός	K	10-11-12	900	175	10
Μέσος	M	11-12-14	1200	175	12
Βαρύς	B	12-14-15	2250	265	14
Λίαν Βαρύς	ΛΒ	11-12-14	3800	265	18
Εξαιρετικά Βαρύς	ΕΒ	11-13-15	5100	310	20

- ❖ **Βάρος.** Το βάρος GS των τσιμεντόστυλων προκύπτει από το βάρος του πρωτεύοντος και σπειροειδούς οπλισμού και το βάρος του σκυροδέματος. Το σκυρόδεμα είναι κατηγορίας B450, με ελάχιστη ποσότητα τσιμέντου 400 daN/m^3 . Το ειδικό βάρος του σκυροδέματος λαμβάνεται μεταξύ 2200 και 2400 daN/m^3 . Ο πρωτεύον διαμήκης οπλισμός είναι χάλυβας S400, ενώ ο σπειροειδής χάλυβας S220. Το ειδικό βάρος του οπλισμού είναι 7860 daN/m^3 .

- ❖ **Εσωτερική και Εξωτερική διάμετρος.** Η διατομή των τσιμεντόστυλων είναι δακτυλιοειδής. Η εσωτερική διάμετρος εξαρτάται από την ταχύτητα φυγοκέντρισης και από τις εσωτερικές τριβές που αναπτύσσονται μεταξύ των συστατικών του σκυροδέματος. Η εσωτερική διάμετρος πρέπει να είναι τέτοια ώστε ο σπειροειδής οπλισμός να καλύπτεται εσωτερικά και εξωτερικά από σκυρόδεμα πάχους 2 cm. Η εξωτερική διάμετρος σε κάθε θέση από την κορυφή είναι ίση με τη διάμετρο κορυφής προσανξημένη κατά 1.5 cm ανά τρέχον μέτρο μήκους, δηλαδή $d_\beta = d_k + 1.5HS$.

- ❖ **Εσωτερική και Εξωτερική κωνικότητα.** Η εσωτερική κωνικότητα είναι $\alpha_2 = 0.85$ cm/m για στύλους κατηγορίας N, E και $\alpha_2 = 0.75$ cm/m για στύλους κατηγορίας K, M, B, ΛΒ, και EB. Η εξωτερική κωνικότητα όλων των τσιμεντόστυλων λαμβάνεται $\alpha_1 = 1.5$ cm/m μήκους.

 - ❖ **Φορτίο λειτουργίας P_λ .** Είναι το μέγιστο, κάθετο στον άξονα του φορτίο που μπορεί να φέρει ο στύλος σε συνεχή λειτουργία και σε οποιαδήποτε κατεύθυνση συμπεριλαμβανόμενης της πίεσης ανέμου. Το σημείο εφαρμογής λαμβάνεται 25 cm κάτω από την κορυφή του στύλου.

 - ❖ **Φορτίο θραύσης P_θ .** Είναι το φορτίο το οποίο προκαλεί θραύση του στύλου, εφαρμοζόμενο σε σημείο 25 cm κάτωθι της κορυφής του στύλου, προς οποιαδήποτε κατεύθυνση. Θραύση του στύλου προκύπτει λόγω μόνιμης επιμήκυνσης του οπλισμού σε κάποιο τμήμα του στύλου. Πρέπει να ισχύει η σχέση:
- $$\frac{P_\theta}{P_\lambda} > \nu \quad (5.65)$$
- Όπου,
- ν είναι ο απαιτούμενος συντελεστής ασφαλείας ο οποίος λαμβάνεται $\nu = 2$ για τους τσιμεντόστυλους.
- P_θ και P_λ είναι τα φορτία θραύσης και λειτουργίας αντίστοιχα.
-
- ❖ **Βέλος κάμψης.** Το βέλος της κορυφής του στύλου όταν $P_\lambda = 0.5P_\theta$ πρέπει να είναι μικρότερο του 3.5% του L, όπου L το ύψος (μήκος) του στύλου. Ακόμη, το παραμένον βέλος κάμψης πρέπει να είναι μικρότερο από το 3% του προηγούμενου βέλους κάμψης. Οι προδιαγραφές αυτές εξασφαλίζουν την αντοχή έναντι παραμόρφωσης, αφού κανένας στύλος δεν φορτίζεται με φορτίο μεγαλύτερο του $0.5P_\theta$ (σχέση 5.65).

 - ❖ **Ανεμοπίεση που καταπονεί τους τσιμεντόστυλους.** Παρόμοια με τους ξύλινους στύλους, ο άνεμος ασκεί πίεση στους τσιμεντόστυλους η οποία εκδηλώνεται ως συνολική δύναμη εφαρμοζόμενη σε σημείο 25 cm κάτω από την κορυφή. Η δύναμη αυτή QS υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:
- $$QS = \frac{p \cdot HS^2 \cdot (d_\beta + 2d_\kappa)}{600 \cdot (HS - 0.25)} = \frac{p \cdot HS^2 \cdot (3d_\kappa + 1.5HS)}{600 \cdot (HS - 0.25)} \quad (5.66)$$
- Όπου,
- p είναι η ανεμοπίεση που λαμβάνεται p = 20 daN/m² για όλες τις επιφορτίσεις εκτός από την ελαφρά όπου p = 44 daN/m².
- HS είναι το ύψος ή μήκος του στύλου (m).

d_β είναι η διάμετρος της βάσης του στύλου (cm).
 d_k είναι η διάμετρος της κορυφής του στύλου (cm).

Τέλος, στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά διάφορα μηχανικά χαρακτηριστικά, όπως οι διάμετροι βάσης, κορυφής, το βάρος, το φορτίο θραύσης και οι ανεμοπίεσεις για τις διάφορες κατηγορίες τσιμεντόστυλων.

Πίνακας 5.14: Μηχανικά χαρακτηριστικά τσιμεντόστυλων

Στύλοι		Εξωτ. διαμ. κορυφής	Εξωτ. διαμ. βάσης	Εσωτ. διαμ. βάσης	Βάρος στύλου	Φορτίο θραύσης	Ανεμοπίεση επί στύλων	
Υψος	Κατηγ.	d_k	$d_{\beta(\xi)}$	$d_{\beta(\sigma)}$	GS	P_θ	QS	QS
m		cm	cm	cm	daN	daN	daN	daN
9	N	14.5	28.0	11.05	750	390	18	39
10	N	14.5	29.5	11.80	900	390	20	44
10	E	17.5	32.5	15.80	1025	600	23	51
11	E	17.5	34.0	16.65	1200	600	26	57
10	K	17.5	32.5	15.40	1075	900	23	51
11	K	17.5	34.0	16.25	1250	900	26	57
12	K	17.5	35.5	17.10	1450	900	29	63
11	M	17.5	34.0	15.85	1325	1200	26	57
12	M	17.5	35.5	16.70	1525	1200	29	63
14	M	17.5	38.5	18.40	1975	1200	35	77
12	B	26.5	44.5	25.10	2200	2550	40	88
14	B	26.5	47.5	26.80	2825	2550	48	105
15	B	26.5	49.0	27.65	3150	2550	52	114
11	ΛB	26.5	43.0	23.45	2150	3800	36	79
12	ΛB	26.5	44.5	24.30	2450	3800	40	88
14	ΛB	26.5	47.5	26.00	3100	3800	48	105
11	EB	31.0	47.5	27.15	2500	5100	41	90
13	EB	31.0	50.5	29.25	3200	5100	50	109
15	EB	31.0	53.5	30.10	4080	5100	59	129

5.4.2 Αντοχή Αυτοστήρικτων Τσιμεντόστυλων

Για τον έλεγχο της αντοχής των στύλων σε θραύση έχει καθιερωθεί η παρακάτω συνθήκη, ανάλογα με την επιθυμητή κλάση και το είδος της κατασκευής τους.

$$\sigma_1 \cdot (\text{Διαμήκες φορτίο}) + \sigma_2 \cdot (\text{Εγκάρσιο φορτίο}) \leq P_\theta \quad (5.67)$$

Όπου,

σ_1 είναι ο συντελεστής ασφαλείας σε τέρματα που για τσιμεντόστυλους είναι $\sigma_1 = 2$ για κλάση A και B.

σ_2 είναι ο συντελεστής ασφαλείας σε εγκάρσια φορτία που είναι $\sigma_2 = 4$ για κλάση A και

$\sigma_2 = 2.7$ για κλάση B.

P_θ είναι το φορτίο θραύσης τσιμεντόστυλου (dAN).

Για τον έλεγχο της αντοχής σε θραύση για τις διάφορες κατηγορίες στύλων έχουν προδιαγραφεί συγκεκριμένες συνθήκες, οι οποίες παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 5.15: Έλεγχος αντοχής σε θραύση

Είδος κατασκευής	Κλάση A	Κλάση B
Στύλοι ευθυγραμμίας	$4(E\Phi\alpha + E\Phi\sigma) \leq P_\theta$	$2.7(E\Phi\alpha + E\Phi\sigma) \leq P_\theta$
Στύλοι γωνίας	$2[2(\Sigma nT)\sin\frac{\theta}{2}] + 4(E\Phi\alpha + E\Phi\sigma) \leq P_\theta$	$2[2(\Sigma nT)\sin\frac{\theta}{2}] + 4(E\Phi\alpha + E\Phi\sigma) \leq P_\theta$
Στύλοι τέρματος	$2(\Sigma nT) \leq P_\theta$	$2(\Sigma nT) \leq P_\theta$
Στύλοι διακλαδώσεων	$2(\Sigma nT) + 4(E\Phi\alpha + E\Phi\sigma) \leq P_\theta$	$2(\Sigma nT) + 4(E\Phi\alpha + E\Phi\sigma) \leq P_\theta$
Στύλοι με πλαίσια $P = (M\alpha + M\pi)/I$	$2P + 4(E\Phi\alpha + E\Phi\sigma) \leq P_\theta$	$2P + 2.7(E\Phi\alpha + E\Phi\sigma) \leq P_\theta$
Στύλοι με συνισταμένη δύναμη P	$2P + 4(E\Phi\alpha + E\Phi\sigma) \leq P_\theta$	$2P + 2.7(E\Phi\alpha + E\Phi\sigma) \leq P_\theta$
Στύλοι διπλού τέρματος $\Sigma_1 = n_1 T_1, \Sigma_2 = n_2 T_2$ με γωνία θ	$2\Sigma + 4(E\Phi\alpha + E\Phi\sigma) \leq P_\theta$	$2\Sigma + 2.7(E\Phi\alpha + E\Phi\sigma) \leq P_\theta$

Υπόμνημα πίνακα:

- θ : γωνία αλλαγής διεύθυνσης της γραμμής.
- L_1, L_2 : τα μήκη των ανοιγμάτων εκατέρωθεν της γωνίας (m).
- WE: εγκάρσιο φορτίο ανά τρέχον μέτρο αγωγού (dAN/m).
- nT : διαμήκες φορτίο σε τέρμα γραμμής.
- $2nT\sin\frac{\theta}{2}$: διαμήκες φορτίο σε γωνιακό στύλο γραμμής.
- $E\Phi\alpha$: Εγκάρσιο φορτίο επί των αγωγών $= 0.5n(L_1+L_2) \cdot WE \cdot \cos\frac{\theta}{2} + E\Phi\sigma$ (dAN).
- Για MT με αγωγό γης $E\Phi\alpha = E\Phi\alpha_{MT} + 0.9E\Phi\alpha_{αγωγού γης}$ (dAN).
- Για μικτή γραμμή MT/XT $E\Phi\alpha = E\Phi\alpha_{MT} + 0.9E\Phi\alpha_{XT}$ (dAN).
- $E\Phi\sigma$: Εγκάρσιο φορτίο επί του στύλου (dAN).
- ΣnT : Συνολική δύναμη τάνυσης του συνόλου των αγωγών (dAN).
- Για MT με αγωγό γης $\Sigma nT = nT_{MT} + 0.9T_{αγωγού γης}$ (dAN).
- Για μικτή γραμμή MT/XT $\Sigma nT = nT_{MT} + 0.9nT_{XT}$ (dAN).
- Σε περίπτωση διακλάδωσης το ΣnT αφορά την διακλάδωση, το $E\Phi\alpha$ την κύρια γραμμή.
- $M\alpha$: Ροπή που οφείλεται στο βάρος των αγωγών $= (\betaάρος αγ. + πάγου) \cdot (\piλάτος πλαισίου + d_k/2)$ (dAN·m).
- $M\pi$: Ροπή που οφείλεται στο βάρος του πλαισίου $= (\betaάρος πλαισίου) \cdot (\alphaπόσταση κέντρου βάρους πλαισίου από άξονα στύλου)$ (dAN·m).
- I: Κατακόρυφη απόσταση τρύπας άνω μέρους πλαισίου μέχρι το έδαφος.

5.4.3 Επίτονοι σε Τσιμεντόστυλους

Κατά γενικό κανόνα στους τσιμεντόστυλους δεν χρησιμοποιούνται επίτονοι. Σε υπεραστικές και ημιαστικές γραμμές είναι εφικτή η τοποθέτηση επιτόνων, ώστε να περιοριστεί το κόστος και η χρήση τσιμεντόστυλων μεγάλων διαστάσεων. Ωστόσο, οι τσιμεντόστυλοι είναι περισσότερο δύσκαμπτοι από τους ξύλινους, οπότε η μηχανική συνεργασία στύλου και επιτόνου σε πολλές περιπτώσεις δεν επαρκεί σε ικανοποιητικό βαθμό. Για αυτό το λόγο κρίνεται σκόπιμο να αποφεύγεται η χρησιμοποίηση επιτόνων σε έντονα σεισμόπληκτες περιοχές και ιδιαίτερα οι αγκυρώσεις τοίχου.

Η επιλογή των επιτόνων βασίζεται στο φορτίο θραύσης των συρματόσχοινων όπως και στους ξύλινους στύλους. Η στήριξη των στύλων με επιτόνους έχει ως αποτέλεσμα την καταπόνηση τους από ένα κατακόρυφο αξονικό φορτία που οφείλεται στη δύναμη τάνυσης των αγωγών. Παρόλο που οι τσιμεντόστυλοι έχουν ιδιαίτερα μεγάλες αντοχές σε κατακόρυφα φορτία, τα σημεία επιβολής των δυνάμεων δεν συμπίπτουν με τα σημεία πρόσδεσης των επιτόνων, οπότε προκύπτουν ανεπιθύμητες καμπτικές και διατμητικές καταπονήσεις στα σημεία αυτά σε συνδυασμό με τα αυξημένα κατακόρυφα φορτία.

5.4.4 Θεμελίωση Τσιμεντόστυλων

❖ **Οριζόντιο Φορτίο**

Για τις περιπτώσεις απλής θεμελίωσης, η μέγιστη οριζόντια δύναμη F που μπορεί να δεχτεί ο στύλος στο σημείο εφαρμογής (0.25 cm κάτωθι της κορυφής), βρίσκεται όπως και στην περίπτωση των ξύλινων στύλων με τη μέθοδο Mohr. Παρατίθεται ξανά η σχέση (5.63):

$$F \leq P_{max} \cdot \frac{bh_0^2}{12(h + \frac{h_0}{2})}$$

Όπου,

h_0 το βάθος θεμελίωσης (cm).

h το ελεύθερο ύψος του στύλου: $h = HS - h_0 - 25$ (cm).

P_{max} είναι η μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση εδάφους (daN/cm^2).

b είναι η μέση διάμετρος στύλου εντός του εδάφους (cm).

❖ **Κατακόρυφο Φορτίο**

Η επιφάνεια που του στύλου που πιέζει το έδαφος είναι η βάση του, η οποία έχει σχήμα κυκλικού δακτυλίου. Στην περίπτωση αυτή το μέγιστο κατακόρυφο φορτίο που μπορεί να δεχτεί ο στύλος χωρίς πλάκα θεμελίωσης είναι:

$$G \leq P_{max} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (d_\beta^2 - d_{\beta(\varepsilon\sigma)}^2) - GS \quad (5.68)$$

Όπου,

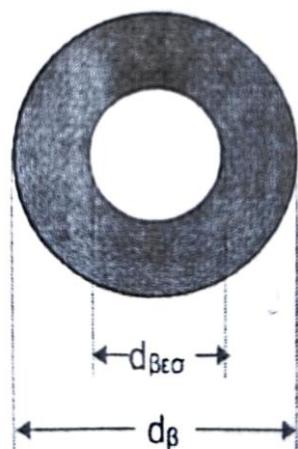
d_β είναι η εξωτερική διάμετρος βάσης = $d_k + 0.015HS$ (cm).

$d_{\beta(\text{εσ})}$ είναι η εσωτερική διάμετρος βάσης (cm).

d_k είναι η εξωτερική διάμετρος κορυφής (cm).

GS το βάρος του στύλου (daN).

P_{\max} είναι η ανεκτή πίεση εδάφους (daN/cm²).



Εικόνα 5.15: Εσωτερική και εξωτερική διάμετρος βάσης ενός τσιμεντόστυλου

5.5 Εξαρτήματα Στήριξης – Σύνδεσης

5.5.1 Επίτονοι

Στις περιπτώσεις που οι οριζόντιες δυνάμεις που καταπονούν τους στύλους είναι μεγάλες, η πιο οικονομική και πρακτική λύση για τη στήριξη τους είναι η χρήση επίτονων. Σκοπός των επίτονων είναι η αντιστήριξη του στύλου μέσω συρματόσχοινου που αγκυρώνεται στο έδαφος. Σε κάθε περίπτωση, γίνεται η υπόθεση πως ο επίτονος προσδένεται στην κορυφή του στύλου, που είναι προς την ασφαλή πλευρά των υπολογισμών.

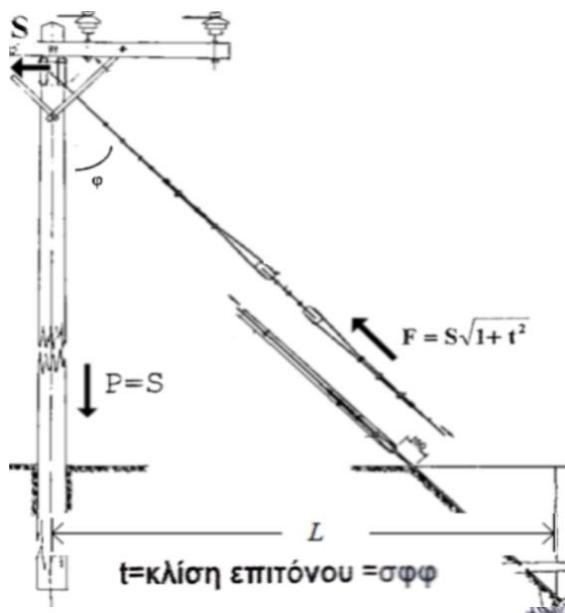
Έστω λοιπόν στύλος που στηρίζεται με επίτονο όπως στην εικ. 5.14. Η οριζόντια δύναμη S επί του στύλου, αναλύεται στην κατακόρυφη P που θλίβει το στύλο και την εφελκυστική δύναμη F κατά τη διεύθυνση του συρματόσχοινου. Αναλύοντας τις δυνάμεις προκύπτουν οι παρακάτω σχέσεις:

$$\cot \varphi = t = \frac{H}{L} = \frac{P}{S} \Rightarrow P = \frac{H}{L} \cdot S \quad (5.69)$$

$$F^2 = P^2 + S^2 \quad (5.70)$$

Επομένως, η **συνολική εφελκυστική δύναμη F σε daN που ενεργεί μεταξύ του συρματόσχοινου του επιτόνου και του στύλου είναι ίση με:**

$$F^2 = \left(\frac{H}{L} \cdot S\right)^2 + S^2 = S^2 \cdot \left(1 + \left(\frac{H}{L}\right)^2\right) \Rightarrow \\ F = S \sqrt{1 + t^2} \quad \text{ή} \quad F = S \sqrt{1 + t^2} \quad (5.71)$$



Εικόνα 5.16: Ανάλυση δυνάμεων σε στύλο MT με επίτονο

Τα βασικά χαρακτηριστικά των επιτόνων είναι:

A. Τα συρματόσχοινα

Οι επίτονοι διακρίνονται σε Ελαφρό (Ε ή L), Μέσο (Μ) και Βαρύ (Β ή H), ανάλογα με το φορτίο θραύσης των αντίστοιχων συρματόσχοινων. Το επιτρεπόμενο φορτίο επί των συρματόσχοινων προκύπτει από τη διαίρεση του φορτίου θραύσης με τον συντελεστή ασφαλείας για συρματόσχοινα, ο οποίος λαμβάνεται $v = 1.35$ για την κλάση Β και $v = 1.7$ για την κλάση Α. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα επιτρεπόμενα φορτία των συρματόσχοινων για τις διάφορες κατηγορίες επιτόνων.

