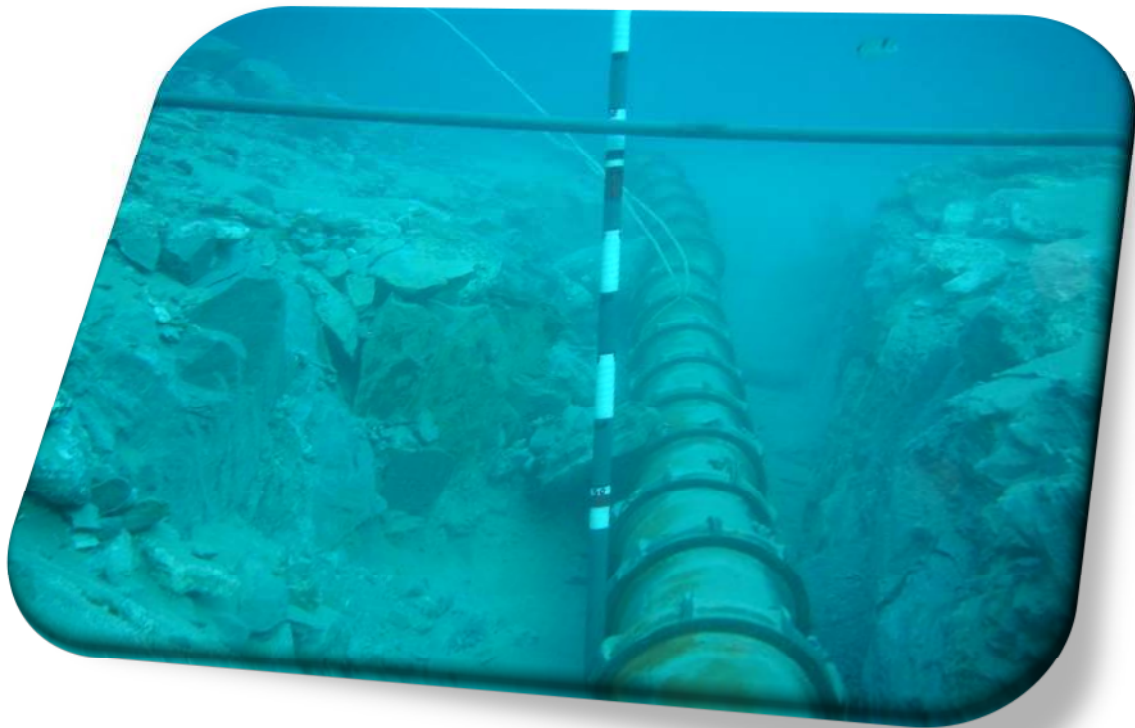




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΛΟΙΟΥ
ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ

**Πόντιση Υποβρύχιων Καλωδίων,
ο Στόλος, η Διαδικασία και
Μελέτη Αξιοπιστίας Υ/Β Δικτύου Μέσης Τάσης**



Ονοματεπώνυμο: Σταύρου Δημήτριος

Επιβλέπων: Νικόλαος Βεντικός, Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Ιανουάριος 2012

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ολόψυχα τον επιβλέποντα καθηγητή του τομέα των Θαλασσίων Μεταφορών της σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, Δρ. Ν. Π. Βεντίκο για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε τόσο στην ανάθεση του θέματος όσο και καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Θερμές ευχαριστίες στον κ. Χ. Θεοδοσόπουλο Υποτομέαρχη Γραμμών Διεύθυνσης Δικτύου της ΔΕΗ, χωρίς την συνδρομή και τις γνώσεις του οποίου, δεν θα ήταν δυνατή η εκπόνηση μεγάλου μέρους της εν λόγω διπλωματικής εργασίας.

