

Μελέτη κατασκευαστικών στοιχείων καλωδίων ΕΡ ΥΤ ΧΛΡΕ και διαμόρφωση δοκιμίου για εργαστηριακές επιδείξεις



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ



## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ:

Μελέτη κατασκευαστικών στοιχείων καλωδίων Ε.Ρ Υ.Τ  
Δικτυωμένου Πολυαιθυλενίου και διαμόρφωση δοκιμίου  
για εργαστηριακές επιδείξεις.

Ιανουάριος 2011

Λουκά Π. Μαρία

Επιβλέπων: Παπάζογλου Μ. Θαλής

Μελέτη κατασκευαστικών στοιχείων καλωδίων ΕΡ ΥΤ ΧΛΡΕ και διαμόρφωση δοκιμίου για εργαστηριακές επιδείξεις

Στην οικογένεια μου

## Περίληψη

Σκοπός αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη, καταγραφή και παρουσίαση των κατασκευαστικών στοιχείων καλωδίων Εναλλασσομένου Ρεύματος Υψηλής Τάσης τύπου Δικτυωμένου Πολυαιθυλενίου (XLPE), καθώς και η διαμόρφωση ενός δοκιμίου για εργαστηριακές επιδείξεις.

Η εργασία αυτή χωρίζεται σε επτά (7) κεφάλαια και περιλαμβάνει και ένα (1) Παράρτημα. Στο πρώτο γίνεται μια εισαγωγή σε ιστορικά στοιχεία που αφορούν τον ηλεκτρισμό, την αρχική εμφάνιση και την εξέλιξη του καλωδίου.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται ανάλυση του κλάδου των καλωδίων για την ελληνική και την διεθνή αγορά.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναφερόμαστε στην εξασφάλιση ποιότητας καλωδίων, την πιστοποίηση καθώς και στα διάφορα πρότυπα και κανονισμούς που αφορούν τα καλώδια. Στην συνέχεια ακολουθεί αναφορά στους φορείς τυποποίησης καθώς και στο HAR σημάδι.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναφερόμαστε στην βασική διηλεκτρική θεωρία που αφορά το καλώδιο για την ευκολότερη κατανόηση των κατασκευαστικών στοιχείων.

Στο πέμπτο κεφάλαιο αναλύονται λεπτομερώς τα στοιχεία κατασκευής και ο σχεδιασμός των καλωδίων. Συγκεκριμένα ο κύριος αγωγός, οι μονώσεις, οι θωρακίσεις, τα περιβλήματα και οι οπλισμοί.

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται κατασκευαστικά στοιχεία και εγκατάσταση υποβρύχιων καλωδίων.

Στο έβδομο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην διαμόρφωση ενός δοκιμίου καλωδίου E.P τύπου XLPE 150 kV για χρήση για εργαστηριακές επιδείξεις.

Τέλος στο παράρτημα παρουσιάζονται κάποια τεχνικά χαρακτηριστικά και πίνακες που αφορούν τα καλώδια XLPE.

Μελέτη κατασκευαστικών στοιχείων καλωδίων ΕΡ ΥΤ ΧΛΡΕ και διαμόρφωση δοκιμίου για εργαστηριακές επιδείξεις

Τελειώνοντας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα της προσπάθειας μου κ. Παπάζογλου Μ. Θαλή, επίκουρο καθηγητή του τμήματος Ηλεκτρολογίας του ΤΕΙ Κρήτης για τις συμβουλές και την καθοδήγηση του κατά την εκπόνηση αυτής την πτυχιακής εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ-Μηχ Κ.Γ.Σιδεράκη για την πολύτιμη βοήθεια του και τον χρόνο που μου αφιέρωσε καθώς και την εταιρία την εταιρία Cablel για τις πληροφορίες που μου παρείχε.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

#### ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

1.1 Από τις αρχές μέχρι το 1600 μ.Χ.....	10
1.2 Περίοδος 1600-1800.....	11
1.3 Τα ανεπαίσθητα ή αβαρές ρεύματα.....	14
1.4 Θεωρία του ενός ρευστού.....	15

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

#### ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΚΛΑΔΟΥ

2.1 Ελληνική αγορά.....	18
2.2 Διεθνείς Αγορά.....	22

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

#### ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

3.1 Πιστοποίηση.....	24
3.1.1 ISO 9000 series-ISO 9001 και 9002.....	26
3.1.2 ISO 14001.....	26
3.2 Πρότυπα και κανονισμοί.....	27
3.2.1 Φορείς τυποποίησης.....	28
3.2.1.1 IEC.....	29
3.2.1.2 CENELEC.....	30
3.2.1.3 ΕΛΟΤ.....	31
3.2.2 Πρότυπα ανάλογα τον φορέα τυποποίησης.....	31
3.2.3 HAR σημάδι.....	33

Μελέτη κατασκευαστικών στοιχείων καλωδίων EP ΥΤ XLPE και διαμόρφωση δοκιμίου για εργαστηριακές επιδείξεις

3.2.4 Χρονική εξέλιξη της ηλεκτροτεχνικής τυποποίησης.....	34
3.2.5 Σκοπός της CENELEC.....	34
3.2.6 Συμμετοχή του ΕΛΟΤ σε διεθνείς οργανισμούς.....	36

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>**

### **ΒΑΣΙΚΗ ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ**

4.1 Αγωγοί μονωμένοι από αέρα.....	38
4.2 Επικάλυψη αγωγού με Μονωτικό υλικό αντί αέρα .....	40
4.3 Καθώς η τάση αυξάνει.....	42
4.4 Η ασπίδα της μόνωσης.....	44
4.5 Χρησιμότητα της ασπίδας του αγωγού.....	45
4.6 Απαιτήσεις ενός θωρακισμένου στρώματος (shielding layer).....	48
4.7 Απαιτήσεις της μόνωσης και της θωράκισης της μόνωσης.....	48
4.8 Θερμομονωτικό περίβλημα ή περίβλημα (Jackets).....	48

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>**

### **ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ**

#### **5.A ΚΥΡΙΟΣ ΑΓΩΓΟΣ**

5.1 Μελέτη των υλικών.....	50
5.2 Ιδιότητες πολύ σημαντικές για τους σχεδιαστές καλωδίων.....	51
5.2.1 DC αντίσταση.....	51
5.2.2 Βάρος .....	51
5.2.3 Μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση ρεύματος (ampacity).....	52
5.2.4 Κανονισμός για την τάση.....	52
5.2.5 Βραχυκυκλώματα.....	52

..5.2.6 Άλλοι σημαντικοί παράγοντες για τους αγωγούς.....	52
5.3 Μεγέθη αγωγών σύμφωνα με τα διάφορα συστήματα μέτρησης.....	53
5.3.1 AWG (AMERICAN WIRE GAUGE) Αμερικάνικο σύστημα μέτρησης .	53
5.3.1.1 Συντομεύσεις για εκτιμήσεις.....	54
5.3.2 Μεγέθη σε κυκλικά χιλιοστά της ίντσας (Circular mil).....	55
5.3.3 Μετρικός προσδιορισμός μεγεθών κ Διεθνές Σύστημα SI.....	56
5.3.4 Γιαπωνέζικα μεγέθη.....	59
5.4 Πέπλεξη (Stranding).....	60
5.4.1 Ομοαξονική πέπλεξη (concentric or <<true concentric>>).....	63
5.4.2 Συμπιεσμένη πέπλεξη (compressed stranding).....	65
5.4.3 Συμπαγής πέπλεξη (compact stranding).....	66
5.4.4 Δέσμη- Ομάδα πέπλεξης (bunch stranding).....	67
5.4.5 Σχοινοειδής πέπλεξη ( rope stranding).....	69
5.5 Είδη αγωγών.....	69
5.5.1 Τομεακοί αγωγοί (sector conductors).....	71
5.5.2 Τμηματικοί αγωγοί ( segmental conductors).....	73
5.5.3 Δακτυλιοειδής αγωγοί (annular conductors).....	73
5.5.4 Μονοστρωματικοί αγωγοί (unilay conductors).....	73
5.6 Επενδύσεις αγωγών (coatings).....	74
5.B Μονωτικά υλικά καλωδίων-Μονώσεις.....	76
5.1 Γενικά.....	78
5.2 Θεμελιώδης ιδιότητες των εξωθούμενων πολυμερών.....	79
5.2.1 Πολυαιθυλένιο (PE) .....	84

Μελέτη κατασκευαστικών στοιχείων καλωδίων EP YT XLPE και διαμόρφωση δοκιμίου για εργαστηριακές επιδείξεις

5.2.1.1 Κρυσταλλικότητα (crystallinity).....	84
5.2.1.2 Διακλαδώσεις των αλυσίδων.....	86
5.3 Δικτυωμένο πολυαιθυλένιο.....	88
5.3.1 Τρόποι εύρεσης αν έχουμε δικτυωμένο ή συμβατικό PE.....	90
5.3.2 Πλεονεκτήματα πολυαιθυλενίου και δικτυωμένου πολυαιθυλενίου...	91
5.C Θωρακίσεις – Περιβλήματα – Οπλισμοί.....	92
5.1 Θωρακίσεις.....	93
5.2 Περιβλήματα.....	93
5.2.1 Θερμοπλαστικά περιβλήματα (thermoplastic jackets).....	93
5.2.1.1 Πολυαιθυλένιο.....	95
5.2.1.2 Χλωριωμένο πολυαιθυλένιο.....	95
5.2.1.3 Θερμοπλαστικό ελαστομερές (TPE-thermoplastic Elastomer).....	96
5.2.1.4 Νάιλον.....	97
5.2.1.5 PVC.....	98
5.2.2 Θερμοσκληρυνόμενα περιβλήματα (Thermosetting Jackets).....	98
5.2.2.1 Δικτυωμένο πολυαιθυλένιο (XLPE).....	98
5.2.2.2 Νεοπρένιο (neoprene).....	99
5.2.2.3 Χλωροσουλφωμένο πολυαιθυλένιο (CSPE).....	99
5.2.2.4 Νιτρικό καουτσούκ.....	99
5.2.2.5 Πολυβινυλοχλωρίδιο.....	99
5.2.2.6 Αιθυλενοπροπενιακό καουτσούκ (EPR).....	99
5.3 Οπλισμός (Armor).....	99
5.3.1 Συμπλέκουν οπλισμός (interlocked armor).....	100



Μελέτη κατασκευαστικών στοιχείων καλωδίων ΕΡ ΥΤ ΧΛΡΕ και διαμόρφωση δοκιμίου για εργαστηριακές επιδείξεις

5.3.2 Κυκλικού καλωδίου οπλισμός (Round-Wire armor).....101

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>**

### **ΥΠΟΒΡΥΧΙΑ ΚΑΛΩΔΙΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

6.1

Γενικά.....102

6.2 Σχέδια για AC υποβρύχια καλώδια.....103

6.3 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά για τον σχεδιασμό υποβρυχίων καλωδίων...104

6.3.1 Αγωγοί.....104

6.3.2 Πάχος μόνωσης.....105

6.3.3 Βαθμονόμηση ρεύματος.....105

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup>**

### **ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΚΑΛΩΔΙΟΥ Ε.Ρ ΤΥΠΟΥ ΧΛΡΕ 150 kV.**

7.1 Διαμόρφωση ενός δοκιμίου καλωδίου Ε.Ρ Υ.Τ ΧΛΡΕ 150 kV για εργαστηριακές επιδείξεις.....107

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....108

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....109

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

### ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Έχουν κυλήσει 2500 περίπου χρόνια από τότε που ο Θαλής ο Μιλήσιος, ένας από τους επτά σοφούς της αρχαιότητας, χάρισε στην ανθρωπότητα την γνώση των θαυμαστών ιδιοτήτων του ήλεκτρου. Το νήμα της έρευνας όμως κόπηκε απότομα και ανεξήγητα, αμέσως μετά την κοσμογονική ανακάλυψη αυτού του φωτεινού Ελληνικού πνεύματος.

Έτσι χρειάσθηκαν 22 ολόκληροι αιώνες για να ξαναβρεί η επιστήμη τον μίτο του Θαλή που οδήγησε στην αξιοποίηση αυτής της τρομακτικής ανακάλυψης. Από τότε η ηλεκτρική ενέργεια απετέλεσε την κινητήρια δύναμη του τεχνολογικού αλλά και του πνευματικού πολιτισμού που οδήγησαν τον άνθρωπο μέχρι τις πύλες του σύμπαντος και μεταμόρφωσε ριζικά την ίδια την δομή της ζωής πάνω στον πλανήτη μας.

Κι όμως, η ηλεκτρική ενέργεια θα ήταν άχρηστη χωρίς τον «αγωγό» με τον οποίο διοχετεύεται από τις πηγές της στα σημεία της εκμεταλλεύσεώς της, χωρίς το **καλώδιο**. Και είναι διπλά σημαντικός και θεμελιώδης ο ρόλος του καλωδίου, μέσα από τον οποίο τρέχουν η ενέργεια ή τα μηνύματα, για να κινήσουν και να φωτίσουν κυριολεκτικά και μεταφορικά τις μηχανές και το ανθρώπινο πνεύμα στα πέρατα του κόσμου.

Έτσι αν μπορούσε κανείς να ακτινογραφήσει σήμερα τον πλανήτη μας θα έβλεπε πως είναι ολόκληρος ζωσμένος από ένα πυκνό δίκτυο ηλεκτρικών και τηλεπικοινωνιακών καλωδίων. Είναι ένα ζωφόρο πλέγμα αρτηριών, μέσα από τις οποίες κυλά το ίδιο το αίμα του τεχνολογικού και πνευματικού πολιτισμού του σημερινού ανθρώπου.

#### 1.1 Από τις αρχές μέχρι το 1600 μ.Χ.

Πρώτες αναφορές σε θέματα σχετικά με τον ηλεκτρισμό ανάγονται στο έτος 1170 π.Χ., όταν με εντολή του Αιγύπτιου **Φαραώ Ραμσή III**, τοποθετήθηκαν γύρω από ναούς ξύλινες ράβδοι με χρυσές αιχμές στην κορυφή τους για να αποτραπεί η οργή των θεών που “βομβάρδιζαν” τους ναούς με κεραυνούς. Το 577 π.Χ. περιγράφει ο **Θαλής ο Μιλήσιος** (625π.Χ-547π.Χ) την ελκτική και απωστική ικανότητα του ήλεκτρου, αν τριφτεί αυτό σε κάποιο ύφασμα και τη θεωρεί ανεξήγητη, τεχνητά παραγόμενη ανωμαλία του υλικού που δεν είχε κάποια σημασία για την εξήγηση της φύσης.



Τον 3<sup>ο</sup> αιώνα π.Χ. υπάρχει στην Αίγυπτο πρόοδος και οι αντικεραυνικές χρυσές αιχμές τοποθετούνται στην κορυφή χάλκινων ράβδων. Το έτος 230 μ.Χ. περιγράφει ο **Ρωμαίος Claudius Aelianus** το μούδιασμα που προκαλείται στο δέρμα (ηλεκτρικές εκκενώσεις) από σελάχια, χωρίς να μπορεί να εξηγήσει το ακριβές αίτιο. Φυσικά, κανείς δεν ήταν δυνατόν να σκεφτεί εκείνη την εποχή ότι όλα αυτά τα φαινόμενα είχαν σχέση μεταξύ τους και οφείλονταν σε δράσεις του ηλεκτρισμού.

Είναι άγνωστο από πότε γνώριζαν οι Κινέζοι τις μαγνητικές ιδιότητες κάποιων υλικών, πάντως περί το 1000 μ.Χ. έφτασε στην Ευρώπη από την Κίνα και διαδόθηκε η πυξίδα, η οποία άρχισε να χρησιμοποιείται στη ναυσιπλοΐα για προσανατολισμό. Το έτος 1269 ο **Pierre de Maricourt (Petrus Peregrinus)** κατασκευάζει ένα σφαιρικό μαγνήτη και σχεδιάζει στην επιφάνειά του τις γραμμές που “προκαλούν” οι μηχανικές δυνάμεις. Καταλήγει στο συμπέρασμα ότι υπάρχουν δύο πόλοι, επειδή οι γραμμές ενώνονται σε δύο αντίθετα σημεία της σφαίρας. Το 1550 διαπιστώνει ο **Gerolamo Cardano** ότι η “μαγνητική δύναμη” διαπερνάει το ξύλο, αλλά για το ήλεκτρο διαπίστωσε ότι δεν ασκεί δυνάμεις μέσω του ξύλου.

## 1 1.2 Περίοδος 1600-1800 μ.Χ

Όλες οι προηγούμενες διερευνήσεις και κατασκευές, ίσως και μερικές ακόμα που δεν έχουν καταγραφεί στην ιστορία, ήταν αποτέλεσμα τυχαίων παρατηρήσεων, χωρίς συνέχεια, όπως συνέβαινε και γενικότερα στην επιστήμη εκείνους τους αιώνες. Η σύγχρονη ιστορία του ηλεκτρομαγνητισμού αρχίζει ακριβώς το έτος 1600 μ.Χ με το βιβλίο του **William Gilbert** (1544-1603) που κυκλοφόρησε με τίτλο “De Magnete” (Περί του μαγνήτη) και

Μελέτη κατασκευαστικών στοιχείων καλωδίων EP ΥΤ XLPE και διαμόρφωση δοκιμίου για εργαστηριακές επιδείξεις

αφορούσε το μαγνητικό πεδίο της γης. Ο ηλεκτρισμός αναφέρεται σε αυτό το βιβλίο μόνο για να διαφοροποιηθεί από τον μαγνητισμό.

Ο Gilbert ανακάλυψε και άλλα υλικά, εκτός από το ήλεκτρο, που αποκτούσαν ελκτικές ή απωστικές ιδιότητες με την τριβή και τα ονόμασε ηλεκτρικά υλικά, την δε δύναμη την ονόμασε ηλεκτρική. Όσα υλικά δεν αποκτούσαν τέτοιες ιδιότητες π.χ. τα μέταλλα, ονομάστηκαν αντιηλεκτρικά υλικά. Σήμερα ονομάζουμε τα υλικά αυτά που δεν ηλεκτρίζονται, αγωγούς και τα άλλα μονωτικά υλικά.



Στο “μαγνητικό” μέρος του βιβλίου του διερεύνησε ο Gilbert με κριτικό πνεύμα και παλιές μελέτες και δοξασίες για τον μαγνήτη και τις πυξίδες. Έτσι, έκανε μεταξύ άλλων πειράματα για να επιβεβαιώσει ή απορρίψει την άποψη ότι ο μαγνητισμός εξαφανίζεται, αν ο μαγνήτης τριφτεί με σκόρδο, μία θέση που πήγαινε πίσω στον Πλούταρχο και στον Κλαύδιο Πτολεμαίο. Ο Gilbert σχολίασε τη θέση αυτή με την διατύπωση ότι “από την φιλοσοφία προκύπτουν συχνά πολλά άχρηστα συμπεράσματα και μυθεύματα”.

.Επίσης πειραματίστηκε με διαμάντια, τα οποία, σύμφωνα με μια απόκρυφη γνώση αλχημιστών εκείνης της εποχής, ήταν οι δημιουργοί του μαγνητισμού. Τα πειράματα έδειξαν ότι ένα διαμάντι δεν είχε καμιά επιρροή σε κομμάτι σιδήρου που ήταν δίπλα ή πάνω του, τρίβονταν με αυτό κλπ.



**H TERRELLA TOY  
WILLIAM  
GILBERT**

Μελέτη κατασκευαστικών στοιχείων καλωδίων EP YT XLPE και διαμόρφωση δοκιμίου για εργαστηριακές επιδείξεις

Το σημαντικότερο από τα πειράματα που εκτέλεσε ο Gilbert ήταν η “μικρή γη” (terrella), ένας σφαιρικός μαγνήτης ως μοντέλο της γήινης σφαίρας. Με την κίνηση μιας πυξίδας στην επιφάνεια αυτού του μαγνήτη εισήγαγε, ξεκινώντας από τις μηχανικές ιδιότητες του σιδήρου (μαλακός, σκληρός), τους όρους μαλακός και σκληρός μαγνήτης, ορολογία που έχει διατηρηθεί μέχρι σήμερα (μαλακά και σκληρά μαγνητικά υλικά).

Άλλοι ερευνητές που ασχολούνταν με τα ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα ήταν **μοναχοί Ιησουίτες, τα μέλη της Academia del Cimento, ο Καρτέσιος (Rene Descartes 1596-1650 μΧ), ο Robert Boyle (1627-1691μ.Χ) κ.ά.** Ο Καρτέσιος είχε διατυπώσει μια γενικότερη θεωρία περί Αιθερικών Στροβίλων, στους οποίους προσπάθησε να συμπεριλάβει και την ηλεκτροστατική έλξη.

**Ο Boyle** ερεύνησε τα γνωστά στην εποχή του ηλεκτρικά φαινόμενα στο κενό, δεν ήταν όμως δυνατόν να γνωρίζει ότι τα αέρια άγουν σε χαμηλή πίεση κι έτσι τα συμπεράσματα ήταν αντιφατικά.

Σημαντικότερο ηλεκτρικό φαινόμενο της εποχής ήταν η λάμψη μεταξύ φορτισμένων πόλων στο κενό, η οποία ονομάζονταν βαρομετρικό φως. Το όνομα αυτό προήλθε από το γεγονός ότι αυτή η λάμψη παρουσιάζονταν στο κενό του βαρομετρικού σωλήνα πάνω από τον υδράργυρο. Ο **Francis Hauksbee** (1666-1713 μ.Χ) διαπίστωσε ότι αυτή η λάμψη δεν σχετίζονταν με το βαρόμετρο αλλά με τριβές κάποιων υλικών. Τελικά κατέληξε ότι αρκεί να τρίψει κάποιος μια γυάλα με κενό για να παραχθούν αναλαμπές.

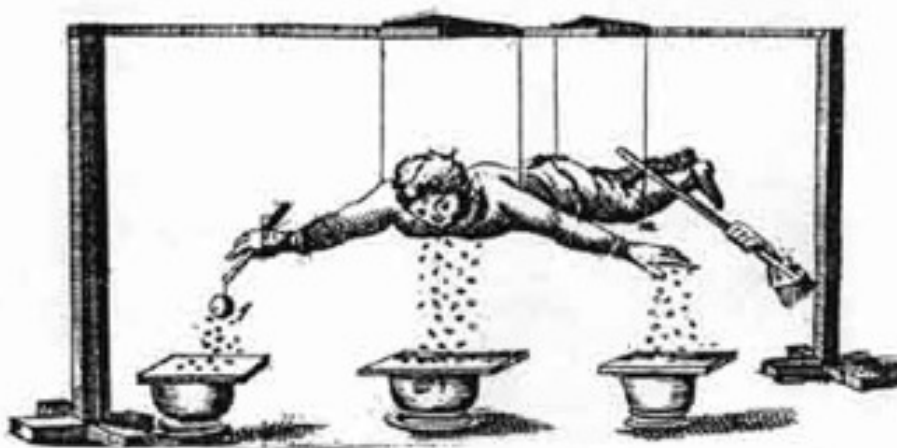
Όμως, εξήγηση για το φαινόμενο της λάμψης δεν μπόρεσε να δώσει κανένας ερευνητής της εποχής. Μια εξήγηση του Hauksbee για ηλεκτρικές αναθυμιάσεις δεν ευδοκίμησε, γιατί κάποιες κλωστές που τοποθέτησε γύρω από την σφαίρα, αντί να δείχνουν προς τα έξω, παρασυρόμενες από τις “αναθυμιάσεις”, έδειχναν προς το κέντρο της σφαίρας. Ο Hauksbee δημιούργησε όμως με αυτές τις διατάξεις μια ηλεκτρική γεννήτρια τριβής, η οποία παρείχε μεν σημαντικές τάσεις, αλλά μικρής ισχύος.

Το 1729 μ.Χ ανακάλυψε ο **Stephen Gray** (1666-1736) ότι ήταν δυνατόν να διαδοθεί ο ηλεκτρισμός σε μεγάλες αποστάσεις με την επαφή. Με τα πειράματά του “μετέφερε” ο Gray τη δράση του ηλεκτρισμού σε απόσταση 886 ποδιών, χρησιμοποιώντας μια ράβδο, μια χορδή κ.ά., προφανώς όλα μεταλλικά, κρεμασμένα με μεταξωτά σκοινιά που κρέμονταν σε κοντάρια. Το άκρο της πειραματικής διάταξης ήταν σε θέση να έλκει μικρά αντικείμενα,

Μελέτη κατασκευαστικών στοιχείων καλωδίων EP YT XLPE και διαμόρφωση δοκιμίου για εργαστηριακές επιδείξεις

όπως η αρχή της. Τότε δόθηκε η εξήγηση ότι η μεταφορά του ηλεκτρισμού είναι δυνατή επειδή υπάρχει ένα ηλεκτρικό ρευστό, χρησιμοποιώντας αναλογίες ρευστών σε σωλήνες.

Το πιο εντυπωσιακό και αξιοθέατο πείραμα που πραγματοποίησε ο Gray ήταν η “μεταφορά” του ηλεκτρισμού στο σώμα ενός αγοριού που είχε κρεμαστεί με σκοινιά από το ταβάνι. Κάθε σημείο του σώματός του είχε την ικανότητα να έλκει μικροαντικείμενα, οπότε έπρεπε, σύμφωνα με τη θεωρία, το ηλεκτρικό ρευστό να έχει πλημμυρίσει το σώμα του.



Ο Gray έκανε πειράματα χωρίς σύστημα, πράγμα που ήρθε να διορθώσει ο **Charles-Francois de Cisternai-Dufay** (1698-1739 μ.Χ). Καταρχήν κατέγραψε ο Dufay ποια υλικά ήταν δυνατόν να ηλεκτριστούν. Τα μεταλλικά υλικά τα ηλέκτρισε με επαγωγή (διαχωρισμός φορτίων), πλησιάζοντας ένα άκρο τους σε ηλεκτρισμένο σώμα. Διαπίστωσε επίσης ότι ένα βρεγμένο σχοινί ήταν καλός αγωγός, ενώ το γυαλί και το μετάξι ήταν μονωτές. Επίσης διαπίστωσε ότι ο ηλεκτρισμός που παράγονταν με την τριβή μιας υαλώδους ουσίας ασκούσε έλξη σε ηλεκτρισμό από τριβή ρητινώδους ουσίας, ενώ απωθούσε τον ηλεκτρισμό άλλων υαλωδών ουσιών. Γι' αυτό έδωσε σε αυτούς τους “διαφορετικούς ηλεκτρισμούς” τις ονομασίες υαλώδης και ρητινώδης.

Ο ίδιος ο **Dufay** ποτέ δεν αναφέρθηκε σε “ηλεκτρικά ρευστά”, διάφοροι ερευνητές ήταν όμως πλέον βέβαιοι ότι υπάρχουν δύο ηλεκτρικά ρευστά. Κάθε ρευστό απωθούσε το όμοιό του και τράβαγε το άλλο ρευστό.

## 1.1 1.3 Τα ανεπαίσθητα ή αβαρές ρευστά

Παράλληλα με τις έρευνες για τον ηλεκτρισμό εξελίσσονταν τα πειράματα για την θερμότητα. Η θεωρία που επικρατούσε τότε ήταν ότι υπήρχαν δύο ανεπαίσθητα ρευστά, ο ηλεκτρισμός και η θερμότητα. Ο όρος “ανεπαίσθητο” ή “αβαρές” αναφέρονταν σε φυσικές ιδιότητες μιας ουσίας που δεν είχε ύλη. Κοινό χαρακτηριστικό των δύο αυτών “ρευστών” ήταν ότι μεταφέρονταν μέσα από ορισμένες κατηγορίες σωμάτων, όπως αποδείκνυαν τα πειράματα που προαναφέραμε για τον ηλεκτρισμό. Αυτή η ιδέα έχει παραμείνει μέχρι σήμερα στην ορολογία, αφού αναφερόμαστε σε ροή θερμότητας ή ηλεκτρισμού. Προσπάθειες να μεταφερθεί η ιδέα των ανεπαίσθητων ρευστών στο φως, την καύση, το μαγνητισμό, την βαρύτητα κτλ. δεν απέδωσε, γιατί δεν ήταν δυνατόν να εξηγηθούν διάφορα φαινόμενα.

Ο **Νεύτωνας (Isaac Newton, 1643-1727)** είχε την ελπίδα να αναγάγει την εξήγηση όλων αυτών των φαινομένων σε μηχανιστικές δράσεις μεταξύ των ατόμων της ύλης, όπως είχε εξηγηθεί η κίνηση των πλανητών κτλ. Εδώ ως άτομο νοείται το ελάχιστο αδιαίρετο τμήμα της ύλης, περίπου όπως το είχε περιγράψει ο Δημόκριτος, χωρίς κάποιες ιδιαίτερες γνώσεις για τις ιδιότητές του. Ενώ όμως η βαρυτική έλξη δεν ήταν δυνατόν να μετρηθεί σε εργαστηριακή κλίμακα, επειδή είναι πολύ ασθενής, η ηλεκτρική έλξη μπορούσε να μετρηθεί, να μεταφερθεί, να απομονωθεί μέσα σε μεταλλικά σώματα, να γίνει ορατή ως σπινθήρας, να ανάψει εύφλεκτα υγρά, να ερεθίσει το δέρμα ανθρώπων και ζώων κ.ά. Έτσι η ελπίδα αυτή του Νεύτωνα δεν ευοδώθηκε.

Με την πάροδο του χρόνου οι πειραματιστές του ηλεκτρισμού βρήκαν θέση στα Πανεπιστήμια της εποχής. Συνηθέστερα πειράματα ήταν αυτά με το “ηλεκτρισμένο παιδί” του Gray, το απότομο τράβηγμα μεταξωτού γαντιού από το χέρι σε σκοτάδι, το οποίο συνοδεύονταν από τσιριχτό ήχο και λάμψη, η μαζική ηλεκτρική ομάδα ανθρώπων που πιάνονταν από τα χέρια και αποδείκνυαν ότι ο ηλεκτρισμός “μεταφέρεται”, ο χαρταετός του Φραγκλίνου κ.ά. Αρχικά έπρεπε οι πειραματιστές να κατασκευάσουν ή να αγοράσουν με δικά τους μέσα τις συσκευές επιδείξεως, αργότερα άρχισαν τα Πανεπιστήμια να εξαγοράζουν αυτές τις συσκευές για να χρησιμοποιηθούν από το διάδοχο του αποχωρούντα πειραματιστή.

## 1.2

## 1.3

## 1.4

## 1.5 1.4 Η θεωρία του ενός ρευστού

Μελέτη κατασκευαστικών στοιχείων καλωδίων EP ΥΤ XLPE και διαμόρφωση δοκιμίου για εργαστηριακές επιδείξεις

Ο **Βενιαμίν Φραγκλίνος (Benjamin Franklin, 1706-1790 μ.Χ)** προσπάθησε να διατυπώσει μία εναλλακτική άποψη που στηρίζονταν στις ιδέες του Νεύτωνα : μία μοναδική ηλεκτρική ατμόσφαιρα προκαλούσε έλξη ή άπωση με μηχανική πίεση, κάτι σαν βαρυτικός αιθέρας. Το 1743 μ.Χ παρακολούθησε ο Φραγκλίνος το πείραμα του Gray με το ηλεκτρισμένο αγόρι που κρεμόταν από μεταξωτά σχοινιά και αργότερα διηγήθηκε ότι του δημιουργήθηκε η εντύπωση πως "ένα είδος φωτιάς διαχέονταν σε ολόκληρο τον χώρο".



Περί το 1745 δημοσιεύτηκαν στο περιοδικό *Gentlemans Magazine* εντυπωσιακές περιγραφές ηλεκτρικών πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν στην Γερμανία. Ίσως από αυτές τις περιγραφές εντυπωσιασμένος, ασχολήθηκε ο Φραγκλίνος προσεκτικότερα με ηλεκτρικά πειράματα και το 1747 ανακοίνωσε την ιδιότητα αιχμηρών αγωγών να "σύρουν προς τα έξω και

να αφαιρούν το ηλεκτρικό πυρ". Επρόκειτο προφανώς για ακίδες, στις οποίες, όπως γνωρίζουμε σήμερα, δημιουργείται ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο κι έτσι προκαλείται σπινθήρας προς ένα γειωμένο σώμα. Από την εικόνα του σπινθήρα σε σκοτεινό δωμάτιο συμπέρανε ο Φραγκλίνος ότι αντίστοιχα πρέπει να συμβαίνει και με τον κεραυνό. Το 1749 άρχισε πειράματα με αστραπές και το 1752 πραγματοποίησε το θρυλικό πείραμά του με τον χαρταετό. Ο αετός αυτός είχε στο πλαίσιό του στερεωμένο ένα σύρμα που συνδέονταν μέσω βρεγμένου σπάγκου με ένα κλειδί, το οποίο κρατούσε ο Φραγκλίνος με μια μεταξωτή κορδέλα.



Μελέτη κατασκευαστικών στοιχείων καλωδίων ΕΡ ΥΤ ΧΛΡΕ και διαμόρφωση δοκιμίου για εργαστηριακές επιδείξεις



Με το εξαιρετικά επικίνδυνο αυτό πείραμα, που μπορούσε να πάθει ηλεκτροπληξία, κατάφερε αυτός ο πολύ σημαντικός ερευνητής, επιχειρηματίας και πολιτικός να “αφαιρέσει το ηλεκτρικό πυρ” από τα σύννεφα διοχετεύοντάς το στο υγρό έδαφος και να θεμελιώσει την ιδέα για το αλεξικέραυνο. **Μια ιδέα που ήταν η αρχή της γέννησης του καλωδίου**, το μέσου που θα μετέφερε αυτή την πρωτόγνωρη δύναμη όπου ήθελε ο άνθρωπος.

Έτσι στην σημερινή εποχή φτάσαμε να δημιουργηθεί ένα ολόκληρος βιομηχανικός κλάδος και βιομηχανία παραγωγής καλωδίων

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

### ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΚΛΑΔΟΥ

#### 2.1 ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΑΓΟΡΑ

Ο κλάδος των καλωδίων στην Ελλάδα αποτελεί ένα από τους πιο δυναμικούς της Ελληνικής Βιομηχανίας ενώ είναι αξιοσημείωτο ότι η μισή σχεδόν εγχώρια παραγωγή καλύπτει τις ανάγκες του εξωτερικού.

Την περίοδο 1988-1995 η παραγωγή καλωδίων παρουσίασε μέσο ετήσιο ρυθμό αύξησης 5,8% και από εβδομήντα έξι χιλιάδες τόνους (76.000) το 1988 έφτασε τους εκατό δέκα τρεις χιλιάδες τόνους (113.000) το 1995. Την ίδια περίοδο η εγχώρια φαινομενική κατανάλωση καλωδίων σε τόνους αυξάνονταν με μέσο ρυθμό 1,9% ετησίως, και το 1995 έφτασε τους εβδομήντα τέσσερις χιλιάδες τόνους (74.000).