Πίνακας 5.16: Επιτρεπόμενα φορτία συρματόσχοινων επιτόνων (daN)

Κατηγορία επιτόνου	Συμβολισμός	Φορτίο θραύσης (daN)	Επιτρεπόμενο φορτίο	
			Κλάση Β $v=1.35$	Κλάση Α $v=1.7$
Ελαφρύς	E	1740	1289	1024
Μέσος	M	3630	2689	2135
Βαρύς	B	6580	4874	3871
Διπλός E	2E	3480	2578	2047
Τριπλός E	3E	5220	3867	3071
Διπλός M	2M	7260	5378	4271
Τριπλός M	3M	10890	8067	6406
Διπλός B	2B	13160	9748	7741
Τριπλός B	3B	19740	14622	11612

B. Η άγκυρα (ξυλοδοκός)

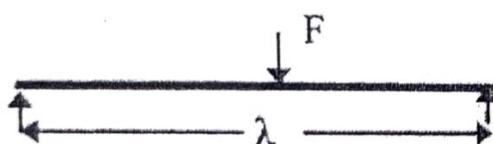
Η άγκυρα (ξυλοδοκός) πρέπει να έχει την απαραίτητη μηχανική αντοχή έναντι των φορτίων που της επιβάλλονται και ταυτόχρονα να εξασφαλίζει την μη υποχώρηση του εδάφους. Για τις ξυλοδοκούς λαμβάνονται τα εξής δεδομένα:

- Διαστάσεις διαμέτρου και μήκους ($\delta \times \lambda$) σε cm: 20x75, 20x130, 26x200
- Τάση θραύσης του ξύλου: $\sigma = 520 \text{ daN/cm}^2$
- Συντελεστής ασφαλείας $v = 2$ και για τις δύο κλάσεις
- Ροπή καταπόνησης της ξυλοδοκού:

$$M = \frac{F\lambda}{4} = W\sigma \quad (5.72)$$

- Επιτρεπόμενη δύναμη ξυλοδοκού:

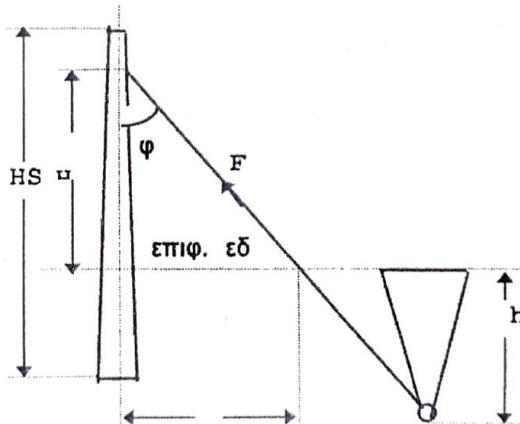
$$F = \frac{\sigma}{v} \cdot \frac{\pi\delta^3}{8\lambda} \quad (5.73)$$



Εικόνα 5.17: Ξυλοδοκός επιτόνου

Επίσης πρέπει να ισχύουν και δύο συγκεκριμένες συνθήκες:

- I. Το βάθος της αγκύρωσης πρέπει να είναι τέτοιο, ώστε η εφελκυστική δύναμη επί του επιτόνου να μην είναι μεγαλύτερη του βάρους ανεστραμμένου κώνου κλίσης 30° με την κορυφή του να συμπίπτει στο σημείο της άγκυρας.
- II. Η πίεση που ασκεί η ξυλοδοκός στο έδαφος να μην υπερβαίνει τα 2 daN/cm^2 .



Εικόνα 5.18: Αγκύρωση ξυλοδοκού

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω δεδομένα και τις συνθήκες που πρέπει να καλύπτουν οι ξυλοδοκοί, σχηματίζεται ο παρακάτω πίνακας με τα επιτρεπόμενα φορτία. Όπως φαίνεται, η συνθήκη (II) δημιουργεί πιο αυστηρές προδιαγραφές και επομένως οδηγεί στην ασφαλή πλευρά των υπολογισμών.

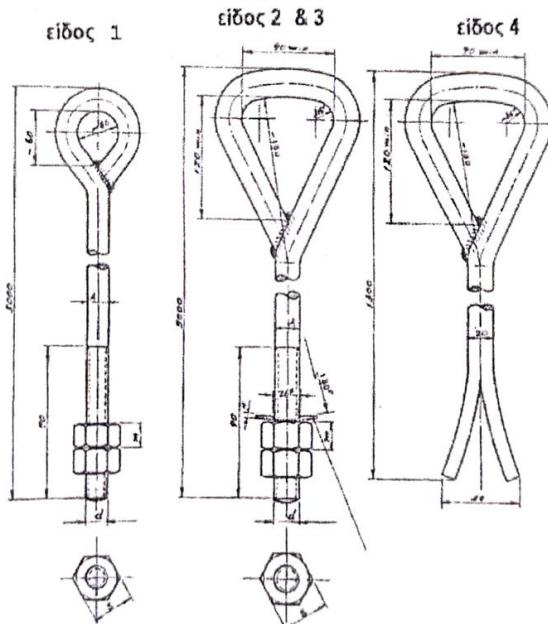
Πίνακας 5.17: Επιτρεπόμενα φορτία ξυλοδοκών επιτόνων

Ξυλοδοκός	Συνθήκη I	Συνθήκη II
20X75	$F = 4170 \text{ daN}$	$F = 3000 \text{ daN}$
20X130	$F = 7227 \text{ daN}$	$F = 5200 \text{ daN}$
26X200	$F = 11610 \text{ daN}$	$F = 10400 \text{ daN}$

C. Η ράβδος αγκύρωσης (ντίζα)

Για την αγκύρωση του συρματόσχοινου του επιτόνου χρησιμοποιούνται ράβδοι αγκύρωσης υλικού ST 37, είτε πρόκειται για κοχλιωτές ράβδους είτε για μη κοχλιωτές. Διακρίνονται τα εξής είδη ράβδων αγκύρωσης:

- **Είδος 1:** Χρησιμοποιούνται για αγκύρωση σε κανονικό έδαφος με σπείρωμα M20 και αντοχή 5300 daN.
- **Είδος 2:** Αγκύρωση σε κανονικό έδαφος με σπείρωμα M24 και αντοχή 7650 daN.
- **Είδος 3:** Χρήση σε κανονικό έδαφος με σπείρωμα M30 και αντοχή 12150 daN.
- **Είδος 4:** Κατάλληλες για αγκύρωση σε βράχο με ονομαστική διάμετρο Φ20 και αντοχή 7000 daN.



Εικόνα 5.19: Είδη ράβδων αγκύρωσης

Η μηχανική αντοχή που αναφέρθηκε πιο πάνω, εκτός από την αντοχή της ίδιας της ράβδου, αφορά και την αντοχή της θηλιάς και της κοχλίωσης. Ως συντελεστές ασφαλείας λαμβάνονται οι $v = 1.35$ για την κλάση Β και $v = 1.7$ για την Α. Τέλος, τα είδη ράβδων 1,2 και 3 έχουν μήκος 3 m, ενώ για το είδος 4 το μήκος είναι 1.3 m.

5.5.2 Κλίση Επιτόνων

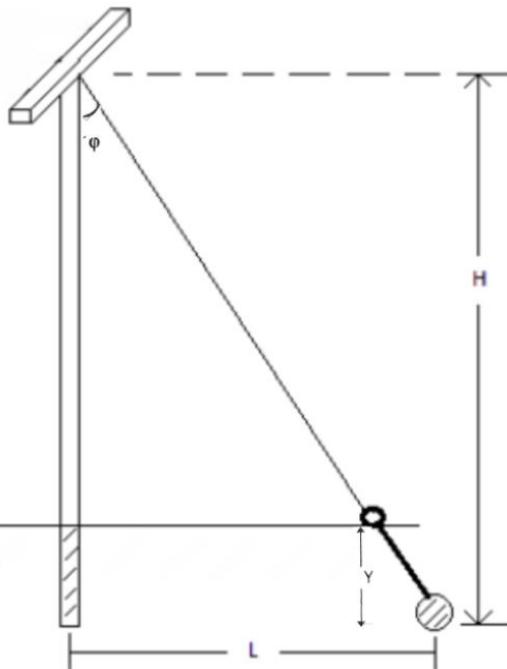
Ως κλίση του επιτόνου ορίζεται ο λόγος του ύψους του στύλου, ως προς την οριζόντια απόσταση της ξυλοδοκού από το στύλο. Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω η κλίση ισούται με τη συνεφαπτομένη της γωνίας που σχηματίζει ο στύλος με τον επίτονο. Ακόμη, η αναγραφή της κλίσης του επιτόνου είναι υποχρεωτική σε όλες τις περιπτώσεις.

Έστω στύλος ή ψηφους Η με επίτονο που σχηματίζει γωνία φ με τον στύλο (εικ 5.18). Πρέπει να ισχύουν οι παρακάτω συνθήκες τόσο στα οριζόντια, όσο και στα επικλινή εδάφη:

- I. Το βάθος θεμελίωσης Υ της ξυλοδοκού πρέπει να είναι τέτοιο, ώστε το συρματόσχοινο και η ράβδος αγκύρωσης να βρίσκονται στην ίδια ευθεία και ταυτόχρονα το τμήμα της ράβδου που είναι εκτός εδάφους να είναι 16 cm.
- II. Το βάθος θεμελίωσης Υ δεν πρέπει να είναι μικρότερο των 2 m.

Προκύπτουν έτσι τα εξής βάθη θεμελίωσης των ξυλοδοκών των επιτόνων:

$$\begin{aligned}
 \text{Κλίση } H/L = 1:1 &\rightarrow Y = 2 \text{ m} \\
 \text{Κλίση } H/L = 2:1 &\rightarrow Y = 2.54 \text{ m} \\
 \text{Κλίση } H/L = 3:1 &\rightarrow Y = 2.70 \text{ m}
 \end{aligned}$$



Εικόνα 5.20: Κλίση φ επιτόνου και βάθος θεμελίωσης Y ξυλοδοκού

Κατά γενικό κανόνα μικρότερες κλίσεις από 1:1, δηλαδή οριζόντια απόσταση L ξυλοδοκού μεγαλύτερη από το ύψος H του στύλου, δεν πρέπει να εφαρμόζονται. Ωστόσο όπου είναι αναγκαία η εφαρμογή τους, η συνθήκη (II) πρέπει να τηρείται αυστηρά και το τμήμα του συρματόσχοινου που θα βρεθεί εντός εδάφους θα πρέπει να επαλειφθεί με πίσσα.

Τέλος, στις περιπτώσεις όπου υπάρχουν υψομετρικές διαφορές πασσάλου στύλου και ξυλοδοκού η κλίση του επιτόνου υπολογίζεται από τον εξής τύπο:

$$\text{κλίση } t = \frac{H \pm h}{L} \quad (5.74)$$

Οπου,

H είναι το ύψος του στύλου.

h είναι η υψομετρική διαφορά στύλου και ξυλοδοκού.

L είναι η οριζόντια απόσταση της ξυλοδοκού από το στύλο.

5.5.3 Επίτονοι Κεφαλής

Ο επίτονος κεφαλής χρησιμοποιείται όταν η αγκύρωση στο έδαφος σε κοντινή απόσταση από τον στύλο δεν είναι εφικτή. Ουσιαστικά, η αντιστήριξη του βασικού στύλου γίνεται μέσω επιτόνου σε έναν παρεμβαλλόμενο στύλο, ο οποίος με τη σειρά του φέρει αγκύρωση γης μέσω δεύτερου επιτόνου.

Έστω λοιπόν βασικός στύλος ύψους H και παρεμβαλλόμενος στύλος ύψους HK σε απόσταση L με αγκύρωση γης σε απόσταση A . Η κλίση του επιτόνου κεφαλής t_1 και επιτόνου γης t_2 αντίστοιχα είναι:

$$t_1 = \frac{H-HK}{L} \quad (5.75)$$

$$t_2 = \frac{HK}{A} \quad (5.76)$$

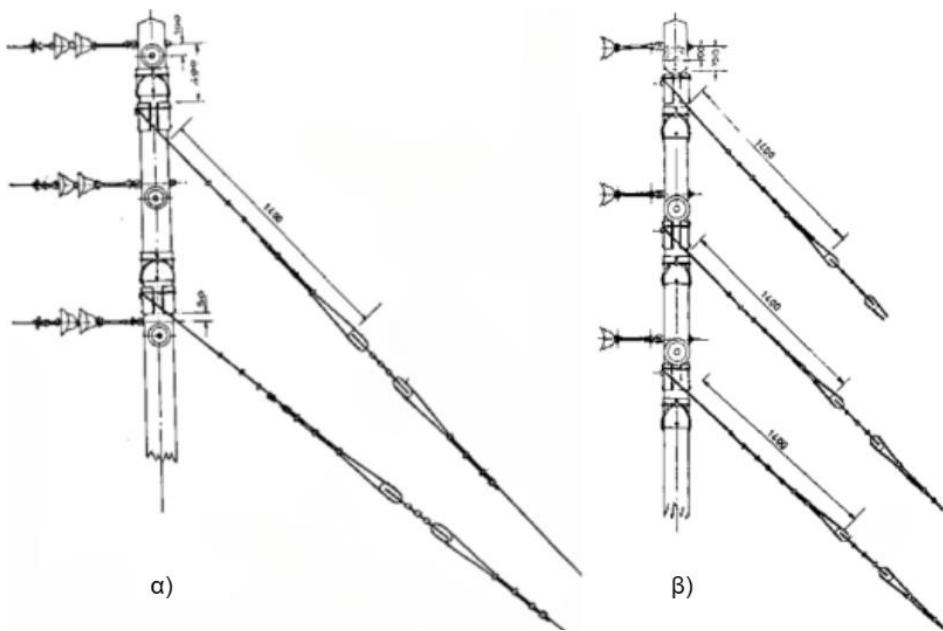
Τέλος, για το συρματόσχοινο και το στύλο του επιτόνου κεφαλής λαμβάνονται με καλή προσέγγιση κατακόρυφο φορτίο $G = 200$ daN και ανεμοπίεση $Q = 50$ daN, ενώ το ύψος του στύλου είναι γενικά 9 m, εκτός αν συντρέχουν λόγοι αποστάσεων ασφαλείας.



Εικόνα 5.21: Επίτονος κεφαλής (TKΔ F-27Y)

5.5.4 Πολλαπλοί Επίτονοι

Όταν οι δυνάμεις που δέχονται οι στύλοι είναι μεγάλες και δεν επαρκεί απλός επίτονος, ή όταν επιδρούν σε διαφορετικά ύψη, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν διπλοί και τριπλοί επίτονοι. Στις περιπτώσεις αυτές ως κλίση επιτόνου λαμβάνεται εκείνη που αντιστοιχεί στο ψηλότερο σημείο πρόσδεσης ενός εκ των επιτόνων στο στύλο.



Εικόνα 5.22: a) Διπλός επίτονος και β) τριπλός επίτονος

5.5.5 Αγκύρωση Επιτόνου σε Τοίχο

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η αγκύρωση των επιτόνων σε αστικά περιβάλλοντα μπορεί να γίνει και σε τοίχους με επαρκή μηχανική αντοχή. Οι εφαρμογές αυτές αφορούν μόνο τα ελαφρά συρματόσχοινα και αποφεύγονται σε έντονα σεισμόπληκτες περιοχές.

Η ανάλυση των δυνάμεων γίνεται με παρόμοιο τρόπο όπως στους απλούς επιτόνους. Κάνοντας χρήση της σχέσης (5.71) προκύπτει:

$$F = S\sqrt{1 + t^2}$$

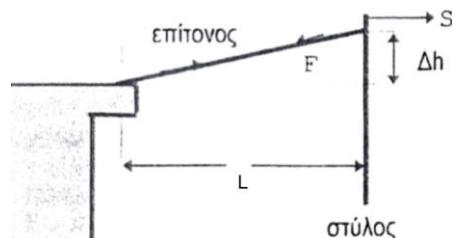
Όπου,

F είναι η εφελκυστική δύναμη επί του συρματόσχοινου (daN).

S είναι η συνολική οριζόντια δύναμη επί του στύλου (daN).

$t = \frac{\Delta h}{L}$ είναι η κλίση του επιτόνου, με Δh να είναι η υψομετρική διαφορά σημείου πρόσδεσης επιτόνου σε στύλο και τοίχο και L η απόσταση μεταξύ αυτών των σημείων.

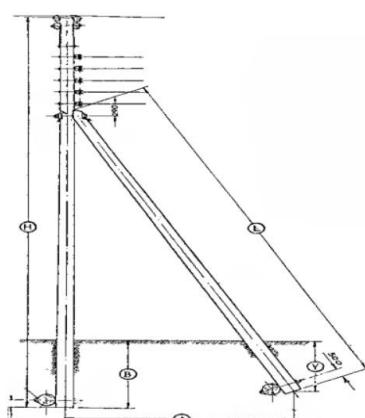
Δεδομένου πως το συρματόσχοινο είναι τύπου «ελαφρό», σύμφωνα με την παραπάνω σχέση για τη μέγιστη εφελκυστική δύναμη F ισχύει: $F \leq 1289$ daN για την κλάση B και $F \leq 1023$ daN για κλάση A.



Εικόνα 5.23: Αγκύρωση επιτόνου σε τοίχο

5.5.6 Αντηρίδες

Οι αντηρίδες αποτελούν έναν εναλλακτικό τρόπο αντιστήριξης των ξύλινων στύλων. Πρόκειται για μία αρκετά ακριβότερη λύση και συστήνεται να αποφεύγεται η χρήση τους. Εφαρμόζονται μόνο στα δίκτυα XT και στις μικτές γραμμές για τη στήριξη της XT, οπότε δε θα αναλυθούν περαιτέρω στην παρούσα εργασία.



Εικόνα 5.24: Αντηρίδα σε στύλο XT

5.5.7 Δίδυμοι Στύλοι

Στην περίπτωση που η τοποθέτηση επιτόνου και αντηρίδας είναι ανέφικτη στους ξύλινους στύλους, χρησιμοποιούνται δίδυμοι στύλοι. Οι στύλοι που θα χρησιμοποιηθούν θα πρέπει να είναι ίδιας κατηγορίας, χωρίς παραμορφώσεις και ελαττώματα, ώστε να εξασφαλίζεται η καλύτερη δυνατή συμμετρία μεταξύ των επιφανειών των δύο στύλων που εφάπτονται.

❖ Θραύση διδύμων

Με την υπόθεση πως οι δίδυμοι έχουν ίδια και σταθερή διάμετρο D σε όλο το μήκος τους προκύπτουν, η **ροπή αδράνειας I** με άξονα την εφαπτομένη των δύο κύκλων και η **ροπή αντίστασης W** του δίδυμου στύλου:

$$I = 2 \cdot \left(\frac{\pi D^4}{64} + \frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{D^2}{4} \right) = \frac{10\pi D^4}{64} \quad (5.77)$$

$$W = \frac{I}{D} = \frac{5\pi D^4}{32} \quad (5.78)$$

Από τα παραπάνω είναι εμφανές πως η ροπή αδράνειας των διδύμων στύλων είναι δεκαπλάσια των απλών και ροπή αντίστασής πενταπλάσια.