Ευχαριστώ τον κ. Ιωάννη Φραγκελάκη για την θετική μεσολάβησή του κατά την έναρξη της εργασίας και τον κ. Γ. Κυρίτση Τομέαρχη Γραμμών Διεύθυνσης Δικτύου της ΔΕΗ, που έδωσε την έγκριση χρησιμοποίησης στοιχείων, σχετικά με την εκπόνηση της εργασίας.

Θερμές ευχαριστίες στην αγαπημένη μου σύζυγο Σάσα, χωρίς την αμέριστη συμπαράσταση και υποστήριξη της οποίας η παρούσα εργασία θα ήταν ανέφικτο να ολοκληρωθεί.

Τέλος, θα ήθελα να αφιερώσω τη διπλωματική εργασία στις λατρεμένες μου κόρες Πένυ και Κωνσταντίνα

Περίληψη

Εισαγωγή: Η ασφαλής μεταφορά ενέργειας και δη ηλεκτρικής αποτελούσε από την ανακάλυψη της μείζον θέμα μελέτης και ζυμώσεων στην επιστημονική κοινότητα. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με τις ολοένα και μεγαλύτερες απαιτήσεις σε κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, επιτάχυνε δραματικά τους ρυθμούς ανάπτυξης των καλωδίων μεταφοράς ηλεκτρικής ισχύος. Παράλληλα όμως με τις αυξημένες απαιτήσεις στο ηπειρωτικό δίκτυο, αύξαναν με ανάλογο ρυθμό και οι απαιτήσεις σε νησιωτικές περιοχές. Δεδομένου ότι οι τοπικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ήταν περιορισμένης ισχύος, ξεκίνησε η ανάπτυξη των υποβρύχιων καλωδίων για μεταφορά ενέργειας από την ηπειρωτική χώρα, η οποία στις μέρες μας έχει φτάσει να αποτελεί από μόνη της, ένα τεράστιο κεφάλαιο στη «βίβλο» της μεταφοράς ενέργειας. Η χρήση όμως Υποβρύχιων καλωδίων για τη μεταφορά ηλεκτρικής ισχύος, αποτελεί ένα πολυσύνθετο πρόβλημα. Σκοπός της παρούσης μελέτης είναι με τρόπο κατά το δυνατόν επιστημονικό και ακριβή, ο προσδιορισμός των όσο το δυνατόν περισσότερων πτυχών του πολυσύνθετου προβλήματος, που αφορά στην πόντιση υποβρύχιων καλωδίων, το στόλο, τη διαδικασία και την μελέτη αξιοπιστίας.

Μελέτη: Το καλώδιο πρέπει να διαθέτει χαρακτηριστικά κατάλληλα, να επιβιώσει στο έντονα διαβρωτικό υδάτινο περιβάλλον. Πρέπει να είναι ικανό να μεταφέρει ηλεκτρική ισχύ απρόσκοπτα, δίχως διακοπές από αστοχίες. Η ποιότητα κατασκευής του πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να αντέξει τις πάσης φύσεως μηχανικές καταπονήσεις, που ενδέχεται να δεχτεί από την διαδικασία μεταφοράς του, την διαδικασία πόντισης, την φάση λειτουργίας του, καθώς και την περίπτωση πιθανής ανέλकुσής του, για επιδιόρθωση βλάβης. Επιπλέον το καλώδιο, πρέπει να μπορεί να αντέξει σε καταπονήσεις τόσο φυσικής, όσο και ανθρωπογενούς προελεύσεως.

Εκτός όμως των τεχνικών χαρακτηριστικών του καλωδίου, ώστε να ανταπεξέλθει στο δύσκολο περιβάλλον που καλείται να λειτουργήσει, έχουμε και μια σειρά παραμέτρων που αφορούν, στη διαδικασία πόντισής του ή ανέλकुσης μετά από βλάβη. Ειδικά κατασκευασμένα πλοία, με σύγχρονα συστήματα τήρησης θέσης και πλοήγησης αναλαμβάνουν το έργο της πόντισης. Ειδικός εξοπλισμός, που σχετίζεται τόσο με την ασφαλή πόντιση, όσο και την προστασία του καλωδίου, χρησιμοποιείται για την διασφάλιση του εγχειρήματος. Εδώ, τα λάθη μεταφράζονται σε υπέρογκο κόστος, τόσο οικονομικό όσο και κοινωνικό.