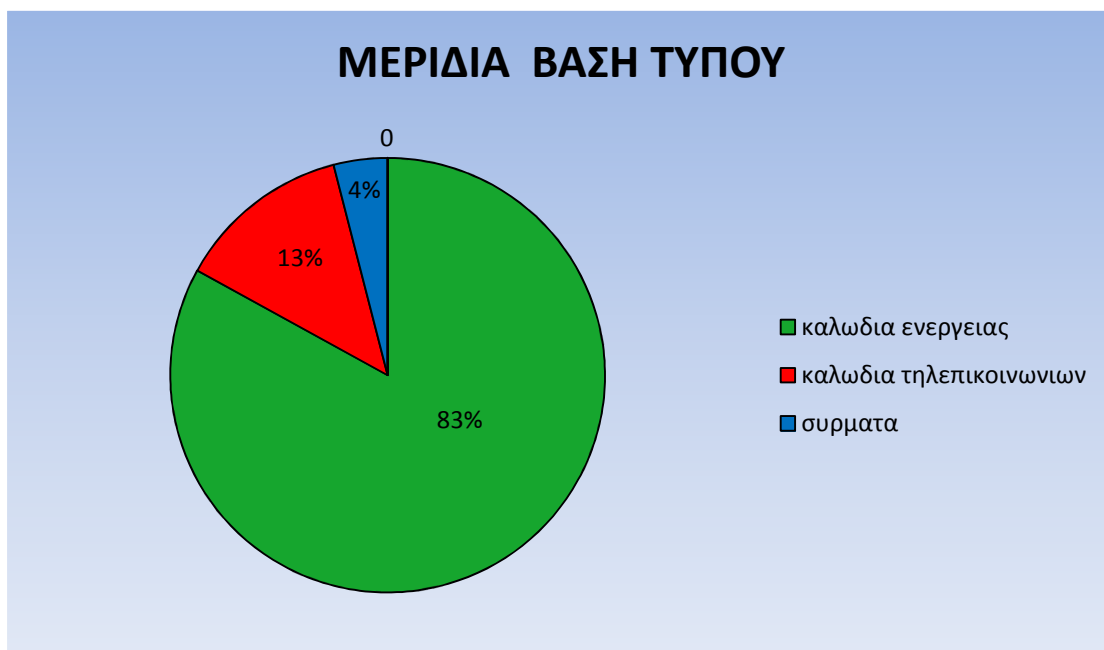
Η αγορά καλωδίων παρουσιάζει ανοδική πορεία τα τελευταία χρόνια (με μέσο ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης 17% (την περίοδο 1996 - 2000). Το ετήσιο τονάζ κυμάνθηκε στους ογδόντα έξι χιλιάδες τόνους (86.000) και άγγιξε τους ενενήντα τρεις χιλιάδες (93.000) το 2004, ενώ μέχρι σήμερα έχει περάσει τους εκατό είκοσι πέντε χιλιάδες τόνους (125.000).

Αναλυτικότερα, τα καλώδια ενέργειας αντιπροσωπεύουν το 83% της αγοράς, τα καλώδια τηλεπικοινωνιών το 13% και τα σύρματα το 4% όπως απεικονίζεται στην εικόνα που ακολουθεί. (ICAP Κλαδική Μελέτη 2001). Στην Ελλάδα υπάρχουν συνολικά δώδεκα τοπικοί παραγωγοί καλωδίων. Παρόλα αυτά η ελληνική αγορά κυριαρχείται κυρίως από τέσσερις μεγάλες επιχειρήσεις που συνολικά κατέχουν το 90% περίπου της πελατείας που παρέχει καλώδια από το εσωτερικό και είναι:

- η ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΚΑΛΩΔΙΑ Α.Ε ή CABLE
- η NEXANS

Μελέτη κατασκευαστικών στοιχείων καλωδίων ΕΡ ΥΤ ΧΛΡΕ και διαμόρφωση δοκιμίου για εργαστηριακές επιδείξεις

- και η FULGECA που προέκυψε από τη συνεργασία της FULGOR με την ΓΕΝΙΚΗ ΚΑΛΩΔΙΩΝ ή GECA.



Εικόνα 1: Μερύδια βάση τύπου



Εικόνα 2: Μερύδια στην ελληνική αγορά καλωδίων βάση των διαφόρων εταιριών

Στις αρχές της δεκαετίας του 1990 και ιδιαίτερα τα έτη 1992 και 1993 παρουσιάστηκε μια πτώση της ζήτησης των καλωδίων, η οποία προκλήθηκε από την επενδυτική υποχώρηση που σημειώθηκε στα έργα ενεργειακών και τηλεπικοινωνιακών υποδομών και την κάμψη της οικοδομικής και γενικότερα της μεταποιητικής δραστηριότητας. Ταυτόχρονα σημειώθηκε πτώση της ζήτησης κατά την ίδια περίοδο και στην ευρωπαϊκή αγορά καλωδίων λόγω της γενικότερης ύφεσης της ευρωπαϊκής οικονομίας.

Η ελληνική βιομηχανία καλωδίων για να αντιμετωπίσει αυτές τις δυσμενείς εξελίξεις επικέντρωσε τις προσπάθειές της προκειμένου να διεισδύσει στις αγορές του εξωτερικού. Έτσι τα χρόνια της ύφεσης πέτυχε αξιοσημείωτη βελτίωση των εξαγωγικών της επιδόσεων, αναδεικνύοντας την υπεροχή των ελληνικών καλωδίων τόσο από πλευράς ποιότητας όσο και κόστους. Το 1995 οι εισαγωγές καλωδίων έφτασαν στο 4% της φαινομενικής κατανάλωσης και περιοριζόταν σε καλώδια ειδικών χρήσεων, τα οποία δεν παράγονταν εγχώρια. Την ίδια χρονιά, το 39% της συνολικής παραγωγής καλωδίων, εξαγόταν κυρίως προς τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, της Μ. Ανατολής και της Ανατολικής Ευρώπης.

Η εξαγωγική προσπάθεια του κλάδου ενισχύθηκε από την πραγματοποίηση σημαντικών επενδύσεων. Μεταξύ 1988 και 1993 πραγματοποιήθηκαν αθροιστικές ακαθάριστες επενδύσεις ύψους 17 δις. δρχ. σε τρέχουσες τιμές. Η επενδυτική δραστηριότητα του κλάδου οδήγησε στην αύξηση του μέσου προϊόντος ανά εργαζόμενο κατά 50% μεταξύ 1988 και 1994, παρά την πτώση του συνολικού αριθμού των απασχολούμενων. Παράλληλα, οι επιχειρήσεις του κλάδου προχώρησαν στη δημιουργία σύγχρονων εργαστηρίων δοκιμών και μετρήσεων καθώς και στην εφαρμογή συστημάτων ποιότητας βασισμένων στις διεθνείς προδιαγραφές ISO.

Από την άλλη, η υποχώρηση της εγχώριας ζήτησης που σημειώθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1990 και οι έντονες διακυμάνσεις των τιμών των κυριότερων πρώτων υλών όπως ο χαλκός και το αλουμίνιο, επηρέασαν αρνητικά τις πωλήσεις και την κερδοφορία των επιχειρήσεων του κλάδου. Έτσι το περιθώριο μικτού κέρδους μειώθηκε από 17% το 1991, σε 13,8% το 1995, ενώ το περιθώριο καθαρού κέρδους μειώθηκε από 4,5% το 1991, σε 3% το 1995. Ωστόσο ο κλάδος παραγωγής καλωδίων παρέμεινε κερδοφόρος

κατά την περίοδο 1989-1994, ενώ το 1995 μία μόνο επιχείρηση εμφάνισε μικρής έκτασης ζημιές. Παράλληλα οι δείκτες ρευστότητας, δανειακής πίεσης και δανειακής επιβάρυνσης των επιχειρήσεων κινούνται σε επίπεδα που θεωρούνται κανονικά για την ελληνική μεταποίηση.

Σύμφωνα με μελέτη που πραγματοποιήθηκε το σύγχρονο τεχνολογικό επίπεδο των μονάδων του κλάδου, η υψηλή ποιότητα του παραγόμενου προϊόντος, η αυξημένη ανταγωνιστικότητα του κλάδου, που αποδεικνύεται από την βελτίωση των εξαγωγικών επιδόσεων και την πτώση του βαθμού εισαγωγικής διείσδυσης, καθώς και η χρηματοοικονομική ευρωστία των επιχειρήσεων, αποτελούν τα σημαντικότερα ισχυρά σημεία της ελληνικής βιομηχανίας καλωδίων.

Η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας διατηρεί τα τελευταία χρόνια σταθερή αύξηση (γύρω στο 3,4% ανά έτος), και ένα μεγάλο μέρος των αναγκών καλωδίων της αγοράς προέρχεται από τη Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (Δ.Ε.Η). Το Φεβρουάριο του 2001, με την μερική απελευθέρωση (35%) της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα, η ΔΕΗ έχασε νομικά το μονοπώλιο, αλλά παραμένει προς το παρόν ο μοναδικός τοπικός παραγωγός ενέργειας. Μέχρι το 2005 αν και αναμενόταν να υπάρξει ολοκληρωτική απελευθέρωση της ελληνικής αγοράς, αυτή δεν πραγματοποιήθηκε καθώς η Ευρωπαϊκή Ένωση πίεζε από τότε προς αυτή την κατεύθυνση και υπήρχε έντονο ενδιαφέρον από τη γαλλική EDF, τη Βελγική TRACTEBEL, την ιταλική ENEL, τη γερμανική RWE και την UK's N.P. Η κατασκευή μεγάλων ιδιωτικών μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας έχει καθυστερήσει μέχρι σήμερα, αποτέλεσμα οι νέοι προμηθευτές ηλεκτρικού ρεύματος να οδηγηθούν σε ενοικίαση δικτύου, κάτι που μελλοντικά , σημαίνει ότι οι ζητήσεις καλωδίων από οργανισμούς παροχής ρεύματος θα αφορούν κυρίως ανάγκες εκσυγχρονισμού του δικτύου και λιγότερο επέκτασής του. Σημαντικό ρόλο θα παίξουν οι Ευρωπαϊκές οδηγίες που προωθούν την απελευθέρωση και οι τιμές ενοικίασης. Οι Ελληνικές αρχές έχουν πάντως εκφράσει ανησυχίες για την επάρκεια της υπάρχουσας παραγωγής γνωρίζοντας ότι θα πρέπει να καλυφθούν επιπλέον 6000MW πρόσθετων αναγκών έως το 2015, που ενδεχομένως να σημαίνει και σταδιακή ανάκαμψη των αναγκών καλωδίων με δημιουργία νέων δικτύων.

Όσον αφορά την αγορά συρμάτων περιέλιξης, υπολογίζεται γύρω στους δύο χιλιάδες πεντακόσιους τόνους (2.500). Οι εισαγωγές καλύπτουν ένα μικρό κομμάτι της ζήτησης και προέρχονται κυρίως από την Τουρκία. Αν και την περίοδο 1996-2000 η εσωτερική κατανάλωση συρμάτων εμαγιέ παρουσίασε μεγάλες διακυμάνσεις, τα τελευταία τρία χρόνια εδραιώνεται μία φθίνουσα τάση αυτών. Τέσσερις πολυεθνικές βιομηχανίες (SCHWABE, SCHNEIDER, ALSTOM, SIEMENS), βασικό αντικείμενο των οποίων είναι η κατασκευή μετασχηματιστών, κατά κύριο λόγο για την Δ.Ε.Η, αντιπροσωπεύουν περίπου το 65-70% της συνολικής κατανάλωσης. Οι υπόλοιπες είναι κυρίως έμποροι και εταιρίες περιέλιξης κινητήρων με ετήσια κατανάλωση η οποία κυμαίνεται από ένα (1) μέχρι τριάντα (30) τόνους ετησίως.

Στην Ελληνική αγορά το PVC χρησιμοποιείται κυρίως σε σωλήνες, παπούτσια, δάπεδα, τα οποία όμως είναι μικρής κατανάλωσης. Στα ελαστικά μείγματα και ειδικά στα Profile κύριοι ανταγωνιστές είναι οι Ιταλοί αλλά και οι Τούρκοι.

## **2.2 Η ΔΙΕΘΝΗΣ ΑΓΟΡΑ**

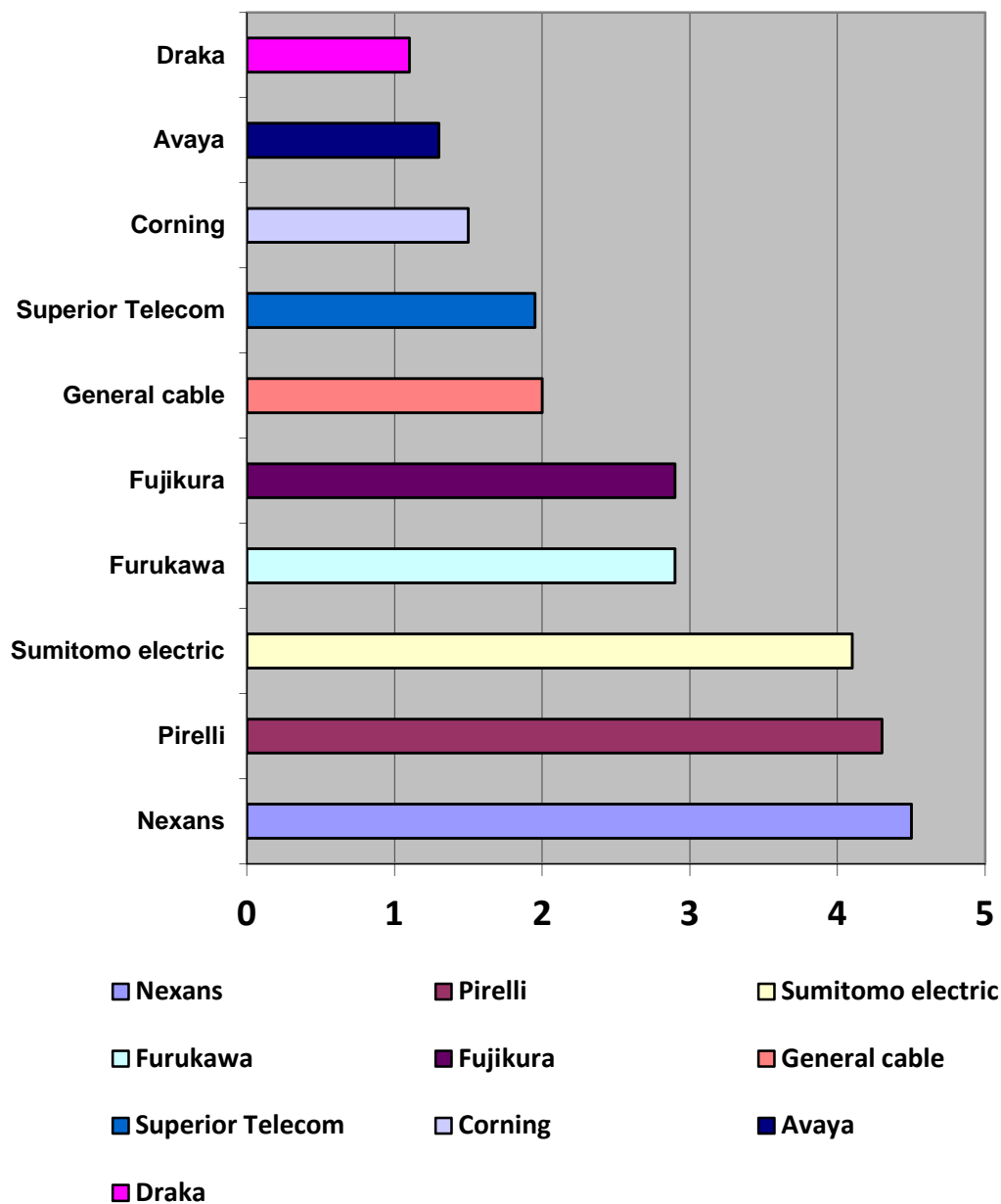
Όσον αφορά την παγκόσμια παραγωγή καλωδίων μπορούμε να δούμε ότι σε αντίθεση με την κατανάλωση, η Ευρώπη παραμένει επικεφαλής αν και αρκετές βιομηχανίες κερδήθηκαν από ανταγωνιστές χαμηλού κόστους κατά κύριο λόγο Ασιατικούς.

Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα που απεικονίζει ένα γράφημα των μεγαλύτερων εταιριών σε πωλήσεις καλωδίων για το έτος 2000, η NEXANS που προήλθε από την ALCATEL και η PIRELLI, βρίσκονται στην κορυφή των πωλήσεων με περίπου 4,5 δις. ευρώ το 2000, ενώ ακολουθεί πολύ κοντά η Ιαπωνική SUMITOMO ELECTRIC. Ο κυριότερος λόγος που η Ευρώπη παραμένει επικεφαλής, είναι ότι οι πρώτες ύλες (κυρίως χαλκός) που αποτελούν το 70% του κόστους παραγωγής καλωδίων, έχουν ίδιο κόστος παγκοσμίως. Το κόστος εργασίας αντιστοιχεί γύρω στο 10%, αλλά το οποίο μπορούν να εκμεταλλευθούν οι χαμηλού κόστους ανταγωνιστές μόνο εάν κάνουν σημαντικά άλματα στην ποιότητα.

Παρόλα αυτά, μπορούμε να πούμε ότι, εάν και οι Ευρωπαίοι προηγούνται, η παγκόσμια αγορά των καλωδίων παραμένει μοιρασμένη. Οι δέκα (10) παραπάνω κορυφαίες εταιρίες δεν αντιστοιχούν σε περισσότερο από 27% των πωλήσεων παγκοσμίως. Οι μικρότερες εταιρείες δεν παράγουν μόνο ειδικά προϊόντα του κλάδου, αλλά και βασικά καλώδια. Για παράδειγμα: στην Ιταλία υπάρχουν περίπου 250 παραγωγοί, στην Ευρώπη περισσότεροι από 4000, ενώ η Κίνα μετράει γύρω στους 2000 παραγωγούς καλωδίων ενέργειας και ενώ η συγχώνευση τους για κάποιους θα ήταν επιθυμητή, παραμένει ωστόσο λίγο απίθανη. Παραδείγματος χάριν, η PIRELLI εξακολουθεί να βρίσκεται στη διαδικασία ενσωμάτωσης του τομέα καλωδίων των SIEMENS και BICC, ενώ η NEXANS λειτουργεί με τα δύο τρίτα (2/3) του αριθμού εργοστασίων που κατείχε αρκετά χρόνια πιο πριν.



Μελέτη κατασκευαστικών στοιχείων καλωδίων EP YT XLPE και διαμόρφωση δοκιμίου για εργαστηριακές επιδείξεις



Εικόνα 3:Οι μεγαλύτερες παγκοσμίως εταιρίες πώλησης καλωδίων το 2000

## 2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

### 3 ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

Η σημασία της ποιότητας έχει αναγνωριστεί πλήρως στην εξασφάλιση βιομηχανίας και ποιότητας καλωδίων, που όπως ο όρος υπονοεί, περιλαμβάνει τις συστηματικές και προγραμματισμένες ενέργειες, προκειμένου να εξασφαλιστεί η εμπιστοσύνη ότι ένα προϊόν ή μια υπηρεσία θα ικανοποιήσει τις απαιτήσεις για την ποιότητα. Ουσιαστικά ο όρος ποιότητα αναφέρεται στο σύνολο των χαρακτηριστικών ενός προϊόντος, που έχουν σχέση με την ικανότητά του ώστε να ικανοποιεί τις σαφείς ανάγκες αλλά και τις σιωπηρές απαιτήσεις, μιας συγκεκριμένης αγοράς (δηλαδή ενός συνόλου πελατών), προς την οποία απευθύνεται ή για την οποία κατασκευάστηκε αυτό. Η ποιότητα έχει αποτελέσει αντικείμενο της αυξανόμενης δημοσιότητας, με τους κυβερνητικούς οργανισμούς που προσφέροντας την υποστήριξή τους και κερδίζοντας τις πρωτοβουλίες, κατάφεραν να προωθήσουν με αυτό τον τρόπο τη σημασία της. Έχει υπάρξει μια αυξανόμενη έμφαση στην τυποποίηση και την τεκμηρίωση των διαδικασιών εξασφάλισης ποιότητας, καθώς και στις προδιαγραφές προκειμένου να επιτραπεί η ικανοποίηση στους προμηθευτές ότι το σύστημα της εξασφάλισης ποιότητας είναι αποτελεσματικό, αλλά και για να καταδείξει αυτό στους πελάτες τους και άλλους. Συνεπώς, μπορούμε να καταλήξουμε στο ότι ένα σύστημα διασφάλισης ποιότητας αποσκοπεί στο να ενοποιήσει όλα τα στοιχεία που επηρεάζουν την ποιότητα ενός προϊόντος, που προσφέρει μια επιχείρηση

4

5

#### 6 3.1 Πιστοποίηση

Το προϊόν που κατασκευάζεται καθώς και το σύστημα ποιοτικής διαχείρισης ενός κατασκευαστή προσαρμόζονται στα αναγνωρισμένα πρότυπα μέσω της πιστοποίησης. Με τον όρο πιστοποίηση αναφερόμαστε σε ένα σύστημα που αναγνωρίζεται ότι είναι ικανό να εφαρμόσει τις εξετάσεις και τις δοκιμές ελέγχου και στην ουσία πρόκειται για μια διαδικασία

επιβεβαίωσης και καθορισμού της αυθεντικότητας ενός αντικειμένου. Ομοίως, για ένα προϊόν του οποίου δεν υπάρχει κανένα αναγνωρισμένο πρότυπο, τα στοιχεία καταλληλότητας του για τη λειτουργία που απαιτούνται μπορούν να παρασχεθούν από ένα πιστοποιητικό έγκρισης, δηλαδή να αναγνωρίζεται από ένα σώμα με ικανότητα κρίσης για αυτό το σκοπό.

Στην συνέχεια ακολουθούν τρεις (3) κύριες κατηγορίες πιστοποίησης, σχετικές με την ποιότητα:

- **Πιστοποίηση του συστήματος ποιοτικής διαχείρισης:** πρόκειται για μια επαλήθευση ότι ο προγραμματισμός, η οργάνωση και το σύστημα του προμηθευτή ποιοτικού ελέγχου και λειτουργίας της παρέχουν την εμπιστοσύνη ότι ο προμηθευτής θα ικανοποιήσει τις απαιτήσεις για την ποιότητα.
- **Πιστοποίηση της συμμόρφωσης προϊόντων :** πρόκειται για μια επαλήθευση ότι το προϊόν του προμηθευτή είναι συμμορφωμένο και προσαρμόζεται στα πρότυπα για τα οποία προορίζεται και ταυτόχρονα είναι βασισμένο στην εξέταση και τη δοκιμή των πραγματικών δειγμάτων του προϊόντος (των καλωδίων εδώ) που λαμβάνεται από την παραγωγή του προμηθευτή ή που αγοράζεται στην αγορά.
- **Πιστοποίηση έγκρισης προϊόντων :** αυτή αναφέρεται στα προϊόντα έξω από το πεδίο των υπαρχόντων προτύπων, μια πιστοποίηση ότι ένα προϊόν μπορεί με βεβαιότητα να εκτελεστεί ακίνδυνα, όπως αυτό απαιτείται, και είναι από πιστοποίηση «τρίτων». Πρόκειται δηλαδή για πιστοποίηση, από μια ανεξάρτητη οργάνωση εγκρίσεων και όχι από μεμονωμένο αγοραστή. Η πιστοποίηση αυτή μπορεί να καλύψει το σύστημα ποιοτικής διαχείρισης του προμηθευτή ή και ένα προϊόν ή μια σειρά των προϊόντων και ισχύει για αυτά ανεξάρτητα από το ποιοι μπορεί οι αγοραστές να είναι. Οποιοσδήποτε πελάτης επομένως, μπορεί να δεχτεί την πιστοποίηση τρίτων ενός κατασκευαστή όπως απευθυνόμενος στις αγορές του, υπό τον όρο βέβαια, ότι το προϊόν που αγοράζεται είναι μέσα στη σειρά που καλύπτεται από την πιστοποίηση.

### 3.1.1 ISO 9000 series - ISO 9001 κ 9002

Τα πρότυπα που διευκρινίζουν τις απαιτήσεις για τα αποτελεσματικά συστήματα ποιοτικής διαχείρισης περιλαμβάνονται στις EN ISO 9000 σειρές. Το πρότυπο EN ISO 9000-1 παρέχει οδηγίες σχετικά με την επιλογή και τη χρήση των άλλων προτύπων της σειράς. Από αυτούς, για την κατασκευή καλωδίων και συγκεκριμένα για τα καλώδια τύπου XLPE είναι το πρότυπο EN ISO 9001 και αντίστοιχα για τον ανεφοδιασμό το EN ISO 9002.

Το **ISO 9001** είναι ένα διεθνώς αναγνωρισμένο πρότυπο για την διασφάλιση ποιότητας και ποιοτική διαχείριση επιχειρήσεων. Αποτελεί επιχειρησιακό μοντέλο που κατά την εφαρμογή του, διασφαλίζει την προσδοκώμενη ποιότητα στα προϊόντα (εδώ στα καλώδια υψηλής τάσης) που προσφέρει μία επιχείρηση. Εφαρμόζεται πάνω στις διαδικασίες που παράγουν τα προϊόντα που προσφέρει ένας οργανισμός. Επίσης παρέχει μέθοδο και συστηματικό έλεγχο των επιχειρησιακών ενεργειών έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η ικανοποίηση αναγκών και απαιτήσεων του εκάστοτε πελάτη. Έχει σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να εφαρμόζεται για την παραγωγή οποιουδήποτε προϊόντος ή την παροχή οποιασδήποτε υπηρεσίας και σε οποιοδήποτε μέρος του κόσμου. Το ISO 9001 είναι η απαίτηση της συνολικής εξασφάλιση ποιότητας στο σχέδιο, την ανάπτυξη, την παραγωγή, την εγκατάσταση και τη συντήρηση, όπου αυτή απαιτείται.

Το **ISO 9002** δεν περιλαμβάνει τις απαιτήσεις για το σχέδιο και την ανάπτυξη. Επομένως χρησιμοποιείται όπου τα προϊόντα κατασκευάζονται σε αναγνωρισμένα πρότυπα και υποτίθεται ότι η συμμόρφωση με τα πρότυπα δίνει μια διαβεβαίωση ότι το σχέδιο του προϊόντος είναι κατάλληλο για την προοριζόμενη χρήση.

### 3.1.2 ISO 14001

Η σταδιακή υποβάθμιση του περιβάλλοντος τις τελευταίες δεκαετίες αποτελεί ένα από τα βασικότερα προβλήματα που καλείται να αντιμετωπίσει η διεθνής κοινότητα. Τα Συστήματα Περιβαλλοντικής Διαχείρισης παρέχουν το πλαίσιο για τη συστηματική αναγνώριση, αξιολόγηση και διαχείριση των περιβαλλοντικών πλευρών των δραστηριοτήτων, προϊόντων ή και υπηρεσιών των οργανισμών, με στόχο τη συμμόρφωση με τις νομικές απαιτήσεις, τη συνεχή βελτίωση και την πρόληψη της ρύπανσης του περιβάλλοντος.

Το ISO 14001 είναι διεθνώς αναγνωρισμένο πρότυπο για την περιβαλλοντική διαχείριση από τις επιχειρήσεις. Παρέχει οδηγίες και απαιτούμενα σημεία ελέγχων που πρέπει να εφαρμόζονται στις δραστηριότητες εκείνες που έχουν επίδραση στο περιβάλλον. Τέτοιες δραστηριότητες είναι η χρήση φυσικών πόρων, ο χειρισμός και η διάθεση των απορριμμάτων καθώς και η κατανάλωση ενέργειας. Όπως όλα τα διεθνή πρότυπα έτσι και το ISO 14001 έχει σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να εφαρμόζεται για την διαχείριση περιβάλλοντος των επιχειρήσεων σε οποιοδήποτε μέρος του κόσμου.

Το ISO 14001 αποτελεί τη βάση για την εφαρμογή και άλλων σχημάτων πιστοποίησης περιβαλλοντικού χαρακτήρα, όπως είναι το Κοινοτικό Σύστημα Οικολογικής Διαχείρισης και Οικολογικού Ελέγχου (Eco-Management and Audit Scheme--EMAS). Επιπρόσθετα, έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να είναι συμβατό με άλλα πρότυπα συστημάτων διαχείρισης, όπως ΕΛΟΤ EN ISO 9001 και να είναι δυνατή η ενοποίηση διαφορετικών συστημάτων διαχείρισης σε ένα ενιαίο ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης.

Σήμερα τόσο το ISO 9001 όσο και ISO 14001 χρησιμοποιούνται ευρέως από όλους τους μεγάλους παραγωγούς καλωδίων και για όλους τους τύπους αυτών.(και τύπου XLPE που μας αφορά)

## 6.1 3.2 ΠΡΟΤΥΠΑ ΚΑΙ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ

### ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΚΑΙ ΚΑΝΟΝΙΣΜΩΝ

Τα ηλεκτρολογικά υλικά (καλώδια ,πίνακες), οι συσκευές (ηλεκτρικές μηχανές ,οικιακές συσκευές) και ο τρόπος εγκατάστασης ή σύνδεσης τους περιγράφονται και προσδιορίζονται από πρότυπα. Έχουμε χιλιάδες πρότυπα που ενημερώνονται ,τροποποιούνται ,αυξάνονται ή ακόμα και καταργούνται με την εξέλιξη της τεχνολογίας. Παραδείγματος χάριν, υπάρχουν πρότυπα καλωδίων διαφόρων τύπων , πρότυπα ηλεκτρικών μηχανών, πρότυπα ηλεκτρικών εγκαταστάσεων. Τα πρότυπα είναι κείμενα κοινής αποδοχής εγκεκριμένα από διάφορους φορείς τυποποίησης όπως IEC,CENELC, ΕΛΟΤ κ.α. Ένα πρότυπο μπορεί να περιέχει ακόμα και οδηγίες, τεχνικούς κανόνες ή χαρακτηριστικά λειτουργίας που απαιτούνται προκειμένου να επιτευχθούν βέλτιστά δυνατά αποτελέσματα.

Ορισμένα πρότυπα μπορεί να είναι υποχρεωτικά, επειδή αυτά αφορούν την ασφάλεια ατόμων και περιουσιακών στοιχείων (πχ τα πρότυπα ηλεκτρικών εγκαταστάσεων κτιρίων).

Όσο αφορά τα καλώδια τύπου XLPE και τα πρότυπα που διέπουν τα συστήματα καλωδίων τέτοιου τύπου υπάρχουν διάφοροι φορείς τυποποίησης που αναφέρονται παρακάτω καθώς και τα συγκεκριμένα πρότυπα που χρησιμοποιούν και χρησιμοποιούνται από την πλειονότητα των παραγωγών καλωδίων τέτοιου τύπου.

### 7 3.2.1 ΦΟΡΕΙΣ ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗΣ

Φορείς τυποποίησης καλωδίων τύπου XLPE που μας ενδιαφέρουν εδώ είναι οι παρακάτω:

**IEC:** International Electrotechnical Commision.

➤ Διεθνείς Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή

Μελέτη κατασκευαστικών στοιχείων καλωδίων ΕΡ ΥΤ XLPE και διαμόρφωση δοκιμίου για εργαστηριακές επιδείξεις

- Ανήκουν 59 κράτη μεταξύ αυτών και η Ελλάδα καθώς και κράτη εκτός Ευρωπαϊκής Ένωσης
- Έχει όμως σχεδόν παγκόσμια αναγνώριση.
- Ιστότοπος : [www.iec.ch](http://www.iec.ch)

#### **CENELEC:** European Committee for Electrotechnical Standardization

- **Comite Europeeen de Normalisation ELEC**trotechnique
- Ευρωπαϊκή Επιτροπή για την Ηλεκτρονική Τυποποίηση
- Αποτελεί όργανο της Ευρωπαϊκής Ένωσης
- Έδρα: Βέλγιο
- Ιστότοπος : [www.cenelec.be](http://www.cenelec.be)

#### **ICEA:** Insulated **C**able **E**ngineers **A**ssociation

- Οργανισμός Μηχανικών για Μονωμένα καλώδια
- Έδρα: Νοτιά Αμερική
- Ιστότοπος : [www.icea.net](http://www.icea.net)

#### **ΕΛΟΤ:** Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης

- Εποπτεύεται από το Υπουργείο Ανάπτυξης (Υ.Α)
- Έδρα :Ελλάδα
- Ιστότοπος : [www.elot.gr](http://www.elot.gr)

Εθνικοί φορείς τυποποίησης για καλώδια διαφόρων τύπων (συμπεριλαμβανομένου και των XLPE ) υπάρχουν σε όλα τα κράτη της Ε.Ε. μερικοί από τους οποίους είναι:

**VDE: Verband Deutscher Electrotechniker**

- Παρέχει τα πρότυπα VDE 100
- Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Χαμηλής Τάσης
- Έδρα: Γερμανία

**BSI: British Standards Institution**

- Εκδίδει το BS 7671
- Έδρα :Ηνωμένο Βασίλειο

**UTE: Union Technique de l' Electricite.**

- Παρέχει τα πρότυπα C – 15 – 100
- Έδρα:Γαλλία

Συνοπτικά η ταυτότητα και ο ρόλος των παραπάνω φορέων IEC, CENELEC, ICEA,ΕΛΟΤ, στην τυποποίηση είναι ο παρακάτω :

### **3.2.1.1 IEC**

Η IEC ιδρύθηκε τον Ιούνιο του 1906 έχει διεθνή χαρακτήρα και εκδίδει πρότυπα διεθνούς εμβέλειας και κύρους. Η εφαρμογή των IEC προτύπων στα κράτη μέλη(που είναι 59) είναι εθελοντική σύμφωνα με το καταστατικό της IEC, στην ουσία όμως υιοθετούνται στην πλειονότητά τους από αυτά. Η IEC έχει σήμερα εκατόν έξι (106) TC, τεχνικές επιτροπές Technical Committies (TC), από τις οποίες οι δύο (2) είναι κοινές τεχνικές επιτροπές, μια με τον διεθνή οργανισμό τυποποίησης ISO και μία με τον οργανισμό για ραδιοπαρεμβολές CISRP ( *Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques*),.Από αυτές τις επιτροπές η TC 20 ασχολείται στην ουσία με τα καλώδια.



Η IEC εκδίδει πρότυπα τα οποία ονομάζει δημοσιεύσεις (Publications). Οι δημοσιεύσεις εκδίδονται από τις τεχνικές επιτροπές Technical Commissions (TC) και η έκδοση ενός προτύπου υπόκειται σε διαδικασίες που μπορεί να διαρκέσουν πολλά χρόνια (π.χ. 3-5 χρόνια). Οι δημοσιεύσεις περί καλωδίων εκδίδονται από την Τεχνική Επιτροπή TC 20.

### 3.2.1.2 CENELEC

Η CENELEC ιδρύθηκε το 1973 σαν αποτέλεσμα δύο προγενέστερων οργανισμών των CENELCOM και CENEL και εκδίδει τα πρότυπα που έχουν δύο μορφές:

- τα Ευρωπαϊκά πρότυπα, EUROPEAN NORMS (EN) ή
- τα έγγραφα εναρμόνισης HARMONIZATION DOCUMENTS (HD).

Περίπου το 80% των προτύπων της CENELEC, βασίζεται σε υπάρχοντα πρότυπα της IEC. Αυτά είναι τα έγγραφα εναρμόνισης HARMONIZATION DOCUMENTS (HD). Η CENELEC γι' αυτό το σκοπό, παίρνει τα πρότυπα της IEC σαν βάση και τα εναρμονίζει μεταξύ των κρατών της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Αποτέλεσμα της συνδιαλλαγής αυτής είναι τα έγγραφα της εναρμόνισης HARMONIZATION DOCUMENTS (HD). Ένα έγγραφο εναρμόνισης αποτελείται από το κείμενο της IEC, που είναι και ο βασικός κορμός και ενδεχόμενα προσθέσεις ή αφαιρέσεις κειμένων αναλόγως με το κάθε διαφορετικό κράτος της Ένωσης που αφορούν. Βέβαια υπάρχουν συχνά κοινές αλλαγές για όλα τα ευρωπαϊκά κράτη. Συχνά όμως παρατηρούμε και αλλαγές που ισχύουν σε ένα συγκεκριμένο κράτος. Η εναρμόνιση γίνεται αφού γίνουν εθνικές προτάσεις και γίνει ψηφοφορία, όπου απαιτείται

Μελέτη κατασκευαστικών στοιχείων καλωδίων ΕΡ ΥΤ XLPE και διαμόρφωση δοκιμίου για εργαστηριακές επιδείξεις

τουλάχιστον το 71% των <<ειδικά βεβαρημένων ψήφων>> να είναι υπέρ της εναρμόνισης. Είναι αξιοσημείωτο ότι η ψήφος είναι διαφορετικής βαρύτητας για κάθε μέλος.