Οι στύλοι στην πράξη όμως έχουν σχήμα κόλουρου κώνου και η διάμετρος σε κάθε θέση που απέχει x από την κορυφή είναι:

$$d_x = d_k + tx \quad (5.79)$$

Αντίστοιχα το δυσμενέστερο σημείο στο οποίο αναπτύσσεται μέγιστη τάση προκύπτει όπως στους απλούς στύλους (σχέση 5.50):

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

Επομένως το οριζόντιο φορτίο θραύσης του δίδυμου στύλου, με μέγιστη τάση θραύσης ξύλινων στύλων $\sigma_{max} = 520 \text{ daN/cm}^2$, είναι:

$$F_{\theta\rho}(\delta\text{ιδύμου}) = 5 \cdot 344.6 \cdot t \cdot d_k^2 \rightarrow \text{πενταπλάσιο του απλού} \quad (5.80)$$

Ωστόσο σε πραγματικές συνθήκες δεν υπάρχει τέλεια συνεργασία μεταξύ των δύο στύλων οπότε ως μέγιστο επιτρεπόμενο φορτίο θραύσης λαμβάνεται το μισό του ανωτέρω:

$$F_{\theta\rho}(\delta\text{ιδύμου}) = 2.5 \cdot F_{\theta\rho}(\alpha\text{πλού}) \quad (5.81)$$

Τελικά σύμφωνα με τα παραπάνω, τα φορτία θραύσης των δίδυμων στύλων συγκριτικά με τους απλούς στύλους φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 5.18: Φορτία θραύσης απλών και δίδυμων στύλων (daN)

Απλός Στύλος			Διδύμος Στύλος		
Ελαφρός	Μέσος	Βαρύς	Ελαφρός	Μέσος	Βαρύς
500	825	1250	1250	2062	3125

❖ Παραμόρφωση διδύμων

Όπως και στους απλούς στύλους, ο υπολογισμός της παραμόρφωσης των διδύμων στύλων υπό την επίδραση οριζόντιου φορτίου F υπολογίζεται με την ίδια λογική. Ωστόσο διαπιστώνεται πως το μέγιστο βέλος της παραμόρφωσης που μπορούν να υποστούν οι δίδυμοι είναι το ένα δέκατο συγκριτικά με τους απλούς. Αυτό σημαίνει ουσιαστικά, πως η μέγιστη δύναμη που δίνει βέλος κορυφής λόγω παραμόρφωσης στους διδύμους στύλους ίσο με το βέλος στους απλούς, είναι δεκαπλάσια από εκείνη των απλών. Για να είναι οι υπολογισμοί από την ασφαλή πλευρά, η μέγιστη αυτή επιτρεπόμενη δύναμη περιορίζεται στο πενταπλάσιο της δύναμης στους απλούς στύλους. Προκύπτει δηλαδή:

$$F_{\pi} = 5 \cdot F_{\pi(\text{απλών})} = 5 \cdot \frac{7.5\pi \cdot E \cdot d_0^2 d_1^3}{64h^3} \quad (5.78)$$

Όπου,

F_{π} είναι η μέγιστη επιτρεπόμενη δύναμη κορυφής (daN)

d_0 είναι η διάμετρος στύλου σε απόσταση 20 cm κάτωθι της κορυφής (cm)

$d_1 = d_{\beta} - 0.005h_0$ είναι η διάμετρος στύλου στην επιφάνεια εδάφους (cm)

Είναι το μέτρο ελαστικότητας ξύλινων στύλων (110000 daN/cm^2)

$h = H - h_0 - 20$ είναι η απόσταση επιφάνειας εδάφους από σημείο επιβολής δύναμης (cm)

h_0 και H είναι το βάθος θεμελίωσης και το ύψος του στύλου αντίστοιχα (cm)

❖ Θεμελίωση διδύμων

Ο υπολογισμός της θεμελίωσης των διδύμων προκύπτει με τον ίδιο τρόπο όπως και των απλών. Κατά τη διεύθυνση των διδύμων η αντοχή σε θεμελίωση είναι ίδια, ενώ στην κάθετη κατεύθυνση η αντοχή είναι διπλάσια.

5.5.8 Ξύλινοι Βραχίονες

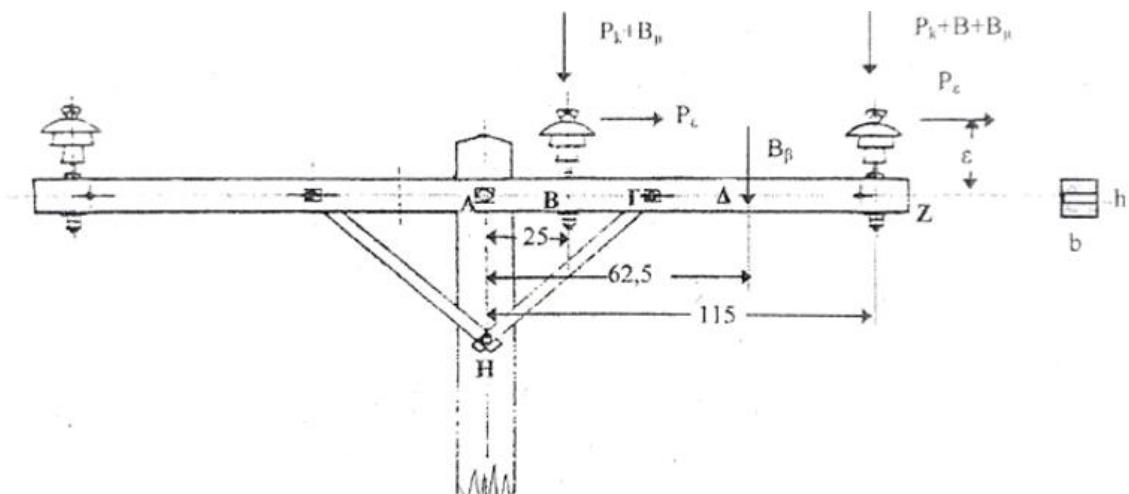
Οι ξύλινοι βραχίονες (τραβέρσες) καταπονούνται σε κατακόρυφα, εγκάρσια και διαμήκη φορτία, ανάλογα με το αν τοποθετούνται σε στύλους ευθυγραμμίας ή τέρματος. Οι τυποποιημένοι βραχίονες διακρίνονται σε:

- A. Βραχίονας μήκους 2.5 m και διαστάσεων 10x12 cm (2500x100x120 mm), βάρους 24 daN
- B. Βραχίονας μήκους 2.5 m και διαστάσεων 12.6x17.6 cm (2500x126x176 mm), βάρους 44 daN
- C. Βραχίονας μήκους 3.5 m και διαστάσεων 12.6x17.6 cm (2500x126x176 mm), βάρους 62 daN
- D. Βραχίονας μήκους 1.5 m και διαστάσεων 10x12 cm (2500x100x120mm), βάρους 14 daN

❖ Αντοχή ξύλινων βραχιόνων σε κατακόρυφα και εγκάρσια φορτία

Οι κατακόρυφες και οριζόντιες δυνάμεις που καταπονούν τους ξύλινους βραχίονες διαφέρουν ανάλογα με την κατασκευή και την επιφόρτιση. Στην εικόνα 5.23 φαίνεται η κλασική κατασκευή MT P-3 και η αντίστοιχη ανάλυση των δυνάμεων που ενεργούν στον βραχίονα. Συγκεκριμένα:

- P_k είναι η προς υπολογισμό επιτρεπόμενη κατακόρυφη δύναμη από το κατακόρυφο φορτίο κάθε αγωγού.
- B_μ είναι το βάρος του μονωτήρα μαζί με το στέλεχος στήριξης (p_{in}) ≈ 8 daN.
- B_β είναι το βάρος ημιβραχίου = 12 daN για τον απλό (Α και Δ) και 22 daN για τον ενισχυμένο (Β και Ζ).
- Β είναι το βάρος του τεχνήτη μαζί με τον εξαρτισμό = 100 daN.
- P_e είναι το εγκάρσιο φορτίο στη θέση στήριξης του αγωγού = 160 daN (μέγιστη επιτρεπόμενη αντοχή του στηρίγματος).
- ε είναι η απόσταση του σημείου στήριξης του αγωγού από τον άξονα του βραχίονα = 36.5 cm για τον απλό και 39.3 cm για τον ενισχυμένο.
- b είναι το πλάτος βραχίονα = 10 cm για τον απλό και 12.6 cm για τον ενισχυμένο.
- h είναι το ύψος βραχίονα = 12 cm για τον απλό και 17.6 cm για τον ενισχυμένο.
- d είναι η διάμετρος οπής βραχίονα στο σημείο Α = 2.2 cm.



Εικόνα 5.25: Ανάλυση δυνάμεων που δέχεται ο βραχίονας στην κατασκευή P-3

Η παραπάνω ανάλυση έχει γίνει και για τις υπόλοιπες κατασκευές με πολλές ομοιότητες. Οι τελικές τιμές των επιτρεπόμενων κατακόρυφων φορτίων έχουν τυποποιηθεί για όλες τις κατασκευές και παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 5.19: Αντοχή εξαρτημάτων κορυφής ξύλινων στύλων σε κατακόρυφα φορτία

Κατασκευή	Αντοχή βραχ. ανά αγωγό P _k	Συνολική αντοχή βραχ.	Αντοχή κοχλιών στηρ. βραχ.	Αντοχή κοχλιωτ. στελεχ.	Συνολική αντοχή κατασκ. G
	daN	daN	daN	daN	daN
P-3, P-103	260	780	2000	-	780
P-3B, P-3C, P-103B, P-103C	350	1050	2000	-	1050
P-3II, P-103II	520	1560	4000	-	1560
P-3BII, P-3CII, P-103CII	700	2100	4000	-	2100
P-3AII, P-103AII	430	1290	2000	-	1290
P-3AB, P-103AB	600	1800	2000	-	1800
P-11, P-15, P-27T, P-43, T-5, T-9, T-17	704	2112	2000	3000	2000
P-13, P-13C, P-23, P-25, P-27, P-41, P-41I	960	2880	4000	6000	2880
P-31	2030	6090	4000	6000	4000
P-35	5863	17589	8000	6000	6000
P-37	4374	13122	4000	3000	3000
P-31	1829	5487	12000	6000	5487
P-29, P-129, P-115, P-127T	576	1728	2000	3000	1728
P-17	350	2100	6000	-	2100
P-17II	700	4200	12000	-	4200
P-17AII	600	3600	6000	-	3600
P-19B	960	5760	12000	-	5760
P-21	576	3456	6000	-	3456
P-29B, P-113, P-113C, P-123, P-125, P-127, P-129A, P-129B, P-141	1152	3456	4000	-	3456
P-3E	1000	3000	2000	-	2000
P-3BE, P-3CE	1280	3840	2000	-	3000
P-3EI	2000	6000	4000	-	4000
P-3BEII, P-3CEII	2560	7680	4000	-	6000
P-3AEII	1134	3402	2000	-	2000
P-3ABE	1450	4350	2000	-	3000
P-11E, P-15E, P-27TE	2142	6426	2000	3000	2000
P-13E, P-13CE, P-23E, P-25E, P-27E, P-41IE	2882	8646	4000	6000	4000
P-31E	2030	6090	8000	6000	6000
P-35E	11005	33015	16000	12000	12000
P-37E, T-9E	8215	24645	8000	6000	6000
P-17E	1280	7680	6000	-	6000
P-17EI	2560	15360	12000	-	12000
P-17AEII	1450	8700	6000	-	6000
P-19BE	2882	17292	12000	-	12000
P-31II	12456	37368	16000	12000	12000

❖ Αντοχή ξύλινων βραχιόνων σε διαμήκη φορτία

Ο υπολογισμός της αντοχής σε διαμήκη φορτία γίνεται ανεξάρτητα από την ύπαρξη κατακόρυφων ή εγκάρσιων φορτίων. Σύμφωνα με τον ΚΕΣΥΓΗΕ, όλοι οι βραχίονες (ευθυγραμμίας, τερματικοί κ.α.) πρέπει να έχουν ελάχιστη αντοχή της τάξης των 320 daN, λόγω της δύναμης τάνυσης των αγωγών ή της διαφοράς των εκατέρωθεν δυνάμεων τάνυσης μεταξύ δύο διαδοχικών ανοιγμάτων.

5.5.9 Χαλύβδινοι Βραχίονες

Οι χαλύβδινοι βραχίονες χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο στους στύλους οπλισμένου σκυροδέματος. Στους ξύλινους στύλους, στις περιπτώσεις που οι ξύλινοι βραχίονες κρίνονται ανεπαρκείς, είναι δυνατή η χρήση χαλύβδινων βραχιόνων με εντατήρες. Κλασική κατασκευή τερματισμού με χαλύβδινο βραχίονα είναι η P-29 για τους ξύλινους στύλους και η P-129 για τους τσιμεντόστυλους.

❖ Μηχανικά χαρακτηριστικά χαλύβδινου βραχίονα τέρματος με εντατήρα.

- Υλικό βραχίονα και εντατήρα: Χάλυβας ST37
- Φορτίο θραύσης $F_{\theta_p} = 3700 \text{ daN/cm}^2$
- Φορτίο διαρροής $F_{\delta} = 2400 \text{ daN/cm}^2$
- Μέτρο Ελαστικότητας $E = 2.1 \cdot 10^6 \text{ daN/cm}^2$
- Συντελεστές ασφαλείας: $n_1 = 1.27$ για κατακόρυφα φορτία
 $n_2 = 2.54$ για διαμήκη φορτία
 $n_2 = 1$ για διαμήκη επιφόρτιση

❖ Μηχανική αντοχή χαλύβδινου βραχίονα τέρματος σε κατακόρυφα φορτία

- Επιτρεπόμενο κατακόρυφο φορτίο του βραχίονα ανά αγωγό $G_1 = 576 \text{ daN}$.
- Συνολικό επιτρεπόμενο κατακόρυφο φορτίο (τρεις αγωγοί) $G_{\text{ολ}} = 1728 \text{ daN}$.
- Οι παραπάνω τιμές είναι συμβατές και με την μηχανική αντοχή του κοχλία σύνδεσης βραχίονα-στύλου (2000 daN) και του κοχλία στήριξης της αλυσίδας των μονωτήρων (1000 daN) ανά αγωγό.

❖ Μηχανική αντοχή χαλύβδινου βραχίονα τέρματος σε διαμήκη φορτία

- Χωρίς εντατήρα. Γενικότερα η χρήση χαλύβδινων βραχιόνων χωρίς εντατήρες παρουσιάζει πολύ μικρή μηχανική αντοχή και καλύπτει ελάχιστες εφαρμογές. Για την αντοχή σε τάνυση αγωγού προκύπτει:

$$T = 172 \text{ daN} \text{ για μονό βραχίονα}$$

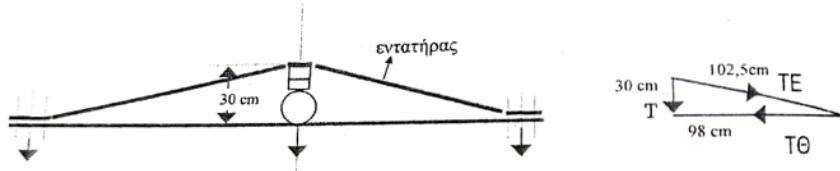
$$T = 230 \text{ daN} \text{ για δύο βραχίονες εκατέρωθεν του στύλου}$$

- Με εντατήρα. Στην περίπτωση αυτή ο εντατήρας έχει και το ρόλο επιτόνωσης του βραχίονα κατά τα δύο άκρα. Αναλύοντας την δύναμη τάνυσης T , στην οριζόντια

ΤΘ που θλίβει τον βραχίονα και τη λοξή ΤΕ που εφελκύει τον εντατήρα προκύπτουν:

$$T\Theta = T \cdot \frac{98}{30} = 3.27 \cdot T \quad (5.79)$$

$$TE = T \cdot \frac{102.5}{30} = 3.42 \cdot T \quad (5.80)$$



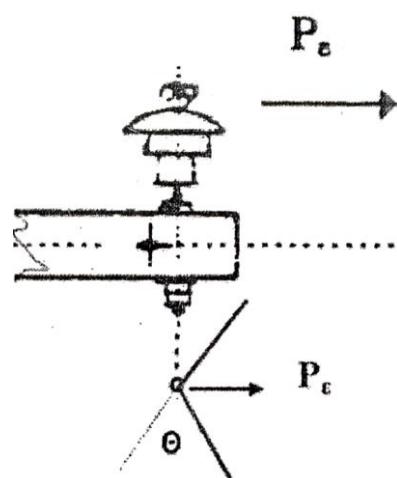
Εικόνα 5.26: Ανάλυση δυνάμεων βραχίονα και εντατήρα

Συμπερασματικά οι κατασκευές P-29 και P-129 (χαλύβδινοι βραχίονες με εντατήρα), αντέχουν σε κατακόρυφο φορτίο 576 daN και διαμήκες 2712 daN ανά αγωγό, ενώ σε συνολικό (τρεις αγωγοί) 1728 και 8136 daN αντίστοιχα.

5.5.10 Στηρίγματα Αγωγών ΜΤ

❖ Στήριγμα Μονωτήρα ΜΤ Τύπου Κώδωνα

Ο ΚΕΣΥΓΗΕ ορίζει πως οι προσδετήρες αγωγών πρέπει να έχουν τη δυνατότητα να παραλαμβάνουν δυνάμεις έως 320 daN ανά αγωγό. Έτσι και τα στηρίγματα (pins) των μονωτήρων πρέπει να έχουν κατά ελάχιστο την ίδια αντοχή, με συντελεστές ασφαλείας για κατακόρυφη αντοχή $\nu_L = 1.27$ και 1.10 (κλάση Α και κλάση Β αντίστοιχα) και για εγκάρσια αντοχή $\nu_L = 2.54$ και 2.20. Ωστόσο η ΔΕΗ για μεγαλύτερη εξασφάλιση εφαρμόζει συντελεστές ασφαλείας $\nu_L = 3$ και 2 επί του φορτίου των 320 daN που ορίζει ο ΚΕΣΥΓΗΕ. Τελικά το επιτρεπόμενο φορτίο για κάθε στήριγμα είναι $P_e = 105$ και 160 daN για κλάση Α και Β αντίστοιχα.



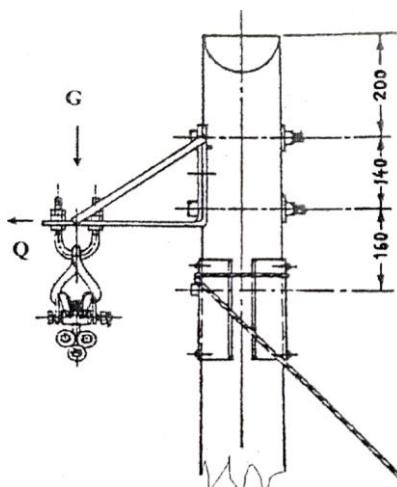
Εικόνα 5.27: Στήριγμα μονωτήρα κώδωνα

❖ **Στήριγμα Ευθυγραμμίας ή Μικρής Γωνίας σε γραμμές ΜΤ**

Το στήριγμα καταπονείται από κατακόρυφο φορτίο G και εγκάρσιο Q (εικ. 5.25). Οι προδιαγραφές του στηρίγματος σε φορτία θραύσης και τα όρια ελαστικότητας ανά κατεύθυνση δίνονται στον παρακάτω πίνακα. Ο συντελεστής ασφαλείας λαμβάνεται $n_L = 1$.

Πίνακας 5.20: Φορτία θραύσης και όρια ελαστικότητας στις αντίστοιχες φορτίσεις για στήριγμα ευθυγραμμίας ή μικρής γωνίας

Φόρτιση	Φορτίο Θραύσης (daN)	Όριο ελαστικότητας (daN)
Κατακόρυφη	2800	1700
Εγκάρσια	3000	1400
Διαμήκης	500	300



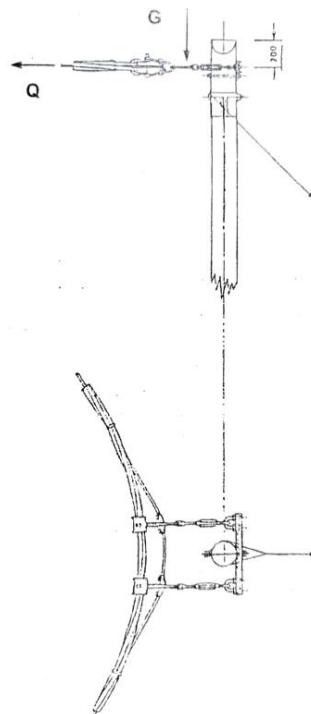
Εικόνα 5.28: Στήριγμα ευθυγραμμίας ή μικρής γωνίας

❖ **Στήριγμα Μεγάλης Γωνίας σε υπεραστικές γραμμές ΜΤ**

Σε αυτή την περίπτωση για τα φορτία θραύσης ισχύουν (συντελεστής ασφαλείας $n_L = 1$):

Πίνακας 5.21: Φορτία θραύσης στις αντίστοιχες φορτίσεις για στήριγμα μεγάλης γωνίας

Φόρτιση	Φορτίο Θραύσης (daN)
Κατακόρυφη	1000
Εγκάρσια	3400
Διαμήκης	2800



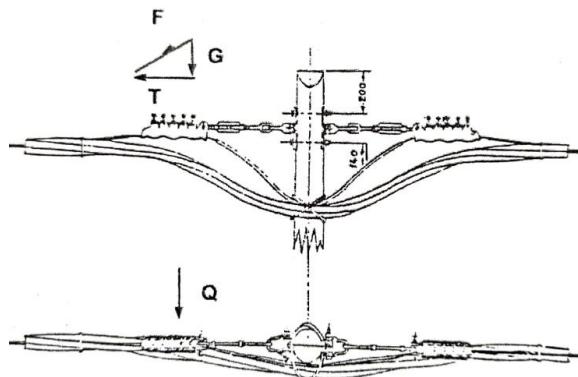
Εικόνα 5.29: Στήριγμα μεγάλης γωνίας

❖ Στήριγμα Τέρματος ΜΤ

Με συντελεστή ασφαλείας $\nu_L = 2$ οι προδιαγραφές των φορτίων θραύσης για το στήριγμα αυτής της κατηγορίας είναι:

Πίνακας 5.22: Φορτία θραύσης στις αντίστοιχες φορτίσεις για στήριγμα τέρματος

Φόρτιση	Φορτίο Θραύσης (daN)
Κατακόρυφη	7200
Εγκάρσια	2000



Εικόνα 5.30: Στήριγμα τέρματος

5.6 Εφαρμογή Μελέτης σε Αστικά Δίκτυα ΜΤ

Ως «Αστικά» χαρακτηρίζονται τα δίκτυα που εξυπηρετούν τις ανάγκες ηλεκτρικής ενέργειας των αστικών περιοχών. Οι περιοχές αυτές διακρίνονται συνήθως από πυκνή δόμηση και ο πυρήνας τους βρίσκεται εντός σχεδίου πόλης. Υπάρχουν ωστόσο και μικροί οικισμοί ή περιφερειακά ακραία τμήματα πόλεων, όπου είτε δεν υπάρχει σχέδιο πόλης, είτε βρίσκονται υπό μελλοντική ρυμοτόμηση.