Πέραν των χαρακτηριστικών των καλωδίων και της διαδικασίας πόντισης, απαιτείται και ο καθορισμός ενός τρόπου αξιόπιστου, όσον αφορά την ανάλυση της αποτελεσματικότητας ή καλύτερα της αξιοπιστίας, αναφορικά με τη λειτουργία μιας διασύνδεσης.

Συμπεράσματα: Απαιτείται λοιπόν ένα μέσο, με το οποίο θα είναι δυνατή η αξιολόγηση μιας διασύνδεσης σε μονάδες αξιοπιστίας, έτσι ώστε να είναι δυνατή λ.χ. η βελτίωση της προστασίας της για αποτροπή μελλοντικών βλαβών. Απαιτείται επίσης ένα εργαλείο, ικανό να βοηθήσει στην λήψη της σωστής επιλογής, μεταξύ δύο ή περισσότερων διασυνδέσεων, με γνώμονα τη μέγιστη μεταξύ τους αξιοπιστία.

Abstract

Background : The safe transfer of electric power has always been the major issue of study and evolution in the scientific society. This fact in combination with the increasing demands of electric power consumption has significantly promoted the development of electric power transfer cables. Demands in mainland have been increasing simultaneously and in a similar rate with those of the islands. Due to the limited of local electric energy production stations, the development of submarine cables started taking place in order to contribute to the energy transfer from the mainland. This development is a cornerstone in the “bible” of energy transfer. The utilization of submarine cables for energy transfer is a significant and complicated problem. The aim of this study is to determine the utmost possible aspects of this problem that concerns the laying of submarine cables-the fleet, the lying procedure itself, the procedure and the reliability analysis-in a scientific and accurate way, with careful study and correlation of all aspects.

Study: The cable must have the specifications suitable for survival in a significantly corrosive water environment and the capability of unimpeded electric energy transfer without failure. The construction quality of the cable needs to be of that standard so as to withstand the potential mechanical strain of natural or human origin.

In addition to the cable’s technical characteristics which enable its function in a difficult environment, there is a variety of parameters concerning its laying or retraction after failure. Laying procedure is undertaken by specifically manufactured vessels with contemporary systems of position tracking and navigation. The enterprise success is safeguarded by special equipment that ensures the laying as well as the cable protection. Mistakes at any point end up in huge financial and social cost.

Except from the cable characteristics and the laying procedure, a reliability analysis of effectiveness is needed. In other words reliability analysis as far as the interconnection function is concerned.

Conclusions: A way of interconnection evaluation, in reliability terms, is necessary in order to improve the protection for future failure prevention. Furthermore a mean of proper choice selection between two or more interconnections is needed, taking into account the maximum reliability.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1	Εφαρμογές των Υποβρύχιων Καλωδίων Ισχύος	15
1.1	Παροχή ηλεκτρικής ισχύος σε Νησιά	15
1.2	Διασύνδεση αυτόνομων ηλεκτρικών δικτύων	16
1.3	Παράκτιες αιολικά πάρκα	16
1.4	Τροφοδότηση ισχύος σε πλωτές εξέδρες	17
1.5	Άλλες εφαρμογές	18
1.6	Αντικείμενο-Σκοπός παρούσης εργασίας	18
1.7	Προεπισκόπηση κεφαλαίων	18