Σε περιπτώσεις όπου η CENELEC δεν έχει αντίστοιχα πρότυπα IEC για να βασιστεί, εκδίδει τα ευρωπαϊκά πρότυπα European Norms (EN).

### **3.2.1.3 ΕΛΟΤ**

Ο Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης ιδρύθηκε μετά από ψήφιση στην Βουλή στις 10 Ιουνίου 1976. Ο ΕΛΟΤ συμμετέχει ουσιαστικά και δια ψήφου στην εναρμόνιση ή τα ευρωπαϊκά πρότυπα της CENELEC και επιπλέον αναλαμβάνουν την μετάφραση και ουσιαστικά θα λέγαμε την τεχνικά ισοδύναμη απόδοση στην γλώσσα της χώρας μας.

### **3.2.2 Πρότυπα ανάλογα με τον φορέα τυποποίησης**

Παρακάτω αναφέρονται τα πρότυπα που παρέχονται από τους διάφορους φορείς πιστοποίησης και αφορούν τα καλώδια τύπου XLPE και χρησιμοποιούνται συχνότερα από τους περισσότερους παραγωγούς τέτοιων καλωδίων. Κάποια συχνά πρότυπα που χρησιμοποιούνται είναι:

#### **Για τον IEC**

IEC 60228: Αγωγοί των μονωμένων καλωδίων

IEC 60287: Ηλεκτρικά καλώδια –υπολογισμοί για την βαθμονόμηση του ρεύματος

IEC 60502: Τεστ των ηλεκτρικών καλωδίων κατά από καταστάσεις φωτιάς

IEC 60840: Καλώδια ισχύος με μόνωση διέλασης και τα εξαρτήματα τους για ονομαστική τάση πάνω από 30 kV έως τα 150 kV (30 kV- >150 kV). Μέθοδοι δοκιμής και απαιτήσεις.

IEC 60853: Υπολογισμός της βαθμονόμησης του κυκλικούς και έκτακτης ανάγκης ρεύματος των καλωδίων.

IEC 61443: Όρια θερμοκρασίας βραχυκύκλωσης των ηλεκτρικών καλωδίων με ονομαστική τάση, πάνω από 30 kV.

IEC 62067: Καλώδια ισχύος με μόνωση διέλασης και τα εξαρτήματα τους για ονομαστική τάση πάνω από 150 kV έως τα 500 kV (150kV->500 kV). Μέθοδοι δοκιμής και απαιτήσεις.

### **Για τον CENELEC**

Χρήση των έγγραφων εναρμόνισης HARMONIZATION DOCUMENTS (HD) τα οποία αναφέρονται:

HD 620: Καλώδια διανομής με μόνωση διέλασης για ονομαστική τάση από 3.6/6 (7.2) kV έως τα 20.8/36 (42) kV.

HD 632: Καλώδια ισχύος με μόνωση διέλασης και τα εξαρτήματα τους για ονομαστική τάση πάνω από 36 kV έως τα 150 kV (36 kV- >150 kV). Αναγράφονται οι γενικές δοκιμές

απαιτήσεων στο τμήμα 1 του προτύπου. Το έγγραφο εναρμόνισης 632 (HD 632) βασίζεται κατά κύριο λόγο στο πρότυπο IEC 60840.

### **Για τον ICEA**

S-97-682: Πρότυπο για την χρησιμότητα θωράκισης των καλωδίων ισχύος

S-108-720: Πρότυπο για καλώδια ισχύος με διέλαση μόνωσης βαθμονομημένα από 46kV μέχρι 345 kV.

### **Για τον ΕΛΟΤ**

ISO 9001: Πρότυπο διεθνές αναγνωρισμένο για την διασφάλιση ποιότητας και ποιοτική διαχείριση επιχειρήσεων. Εφαρμοζόμενο διασφαλίζει την προσδοκώμενη ποιότητα στα προϊόντα (εδώ στα καλώδια υψηλής τάσης) που προσφέρει μία επιχείρηση.

ISO 14001: Είναι ένα διεθνώς αναγνωρισμένο πρότυπο για την περιβαλλοντική διαχείριση από τις επιχειρήσεις. Παρέχει οδηγίες και απαιτούμενα σημεία ελέγχων που πρέπει να εφαρμόζονται στις δραστηριότητες εκείνες που έχουν επίδραση στο περιβάλλον.

### **3.2.3 HAR σημάδι**

Μια ιδιαίτερη και σημαντική μορφή τυποποίησης συμμόρφωσης προϊόντων είναι μια άδεια για χρησιμοποίηση « HAR » σημάδι. Αυτό είναι ένα σύστημα πιστοποίησης που επινοείται στην CENELEC για να ισχύει για τα εναρμονισμένα καλώδια. Ενώ η εναρμόνιση των προτύπων είναι ένα σημαντικό βήμα στην κατάργηση των τεχνικών εμποδίων στο

εμπόριο μεταξύ των χωρών μελών, αναγνωρίστηκε ότι οι διαφορές στις διαδικασίες πιστοποίησης, με μερικούς πελάτες σε μερικές χώρες που επιμένουν στην πιστοποίηση από το εθνικό σώμα τους, θα μπορούσαν να εμποδίσουν το μάρκετινγκ από μια χώρα σε άλλες. Γι αυτό το λόγο διάφοροι οργανισμοί συμμετέχουν για αμοιβαία αναγνώριση και συμφωνία υπό την αιγίδα CENELEC στη HAR ομάδα, που αφορά τα καλώδια. « HAR » είναι το σχέδιο σημαδιών για τα καλώδια, που καταρτίζονται στη συνεργασία μεταξύ της CENELEC TC20 και της ομάδας HAR, και είναι ένα εναρμονισμένο σχέδιο πιστοποίησης συμμόρφωσης προϊόντων.

Οι άδειες για να χρησιμοποιήσουν « HAR » το σημάδι στους εναρμονισμένους τύπους καλωδίων χορηγούνται από την ορισμένη εθνική οργάνωση έγκρισης (NAO) σε κάθε μετέχουσα χώρα. Στο UK αυτό είναι BASEC, στην Ελλάδα ο ΕΛΟΤ. Το σημάδι αποτελείται από « HAR » προηγούμενο από το σημάδι του NAO που τυπώνεται ή που επιδεικνύεται, έξω από το καλώδιο, ή μπορεί να δηλωθεί από ένα χρωματισμένο νήμα μέσα στο καλώδιο. Τα χρώματα του νήματος είναι κίτρινο, κόκκινο και μαύρο και τα μήκη των τριών χρωμάτων δείχνουν τη χώρα του NAO.

Οι απαιτήσεις για το NAO να εκδοθεί η έγκριση είναι κοινές για όλες τις χώρες μέλη και περιλαμβάνουν την αρχική επιθεώρηση της κατασκευής και εξεταστικές εγκαταστάσεις, της δοκιμής των δειγμάτων για την αρχική έγκριση και της επόμενης επιτήρησης με την περιοδική δοκιμή των δειγμάτων. Οι αριθμοί δειγμάτων, σχετικοί με τον όγκο παραγωγής, οι δοκιμές που πραγματοποιούνται και η συχνότητά τους και οι βάσεις της αξιολόγησης είναι οι ίδιοι για όλες τις χώρες και υπάρχει αμοιβαία αποδοχή του σημαδιού μεταξύ των χωρών. Επί παραδείγματι, BASEC « HAR » το σημάδι θα γινόταν αποδεκτό στη Γερμανία όπως ισοδύναμο με VDE « HAR » το σημάδι, στις Κάτω Χώρες όπως ισοδύναμο με KEMA « HAR » το σημάδι και τα λοιπά.

Σήμερα το « HAR » σημάδι χρησιμοποιείται κυρίως σε χαμηλής τάσης ενεργειακά καλώδια καθώς επίσης και σε:

- καλώδια μονωμένα με PVC ονομαστικής τάση 450/750V πρότυπο HD 21

Μελέτη κατασκευαστικών στοιχείων καλωδίων EP YT XLPE και διαμόρφωση δοκιμίου για εργαστηριακές επιδείξεις

- καλώδια μονωμένα με καουτσούκ ονομαστικής τάση 450/750V πρότυπο HD 22
- καλώδια μονωμένα μέταλλο(mineral) ονομαστικής τάση που δεν ξεπερνάει τα 750.πρότυπο HD 586
- καλώδια ανελκυστήρων μονωμένα με κυκλικό καουτσούκ για απλή χρήση , πρότυπο HD 360 S2

### 3.2.4 ΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΤΕΧΝΙΚΗΣ ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗΣ

Το πρώτο κείμενο σχετικά με την τυποποίηση αναφέρεται στον 4<sup>ο</sup> π.χ αιώνα σε στήλη που βρέθηκε στο Θριάσιο Πεδίο και αφορούσε στην κατασκευή ορειχάλκου. Σήμερα η τυποποίηση καλύπτει το σύνολο σχεδόν των παραγομένων προϊόντων περιλαμβάνοντας όχι μόνο τα ηλεκτρολογικά υλικά, αλλά και τις ηλεκτρολογικές κατασκευές. Η χρονική εξέλιξη της ηλεκτροτεχνικής τυποποίησης παρουσιάζεται παρακάτω:

**1904:** International **E**lectrotechnical **C**ommission (IEC)

**1973:** **C**omite **E**uropeen de **N**ormalisation **E**LECTrotechnique (CENELEC)

**1960:** **Ε**λληνική **Η**λεκτροτεχνική **Έ**νωση (ΕΗΕ)

**1976:** **Ε**λληνικός **Ο**ργανισμός **Τ**υποποίησης (ΕΛΟΤ) → Διεύθυνση Τυποποίησης Υπουργείου Ανάπτυξης

**1978:** Ένωση ΕΗΕ και ΕΛΟΤ

Παρόλη τη συμμετοχή εκπροσώπων χωρών – μελών απ' όλες τις χώρες του κόσμου με ενδιαφέρον και τεχνικό υπόβαθρο στην ηλεκτροβιομηχανία, (σήμερα ξεπερνάνε τις 50) μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του '70 οι εκδόσεις της IEC είχαν την μορφή Συστάσεων (Recommendation) και μόνο την τελευταία δεκαετία χρησιμοποιείται ο όρος Πρότυπο

(Standard). Εντούτοις και σήμερα οι εκδόσεις της IEC αν και χρησιμοποιούνται παγκόσμια δεν είναι υποχρεωτικές για τις χώρες που συμμετέχουν σ' αυτή.

Αντίθετα η CENELEC αν και ιδρύθηκε περίπου 70 χρόνια μετά επεξεργάζεται πρότυπα, που άλλα μεν, (κυρίως αυτά που αφορούν θέματα Υγείας, Ασφάλειας και Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων) με τον τίτλο European Norms (EN) εφαρμόζονται υποχρεωτικά καλυπτόμενα από την ύπαρξη σχετικής νομοθεσίας των χωρών-μελών, αλλά δε υπό τη μορφή Harmonized Document (Έγγραφο Εναρμόνισης) επιτρέπουν στις χώρες-μέλη να αποδέχονται την εφαρμογή μικρών παρεκκλίσεων για συγκεκριμένο (σχετικά μεγάλο) χρονικό διάστημα έως ότου εναρμονίσουν τα δικά τους Εθνικά Πρότυπα.

Πάντως πρέπει να τονισθεί ότι σύμφωνα με την κοινοτική οδηγία τα Ευρωπαϊκά Πρότυπα είναι υποχρεωτικά αποδεκτά σε όλους τους διαγωνισμούς του Δημόσιου Τομέα.

Στην Ελλάδα με την ηλεκτροτεχνική τυποποίηση ασχολήθηκε κατ' αρχάς η Ελληνική Ηλεκτροτεχνική Ένωση (ΕΗΕ) που ιδρύθηκε το 1960. Η ίδρυση του ΕΛΟΤ το 1976, (άρχισε να λειτουργεί το 1977), κάλυψε αυτή τη δραστηριότητα της ΕΗΕ στον τομέα της τυποποίησης και τελικά την απορρόφησε το 1978. Από τότε την ευθύνη για την ηλεκτροτεχνική τυποποίηση την έχει ο ΕΛΟΤ με την εποπτεία της Δ/σης Τυποποίησης του Υπουργείου Ανάπτυξης (πρώην ΥΒΕΤ).

Στην CENELEC μετέχουν 18 χώρες, ήτοι οι χώρες-μέλη της Ε.Ε. και οι χώρες της Ευρωπαϊκής Ζώνης Ελευθέρων Συναλλαγών (ΕΦΤΑ).

Οι χώρες αυτές, που είναι επίσης και μέλη της IEC, είναι οι εξής: Αυστρία, Βέλγιο, Δανία, Φινλανδία, Γαλλία, Γερμανία, Ελλάδα, Ισλανδία, Ιρλανδία, Ιταλία, Λουξεμβούργο, Ολλανδία, Νορβηγία, Πορτογαλία, Ισπανία, Σουηδία, Ελβετία, Ηνωμένο Βασίλειο.

Σκοπός της ίδρυσης της CENELEC είναι η κατά το δυνατόν υλοποίηση της νέας πολιτικής της Ε.Ε., σύμφωνα με την οποία απαιτείται η εκπόνηση εναρμονισμένων προτύπων ώστε να είναι δυνατή η εφαρμογή των κοινοτικών Οδηγιών (Directives). Θα πρέπει να επισημανθεί ότι ο τομέας της Ηλεκτροτεχνικής Βιομηχανίας στην Ε.Ε. κατέχει

σημαντική θέση με ετήσια παραγωγή πάνω από 80 δις. ECU και ο όγκος των ενδοκοινοτικών εμπορικών συναλλαγών ξεπερνά τα 35 δις.ECU.

### 3.2.5 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ CENELEC

- Μοναδικό εναρμονισμένο ηλεκτροτεχνικό Πρότυπο στην Ευρώπη, νομοθετικά επικυρωμένο.
- Αγορά αγαθών & υπηρεσιών απαλλαγμένη από εμπόδια.
- Συμμόρφωση των χαρακτηριστικών των προϊόντων και tests με τεχνολογία αιχμής.
- Ομαλή εισαγωγή καινοτομιών στην αγορά.

Οι Γραμματείς της CENELEC και της EFTA σε συνεργασία με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, την COMMISSION δίδουν στην Ευρωπαϊκή Αγορά τις Οδηγίες και τα Διεθνή Πρότυπα. Είναι προφανή τα πλεονεκτήματα της Ευρωπαϊκής Τυποποίησης αφού πριν υπήρχαν 18 Εθνικά Πρότυπα : DIN, OVE, CEI, BS, NP, SFS, NEN, SS, YNE, NF, I.S., (SEE), CS, NBN, ISF, SEV, NEK, ELOT, ενώ σήμερα υπάρχει μόνο ένα Πρότυπο για την συμμόρφωση των προμηθευτών σε τουλάχιστον 18 χώρες: EN (European Norms).

Ο ΕΛΟΤ είναι Νομικό Πρόσωπο Ιδιωτικού Δικαίου που φέτος μετατράπηκε σε Α.Ε., χρηματοδοτείται κυρίως από το κράτος και εποπτεύεται από το Υπουργείο Ανάπτυξης. Διοικείται από το ΔΣ που αποτελείται από εκπροσώπους της δημόσιας διοίκησης, επιστημονικών φορέων και παραγωγικών τάξεων.

Εκτός από την παραγωγή προτύπων μέσα στους σκοπούς του ΕΛΟΤ είναι η απονομή του σήματος ποιότητας η χορήγηση πιστοποιητικών ποιότητας, η διενέργεια εργαστηριακών δοκιμών αποδοχής εξοπλισμού κ.α.

Επίσης στον ΕΛΟΤ λειτουργεί το Εθνικό Κέντρο Πληροφόρησης για Πρότυπα και Τεχνικούς Κανονισμούς που προβλέπεται από τις κοινοτικές οδηγίες και το οποίο αποτελεί



επίσης και το κέντρο Πληροφόρησης για την Ελλάδα της Γενικής Συμφωνίας Δασμών και Εμπορίου.

### **3.2.6 ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΤΟΥ ΕΛΟΤ ΣΕ ΔΙΕΘΝΕΙΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥΣ**

Ο ΕΛΟΤ είναι διαπιστευμένος και εκπροσωπεί την Ελλάδα κατ' αποκλειστικότητα σε 11 ευρωπαϊκές και διεθνείς οργανισμούς τυποποίησης και ποιότητας εξοπλισμού και επιχειρήσεων:

- 1) Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (ISO)
- 2) Διεθνής Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή (IEC)
- 3) Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης (CEN)
- 4) Ευρωπαϊκή Επιτροπή Ηλεκτροτεχνικής Τυποποίησης (CENELEC)
- 5) Ευρωπαϊκή Οργάνωση για τις Τεχνικές Εγκρίσεις (EOTA)
- 6) Ευρωπαϊκό Δίκτυο Αξιολόγησης και Πιστοποίησης Συστημάτων Ποιότητας (EQNET)
- 7) Ευρωπαϊκή Οργάνωση για Δοκιμές και Πιστοποίηση (EOTC)
- 8) Ευρωπαϊκή Οργάνωση για Τεχνικές Εγκρίσεις (EOTA)
- 9) Σύστημα για Έλεγχο Συμμόρφωσης με Πρότυπα (IECEE)
- 10) Φορείς Πιστοποίησης για Ηλεκτρικές Συσκευές (IECEE)
- 11) Ευρωπαϊκό Συμβούλιο για Τυποποίηση edi (edes)

Το τεχνικό έργο όλων των οργανισμών τυποποίησης διεξάγεται από αντίστοιχες Τεχνικές Επιτροπές, αλλά και Ομάδες Εργασίας που υπάγονται στις πρώτες.

Μπορούμε να απαριθμήσουμε πάνω από 200 Technical Committees στην IEC.

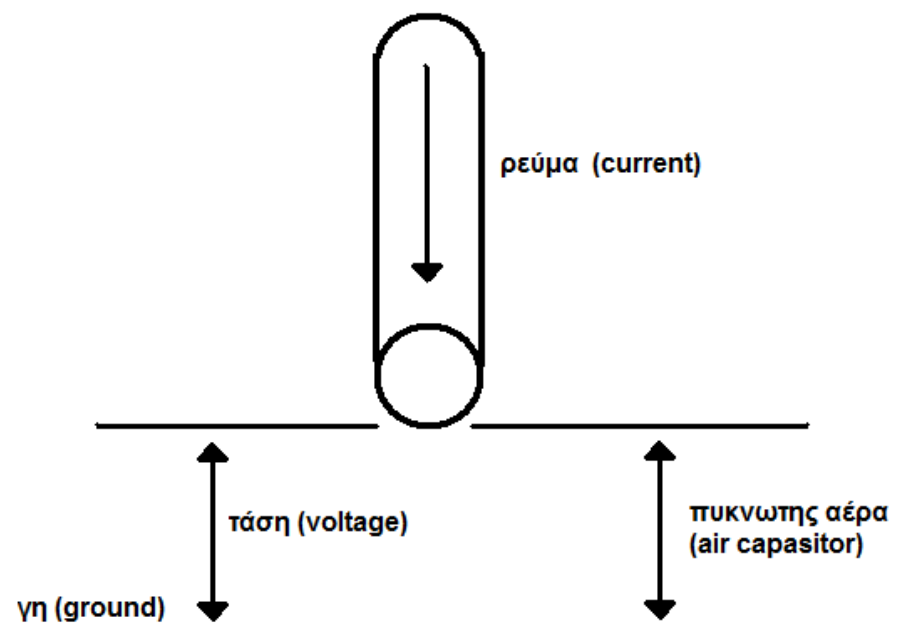
Η CENELEC λειτουργεί παράλληλα με την IEC σε 70 τομείς της Ηλεκτροτεχνίας με πολλούς από τους οποίους ασχολούνται και οι ΤΕ του ΕΛΟΤ.

## Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>

### ΒΑΣΙΚΗ ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ

Ο σκοπός ενός καλωδίου ή σύρματος, είτε αυτό προορίζεται να μεταβιβάζει ρεύμα είτε σήματα, είναι να μεταδίδει το ηλεκτρικό ρεύμα σε κάποια τοποθεσία ή συσκευή. Για να συμβεί αυτό, σημαντικό είναι η ύπαρξη ενός αγωγού ο οποίος είναι επαρκής για να μεταφέρει το ηλεκτρικό ρεύμα. Το ίδιο σημαντικό με τον αγωγό είναι η ανάγκη να κρατήσεις το ρεύμα μακριά από ακούσια μονοπάτια πέρα του αγωγού που παρέχεται. Σε αυτό βοηθάει η μόνωση που απομονώνει τον αγωγό από τα άλλα μονοπάτια ή επιφάνειες από τα οποία το ρεύμα μπορεί να διαφύγει. Ωστόσο θα μπορούσαμε να πούμε ότι κάθε αγωγός που μεταφέρει ηλεκτρικά σήματα ή ρεύμα είναι ένας μονωμένος αγωγός.

#### 4.1 Αγωγοί μονωμένοι από αέρα.



Εικόνα 1: Αναπαράσταση ενός γυμνού αγωγού που δείχνει την τοποθεσία του ρεύματος και της τάσης σε αυτόν.

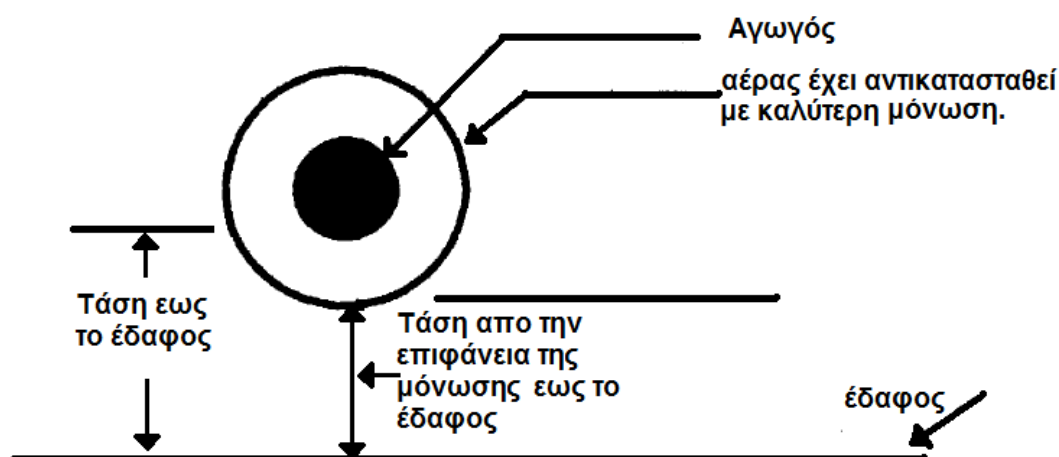
Ένας μεταλλικός αγωγός χωρίς κανέναν άλλο είδους μόνωση, περιτριγυρισμένος από αέρα και μεταφέροντας ηλεκτρικά σήματα ή ισχύς μπορεί να θεωρηθεί ως το απλούστερο παράδειγμα ενός μονωμένου αγωγού και έτσι να παρουσιάσουμε οπτικοποιώντας ευκολότερα τις παραμέτρους που πρέπει να λάβουμε υπ όψιν. Επίσης λόγω του διαχωρισμού των φορτίων, υπάρχει ένας πυκνωτής και μια μεγάλη αντίσταση μεταξύ αγωγού και γης. Όσο το έδαφος είναι μακριά από τον αγωγό, οι ηλεκτρικές δυναμικές γραμμές φεύγουν από αυτόν σαν ευθείες γραμμές προερχόμενες από το κέντρο του αγωγού, και ξέρουμε ότι όλες τους κάμπτονται για να τερματίσουν στο έδαφος.

Ο αέρας δεν αποτελεί ένα πάρα πολύ καλό μονωτικό υλικό αφού παρουσιάζει χαμηλότερη τάση αντοχής από άλλα μονωτικά υλικά. Είναι χαμηλού κόστους αν ο χώρος δεν αποτελεί περιορισμό. Καθώς η τάση μεταξύ αγωγού και γης αυξάνεται, επιτυγχάνεται ένα σημείο όπου η ηλεκτρική τάση (electrical stress) ξεπερνάει την δύναμη κατάρρευσης (breakdown strength) ή τον αέρα. Ο αέρας κυριολεκτικά καταρρέει παράγοντας ένα στρώμα από ιονισμένο αγωγίμο αέρα που περιβάλλει τον αγωγό, και σαν όρο αυτό το ονομάζουμε κορώνα (Corona). Αυτό αντιπροσωπεύει απώλειες ισχύος που μπορούν να προκαλέσουν παρεμβολές σε διάφορα σήματα, στην τηλεόραση, στο ραδιόφωνο. Είναι συχνό αυτή η κατάσταση να εμφανίζεται σε απομονωμένα σημεία όπου υπάρχει ακατέργαστο ρίνισμα ή κάποια ανωμαλία στο μέταλλο του αγωγού ή του κονέκτορα. Αυτό συμβαίνει επειδή στο σημείο αυτό η ηλεκτρική τάση (stress) αυξάνει εξαιτίας της αιχμηρότητας της ανώμαλης επιφάνειας ή της προεξοχής του αγωγού. Στο αέρα ή άλλα αέρια, η επίδραση του ιονισμένου στρώματος αερίου που περιβάλλει τον αγωγό είναι για να αυξήσει την ηλεκτρική διάμετρο του αγωγού σε ένα σημείο όπου ο αέρας πέρα του ιονισμένου ορίου δεν μπορεί πλέον να εντείνει την κατάρρευση για της επικρατούσας θερμοκρασίας, πίεσης και υγρασίας. Η άνευ ορίου παροχή φρέσκου αέρα και οι συνθήκες που αναφέραμε μόλις

αποκλείουν την διαδικασία του ιονισμού του αέρα σε όλη την διαδρομή μέχρι το έδαφος. Είναι δυνατό το επίπεδο τάσης (stress) να είναι τόσο υψηλό ώστε ένα ιονισμένο κανάλι να παραβιάσει ολόκληρο το αέριο από τον αγωγό προς την γη, αλλά αυτό γενικά θα απαιτούσε μια πηγή υψηλής τάσης όπως οι κεραυνοί.

#### 4.2 Επικάλυψη αγωγού με Μονωτικό υλικό αντί αέρα για εξοικονόμηση χώρου.

Ένας περιορισμός που μας αποκλείει την χρήση του αέρα ως μονωτή είναι ο χώρος. Μπορούμε εύκολα να φανταστούμε τις απαιτήσεις σε χώρο για να καλωδιώσουμε ένα διαμέρισμα ή ακόμα και ένα σπίτι χρησιμοποιώντας γυμνούς αγωγούς με μόνωση τον αέρα. Αντί αυτού μπορούμε να κάνουμε αντικατάσταση με ένα καλύτερο μονωτικό υλικό, γνωστό και ως διηλεκτρικό. Στην παρακάτω εικόνα (2) βλέπουμε την τάση από τον αγωγό στο έδαφος όπως και στην εικόνα 1.



Εικόνα 2: Αναπαράσταση ενός αγωγού με μόνωση

Έχει δημιουργηθεί ένας διαιρέτης τάσης ο οποίος έφτιαξε την σύνθετη αντίσταση (impedance) από την επιφάνεια της επικάλυψης του αγωγού (covering) έως το έδαφος. Εδώ θα έχουμε αναλογία των σύνθετων

αντιστάσεων (impedancias) προς την διανομή της τάση από τον αγωγό έως την επιφάνεια της επικάλυψης του αγωγού και από την επιφάνεια της επικάλυψης του αγωγού έως το έδαφος. Ακόμα λόγω της αρκετής απόστασης του μονωμένου αγωγού από το έδαφος ,η πλειοψηφία της τάσης υπάρχει μεταξύ της επιφάνεια της επικάλυψης του αγωγού και του εδάφους. Το ποσοστό του ρεύματος που μπορεί να ρέει από την άθικτη επικάλυψη του αγωγού έως το έδαφος, ακόμα και αν έρθουν σε επαφή, είναι περιορισμένο από την σύνθετη αντίσταση της επικάλυψης του αγωγού. Αν αυτή (η επικάλυψη) που περιβάλλει τον αγωγό είναι εξαιρετικής μόνωσης, η πλειοψηφία του ρεύματος θα οφείλεται στο χωρητικό ρεύμα φόρτισης που μπορεί να απελευθερωθεί από την επιφάνεια της με επαφή με το αντικείμενο.

Είναι διαθέσιμο τόσο μικρό ρεύμα στην επιφάνεια της επικάλυψης λόγω της χαμηλής τάσης όλης της μάζας της (λιγότερο από 600 Volts) που είναι ανεπαίσθητο. Όταν αυτή η συνθήκη υφίσταται με ένα επίπεδο εμπιστοσύνης τότε η επικάλυψη καλείται <<Μόνωση>> και είναι κατάλληλη για συνεχή επαφή με το έδαφος με την προϋπόθεση να μην έχουμε θερμική ή χημική αλλοίωση ή υποβάθμιση.

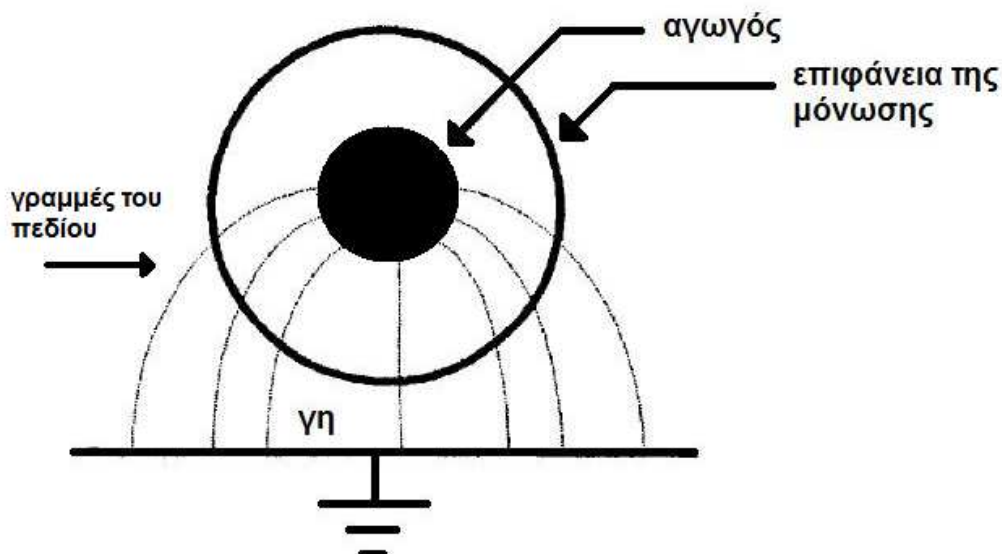
Εξαιτίας της εγγύτητας και της επαφής με άλλα αντικείμενα πέρα του εδάφους ,το πάχος των μονωτικών υλικών των καλωδίων (ιδιαίτερα των χαμηλής τάσης) βασίζεται περισσότερο στις μηχανικές παρά στις ηλεκτρικές αξιώσεις. Αξιώσεις ή αλλιώς απαιτήσεις όπως το περιβάλλον που τα περιβάλλει, η ανάγκη για ειδικές ιδιότητες όπως η αντίσταση στο φως του ήλιου ή η αντίσταση στην φλόγα ή την υγρασία ,και η ακαμψία κατά την εγκατάσταση συχνά κάνουν δύσκολο την ύπαρξη μόνο ενός υλικού για μόνωση. Γι αυτό το λόγο οι σχεδιαστές έχουν αναπτύξει πολλαπλά στρώματα μονώσεων, παράδειγμα των οποίων φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

Μελέτη κατασκευαστικών στοιχείων καλωδίων ΕΡ ΥΤ ΧΛΡΕ και διαμόρφωση δοκιμίου για εργαστηριακές επιδείξεις



Εικόνα 3: Μια άποψη των πολλαπλών μονώσεων σε διάφορων τύπων καλώδια Α.С υψηλής τάσης.

#### 4.3 Καθώς η τάση αυξάνει



Εικόνα 4: καλώδιο με τις ηλεκτρικές γραμμές πεδίου να λυγίζουν μέχρι την γείωση με το έδαφος.

Εδώ θα ασχοληθούμε ξανά με την απλούστερη μορφή που είναι ένας μεταλλικός αγωγός που είναι επικαλυμμένος με μονωτικό υλικό και αιωρείται πάνω από το έδαφος όπως φαίνεται στην Εικόνα 4. Όταν το επίπεδο γείωσης είναι πολύ κοντά ή ακουμπάει την μόνωση, οι ηλεκτρικές δυναμικές γραμμές όλο και περισσότερο παραμορφώνονται. Στο σχήμα φαίνεται ένα σημαντικό λύγισμα των ηλεκτρικών δυναμικών γραμμών όταν βρίσκεται ο αγωγός κοντά στο έδαφος. Αναγνωρίζοντας ότι οι ισοδυναμικές γραμμές είναι κάθετες στις γραμμές του πεδίου, η κάμψη έχει σαν αποτέλεσμα την διαφορά δυναμικού στην εξωτερική επιφάνεια της μόνωσης. Καθώς έχουμε αυξημένη τάση (σε χαμηλές τάσεις η επίδραση είναι αμελητέα) οι διαφορές δυναμικών είναι ικανοποιητικές ώστε να προκαλέσουν ροή του ρεύματος σε όλη την επιφάνεια της μόνωσης. Αυτό είναι γνωστό και ως <<tracking>>. Ακόμα και αν έχουμε μικρά ρεύματα, η μεγάλη αντίσταση επιφανείας προκαλεί θέρμανση που καταστρέφει την μόνωση. Αν αυτή η κατάσταση συνεχιστεί για μεγάλο διάστημα, και έχουμε και διάβρωση, τότε θα οδηγηθούμε σε αστοχία υλικού.

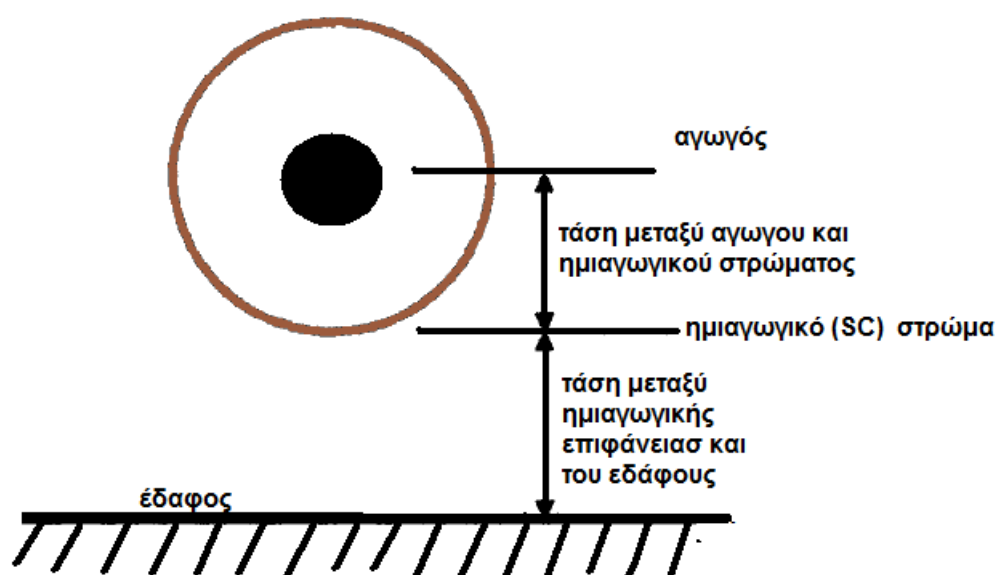
Σημαντικό ακόμα θεωρείται η χρήση των συστημάτων με διαχωριστικό καλωδίων και των δένδροειδή συρμάτων με βαριά τοιχώματα που η χρήση τους εξαρτάται από την ικανότητα της μόνωσης να μειώνει την ροή του ρεύματος σχεδόν στο ελάχιστο. Όταν έχουμε διαρκή επαφή με διακλαδώσεις ,μέλη ή άλλα αντικείμενα ,μπορεί να έχουμε σαν αποτέλεσμα κάποια ζημιά αφού η επαφή δεν μπορεί να είναι μόνιμη.