Η **ρυμοτομική γραμμή** της πόλης είναι εκείνη που καθορίζει τα όρια των δρόμων και των οικοδομικών τετραγώνων, ενώ η **οικοδομική γραμμή** είναι εκείνη που προδιαγράφει την εξωτερική πλευρά των οικοδομών. Μεταξύ των δύο γραμμών υπάρχει πεζοδρόμιο ή πρασιά. Στις περιοχές που υπάρχει σχέδιο πόλης η όδευση των δικτύων ακολουθεί υποχρεωτικά τη ρυμοτομία.

5.6.1 Θέση Στύλων

Οι στύλοι τοποθετούνται κατά κύριο λόγο επάνω στα πεζοδρόμια ή υπό περιπτώσεις στις πρασιές, ενώ απαγορεύεται η τοποθέτηση τους επί του οδοστρώματος. Η θέση των στύλων στα πεζοδρόμια πρέπει να ικανοποιεί τις εξής προϋποθέσεις:

- I. Το εναέριο δίκτυο πρέπει να προκαλεί τη μικρότερη δυνατή κυκλοφοριακή και οπτική ενόχληση.
- II. Πρέπει να προτιμάται η τοποθέτηση των στύλων στην προέκταση των ορίων των ιδιοκτησιών.
- III. Η απόσταση των στύλων ως προς τις οικοδομές εξαρτάται από το πλάτος του εκάστοτε πεζοδρομίου. Από τη μία στα στενά πεζοδρόμια η εξωτερική πλευρά των στύλων δεν πρέπει να είναι μικρότερη των 15 cm από την άκρη του πεζοδρομίου, ενώ από την άλλη στα μεγάλα πεζοδρόμια η θέση των στύλων πρέπει να εξασφαλίζει όλες τις ελάχιστες αποστάσεις από τα διάφορα στοιχεία του περιβάλλοντος.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί (βλ. 5.1.10), **η ελάχιστη κατακόρυφη απόσταση των γυμνών αγωγών ΜΤ από άλλα στοιχεία είναι 3 m**, η οποία σε εξαιρετικά δύσκολες συνθήκες μπορεί να μειωθεί στα 2.5 m. **Η επιτρεπτή οριζόντια απόσταση από κτίρια είναι 2.5 m**, η οποία σε μεγάλη ανάγκη μπορεί να γίνει 2 m. Στα ΣΚ ΜΤ με αποτελεσματική γείωση η οριζόντια απόσταση είναι 0.9 m και η κατακόρυφη 2.5 m, ενώ όταν η γείωση δεν είναι αποτελεσματική εφαρμόζονται οι αποστάσεις ασφαλείας των γυμνών αγωγών.

5.6.2 Επιλογή Στύλων

Η επιλογή του είδους των στύλων που θα τοποθετηθούν σε ένα δίκτυο γίνεται σύμφωνα με τους κανονισμούς και επαφίεται στον εκάστοτε μελετητή και τους μηχανικούς του ΔΕΔΔΗΕ. Γενικά, ένα αστικό δίκτυο με τσιμεντόστυλους χωρίς επιτόνους είναι ακριβότερο από το αντίστοιχο με ξύλινους στύλους και επιτόνους. Στις περιοχές που συναντάται πυκνή δόμηση

και λιγοστό πράσινο, οι τσιμεντόστυλοι μικρών διαστάσεων προσφέρουν καλύτερη αισθητική. Αντιθέτως, στις περιοχές αραιής δόμησης με εντονότερο πράσινο οι ξύλινοι στύλοι αποτελούν πιο ευέλικτη λύση. Τέλος, είναι θεμιτό να αποφεύγεται η εναλλαγή ξύλινων και τσιμεντένιων στύλων κατά μήκος της ίδιας γραμμής.

5.6.3 Χρήση Επιτόνων

Η τοποθέτηση των επιτόνων πρέπει να γίνεται με προσεκτικό τρόπο, ώστε να μην αποτελούν εμπόδιο σε πεζούς ή οχήματα. Η επιθυμητή κλίση των επιτόνων σε αστικές περιοχές είναι συνήθως 2:1, ενώ αν επιβάλλεται από την τοπογραφία ή την μηχανική αντοχή στύλων και επιτόνων μπορεί να εφαρμοσθεί και μικρότερη κλίση (έως 1:1). Τέλος σε περιοχές που δεν παρουσιάζουν μεγάλη σεισμικότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και η τεχνική της αγκύρωσης των επιτόνων σε τοίχους, εφόσον γίνει προσεκτική και καλαίσθητη αποκατάσταση των σημείων αγκύρωσης.

5.6.4 Επιλογή Είδους Αγωγών

- ❖ **Αγωγοί ACSR:** Χρησιμοποιούνται για όλες τις τυποποιημένες επιφορτίσεις σε περιοχές με φυσιολογικές συνθήκες διαβρωτικότητας.
- ❖ **Αγωγοί Cu:** Χρησιμοποιούνται σε περιοχές με έντονη διαβρωτικότητα, όπως παραθαλάσσιες περιοχές ή περιοχές με έντονη βιομηχανική ρύπανση.
- ❖ **Συνεστραμμένα Καλώδια MT:** Χρησιμοποιούνται στις ακόλουθες περιπτώσεις κατά σειρά προτεραιότητας:
 - a) Δασώδεις περιοχές.
 - b) Σε παραθαλάσσιες περιοχές ή περιοχές με ρύπανση, στις οποίες οι γραμμές χαλκού δεν είναι κατάλληλες λόγω υπερπηδήσεων.
 - c) Σε ορεινές περιοχές όπου παρατηρούνται συχνές θραύσεις γυμνών αγωγών λόγω επικάθισης πάγου.
 - d) Σε αστικές περιοχές με έντονη δενδροστοιχία.
 - e) Για οικολογικούς λόγους ειδικής προστασίας του περιβάλλοντος.
 - f) Σε τμήματα εναέριων δικτύων τα οποία είναι προς μελλοντική αντικατάσταση με υπόγειο δίκτυο, για λόγους ασφαλείας.

5.6.5 Τανύσεις Αστικών και Αρδευτικών Δικτύων

Βασικό κριτήριο για τον καθορισμό των τανύσεων αποτελεί η απόσταση τοποθέτησης των στύλων, ή αλλιώς το βασικό άνοιγμα (BA). Από τη μία οι τανύσεις δεν πρέπει να είναι πολύ χαλαρές, γιατί απαιτούνται έτσι μεγαλύτερα ύψη στύλων για την επίτευξη των ελάχιστων αποστάσεων των αγωγών από άλλα στοιχεία. Από την άλλη για τη μείωση του κόστους και των μηχανικών απαιτήσεων των γραμμών, κρίνεται σκόπιμο να μην εξαντλούνται τα μέγιστα επιτρεπόμενα όρια των τανύσεων.

Κατά γενικό κανόνα το BA έχει καθιερωθεί στα 40 m για τα αστικά δίκτυα και στα 65 m για τα αρδευτικά δίκτυα. Στους παρακάτω πίνακες φαίνονται οι δυνάμεις τάνυσης και τα βέλη των βασικότερων αστικών και αρδευτικών γραμμών για τις διάφορες επιφορτίσεις.

Πίνακας 5.23: Δυνάμεις τάνυσης αστικών δικτύων

Διατ.	Αγωγ.	Επιφορτίσεις											
		Κανονική (BA = 40 m) CS-5A			Βαριά (BA = 40 m) CS-5B			Ελαφρά (BA = 40 m) CS-5E			Κανονική (BA = 50 m) CS-5		
		-10°C επιφ.	-10°C χωρίς	16°C χωρίς	-20°C επιφ.	-20°C χωρίς	16°C χωρίς	-1°C επιφ.	-1°C χωρίς	16°C χωρίς	-10°C επιφ.	-10°C χωρίς	16°C χωρίς
mm ²		daN	daN	daN	daN	daN	daN	daN	daN	daN	daN	daN	daN
16	ACSR	223	39	29	295	26	22	159	55	41	262	53	38
35	ACSR	317	86	64	379	55	49	272	121	90	388	115	84
50	ACSR	380	123	92	429	82	69	356	173	128	376	165	120
95	ACSR	572	234	174	557	156	132	596	330	244	717	313	228
35	AAAC	224	38	28	300	26	21	163	53	39	270	50	37
70	AAAC	314	72	54	390	50	40	263	102	76	380	97	71
185	AAAC	570	200	150	625	140	112	590	284	210	710	269	198
16	AL	207	28	21	-	-	-	149	40	30	242	38	28
35	AL	297	69	44	355	42	34	256	85	63	358	81	60
50	AL	370	87	65	403	60	48	340	124	92	442	110	86
70	AL	450	123	91	456	84	68	450	173	128	544	165	120
16	CU	203	55	41	-	-	-	129	78	58	238	74	54
35	CU	287	120	90	-	-	-	230	170	125	353	162	118
50	CU	355	174	130	-	-	-	310	245	181	435	233	170
70	CU	439	244	180	-	-	-	405	342	254	541	326	238
95	CU	543	329	245	-	-	-	531	463	342	688	441	322

Πίνακας 5.24: Δυνάμεις τάνυσης αρδευτικών δικτύων

Διατ.	Αγωγ.	Επιφορτίσεις						
		Κανονική και Βαριά (BA = 65 m) CS-9A				Ελαφρά (BA = 65 m) CS-9E		
		κανονική -10°C επιφ.	βαριά -20°C επιφ.	0°C χωρίς	16°C χωρίς	-1°C επιφ.	-1°C χωρίς	16°C χωρίς
mm ²		daN	daN	daN	daN	daN	daN	daN
16	ACSR	345	-	81	58	248	109	83
35	ACSR	524	770	178	126	453	240	183
50	ACSR	650	944	255	181	606	344	263
95	ACSR	997	1418	484	344	1062	653	499
35	AAAC	329	-	78	55	252	105	80
70	AAAC	468	686	151	107	420	204	156
185	AAAC	896	1275	417	296	994	563	430
16	AL	-	-	-	-	218	79	61
35	AL	440	-	126	89	387	169	130
50	AL	544	-	182	129	524	245	186
70	AL	668	970	254	181	695	343	262
16	CU	328	-	115	81	214	154	118
35	CU	517	-	250	178	405	337	256
50	CU	659	-	360	256	556	485	371
70	CU	839	-	504	358	750	680	519
95	CU	1062	-	681	484	993	918	702

Πίνακας 5.25: Δυνάμεις τάνυσης αστικών δικτύων (ΣΚ ΜΤ)

		Επιφορτίσεις								
Διατ.	Αγωγός	Μέση (BA = 40 m) CS-301			Βαριά (BA = 35 m) CS-302			Ελαφρά (BA = 40 m) CS-300		
		-10°C επιφ.	-10°C χωρίς	16°C χωρίς	-20°C επιφ.	-20°C χωρίς	16°C χωρίς	-1°C επιφ.	-1°C χωρίς	16°C χωρίς
mm ²		daN	daN	daN	daN	daN	daN	daN	daN	daN
50	ΣΚ ΜΤ	1046	721	667	950	479	445	1170	954	889
150	ΣΚ ΜΤ	1443	1095	1021	1262	731	682	1647	1443	1361

Πίνακας 5.26: Δυνάμεις τάνυσης αστικών δικτύων (Ατάνυστα CS-7)

Διατομή	Αγωγός	Μέγιστη δύναμη λειτουργίας με επιφόρτιση			Δύναμη τάνυσης χωρίς επιφόρτιση					
		Ελαφρά	Μέση	Βαριά	0°C	10°C	16°C	30°C	40°C	
		T (daN)	T (daN)	T (daN)	T (daN)	T (daN)	T (daN)	T (daN)	T (daN)	
mm ²										
16	ACSR	26	56	100	6.6	6.5	6.4	6.2	6.1	
35	ACSR	38	68	118	14.6	14.2	14.0	13.6	13.3	
50	ACSR	46	77	130	20.8	20.3	20.1	19.5	19.1	
95	ACSR	68	102	162	39.5	38.6	38.1	36.9	36.1	
35	AAAC	27	57	102	6.4	6.2	6.1	5.9	5.8	
70	AAAC	37	68	118	12.3	12.0	11.8	11.4	11.1	
185	AAAC	66	99	160	34.3	33.4	32.8	31.6	30.9	
16	AL	24	54	97	4.9	4.8	4.7	4.5	4.4	
35	AL	34	64	113	10.2	10.0	9.8	9.5	9.2	
50	AL	42	72	124	15.0	14.5	14.3	13.8	13.5	
70	AL	50	81	137	21.0	20.4	20.0	19.3	18.9	
16	CU	22	54	-	9.3	9.1	9.0	8.8	8.6	
35	CU	34	68	-	20.3	19.9	19.7	19.2	18.8	
50	CU	44	78	-	29.3	28.7	28.3	27.6	27.1	
70	CU	56	92	-	40.9	40.1	39.6	38.6	37.9	
95	CU	71	108	-	55.3	54.2	53.6	52.1	51.2	
50	ΣΚ ΜΤ	285	333	446	204.1	201.5	200.0	196.6	194.2	
150	ΣΚ ΜΤ	402	464	598	312.5	308.6	306.3	301.1	297.5	

Πίνακας 5.27: Βέλη αστικών και αρδευτικών γραμμών ΜΤ

Αγωγοί – Καλώδια	BA (m)	Ελαφρά Επιφ.		Μέση Επιφ.		Βαριά Επιφ.	
		CS	Βέλος (m)	CS	Βέλος (m)	CS	Βέλος (m)
Γυμνοί αγωγοί και καλώδια	20	CS-7	0.8	CS-7	0.8	CS-7	0.8
Γυμνοί αγωγοί	40	CS-5E	0.5	CS-5A	0.7	CS-5B	0.923
Γυμνοί αγωγοί	50	-	-	CS-5	0.834	-	-
Γυμνοί αγωγοί	65	CS-9E	0.644	CS-9A	0.935	CS-9A	0.935
Συνεστραμμένα καλώδια ΜΤ (Αναρτημένου τύπου 3x50 AL + 50 ST & 3x150 AL + 50 ST)	35	-	-	-	-	CS-302	1.10
	40	CS-300	0.72	CS-301	0.96	-	-

Υποδείξεις:

- Ο πίνακας 5.27 ισχύει για αφόρτιστους αγωγούς σε θερμοκρασία 16^0 C.
- Στην βαριά επιφόρτιση με BA = 40 m δεν πρέπει να χρησιμοποιείται ο αγωγός 16 AL.
- Στη βαριά επιφόρτιση με BA = 65 m σε αρδευτικά δίκτυα δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται οι αγωγοί 16 AL, 35 AL και 50 AL, λόγω υπέρβασης του 48% του φορτίου θραύσης των αγωγών σε συνθήκες πλήρης επιφόρτισης.

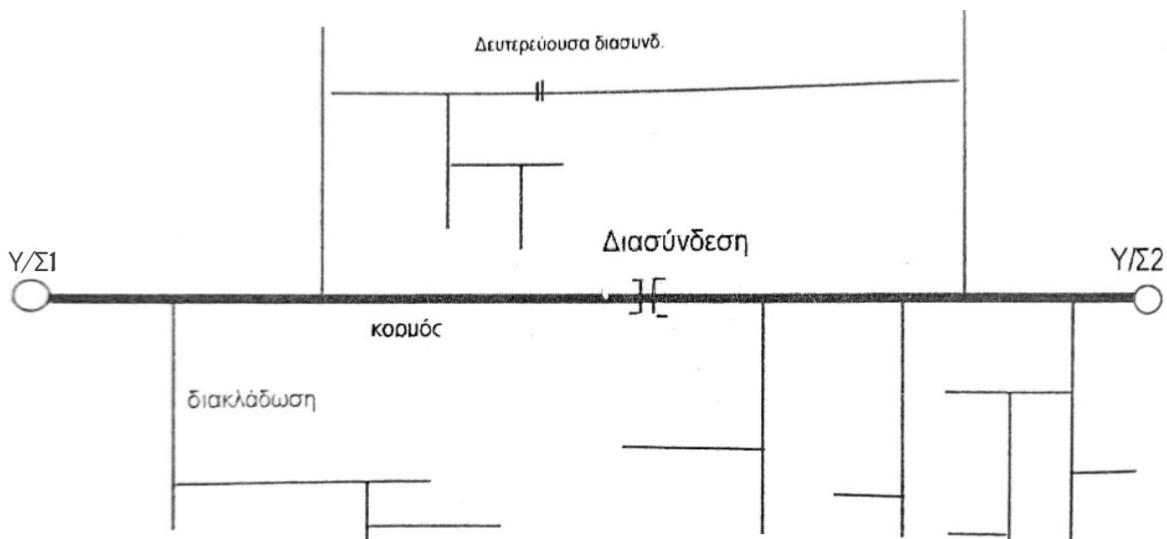
5.6.6 Υπόγειο Δίκτυο σε Αστικές Περιοχές

Σε περιοχές που συναντάται πολύ πυκνή δόμηση, η ύπαρξη εναέριου δικτύου προκαλεί δυσκολίες στην τοποθέτηση των στύλων και την ηλεκτρική διασύνδεση τους, ενώ ταυτόχρονα δημιουργείται και μία αισθητική συμφόρηση. Στις περιπτώσεις αυτές, η βέλτιστη τεχνοοικονομική λύση είναι η εφαρμογή υπόγειου δικτύου MT και XT. Γενικά αν σε μία γεωγραφική περιοχή η πυκνότητα φορτίου είναι μεγαλύτερη από 10 MVA/km^2 με ετήσια αύξηση 4%, τότε εφαρμόζεται υπόγειο δίκτυο.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στο κεφάλαιο U του ΕΤΚΔ ορίζονται οι προδιαγραφές των υπόγειων δικτύων. Η τοποθέτηση του υπόγειου δικτύου γίνεται κυρίως επί των πεζοδρομίων και υπό περιπτώσεις σε πρασίες, ενώ στις διασταυρώσεις των δρόμων χρησιμοποιούνται υπόγειοι σωλήνες. Τέλος, η υλοποίηση των υπόγειων δικτύων MT γίνεται πάντα σε βρόχο με καλώδια XLPE 3x240 + 25 AL, ώστε να εξασφαλίζεται δυνατότητα τροφοδότησης από δύο διευθύνσεις.

5.7 Εφαρμογή Μελέτης σε Υπεραστικά Δίκτυα MT

Ως υπεραστικά δίκτυα νοούνται τα εναέρια δίκτυα MT. Η δομή ενός υπεραστικού δικτύου περιλαμβάνει τους κορμούς, τις δευτερεύουσες γραμμές (διασυνδέσεις) και τις διακλαδώσεις. **Κορμοί** ονομάζονται οι γραμμές που αναχωρούν από έναν ΥΣ YT/MT και συνδέονται με άλλους κορμούς γειτονικών ΥΣ, ή άλλες γραμμές του ίδιου ΥΣ. **Δευτερεύουσα γραμμή** είναι η γραμμή που διασυνδέεται και τροφοδοτείται από δύο πλευρές. Τέλος, **διακλαδώση** αποτελεί κάθε γραμμή που η αρχή της είναι στύλος κάποιας άλλης γραμμής.



Εικόνα 5.31: Δομή υπεραστικού δικτύου

5.7.1 Χάραξη

Πριν την κατασκευή και την εγκατάσταση μιας εναέριας γραμμής είναι απαραίτητη η μελέτη και η επιθεώρηση των γεωγραφικών δεδομένων της υπό μελέτη περιοχής, ώστε σε πρώτο στάδιο να πραγματοποιηθεί η χάραξη. Η **χάραξη** αποτελεί την σημαντικότερη διαδικασία μιας υπεραστικής μελέτης, γιατί καθορίζεται η γεωγραφική θέση της γραμμής. Κάθε εναέρια γραμμή πρόκειται ουσιαστικά για μία τεθλασμένη γραμμή που αποτελείται από τον στύλο αναχώρησης στην αφετηρία, τους ενδιάμεσους γωνιακούς στύλους και καταλήγει στους τερματικούς.

❖ Απόσταση γραμμής από δρόμους.