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2	Υποβρύχια Καλώδια Ισχύος.	20
2.1	Περιγραφή Υποβρύχιων Καλωδίων Ισχύος.	20
	2.1.1 Αγωγός	20
	2.1.2 Μονωτικό Υλικό	23
	2.1.3 Περίβλημα υδατοστεγανότητας	28
	2.1.4 Οπλισμός	30
	2.1.4.1 Προστασία διάβρωσης	32
	2.1.5 Εξωτερικό Περίβλημα	33
2.2	Ειδικά κατασκευαστικά στοιχεία Καλωδίων	33
	2.2.1 Προδιαγραφές θερμικών ιδιοτήτων	34
	2.2.2 Προδιαγραφές μηχανικών ιδιοτήτων	35
	2.2.2.1 Τάση αλυσσοειδούς καμπύλης καλωδίου T_{σ}	36
	2.2.2.2 Τάση λόγω δυναμικής κίνησης του πλοίου T_{δ}	38
	2.2.2.3 Η προδιαγραφή “Electra 171”	39
	2.2.3 Προδιαγραφές ηλεκτρικών ιδιοτήτων	40
2.3	Τύποι Καλωδίων	41
	2.3.1 Τριπολικά Καλώδια Ισχύος	42
	2.3.2 Μονοπολικά Καλώδια Ισχύος	43
	2.3.3 Άλλοι τύποι Καλωδίων	43
	2.3.4 Σύνοψη Τύπων Καλωδίων-Σύγκριση	45
2.4	Τύποι υποβρυχίων καλωδίων ισχύος στην Ελλάδα	45
	2.4.1 Περιγραφή καλωδίων εμποτισμένου χαρτιού	48
	2.4.1.1 Περιγραφή Τριπολικού Καλωδίου 3x150mm ² Al 12/20kV	48
	2.4.1.2 Περιγραφή Μονοπολικού Καλωδίου 1x95mm ² Cu 12/20kV	50
	2.4.2 Περιγραφή καλωδίου μόνωσης XLPE	52
	2.4.2.1 Περιγραφή Τριπολικού Καλωδίου XLPE 3x95mm ² Cu 12/20kV	52
2.5	Διαδικασία παραγωγής και έλεγχος	55
2.6	Περιφερειακά εξαρτήματα	61

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3	Πόντιση Υποβρύχιων καλωδίων	64
3.1	Μελέτη πόντισης υποβρύχιου καλωδίου ισχύος	64
3.1.1.	Γεωλογική δομή της ευρύτερης περιοχής της ζεύξης	64
3.1.2	Έρευνα πελάγιου τμήματος	65
3.1.3.	Σημεία προσγείωσης	66
3.1.4	Υποβρύχια επιθεώρηση στην προσαιγιάλωση	67
3.1.4.1.	Υποβρύχια έρευνα για τον εντοπισμό μεταλλικών αντικειμένων	67
3.1.4.2.	Εντοπισμός εγκατεστημένων καλωδίων με υποβρύχιο ανιχνευτή Μετάλλων	67
3.1.5.	Ωκεανογραφικά –Υδρογραφικά στοιχεία	68
3.1.6.	Φυσικές και ανθρωπογενείς επικινδυνότητες	68
3.1.6.1	Φυσικές επικινδυνότητες	69
3.1.6.2	Ανθρωπογενείς επικινδυνότητες	72
3.2	Διαδικασία πόντισης Υποβρύχιων καλωδίων	76

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4	Ο Στόλος	83
4.1	Γενικά Χαρακτηριστικά Σκαφών πόντισης καλωδίων	83
4.2	Ο Στόλος πόντισης Υ/Β καλωδίων στην Ελλάδα	91
4.2.1	Καλωδιακό πλοίο «SKAGERRAK»	91
4.2.2	Καλωδιακό πλοίο «GIULIO VERNE»	94
4.2.3	Καλωδιακό πλοίο «ATALANTI»	97
4.2.4	Καλωδιακό πλοίο «STANELCO»	102
4.2.5	Καλωδιακό πλοίο «ARGO II»	104
4.2.6	Καλωδιακό πλοίο «ΙΚΑΡΟΣ»	108
4.2.7	Καλωδιακό πλοίο «ASTREA»	110
4.2.8	Πλωτή Φορηγίδα «Assodiver VII»	114