Σε αυτό το σημείο θα λέγαμε ότι μια καλή λύση όταν έχουμε αύξηση της τάσης είναι να προσθέτουμε συνέχεια φθηνές επικαλύψεις ώστε να αυξήσουμε το πάχος της μόνωσης. Αυτό ,από άποψη κόστους και επιπλοκών που μπορεί να εμφανιστούν με την χρήση του αγωγού, φαίνεται αρχικά μια καλή λύση, όμως στην πράξη δεν μπορεί να γίνει. Η επιφανειακή διάβρωση και οι κίνδυνοι δεν είναι γραμμικές συναρτήσεις της τάσης έναντι στο πάχος και αυτό κάνει την επιλογή αυτή μη πρακτική.

#### **4.4 Η ασπίδα της μόνωσης**

Για να μπορέσουμε να έχουμε επαφή με το έδαφος ,ένα ημιαγωγικό ή ανθεκτικό στρώμα μπορεί να τοποθετηθεί πάνω από την επιφάνεια της μόνωσης. Αυτό το υλικό εξαναγκάζει τις γραμμές του πεδίου να φτάνουν μέχρι το ημιαγωγικό στρώμα, αλλά προκαλεί και κάποιες επιπλοκές.





Εικόνα 5: Αγωγός με ημιαγωγικό στρώμα

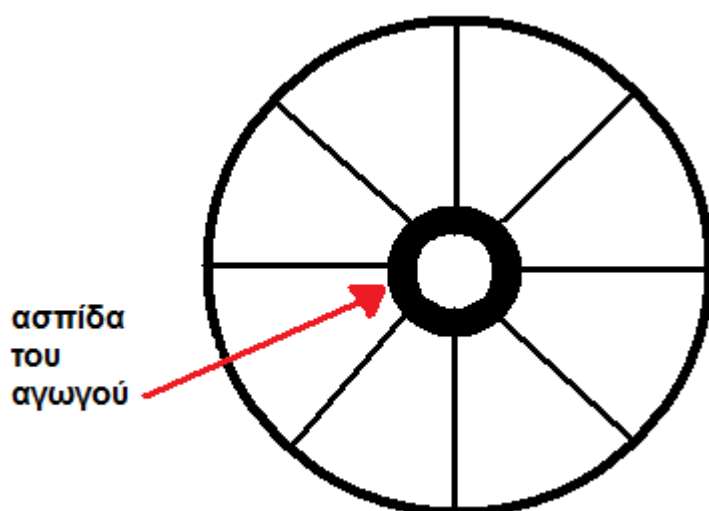
Στην παραπάνω εικόνα (5) είναι ξεκάθαρο ότι έχει δημιουργηθεί ένας πυκνωτής από τον αγωγό έως την επιφάνεια του ημιαγωγικού στρώματος. Σε αυτόν τον πυκνωτή περιέχεται ένα μεγάλο φορτίο. Το ρεύμα φόρτισης πρέπει να ελεγχθεί ώστε να μην υπάρξει κανένα μονοπάτι προς την γη μέσω του ημιαγωγικού στρώματος. Το μονοπάτι αυτό μπορεί να οδηγήσει σε κάψιμο και ολική καταστροφή του στρώματος με αποτέλεσμα, με μια πιθανή ανθρώπινη επαφή με το καλώδιο, να έχουμε ολέθρια συνεπακόλουθα. Για να δημιουργήσουμε ένα ασφαλές μονοπάτι που να διοχετεύει το χωρητικό ρεύμα φόρτισης στο έδαφος χωρίς να καταστραφεί το καλώδιο θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε ένα μεταλλικό μονοπάτι που να είναι σε επαφή με την ημιαγωγική ασπίδα. Όμως μόλις χρησιμοποιηθεί το μεταλλικό μέρος στο σύστημα της ασπίδας τότε δεν μπορούμε να αποφύγουμε την παρουσία συνθηκών σφάλματος εδάφους. (ground fault). Αυτό πρέπει να το λάβουμε υπ όψιν και να παρέχουμε επαρκής χωρητικότητα στην ασπίδα για να χειριστεί τα ρεύματα σφάλματος.

Καλώδια με ηλεκτρική χρησιμότητα έχουν αρκετά μεγάλες απαιτήσεις ρεύματος σφάλματος ώστε είναι σύνηθες να προβλεφθεί ένας ουδέτερος κατά τον σχεδιασμό της μεταλλικής ασπίδας. Αυτά τα καλώδια είναι γνωστά σαν

υπόγεια καλώδια διανομής – Underground Distribution cables (UD) ή Underground Residential Distribution cables (URD).

#### 4.5 Χρησιμότητα της ασπίδας του αγωγού

Η παρουσία μια ασπίδας μόνωσης δημιουργεί μια άλλη επιπλοκή. Η γειωμένη ασπίδα μόνωσης επενεργεί σε ολόκληρη την τάση που υπάρχει στην μόνωση.



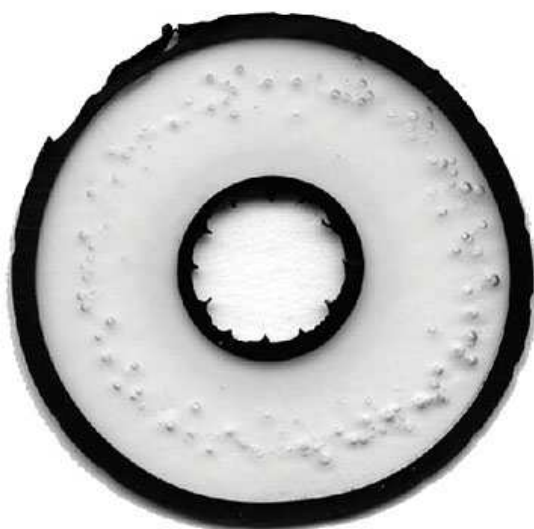
Εικόνα 6: καλώδιο με ασπίδα αγωγού

Όπως και στην περίπτωση του μονωμένου αγωγού με αέρα, και εδώ μας απασχολεί να μην υπερβούμε την μέγιστη τάση (stress) που το μονωτικό στρώμα μπορεί να αντέξει. Το πρόβλημα αυτό μεγεθύνεται με την χρήση πεπλεγμένων αγωγών ή ρινισμάτων και γρατζουνιών που μπορεί να υπάρχουν στους αγωγούς είτε αν είναι πεπλεγμένοι είτε συμπαγής. Στην εικόνα που ακολουθεί έχει τοποθετηθεί ένα ημιαγωγικό στρώμα ώστε να εξομαλύνει τυχόν ανωμαλίες. Αυτό μειώνει την πιθανότητα προεξοχών στο μονωτικό στρώμα. Προεξοχές στην μόνωση ή στο ημιαγωγικό στρώμα αυξάνουν την περιορισμένη τάση (stress), την εμπλουτίζουν, και έτσι μπορεί

Μελέτη κατασκευαστικών στοιχείων καλωδίων ΕΡ ΥΤ XLPE και διαμόρφωση δοκιμίου για εργαστηριακές επιδείξεις

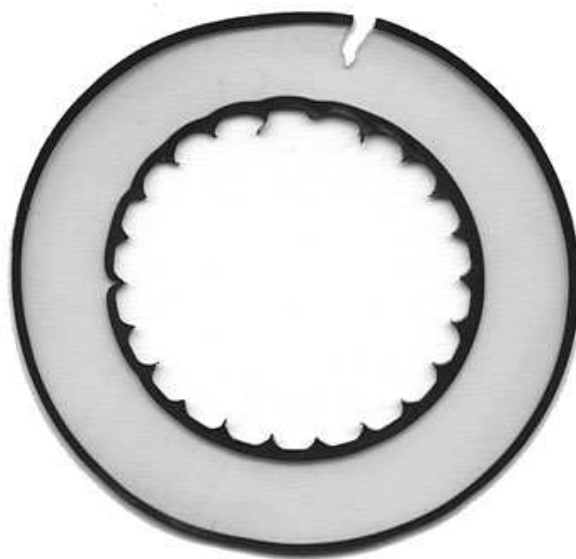
να μειωθεί η χρονική αντοχή της μόνωσης. Αυτό είναι πολύ σημαντικό ιδιαίτερα σε μονώσεις με διέλαση. Κάθε ζημία όσο μικρή και αν είναι σταδιακά θα οδηγήσει σε ράγισμα και ολική καταστροφή του στρώματος της μόνωσης.

Παρακάτω ακολουθούν μερικά παραδείγματα αγωγών τύπου XLPE, κατεστραμμένων λόγω προεξοχών ή φυσαλίδων σε αγωγό και μόνωση αντίστοιχα καθώς και από υπερβολική θέρμανση που αναπτύχθηκε.



Εικόνα 7: Καλώδιο με μόνωση XLPE. Φαίνονται καθαρά οι φυσαλίδες την μόνωσης καθώς και τα εξογκώματα του αγωγού όπου προκάλεσαν την καταστροφή του καλωδίου.

Μελέτη κατασκευαστικών στοιχείων καλωδίων ΕΡ ΥΤ ΧΛΡΕ και διαμόρφωση δοκιμίου για εργαστηριακές επιδείξεις



Εικόνα 8: καλώδιο με μόνωση τύπου ΧΛΡΕ που έχει ραγίσει εξαιτίας υπερθέρμανσης.



Εικόνα 9: καλώδιά χλρε μόνωσης που καταστράφηκαν λόγω ανωμάλιων στην μόνωση τους και διείσδυσης νερού σε αυτά.

#### 4.6. Απαιτήσεις ενός θωρακισμένου στρώματος (shielding layer)

Υπάρχουν συγκεκριμένες απαιτήσεις στα στρώματα θωράκισης για να μειώσουν τον εμπλουτισμό της τάσης. Καταρχάς, προεξοχές λόγω ανωμαλιών του ίδιου του υλικού ή της κατασκευής αυτού πρέπει να ελαχιστοποιούνται ή να εξαλείφονται. Οι προεξοχές αναιρούν το σκοπό της θωράκισης γιατί εμπλουτίζουν με ηλεκτρική τάση (electrical stress). Τα στρώματα θωράκισης των μονώσεων έχουν μεγαλύτερη περιπλοκότητα γιατί πρέπει να μπορούν να αποσπώνται εύκολα, ώστε να διευκολύνεται ο άνθρωπος κατά την διαδικασία της συγκόλλησής και της κατάληξης αυτών. Αυτή η ανάγκη είναι ιδιαίτερα ορατή στα μέσης τάσης καλώδια (5-35 KV). Σε μεγαλύτερες τάσεις, η ενόχληση του δεμένου θωρακισμένου στρώματος στην μόνωση υποφέρεται ώστε να έχουμε επιπλέον πιθανότητα μιας ομαλής, χωρίς κενά μόνωσης. Δηλαδή η θωράκιση της μόνωσης αλληλεπιδρά ώστε να έχουμε μια ενωμένη θωράκιση.

#### **4.7. Απαιτήσεις της μόνωσης και της θωράκισης της μόνωσης.**

Στις υψηλές τάσεις είναι μεγάλης σημασίας η μόνωση και η θωράκιση της μόνωσης να μην είναι μολυσμένες. Μια πιθανή μόλυνση θα είχε σαν συνέπεια τον εμπλουτισμό της τάσης με αποτέλεσμα την διάσπαση και των δύο. Ακόμα τα κενά μπορούν να κάνουν το ίδιο και με επιπλέον πιθανότητα τις χωρητικό-ωμικές (capacitive-resistive-CR) εκφορτίσεις όταν τα κενά είναι γεμάτα με αέριο, καθώς μεταβολές τάσης εμφανίζονται σε αυτά. Οι εκφορτίσεις αυτές μπορεί να είναι καταστροφικές και για τα αλλά περιφερειακά υλικά του καλωδίου και να το οδηγήσουν σε χειροτέρευση ή ακόμα και βλάβη.

#### **4.8 Θερμομονωτικό περίβλημα ή Περίβλημα ( Jackets )**

Στα υψηλής τάσης καλώδια και στα σχέδια με πολλαπλούς αγωγούς, τα περιβλήματα χρησιμοποιούνται για να προστατεύσουν τα βασικά στρώματα από την φυσική καταστροφή, τον φως του ηλίου, την φλόγα και την χημική επίθεση. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην προστασία από χημική επίθεση. Με

Μελέτη κατασκευαστικών στοιχείων καλωδίων ΕΡ ΥΤ XLPE και διαμόρφωση δοκιμίου για εργαστηριακές επιδείξεις

τον όρο χημική επίθεση εννοούμε την διάβρωση των βαθύτερων μεταλλικών στρωμάτων προστασίας και θωράκισης.

Σε όλη την ιστορία του σχεδιασμού καλωδίων η χημική επίθεση αποτελούσε τον σημαντικότερο παράγοντα εκτός από τα μονωμένα με χαρτί, τα καλυμμένα με μόλυβδο και τα καλώδια διανομής (UD) τα οποία χρησιμοποιείτο εκτεταμένα από την βιομηχανία.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>

### 5 Στοιχεία κατασκευής και σχεδιασμός

#### 5.Α ΚΥΡΙΟΣ ΑΓΩΓΟΣ

Το βασικό ενδιαφέρον της μηχανικής όσο αφορά τα καλώδια ισχύος είναι να μεταφέρει το ρεύμα(ισχύς) οικονομικά και αποτελεσματικά. Η επιλογή του υλικού του αγωγού, του μεγέθους και του σχεδιασμού πρέπει να ληφθεί λαμβάνοντας υπ όψιν τα εξής:

- Την μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση ρεύματος (ampacity) ή αντοχή σε αμπέρ
- Την καταπόνηση του αγωγού εξ αιτίας της τάσης
- Τον κανονισμό που αφορά την τάση
- Τις απώλειες του αγωγού
- Την ακτίνα λυγίσματος και την ευκαμψία
- Γενικά το κόστος
- Την μελέτη των υλικών
- Τις μηχανικές ιδιότητες

#### 5.1 ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Υπάρχουν πολλά μέταλλα χαμηλής ειδικής αντίστασης( ή υψηλής αγωγιμότητας) που μπορεί να χρησιμοποιηθούν σαν αγωγοί για καλώδια ισχύος. Παρακάτω φαίνεται ένας πίνακας με μέταλλα χαμηλής ειδικής αντίστασης στους 20 °C.

Μέταλλα	Ohm-mm <sup>2</sup> /m x 10 <sup>-6</sup>	Ohm-cmil/ft x 10 <sup>-6</sup>
αργυρός	1.629	9.80
χαλκός,ισχυροποιημένος	1.724	10.371
χαλκός ,σκληρά τραβηγμένος	1.777	10.69
χαλκός επικασσιτερωμένος	1.741-1.814	10.47-10.91
αλουμίνιο,μαλακό,61.2% αγωγήμο	2.803	16.82
αλουμίνιο, 1/2 σκληρό σε συνολικά σκληρό	3.828	16.946
Νάτριο	4.3	25.87
Νικέλιο	7.8	46.9

Πίνακας 1:ειδική αντίσταση σε μέταλλα στους 20°C

Λαμβάνοντας υπ όψιν αυτόν τον πίνακα και το κόστος του καθενός από τα παραπάνω υλικά, βλέπουμε ότι ο χαλκός και το αλουμίνιο είναι οι πιο λογικές επιλογές μας. Για αυτό τον λόγο είναι τα επικρατούντα μέταλλα που χρησιμοποιούνται ευρέως στην βιομηχανία των καλωδίων ισχύος σήμερα.

Η επιλογή των αγωγών αλουμινίου και χαλκού πρέπει να είναι προσεχτική ανάλογα τις ιδιότητες των δύο μετάλλων, καθώς το καθένα έχει πλεονεκτήματα που υπερέχουν του άλλου κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες. Οι ιδιότητες που είναι πιο σημαντικές για τους σχεδιαστές καλωδίων φαίνονται στην συνέχεια.

## **5.2. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΟΛΥ ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΣΧΕΔΙΑΣΤΕΣ ΚΑΛΩΔΙΩΝ**

### **5.2.1 DC αντίσταση**

Η αγωγιμότητα του αλουμινίου είναι περίπου 61.2% με 62% μικρότερη απ το χαλκό. Ωστόσο ένας αγωγός αλουμινίου πρέπει να έχει εμβαδόν διατομής περίπου 1.6 φορές μεγαλύτερο από έναν αγωγό χαλκού για να έχει ισοδύναμη dc αντίσταση. Αυτή η διαφορά σε αυτή την περιοχή είναι περίπου ίδια για τα 2 μεγέθη στο AWG.

### **5.2.2 Βάρος**

Ένα απ τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του αλουμινίου, πέρα του οικονομικού, είναι η χαμηλή του πυκνότητα. Η μια μονάδα μήκους ενός γυμνού καλωδίου αλουμινίου ζυγίζει μόνο 48 % όσο το ίδιο μήκος ενός καλωδίου χαλκού έχοντας ισοδύναμη dc αντίσταση. Ωστόσο, αυτό το πλεονέκτημα του βάρους χάνεται όταν ο αγωγός μονώνεται, επειδή



περισσότερος όγκος μόνωσης απαιτείται πάνω απ το ισοδύναμο καλώδιο αλουμινίου για να καλύψει μεγαλύτερη περιφέρεια.

### **5.2.3 Μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση ρεύματος (ampacity)**

Η μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση ρεύματος των αλουμινένιων σε σχέση με τους χάλκινους αγωγούς μπορεί να συγκριθεί με πολλά τεκμήρια. Προφανώς μεγαλύτερο εμβαδόν διατομής απαιτείται για να μεταφέρει το ίδιο ρεύμα με έναν αγωγό χαλκού καθώς φαίνεται στον πίνακα 1.

### **5.2.4 Κανονισμός για την τάση**

Στα ac κυκλώματα έχοντας μικρούς (πάνω από #2/0 AWG) αγωγούς ,και σε όλα τα dc κυκλώματα, το αποτέλεσμα της άεργης αντίστασης είναι αμελητέο. Ισοδύναμο αποτέλεσμα πτώσης τάσης έχουμε σε ένα αλουμινένιο αγωγό που έχει 1.6 φορές μεγαλύτερο εμβαδόν διατομής από αυτό ενός χάλκινου αγωγού.

Σε ac κυκλώματα έχοντας μεγαλύτερους αγωγούς , το επιδερμικό φαινόμενο και το φαινόμενο γεινίασης επηρεάζουν την τιμή της αντίστασης (την ac σε dc αναλογία, που θα το γράφουμε ως ac/dc αναλογία) και το φαινόμενο της άεργης αντίστασης(αντίδρασης) γίνεται σημαντικό. Κάτω από αυτές τις συνθήκες, ο παράγοντας μετατροπής μειώνεται ελαφρώς, φτάνοντας μια τιμή περίπου 1.4.

### **5.2.5 Βραχυκυκλώματα**

Δίδεται προσοχή σε πιθανές συνθήκες βραχυκυκλώματος, καθώς οι χάλκινοι αγωγοί έχουν υψηλότερες ικανότητες στον χειρισμό βραχυκυκλώματος.

### **5.2.6 Άλλοι σημαντικοί παράγοντες**

Επιπλέον προσοχή πρέπει να δοθεί όταν κάνουμε τις συνδέσεις με αλουμινένιους αγωγούς. Όχι μόνο τείνουν να παραμορφώνονται λόγω πολυκαιρίας( αλλάζουν σχήμα) ,αλλά επίσης οξειδώνονται ραγδαία. Όταν το αλουμίνιο εκτίθεται στον αέρα, ένα λεπτό, ανθεκτικό στην διάβρωση, υψηλής διηλεκτρικής δύναμης φιλμ γρήγορα παίρνει μορφή.

Όταν συνδέονται μεταξύ τους αγωγοί αλουμινίου και χαλκού, ειδικές τεχνικές απαιτούνται για να γίνει μια ικανοποιητική σύνδεση. Βλέπε κεφάλαιο για σύνδεση αγωγών.

Το αλουμίνιο δεν χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό στην δημιουργία πχ ενός σταθμού, υποσταθμού, ή φορητών καλωδίων εξαιτίας της χαμηλότερης διάρκειας ζωής όσο αφορά την κάμψη (το λύγισμα) των μικρών νημάτων του αλουμινίου που δεν ικανοποιεί τις μηχανικές απαιτήσεις αυτών των καλωδίων. Ωστόσο αυτό είναι υπερβολική επιλογή για τους εναέριους αγωγούς εξαιτίας της υψηλής του αγωγιμότητας σε αναλογία με το βάρος και για την υπόγεια διανομή σε σχέση με την οικονομία όπου ο χώρος δεν μας απασχολεί ιδιαίτερα. Οικονομικά, το κόστος των δύο μετάλλων πρέπει να ληφθεί υπ όψιν, αλλά πάντα να ζυγιστεί αυτό, μετά το κόστος των υλικών κάλυψης του καλωδίου.

### **5.3 ΜΕΓΕΘΟΙ ΑΓΩΓΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ.**

#### **5.3.1 AWG (AMERICAN WIRE GAUGE) αμερικάνικο σύστημα μέτρησης**

Παντού στον κόσμο υπάρχει, μια σπάνταρ μονάδα καθιερωμένη για να μετρηθούν τα μεγέθη των αγωγών. Στις Η.Π.Α και τον Καναδά, οι ηλεκτρικοί αγωγοί είναι ταξινομημένοι χρησιμοποιώντας το AWG (αμερικάνικο σύστημα μέτρησης). Αυτό το σύστημα είναι βασισμένο στους εξής προσδιορισμούς:

- ✓ Η διάμετρος του μεγέθους #0000 AWG (συνήθως γράφεται #4/0 AWG και το ονομάζουμε “four ought” δηλ τέσσερα μηδενικά) και είναι 0.4600 ίντσες. (δηλ 1.2 cm)
- ✓ Η διάμετρος του μεγέθους #36 AWG είναι 0.0050 ίντσες (δηλ 0.0127 cm)

- ✓ Υπάρχουν 38 ενδιάμεσα μεγέθη ελεγχόμενα με γεωμετρική πρόοδο. Ο αναλογία κάθε διαμέτρου με το επόμενο μικρότερο μέγεθος είναι:

$$\sqrt[39]{\frac{0.4600}{0.0050}} = 1.122932$$

### 5.3.1.1 Συντομεύσεις για εκτιμήσεις.

Το τετράγωνο της παραπάνω αναλογίας (ο λόγος των διαμέτρων δύο διαδοχικών μεγεθών) είναι 1.2610. Λόγω αυτού ,μια αύξηση ενός AWG μεγέθους αποδίδει 12.3 % αύξηση της διαμέτρου και αυξάνει 26.1% στην περιοχή. Η αύξηση δυο AWG μεγεθών έχει σαν αποτέλεσμα μια αλλαγή κατά 1.261 (ή 26.1%) στην διάμετρο και 59% αύξηση της περιοχής (εμβαδού.)

Η έκτη δύναμη του 1.22932 είναι το 2.0050, ή πολύ κοντά στο δύο. Ωστόσο αλλάζοντας έξι AWG μεγέθη περίπου θα διπλασιάσει ή θα μειώσει στο μισό την διάμετρο. Ακόμα μια χρήσιμη συντόμευση είναι ότι το #10 AWG καλώδιο έχει διάμετρο περίπου 0.1 της ίντσας ,για τον χαλκό μια αντίσταση 1 ohm ανά 1000 feet (Ω/mft) (3.2808399 ohm ανά kilometer(Ω/km) ) και βάρος περίπου 10 π ή 31.4 rounds(λίβρα) per 1000 feet.( δηλ 46.72948 kilograms ανα kilometer (kg/km))

Ένας άλλος βολικός κανόνας είναι βασισμένος στο γεγονός ότι η δέκατη δύναμη του 1.2610 είναι 10.1660, ή περίπου 10. Λόγω αυτού για κάθε αύξηση ή μείωση δέκα αριθμών μέτρησης (ξεκινώντας από οπουδήποτε στον πίνακα) το εμβαδόν διατομής, η αντίδραση και το βάρος διαιρούνται ή πολλαπλασιάζονται με περίπου δέκα.

Από κατασκευαστική άποψη, τα AWG μεγέθη έχουν την βολική ιδιότητα ότι τα διαδοχικά μεγέθη αντιπροσωπεύουν περίπου μια μείωση του μεγέθους του καλουπιού στη διαδικασία της σχεδίασης του καλωδίου.

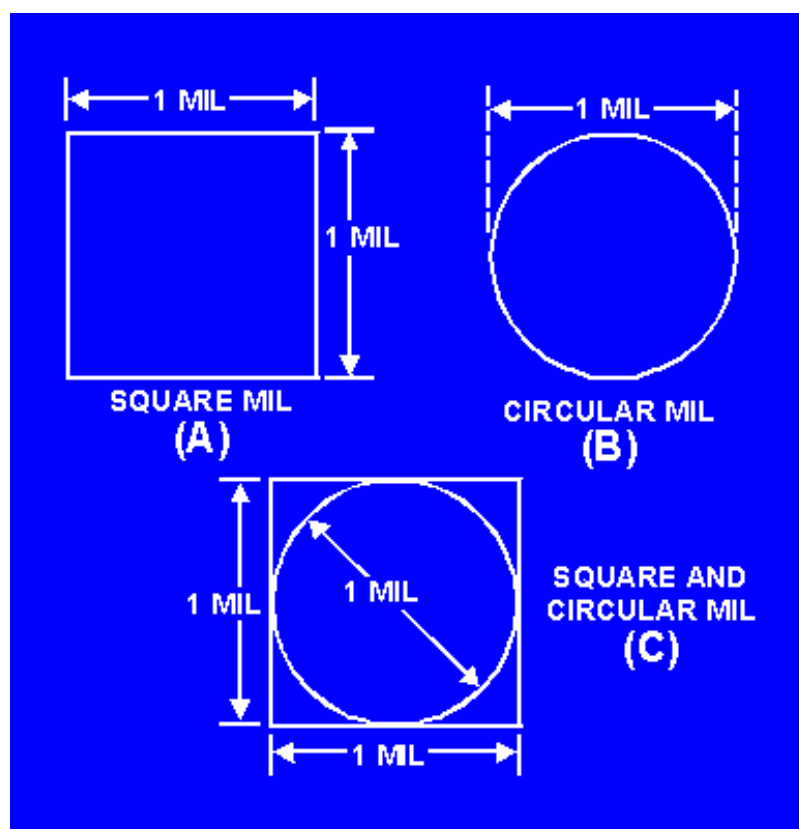
Τα AWG μεγέθη ήταν αρχικά γνωστά σαν Brown and Sharpe Gage (B & S).The Birmingham wire gage (BWG) χρησιμοποιείται για ατσάλινου οπλισμού καλώδια. Στην Βρετανία τα μεγέθη καλωδίων καθορίζονται από

Μελέτη κατασκευαστικών στοιχείων καλωδίων EP YT XLPE και διαμόρφωση δοκιμίου για εργαστηριακές επιδείξεις

το standard wire gage( SWG) και είναι επίσης γνωστά σαν New British Standards (NBS). Στην Ελλάδα χρησιμοποιούμε το International electrotechnical commission (IEC).

### 5.3.2 Μεγέθη σε κυκλικά χιλιοστά της ίντσας (Circular mil)

Εικόνα 1: σύγκριση square mil και circular mil

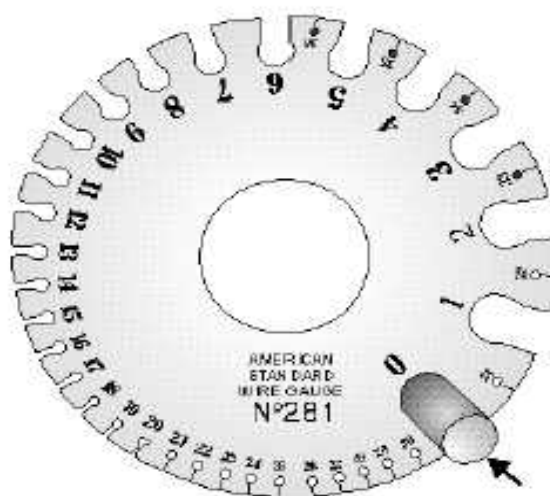


Μεγέθη μεγαλύτερα από #4/0 AWG είναι καθορισμένα από την άποψη του εμβαδού διατομής του αγωγού και εκφράζονται σε κυκλικά χιλιοστά της ίντσας (circular mils) για να αποφύγουμε την χρήση των decimals. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί μια αυθαίρετη περιοχή του αγωγού η οποία επιτυγχάνεται τετραγωνίζοντας ένα συμπαγή αγωγό. Αυτό ρίχνει τον πολλαπλασιαστή  $\pi/4$  που απαιτείται για την πραγματική περιοχή ενός στρογγυλού αγωγού. Ένα κυκλικό χιλιοστό της ίντσας (circular mil) είναι μια μονάδα περιοχής ίση με την περιοχή ενός κύκλου που έχει διάμετρο ενός χιλιοστού της ίντσας (ένα χιλιοστό –mil-) αντιστοιχεί σε 0.001 ίντσες δηλ 0.00254cm). Ένας τέτοιος κύκλος έχει μια περιοχή των 0.7854 (ή  $\pi/4$ ) τετραγωνικών χιλιοστών της

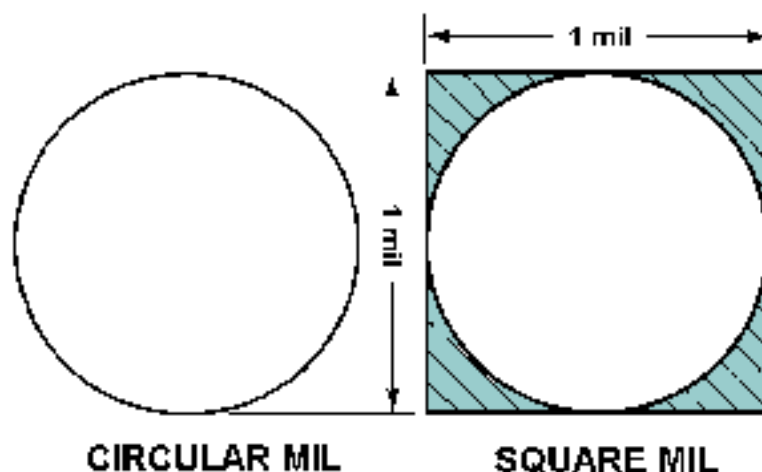
Μελέτη κατασκευαστικών στοιχείων καλωδίων EP YT XLPE και διαμόρφωση δοκιμίου για εργαστηριακές επιδείξεις

ίντσας (square mils). Έτσι ένα καλώδιο 10 mils (χιλιοστών της ίντσας) σε διάμετρο έχει εμβαδόν διατομής 100 circular mils (κυκλικών χιλιοστών της ίντσας). Παρομοίως, μια τετραγωνική ίντσα είναι ίση  $\pi/4$  φορές 1,000,000 square inches = 1,273,000 circular mils (κυκλικά χιλιοστά της ίντσας). Για άνεση αυτό συνήθως εκφράζεται σε χιλιάδες κυκλικά χιλιοστά της ίντσας (circular mils) και σε συντόμευση kcmil (κilo κυκλικό mil) Έτσι, μια κυκλική ίντσα είναι ίση με 1.273 kcmils.

Η συντομογραφία που χρησιμοποιούνται στο παρελθόν για χίλια κυκλικά mils ήταν MCM. Η συντομογραφία στο SI για το εκατομμύριο, M, και για τα κουλόμβς (coulombs), C, εύκολα μπερδεύονταν με παλαιότερους όρους. Η προτιμώμενη συντόμευση είναι kcmils για «χίλια κυκλικά mils» (thousand square mils).



Εικόνα 2: Η μέτρηση των γυμνών αγωγών γίνεται στις εσοχές.



Εικόνα 3: Σύγκριση square mil με circular mil. Να σημειωθεί ότι η σκίαση αντιπροσωπεύει την διαφορά της περιοχής μεταξύ κυκλικών και τετραγωνικών mils.

### 5.3.3 Μετρικός προσδιορισμό μεγεθών και Διεθνές μετρικό σύστημα SI

Όλος ο κόσμος συμπεριλαμβανομένης και της Ελλάδας, εκτός της νότιας Αμερικής, χρησιμοποιεί τις μονάδες του SI για να τετραγωνικά χιλιοστά ( $\text{mm}^2$ ) για να ορίσουν τα μεγέθη των αγωγών. Η διεθνής ηλεκτροτεχνική επιτροπή (international Electrotechnical commission) έχει υιοθετήσει IEC 280 για να καθορίσει αυτά τα μεγέθη. Κάτι που θα πρέπει να έχουμε υπ όψιν είναι ότι αυτά δεν είναι ακριβής μεγέθη. Για παράδειγμα, των  $50 \text{ mm}^2$  αγωγός είναι στην πραγματικότητα  $47 \text{ mm}^2$ . Για διευκόλυνση όλων, τα IEC στάνταρ επιτρέπουν 20 % απόκλιση στην περιοχή του αγωγού από το ορισμένο μέγεθος.

Μια σύγκριση των 2 συστημάτων μπορούμε να δούμε στο παράρτημα Α. Κονέκτορες συμπίεσης, ιδιαίτερα για αλουμίνιο, είναι ευαίσθητοι στις μεταβλητότητες (στις αλλαγές) του μεγέθους. Το #1/0 AWG δεν είναι αρκετά κοντά σε κανένα απ τα SI μεγέθη ώστε μια άμεση αντικατάσταση να είναι δυνατή χωρίς να αλλάξει απαραίτητως ο αγωγός και να εξασθενίσει κανένα από το  $50 \text{ mm}^2$  ή  $70 \text{ mm}^2$  μεγέθη. Ακόμα και τα  $1000 \text{ kcmil}$  ( $1974 \text{ mm}^2$ ) μέγεθος είναι σχετικά μικρότερο από το στάνταρ SI μέγεθος των  $2000 \text{ mm}^2$ .