Σε περιοχές οιαλών εδαφών οι γραμμές πρέπει να ακολουθούν την όδευση των δρόμων μεταξύ πόλεων ή χωριών, ώστε να υπάρχει άμεση πρόσβαση σε αυτές και να είναι ευκολότερος ο μακροσκοπικός έλεγχος, η επισκευή και η συντήρηση τους. Για την πλήρη ασφάλεια της γραμμής από ενδεχόμενες μελλοντικές διανοίξεις και διαπλατύνσεις δρόμων, έχουν καθιερωθεί οι αποστάσεις των 40 μέτρων από τον άξονα εθνικών δρόμων και 30 μέτρων από λοιπούς δρόμους μεγάλης κυκλοφορίας.

Σε εξαιρετικά ορεινές περιοχές τις περισσότερες φορές η χάραξη δεν είναι δυνατόν να ακολουθεί τους υπάρχοντες δρόμους, καθώς η όδευση του δρόμου επηρεάζεται από την ανάγκη της ισοκλινούς γραμμής με αποτέλεσμα η παράλληλη όδευση της γραμμής να οδηγεί σε αύξηση του μήκους, του κόστους και της αισθητικής. Σε αυτές τις περιπτώσεις η χάραξη γίνεται λαμβάνοντας υπόψη τις ειδικές γεωγραφικές συνθήκες κάθε περιοχής.

❖ Γραμμή σε δασικό περιβάλλον.

Η διέλευση μιας γραμμής μέσα από δασικές περιοχές με ψηλά δένδρα είναι θεμιτό να αποφεύγεται για λόγους ασφάλειας, τόσο της γραμμής (πτώση δένδρων και κλαδιών), όσο και του περιβάλλοντος (πυρκαγιές). Όταν κρίνεται απόλυτα αναγκαία μία τέτοια διέλευση, τότε θα πρέπει να διανοίγεται διάδρομος αποξήλωσης των δένδρων εκατέρωθεν του άξονα της γραμμής σε απόσταση σχεδόν ίση με τα ψηλότερα δένδρα. Εύκαμπτα και εύθραυστα δένδρα (ευκάλυπτοι, λέυκες) που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση από τις γραμμές πρέπει να κόβονται. Σε περίπτωση χρήσης γυμνών αγωγών συστήνεται η χρήση ψηλών στύλων που ξεπερνούν το ύψος των πλησιέστερων δένδρων. Τέλος, είναι δυνατή και η χρήση ΣΚ ΜΤ εφόσον καλύπτουν τις ηλεκτρικές απαιτήσεις των φορτίων.

❖ Γραμμή σε δυσμενείς καιρικές συνθήκες.

Σε αρκετές περιπτώσεις κρίνεται απαραίτητη η όδευση γραμμών σε περιοχές με πολύ δυσμενείς καιρικές συνθήκες, όπως μεγάλα υψόμετρα, ισχυροί άνεμοι, μεγάλες επικαθίσεις πάγου. Το έδαφος σε αυτές της περιοχές είναι γυμνό γιατί οι ισχυροί άνεμοι και οι χαμηλές θερμοκρασίες εμποδίζουν την ανάπτυξη βλάστησης. Σε αυτές τις περιπτώσεις πρέπει να γίνεται πολύ προσεκτική επιλογή της επιφόρτισης της γραμμής, ενώ για πρόσθετη εξασφάλιση μπορούν να χρησιμοποιηθούν και αντιανεμικοί επίτονοι για τη στήριξη των στύλων. Τέλος, είναι δυνατή και η χρήση ΣΚ ΜΤ εφόσον καλύπτουν τις ηλεκτρικές απαιτήσεις των φορτίων.

5.7.2 Μηκοτομή

Η μηκοτομή είναι η τομή της γραμμής σε κατακόρυφο επίπεδο και αφορά τα στοιχεία του εδάφους, των αγωγών και των στύλων. Μέσω της μηκοτομής απεικονίζονται πολύ σημαντικά στοιχεία, όπως η μορφολογία του εδάφους, τα σημεία αλλαγής κλίσης, τα σημεία διασταυρώσεων των γραμμών με άλλες γραμμές (τηλεφωνίας, σιδηροδρομικές) ή κτίσματα και οι πιθανές θέσεις των στύλων από την αφετηρία της γραμμής έως και το τέλος της. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να γίνει μία πρώτη εκτίμηση των βασικών ανοιγμάτων της γραμμής καθώς και του είδους και της τάνυσης των αγωγών.

5.7.3 Πασσάλωση

Η πασσάλωση γίνεται τις περισσότερες φορές ταυτόχρονα με τις μελέτες χάραξης και μηκοτομής και αφορά σε πρώτο στάδιο την επισήμανση των θέσεων των στύλων, μέσω της χρήσης πασσάλων. Με λευκούς πασσάλους επισημαίνονται οι πιθανές θέσεις στύλων, ενώ με κόκκινους οι υποχρεωτικές θέσεις. Μετά την τελική επιλογή των στύλων και των αγωγών γίνεται η τοποθέτηση των στοιχείων του δικτύου στις επισημασμένες θέσεις.

5.7.4 Φύλλο Πασσαλώσεως

Στο τέλος των διαδικασιών της χάραξης, μηκοτομής και πασσάλωσης συντάσσεται το φύλλο πασσαλώσεως, στο οποίο καθορίζονται όλα τα στοιχεία του εδάφους και τα ύψη των στύλων. Η διαδικασία επιλογής των στύλων, των αγωγών και των λοιπών στοιχείων, εξαρτάται από τα δεδομένα του εκάστοτε φύλλου πασσαλώσεως και περιγράφεται παρακάτω.

5.7.5 Επιλογή Στύλων και Επιτόνων

Όσον αφορά το υλικό των στύλων, στα υπεραστικά δίκτυα οι ξύλινοι στύλοι πλεονεκτούν σε μεταφορά, τοποθέτηση, μηχανική λειτουργία, συντήρηση και συνολικό κόστος και χρησιμοποιούνται κατά αποκλειστικότητα.

Κατά μήκος μιας υπεραστικής γραμμής οι διάφοροι στύλοι και επίτονοι που χρησιμοποιούνται μπορούν να είναι διαφόρων κατηγοριών και υψών. Βασικό κριτήριο στην ορθή επιλογή στύλων και επιτόνων αποτελούν η κατακόρυφη δύναμη G, η οριζόντια δύναμη Q και η εκκεντρότητα EK του κάθε στύλου. Συγκεκριμένα, με τα G, Q, και EK γνωστά και μέσω της χρήσης ειδικών τυποποιημένων πινάκων του ΔΕΔΔΗΕ, προσδιορίζεται η κατασκευή του ΕΤΚΔ που θα χρησιμοποιηθεί σε κάθε περίπτωση.

5.7.6 Επιλογή Είδους Αγωγών

Η επιλογή του είδους των αγωγών γίνεται σύμφωνα με τα ίδια κριτήρια που αναλύονται στην υποενότητα 5.6.4 (σελ 118).

5.7.7 Τανύσεις Υπεραστικών Δικτύων

Στους παρακάτω πίνακες φαίνονται οι τανύσεις και οι ειδικές επιφορτίσεις των αγωγών για τα διάφορα είδη επιφόρτισης.

Πίνακας 5.28: Τανύσεις αγωγών υπεραστικών δικτύων – Ελαφρά επιφόρτιση

Διατ. (mm ²)	Αγωγ.	B.A	CS	16° C χωρίς επιφ.		-1° C χωρίς επιφ.		50° C χωρίς επιφ.		-1° C σε πλήρη επιφ.	
				WA (daN/m)	TAN (daN)	WA (daN/m)	TAN (daN)	WA (daN/m)	TAN (daN)	WA (daN/m)	TAN (daN)
16	ACSR	20	CS-7	0.102	7	0.102	7	0.102	6	0.398	26
16	ACSR	40	CS-5E	0.102	41	0.102	63	0.102	26	0.398	146
16	ACSR	65	CS-9E	0.102	84	0.102	129	0.102	49	0.398	233
16	ACSR	75	CS-111	0.102	161	0.102	233	0.102	77	0.398	317
16	ACSR	100	CS-112	0.102	161	0.102	225	0.102	90	0.398	346
16	ACSR	125	CS-113	0.102	161	0.102	216	0.102	101	0.398	372
35	ACSR	20	CS-7	0.225	14	0.225	15	0.225	13	0.582	38
35	ACSR	40	CS-5E	0.225	90	0.225	138	0.225	58	0.582	247
35	ACSR	65	CS-9E	0.225	184	0.225	283	0.225	107	0.582	416
35	ACSR	75	CS-116	0.225	340	0.225	494	0.225	164	0.582	594
35	ACSR	100	CS-117	0.225	340	0.225	474	0.225	192	0.582	626
35	ACSR	125	CS-118	0.225	340	0.225	453	0.225	215	0.582	655
35	ACSR	150	CS-119	0.225	340	0.225	434	0.225	233	0.582	681
35	ACSR	175	CS-120	0.225	340	0.225	417	0.225	248	0.582	704
35	ACSR	200	CS-121	0.225	340	0.225	404	0.225	261	0.582	724
95	ACSR	20	CS-7	0.609	38	0.609	40	0.609	35	1.048	68
95	ACSR	40	CS-5E	0.609	244	0.609	377	0.609	156	1.048	522
95	ACSR	65	CS-9E	0.609	499	0.609	771	0.609	288	1.048	938
95	ACSR	75	CS-130	0.609	960	0.609	1388	0.609	454	1.048	1495
95	ACSR	100	CS-131	0.609	960	0.609	1339	0.609	531	1.048	1512
95	ACSR	125	CS-132	0.609	960	0.609	1287	0.609	595	1.048	1529
95	ACSR	150	CS-133	0.609	960	0.609	1236	0.609	646	1.048	1545
95	ACSR	175	CS-134	0.609	960	0.609	1191	0.609	689	1.048	1559
95	ACSR	200	CS-135	0.609	960	0.609	1153	0.609	725	1.048	1571
95	ACSR	225	CS-136	0.609	960	0.609	1121	0.609	754	1.048	1581
95	ACSR	250	CS-137	0.609	960	0.609	1096	0.609	779	1.048	1590
95	ACSR	275	CS-138	0.609	960	0.609	1075	0.609	800	1.048	1597
95	ACSR	300	CS-139	0.609	960	0.609	1059	0.609	818	1.048	1604
95	ACSR	325	CS-140	0.609	960	0.609	1045	0.609	834	1.048	1609
95	ACSR	350	CS-141	0.609	960	0.609	1034	0.609	847	1.048	1614
95	ACSR	375	CS-142	0.609	960	0.609	1025	0.609	858	1.048	1618
16	CU	20	CS-7	0.144	9	0.144	9	0.144	8	0.343	22
16	CU	40	CS-5E	0.144	58	0.144	78	0.144	39	0.343	128
16	CU	65	CS-9E	0.144	118	0.144	155	0.144	76	0.343	215
16	CU	75	CS-143	0.144	126	0.144	160	0.144	84	0.343	229
16	CU	100	CS-144	0.144	126	0.144	151	0.144	94	0.343	242
16	CU	125	CS-145	0.144	126	0.144	144	0.144	101	0.343	253
35	CU	20	CS-7	0.315	20	0.315	20	0.315	18	0.534	34
35	CU	40	CS-5E	0.315	126	0.315	170	0.315	86	0.534	230
35	CU	65	CS-9E	0.315	258	0.315	338	0.315	166	0.534	406
35	CU	100	CS-146	0.315	266	0.315	318	0.315	202	0.534	426
35	CU	125	CS-147	0.315	266	0.315	303	0.315	217	0.534	432
50	CU	20	CS-7	0.453	28	0.453	29	0.453	27	0.681	44
50	CU	40	CS-5E	0.453	181	0.453	245	0.453	123	0.681	307
50	CU	65	CS-9E	0.453	371	0.453	486	0.453	239	0.681	556
50	CU	100	CS-148	0.453	391	0.453	467	0.453	295	0.681	581
50	CU	125	CS-149	0.453	391	0.453	446	0.453	316	0.681	583
50	CU	150	CS-150	0.453	391	0.453	431	0.453	332	0.681	584
95	CU	20	CS-7	0.857	54	0.857	55	0.857	50	1.097	71
95	CU	40	CS-5E	0.857	343	0.857	464	0.857	233	1.097	532
95	CU	65	CS-9E	0.857	703	0.857	920	0.857	452	1.097	994
95	CU	75	CS-157	0.857	738	0.857	940	0.857	498	1.097	1028
95	CU	100	CS-158	0.857	738	0.857	883	0.857	556	1.097	1006
95	CU	125	CS-159	0.857	738	0.857	842	0.857	597	1.097	990
95	CU	150	CS-160	0.857	738	0.857	814	0.857	627	1.097	979
95	CU	175	CS-161	0.857	738	0.857	796	0.857	649	1.097	972
95	CU	200	CS-162	0.857	738	0.857	783	0.857	665	1.097	966
50	ΣΚ MT	40	CS-300	3.200	889	3.200	954	3.200	782	4.516	1170
50	ΣΚ MT	75	CS-303	3.200	2636	3.200	2773	3.200	2375	4.516	2976
50	ΣΚ MT	100	CS-304	3.200	2543	3.200	2659	3.200	2325	4.516	2976
150	ΣΚ MT	40	CS-300	4.900	1361	4.900	1443	4.900	1219	6.375	1219
150	ΣΚ MT	65	CS-311	4.900	2633	4.900	2753	4.900	2407	6.375	2976
150	ΣΚ MT	75	CS-312	4.900	2596	4.900	2704	4.900	2393	6.375	2976

Πίνακας 5.29: Τανόσεις αγωγών υπεραστικών δικτύων – Μέση επιφόρτιση

Διατ. (mm ²)	Αγωγ.	B.A	CS	16 ⁰ C χωρίς		-10 ⁰ C χωρίς	-10 ⁰ C σε κατακ. επ.		-10 ⁰ C σε πλήρη επ.		50 ⁰ C χωρίς επ.
				WA (daN/m)	TAN (daN)	TAN (daN)	WA (daN/m)	TAN (daN)	WA (daN/m)	TAN (daN)	TAN (daN)
16	ACSR	20	CS-7	0.102	7	7	0.353	23	0.863	56	7
16	ACSR	40	CS-5A	0.102	29	42	0.353	113	0.863	218	21
16	ACSR	50	CS-5	0.102	38	57	0.353	142	0.863	264	28
16	ACSR	65	CS-9A	0.102	57	95	0.353	194	0.863	339	40
16	ACSR	75	CS-11	0.102	141	248	0.353	315	0.863	456	70
16	ACSR	100	CS-12	0.102	88	133	0.353	263	0.863	456	62
16	ACSR	125	CS-13	0.102	71	87	0.353	234	0.863	456	59
35	ACSR	20	CS-7	0.225	14	15	0.538	36	1.042	68	13
35	ACSR	40	CS-5A	0.225	64	94	0.538	189	1.042	310	48
35	ACSR	50	CS-5	0.225	84	127	0.538	240	1.042	383	62
35	ACSR	65	CS-9A	0.225	127	209	0.538	342	1.042	511	88
35	ACSR	75	CS-16	0.225	400	656	0.538	716	1.042	844	185
35	ACSR	100	CS-17	0.225	400	637	0.538	735	1.042	915	215
35	ACSR	125	CS-18	0.225	374	578	0.538	726	1.042	960	229
35	ACSR	150	CS-19	0.225	317	458	0.538	672	1.042	960	223
35	ACSR	175	CS-20	0.225	282	370	0.538	631	1.042	960	219
35	ACSR	200	CS-21	0.225	261	317	0.538	601	1.042	960	216
95	ACSR	20	CS-7	0.609	38	40	1.051	70	1.543	102	35
95	ACSR	40	CS-5A	0.609	174	260	1.051	401	1.543	537	130
95	ACSR	50	CS-5	0.609	228	350	1.051	519	1.543	681	168
95	ACSR	65	CS-9A	0.609	344	575	1.051	771	1.543	962	239
95	ACSR	75	CS-30	0.609	1130	1834	1.051	1903	1.543	2005	516
95	ACSR	100	CS-31	0.609	1130	1788	1.051	1907	1.543	2067	598
95	ACSR	125	CS-32	0.609	1130	1733	1.051	1910	1.543	2129	665
95	ACSR	150	CS-33	0.609	1130	1674	1.051	1914	1.543	2190	722
95	ACSR	175	CS-34	0.609	1130	1612	1.051	1918	1.543	2247	771
95	ACSR	200	CS-35	0.609	1130	1553	1.051	1921	1.543	2300	812
95	ACSR	225	CS-36	0.609	1130	1498	1.051	1924	1.543	2349	847
95	ACSR	250	CS-37	0.609	1130	1449	1.051	1927	1.543	2393	878
95	ACSR	275	CS-38	0.609	1130	1407	1.051	1929	1.543	2432	904
95	ACSR	300	CS-39	0.609	1130	1370	1.051	1931	1.543	2468	927
95	ACSR	325	CS-40	0.609	1130	1340	1.051	1933	1.543	2500	947
95	ACSR	350	CS-41	0.609	1130	1314	1.051	1935	1.543	2529	964
95	ACSR	375	CS-42	0.609	1130	1292	1.051	1936	1.543	2555	979
95	ACSR	400	CS-43	0.609	1130	1274	1.051	1937	1.543	2579	993
95	ACSR	425	CS-44	0.609	1130	1258	1.051	1939	1.543	2600	1005
16	CU	20	CS-7	0.144	9	10	0.361	24	0.841	54	9
16	CU	40	CS-5A	0.144	41	55	0.361	110	0.841	201	32
16	CU	50	CS-5	0.144	54	74	0.361	138	0.841	244	41
16	CU	65	CS-9A	0.144	81	115	0.361	189	0.841	315	59
16	CU	75	CS-151	0.144	99	138	0.361	218	0.841	355	72
35	CU	20	CS-7	0.315	20	21	0.577	38	1.039	68	18
35	CU	40	CS-5A	0.315	90	122	0.577	192	1.039	294	70
35	CU	50	CS-5	0.315	118	161	0.577	244	1.039	364	91
35	CU	65	CS-9A	0.315	178	252	0.577	347	1.039	487	131
35	CU	100	CS-152	0.315	313	424	0.577	537	1.039	715	227
35	CU	125	CS-153	0.315	307	388	0.577	535	1.039	752	241
50	CU	20	CS-7	0.453	28	30	0.744	49	1.196	78	27
50	CU	40	CS-5A	0.453	129	175	0.744	254	1.196	359	101
50	CU	50	CS-5	0.453	170	232	0.744	325	1.196	449	130
50	CU	65	CS-9A	0.453	256	361	0.744	468	1.196	612	188
50	CU	100	CS-154	0.453	460	623	0.744	746	1.196	925	331
50	CU	150	CS-155	0.453	460	557	0.744	749	1.196	1005	377
50	CU	200	CS-156	0.453	460	519	0.744	751	1.196	1060	403
95	CU	20	CS-7	0.857	54	57	1.214	80	1.648	108	50
95	CU	40	CS-5A	0.857	245	331	1.214	431	1.648	541	190
95	CU	50	CS-5	0.857	321	439	1.214	557	1.648	686	247
95	CU	65	CS-9A	0.857	484	685	1.214	819	1.648	968	355
95	CU	75	CS-181	0.857	868	1258	1.214	1354	1.648	1478	559
95	CU	100	CS-182	0.857	868	1178	1.214	1330	1.648	1510	625
95	CU	125	CS-183	0.857	868	1107	1.214	1310	1.648	1538	674
95	CU	150	CS-184	0.857	868	1051	1.214	1294	1.648	1561	711
95	CU	175	CS-185	0.857	868	1010	1.214	1282	1.648	1579	739
95	CU	200	CS-186	0.857	868	980	1.214	1272	1.648	1593	761
50	ΣΚ MT	40	CS-301	3.200	674	730	4.625	962	5.244	1046	614
50	ΣΚ MT	75	CS-305	3.200	2434	2636	4.625	2870	5.244	2976	2187