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5	Δίκτυο Υ/Β καλωδίων ΜΤ στην Ελλάδα	117
5.1	Γενική περιγραφή Ελλαδικού Υ/Β δικτύου καλωδίων ΜΤ	117
5.1.1	Χαρακτηριστικά πληθυσμού δικτύου Υ/Β καλωδίων	118
5.2	Περιγραφή βάσης δεδομένων βλαβών Υ/Β καλωδίων ΜΤ	118
5.2.2	Περιγραφική Στατιστική Παραμέτρων επίδρασης στη δημιουργία βλαβών στο δίκτυο Υ/Β καλωδίων ΜΤ	119
5.2.2.1	Γεωγραφική περιοχή που ανήκει η ζεύξη	119
5.2.2.2	Χρονολογία πόντισης καλωδίου/ων της ζεύξης	122
5.2.2.3	Μόνωση καλωδίου ζεύξης	123
5.2.2.4	Υλικό κατασκευής αγωγού ζεύξης	125
5.2.2.5	Ηλικία καλωδίου κατά την βλάβη	126
5.2.2.6	Βάθος βλάβης καλωδίου	128
5.2.2.7	Αιτία δημιουργίας της βλάβης	129
5.2.2.8	Επίδραση ανθρώπινου παράγοντα στην βλάβη	131
5.2.2.9	Απόσταση βλάβης από την ακτή	132

5.2.2.10	Ποιότητα βυθού στην περιοχή της βλάβης	133
5.2.2.11	Προστασία καλωδίου στην περιοχή της βλάβης	135

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6	Μοντέλο Ανάλυσης Αξιοπιστίας	136
6.1	Κατασκευή Στατιστικού Μοντέλου	136
6.1.1	Επιλογή παραμέτρων	136
6.2	Αναλυτική Περιγραφή Παραμέτρων Στατιστικού Μοντέλου	141
6.2.1	Διαστατική ανάλυση μαθηματικού μοντέλου	148
6.2.1.1	Συντελεστής ασφαλείας (safety factor)	148
6.2.1.2	Πιθανότητα βλάβης (failure factor)	148
6.2.2	Μετασχηματισμός της μεταβλητής E_i	149
6.2.3	Μετασχηματισμός της μεταβλητής L_j	152
6.2.4	Μετασχηματισμός της μεταβλητής D_k	154
6.3	Εφαρμογή μαθηματικού μοντέλου ανάλυσης αξιοπιστίας για μια δοσμένη διαδρομή καλωδίου	156
6.3.1	Επιλογή της βέλτιστης διαδρομής	157
6.4	Υπολογισμός μέσου χρόνου μεταξύ βλαβών (MTBF)	158
6.5	Εφαρμογή του στατιστικού μοντέλου στο υφιστάμενο Υποβρύχιο δίκτυο ΜΤ	159
6.5.1	Παράδειγμα 1: Ζεύξη Σπέτσες - Σπετσοπούλα	159
6.5.2	Παράδειγμα 2: Ζεύξη Αίγινας - Μεθάνων	161
6.5.3	Παράδειγμα 3: Ζεύξη Κω - Καλύμνου	164
6.5.4	Παράδειγμα 4: Ηλεκτρική διασύνδεση Κυκλάδων Νήσων	167

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

7	Συμπεράσματα	173
---	--------------	-----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

8	Προοπτικές αξιοποίησης Υποβρύχιου δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα	175
9	Βιβλιογραφία	178