Στον Καναδά, μετρικοί προσδιορισμοί χρησιμοποιούνται για όλα όλες τις διαστάσεις καλωδίου εκτός απ το μέγεθός του αγωγού. Η ποικιλία των δύο συστημάτων είναι πολύ μεγάλη για να χρησιμοποιήσεις τα SI μεγέθη σαν άμεση αντικατάσταση στα στάνταρ μεγέθη. Παρακάτω φαίνονται πίνακες με αντιστοιχίες μεγεθών στα παραπάνω μεγέθη που αναφέρθηκαν:

Πίνακες 3 κ 4: Αντιστοιχίες AWG σε Μετρικά μεγέθη και kcmils σε Metric.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3		
AWG <==> Metric		
AWG	mm <sup>2</sup>	Metric
		0.50
#20	0.519	
		0.75
#18	0.823	
		1.0
#16	1.310	
		1.5
#14	2.080	
		2.5
#12	3.310	
		4.0
#10	5.261	
		6.0
#8	8.367	
		10
#6	13.30	
		16
#4	21.15	
		25
#3	26.67	
#2	33.62	
		35
#1	42.41	
		50
#0	53.49	
#2/0	67.43	
		70
#3/0	85.01	
		95
#4/0	107.2	

ΠΙΝΑΚΑΣ 4		
kcmil<==>Metric		
kcmil	mm <sup>2</sup>	Metric
250	127	
		150
300	152	
350	177	
		185
400	203	
		240
500	253	
		300
600	304	
700	355	
750	380	
		400
800	405	
900	456	
		500
1000	507	
		630
1250	633	
1500	760	
		800
1750	887	
		1000
2000	1013	

### 5.3.4 Γιαπωνέζικα μεγέθη

Η Ιαπωνία και η Κορέα χρησιμοποιούν διαφορετικό σύστημα. Όμως εμφανίζεται να βασίζεται στο Αμερικάνικο σύστημα μέτρησης AWG αλλά τα μεγέθη είναι σε square millimeters στρογγυλεμένα και με λιγότερα βήματα. Βλέπε πίνακα 4 που ακολουθεί:

Πίνακας 4: Ιαπωνικό σύστημα μέτρησής μεγεθών

Japanese sizes	
mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>
0.75	100
1.25	250
2.0	200
3.5	250
5.5	325
8.0	400
14	500
22	600
38	800
60	1000

### 5.4. ΠΕΠΛΕΞΗ (STRANDING)

Μεγαλύτερα μεγέθη συμπαγών αγωγών γίνονται πολύ άκαμπτα για να τοποθετηθούν, μορφοποιηθούν και να τερματιστούν. Η πέπλεξη είναι η λύση σε αυτές τις δυσκολίες. Το ζήτημα, που η πέπλεξη πρέπει να χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από τον τύπο του μετάλλου καθώς επίσης και από το μείγμα αυτού του μετάλλου. Οι χάλκινοι αγωγοί είναι συχνά πλεγμένοι σε #6 AWG και μεγαλύτερα. Το αλουμίνιο επειδή είναι ημίσκληρο μείγμα, μπορεί εύκολα να χρησιμοποιηθεί σαν συμπαγής αγωγός πάνω από #2/0 AWG αγωγός.

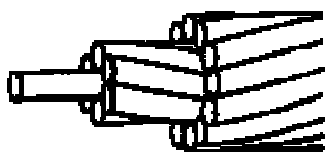
Υπάρχουν τέσσερα είδη πέπλεξης :

- Ομοαξονική πέπλεξη (concentric stranding)
- Συμπιεσμένη πέπλεξη (Compressed stranding)
- Συμπαγής πέπλεξη (Compact stranding)



- Δέσμη ή ομάδα πέπλεξης (Bunch stranding)

#### 5.4.1 Ομοαξονική πέπλεξη (concentric stranding or <<true concentric>>stranding)



Εικόνα 1:ομοαξονική πέπλεξη αγωγού.

Αυτή είναι μια τυπική επιλογή για αγωγούς καλωδίων ισχύος. Αυτό αποτελείται από ένα κεντρικό σύρμα ή ένα πυρήνα περιτριγυρισμένο από ένα ή πολλά στρώματα από ελικοειδής εφαρμοσμένα σύρματα. Κάθε επιπλέον στρώμα έχει έξι περισσότερα σύρματα από το προηγούμενο στρώμα. Εκτός από την μονοστρωματική κατασκευή, κάθε στρώμα εφαρμόζεται σε μία κατεύθυνση αντίθετη από αυτή του στρώματος που βρίσκεται από κάτω του όπως φαίνεται και στην εικόνα 2 β. Στην περίπτωση των αγωγών καλωδίων ισχύος ,ο πυρήνας είναι ένα μονό σύρμα και όλα τα νήματα έχουν την ίδια διάμετρο. Το πρώτο στρώμα πάνω απ τον πυρήνα περιέχει 6 σύρματα, το δεύτερο δώδεκα, το τρίτο δεκαοκτώ κοκ. Η απόσταση που χρειάζεται για ένα νήμα του αγωγού να κάνει μια πλήρης περιστροφή του στρώματος καλείται << length of the lay>> (μήκος του στρώματος). Οι απαιτήσεις για το μήκος του στρώματος διατυπώνονται στις προδιαγραφές ASTM, [3-5 πίνακας παράρτημα Α],για να είναι όχι λιγότερο από 8 φορές ούτε περισσότερο από 16 φορές την ολική διάμετρό (OD) αυτού του στρώματος.

Στα καλώδια ισχύος, η στάνταρ πέπλεξη είναι η κλάση B.( Class B). Η λεπτομερής παρουσίαση απαιτεί ότι το εξώτατο στρώμα είναι ενός αριστερού στρώματος. Αυτό σημαίνει ότι καθώς κοιτάς κατά μήκος του άξονα του αγωγού ,το εξώτατο στρώμα από νήματα στρίβει προς τα αριστερά καθώς αποτραβιέται ο παρατηρητής. Περισσότερη ευκαμψία επιτυγχάνεται αυξάνοντας τον αριθμό των συρμάτων σε ένα αγωγό. Η

Μελέτη κατασκευαστικών στοιχείων καλωδίων EP YT XLPE και διαμόρφωση δοκιμίου για εργαστηριακές επιδείξεις

κλάση C (class C) έχει ένα παραπάνω στρώμα από την κλάση B. Η κλάση D έχει ένα περισσότερο απ την C κοκ. Ο προσδιορισμός της κλάσης πηγαίνει μέχρι το M (που συνήθως χρησιμοποιείται για συγκολλούμενα καλώδια κτλ).Αυτά καλύπτονται από προδιαγραφές της ASTM , που φαίνονται στους πίνακες 1 ,2 ,3.

Οι κλάσεις C και D έχουν περίπου το ίδιο βάρος σαν την κλάση B και ολική διάμετρο (OD) μέσα σε 3 mils (χιλιοστά της ίντσας ) από τους αγωγούς κλάσης B. Παραδείγματα της κλάσης B (στάνταρ), κλάσης C (εύκαμπτα) και κλάση D (έχτρα εύκαμπτα) φαίνονται στον παρακάτω πίνακα με τον αριθμό των νημάτων και την διάμετρο κάθε νήματος:

<b>Μέγεθος</b>	<b>κλάση B</b>	<b>κλάση C</b>	<b>κλάση D</b>
#2 AWG	7 x 0.0974	19 x 0.0591	37 x 0.0424
#4/0 AWG	19 x 0.1055	37 x 0.0756	61 x 0.0589
500 kcmil	37 x 0.1162	61 x 0.0905	91 x 0.0741
750 kcmil	61 x 0.1109	91 x 0.0908	127 x 0.0768

Πίνακας 1.A:παραδείγματα για τις κλάσεις B, C και D πέπλεξη

Επίσης στον πίνακα 1B φαίνονται οι κλάσεις και η χρήση τους. Εδώ βλέπουμε ότι για τα καλώδια εναλλασσόμενου ρεύματος υψηλής τάσης δικτυωμένου πολυαιθυλενίου χρησιμοποιούμε τις κλάσεις B και C

Πίνακας 1.B: κλάσεις πέπλεξης.

Μελέτη κατασκευαστικών στοιχείων καλωδίων EP YT XLPE και διαμόρφωση δοκιμίου για εργαστηριακές επιδείξεις

ASTM Standard	Construction	Class	Application
<b>B8</b>	Concentric lay	AA	For bare conductors—usually used in overhead lines.
		A	For bare conductors where greater flexibility than is afforded by Class AA is required.
		B	For conductors insulated with various materials such as EP, XLP, PVC, etc. This is the most common class.
		C D	For conductors where greater flexibility is required than is provided by Class B.
<b>B173</b>	Rope lay with concentric-stranded members	G	Conductor constructions having a range of areas from 5,000,000 circular mils and employing 61 stranded members of 19 wires each down to No. 14 AWG containing 7 stranded members of 7 wires each. Typical uses are for portable (flexible) conductors and similar applications.
		H	Conductor constructions having a range of areas from 5,000,000 circular mils and employing 91 stranded members of 19 wires each down to No. 9 AWG containing 19 stranded members of 7 wires each. Typical uses are for rubber-jacketed cords and conductors where flexibility is required, such as for use on take-up reels, over sheaves and extra-flexible apparatus conductors.

ASTM Standard	Construction	Class	Conductor Size	Individual Wire Size		Application
			kcmil/AWG	In	AWG	
B172	Rope lay with bunch-stranded members	I	Up to 2,000	0.0201	24	Typical use is for special apparatus cable.
		K	Up to 2,000	0.0100	30	Typical use is for portable cord.
		M	Up to 1,000	0.0063	34	Typical use is for welding cable.
B174	Bunch stranded	I	7, 8, 9, 10	0.0201	24	Rubber-covered conductors.
		J	10, 12, 14, 16, 18, 20	0.0126	28	Fixture wire.
		K	10, 12, 14, 16, 18, 20	0.0100	30	Fixture wire, flexible cord, and portable cord.
		L	10, 12, 14, 16, 18, 20	0.0080	32	Fixture wire and portable cord with greater flexibility than Class K.
		M	14, 16, 18, 20	0.0063	34	Heater cord and light portable cord.
		O	16, 18, 20	0.0050	36	Heater cord with greater flexibility than Class M.
		P	16, 18, 20	0.0040	38	More flexible conductors than provided in preceding classes.
		Q	18, 20	0.0031	40	Oscillating fan cord. Very good flexibility.

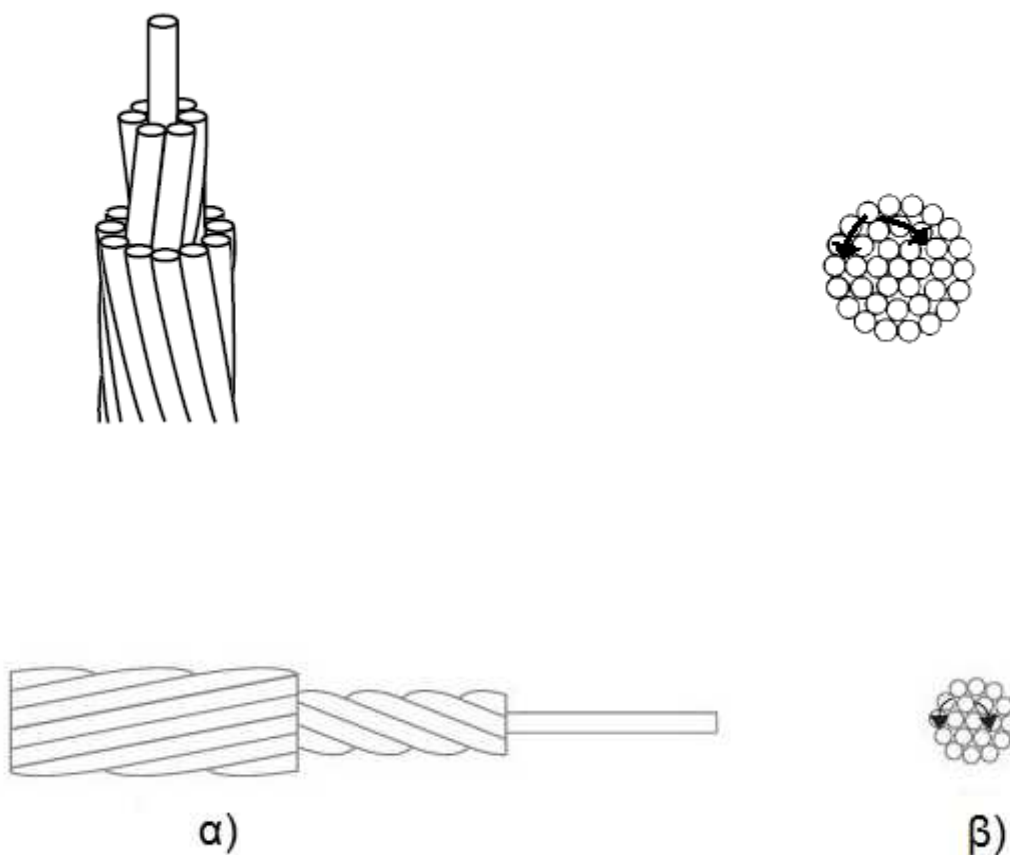
Μελέτη κατασκευαστικών στοιχείων καλωδίων ΕΡ ΥΤ ΧΛΡΕ και διαμόρφωση δοκιμίου για εργαστηριακές επιδείξεις

ο παρακάτω τύπος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την μέτρηση των συρμάτων σε ένα ομοαξονικής πέπλεξης αγωγό.

$$n = 1 + 3 N ( N + 1 )$$

Όπου n=συνολικός αριθμός των συρμάτων σε πλεγμένους αγωγούς

N= ο αριθμός των στρωμάτων γύρο από το κεντρικό σύρμα.



Εικόνα 2: α) αγωγός με ομοαξονική πέπλεξη β) τομή αγωγού με κατευθύνσεις στρωμάτων.

#### 5.4.2 Συμπιεσμένη πέπλεξη (compressed stranding)



Εικόνα 3:συμπιεσμένη πέπλεξη αγωγού.

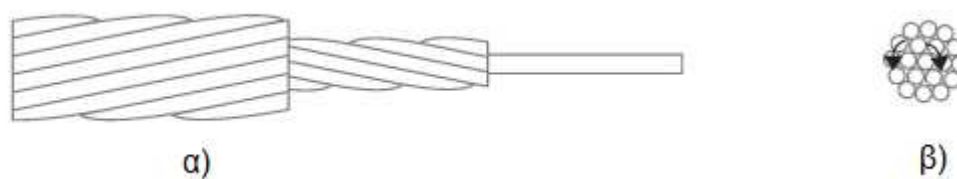
Αυτός είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει μια ελαφριά παραμόρφωση( του σχήματος)των στρώματων για να επιτρέψει στο στρώμα να εφαρμοστεί όσο το δυνατόν πιο κοντά και σφιχτά .Δεν υπάρχει μείωση στην εμβαδόν του αγωγού. Η διάμετρος του τελειωμένου καλωδίου μπορεί να μειωθεί όχι περισσότερο από 3% από το ισοδύναμο ομοαξονικό πλέγμα. Μια τυπική αναγωγή είναι περίπου 2,5%.Παραδείγματα από κενά στο εξωτερικό στρώμα για τα καλώδια με ομοαξονικά πλεγμένα καλώδια φαίνονται στον πίνακα 2

<b>Συνολικός αριθμός νημάτων</b>	<b>Γωνία των κενών στα 16 χ OD</b>
19	8.3°
37	10°
61	10°

Πίνακας 2: Κενά στο εξωτερικό στρώμα ενός πλεγμένου αγωγού.

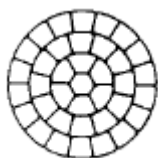
Μικραίνοντας το μήκος τους στρώματος στα εξωτερικά στρώματα μπορούμε να λύσουμε το πρόβλημα αλλά μπορεί να έχει αποτέλεσμα μια υψηλότερη αντίσταση και μπορεί να απαιτηθεί περισσότερο υλικό για τον αγωγό.

Ο λόγος που η συμπιεσμένη πέπλεξη είναι μια άριστη κατασκευή είναι γιατί η ομοαξονική πέπλεξη με το οριζόμενο μήκος στρώματος δημιουργεί ένα μικρό κενό μεταξύ των εξωτερικών νημάτων ενός τέτοιου αγωγού. Μικρότερου ιξώδες υλικά που εξωθούνται πάνω από ένα τέτοιο αγωγό τείνουν να «βυθίζονται μέσα» σε κάθε κενό που σχηματίζεται. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα επιφανειακές ανωμαλίες οι οποίες δημιουργούν αύξηση στην τάση πιέζουν και κάνουν ποιο δύσκολο να απογυμνώσεις το στρώμα.



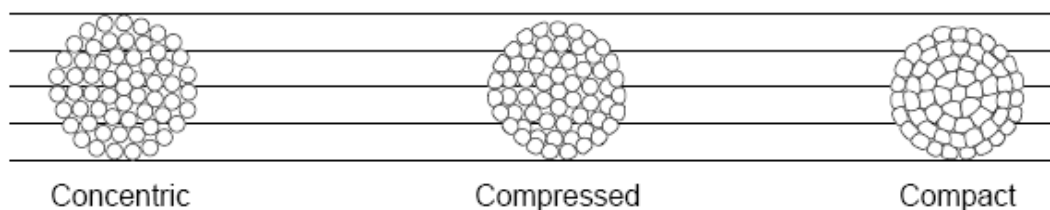
Εικόνα 4: α) αγωγός με συμπιεσμένη πέπλεξη β) τομή αγωγού με κατευθύνσεις στρωμάτων

### **5.4.3 Συμπαγής πέπλεξη (compact stranding)**



Εικόνα 5: Τομή αγωγού συμπαγής πέπλεξης

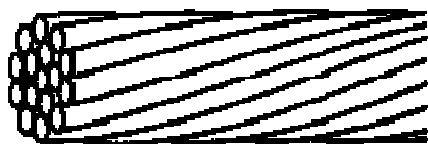
Αυτή είναι παρόμοια με την συμπιεσμένη πέπλεξη εκτός από την επιπλέον μορφοποίηση που δίδεται στον αγωγό ώστε η αναγωγή στην διάμετρο να είναι 10 % λιγότερη από του ομοαξονικά πλεγμένου αγωγού. Αυτό οδηγεί σε μια διάμετρο που πλησιάζει σε συμπαγή αγωγό. Κενά αέρα είναι ακόμα παρόν και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν κανάλια μετανάστευσης της υγρασίας. Στην εικόνα 6 γίνεται μια σύγκριση.



Εικόνα 6: Σύγκριση της συμπαγούς πέπλεξης με τις ομοαξονική και συμπιεσμένη.

Όπως παρατηρούμε στην εικόνα η συμπαγής διαφέρει ελάχιστα σε διάμετρο με την συμπιεσμένη ενώ τα κενά τους παρουσιάζουν σημαντική διαφορά αφού είναι σαφώς μεγαλύτερα της συμπιεσμένης.

#### 5.4.4 Δέσμη- ομάδα πέπλεξης (bunch stranding)



Εικόνα 7:Αγωγός με πέπλεξη ομάδας

Αυτός ο όρος αναφέρεται σε ένα σωρό από νήματα στριμμένα μαζί στην ίδια κατεύθυνση χωρίς προσοχή στις γεωμετρικούς κανονισμούς. Αυτή η κατασκευή χρησιμοποιείται όταν μεγάλη ευκαμψία απαιτείται για μικρά μεγέθη, όπως φορητά καλώδια. Παραδείγματα αγωγών με τέτοια πέπλεξη είναι καλώδια για ηλεκτρικές σκούπες ,καλώδια επέκτασης για μηχανές γκαζόν κτλ. Παραδείγματα είναι:

Μέγεθος αγωγού	Κλάση	
	K	M
#16	26 X 0.0100	65 X 0.0063
#14	41 X 0.0100	104 X 0.0063
#12	65 X 0.0100	168 X 0.0063

Πίνακας 3:παραδείγματα για τις κλάσης K και M πέπλεξης.

Πρέπει επίσης να πούμε ότι στις κλάσεις K και M όπου οι διάμετροι ενός ατομικού καλωδίου είναι σταθερές και η περιοχή επεκτείνεται προσθέτοντας επαρκής αριθμό καλωδίων για να παρέχουμε την ολική περιοχή αγωγού που απαιτείται.



Εικόνα 8: α) αγωγός με δέσμη-ομάδα πέπλεξης β) τομή αγωγού

#### 5.4.5 Σχοινοειδής πέπλεξη (rope stranding )

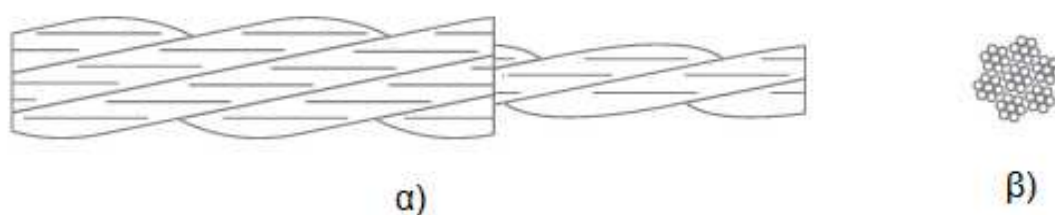


Εικόνα 9: Αγωγός σχοινοειδής πέπλεξης.

Αυτός ο όρος σχοινοειδής πέπλεξη είναι εφαρμόσιμος σε ομοαξονικά πλεγμένο αγωγό ,του οποίου τα αποτελούμενα νήματα τα ίδια συστρέφονται. Αυτός είναι ένας συνδυασμός ομοαξονικού αγωγού και αγωγού δέσμης –ομάδας πλέγματος. Ο τελειωμένος αγωγός αποτελείται από ένα αριθμό ομάδων ομοαξονικών ή δέσμη-ομάδας πέπλεξης αγωγών συναρμολογημένοι ομοαξονικά μαζί. Οι μεμονωμένες ομάδες αποτελούνται από ένα αριθμό συρμάτων παρά από ένα μονό, μεμονωμένο νήμα. Ένας σχοινοειδή πεπλεγμένος αγωγός περιγράφεται δίδοντας των αριθμό των ομάδων που είναι τοποθετημένα μαζί για να μορφοποιήσουν το σχοινί και τον αριθμό των συρμάτων σε κάθε ομάδα. Η σχοινοειδής πέπλεξη έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να αυξήσει την ευκαμψία χρησιμοποιώντας ένα μεγαλύτερο αριθμό λεπτότερων νημάτων καθώς διατηρεί μια σφιχτότερη ανοχή διαμέτρων από μια απλή συσσωρευμένη κατασκευή όπως η πέπλεξη



σε δέσμη-ομάδα. Τα σχοινιά αυτά είναι πιο ευδιάκριτα σε μεγαλύτερα μεγέθη αγωγών αλλά είναι και σε πολλές εφαρμογές σε μικρότερα μεγέθη όπου θέλουμε μεγάλη ευκαμψία. Η κατασκευή αγωγών με σχοινοειδή πέπλεξη μπορεί να περιέχει εκατοντάδες ή χιλιάδες νήματα.



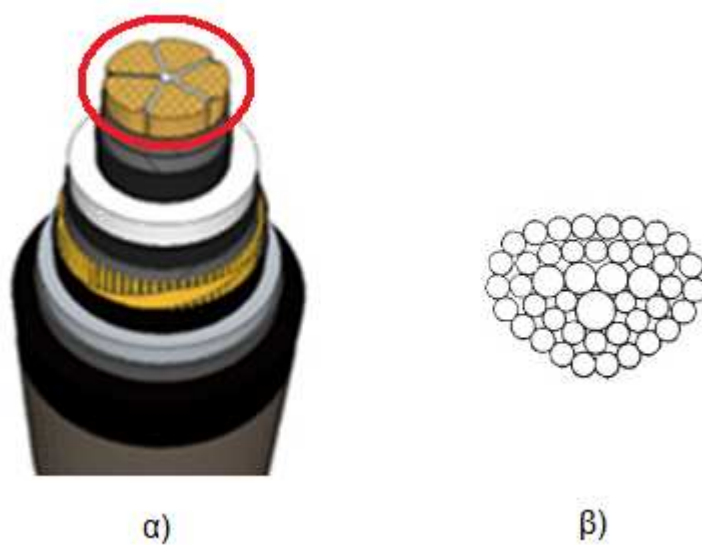
Εικόνα 10: α) αγωγός σε σχοινοειδή πέπλεξη, β) τομή αγωγού

Οι κλάσεις G κ Η χρησιμοποιούνται γενικός στα φορητά καλώδια για μεταλλευτικές εφαρμογές. Οι κλάσεις I,L και M αξιοποιούν μελή αγωγών με πέπλεξη ομάδας, συναρμολογημένων σε ομοαξονική ρύθμιση. Το μεμονωμένο μέγεθος σύρματος είναι το ίδιο με περισσότερα σύρματα που προστίθενται ,ανάλογα με τις ανάγκες, για να παρέχουν την περιοχή. Η κλάση I χρησιμοποιεί # 24 AWG (0.020 ίντσες) ατομικά καλώδια, η κλάση L χρησιμοποιεί # 30 AWG (0.010 ίντσες) ατομικά καλώδια, και η κλάση M χρησιμοποιεί #34 AWG (0.0063 ίντσες) ατομικά καλώδια. Η κλάσης I πέπλεξης γενικά χρησιμοποιείται για σιδηροδρομικές εφαρμογές και οι κλάσεις L και M χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις ακραίας μεταφερσιμότητας όπως καλώδια συγκόλλησης και φορητά καλώδια με πρίζα.

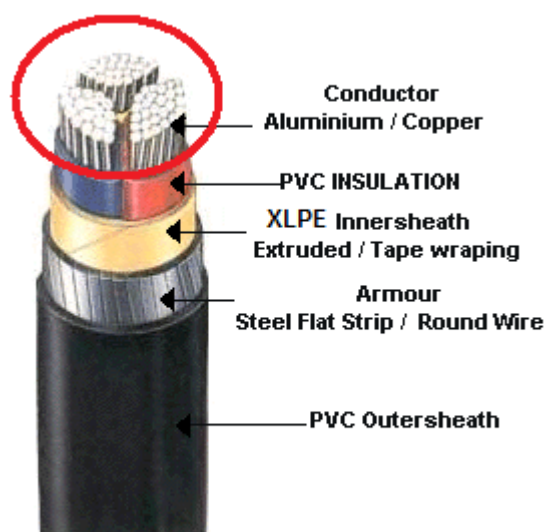
#### 4.5 ΕΙΔΗ ΑΓΩΓΩΝ

- Τομεακοί αγωγοί (sector conductors)
- Τμηματικοί αγωγοί (segmental conductors)
- Δακτυλοειδής αγωγοί (annular conductors)
- Μονοστρωματικοί αγωγοί (unilay conductors)

##### 5.4.1 Τομεακοί αγωγοί (sector conductors)



Εικόνα 1.1: α) Αγωγός αποτελούμενος από 5 τομείς β) τομή ενός τομέα.



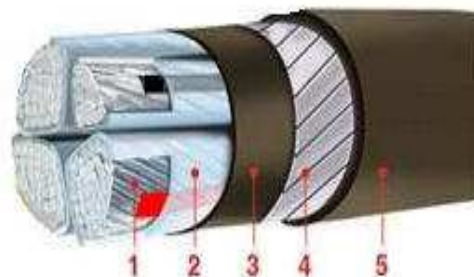
Εικόνα 1.2 : καλώδιο με αγωγό 3 τομέων.

Αυτοί έχουν μια διατομή σε μέγεθος περίπου του σχήμα ενός τομέα ενός κύκλου. Ένα τυπικό τριών αγωγών καλώδιο (Εικόνα 1.2) έχει τρία κυκλικά τμήματα των  $120^\circ$  που συνδυάζονται για να σχηματίσουν τον βασικό κύκλο του τελειωμένου καλωδίου. Τέτοια καλώδια έχουν μικρότερη διάμετρο από τα αντίστοιχα καλώδια με στρογγυλούς αγωγούς.

Για καλώδια με μόνωση χαρτιού, ο τομεακός αγωγός είναι πάντα σχεδόν πλεγμένος και συμπαγής για να μπορούμε να πετύχουμε την υψηλότερα δυνατή αναλογία μεταξύ της περιοχής αγωγού με την περιοχή του καλωδίου. Το ακριβές σχήμα και οι διαστάσεις ποικίλουν μεταξύ των κατασκευαστών.

Οι τομεακοί αγωγοί που είναι συμπαγής αντί για πεπλεγμένοι χρησιμοποιούνται για χαμηλής τάσης καλώδια σε περιορισμένη βάση. Υπάρχει ενδιαφέρον στην αξιοποίηση αυτού του τύπου για μέσης τάσης καλώδια αλλά δεν είναι διαθέσιμα από εμπορικής άποψης την ίδια στιγμή.

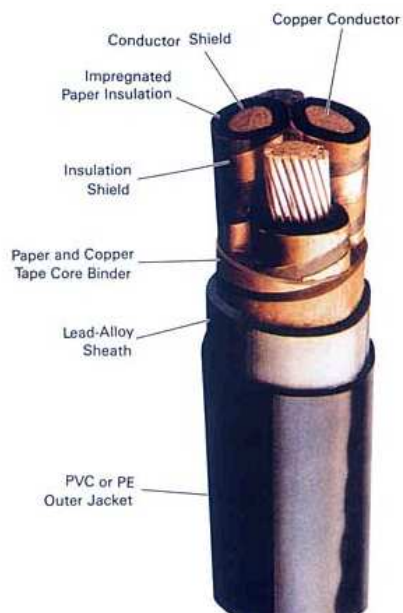
Μελέτη κατασκευαστικών στοιχείων καλωδίων EP YT XLPE και διαμόρφωση δοκιμίου για εργαστηριακές επιδείξεις



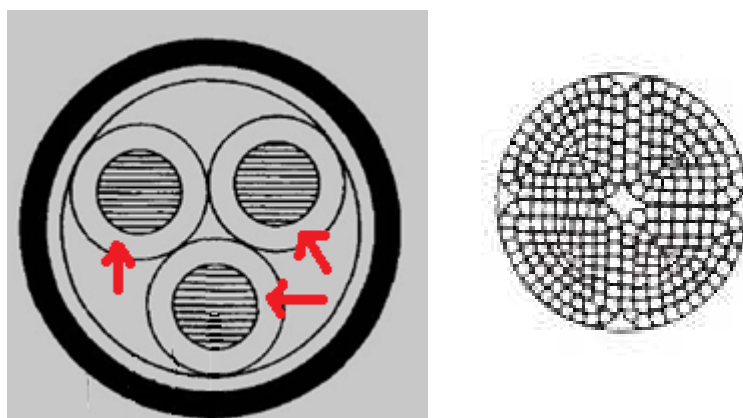
1. Conductor : Aluminium / Copper
2. Insulation : XLPE
3. Innersheath : PVC (Extruded / Tape wrapping)
4. Armour : Flat Strip / Round Wire
5. Outersheath : PVC Overall sheath

Εικόνα 1.2 Καλώδιο αποτελούμενο από 4 τομείς αλουμινίου

### 5.5.2 Τμηματικοί αγωγοί (segmental conductors)



Εικόνα 2: Αγωγός τριών τομέων με μόνωση γύρο από κάθε τομέα.

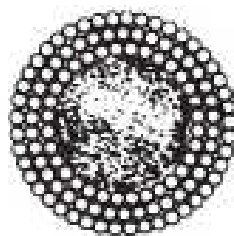


Εικόνα 3: τομή καλωδίου με τμηματικούς αγωγούς όπου με βέλος φαίνεται η μόνωση των τομέων.

Είναι στρογγυλοί, πλεγμένοι αγωγοί συγκροτημένοι από τρεις ή περισσότερους τομείς που είναι ηλεκτρικά απομονωμένοι μεταξύ τους από ένα λεπτό στρώμα μόνωσης γύρο από κάθε κυκλικό τμήμα. Κάθε κυκλικό τμήμα μεταφέρει λιγότερο ρεύμα από τον ολικό αγωγό και το ρεύμα αλληλομεταθέεται μεταξύ εσωτερικών και εξωτερικών θέσεων σε ολόκληρο το καλώδιο. Αυτή η κατασκευή έχει το πλεονέκτημα να χαμηλώνει την ac αντίσταση έχοντας μικρότερο επιδερμικό φαινόμενο από ένα τυπικά πλεγμένο αγωγό. Αυτό το είδος του αγωγού πρέπει να ληφθεί υπ όψιν για μεγάλα μεγέθη όπως των 1000 kcmil και παραπάνω.



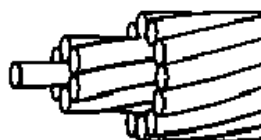
### 5.5.3 Δακτυλιοειδής αγωγοί (annular conductors)



Εικόνα 4: Τομή ενός δακτυλιοειδή αγωγού.

Είναι στρογγυλοί, πλεγμένοι αγωγοί των οποίων τα νήματα τοποθετούνται γύρω από ένα πυρήνα από σχοινί, ινώδες υλικό, ελικοειδής μεταλλικός σωλήνας, ή σπειροειδή δοκό διατομής σχήματος I. Αυτή η κατασκευή έχει ένα πλεονέκτημα να χαμηλώνει την ολική ac αντίσταση για ένα δοσμένο εμβαδόν διατομής ενός αγωγού εξαλείφοντας το μεγαλύτερο επιδερμικό φαινόμενο (skin effect) στο κέντρο του τελειωμένου καλωδίου. Εκεί όπου ο χώρος είναι διαθέσιμος, οι δακτυλιοειδής αγωγοί μπορεί να είναι οικονομικοί για χρήση σε 1000 kcmil καλώδια (και παραπάνω) στα 60 Hz και σε 1500 kcmil καλώδια (και παραπάνω) σε χαμηλότερες συχνότητες όπως στα 25 hertz.

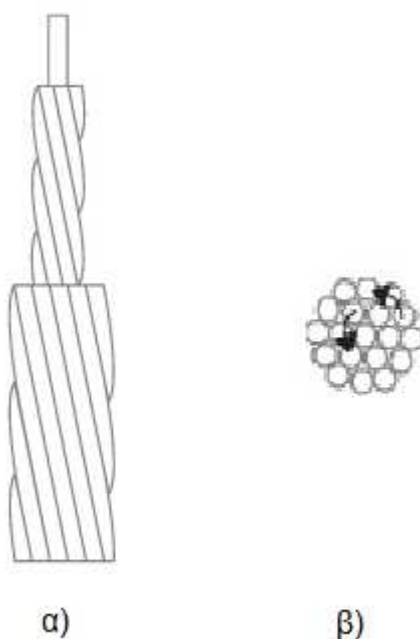
### 5.5.4 Μονοστρωματικοί αγωγοί (unilay conductors)



Εικόνα 5: Μονοστρωματικής πέπλεξης αγωγός

Ο μονοστρωματικός αγωγός, όπως το όνομα τους λέει, όλα του τα νήματα είναι εφαρμοσμένα με την ίδια κατεύθυνση με αυτή του στρώματος (lay).

Ένα σχέδιο που χρησιμοποιείται συνήθως σε χαμηλής τάσης καλώδια ισχύος είναι ο συνδυασμός μονοστρωματικού, όπου το εξωτερικό στρώμα από νήματα είναι μερικά συντιθέμενο από νήματα που έχουν μικρότερη διάμετρο από τα άλλα νήματα. Αυτό κάνει δυνατό να πετύχουμε την ίδια διάμετρο με ένα συμπαγή πεπλεγμένο αγωγό. Ο πιο κοινός μονοστρωματικός αγωγός είναι ένας συμπαγής, κράματος αλουμινίου σειρά 8000.



Εικόνα 6:α) μονοστρωματικής πέπλεξης αγωγός β) τομή αυτού (τα βέλη δείχνουν την κατεύθυνση κάθε στρώματος).

#### 4.6 Επενδύσεις αγωγών (Coatings)

Συνήθως έχουμε την χρήση τριών υλικών ως επενδύσεις αγωγών χαλκού τα οποία είναι ο κασσίτερος, το ασημί και νικέλιο.

**Κασσίτερος:** είναι το πιο κοινό και χρησιμοποιείται εξαιτίας της αντοχής του στην διάβρωση και της ευκολίας συγκόλλησης του.