Πίνακας 5.30: Τανύσεις αγωγών υπεραστικών δικτύων – Βαριά επιφόρτιση

Διατ.	Αγωγ.	B.A	CS	16° C χωρίς επιφ.		-20° C χωρίς επιφ.		-20° C σε κατακ. επιφ.		-20° C σε πλήρη επιφ.		50° C χωρίς επιφ.
				WA (daN/m)	TAN (daN)	WA (daN/m)	TAN (daN)	WA (daN/m)	TAN (daN)	WA (daN/m)	TAN (daN)	TAN (daN)
16	ACSR	20	CS-7	0.102	8	0.102	9	0.846	56	1.532	100	8
16	ACSR	40	CS-5B	0.102	20	0.102	28	0.846	187	1.532	296	16
16	ACSR	65	CS-9A	0.102	56	0.102	123	0.846	354	1.532	508	38
16	ACSR	75	CS-45	0.102	38	0.102	48	0.846	289	1.532	456	32
16	ACSR	100	CS-46	0.102	34	0.102	38	0.846	273	1.532	456	31
35	ACSR	20	CS-7	0.225	13	0.225	15	1.093	74	1.773	118	12
35	ACSR	40	CS-5B	0.225	48	0.225	66	1.093	267	1.773	395	40
35	ACSR	65	CS-9A	0.225	126	0.225	271	1.093	571	1.773	756	88
35	ACSR	75	CS-48	0.225	235	0.225	528	1.093	772	1.773	960	132
35	ACSR	100	CS-49	0.225	171	0.225	291	1.093	711	1.773	960	127
35	ACSR	125	CS-50	0.225	149	0.225	193	1.093	673	1.773	960	125
35	ACSR	150	CS-51	0.225	139	0.225	162	1.093	650	1.773	960	124
95	ACSR	20	CS-7	0.609	38	0.609	41	1.735	118	2.399	162	35
95	ACSR	40	CS-5B	0.609	132	0.609	181	1.735	463	2.399	609	109
95	ACSR	65	CS-9A	0.609	344	0.609	748	1.735	1164	2.399	1379	239
95	ACSR	75	CS-60	0.609	1130	0.609	2120	1.735	2294	2.399	2435	516
95	ACSR	100	CS-61	0.609	1130	0.609	2065	1.735	2353	2.399	2563	598
95	ACSR	125	CS-62	0.609	1130	0.609	1999	1.735	2416	2.399	2691	665
95	ACSR	150	CS-63	0.609	1032	0.609	1769	1.735	2365	2.399	2712	678
95	ACSR	175	CS-64	0.609	943	0.609	1513	1.735	2300	2.399	2712	680
95	ACSR	200	CS-65	0.609	881	0.609	1295	1.735	2245	2.399	2712	682
95	ACSR	225	CS-66	0.609	838	0.609	1134	1.735	2200	2.399	2712	683
95	ACSR	250	CS-67	0.609	807	0.609	1023	1.735	2163	2.399	2712	684
95	ACSR	275	CS-68	0.609	785	0.609	948	1.735	2134	2.399	2712	685
95	ACSR	300	CS-69	0.609	769	0.609	895	1.735	2110	2.399	2712	685
95	ACSR	325	CS-70	0.609	756	0.609	858	1.735	2090	2.399	2712	686
95	ACSR	350	CS-71	0.609	746	0.609	830	1.735	2074	2.399	2712	686
16	CU	20	CS-7	0.144	10	0.144	10	0.819	54	1.489	95	9
16	CU	40	CS-5B	0.144	30	0.144	39	0.819	173	1.489	272	25
35	CU	20	CS-7	0.315	19	0.315	21	1.082	72	1.734	114	18
35	CU	40	CS-5B	0.315	68	0.315	88	1.082	253	1.734	368	58
35	CU	65	CS-9A	0.315	178	0.315	294	1.082	531	1.734	694	130
50	CU	20	CS-7	0.453	28	0.453	30	1.278	85	1.919	127	26
50	CU	40	CS-5B	0.453	98	0.453	126	1.278	309	1.919	429	83
50	CU	65	CS-9A	0.453	256	0.453	422	1.278	683	1.919	855	188
95	CU	20	CS-7	0.857	54	0.857	58	1.812	121	2.430	162	50
95	CU	40	CS-5B	0.857	186	0.857	240	1.812	460	2.430	588	157
95	CU	65	CS-9A	0.857	484	0.857	801	1.812	1117	2.430	1300	355
50	ΣΚ MT	35	CS-302	3.200	445	3.200	479	6.291	864	7.038	950	419
50	ΣΚ MT	65	CS-307	3.200	2108	3.200	2382	6.291	2859	7.038	2976	1872
50	ΣΚ MT	75	CS-308	3.200	1994	3.200	2236	6.291	2836	7.038	2976	1790
50	ΣΚ MT	100	CS-309	3.200	1766	3.200	1925	6.291	2789	7.038	2976	1635
150	ΣΚ MT	35	CS-302	4.900	682	4.900	731	8.736	1180	9.499	1262	643
150	ΣΚ MT	50	CS-315	4.900	2157	4.900	2413	8.736	2883	9.499	2976	1938
150	ΣΚ MT	65	CS-316	4.900	1983	4.900	2175	8.736	2851	9.499	2976	1824
150	ΣΚ MT	75	CS-317	4.900	1894	4.900	2046	8.736	2834	9.499	2976	1768

Πίνακας 5.31: Τανύσεις αγωγών υπεραστικών δικτύων – Υπερβαριά και εξαιρετικά βαριές επιφόρτισεις

Διατ.	Αγωγ.	Επιφ.	B.A	CS	16 ⁰ C χωρίς επιφ.		-20 ⁰ C χωρίς επιφ.		-20 ⁰ C σε κατακ. επιφ.		-20 ⁰ C σε πλήρη επιφ.		50 ⁰ C χωρίς επιφ.
					WA	TAN	WA	TAN	WA	TAN	WA	TAN	TAN
95	ACSR	EB/20	40	CS-105	0.609	93	0.609	107	1.735	2683	20.702	2712	84
95	ACSR	EB/40	25	CS-106	0.609	44	0.609	48	1.735	2696	40.986	2712	42
95	ACSR	EB/60	20	CS-107	0.609	27	0.609	29	1.735	2701	63.958	2712	26
50	ΣΚ MT	EB/20	35	CS-310	3.200	346	3.200	362	0.819	2957	34.639	2976	333
150	ΣΚ MT	EB/20	65	CS-318	4.900	445	4.900	464	0.819	2959	40.640	2976	429
95	ACSR	ΥΠΕΡΒΑΡΙΑ	75	CS-89	0.609	719	0.609	1580	3.712	2386	4.954	2712	379
95	ACSR	ΥΠΕΡΒΑΡΙΑ	100	CS-90	0.609	496	0.609	897	3.712	2280	4.954	2712	359
95	ACSR	ΥΠΕΡΒΑΡΙΑ	125	CS-91	0.609	421	0.609	565	3.712	2208	4.954	2712	349
95	ACSR	ΥΠΕΡΒΑΡΙΑ	150	CS-92	0.609	389	0.609	460	3.712	2162	4.954	2712	344

5.8 Παράρτημα Μηχανικής Μελέτης

Στο παρών παράρτημα περιέχονται ορισμένοι πίνακες που πλαισιώνουν τις έννοιες που αναλύθηκαν στο κεφάλαιο αυτό της μηχανικής μελέτης και βοηθούν στην καλύτερη κατανόηση.

Πίνακας Π.1: Διεθνής ανεμομετρική κλίμακα Beaufort

Βαθμός Κλίμακας	Ονομασία ανέμου	Ταχύτητα ανέμου (m/s)	Ταχύτητα ανέμου (km/h)	Πίεση ανέμου (kg/m ²)	Περιγραφή Φαινομένου
0	Νηνεμία	0 – 0.2	0 – 1	0 – 0.0024	Άπνοια
1	Υποπνέον	0.3 – 1.5	1 – 5	0.005 – 0.126	Η διεύθυνση του ανέμου φαίνεται από τη φορά του καπνού
2	Ασθενής	1.6 – 3.3	6 – 11	0.14 – 0.61	Αισθητός στο πρόσωπο. Ακούγεται θρόισμα. Κίνηση ανεμοδείκτη.
3	Λεπτός	3.4 – 5.4	12 – 19	0.65 – 1.63	Φύλλα και μικρά κλαδιά σε κίνηση. Εκτείνεται μικρή σημαία.
4	Μέτριος	5.5 – 7.9	20 – 28	1.69 – 3.49	Μεταφορά σκόνης και φύλλων. Έντονη κλαδιών.
5	Λαμπρός	8.0 – 10.7	29 – 38	3.58 – 6.41	Μικρά δένδρα με φύλλα αρχίζουν να λυγίζουν.
6	Ισχυρός	10.8 – 13.8	39 – 49	6.53 – 10.66	Μεγάλα κλαδιά δένδρων ταλαντεύονται. Ακούγεται συριγμός στα τηλεφωνικά σύρματα
7	Σφοδρός	13.9 – 17.1	50 – 61	10.81 – 16.37	Ταλάντωση ολόκληρων δένδρων. Βάδισμα κόντρα στον άνεμο δυσχερές
8	Θυελλώδης	17.2 – 20.7	62 – 74	16.57 – 24	Θραύση κλαδών και δυσκολία στο βάδισμα.
9	Θύελλα	20.8 – 24.4	75 – 88	16.57 – 33.34	Ελαφρές ζημιές σε κατοικίες.
10	Ισχυρή Θύελλα	24.5 – 28.4	89 – 102	33.61 – 45.16	Εκρίζωση δένδρων και σημαντικές ζημιές σε κατοικίες.
11	Σφοδρή Θύελλα	28.5 – 32.6	103 – 117	45.49 – 59.51	Ζημιές μεγάλου βεληνεκούς.
12	Τυφών	32.7 – 36.9	119 – 133	59.88 – 76.25	Εξαιρετικά σοβαρές καταστροφές

Πίνακας Π.2: Κατηγορίες εδάφους

Πτωχό	Κανονικό	Καλό	Βραχώδες
($P_{max} = 1 \text{ daN/cm}^2$)	($P_{max} = 2.5 \text{ daN/cm}^2$)	($P_{max} = 5 \text{ daN/cm}^2$)	($P_{max} = 9 \text{ daN/cm}^2$)
Μαλακή άργιλος	Συνεκτική ξηρή άργιλος	Συμπυκνωμένα χονδρόκοκκα χαλίκια	Ημίσκληρος βράχος
Υγρή άργιλος	Συνεκτικός ξηρός πυλός	Στρωσιγενή πετρώματα, άργιλος	-
Μαλακή υγρή άμμος	Συνεκτική ξηρή λεπτόκοκκη άμμος	Μαλακός βράχος	-
Ξηρή άργιλος με λεπτόκοκκη άμμο	Συμπυκνωμένη χονδρόκοκκη άμμος	Αναμειγμένα χαλίκια και άμμος	-
Στρώσεις αργίλου και άμμου	Συμπιεσμένα σκληρά χαλίκια	Καλό αμμοχάλικο	-
-	-	Σκληρός αργιλικός σχιστόλιθος	-

Πίνακας Π.3: Ελάχιστοι διάμετροι ξύλινων στύλων (cm)

Απόσταση από την κορυφή σε m	Κατηγορία στύλων		
	Ελαφρός	Μέσος	Βαρύς
0	12.0	15.0	18.0
1	13.0	16.0	19.1
2	13.9	17.1	20.2
3	14.9	18.1	21.3
4	15.9	19.2	22.4
5	16.9	20.2	23.5
6	17.8	21.2	24.7
7	18.8	22.3	25.8
8	19.8	23.3	26.8
9	20.8	24.3	27.8
10	21.8	25.3	28.8
11	22.8	26.3	29.8
12	23.8	27.3	30.8
13	24.8	28.3	31.8
14	25.8	29.3	32.8
15	26.8	30.3	33.8

Πίνακας Π.4: Τυπικά βάθη θεμελίωσης ξύλινων στύλων

Στύλοι					Έδαφος			
Υψος	Κατ.	d_β	d_κ	d_0	Πτωχό	Καν.	Καλό	Βραχ.
m		cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
9	E	20.8	12	12.2	170	170	150	110
10	E	21.8	12	12.2	170	170	150	110
11	E	22.8	12	12.2	180	170	150	110
12	E	23.8	12	12.2	180	180	160	110
9	M	24.3	15	15.2	230	180	170	140
10	M	25.3	15	15.2	240	180	170	140
11	M	26.3	15	15.2	240	200	170	150
12	M	27.3	15	15.2	260	210	180	150
13	M	28.3	15	15.2	260	210	180	160
14	M	29.3	15	15.2	260	210	190	160
9	B	27.8	18	18.2	240	210	180	150
10	B	28.8	18	18.2	240	220	180	160
11	B	29.8	18	18.2	260	230	190	160
12	B	30.8	18	18.2	270	230	200	170
13	B	31.8	18	18.2	280	240	200	170
14	B	32.8	18	18.2	290	240	210	180
15	B	33.8	18	18.2	300	240	210	180

Πίνακας Π.5: Παράμετροι α , β , γ , ϵ των ξύλινων στύλων

Στύλοι		Παράμετροι σε έδαφος «Καλό»									
Υψος	Κατ.	d_β	d_κ	d_0	h	d_1	I_1	$\alpha \cdot 10^{-4}$	β	$\gamma \cdot 10^{-4}$	$\epsilon \cdot 10^{-4}$
m		cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm ⁻¹		cm ⁻¹	cm ⁻¹
9	E	20.8	12	12.2	730	19.3	6811	7.972	2.718	5.039	2.933
10	E	21.8	12	12.2	830	20.3	8336	7.999	2.506	4.807	3.192
11	E	22.8	12	12.2	930	21.3	10104	8.020	2.341	4.594	3.427
12	E	23.8	12	12.2	1020	22.2	11923	8.036	2.220	4.416	3.620
9	M	24.3	15	15.2	710	22.6	12806	6.857	3.054	4.612	2.245
10	M	25.3	15	15.2	810	23.6	15227	6.823	2.810	4.394	2.428
11	M	26.3	15	15.2	910	24.6	17977	6.796	2.617	4.199	2.597
12	M	27.3	15	15.2	1000	25.5	20755	6.776	2.476	4.039	2.737
13	M	28.3	15	15.2	1100	26.5	24208	6.758	2.345	3.877	2.882
14	M	29.3	15	15.2	1190	27.4	27668	6.745	2.246	3.742	3.003
9	B	27.8	18	18.2	700	26	22432	6.122	3.333	4.286	1.837
10	B	28.8	18	18.2	800	27	26087	6.044	3.068	4.074	1.970
11	B	29.8	18	18.2	890	27.9	29743	5.988	2.876	3.906	2.082
12	B	30.8	18	18.2	980	28.8	33771	5.943	2.717	3.756	2.187
13	B	31.8	18	18.2	1080	29.8	38711	5.902	2.569	3.604	2.297
14	B	32.8	18	18.2	1170	30.7	43604	5.870	2.456	3.480	2.390
15	B	33.8	18	18.2	1270	31.7	49569	5.841	2.348	3.353	2.487

Κεφάλαιο 6: Ηλεκτρική Μελέτη Δικτύου ΜΤ

6.1 Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά Αγωγών

6.1.1 Ωμική και Επαγωγική Αντίδραση

Η **ηλεκτρική ή ωμική αντίσταση R** (Ω/km) εκφράζει τη «δυσκολία» διέλευσης του ηλεκτρικού ρεύματος δια μέσου ενός αγωγού. Για τον υπολογισμό της ωμικής αντίστασης ενός αγωγού σε μία θερμοκρασία θ χρησιμοποιείται ο ακόλουθος τύπος:

$$R = R_{20} (1 + \alpha_{20}(\theta - 20)) \quad (6.1)$$

Όπου,

$R_{20} = \frac{\rho_{20}}{q}$ είναι η αντίσταση του αγωγού στους 20^0 C (Ω/km).

α_{20} είναι θερμοκρασιακός συντελεστής ($^0\text{C}^{-1}$).

ρ_{20} είναι η ειδική αντίσταση του αγωγού ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$).

q είναι η πραγματική διατομή του αγωγού (mm^2).

Η αντίσταση R_{20} , όπως φαίνεται και από τον τύπο της, είναι αντιστρόφως ανάλογη της διατομής του αγωγού και εξαρτάται από το είδος του υλικού του αγωγού. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται ο συντελεστής α_{20} και η ειδική αντίσταση ρ_{20} για τα διάφορα είδη αγωγών.

Πίνακας 6.1: Τιμές των α_{20} και ρ_{20} για τα διάφορα είδη υλικών των αγωγών

Μέγεθος	Συμβολισμός	Μονάδα μέτρησης	CU	AL	ST
Θερμοκρασιακός συντελεστής αντίστασης	α_{20}	$^0\text{C}^{-1}$	0.00393	0.00403	0.0045
Ειδική αντίσταση στους 20^0 C	ρ_{20}	$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$	17.241	28.264	138

Η **επαγωγική αντίδραση X** (Ω/km) των αγωγών εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τη διάταξη τους και την γεωμετρική απόσταση μεταξύ των φάσεων. Υπολογίζεται από τον τύπο:

$$X = 2\pi f L \cdot 10^{-3} \quad (6.2)$$

Όπου,

$f = 50 \text{ Hz}$ είναι η συχνότητα του δικτύου.

$L = 0.2 \ln \frac{2s}{a \cdot d_c}$ είναι η μέση αυτεπαγωγή ανά φάση (mH/km).

$s = \sqrt[3]{s_{ab}s_{bc}s_{ca}}$, με s_{ab} , s_{bc} , s_{ca} οι αποστάσεις των κέντρων των αντίστοιχων αγωγών.

d_c είναι η διάμετρος του αγωγού (mm).

α είναι ο λόγος της μέσης ακτίνας ενός αγωγού προς την πραγματική ακτίνα.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των βασικότερων εναέριων και υπόγειων αγωγών που χρησιμοποιούνται στα δίκτυα ΜΤ

Πίνακας 6.2: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά εναέριων και υπόγειων αγωγών

Είδος αγωγού	Ονομ. διατομή (mm ²)	Πραγμ. διατομή (mm ²)	R (Ω/km)	X (Ω/km)
Εναέριοι αγωγοί				
3x16 ACSR	16	25	1.268	0.422
3x35 ACSR	35	56	0.576	0.397
3x95 ACSR	95	150	0.215	0.334
3x16 CU	16	16	1.274	0.417
3x35 CU	35	35	0.596	0.393
3x95 CU	95	95	0.220	0.358
3x50 AL + 50 ST	50	50	0.823	0.150
3x150 AL + 50 ST	150	150	0.266	0.125
Υπόγειοι αγωγοί				
3x240 +25 AL XLPE	240	240	0.162	0.115
3x240 AL NAEKBA	240	240	0.150	0.108

Παρατηρήσεις:

- Στους εναέριους αγωγούς οι επαγωγικές αντιστάσεις έχουν υπολογιστεί με βάση την τυποποιημένη οριζόντια διάταξη των γυμνών αγωγών στην κατασκευή P-3 του ΕΤΚΔ και για τα συνεστραμμένα καλώδια με βάση τις αποστάσεις των κέντρων των αγωγών.
- Για τα εναέρια δίκτυα οι ωμικές αντιστάσεις των γυμνών αγωγών έχουν υπολογιστεί σε θερμοκρασία 50⁰ C ενώ των συνεστραμμένων καλωδίων στους 90⁰ C.
- Αντίστοιχα για τα υπόγεια δίκτυα οι ωμικές αντιστάσεις έχουν υπολογιστεί σε θερμοκρασία 90⁰ C για καλώδια με μόνωση XLPE και στους 65⁰ για καλώδια με μόνωση χάρτου (NAEKBA).
- Στους υπόγειους αγωγούς η επίδραση της μεταλλικής θωράκισης ή του μεταλλικού μανδύα έχει ληφθεί υπόψη στον υπολογισμό των R, X.

6.1.2 Μέγιστα Επιτρεπόμενα Όρια Φόρτισης Αγωγών

Κάθε τύπος καλωδίου χαρακτηρίζεται από ένα όριο φόρτισης, δηλαδή το μέγιστο ρεύμα που είναι δυνατόν να διαρρέει το καλώδιο σε συνεχή λειτουργία. Τα μέγιστα επιτρεπόμενα ορια φόρτισης των καλωδίων εξαρτώνται κυρίως από την επιτρεπόμενη μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας, τις συνθήκες του περιβάλλοντος και τον τρόπο εγκατάστασης τους.

Η υπέρβαση της επιτρεπόμενης φόρτισης (υπερφόρτιση) των καλωδίων είναι δυνατόν να προκαλέσει αλλοίωση των χαρακτηριστικών της μόνωσης τους και πρόωρη γήρανση του ίδιου του καλωδίου, με αποτέλεσμα τη μέιωση της μηχανικής αντοχής τους και την πιθανότητα

θραύσης τους. Επομένως, σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας το φορτίο δεν πρέπει σε καμία περίπτωση να είναι μεγαλύτερο από το μέγιστο επιτρεπόμενο θερμικό όριο.

6.1.4 Ικανότητα Υπερφόρτισης Καλωδίων

Οι υπερφορτίσεις μπορούν να γίνουν αποδεκτές μόνο στις περιπτώσεις που λόγω της μικρής διάρκειας τους η θερμοκρασία του καλωδίου δεν προσεγγίζει την τελική τιμή που αντιστοιχεί στο ρεύμα υπερφόρτισης, αλλά παραμένει κάτω από τη θερμοκρασία μόνιμης φόρτισης. Η υπέρβαση των ορίων θερμοκρασίας μόνιμης φόρτισης είναι επιτρεπτή μόνο στην περίπτωση βραχυκυκλωμάτων πολύ μικρής διάρκειας.