Μελέτη κατασκευαστικών στοιχείων καλωδίων ΕΡ ΥΤ XLPE και διαμόρφωση δοκιμίου για εργαστηριακές επιδείξεις

**Ασήμι** : ασημένιοι επιμεταλλωμένοι αγωγοί χρησιμοποιούνται σε περιβάλλον με υψηλή θερμοκρασία (150 °C - 200°C). Επίσης χρησιμοποιείται για υψηλής συχνότητας εφαρμογές όπου η υψηλή αγωγιμότητα του ασημιού (καλύτερη από του χαλκού ) και το επιδερμικό φαινόμενο δουλεύουν μαζί ώστε να μειώσουν την εξασθένηση που παρατηρείται σε υψηλές συχνότητες.

**Νικέλιο**: Επενδύσεις νικελίου χρησιμοποιούνται για αγωγούς που λειτουργούν μεταξύ 200°C και 450°C. Σε αυτές τις υψηλές θερμοκρασίες, ο χαλκός οξειδώνεται ραγδαία αν δεν επιμεταλλωθεί με νικέλιο. Ωστόσο ένα μειονέκτημα του νικελίου είναι η φτωχή συγκολλητικότητα.



## **5.B ΜΟΝΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΓΙΑ ΚΑΛΩΔΙΑ**

### **5.1 ΓΕΝΙΚΑ**

Υλικά με ηλεκτρική μόνωση χρησιμοποιούνται πάνω από τους μεταλλικούς αγωγούς των υπογείων καλωδίων σε όλες τις βαθμίδες τάσεως. Τα πολυμερή υλικά χρησιμοποιούνται σαν μόνωση, αλλά η φύση των πολυμερών μπορεί να ποικίλει ανάλογα την κλάση της τάσης.

Τα καλώδια μεταφοράς τα οποία καθορίζονται σαν καλώδια που λειτουργούν πάνω από 46 KV, χρησιμοποιούν παραδοσιακά συστήματα χαρτιού/λαδιού σαν μόνωση. Το χαρτί τοποθετείται σαν ένα λεπτό φιλμ που καλύπτει τον πυρήνα του καλωδίου. Μερικά χρόνια πριν, είχε αναπτυχθεί μια ποικιλία από χαρτιά μόνωσης, και το υλικό ήταν ένα πολυστρωματικό χαρτί με πολυπροπυλένιο.(PPP ή PPLP). Από την εμφάνιση του συνθετικού πολυμερούς και της ανάπτυξης του, το πολυαιθυλένιο (PE) χρησιμοποιείται σαν μονωτικό υλικό και στις περισσότερες χώρες (εκτός της Γαλλίας) η χρήση του πολυαιθυλενίου περιορίστηκε σε δικτυωμένο πολυαιθυλένιο (XLPE). XLPE θεωρείται ότι είναι ένα υλικό που επιλέγεται συχνά λόγω της εύκολης επεξεργασίας και χειρισμού του, παρ'όλο που τα συστήματα χαρτιού/λαδιού έχουν μεγαλύτερη ιστορία στην χρήση και περισσότερες πληροφορίες όσο αφορά την αξιοπιστία αυτών.

Για τις κατηγορίες τάσεων διανομής (κυρίως στα 15 KV με 35 KV) το αρχικό υλικό που χρησιμοποιείτο στο παρελθόν ήταν συνήθως πολυαιθυλένιο (PE). Ωστόσο, αυτό αντικαταστάθηκε από δικτυωμένο πολυαιθυλένιο (XLPE) σαν υλικό της επιλογής την δεκαετία του 1980. Το εγκατεστημένο πολυαιθυλένιο (PE) - τα μονωμένα καλώδια βαθμιαία αντικαταστάθηκαν. Τα τελευταία χρόνια, τα αιθυλένιο προπυλένιο συν ή τρι- πολυμερή (co or ter polymers) έχουν χρησιμοποιηθεί.(EPR ή ERDM αντιστοίχως) Η χρήση του EPR, το οποίο είναι ένα ελαστομερές, (XLPE είναι ημί κρυσταλλικό) απαιτεί ενσωμάτωση των ανόργανων μεταλλικών ενδιάμεσων κενών. Ο όρος EPR έχει χρησιμοποιηθεί για να περιγράψει γενικώς και τα EPR και τα EPDM καλώδια και αυτήν την ονοματολογία θα χρησιμοποιήσουμε παρακάτω όταν αναφερόμαστε σε αυτά.

Μελέτη κατασκευαστικών στοιχείων καλωδίων ΕΡ ΥΤ ΧΛΡΕ και διαμόρφωση δοκιμίου για εργαστηριακές επιδείξεις

Ακόμα και σε χαμηλότερες τάσεις, οι πιθανές επιλογές πολυμερών υλικών διευρύνονται. Εδώ είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί πολυβυτιλοχλωρίδιο ή κοινός βινύλιο (PVC),σιλικονούχα γόμα (SIR) ή άλλα πολυμερή που είναι εύκολα διαθέσιμα και εύκολα στην επεξεργασία τους. Το PVC χρησιμοποιείται στην Ευρώπη για καλώδια μέσης τάσης της τάξης των 10 KV, αλλά η πρακτική αυτή έχει εγκαταλειφθεί.

Πολλά χρόνια πριν, η βουτυλική γόμα χρησιμοποιείται για καλώδια διανομής ,αλλά ουσιαστικά όλα τα εγκατεστημένα καλώδια έχουν αντικατασταθεί στις μέσες τάσης.

Κάθε τύπος μόνωσης έχει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Σαν μια γενική εικόνα μερικά σημειώνονται παρακάτω:

<b>ΤΥΠΟΙ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ</b>	<b>ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ</b>
Χαμηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο	~χαμηλές διηλεκτρικές απώλειες ~ευαισθησία στην υγρασία υπο τάση
Δικτυωμένο πολυαιθυλένιο	~ελαφρά υψηλότερες απώλειες σε σχέση με το ΡΕ ~καλύτερη γήρανση από το ΡΕ
ΕΡΡ/ΕΡΡΜ	~απαιτήση ανόργανων προσθέτων ~υψηλότερες απώλειες από ΧΛΡΕ/ΡΕ ~μεγαλύτερη ευκαμψία από ΧΛΡΕ/ΡΕ
ΡVС	~πρέπει να περιέχει πλαστικοποιητή(υλικό)για ευκαμψία ~υψηλότερες απώλειες

Πολυμερή όπως το πολυαιθυλένιο ,πολυπροπυλένιο και αιθυλένιο προπυλένιο συν- και τρι- πολυμερή είναι υδρογονοανθρακικά πολυμερή και είναι γνωστά σαν πολυολεφίνες. Τα καλώδια με μόνωση χαρτιού ήταν ιστορικά ο πρώτος τύπος πολυμερές που χρησιμοποιήθηκε γιατί το χαρτί ήταν και είναι εύκολα διαθέσιμο από τους φυσικούς πόρους. Το χαρτί παράγεται από ξύλινο πολτό και είναι ένα φυσικό πολυμερές αποτελούμενο

από κυτταρίνη. Ωστόσο οι πολυολεφίνες αναπτύχθηκαν σύντομα μετά των δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο και προτιμούνται σαν μόνωση εξαιτίας των ανώτερων ιδιοτήτων τους που είναι οι εξής :

- Εξαιρετικές ηλεκτρικές ιδιότητες
  1. Χαμηλή διηλεκτρική σταθερότητα
  2. Χαμηλός συντελεστής ισχύος
  3. Υψηλή διηλεκτρική αντοχή
- Εξαιρετική αντίσταση στην υγρασία
- Πολύ χαμηλή μεταβίβαση των ατμών της υγρασίας
- Υψηλή αντίσταση στα χημικά και τα διαλυτικά

Οι ηλεκτρικές ιδιότητες των πολυολεφίνων είναι ανώτερες από τα συστήματα μόνωσης χαρτιού/λαδιού και τα πολυμερή είναι έχουν μεγαλύτερη αντίσταση στην υγρασία απ ότι το χαρτί. Οι λόγοι για τους οποίους προτιμάτε η χρήση πολυολεφινών για ηλεκτρικές μόνωσης είναι ξεκάθαροι.

Σε αντίθεση με την κύρια μόνωση, τα πολυμερή χρησιμοποιούνται σαν ασπίδες αγωγού και μόνωσης. Πρόκειται κυρίως για συμπολυμερή αιθυλενίου που διαθέτουν ποσότητες αιθάλης (carbon black) για να παρέχουν αγώγιμες ιδιότητες. Τα συμπολυμερή θεωρούνται σαν «μεταφορέας», αλλά αυτός ο μεταφορέας πρέπει να διαθέτει την ιδιότητα της ελεγχόμενης πρόσφυσης ή αλλιώς εφαρμογής στην μόνωση. Η χρήση ενός αγώγιμου υλικού διασκορπίζεται παντού σε όλη την πολυμερή μήτρα κάνοντας το μείγμα ημιαγωγικό στην ουσία, ως εκ τούτου ο όρος «ημιαγώγιμο» εφαρμόζεται στα υλικά της ασπίδα.

## **5.2 ΘΕΜΕΛΙΩΔΗΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΕΞΩΘΟΥΜΕΝΩΝ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ**

Σαν εξωθούμενα πολυμερή εδώ θα αναφερθούμε στα παρακάτω:

- το πολυαιθυλένιο (PE)

Μελέτη κατασκευαστικών στοιχείων καλωδίων EP YT XLPE και διαμόρφωση δοκιμίου για εργαστηριακές επιδείξεις

- το δικτυωμένο πολυαιθυλένιο (XLPE)
- το επιβραδυνόμενο σε κρυσταλλική δένδροειδή μορφή δικτυωμένο πολυαιθυλένιο (tree retard crosslink polyethylene).

### 5.2.1 Πολυαιθυλένιο (PE)

Το πολυαιθυλένιο είναι ένα υδρογονανθρακικό πολυμερές αποτελούμενο αποκλειστικά και μόνο από άνθρακα (carbon) και υδρογόνο (hydrogen). Είναι βιομηχανικά φτιαγμένο από μονομερές αιθυλένιο όπως φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί. Η χημική του δομή είναι μια σειρά από επαναλαμβανόμενα CH<sub>2</sub> ομάδες.

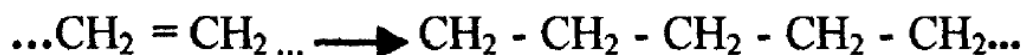
Εικόνα 1:χημική δομή πολυαιθυλενίου.

## FUNDAMENTALS

- Polyethylene
- Crosslinked polyethylene

Ethylene (gas)

Polyethylene (solid)



Το πολυαιθυλένιο εμπίπτει στην κατηγορία των πολυμερών γνωστών σαν πολυολεφίνες (πολυπροπυλένιο είναι ένα άλλο παράδειγμα). Το πολυμερές αυτό παράγεται πολυμερίζοντας το αιθένιο. Υπάρχουν πολλές διαδικασίες πολυμερισμού οι οποίες είναι η εξής:

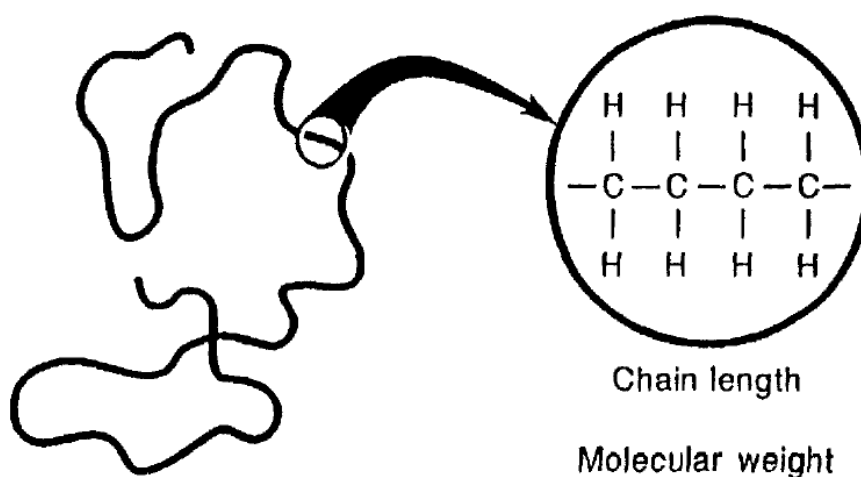
- Ριζικός πολυμερισμός (Radical polymerization)
- Ανιονικός πολυμερισμός (anionic addition polymerization)
- Πολυμερισμός με συντονισμό ιόντος (ion coordination polymerization)

Μελέτη κατασκευαστικών στοιχείων καλωδίων EP YT XLPE και διαμόρφωση δοκιμίου για εργαστηριακές επιδείξεις

- Πολυμερισμός με προσθήκη κατιόντος (cationic addition polymerization)

Έχουμε την δυνατότητα να παράγουμε με τόσες διαδικασίες διαφόρων τύπων πολυαιθυλενίου διότι το αιθένιο δεν έχει αντικαταστούμενες ομάδες που να επηρεάζουν την σταθερότητα του κεντρικού πολλαπλασιασμού του πολυμερούς. Αυτό που είναι σημαντικό να πούμε είναι ότι η μέθοδος της κατασκευής ελέγχει την ακριβή χημική δομή, η οποία με την σειρά της ελέγχει τις ιδιότητες. Η δομή του πολυαιθυλενίου είναι πιο πολύπλοκη στην πραγματικότητα απ' ότι φαίνεται εδώ στο σχήμα 1 που απεικονίζεται απλοποιημένη. Για λόγους ευκολίας θα απεικονίζουμε το πολυμερές σαν μια κυματιστή γραμμή όπως φαίνεται παρακάτω στην εικόνα 2

Εικόνα 2: χημική δομή πολυαιθυλενίου



Η κυματιστή γραμμή θα αναφέρεται σαν <<αλυσίδα>> και το μήκος της αλυσίδας είναι σημαντικό. Το μήκος της αλυσίδας σχετίζεται με την μοριακό βάρος. Λόγω αυτού, είναι επακόλουθο ότι μια μακρύτερη αλυσίδα θα έχει μεγαλύτερο μοριακό βάρος από μια κοντύτερη αλυσίδα. Το μοριακό βάρος αυξάνει καθώς ο αριθμός των ομάδων αιθυλενίου στο μόριο αυξάνει. Το συμβατικό πολυαιθυλένιο αποτελείται από πολλές αλυσίδες αυτού του είδους και το μήκος της αλυσίδας ποικίλει. Ως εκ τούτου το πολυαιθυλένιο θεωρείται

αποτελούμενο από πολυμερικές αλυσίδες που έχουν μια κατανομή του μοριακού βάρους. Πράγματι η κατανομή του μοριακού βάρους είναι ένα μέσο για να χαρακτηρίσεις το πολυαιθυλένιο. Η PE μόνωση χρησιμοποιείται στο παρελθόν για τα μέσης τάσης καλώδια και το πολυμερικό υλικό περιγραφόταν σαν “υψηλού μοριακού βάρους πολυαιθυλένιο“. Αυτό σήμαινε ότι ο <<μέσος όρος >>του μήκους της αλυσίδας θεωρείτο υψηλός. Άλλη μια γενίκευση ήταν ότι όσο υψηλότερο το μοριακό βάρος τόσο καλύτερες οι γενικότερες ιδιότητες. Ένα τυπικό πολυαιθυλένιο περιέχει μια ποικιλία από μεμονωμένες αλυσίδες διαφορετικού μήκους και κατά συνέπεια και βάρους.

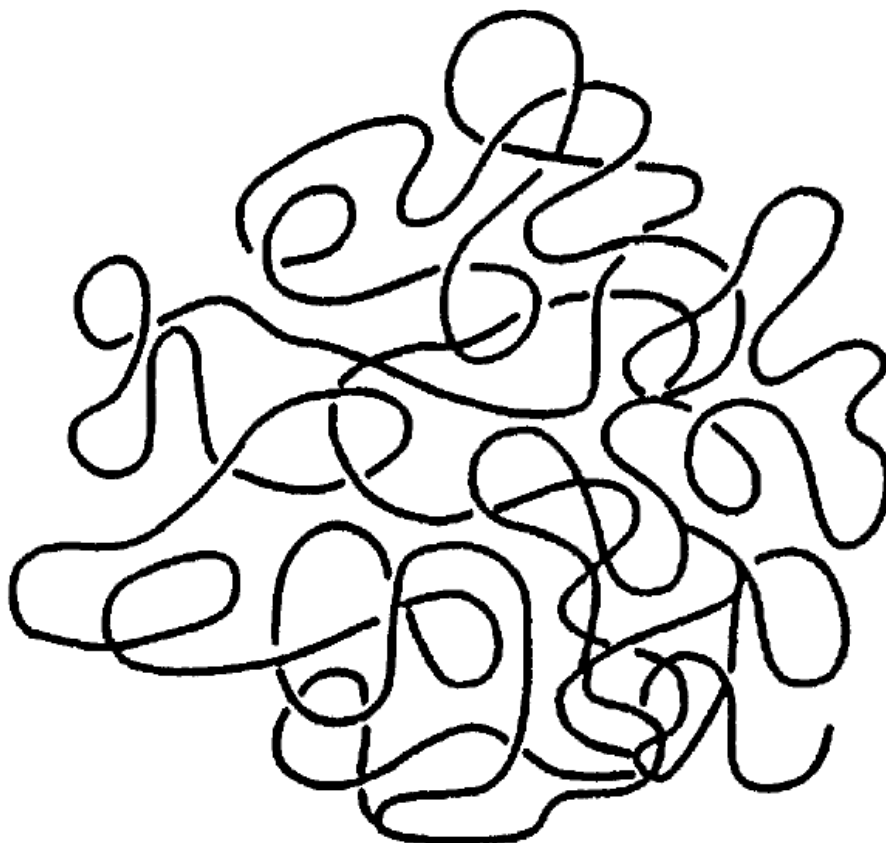
Το μέσο μοριακό βάρος μπορεί να περιγραφεί με διάφορους τρόπους. Ο όρος όμως που χρησιμοποιείται πιο συχνά είναι <<μέσο βάρος >> και <<μέσος αριθμός >>. Αυτοί οι όροι προέρχονται από διαφορετικές μαθηματικές μεθόδους εύρεσης των μοριακών βαρών σε πολυμερή δείγματα που περιείχαν μόρια από διαφορετικά μεγέθη. Οι μαθηματικοί προσδιορισμοί των μέσων όρων αριθμού και βάρους σχετίζονται με τα μικρότερα και μεγαλύτερα μεγέθους μόρια αντίστοιχα. Ως εκ τούτου, το σταθμικό μέσο μοριακό βάρος είναι πάντα μεγαλύτερο από μέσο αριθμό. Όταν η πολυμερή μόνωση είναι δικτυωμένη ο καθορισμός του μοριακού βάρους γίνεται πιο πολύπλοκος καθώς το δικτυωμένο κλάσμα μπορεί να θεωρηθεί ότι έχει <<άπειρο>> μοριακό βάρος. Από την οπτική μεριά του μηχανικού καλωδίων, εκείνο που έχει σημασία για να κατανοήσουμε είναι ότι δεν υπάρχει ένας τρόπος για να χαρακτηρίσουμε το μοριακό βάρος του πολυμερούς. Ωστόσο, όσο μεγαλύτερο το μοριακό βάρος( ο μέσος όρος ) τόσο καλύτερες ιδιότητες έχουμε στην εφαρμογή.

Οι ίδιες αρχές ισχύουν για τα συμπολυμερή του αιθυλένιο ή άλλα μονομερή όπως του οξικού βινυλίου ή του ακρυλικού αιθυλεστέρα. Αυτά τα τελευταίος αναπτυσσόμενα συμπολυμερή χρησιμοποιούνται σε ενώσεις για την δημιουργία ασπίδας μόνωσης. Τα μήκη μπορεί να ποικίλουν και το μήκος τους επηρεάζει τις ιδιότητες. Τα ποσοστά του δεύτερου μονομερούς πρέπει επίσης να ληφθεί υπ όψιν όταν αξιολογούμε τις ιδιότητες.

Ένα άλλο σημείο που πρέπει να σημειωθεί για τις πολυαιθυλενικές αλυσίδες είναι το γεγονός ότι έχουν την τάση να τυλίγονται σπειροειδώς ,δηλ δεν είναι

ακριβώς ευθείες αλλά έχουν την τάση να σχηματίζουν τυχαίους σχηματισμούς. Αυτή η τάση θα λέγαμε ότι είναι ανεξάρτητη απ το μοριακό βάρος. Στην συνέχεια (εικόνα 3 ) βλέπουμε μια αναπαράσταση της αλυσίδας η οποία θα λέγαμε ότι μοιάζει σαν ένα μπόλ μακαρόνια.

Εικόνα 3. Απλοποιημένη απεικόνιση μιας τυχαίας σπειροειδούς διαμόρφωσης.



Η τάση να τυλίγονται σπειροειδώς σημαίνει ότι και οι αλυσίδες έχουν την τάση να μπλέκονται μεταξύ τους. Τα μπλεξίματα αυτά σημαίνουν πως όταν οι αλυσίδες διαχωριστούν ( όπως θα συνέβαινε κατά την εκτέλεση εφελκυστικής αντοχής ή μέτρησης επιμήκυνσης) θα υπάρχει μια αντίσταση στην κίνηση. Αυτά τα μπλεξίματα συμβάλλουν στις καλές ιδιότητες τους πολυαιθυλενίου αλλά όχι στις ιδιότητες που καθιστούν το πολυαιθυλένιο ανθεκτικό στην διείσδυση των υδρατμών.

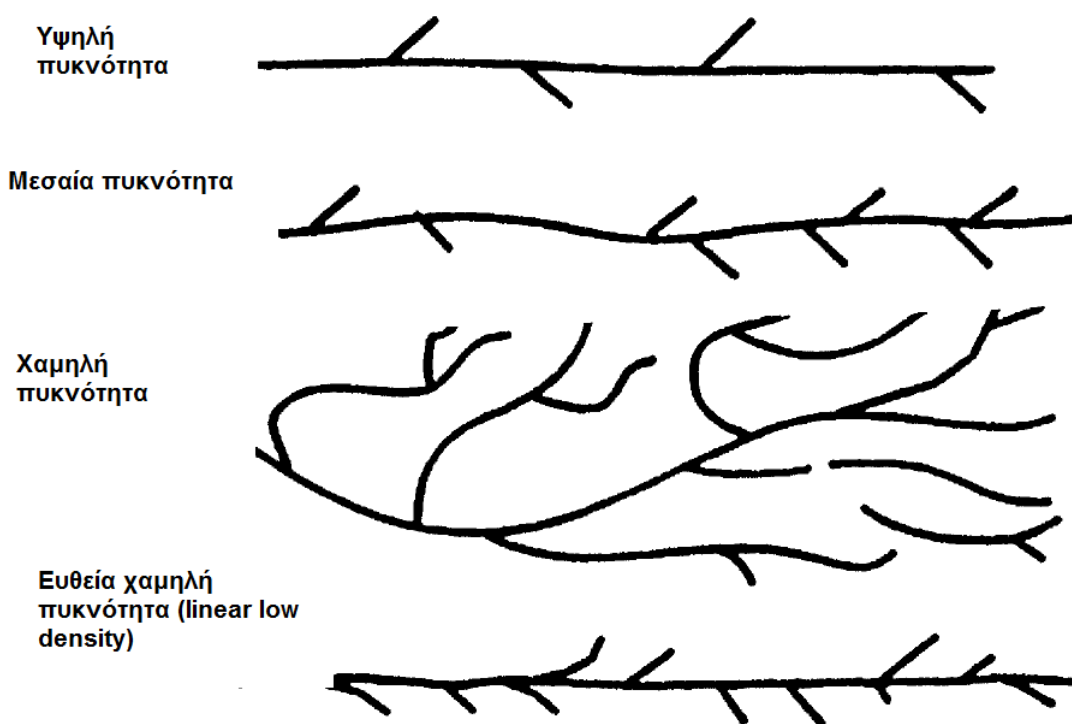
Επιπλέον, οι αλυσίδες δεν είναι πάντα όσο ευθείες φαίνονται συνήθως στις εικόνες. Όταν το πολυαιθυλένιο κατασκευάζεται, η διαδικασία πάντα οδηγεί στην δημιουργία και άλλων μικρότερων αλυσίδων οι οποίες προεξέχουν από

Μελέτη κατασκευαστικών στοιχείων καλωδίων ΕΡ ΥΤ ΧΛΡΕ και διαμόρφωση δοκιμίου για εργαστηριακές επιδείξεις

την κεντρική μεγάλη αλυσίδα. Αυτό καλείται και διακλάδωση της αλυσίδας η οποία περιγράφεται παρακάτω.

Αυτές οι διακλαδώσεις συμβάλλουν στο μοριακό βάρος. Είναι δυνατόν να απεικονιστεί τώρα ότι δύο μεμονωμένα μόρια ίσως έχουν το ίδιο μοριακό βάρος αλλά το ένα μπορεί να έχει μακρύτερη κεντρική αλυσίδα ενώ το άλλο να έχει κοντύτερη κεντρική αλυσίδα αλλά με μακρύτερες διακλαδώσεις από πρώτο. Δύο διαφορετικές ομάδες υλικού πολυαιθυλενίου που έχουν πολλά κομμάτια όπως τα δύο που περιγράφηκαν εδώ θα έχουν διαφορετικές πολύ σημαντικές ιδιότητες.

Εικόνα 4:δομή των διαφόρων πολυαιθυλενίων.



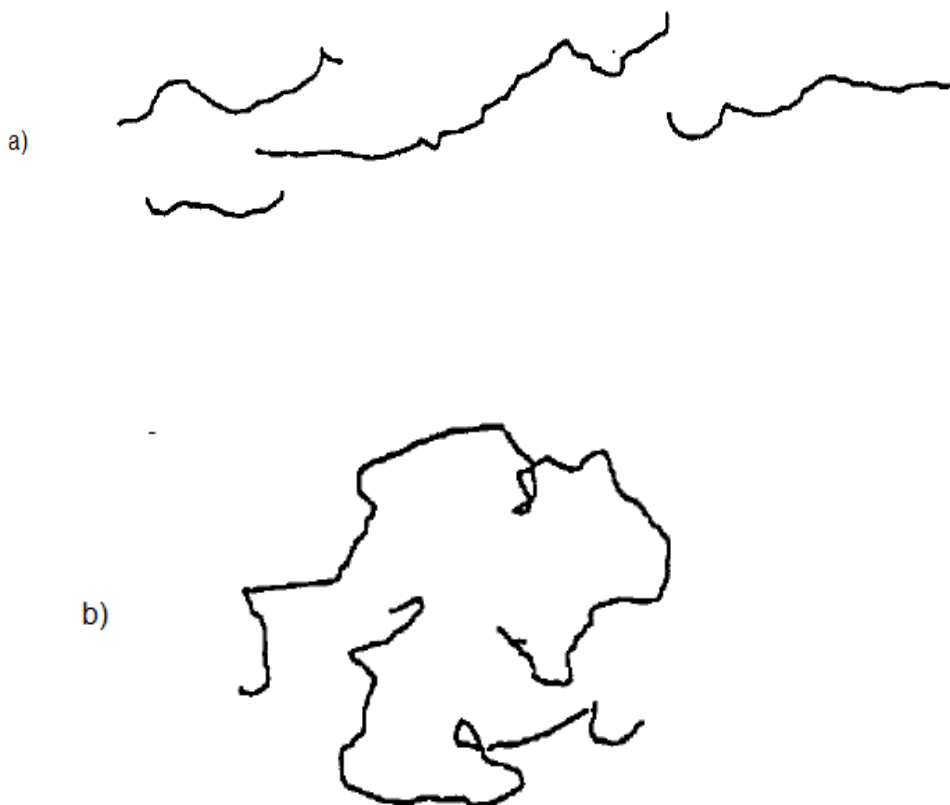
Το μοριακό βάρος ή κατανομή του μοριακού βάρους, είναι ένας τρόπος για να περιγράψεις τα χαρακτηριστικά της πολυαιθυλενικής μόνωσης, αλλά υπάρχει και άλλος τρόπος που είναι τα πολύ σημαντικά χαρακτηριστικά η διακλάδωση (της αλυσίδας) και η κρυσταλλικότητα.

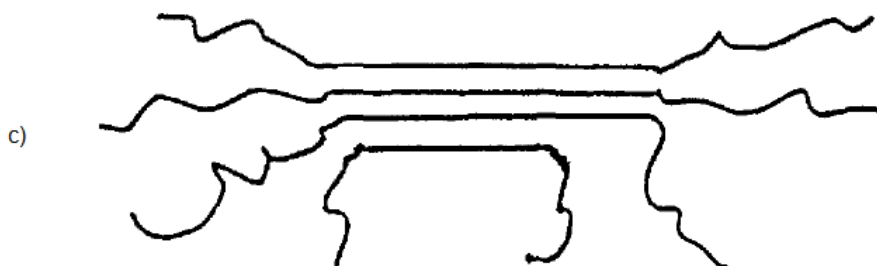


### **5.2.1.1 Κρυσταλλικότητα (crystallinity)**

Το πολυαιθυλένιο και κάποιες άλλες πολυολεφίνες χαρακτηρίζονται σαν ημικρυσταλλικά πολυμερή. Αυτό το χαρακτηριστικό απορρέει απτό γεγονός ότι οι αλυσίδες του πολυμερούς έχουν την τάση όχι μόνο να τυλίγονται σπειροειδώς αλλά και να ευθυγραμμίζονται σχετικά μεταξύ τους. Η ευθυγράμμιση σημαίνει ότι μπορεί να υπάρχει ένα κοντό και ένα μακρύ κομμάτι απ την δομή της αλυσίδων. Η φύση αυτών των ευθυγραμμίσεων είναι πολύπλοκη και η δομή τους και δεν θα αναφερθεί αλλά πρέπει να καταλάβουμε κάτι πολύ σημαντικό ότι η ευθυγράμμιση συμβάλει στην κρυσταλλική φύση του πολυαιθυλενίου και κατά συνέπεια και στην πυκνότητα του.

Εικόνα 5: α) απεικόνιση πολυαιθυλενίου με πολλές αλυσίδες β) αλυσίδες που τυλίγονται σε σπείρες γ) Τα ευθυγραμμισμένα τμήματα δεν μπορούνε να τυλιχθούν σπειροειδώς ενώ αυτά που δεν είναι ευθυγραμμισμένα τυλίγονται σπειροειδώς. Τα τμήματα της αλυσίδας που είναι ευθυγραμμισμένα τα ονομάζουμε και κρυσταλλικά (crystalline) ενώ αυτά τα τμήματα που τυλίγονται σπειροειδώς τα λέμε άμορφα (amorphous).





Παραπάνω ( εικόνα 5) φαίνονται ευθυγραμμισμένες αλυσίδες του πολυμερές των οποίων το μήκος διαφέρει. Ορισμένα τμήματα της ίδιας αλυσίδας έχουν ευθυγραμμιστεί με παρακείμενες αλυσίδες, και μερικά άλλα απ τις ίδιες αλυσίδες δεν έχουν ευθυγραμμιστεί αλλά είναι τυλιγμένα σπειροειδώς. Τα τμήματα που έχουν ευθυγραμμιστεί ονομάζονται κρυσταλλικά (crystalline) ενώ αυτά τα τμήματα που τυλίγονται σπειροειδώς τα λέμε άμορφα ή <<ελεύθερα>> (amorphous or <<free>>). Απ την εικόνα βλέπουμε ότι η ότι τέτοια ευθυγράμμιση δεν σχετίζεται με το μοριακό βάρος. Είναι δυνατό στο πολυαιθυλένιο να έχουμε χαμηλό ή υψηλό μοριακό βάρος απτούς ίδιους ή διαφορετικούς βαθμούς ευθυγράμμισης. Ως εκ τούτου έχουμε την δυνατότητα να έχουμε πολλούς τύπους πολυαιθυλενίου όπως:

- Υψηλής πυκνότητας, υψηλού μοριακού βάρους
- Υψηλής πυκνότητας, χαμηλού μοριακού βάρους
- Χαμηλής πυκνότητας, υψηλού μοριακού βάρους
- Χαμηλής πυκνότητας, χαμηλού μοριακού βάρους

Βέβαια όχι όλοι αυτοί η τύποι μας είναι χρήσιμη στην πράξη.

Η κρυσταλλικότητα και συγκεκριμένα οι κρυσταλλικά τμήματα είναι που δίνουν στο πολυαιθυλένιο μερικές απ τις καλές ιδιότητες του οι οποίες είναι η εξής:

1. Ανθεκτικότητα ή σκληρότητα (toughness)
2. Υψηλό συντελεστή (high modulus)
3. Αντίσταση στην διείσδυση υγρασίας (moisture permeation resistance)
4. Αντίσταση στην διείσδυση αερίου (gas permeation resistance)
5. Αύξηση της πυκνότητας( higher density)

Θα πρέπει να πούμε ότι η αύξηση της πυκνότητας που αναφέρεται για τα ευθυγραμμισμένα τμήματα οφείλεται στο <<σφιχτότερο>> δέσιμο των αλυσίδων στο σημείο αυτό. Άρα από αυτό συμπεραίνουμε ότι η αύξηση στην κρυσταλλικότητα σημαίνει και αύξηση στην πυκνότητα.

Όσο αφορά τα μη κρυσταλλικά τμήμα, τα οποία αναφέραμε και πιο πριν σαν άμορφα τμήματα (amorphous regions) αυξάνουν κάποιες άλλες ιδιότητες οι οποίες είναι:

1. Ευκαμψία (flexibility)
2. Ολκιμότητα ή ευπλαστικότητα (ductility)
3. Ευκολία στη επεξεργασία (facilitate processing)

#### **5.2.1.2 Διακλάδωση των αλυσίδων**

Η διακλάδωση είναι ένα διαφορετικό αποτέλεσμα της διαδικασίας πολυμερισμού. Η παλαιότερη διαδικασία της υψηλής πίεσεως οδηγεί σε ένα μεγαλύτερο αριθμό από διακλαδώσεων (που είναι και μακρύτερες) απ ότι η νεότερη διαδικασία της χαμηλής πίεσης. Η διακλαδώσεις επηρεάζουν την διαδικασία κρυστάλλωσης επεμβαίνοντας στην ικανότητα των αλυσίδων του πολυαιθυλενίου να ευθυγραμμίζονται μεταξύ τους. Για να έχουμε κρυσταλλικότητα πρέπει μην διακλαδωμένα τμήματα να είναι σε θέση να προσεγγίσουν πολύ κοντά το ένα το άλλο, ενώ όταν έχουμε διακλάδωση η ικανότητα της κεντρικής αλυσίδας να έρθει όσο το δυνατόν κοντύτερα σε μια άλλη αλυσίδα εξαλείφεται. Λόγω αυτού του φαινομένου, το πολυαιθυλένιο έχει διαχωριστεί σε τρεις βασικές κατηγορίες:

1. Χαμηλής πυκνότητας (Low density)
2. Μέσης πυκνότητας (medium density)
3. Υψηλής πυκνότητας (high density)

Πρέπει να πούμε ότι καθώς η πυκνότητα αυξάνει, ο βαθμός ευθυγράμμισης της αλυσίδας αυξάνει καθώς και ο <<όγκος>> των ευθυγραμμισμένων αλυσίδων.