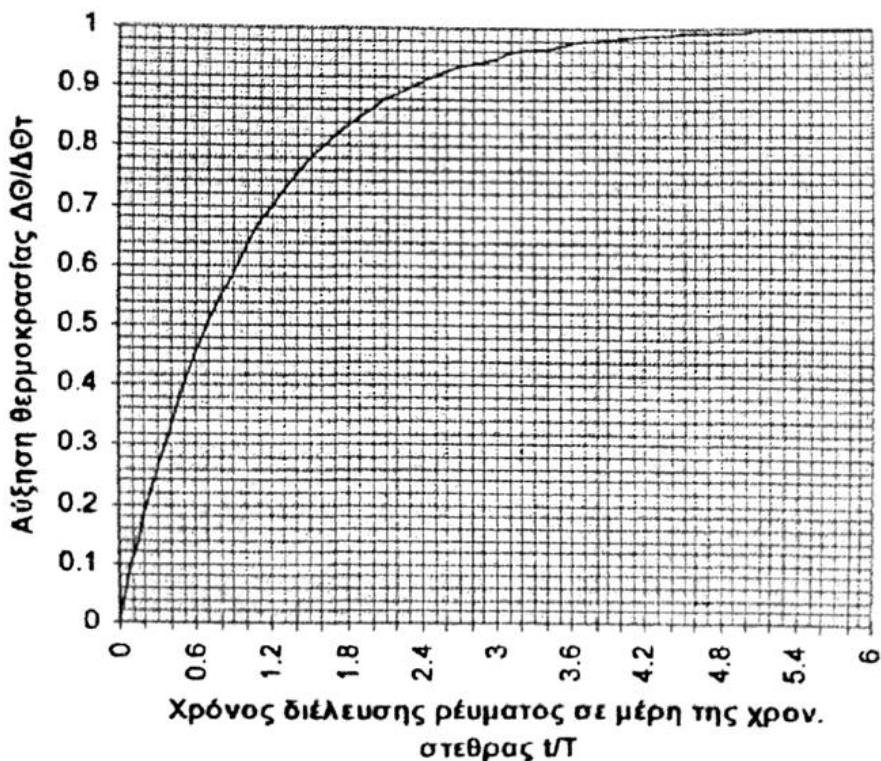
Έστω ένα καλώδιο που διαρρέεται από ρεύμα σταθερής έντασης I για χρόνο t . Η διαφορά θερμοκρασίας από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος $\Delta\Theta$ που θα αποκτήσει μέχρι να φτάσει σε εκείνη τη θερμοκρασία, στην οποία υπάρχει ισορροπία μεταξύ παραγόμενης θερμότητας απωλειών και της θερμότητας που απάγεται στο περιβάλλον, δίνεται από τον τύπο:

$$\Delta\Theta = \Delta\Theta_T \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) \quad (6.3)$$

Όπου,

Τ είναι η χρονική σταθερά θέρμανσης του καλωδίου

$\Delta\Theta_T$ είναι η διαφορά τελικής θερμοκρασίας και θερμοκρασίας περιβάλλοντος



Εικόνα 6.1: Μεταβολή της θερμοκρασίας καλωδίου σε συνάρτηση με το χρόνο

Η τελική θερμοκρασία ΔΘ του καλωδίου που διαρρέεται από ένταση I συνδέεται με τη μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση I_n και την μέγιστη επιτρεπόμενη αύξηση της θερμοκρασίας $\Delta\theta_n$ σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση:

$$\frac{\Delta\theta_T}{\Delta\theta_n} = \left(\frac{I}{I_n}\right)^2 \quad (6.4)$$

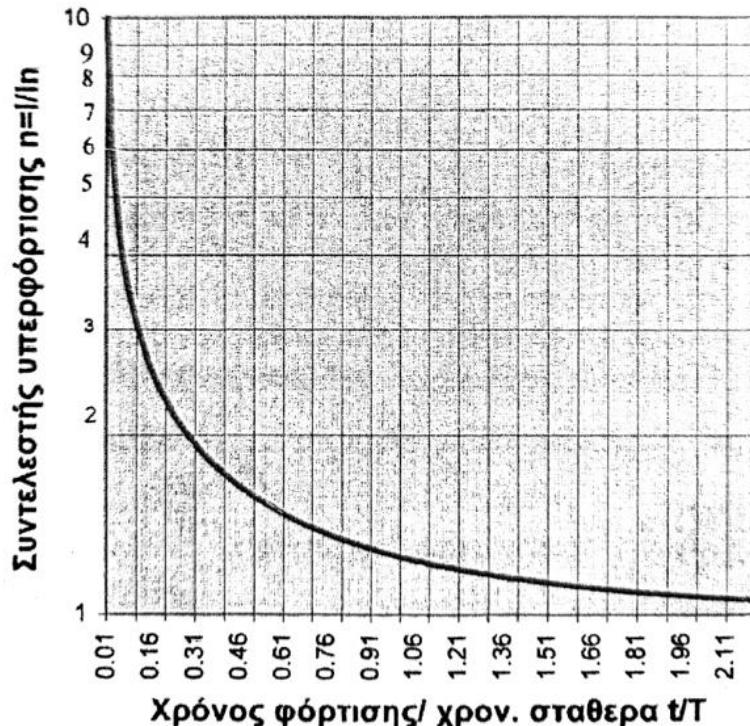
Η βραχυχρόνια υπερφόρτιση επιτρέπεται μόνο στις περιπτώσεις που η διάρκεια της είναι τόσο μικρή, ώστε η τελική θερμοκρασία του καλωδίου να μην υπερβαίνει τη μέγιστη επιτρεπόμενη. Θέτοντας στη σχέση (6.3) $\Delta\Theta = \Delta\theta_n$ και $n = \frac{I}{I_n}$ προκύπτουν οι σχέσεις:

$$n = \left[\frac{1}{1 - e^{-t/T}} \right]^{1/2} \quad (6.5)$$

και

$$\frac{t}{T} = -\ln \left(1 - \frac{1}{n^2} \right) \quad (6.6)$$

Οι παραπάνω σχέσεις συνδέουν το χρόνο t που μπορεί να δεχτεί ένα καλώδιο την υπερένταση I, χωρίς η θερμοκρασία του να ξεπεράσει τη μέγιστη επιτρεπόμενη.



Εικόνα 6.2: Διάγραμμα βραχυχρόνιας υπερφόρτισης καλωδίου

Στον ακόλουθο πίνακα φαίνονται τα επιτρεπόμενα όρια φόρτισης για τους βασικούς αγωγούς εναέριων και υπόγειων δικτύων.

Πίνακας 6.3: Μέγιστη επιτρεπόμενη φόρτιση εναέριων και υπόγειων αγωγών

Είδος αγωγού	A	MVA στα 20kV	MVA στα 15kV
Εναέριοι αγωγοί			
3x16 ACSR	136	4.71	3.53
3x35 ACSR	224	7.76	5.82
3x95 ACSR	448	15.52	11.64
3x16 CU	115	3.98	2.99
3x35 CU	185	6.41	4.81
3x95 CU	352	12.19	9.15
3x50 AL + 50 ST	123	4.26	3.20
3x150 AL + 50 ST	241	8.35	6.26
Υπόγειοι αγωγοί			
3x240 +25 AL XLPE	410	14.20	10.65
3x240 AL NAEKBA	310	10.74	8.05

Παρατηρήσεις:

- Οι μέγιστες επιτρεπόμενες φορτίσεις για τους εναέριους αγωγούς έχουν προκύψει σύμφωνα με τις παρακάτω παραδοχές:
 - Θερμοκρασία αέρα 40°C .
 - Μέγιστη θερμοκρασία αγωγού CU 70°C .
 - Μέγιστη θερμοκρασία αγωγού ACSR 80°C .
 - Μέγιστη θερμοκρασία αγωγών ΣΚ 90°C .
 - Ταχύτητα αέρα 0.6 m/s.
- Οι μέγιστες επιτρεπόμενες φορτίσεις για τους υπόγειους αγωγούς αναφέρονται σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας για ένα μόνο καλώδιο και έχουν προκύψει σύμφωνα με τις παρακάτω παραδοχές:
 - Θερμοκρασία εδάφους 25°C .
 - Μέγιστη θερμοκρασία αγωγού με μόνωση XLPE 90°C .
 - Μέγιστη θερμοκρασία αγωγού με μόνωση χάρτου 65°C .
 - Ειδική αντίσταση εδάφους $1^{\circ}\text{C}\cdot\text{m/W}$.

6.1.3 Αντοχή Αγωγών σε Βραχυκυκλώματα

Όσον αφορά την αντοχή των καλωδίων σε βραχυκυκλώματα γίνεται η παραδοχή πως λόγω της μικρής διάρκειας τους, δεν γίνεται αξιόλογη απαγωγή θερμότητας προς το περιβάλλον μέχρι να λειτουργήσουν τα μέσα προστασίας και κατά συνέπεια η παραγόμενη θερμότητα προκαλεί ανύψωση της θερμοκρασίας τους αγωγού. Για βραχυκυκλώματα διαρκείας έως 5 s, ο χρόνος t που απαιτείται για την ανύψωση της θερμοκρασίας των αγωγών από τη μέγιστη θερμοκρασία κανονικής λειτουργίας θ_a μέχρι την οριακή θερμοκρασία θ_T, υπολογίζεται από τον εξής τύπο:

$$t = \frac{q^2}{\kappa^2 I_\beta^2} \quad (6.7)$$

Όπου,

q είναι η πραγματική διατομή του αγωγού (mm^2).

I_β είναι η ένταση βραχυκυκλώματος (kA).

τ είναι η διάρκεια του βραχυκυκλώματος (s).

Κ είναι συντελεστής που εξαρτάται από το είδος των αγωγών και τις θ_α και θ_τ.

Από την παραπάνω σχέση μπορεί να υπολογιστεί και το ρεύμα βραχυκυκλώματος I_B για διάρκεια t:

$$I_B = \frac{q}{K\sqrt{t}} \quad (6.8)$$

Τέλος, στους παρακάτω πίνακες συγκεντρώνονται οι μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές των εντάσεων βραχυκυκλωμάτων για ορισμένη χρονική διάρκεια για τους διάφορους αγωγούς.

Πίνακας 6.4: Θερμική αντοχή εναέριων αγωγών

	Αγωγοί Cu			Αγωγοί AL			Αγωγοί ACSR			ΣΚ ΜΤ XLPE	
θ _α (°C)	80			80			80			90	
θ _τ (°C)	170			130			160			250	
K	8.84			17.41			14.28			10.57	
q (mm ²)	16	35	50	16	35	50	16	35	95	50	150
t (sec)	kA	kA	kA	kA	kA	kA	kA	kA	kA	kA	kA
0.10	5.8	12.6	17.9	4.9	10.4	15.0	6.6	14.4	38.9	14.1	44.0
0.12	5.3	11.5	16.3	4.5	9.5	13.7	6.0	13.2	35.5	12.9	40.2
0.14	4.9	10.6	15.1	4.1	8.8	12.7	5.5	12.2	32.9	12.0	37.2
0.16	4.5	10.0	14.1	3.9	8.2	11.8	5.2	11.4	30.7	11.2	34.8
0.18	4.3	9.4	13.3	3.6	7.7	11.2	4.9	10.7	29.0	10.5	32.8
0.20	4.1	8.9	12.6	3.4	7.3	10.6	4.6	10.2	27.5	10.0	31.1
0.22	3.9	8.5	12.1	3.3	7.0	10.1	4.4	9.7	26.2	9.5	29.7
0.24	3.7	8.1	11.5	3.1	6.7	9.7	4.2	9.3	25.1	9.1	28.4
0.26	3.6	7.8	11.1	3.0	6.4	9.3	4.1	8.9	24.1	8.8	27.3
0.28	3.4	7.5	10.7	2.9	6.2	8.9	3.9	8.6	23.2	8.5	26.3
0.30	3.3	7.3	10.3	2.8	6.0	8.6	3.8	8.3	22.4	8.2	25.4
0.32	3.2	7.0	10.0	2.7	5.8	8.4	3.7	8.1	21.7	7.9	24.6
0.34	3.1	6.8	9.7	2.6	5.6	8.1	3.6	7.8	21.1	7.7	23.9
0.36	3.0	6.6	9.4	2.6	5.5	7.9	3.5	7.6	20.5	7.5	23.2
0.38	3.0	6.5	9.2	2.5	5.3	7.7	3.4	7.4	19.9	7.3	22.6
0.40	2.9	6.3	8.9	2.4	5.2	7.5	3.3	7.2	19.4	7.1	22.0
0.42	2.8	6.1	8.7	2.4	5.1	7.3	3.2	7.0	19.0	6.9	21.5
0.44	2.7	6.0	8.5	2.3	4.9	7.1	3.1	6.9	18.5	6.7	21.0
0.46	2.7	5.9	8.3	2.3	4.8	7.0	3.1	6.7	18.1	6.6	20.5
0.48	2.6	5.7	8.2	2.2	4.7	6.8	3.0	6.6	17.7	6.5	20.1
0.50	2.6	5.6	8.0	2.2	4.6	6.7	2.9	6.4	17.4	6.3	19.7
0.60	2.3	5.1	7.3	2.0	4.2	6.1	2.7	5.9	15.9	5.8	18.0
0.70	2.2	4.8	6.8	1.8	3.9	5.7	2.5	5.4	14.7	5.3	16.6
0.80	2.0	4.5	6.3	1.7	3.7	5.3	2.3	5.1	13.7	5.0	15.6
0.90	1.9	4.2	6.0	1.6	3.5	5.0	2.2	4.8	13.0	4.7	14.7
1.00	1.8	4.0	5.7	1.5	3.3	4.7	2.1	4.6	12.3	4.5	13.9
1.50	1.5	3.3	4.6	1.3	2.7	3.9	1.7	3.7	10.0	3.7	11.4
2.00	1.3	2.8	4.0	1.1	2.3	3.3	1.5	3.2	8.7	3.2	9.8
2.50	1.2	2.5	3.6	1.0	2.1	3.0	1.3	2.9	7.8	2.8	8.8
3.00	1.1	2.3	3.3	0.9	1.9	2.7	1.2	2.6	7.1	2.6	8.0
3.50	1.0	2.1	3.0	0.8	1.8	2.5	1.1	2.4	6.6	2.4	7.4
4.00	0.9	2.0	2.8	0.8	1.6	2.4	1.0	2.3	6.1	2.2	7.0
4.50	0.9	1.9	2.7	0.7	1.5	2.2	1.0	2.1	5.8	2.1	6.6
5.00	0.8	1.8	2.5	0.7	1.5	2.1	0.9	2.0	5.5	2.0	6.2

Πίνακας 6.5: Θερμική αντοχή υπόγειων αγωγών

	XLPE MT		NAEKVA MT	
θ_a (°C)	90		65	
θ_T (°C)	250		155	
K	10.57		13.05	
q (mm ²)	150	240	150	240
t (sec)	kA	kA	kA	kA
0.10	44.9	71.8	36.3	58.2
0.12	41.0	65.5	33.2	53.1
0.14	37.9	60.7	30.7	49.2
0.16	35.5	56.8	28.7	46.0
0.18	33.4	53.5	27.1	43.3
0.20	31.7	50.8	25.7	41.1
0.22	30.3	48.4	24.5	39.2
0.24	29.0	46.3	23.5	37.5
0.26	27.8	44.5	22.5	36.1
0.28	26.8	42.9	21.7	34.8
0.30	25.9	41.5	21.0	33.6
0.32	25.1	40.1	20.3	32.5
0.34	24.3	38.9	19.7	31.5
0.36	23.7	37.8	19.2	30.7
0.38	23.0	36.8	18.6	29.8
0.40	22.4	35.9	18.2	29.1
0.42	21.9	35.0	17.7	28.4
0.44	21.4	34.2	17.3	27.7
0.46	20.9	33.5	16.9	27.1
0.48	20.5	32.8	16.6	26.5
0.50	20.1	32.1	16.3	26.0
0.60	18.3	29.3	14.8	23.7
0.70	17.0	27.1	13.7	22.0
0.80	15.9	25.4	12.9	20.6
0.90	15.0	23.9	12.1	19.4
1.00	14.2	22.7	11.5	18.4
1.50	11.6	18.5	9.4	15.0
2.00	10.0	16.1	8.1	13.0
2.50	9.0	14.4	7.3	11.6
3.00	8.2	13.1	6.6	10.6
3.50	7.6	12.1	6.1	9.8
4.00	7.1	11.4	5.7	9.2
4.50	6.7	10.7	5.4	8.7
5.00	6.3	10.2	5.1	8.2

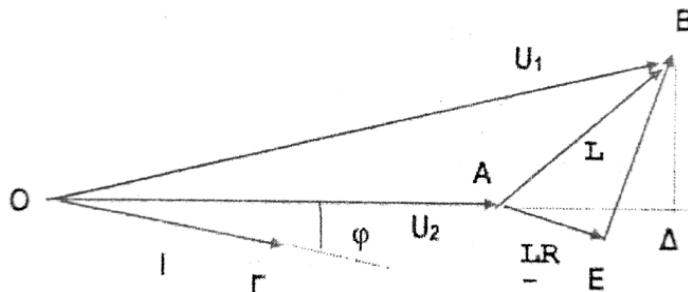
6.2 Πτώση Τάσης στα Δίκτυα

Κατά μήκος μιας γραμμής που τροφοδοτεί στο άκρο της ένα ηλεκτρικό φορτίο είναι αναμενόμενο στο τέρμα της γραμμής η τάση να είναι μικρότερη από την τάση στην αρχή, λόγω των αντιστάσεων και των απωλειών της γραμμής. Αυτή η διαφορά τάσεων μεταξύ αρχής και τέρματος ονομάζεται πτώση τάσης της γραμμής και εκφράζεται ως ποσοστό της αρχικής τάσης τροφοδότησης.

Επειδή τα φορτία και οι συσκευές που εξυπηρετούνται από το δίκτυο είναι πολλές φορές ιδιαίτερα ευπαθή στις διακυμάνσεις τάσεις ή είναι σχεδιασμένα να λειτουργούν υπό σταθερή ονομαστική τάση, είναι ζωτικής σημασίας για την εύρυθμη λειτουργία του δικτύου διανομής η πτώση ή ανύψωση της τάσης κατά μήκος των γραμμών να βρίσκεται εντός συγκεκριμένων αυστηρών ορίων.

6.2.1 Υπολογισμός Πτώσης Τάσης

Ο υπολογισμός της πτώσης τάσης αποτελεί μία πολύ σημαντική εργασία των μελετητών και του διαχειριστή των δικτύων. Οι υπολογισμοί αφορούν κυρίως τριφασικές γραμμές εναλλασσόμενου ρεύματος που τροφοδοτούν ηλεκτρικά φορτία, με έναν καθορισμένο συντελεστή ισχύος ή συνημίτονο (cosφ). Ως συνημίτονο ενός ηλεκτρικού φορτίου ορίζεται το συνημίτονο της γωνίας που σχηματίζουν το διάνυσμα της τάσης με το διάνυσμα της έντασης σε ένα σημείο λειτουργίας.



Εικόνα 6.3: Διανυσματική ανάλυση πτώσης τάσης

Έστω μία τριφασική γραμμή μήκους L (km) με ωμική και επαγωγική αντίσταση R και X αντίστοιχα (Ω/km), με τριφασικό φορτίο I στο άκρο με δοσμένο cosφ. Σύμφωνα με το παραπάνω σχήμα η διανυσματική ανάλυση για τον υπολογισμό της πτώσης τάσης κατά μήκος της γραμμής γίνεται ως εξής:

- $O\vec{A} = U_2 =$ τάση τροφοδότησης του τριφασικού φορτίου με ένταση I
- $O\vec{I} = I =$ ένταση του φορτίου στο τέρμα με δοσμένο cosφ
- $\vec{A}\vec{E} = LRI =$ πτώση τάσης λόγω της ωμικής αντίστασης της γραμμής
- $E\vec{B} = LXI =$ πτώση τάσης λόγω της επαγωγικής αντίστασης της γραμμής
- $A\vec{B} =$ συνολική πτώση τάσης της γραμμής
- $O\vec{B} = U_1 =$ τάση στην αρχή της γραμμής

Η πτώση τάσης είναι η $A\vec{B} = U_1 - U_2$.

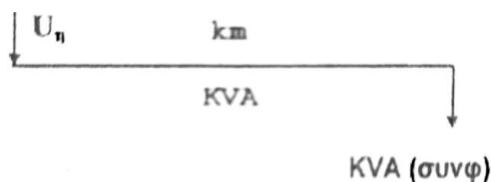
Αντί του διανύσματος \vec{AB} μπορεί να ληφθεί με ικανοποιητική προσέγγιση η προβολή του ΑΔ στην OA με μέτρο $A\Delta = (R\cos\varphi + X\sin\varphi) \cdot I \cdot L$.

Δεδομένου πως το φορτίο στο τέρμα της γραμμής υπολογίζεται σε τριφασικά $KVA = \sqrt{3} \cdot U_2 \cdot I$ και με την παραδοχή πως $U_1 \approx U_2 \approx U_n$, όπου U_n είναι η ονομαστική τάση τροφοδότησης, η πτώση τάσης μπορεί να υπολογιστεί από τον εξής απλουστευμένο τύπο:

$$\pi\tau\% = \frac{KVA \cdot km}{K} \quad (6.9)$$

Όπου,

$K = \frac{10 \cdot U_n^2}{R\cos\varphi + X\sin\varphi}$ = συντελεστής που εκφράζει το γινόμενο $KVA \cdot km$ για πτώση τάσης 1%.



Εικόνα 6.4: Πτώση τάσης γραμμής

Τελικά σύμφωνα με όλα τα παραπάνω αν στο άκρο μιας τριφασικής γραμμής με μήκος ορισμένο σε km, συνδεθεί ένα φορτίο με γνωστά KVA και cosφ, η πτώση τάσης σε ποσοστό της ονομαστικής τάσης τροφοδότησης, είναι το γινόμενο $KVA \cdot km$, διαιρεμένο με το συντελεστή K. Ο συντελεστής K για τα διάφορα είδη αγωγών και για πολική τάση 20 kV δίνεται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 6.6: Συντελεστής υπολογισμού πτώσης τάσης K για MT 20 kV

Αγωγοί	R	X	cosφ									
			0.40	0.50	0.60	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00
	Ω/km	Ω/km	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
3x16 ACSR	1.268	0.422	4474	4002	3642	3364	3252	3156	3077	3019	2993	3155
3x35 ACSR	0.576	0.397	6731	6331	6031	5825	5759	5722	5725	5785	5960	6944
3x95 ACSR	0.215	0.334	10201	10082	10096	10282	10467	10741	11152	11796	12964	18605
3x16 CU	1.274	0.417	4485	4007	3643	3362	3249	3151	3071	3011	2984	3140
3x35 CU	0.596	0.393	6682	6266	5952	5732	5658	5613	5605	5652	5806	6711
3x95 CU	0.220	0.358	9613	9523	9560	9764	9955	10235	10650	11298	12469	18182
3x50 AL + 50 ST	0.823	0.150	8571	7388	6517	5855	5583	5345	5138	4962	4827	4860
3x150 AL + 50 ST	0.266	0.125	18102	16580	15408	14521	14175	13899	13701	13611	13711	15038
3x240 +25 AL XLPE	0.162	0.115	23502	22149	21142	20458	20246	20141	20173	20416	21074	24691
3x240 AL NAEKBA	0.160	0.108	25160	23735	22676	21963	21747	21645	21693	21969	22699	26667

6.2.2 Τυποποιημένα Όρια Πτώσης Τάσης

Σε ένα τυχαίο σημείο του δικτύου MT διακρίνονται οι εξής τάσεις:

- 1) **Η ονομαστική τάση U_n του δικτύου** ($20 - 15 - 6.6$ kV).
- 2) **Η μέγιστη τάση U_{max} και η ελάχιστη U_{min} .**
- 3) **Η μέση τιμή της τάσης $U_m = 0.5(U_{max} + U_{min})$.**
- 4) **Η διακύμανση ΔU της τάσης.** Αυτή υπολογίζεται ως η διαφορά μεταξύ της μέγιστης και ελάχιστης τάσης στο συγκεκριμένο σημείο και εκφράζεται ως ποσοστό της ονομαστικής. Ισχύει ο τύπος:

$$\Delta U = \frac{U_{max} - U_{min}}{U_n} \% \quad (6.10)$$

Από το 2004 και έπειτα, οι απαιτήσεις της E.E. επιβάλουν ως επιτρεπόμενα όρια διακύμανσης ένα $\pm 10\%$ της ονομαστικής τάσης U_n . Αυτό σημαίνει:

- i. Για την τάση των 20 kV τα επιτρεπόμενα όρια είναι από 18 έως 22 kV.
- ii. Για την τάση των 15 kV τα επιτρεπόμενα όρια είναι από 13.5 έως 16.5 kV.
- iii. Για την τάση των 6.6 kV τα επιτρεπόμενα όρια είναι από 5.94 έως 7.26 kV.

Τέλος, για την τήρηση των παραπάνω ορίων εφαρμόζονται τα εξής μέτρα:

- Ρύθμιση τάσης στους ζυγούς των ΥΣ MT/XT.
- Εγκατάσταση ρυθμιστών τάσης.
- Εγκατάσταση πυκνωτών σε επιλεγμένα σημεία του δικτύου MT.

6.3 Ηλεκτρικές Απώλειες Δικτύων

Η ροή του ηλεκτρικού ρεύματος δια μέσω ενός αγωγού έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη θερμότητας σε αυτόν που χάνεται στο περιβάλλον. Αυτή η απαγωγή της θερμότητας στο περιβάλλον ισοδυναμεί με απώλειες ισχύος και ενέργειας και ονομάζονται **ηλεκτρικές απώλειες ή απώλειες Joule**.

Η ύπαρξη του φαινομένου αυτού στις ηλεκτρικές γραμμές είναι προφανώς ανεπιθύμητη, αν και η πλήρης εξάλειψη του καθίσταται αδύνατη με βάση τους φυσικούς νόμους. Ωστόσο οι επιχειρήσεις ηλεκτρισμού, στην προκειμένη περίπτωση και ο ΔΕΔΔΗΕ, έχουν ως βασικό στόχο τον περιορισμό των ηλεκτρικών απωλειών στο ελάχιστο δυνατόν και κατά συνέπεια την εξοικονόμηση ισχύος και ενέργειας, η οποία ισοδυναμεί με μικρότερες δαπάνες ενεργειακών πόρων, καυσίμου και ανθρωποωρών.

6.3.1 Απώλειες Ισχύος

Σύμφωνα με το νόμο Joule οι απώλειες ισχύος ενός αγωγού υπολογίζονται σύμφωνα με τον τύπο:

$$P = 3 \cdot R \cdot I^2 \text{ (W)} \quad \text{ή} \quad P = 0.003 \cdot R \cdot I^2 \text{ (kW)} \quad (6.11)$$

Όπου,

R είναι η αντίσταση του αγωγού (Ω).

I είναι το ρεύμα που διαρρέει τον αγωγό (A).

Έστω τώρα ένα τμήμα μιας γραμμής τριφασικού δικτύου με μήκος L (km) και ωμική αντίσταση ανά χιλιόμετρο R (Ω/km), από το οποίο διέρχεται μέγιστο ετήσιο φορτίο I_{max} (A). Στην περίπτωση αυτή οι απώλειες ισχύος του τμήματος αυτού σε kW υπολογίζονται σύμφωνα με τον εξής τύπο:

$$P = 0.003 \cdot L \cdot R \cdot I_{max}^2 \quad (6.12)$$

Με την υπόθεση πως το φορτίο είναι ισοκατανεμημένο σε όλο το μήκος L, τότε οι απώλειες μειώνονται στο 1/3 και προκύπτουν:

$$P = 0.001 \cdot L \cdot R \cdot I_{max}^2 \quad (6.13)$$

Αν το μέγιστο φορτίο της γραμμής συμπίπτει με το μέγιστο του συστήματος, τότε αυτή η απώλεια επιβαρύνει εξολοκλήρου το σύστημα. Όταν όμως τα μέγιστα αυτά είναι ετεροχρονισμένα, για να βρεθεί η επιβάρυνση του συστήματος θα πρέπει να είναι γνωστός ο **συντελεστής ετεροχρονισμού ισχύος μ** της γραμμής ως προς το σύστημα. Αν δηλαδή κατά την ώρα της αιχμής του συστήματος η γραμμή έχει φορτίο I_a , ενώ το ετήσιο μέγιστο της είναι I_{max} , τότε:

$$\mu = \frac{I_a}{I_{max}} \quad (6.14)$$

και ο **συντελεστής απωλειών ισχύος m** :

$$m = \mu^2 \quad (6.15)$$

Οι συντελεστές μ και m δεν είναι πάντα σταθεροί, αλλά διαφοροποιούνται σημαντικά μεταξύ των γραμμών. Στην περίπτωση που το μέγιστο των γραμμών συμπίπτει χρονικά με το μέγιστο του συστήματος είναι δυνατόν $m = 1$. Ο συντελεστής m θα χρησιμοποιηθεί και στην ενότητα 6.3.3 που αφορά στην κοστολόγηση των απωλειών ισχύος.

6.3.2 Απώλειες Ενέργειας

Για τον προσδιορισμό των ετήσιων απωλειών ενέργειας σε μία γραμμή, πρέπει να είναι γνωστός ο συντελεστής φορτίου F και ο συντελεστής απωλειών ενέργειας F_A .

❖ **Συντελεστής φορτίου F**

Προκύπτει ως ο λόγος του μέσου ετήσιου φορτίου προς το ετήσιο μέγιστο. Αν δηλαδή από μία γραμμή διοχετεύεται κατά τη διάρκεια ενός έτους ενέργεια E (kWh) και η μέγιστη ετήσια ισχύς της είναι P_{max} , τότε ο ετήσιος συντελεστής φορτίου υπολογίζεται:

$$F = \frac{E}{8760 \cdot P_{max}} \quad (6.16)$$

Όπου,

8760 είναι οι ετήσιες ώρες.

❖ **Συντελεστής απωλειών ενέργειας F_A**

Για τη σύνδεση του συντελεστή F με το συντελεστή F_A χρησιμοποιείται ο τύπος:

$$F_A = 0.3 \cdot F + 0.7F^2 \quad (6.17)$$

❖ **Υπολογισμός απωλειών ενέργειας**

Τελικά σε μία γραμμή μήκους L (km) με ωμική αντίσταση ανά χιλιόμετρο R (Ω/km) και με ετήσιο μέγιστο φορτίο I_{max} , οι ετήσιες απώλειες ενέργειας AP υπολογίζονται σύμφωνα με τον τύπο:

$$AP = 0.03 \cdot 8760 \cdot F_A \cdot L \cdot R \cdot I_{max}^2 \quad (6.18)$$

ενώ όταν το φορτίο είναι ισοκατανεμημένο στο μήκος L οι απώλειες περιορίζονται στο 1/3:

$$AP = 0.01 \cdot 8760 \cdot F_A \cdot L \cdot R \cdot I_{max}^2 \quad (6.19)$$

Όπως προκύπτει από τους παραπάνω τύπους, η μείωση των απωλειών μπορεί να γίνει είτε με μείωση του ρεύματος που διέρχεται από τη γραμμή είτε με μείωση της ωμικής αντίστασης της γραμμής.

6.3.3 Κοστολόγηση Απωλειών

Ο υπολογισμός τους κόστους των απωλειών ισχύος και ενέργειας μιας γραμμής ή εγκατάστασης γίνεται σύμφωνα με το κόστος ισχύος και ενέργειας της επιχείρησης για το εκάστοτε έτος αναφοράς. Το κόστος αυτό, που λαμβάνεται σαν το μακροχρόνιο οριακό κόστος, καθορίζεται από το κόστος στην έξοδο της προηγούμενης βαθμίδας. Επομένως για τη ΜΤ το κόστος αναφέρεται στην έξοδο των ζυγών ΜΤ των ΥΣ YT/ΜΤ.

Το **συνολικό ετήσιο κόστος απωλειών K** (€/έτος) μιας γραμμής είναι:

$$K = 0.03 \cdot (m \cdot \alpha + 8760 \cdot \beta \cdot F_A) \cdot R \cdot L \cdot I_{max}^2 \quad (6.20)$$

Όπου,

R είναι η ωμική αντίσταση της γραμμής ανά χιλιόμετρο (Ω/km).

L είναι το μήκος της γραμμής (km).

I_{max} είναι το ετήσιο μέγιστο φορτίο της γραμμής (A).

F είναι ο ετήσιος συντελεστής φορτίου.

F_A είναι ο συντελεστής απωλειών ενέργειας.

m είναι ο συντελεστής ετεροχρονισμού απωλειών ισχύος.

α είναι το κόστος ισχύος στην αιχμή του συστήματος $\left(\frac{\epsilon}{\text{έτος} \cdot kW} \right)$.

β είναι το κόστος ενέργειας του συστήματος (€/kWh).

Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα - Επίλογος

Η απρόσκοπη τροφοδότηση των ηλεκτρικών φορτίων και των καταναλωτών από τα δίκτυα διανομής ΜΤ, προϋποθέτει την εξασφάλιση της μηχανικής αντοχής και ηλεκτρικής επάρκειας όλων των στοιχείων των δικτύων υπό οποιεσδήποτε συνθήκες.

Η σωστή επιλογή της όδευσης της γραμμής, της μηχανικής επιφόρτισης, της τήρησης των ορίων ασφαλείας, της κλάσης κατασκευής, του είδους του δικτύου, της διατομής των αγωγών, της προστασίας αποτελούν τα βασικά κριτήρια της ορθότητας μίας μελέτης και κατασκευής δικτύου σε μακροχρόνια βάση. Η εμφάνιση ελλείψεων και αστοχιών ακόμη και στα πρώτα χρόνια λειτουργίας μιας γραμμής, σημαίνει εσφαλμένο αρχικό σχεδιασμό από τους μελετητές και έχει ως αποτέλεσμα την προσφορά κακών υπηρεσιών και αύξηση του κόστους λόγω ενισχύσεων και επιδιορθώσεων στο δίκτυο. Από την άλλη, αν επιλεγούν στοιχεία που προσφέρουν μηχανικές και ηλεκτρικές δυνατότητες πολύ ανώτερες των αντίστοιχων απαιτήσεων, τότε η μελέτη κρίνεται και πάλι αναποτελεσματική καθώς καλύπτει μεν τις απαιτήσεις, αγνοεί ωστόσο το αυξημένο κόστος λόγω της υπερβολικής διαστασιολόγησης των στοιχείων. Τελικά, **στόχος** μιας μελέτης δικτύου, είτε είναι διανομής ηλεκτρικής ενέργειας είτε μεταφοράς, είναι η τεχνικά βέλτιστη και διαχρονική λύση με το μικρότερο δυνατό κόστος και τη μικρότερη αισθητική επιβάρυνση.

Στην παρούσα εργασία έγινε μία προσπάθεια συγκέντρωσης και παρουσίασης όλων των παραμέτρων και στοιχείων που συνθέτουν ένα Δίκτυο Διανομής Μέσης Τάσης. Μπορεί λοιπόν να αποτελέσει ένα σημαντικό βοήθημα, τόσο για άτομα που έρχονται πρώτη φορά σε επαφή με το συγκεκριμένο αντικείμενο, όσο και για άτομα που ήδη μελετούν και απασχολούνται σε αυτό το πεδίο. Ωστόσο, σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να θεωρηθεί πως η παρούσα εργασία μπορεί να αποτελέσει βάση για την σχεδίαση, κατασκευή και εγκατάσταση ηλεκτρικών δικτύων διανομής. Όλες αυτές οι διαδικασίες πρέπει να καλύπτουν συγκεκριμένες αυστηρές προδιαγραφές, όπως αυτές ορίζονται από τα νομοθετικά πλαίσια και τους κανονισμούς, πρέπει να τελούνται υπό την αυστηρή επίβλεψη και επιτήρηση των αρμόδιων μηχανικών και μελετητών και αποτελούν ξεκάθαρη αρμοδιότητα του ΔΕΔΔΗΕ.

Βιβλιογραφία

[1] Britannica. “Electricity” [Online]. Available:
<https://www.britannica.com/science/electricity/Conductors-insulators-and-semiconductors>

[2] Britannica. “Electric Power” [Online].
Available: <https://www.britannica.com/technology/electric-power>

[3] U.S. Energy Information Administration (EIA). “Sources of Energy” [Online].
Available: <https://www.eia.gov/energyexplained/what-is-energy/sources-of-energy.php>

[4] Απόστολος Λ. Πολυζάκης. “ Ατμοπαραγωγοί – Ατμοστρόβιλοι και Σταθμοί Παραγωγής Ηλεκτρικής Ισχύος”. 2022

[5] Δ. Λαμπρίδης, Π. Ντοκόπουλος, Γ. Παπαγιάννης, “Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας: Τόμος Α΄ ”. Εκδόσεις Ζήτη, 2007

[6] U.S. Energy Information Administration (EIA). “Internal Combustion Plant” [Online].
Available: <https://www.eia.gov/tools/glossary/index.php?id=Internal%20combustion%20plant>

[7] IEA (2024), Renewables 2023, IEA, Paris [Online]
Available: <https://www.iea.org/reports/renewables-2023>

[8] Britannica. “Wind Power” [Online].
Available: <https://www.britannica.com/science/wind-power>

[9] U.S. Energy Information Administration (EIA). “Hydropower” [Online].
Available: <https://www.eia.gov/energyexplained/hydropower/>

[10] Britannica. “Biofuel” [Online].
Available: <https://www.britannica.com/technology/biofuel>

[11] Britannica. “Geothermal Energy” [Online].
Available: <https://www.britannica.com/science/geothermal-energy>

[12] Britannica. “Tidal Power” [Online].
Available: <https://www.britannica.com/science/tidal-power>

[13] Britannica. “Wave Power” [Online].
Available: <https://www.britannica.com/science/wave-power>

- [14] IEA. “Greece – Energy mix” [Online].
Available: <https://www.iea.org/countries/greece/energy-mix>
- [15] ΔΕΔΔΗΕ. “Περιφέρειες ΔΕΔΔΗΕ” [Online].
- [16] ΔΕΔΔΗΕ. “Βασικά μεγέθη του δικτύου διανομής ηλεκτρισμού” [Online].
Available: <https://deddie.gr/el/deddie/to-diktuo-ilektrismou/vasika-megethi-tou-diktouou-ilektrismou/>
- [17] Παντελής Μαλατέστας, “Διανομή Ηλεκτρικής Ενέργειας”, Εκδόσεις Τζιόλα
- [18] ΔΕΔΔΗΕ. “Σχέδιο ανάπτυξης δικτύου 2021-2025” [Online].
- [19] Βαγγέλογλου Αθανάσιος, Κύργιας Χρήστος, “Διπλωματική Εργασία: Κατασκευή εργαστηριακού μοντέλου δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας”, 2012
- [20] Πέτρος Ντοκόπουλος, “Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Καταναλωτών”, Εκδόσεις Ζήτη 2005
- [21] Britannica. “Transformer” [Online].
Available: <https://www.britannica.com/technology/transformer-electronics>
- [22] Stephen J. Chapman. “Ηλεκτρικές Μηχανές AC-DC (Επιστημονική Επιμέλεια: Θεόδωρος Π. Θεοδουλίδης)”, Εκδόσεις Τζιόλα
- [23] IEC 60909-0, “Short-circuit currents in three-phase a.c. systems - Part 0: Calculation of currents”, 2001.
- [24] B. De Metz-Noblat, F. Dumas, G. Thomasset “Calculation of short-circuit currents”, Schneider Electric, Cahier Technique no. 158, 2002 [Online].
Available:
https://www.studiecd.dk/cahiers_techniques/Calculation_of_short_circuit_currents.pdf
- [25] Velimir Lackovic – CEDengineering, “Mechanical Design of Overhead Lines” [Online].
Available:
<https://www.cedengineering.com/userfiles/Mechanical%20Design%20of%20Overhead%20Lines-R1.pdf>
- [26] Pranit Khangar, Triveni Bhadre, Megha Junghare, Dr. S. S. Ambekar, “Review and Study Paper of Conductors Used in Transmission, Distribution and High Power Appliances”, Published in: International Journal of Engineering Research in Electrical and Electronic Engineering (IJEREEE), 2018. [Online].

Available:

https://www.technoarete.org/common_abstract/pdf/IJEREEE/v5/i3/Ext_76843.pdf

[27] Κ. Λαμπρόπουλος, “Μελέτη Ηλεκτρικών Δικτύων Διανομής”, Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού – Διεύθυνση Εκπαίδευσης, 2002

[28] Schneider Electric, “Types of Insulators Used in Power Transmission Lines”, [Online].

Available: <https://eshop.se.com/in/blog/post/types-of-insulators-used-in-power-transmission-lines.html>

[29] Απταλίδης Θεόφιλος, “Διπλωματική Εργασία: Διερεύνηση της συσχέτισης μεταξύ των βασικών ηλεκτρικών και γεωμετρικών παραμέτρων μονωτήρων μέσης τάσης”, 2017, [Online].

Available:

https://ikee.lib.auth.gr/record/292173/files/aptalidis_theofilos_iotrbeagpomvi.pdf

[30] Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (Δ.Ε.Η.), “Τυποποιημένες Κατασκευές Διανομής”, 1985.

[31] Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (Δ.Ε.Η.), “Οδηγία GR-49: Εμποτισμένοι Ξύλινοι στύλοι”, [Online].

Available: <https://deddie.gr/media/6191/ppc-gr-49.pdf>