Παλαιότερα το χαμηλής και μέσης πυκνότητας πολυαιθυλένιο κατασκευαζόταν με την διαδικασία της υψηλής πίεσεως ενώ το υψηλής πυκνότητας PE κατασκευαζόταν με την διαδικασία της χαμηλής πίεσεως χρησιμοποιώντας άλλου είδους καταλύτη. Πρόσφατα, εξαιτίας της εξέλιξης της τεχνολογίας στην βιομηχανική κατασκευή έχουμε την δυνατότητα παραγωγής πολυαιθυλενίου χαμηλής και μέσης πυκνότητας με χρήση της διαδικασίας χαμηλής πίεσεως. Έτσι παράγαμε ένα νέο προϊόν που ονομάστηκε liner low density polyethylene (LLDPE). Επίσης έχει αναπτυχθεί η τεχνολογία ώστε να επιτρέπει στους κατασκευαστές να ελέγχουν καλύτερα και προσεκτικότερα το μοριακό βάρος και την κατανομή του μοριακού βάρους με αποτέλεσμα να αναπτυχθούν νέες βαθμίδες πολυαιθυλενίου που έχουν ελεγχόμενη μοριακή δομή και πολύ χαμηλή πυκνότητα. Οι νέες τεχνικές πολυμερισμού σε χαμηλή πίεση έχουν οδηγήσει σε πολυαιθυλένια με πολλές κοντές διακλαδώσεις. Οι ενώσεις όπως του Ι-βουτένιο και Ι-εξένιο (I-butene and I-hexene) χρησιμοποιούνται για να διευκολύνουν τον έλεγχο της κρυσταλλικότητας δηλαδή ουσιαστικά ελέγχουν τις διακλαδώσεις.

Συμπεραίνουμε μέχρι τώρα ότι το πολυαιθυλένιο είναι πολύ πολύπλοκο υλικό. Η φαινομενική απλότητά του, δηλαδή ότι είναι μια σύνθεση που αποτελείται αποκλειστικά από επαναλαμβανόμενες  $-CH_2-$  ομάδων, διαψεύδει το γεγονός ότι το πολυμερές αποτελείται από τμήματα που το καθένα από αυτά προσδίδουν σημαντικά διαφορετικές ιδιότητες. Η ευθυγράμμιση ορισμένων τμημάτων από τις αλυσίδες προσδίδει κρυσταλλικότητα ενώ το μη ευθυγραμμισμένο τμήματα μπορούν να τυλιχθούν ελικοειδώς και ονομάζονται άμορφα τμήματα. Τελικός το πολυμερές θα μπορούσαμε να πούμε ότι είναι ότι είναι μια μείξη από διαφορετικά φυσικά τμήματα για αυτό και το ονομάζουμε ημικρυσταλλικό (semicrystalline).

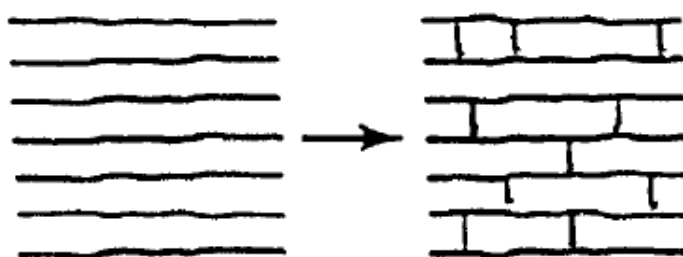
### 5.3 Δικτυωμένο πολυαιθυλένιο

Δικτυωμένο πολυαιθυλένιο σημαίνει ότι οι διαφορετικές πολυαιθυλενικές αλυσίδες διασυνδέονται μεταξύ τους το οποίο απεικονίζεται σχηματικά στην εικόνα που ακολουθεί (εικόνα 1). Το δικτυωμένο πολυαιθυλένιο μπορεί να θεωρηθεί σαν διακλαδισμένο πολυαιθυλένιο όπου η διακλάδωση συνδέεται με

Μελέτη κατασκευαστικών στοιχείων καλωδίων EP YT XLPE και διαμόρφωση δοκιμίου για εργαστηριακές επιδείξεις

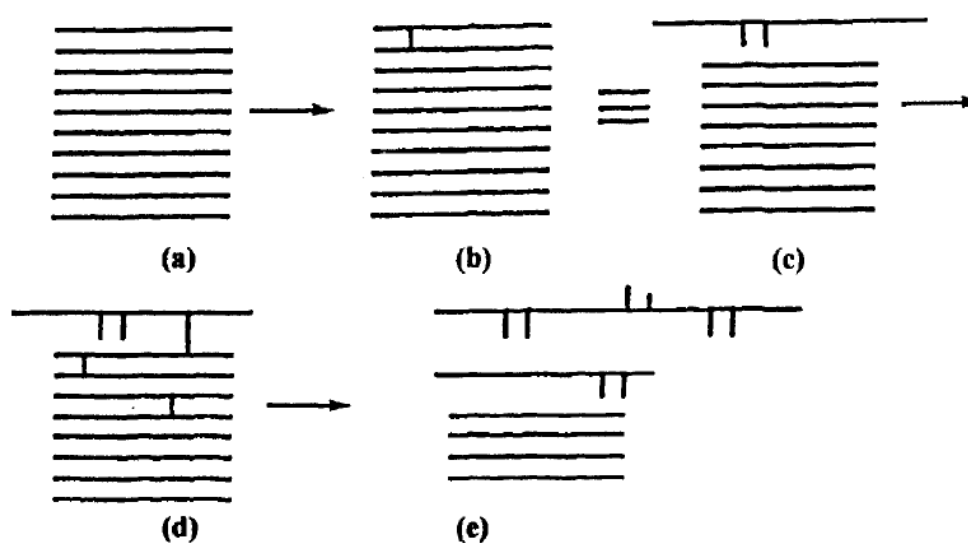
μια διαφορετική πολυαιθυλενική αλυσίδα αντί απλά να <<κρέμεται χαλαρά>>. Η δικτύωση προσδίδει συγκεκριμένες επιθυμητές ιδιότητες στο PE και από μεριάς της χρήσης τους στα καλώδια, επιτρέπει στο πολυμερές να διατηρήσει την σταθερή μορφή του σε αυξήσεις της θερμοκρασίας.

Εικόνα 1: απλοποιημένη περιγραφή δικτυωμένου πολυαιθυλενίου.



Όπως έχουμε πει το συμβατικό πολυαιθυλένιο αποτελείται από μακριάς αλυσίδας πολυμερή που αποτελούνται από αιθυλενικές ομάδες. Τα μεμονομένα μόρια είναι πολύ μακριά. Η σπονδυλική στήλη μπορεί να περιέχει 10.000 με 60.000 άτομα και περισσότερα. Επιπλέον έχουμε δει ότι έχουμε τμήματα τα οποία μπορεί να είναι άμορφα ή κρυσταλλικά και ότι οι τυχόν προσμίξεις ή πρόσθετα δεν μπορεί να υπάρχουν στα κρυσταλλικά τμήματα αλλά μόνο στα άμορφα τμήματα. Η δικτύωση ή αλλιώς πολλαπλή δικτύωση (crosslinking) προσθέτει μια άλλη διάσταση όσο αφορά την πολυπλοκότητα των μοριακών διευθετήσεων.

Εικόνα 2: διαδικασία μετατροπής πολυαιθυλενίου σε δικτυωμένο πολυαιθυλένιο.



Η παραπάνω εικόνα (εικόνα 2) μας δείχνει μια περιγραφή πως ένα απλό πολυαιθυλένιο, μη δικτυωμένο μετατρέπεται σε δικτυωμένο. Για ευκολία οι αλυσίδες φαίνονται η μια δίπλα στην άλλη (α) και είναι οι ευθυγραμμισμένες ώστε να έχουμε μια απλοποιημένη περιγραφή που να εξυπηρετεί τον σκοπό μας. Στο (β) βλέπουμε ότι αρχικά δύο μεμονωμένες αλυσίδες να συνδέονται μεταξύ τους και αμέσως βλέπουμε ότι και το μοριακό βάρος αυξάνει και ότι με την πρώτη διασταύρωση οδηγούμαστε σε δύο διακλαδώσεις. Η αναπαράσταση αυτού φαίνεται στο σχέδιο (c). Στην συνέχεια στο (d) έχουμε βάσει τρεις επιπλέον διασταυρώσεις με αλυσίδες, δύο απ τις οποίες σε διαφορετικές αλυσίδες, ενώ η τρίτη, στην οποία από πριν (βλέπε c) έχουμε αύξηση του μοριακού βάρους της αλυσίδας λόγω της διασταύρωσης, πάλι συνδέεται με μια άλλη αλυσίδα. Στο (e) έχουμε ξανασχεδιάσει το (d) για να δείξουμε πως οι διαδικασίες της διασταύρωσης ή δικτύωσης δείχνει όταν οι αλυσίδες και πάλι θα λέγαμε <<απλώνονται>>. Εδώ θα πρέπει να πούμε ότι πλέον το μοριακό βάρος των αρχικών αλυσίδων έχει αυξηθεί δραματικά.

Από αυτή την περιγραφή πρέπει γίνεται ξεκάθαρο ότι με την διαδικασία της δικτύωσης πετυχαίνουμε την αύξηση του μοριακού βάρους. Αυτό είναι ακριβώς ότι συμβαίνει. Επίσης πρέπει να πούμε ότι όχι απαραίτητα όλες οι αλυσίδες αυξάνουν το μοριακό βάρος με τον ίδιο ρυθμό. Καθώς η διαδικασία

προχωράει το μοριακό βάρος γίνεται όλο και πιο μεγάλο ώστε να θεωρήσουμε το δικτυωμένο πολυαιθυλένιο σαν <<άπειρου>> μοριακού βάρους.

### **5.3.1 Τρόποι εύρεσης αν έχουμε δικτυωμένο πολυαιθυλένιο ή συμβατικό.**

Ένας τρόπος για να ξεχωρίσουμε πότε έχουμε ένα απλά υψηλού μοριακού βάρους πολυμερές και πότε ένα δικτυωμένο πολυμερές είναι να κοιτάξουμε την διαλυτότητα μέσα σε ένα οργανικό διαλύτη όπως είναι ο τολουόλιο (toluene) ή το ξυλόλιο (xylene). Ένα συμβατικό πολυαιθυλένιο ακόμα και υψηλού μοριακού βάρους θα διαλυθεί μέσα σε ένα θερμαινόμενο διαλύτη αυτού του είδους ενώ σε αντίθεση το δικτυωμένο πολυαιθυλένιο δεν θα διαλυθεί. Τα αποτελέσματα της διαλυτότητας από την διάλυση των αλυσίδων είναι ο θερμαινόμενος διαλύτης. Στο δικτυωμένο πολυαιθυλένιο δεν έχουμε τόσο μεγάλη διάλυση των αλυσίδων ώστε να έχουμε πλήρη διάλυση όπως στο συμβατικό πολυαιθυλένιο. Το XLPE απλώς φουσκώνει στον διαλύτη και δημιουργεί ένα μεμβράνη το οποίο ονομάζεται κλάσμα μεμβράνης (gel fraction). Ένας άλλος τρόπος για να καθορίσουμε αν έχουμε συμβατικό PE ή XLPE είναι να το εκθέσεις σε θερμότητα για παράδειγμα τοποθετώντας ένα δείγμα του υλικού σε επαφή με θερμαινόμενο σιλικονούχο λάδι ή σε μια θερμή επιφάνεια σε αυτήν την περίπτωση το PE θα ρέει ενώ το XLPE θα αντισταθεί στη ροή και θα συμπεριφερθεί σαν <<λαστιχενό>>.

Η εμπορεύσιμη μόνωση XLPE επίσης κατέχει ένα <<sol>> fraction (κλάσμα υγρού κολλοειδές συστήματος>>. Αυτό είναι μια μερίδα των πολυμερών αλυσίδων που ποτέ δεν ενσωματώνεται στο <<άπειρο>> δίκτυο. Στην εικόνα 2 στο (ε) βλέπουμε μερικές αλυσίδες που δεν έχουν ενσωματωθεί στο δίκτυο. Το κλάσμα μεμβράνης σε ένα XLPE του εμπορίου είναι 70 με 80%.

### **5.3.2 Πλεονεκτήματα πολυαιθυλενίου και δικτυωμένου πολυαιθυλενίου (PE / XLPE)**

Πλεονεκτήματα πολυαιθυλενίου (PE):

- Χαμηλή διηλεκτρική σταθερά

Μελέτη κατασκευαστικών στοιχείων καλωδίων ΕΡ ΥΤ XLPE και διαμόρφωση δοκιμίου για εργαστηριακές επιδείξεις

- Χαμηλές διηλεκτρικές απώλειες
- Υψηλή αρχική διηλεκτρική αντοχή

Πλεονεκτήματα δικτυωμένου πολυαιθυλενίου (XLPE):

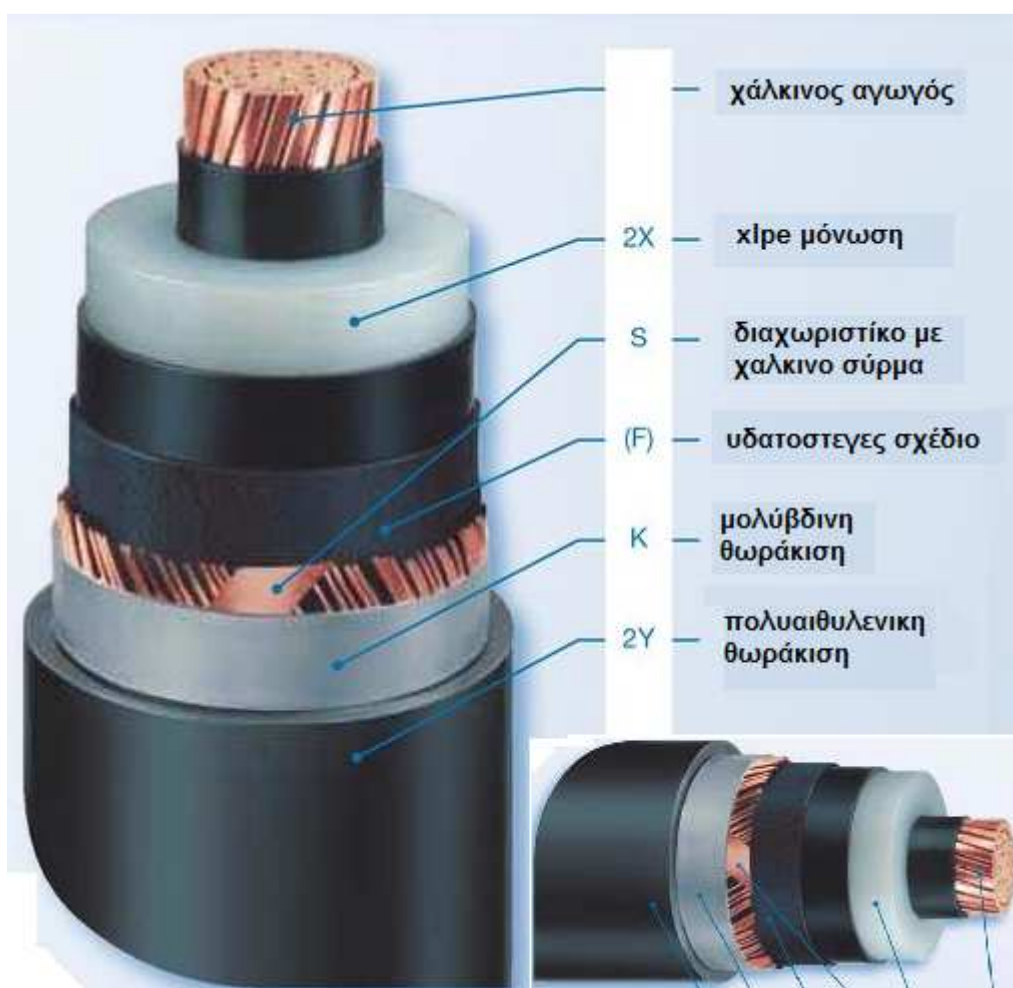
- Βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες σε αυξημένη θερμοκρασία
- Δεν λιώνει πάνω από τους 105 ° C αλλά παρατηρείται θερμική διαστολή.
- Μειωμένη ευαισθησία στην διείσδυση του νερού.



## Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup>

### 5.С ΘΩΡΑΚΙΣΕΙΣ-ΠΕΡΙΒΛΗΜΑΤΑ-ΟΠΛΙΣΜΟΙ

#### 5.1 Θωρακίσεις (sheaths)



Εικόνα 1: υποβρύχιο καλώδιο τύπου ΧΛΡΕ όπου φαίνονται καθαρά οι θωρακίσεις

Πολλές φορές ο όρος θωρακίσεις και περιβλήματα συγχέεται. Όμως έχουν διαφορά. Όταν μιλάμε για θωράκιση αναφερόμαστε σε ένα μεταλλικό υλικό πάνω από την μόνωση του καλωδίου. Μεγάλη ποικιλία μετάλλων μπορεί να

χρησιμοποιηθεί σαν θωράκιση ενός καλωδίου. Μερικά από αυτά είναι ο χαλκός, το αλουμίνιο, το ασάλι, ο χαλκός και ο μόλυβδος. Η θωράκιση παρέχει ένα σύνορο που αποτρέπει τους ατμούς υγρασίας ή την εισχώρηση νερού στην μόνωση του καλωδίου. Είναι απαραίτητη πάνω από μονώσεις χαρτιού αλλά και από υλικά διέλασης λόγω της εισχώρησης νερού σε αυτά.

Το πάχος της μεταλλικής θωράκισης εξαρτάται από τις δυνάμεις που είναι αναμενόμενες κατά την εγκατάσταση και λειτουργία του καλωδίου. Τα σχέδια κυμαίνονται από το στάνταρ σωλήνα μέχρι τον διαμήκη αυλακωτό. Η ακτίνα κάμψης ενός καλωδίου εξαρτάται από αυτούς του σχηματισμούς. Στην σωστή επιλογή μετάλλου για τις θωρακίσεις πόλο παίζει το κόστος και η μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση ρεύματος (ampacity), ιδιαίτερα κατά την παρουσία σφάλματος και διάβρωσης.

## **5.2 Περιβλήματα (Jackets)**

### **5.2.1 Θερμοπλαστικά περιβλήματα (thermoplastic jackets)**

Ο όρος περίβλημα χρησιμοποιείται για μην μεταλλικά υλικά που καλύπτουν τα εξωτερικά τμήματα του καλωδίου. Παρέχουν ηλεκτρική και μηχανική προστασία στα υλικά που βρίσκονται κάτω από αυτό. Υπάρχει και εδώ μια ποικιλία υλικών που χρησιμοποιούνται για τα περιβλήματα. Οι δύο ευρείες κατηγορίες είναι τα θερμοπλαστικά (thermoplastic) και τα θερμοσκληρυνόμενα (thermosettings). Σε κάθε εφαρμογή πρέπει να ληφθούν υπ όψιν δύο σημαντικοί παράγοντες, η θερμοκρασία λειτουργίας και το περιβάλλον.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται σε θερμοπλαστικά περιβλήματα είναι:

- Το πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC)
- Το πολυαιθυλένιο (PE)
- Το χλωριωμένο πολυαιθυλένιο (XLPE)
- Το θερμοπλαστικό ελαστομερές (TPE)
- Το νάιλον

#### **5.2.1.1 Πολυαιθυλένιο**

Το πολυαιθυλένιο (PE) χρησιμοποιείται αρχικά για τα υπόγεια καλώδια. Για χρήση σαν περίβλημα πρέπει να το αναμείξουμε με μαύρο άνθρακα ή κάποιο χρωματισμένο υλικό και με σταθεροποιητές. Ο άνθρακας προτιμάται γιατί δίνει στο υλικό την απαιτούμενη προστασία από το ηλιακό φως σε εξωτερικούς χώρους.

Το πολυαιθυλένιο κατηγοριοποιείται βάση της πυκνότητας, του όταν χρησιμοποιείται σε περιβλήματα, η κατηγοριοποίηση έχει ως εξής:

- 1 Χαμηλής πυκνότητας
- 2 Μέσης πυκνότητας
- 3 Υψηλής πυκνότητας

Η πυκνότητα επηρεάζει την κρυσταλλικότητα, την σκληρότητα, το σημείο λιώσιματος καθώς και την γενική φυσική δύναμη υλικού.

Το πολυαιθυλένιο είναι μια εξαιρετική επιλογή για περιβλήματα όπου η αντοχή στην υγρασία είναι το πρωταρχικό κριτήριο. Έχει καλύτερη αντοχή στην υγρασία από οποιοδήποτε άλλο μη μεταλλικό υλικό. Όταν το πολυαιθυλένιο χρησιμοποιείται για περιβλήματα πρέπει να αναμειχθεί με αρκετή ποσότητα μαύρου άνθρακα ώστε να αποτραπεί η βίαιη αλλοίωση του. Το πιο γνωστό περίβλημα από PE που είναι ίσιο, με χαμηλή πυκνότητα και υψηλό μοριακό βάρος είναι το λεγόμενο LLDPE καθώς έχει καλύτερη αντίσταση στο στρεσάρισμα και τις ρωγμές από άλλα υψηλής πυκνότητας υλικά. Η υψηλή πυκνότητα παρέχει καλύτερες μηχανικές ιδιότητες αλλά έχει το μειονέκτημα ότι είναι πολύ δύσκολη η αφαίρεση του υλικού από το καλώδιο.

Σε γενικές γραμμές και αλλά υλικά, μαύρα ή μη, βοηθάνε στην αντίσταση κατά της γήρανσης, όμως ο μαύρος άνθρακας είναι μακράν το καλύτερο υλικό. Έχει παρατηρηθεί ότι αυξάνει την αντίσταση από 2% έως 5%, πολύ μεγαλύτερη από άλλα υλικά που με δυσκολία φτάνουν το 2,5 %.

Παρά τις καλές του ιδιότητες στην γήρανση και την υγρασία έχει χαμηλή αντίσταση φλόγας πράγμα που μας αποτρέπει να το χρησιμοποιήσουμε σε πολλές εφαρμογές. Τα πολυαιθυλενικά περιβλήματα έχουν καλές ιδιότητες στην κρύα κάμψη μέχρι τους -55°C. Όπως το PVC, έτσι και το πολυαιθυλένιο

Μελέτη κατασκευαστικών στοιχείων καλωδίων EP YT XLPE και διαμόρφωση δοκιμίου για εργαστηριακές επιδείξεις

είναι ένα θερμοπλαστικό υλικό που λιώνει σε αυξημένες θερμοκρασίες. Η θερμοκρασία λιωσίματος ποικίλλει ανάλογα με το μοριακό βάρος και την πυκνότητα αλλά υπολογίζεται ότι είναι γύρω στους 105 °C.

Το υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο (HDPE) χρησιμοποιείται ως δεύτερο εξωτερικό στρώμα για να έχουμε ένα ανθεκτικό θερμοπλαστικό το οποίο είναι κατάλληλο για χαμηλής τάσης καλώδια λόγω της σκληρότητας του. Συνοψίζοντας το πολυαιθυλένιο έχει τα εξής χαρακτηριστικά :

- Υψηλή αντίσταση στην υγρασία
- Υψηλή αντίσταση στην γήρανση
- Χαμηλή αντίσταση στην φλόγα.

#### **5.2.1.2 Χλωριωμένο πολυαιθυλένιο**

Το χλωριωμένο πολυαιθυλένιο (CPE-Chlorinated polyethylene) μπορεί να γίνει είτε θερμοπλαστικό είτε θερμοσκληραινόμενο υλικό. Ως θερμοπλαστικό έχει ιδιότητες παρόμοιες με το PVC αλλά με καλύτερες ιδιότητες σε υψηλές θερμοκρασίες και σε αντίσταση στην παραμόρφωση. Τα περιβλήματα αυτού του τύπου υπερέρχουν του PVC εκτός και αν αυτό αναμιγνύετε με άλλα υλικά.

#### **5.2.1.3 Θερμοπλαστικό ελαστομερές (TPE-Thermoplastic Elastomer)**

Το TPE είναι ένα ευπροσάρμοστο θερμοπλαστικό υλικό με υφή τύπου καουτσούκ. Χρησιμοποιείται ως υλικό περιβλημάτων αλλά και ως μόνωση. Με διάφορες τεχνικές προσμίξεων του TPE επιτύχουμε καλές ιδιότητες έναντι στην υγρασία όταν το χρησιμοποιούμε ως μόνωση. Όταν χρησιμοποιείται σαν υλικό για περιβλήματα με κατάλληλες προσμίξεις μπορούμε να έχουμε τα εξής:

- Αντίσταση στην φλόγα,
- Καλή απόδοση σε χαμηλές θερμοκρασίες
- Καλή αντίσταση στην τριβή
- Καλές φυσικές ιδιότητες.

### 5.2.1. 4 Νάιλον

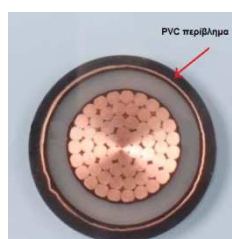
Το νάιλον χρησιμοποιείται για περιβλήματα συρμάτων και καλωδίων. Είναι ένα θερμοπλαστικό υλικό που έχει μια σχετικά υψηλή αντοχή, είναι σκληρό και δύσκαμπτο σε κρύο καιρό. Έχει καλή αντοχή στη κόπωση και κάτω από ορισμένες συνθήκες καλή αντίσταση στην τριβή. Είναι ένα υλικό που απορροφάει περισσότερη υγρασία από κάθε άλλο πολυμερές. Σημαντικό χαρακτηριστικό είναι ο χαμηλός συντελεστής τριβής που εμφανίζει όταν έρχεται σε επαφή με αγωγίμα υλικά. Έχει εξαιρετική αντίσταση στα υδρογοναθρακικά καύσιμα, τα λιπαντικά και τους οργανικούς διαλύτες. Παρόλα αυτά, δυνατά οξέα και οξειδωτικοί παράγοντες επηρεάζουν το νάιλον. Συνήθως χρησιμοποιείται σε THWN καλώδια κτιρίων. Έχουμε τρεις τύπους:

- **NYLON 6/6.6:** παρουσιάζονται ιδιότητες όπως άριστη αντοχή, σκληρότητα και ολκιμότητα, εξαιρετική αντίσταση στην τριβή και σε μια μεγάλη ποικιλία χημικών. Έχει όμως μεγάλη απορρόφηση υγρασίας. Όταν βυθιστεί σε νερό, το νάιλον 6/6.6 γίνεται πολύ μαλακό σε θερμοκρασίες από 10 °C μέχρι 100 °C. Γίνεται δύσκαμπτο σε χαμηλές θερμοκρασίες.
- **NYLON 6/12:** χαρακτηρίζεται σαν χαμηλής απορρόφησης υγρασίας υλικό και χρησιμοποιείται σε εφαρμογές όπου θέλουμε καλές φυσικές ιδιότητες, χαμηλή τριβή και υψηλή αντίσταση στην θέρμανση, την υγρασία και τα χημικά καθώς και καλή σταθερότητα.
- **NYLON 12:** έχει την χαμηλότερη απορρόφηση νερού και είναι το πιο σταθερό σε σχέση με τα άλλα. Σε ξηρές συνθήκες είναι πιο ευλύγιστο από τα άλλα δύο μεταξύ θερμοκρασιών που κυμαίνονται από 40°C μέχρι 150 °C. Είναι το ελαφρύτερο με πυκνότητα 1.01 g/m<sup>3</sup>.

### 5.2.1.5 Πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC)

Το PVC είναι το πιο διαδεδομένο μη μεταλλικό υλικό για περιβλήματα. Αυτό γιατί έχει χαμηλό κόστος, είναι εύκολο στην επεξεργασία και έχει εξαιρετικές συνολικά ιδιότητες όσο αφορά την αντίσταση σε χημικά και φωτιά. Περιέχει περίπου 55% χλώριο και είναι γραμμικό στην δομή του, έχει μόνο λίγες αλυσίδες, με κρυσταλλικότητα 5-10%. Το υλικό αυτό πρέπει να συνδυάζεται με πρόσθετα όπως πλαστικοποιητές και σταθεροποιητές για να κατορθώσει να έχει ευκαμψία, αντίσταση στην φωτιά και χαμηλής θερμοκρασίας ιδιότητες. Σαν υλικό για περιβλήματα γενικά κατέχει καλή φυσική δύναμη και εξαιρετική αντίσταση σε υγρό και χωμάτινο περιβάλλον. Η χαμηλή αντίσταση στην φλόγα καθώς και η ευκαμψία σε χαμηλές θερμοκρασίες μπορούν με πρόσθετα να βελτιωθούν. Με την κατάλληλη πρόσμιξη μπορείς να το εγκαταστήσεις σε χαμηλές θερμοκρασίες από  $-10^{\circ}\text{C}$  έως  $-40^{\circ}\text{C}$ .

Ένας περιορισμός του PVC είναι ότι έχει την τάση να παραμορφώνεται κάτω από πίεση, πράγμα που το καθιστά ακατάλληλο σε εφαρμογές που τα καλώδια έχουν λαβές. Σε αυτές της περιπτώσεις γίνεται χρήση του νεοπρενίου. Αφού το PVC είναι θερμοπλαστικό υλικό δεν αντέχει υψηλές θερμοκρασίες. Κάτω από συνθήκες με υψηλό σφάλμα μπορεί να καταστραφεί είτε λιώνοντας είτε απελευθερώνοντας τους πλαστικοποιητές κάνοντας το σκληρό και εύθραυστο. Σε εφαρμογές κάτω από συνεχή dc τάση σε υγρές περιοχές, όπως σε κυκλώματα μπαταρίας, σε μονού πυρήνα PVC καλώδια συνήθως αποτυγχάνει λόγω της ηλεκτροενδόσμωσης (electro-endosmosis) δηλ της εισχώρησης ατμοποιημένου νερού εξαιτίας της τάσης (voltage stress). Τέλος μεγάλη ποσότητα χλωρίου μπορεί να απελευθερωθεί κατά την διάρκεια φωτιάς και σε συνδυασμό με την υγρασία από περιβαλλοντικές συνθήκες να δημιουργηθεί υδροχλωρικό οξύ πράγμα ολέθριο για το καλώδιο. Αυτό είναι ένα μεγάλο πρόβλημα όσο αφορά την χρήση του.



Εικόνα 1: καλώδιο με PVC περίβλημα.

## **5.2.2 Θερμοσκληρυνόμενα περιβλήματα (Thermosetting jackets)**

Τα θερμοσκληρυνόμενα περιβλήματα δεν χρησιμοποιούνται ευρέως στα υπόγεια καλώδια εκτός από ειδικές περιπτώσεις που χρησιμοποιείται το δικτυωμένο πολυαιθυλένιο μέσης και υψηλής πυκνότητας. Αυτό χρησιμοποιείται κυρίως σαν εξωτερικό ανθεκτικό στρώμα σε καλώδια με δύο στρώματα. Τα θερμοσκληρυνόμενα περιβλήματα χρησιμοποιούνται κυρίως σε εφαρμογές στην βιομηχανία και σε κινητήρες.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται σε θερμοσκληρυνόμενα περιβλήματα είναι:

- Δικτυωμένο πολυαιθυλένιο (XLPE)
- Χλωροσουλφονομένο πολυαιθυλένιο (CSPE-ChloroSulfonated PolyEthelene)
- Νιτρική καουτσούκ (NR-Nitric Rubber)
- Αιθυλενοπροπενιακό καουτσούκ (Ethylene propylene rubber)
- Πολυβινυλοχλωρίδιο (nitrile-butadiene /polyvinyl chloride)
- Νεοπρένιο (neoprene)

### **5.2.2.1 Δικτυωμένο πολυαιθυλένιο (XLPE)**

Το δικτυωμένο πολυαιθυλένιο (XLPE) σε αντίθεση με το μαύρο άνθρακα που προβάλλει αντίσταση στο φως ,παρέχει στο περίβλημα ένα υλικό δυνατό, υγρό ,χημικό και με αντίσταση στον καιρό. Τα μέσης και υψηλής πυκνότητας υλικά είναι πολύ δυνατά και χρησιμοποιούνται σαν ανθεκτικότερο εξωτερικό στρώμα σε δύο στρωμάτων καλώδια.

### **5.2.2.2 Νεοπρένιο (neoprene)**

Το νεοπρένιο έχει καλή αντίσταση στην φλόγα, στο λάδι και το γράσο, το φως και τον καιρό. Με διάφορες προσμίξεις σε αυτό μπορεί να έχουμε και αντίσταση στην υγρασία. Ανάλογα τις τεχνικές πρόσμιξης μπορούμε να βελτιώσουμε τα χαρακτηριστικά που εμφανίζει σε χαμηλές θερμοκρασίες (από -30°C μέχρι 40 °C). Εξαιτίας της ανθεκτικότητας του, της αντίστασής του στην

τριβή, την φλόγα και την θερμότητα το νεοπρένιο είναι το πιο διαδεδομένο υλικό στην βιομηχανία εξόρυξης. Αυτά τα χαρακτηριστικά είναι επιθυμητά σε αυτήν την βιομηχανία αφού αντέχουν υψηλή θερμοκρασία καθώς εγκαθίστανται πάνω σε μπομπίνες.

#### **5.2.2.3 Χλωροσουλφονομένο πολυαιθυλένιο (CSPE)**

Έχει παρόμοιες ιδιότητες με το νεοπρένιο. Οι προσμίξεις CSPE είναι όμως ανώτερων ιδιοτήτων από του νεοπρενίου. Έχει καλύτερη αντίσταση στην θέρμανση( πάνω από 90 °C), στα οξειδωτικά υλικά, το όζον, την υγρασία και έχει καλύτερες διηλεκτρικές ιδιότητες.

#### **5.2.2.4 Νιτρική καουτσούκ**

Οι ενώσεις του παρέχουν αντίσταση στο έλαιο σε υψηλές θερμοκρασίες (250°C και μεγαλύτερες) και είναι συν-πολυμερή του βουτανιδενίου και ακρυλονιτριλίου (butadiene και acrylonitrile). Η χαμηλή του όμως αντίσταση στην οξείδωση το κάνει να μην χρησιμοποιείται συχνά.

#### **5.2.2.5 Πολυβινυλοχλωρίδιο**

Οι ενώσεις του είναι μείγματα ελαστικού νιτριλίου αναμειγμένα με PVC. Δημιουργεί χρωματιστά περιβλήματα αντί για μαύρα όπως του νεοπρένιο και έχει παρόμοιες ιδιότητες με αυτό.

#### **5.2.2.6 Αιθυλενοπροπενιακό καουτσούκ (EPR)**

Το EPR χρησιμοποιείται στα περιβλήματα σε χαμηλές θερμοκρασίες (-60°C) όπου απαιτείται ευκαμψία. Χρησιμοποιείται σε χαμηλής τάσης καλώδια.

### **5.3 Οπλισμός (Armor)**

Εδώ έχουμε δυο είδη οπλισμού:

- Συμπλέκουν οπλισμός (Interlocked armor)
- Κυκλικού καλωδίου οπλισμός (Round-wire armor)



### 5.3.1 Συμπλέκουν οπλισμός (Interlocked armor)



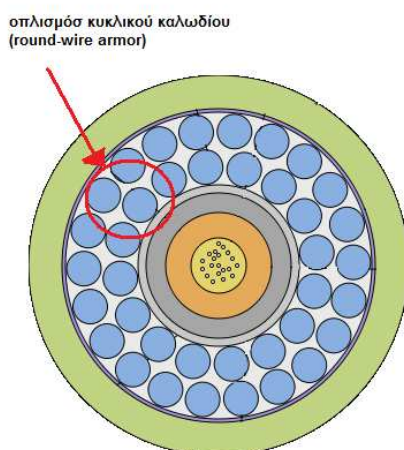
Εικόνα 1: Καλώδιο 600 volts με συμπλέκουν οπλισμό από γαλβανισμένο ατσάλι.

Ο οπλισμός αποτελείται από μια ενιαία μεταλλική ταινία (Εικόνα 1) που οι στροφές της είναι διαμορφωμένες έτσι ώστε να συμπλέκονται κατά την κατασκευαστική διαδικασία. Έτσι μπορούμε να παρέχουμε σε όλο το καλώδιο μηχανική προστασία. Τα μέταλλα που χρησιμοποιούνται είναι γαλβανισμένο ατσάλι, αλουμίνιο, χαλκός, ανοξειδωτο ατσάλι ή χαλκός. Συνηθέστερο είναι το γαλβανισμένο ατσάλι. Ακολουθούν για χρήση σε ειδικές εφαρμογές το ανοξειδωτο ατσάλι ή χαλκός ενώ το αλουμίνιο και ο χαλκός χρησιμοποιούνται όταν μας ενδιαφέρει το βάρος και τα μαγνητικά αποτελέσματα.

Συμπλέκουν οπλισμός χρησιμοποιείται σε εναέριες εφαρμογές έτσι ώστε τα συστήματα αγωγών και σωλήνων να εξαλειφθούν. Η στρογγυλεμένη επιφάνεια του οπλισμού αντέχει την πρόσκρουση καλύτερα από την ίσια ατσάλινη ταινία. Αυτό του είδους ο οπλισμός παρέχει κάποια ευκαμψία στο καλώδιο. Για την προστασία του από διάβρωση χρησιμοποιούμε περίβλημα. Δεν μπορεί να αντέξει την διαμήκη τάση, γι αυτό μεγάλες κάθετες διαδρομές του οπλισμού πρέπει να αποφεύγονται.

### 5.3.2 Κυκλικού καλωδίου οπλισμός (Round-wire armor)

Αποτελείται από ένα ή δύο στρώματα από στρογγυλά σύρματα που τοποθετούνται πάνω από τον πυρήνα του καλωδίου. Χρησιμοποιείται όταν θέλουμε υψηλή αντοχή σε εφελκυσμό, σε μηχανική αντίσταση και σε τριβή. Στα υποβρύχια καλώδια τοποθετείται ο οπλισμός πάνω από ένα εμποτισμένο στρώμα με πολυπροπυλένιο. Τα στρογγυλά καλώδια που αποτελούν αυτό το είδος του οπλισμού έχουν λιγότερη αντίσταση στην διάτρηση απ ότι συμπλέκουν οπλισμός. Για καλώδια μονού πυρήνα το αλουμίνιο ή ο χαλκός χρησιμοποιείται για τα σύρματα ώστε να μειώσουμε τις απώλειες που οφείλονται στα κυκλωματικά ρεύματα. Τα σύρματα μπορούν να καλυφθούν το καθένα ξεχωριστά με πολυαιθυλένιο ή άλλα υλικά με αντίσταση στην διάβρωση. Έτσι θα έχουμε ένα κομμάτι της περιφέρειας χωρίς μεταλλική προστασία. Γι αυτό τον λόγο τέτοια καλώδια έχουν δύο σειρές οπλισμού ,με το δεύτερο στρώμα συρμάτων να εναποθέτεται στα κενά που δημιουργεί το πρώτο στρώμα.(εικόνα 2)



Εικόνα 2: Καλώδιο Υ.Τ με 2 στρώματα συρμάτων οπλισμού

## Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup>

### Υποβρύχια καλώδια και συστήματα.

#### 6.1 Γενικά

Υποβρύχια καλώδια χρησιμοποιούνται σε τρεις τύπους εγκαταστάσεων:

- a) Για εγκαταστάσεις σε διαβάσεις ποταμών ή μικρών διαδρομών που αποτελούνται σε γενικές γραμμές από σχετικώς ρηχά νερά
- b) Για εγκαταστάσεις μεγαλύτερων υποβρύχιων καλωδίων, ακτή με ακτή και νησί με την ηπειρωτική χώρα συχνά βρίσκονται μέσα σε βαθιά νερά και διασχίζουν διασταυρώσεις και δρόμους καραβιών καθώς και ζώνες αλιείας. Αυτά τα καλώδια γενικά απαιτούνται για μεγάλο όγκο μεταφοράς ισχύος σε υψηλή τάση είτε ac είτε dc
- c) Μεταξύ πλατφορμών, πλατφορμών και ενοτήτων βυθού ή μεταξύ μιας ακτής και μιας πλατφόρμας εξόρυξης πετρελαίου ή φυσικού αερίου, όπου αυτά τα καλώδια απλώνονται και τοποθετούνται σε βάθη πάνω από 200 m αλλά είναι προβλέψιμο ότι και μεγαλύτερου βάθους εγκαταστάσεις θα χρησιμοποιηθούν στο μέλλον.

Τα υποβρύχια καλώδια αποτελούν ένα θέμα λόγω της δυσκολίας στην εγκατάστασή τους και λόγω των συνθηκών στις οποίες βρίσκονται σε σχέση με τα αντίστοιχα καλώδια στην στεριά και είναι απαραίτητο να σχεδιαστεί κάθε καλώδιο ώστε να αντέχει τις περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν σε συγκεκριμένη διαδρομή στην οποία θα τεθεί προς εγκατάσταση. Υπόκεινται σε ορισμένους περιορισμούς. Τα υποβρύχια καλώδια ισχύος που είναι κατάλληλα για εγκατάσταση είναι κυρίως στερεή εμποτισμένη μάζα τύπου χαρτιού ή είναι γεμισμένα υγρό ή αέριο καλώδια ή και πολυμερικά καλώδια. Τα πολυμερικά και θερμοπλαστικά μονωμένα καλώδια χρησιμοποιούνται συνήθως για τον έλεγχο και για εφαρμογές σε όργανα. Υπάρχει μια αυξανόμενη τάση να συμπεριλαμβάνονται και πυρήνες οπτικών ινών όπου είναι δυνατό στην κατασκευή καλωδίων ισχύος, κατά κύριο λόγο για σκοπούς ελέγχου, επικοινωνίας και μετρήσεων της έντασης και της θερμοκρασίας του εκάστοτε καλωδίου.

## 6.2 Συστήματα για το AC υποβρύχιο καλώδιο.

Εφόσον και όπου είναι εφικτό, τα σχέδια AC υποβρύχιων καλωδίων είναι επιθυμητά. Όπως στην περίπτωση των κυκλωμάτων με καλώδια γης, η χρήση 3-πύρινών καλωδίων από 150 kV και πάνω προτιμάτε σε σχέση με τα μονού-πυρήνα καλώδια υπό τον όρο να πληρούν τις απαιτούμενες ιδιότητες(χαρακτηριστικά). Επίσης τα 3-πύρηνα καλώδια προσφέρουν εξοικονόμηση, τόσο στο κόστος του καλωδίου όσο και στην εγκατάσταση, καθώς μόνο δύο καλώδια χρειάζονται σε σύγκριση με τα τέσσερα για ένα σύστημα με 3-φασική εγκατάσταση, όταν απαιτείται η ασφάλεια του εφοδιασμού αν ένα καλώδιο πάθει κάποια ζημιά.

Αν ένα 3-πύρηνο υποβρύχιο καλώδιο πάθει ζημιά εξωτερικά, για παράδειγμα από μια άγκυρα ενός πλοίου ή από μια τράτα μεταφοράς εξοπλισμού, ενδέχεται και οι τρεις πυρήνες να επηρεαστούν. Εκεί θα είναι απαραίτητο η εγκατάσταση δύο 3-πύρηνων καλωδίων από την αρχή, και κατά προτίμηση σε απόσταση μεταξύ τους διακόσια πενήντα μέτρα (250 m) ή και περισσότερα για την απόκτηση μιας λογικής ασφάλειας εφοδιασμού. Σε εγκαταστάσεις 3-πύρηνων συμπαγή τύπου καλωδίων (για κυκλώματα πάνω από 33 kV ) μερικές φορές προτιμάται η τύπου ενιαίας οδήγησης καλώδια (HSL καλώδια- high speed link καλώδια), ειδικότερα για εγκαταστάσεις καλωδίων σε βαθιά νερά.

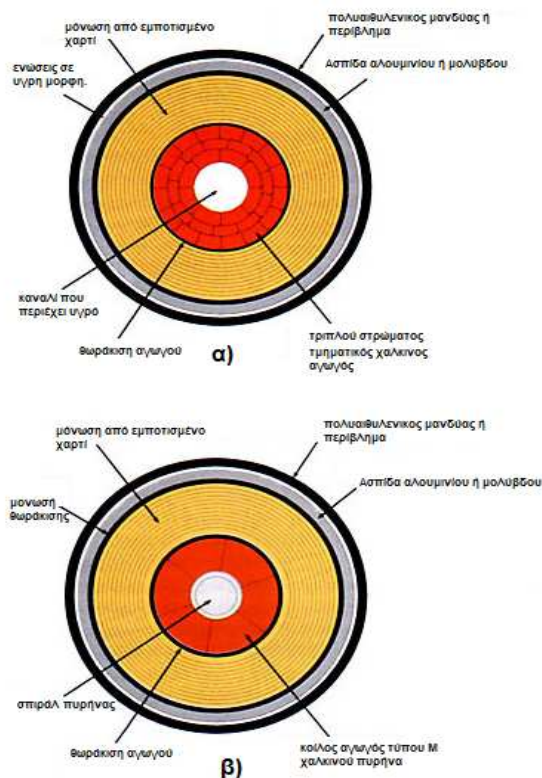
Για δημιουργία μεγαλύτερων συστημάτων (μεγαλύτερα σχέδια) για A.C ισχύς, θα είναι απαραίτητη η χρήση μονού πυρήνα καλωδίων καθώς τα 3-πυρηνα καλώδια δεν θα είναι σε θέση να πληρούν τις ιδιότητες που απαιτούνται. Σε αυτή την περίπτωση τα καλώδια διαχωρίζονται, τόσο μακριά το ένα από το άλλο, έτσι ώστε το ρίσκο να πάθει ζημιά παραπάνω από ένα καλώδιο να ελαχιστοποιηθεί. Η εγκατάσταση τεσσάρων μονού πυρήνα καλωδίων για ένα κύκλωμα ή ένα εφεδρικό καλώδιο για δύο ή τρία κυκλώματα, θα πρέπει να παρέχει εύλογη διασφάλιση της συνέχειας του εφοδιασμού. Ωστόσο ευρέως κατανεμημένα μονού πυρήνα μαγνητικά οπλισμένα καλώδια προκαλούν αύξηση των απωλειών της ασπίδας. Αυτές

οι απώλειες μπορούν να ελαχιστοποιηθούν με την χρήση ενός εξωτερικού ομοκεντρικού αγωγού κάτω από τον σπλισμό.

### 6.3 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά για τον σχεδιασμό των υποβρυχίων καλωδίων

#### 6.3.1 Αγωγοί υποθαλάσσιων καλωδίων

Το σχέδιο του αγωγού θα επηρεαστεί από την επιλογή του συστήματος μεταφοράς. Μεγάλες υποθαλάσσιες διαδρομές αποτελούνται συνήθως από D.C συστήματα (schemes), τα οποία επιτρέπουν την χρήση ομοκεντρικής πέπλεξης αγωγούς. Όσο αφορά τα εναλλασσομένου ρεύματος (A.C) υποθαλάσσια καλώδια δεν θα έχουν καμιά διαφορά στην σχεδίαση των πυρήνων τους από τα εναλλασσομένου ρεύματος καλώδια στις στεριάς. Εδώ θα χρησιμοποιηθούν A.C αγωγοί τύπου Milliken ή αλλιώς <<τύπου M>> που διαφέρουν ελάχιστα από τους τμηματικούς αγωγούς (segmental conductors) όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Εικόνα 1: α) χάλκινος τμηματικός αγωγός , β) χάλκινος αγωγός τύπου M

### 6.3.2. Πάχος μόνωσης υποθαλάσσιων καλωδίων

Η σχεδίαση που απαιτείται για το πάχος της μόνωσης ακολουθεί τις ίδιες βασικές αρχές που ακολουθούν τα καλώδια στην στεριά και για υψηλότερες τάσεις συνήθως καθορίζεται από απαίτηση δοκιμής κρουστικής τάσης. Θεωρείται φρόνιμο ωστόσο, να έχουμε στα υποθαλάσσια καλώδια ελαφρώς μικρότερες <<μέγιστες καταπονήσεις>> (maximum stresses) κατά τον σχεδιασμό απ' ό,τι στα καλώδια στεριάς, για να αντισταθμιστεί η σοβαρή κάμψη και <<τάση>> (τέντωμα) το οποίο ένα τέτοιο υποθαλάσσιο καλώδιο μπορεί να αντέξει κατά την διαδικασία εναπόθεσης του. Η συνεπαγόμενη αύξηση της ηλεκτρικής αντοχής του καλωδίου θεωρείται ότι δικαιολογεί την μικρή αύξηση του κόστους του. Για τους D.C χειρισμούς, οι σχεδιασμένες αντοχές πάνω από 32 MV/m χρησιμοποιούνται για συμπαγής τύπους καλωδίων και 35 MV/m για FF καλώδια (χαρτιού και PPL μόνωσης). Συνεπώς και οι 2 τύποι καλωδίων να χρησιμοποιηθούν στα υψηλότερης τάσης συστήματα.

### 6.3.3. Βαθμονόμηση ρεύματος

Η βαθμονόμηση των υποβρυχίων καλωδίων κατά κύριο λόγο εξαρτάται από:

- την μέγιστη θερμοκρασία του αγωγού,
- τη θερμική ειδική αντίσταση του διηλεκτρικού
- το περιβάλλον εναπόθεσης του καλωδίου

και στην περίπτωση των συστημάτων ενός A.C καλωδίου μονού πυρήνα πέρα αυτόν σημαντικά είναι και :

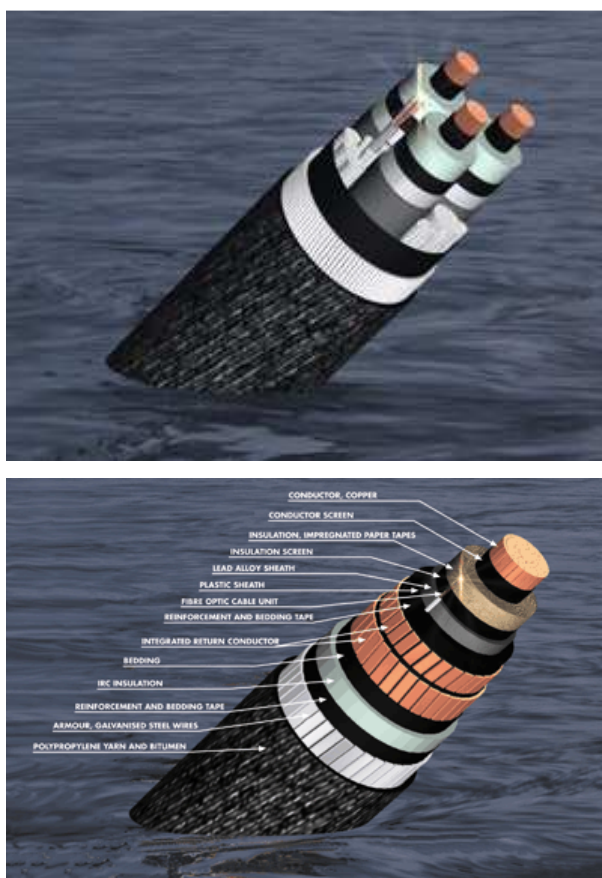
- η αξονική απόσταση μεταξύ των καλωδίων που είναι στον βυθό
- η επιλογή των υλικών θωράκισης

η θερμική ειδική αντίσταση (thermal resistivity) του περιβάλλοντος στην οποία τα καλώδια λειτουργούν εξαρτάται από τις συνθήκες της τοποθεσίας που βρίσκεται καθώς και από την μέθοδο εναπόθεσης του. Αν τα καλώδια εναποθέτονται στην επιφάνεια του βυθού υποθέτουμε κάποιες θερμικές

Μελέτη κατασκευαστικών στοιχείων καλωδίων EP YT XLPE και διαμόρφωση δοκιμίου για εργαστηριακές επιδείξεις

αξίες του 0,3 Km/W . Αν το καλώδιο είναι θαμμένο μέσα στον βυθό σε βάθος λιγότερο από 2 μέτρα οι θερμικές αξίες είναι πάνω από 1.0 Km/W.

Στα σχέδια με υποβρύχιο καλώδιο A.C μονού πυρήνα, τα καλώδια είναι απλωμένα πάνω στον βυθό και τα κυκλώματα με θήκη είναι ενωμένα και στις δύο άκρες. Η μεγάλη απόσταση του καλωδίου αυξάνει το κυκλωματικό ρεύμα και έτσι μειώνεται η κατάταξη του ρεύματος των καλωδίων. Επίσης η χρήση οπλισμού κράματος αλουμινίου επιτρέπει την υψηλότερη πυκνότητα ρεύματος στους αγωγούς βάσης με το ελάχιστο κόστος ,και οι μηχανικές ιδιότητες και οι ευπάθειες στην διάβρωση του κράματος αλουμινίου είναι συχνά ανεπαρκής να προστατέψουν το καλώδιο από ακραίους κινδύνους. Ο οπλισμός από γαλβανισμένα ατσάλινα σύρματα έχει εξαιρετικά μηχανικά χαρακτηριστικά αλλά όταν εφαρμόζεται σε A.C καλώδια μονού πυρήνα προκαλεί αύξηση των δινορευμάτων (eddy currents), των ρευμάτων υστέρησης (hysteresis) και κυκλωματικών ρευμάτων στο μαγνητικό υλικό.



Εικόνα 2: Υποβρύχια καλώδια τυπου χιρε με τριπλού και μονού πυρήνα

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup>

### ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΚΑΛΩΔΙΟΥ Ε.Ρ ΤΥΠΟΥ XLPE 150

#### kV.

#### 7.1 Διαμόρφωση ενός δοκιμίου καλωδίου Ε.Ρ Υ.Τ XLPE 150 kV για εργαστηριακές επιδείξεις

Πραγματοποιήθηκε σταδιακή αποφλοιώση ενός μέρους του καλωδίου, μήκους 30 cm ώστε να φανούν όλα τα υποστρώματα και μέρη του καλωδίου. Κάθε υπόστρωμα είναι 5 cm. Χρησιμοποιήθηκε σέγα ,σβουράκι ,καλέμι και σφυρί. Το καλώδιο είναι εναλλασσομένου ρεύματος υψηλής τάσης τύπου XLPE των 150 KV. Παρακάτω φαίνεται η διαδικασία αποφλοιώσης του.



Εικόνα1: Πρώτο στάδιο αφαίρεσης του εξωτερικού περιβλήματος. Διακρίνονται επίσης η μεταλλική θωράκιση και η μόνωση χαρτιού.



Αρχικά αφαιρέθηκε με προσοχή με την βοήθεια σέγας και σβούρας το εξωτερικό περίβλημα του καλωδίου (jacket). Το περίβλημα αυτό είναι ένα θερμοπλαστικό περίβλημα (thermoplastic jacket) που παρέχει ηλεκτρική και μηχανική προστασία στα εσωτερικά υλικά του καλωδίου. Λόγω του ότι είναι ένα υπόγειο καλώδιο, έχουν ληφθεί υπ όψιν η θερμοκρασία και το περιβάλλον εγκατάστασης από τους κατασκευαστές και επομένως έχει χρησιμοποιηθεί πολυαιθυλένιο (PE). Ακόμα φαίνεται καθαρά η μεταλλική θωράκιση (Sheath). Η θωράκιση αυτή παρέχει ένα σύνορο που αποτρέπει τους ατμούς υγρασίας ή την εισχώρηση νερού στην μόνωση του καλωδίου και ποιο συγκεκριμένα στις χάρτινες μονώσεις. Κάτω από το περίβλημα (εικόνα 1) φαίνεται μια μαύρη <<χάρτινη>> ταινία που είναι για προστασία του σπλισμού (που βρίσκεται από κάτω ) από την υγρασία. Ο σπλισμός είναι τύπου round-wire (εικόνα 2) και χρησιμοποιήθηκε για να έχουμε λιγότερη αντίσταση στην διάτρηση κατά την εγκατάσταση. Αποτελείται από μια σειρά στρογγυλά σύρματα ,πιθανός χάλκινα λόγω του κόκκινου χρώματος, που τοποθετούνται πάνω από τον πυρήνα του καλωδίου. Έγινε πιθανός χρήση χαλκού για μείωση των απωλειών που οφείλονται σε κυκλωματικά ρεύματα. Κάτω από τον σπλισμό



Μελέτη κατασκευαστικών στοιχείων καλωδίων ΕΡ ΥΤ ΧΛΡΕ και διαμόρφωση δοκιμίου για εργαστηριακές επιδείξεις

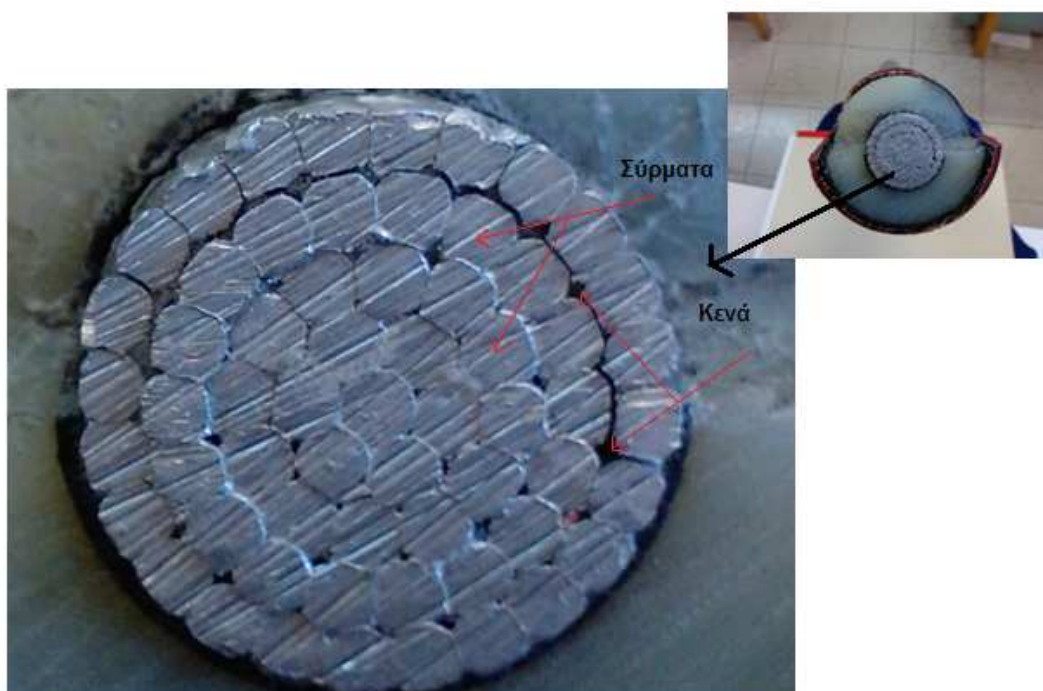
Εικόνα 2: Διακρίνεται ο σπλισμός τύπου round-wire.

έχουμε πάλι ταινία προστασίας. Κάτω από αυτή βλέπουμε το στρώμα που αποτελεί την κύρια μόνωση του καλωδίου που είναι κατασκευασμένο με δικτυωμένο πολυαιθυλένιο (ΧΛΡΕ). Το κόψιμο έγινε με χρήση καλεμιού διότι η αρχική απόπειρα με σβουράκι προκάλεσε θέρμανση του ΧΛΡΕ με αποτέλεσμα να αρχίζει να λιώνει, πράγμα λογικό λόγο των ιδιοτήτων του. (εικόνα 3)



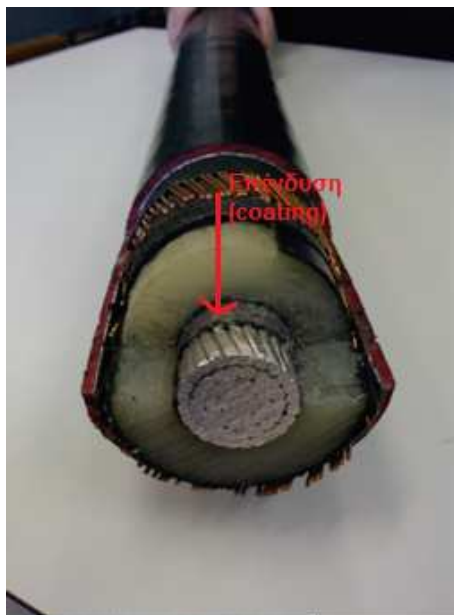
Εικόνα 3: Κόψιμο του δικτυωμένου πολυαιθυλενίου

Κάτω από την μόνωση βρίσκεται ο κύριος αγωγός ο οποίος είναι συμπιεσμένης πέπλεξης(εικόνα 4). Βλέπουμε ότι αποτελείται από 61 χάλκινα νήματα και η γωνία των κενών είναι περίπου  $10^\circ$ . Ο κύριος αγωγός όπως βλέπουμε στην εικόνα 4 έχει επένδυση (coating) πιθανόν από νικέλιο αφού έχουμε χάλκινο αγωγό και η επένδυση αποκολλάτε εύκολα.(εικόνα 5)



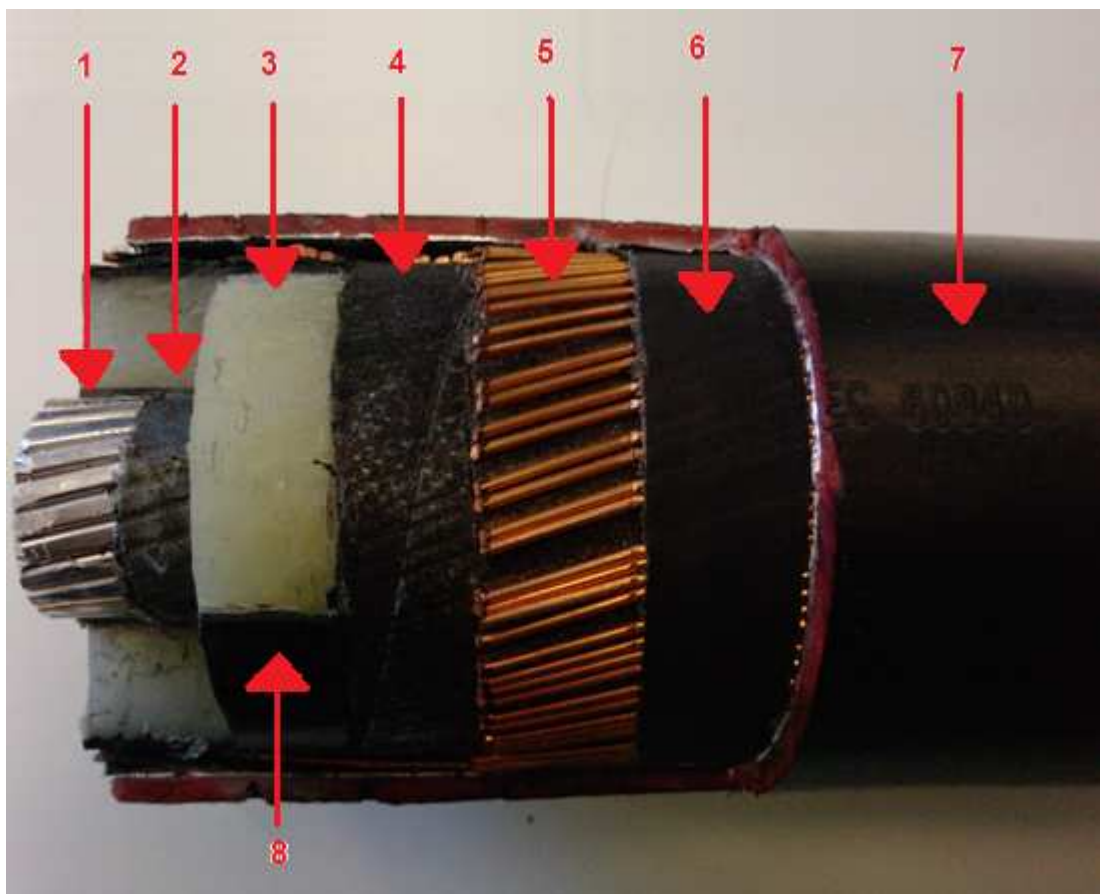
Εικόνα 4:ο αγωγός συμπιεσμένης πέπλεξης με 61 νήματα.

Μελέτη κατασκευαστικών στοιχείων καλωδίων EP ΥΤ XLPE και διαμόρφωση δοκιμίου για εργαστηριακές επιδείξεις



Εικόνα 5:εδώ φαίνεται καθαρά η επένδυση.

Τέλος ακολουθεί μια γενική εικόνα του δοκιμίου προς επίδειξη.



Μελέτη κατασκευαστικών στοιχείων καλωδίων ΕΡ ΥΤ ΧΛΡΕ και διαμόρφωση δοκιμίου για εργαστηριακές επιδείξεις



Εικόνα 6: 1) κύριος αγωγός 2) επένδυση αγωγού 3) μόνωση χλρε 4 κ 6) χάρτινη μόνωση 5) σπλισμός 7) περίβλημα ΡΕ 8) εσωτερική θωράκιση

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- [1] ELECTRIC CABLES HANDBOOK Third Edition G.F.MOORE
- [2] ELECTRIC POWER CABLE ENGINEERING Wiliam A. Thue
- [3] ELECTRIC TRANSMISSION AND DISTRIBUTION REFERENCE BOOK by Central Station Engineers of Westinghouse Electric Corporation.
- [4] ΕΥΡΩΠΑΪΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ ΚΑΙ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ-ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΕΝΑΡΜΟΝΙΣΗΣ ΣΥΝΕΔΡΙΟ
- [5] ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ ΕΛΟΤ [www.elot.gr](http://www.elot.gr)
- [6] ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ CABLE HELLENIC CABLES HIGH VOLTAGE POWER CABLES
- [7] XLPE CABLE SYSTEMS USERS GUIDE
- [8] WIRE AND CABLE TECHNICAL INFORMATION HANDBOOK BY ANIXTEN
- [9] IEC 60228
- [10] FULGOR HIGH VOLTAGE AND EXTRA HIGH VOLTAGE XLPE CABLES FOR ELECTRICITY SUPPLY by FULGOR
- [11] CABLE INTERCONNECT "SYSTEM" DESIGN AND COMPONENT SELECTION MANUAL by STORM products company
- [12] [www.iec.ch](http://www.iec.ch)
- [13] [www.cenelec.be](http://www.cenelec.be)
- [14] [www.icea.net](http://www.icea.net)
- [15] [www.wikipedia.gr](http://www.wikipedia.gr)
- [16] [www.ieee.org](http://www.ieee.org)
- [17] [www.nexans.gr](http://www.nexans.gr)
- [18] [www.cablel.gr](http://www.cablel.gr)
- [19] <http://www.minco.com/>
- [20] <http://www.pmel.org/Wire-Cable-Glossary.htm#start>

## Παράρτημα Α

### Πίνακες κεφαλαίου για αγωγούς

#### 5.1 Properties

**Table 3-5**

Property	Unit	Copper, Annealed	Alum, Hard Drawn
Density at 20°C	Pounds/in <sup>3</sup> Grams/cm <sup>3</sup>	0.32117 8.890	0.0975 2.705
Linear Temp. Coeff. of Expansion	per °F per °C	$9.4 \times 10^{-6}$ $17.0 \times 10^{-6}$	$12.8 \times 10^{-6}$ $23.0 \times 10^{-6}$
Melting Point	per °F	1981	1205–1215
Melting Point	per °C	1083	652–657

Rated voltage up to 220 kV								
Cross section mm <sup>2</sup>	Aluminium conductor				Copper conductor			
	In ground		In air		In ground		In air	
	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C
16	74	89	60	82	96	115	78	105
25	95	115	80	110	120	145	105	140
35	115	135	97	130	145	175	125	170
50	135	160	120	165	175	210	155	210
70	165	195	145	195	210	250	185	250
95	195	230	170	230	250	300	220	290
120	220	265	200	270	285	340	255	345
150	245	295	225	300	315	380	285	390
185	280	335	255	345	355	430	325	440
240	320	385	300	400	410	495	380	515
300	365	435	335	455	460	555	430	580
400	410	490	385	525	515	625	490	680
500	465	560	445	610	580	700	560	780
630	525	635	510	705	640	785	635	890
800	585	715	585	810	705	865	715	1000
1000	645	785	655	915	755	935	785	1100

Πίνακας 1: Βαθμονόμηση ρεύματος για τριών πυρήνων καλώδια σε αμπέρ

Μελέτη κατασκευαστικών στοιχείων καλωδίων ΕΡ ΥΤ XLPE και διαμόρφωση δοκιμίου για εργαστηριακές επιδείξεις

Rated voltage 110-500 kV, aluminium conductor – 95 mm <sup>2</sup> screen																
Cross section conductor	Cables in Ground								Cables in Air							
	Flat formation ●●●				Trefoil formation ●●●				Flat formation ●●●				Trefoil formation ●●●			
	Crossbonded		Both ends		Cross bonded		Both ends		Crossbonded		Both ends		Cross bonded		Both ends	
mm <sup>2</sup>	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C
300	415	495	365	445	395	475	385	460	465	625	415	565	410	550	400	540
400	470	565	410	500	450	540	435	525	535	715	470	640	475	640	460	625
500	540	645	455	555	515	620	490	595	620	835	530	725	550	745	530	720
630	620	740	500	610	590	710	550	670	730	975	595	820	640	865	605	830
800	700	845	540	665	670	805	610	745	840	1130	660	910	735	995	685	940
1000	785	950	585	720	745	900	670	820	960	1295	720	1005	830	1135	765	1055
1200	850	1025	610	755	805	970	710	870	1055	1420	765	1070	905	1235	825	1140
1400	910	1100	635	785	855	1040	745	915	1140	1545	805	1125	975	1335	880	1220
1600	960	1165	655	815	900	1095	775	955	1220	1650	835	1170	1035	1420	925	1285
2000	1050	1275	685	855	975	1190	820	1015	1355	1840	885	1250	1140	1570	1000	1395

Rated voltage 110-500 kV, copper conductor – 95 mm <sup>2</sup> screen Segmental conductor for 1200 mm <sup>2</sup> or more.																
Cross section conductor	Cables in Ground								Cables in Air							
	Flat formation ●●●				Trefoil formation ●●●				Flat formation ●●●				Trefoil formation ●●●			
	Crossbonded		Both ends		Cross bonded		Both ends		Crossbonded		Both ends		Cross bonded		Both ends	
mm <sup>2</sup>	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C
300	530	640	440	535	505	610	480	580	600	805	500	685	525	710	500	685
400	600	720	485	595	575	690	540	650	680	915	565	775	605	820	575	785
500	685	825	530	650	655	785	600	730	790	1060	625	860	695	945	650	895
630	780	940	570	705	740	890	660	810	915	1235	685	950	800	1085	735	1010
800	870	1055	610	755	825	995	720	885	1045	1415	745	1040	905	1235	815	1130
1000	960	1165	645	800	900	1095	770	950	1175	1590	800	1125	1005	1380	895	1245
1200	1115	1345	690	860	1060	1280	855	1055	1395	1880	880	1240	1210	1650	1025	1425
1400	1205	1455	715	890	1145	1385	895	1110	1530	2065	920	1300	1320	1800	1090	1525
1600	1280	1550	735	920	1215	1470	930	1155	1655	2235	960	1355	1420	1940	1150	1615
2000	1410	1705	765	955	1320	1605	980	1220	1845	2500	1000	1425	1565	2145	1230	1740
2500	1540	1875	795	1000	1445	1755	1025	1285	2095	2845	1065	1515	1750	2410	1330	1890
3000	1640	1995	820	1025	1530	1865	1055	1330	2280	3105	1100	1575	1885	2600	1400	1990

Πίνακες 2 κ 3: Βαθμονόμηση ρεύματος για σύνδεση τριών πυρήνων καλώδια XLPE σε trefoil και flat σύνδεση.