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1:	Πόντιση Υποβρυχίων Καλωδίων σε Αιολικό Πάρκο στη Δανία	16
Εικόνα 1.2:	Πλωτή εξέδρα εξόρυξης πετρελαίου	17
Εικόνα 2.1:	Κατηγοριοποίηση αγωγών Υ/Β καλωδίων	21
Εικόνα 2.2:	Αγωγός ελαίου της Nexans Norway	22
Εικόνα 2.3:	Αγωγός τύπου Milliken	22
Εικόνα 2.4:	Καλώδιο μόνωσης XLPE της Nexans Norway	24
Εικόνα 2.5:	Υποβρύχιο καλώδιο MT από μόνωση XLPE	25
Εικόνα 2.6:	Υποβρύχιο καλώδιο MT με μονωτή από ERP	27
Εικόνα 2.7:	Υποβρύχιο καλώδιο με μονωτή εμποτισμένου χαρτιού μεγάλου ιξώδους	27
Εικόνα 2.8:	Ομοαξονικό καλώδιο διπλού αγωγού	43
Εικόνα 2.9:	Διύρηνο υποβρύχιο καλώδιο MT	44
Εικόνα 2.10:	Υποβρύχιο καλώδιο με ενσωματωμένη οπτική ίνα	44
Εικόνα 2.11:	Μηχανή απλώματος ταινιών στην επιφάνεια του αγωγού	57
Εικόνα 2.12:	Υποβρύχιο καλώδιο διπλού οπλισμού. Μεταξύ των αγωγών διακρίνεται καλώδιο οπτικής ίνας	57
Εικόνα 2.13:	Μηχανή αρμώσεως οπλισμού με περιστροφική κίνηση συρμάτων. Διακρίνονται έξι μπομπίνες σε δύο γκρουπ (Μηχανή σχεδιασμένη από Johnson & Phillips, Λονδίνο)	58
Εικόνα 2.14:	Σύνδεσμος ένωσης τριπολικού υποβρύχιου καλωδίου	62
Εικόνα 2.15:	Σύστημα συγκρατήσεως καλωδίων με σάκους από οπλισμένο σκυρόδεμα	62
Εικόνα 2.16:	Διαιρούμενα κελύφη προστασίας Υ/Β καλωδίων. Στην Αριστερή εικόνα διακρίνεται σύστημα συγκρατήσεως με αλυσίδα του καλωδίου.	63
Εικόνα 3.1:	Απόσπασμα γεωτεκτονικού χάρτη του Σαρωνικού Κόλπου (ΕΛΚΕΘΕ).	65
Εικόνα 3.2:	Χάρτης του υποβρύχιου κρατήρα Κολούμπο, πέντε χλμ από τη Σαντορίνη.	70
Εικόνα 3.3:	Χάρτης επικινδυνότητας από θαλάσσια κύματα βαρύτητας (τσουνάμι)	71
Εικόνα 3.4:	Εξοπλισμός Αλιείας	75
Εικόνα 3.5:	Αριστερά Ράουλο επί της διαδρομής μεταφοράς καλωδίου Δεξιά Χώρος αποθήκευσης καλωδίου επί πλοίου	77
Εικόνα 3.6:	Τοποθέτηση καλωδίου πάνω σε πλωτήρες κατά τη διαδικασία της πόντισης	78
Εικόνα 3.7:	Αριστερά Εργάτης έλξης καλωδίου στο σημείο πάκτωσης. Δεξιά Ραουλόδρομος όδευσης καλωδίου στο σημείο προσαιγιάλωσης.	79
Εικόνα 3.8:	Πόντιση καλωδίου από LCV	80
Εικόνα 3.9:	Αριστερά Διαδικασία όδευσης καλωδίου στο δεύτερο σημείο προσαιγιάλωσης Δεξιά Μεταφορά καλωδίου με πλωτήρες προς την ακτή	82
Εικόνα 4.1:	Περιστρεφόμενη τράπεζα μεγάλης διαμέτρου	84
Εικόνα 4.2:	Φότρωση καλωδίου σε περιστρεφόμενη τράπεζα αποθήκευσης	84
Εικόνα 4.3:	Τοποθέτηση καλωδίου από εξειδικευμένο προσωπικό	85
Εικόνα 4.4:	Αριστερά Μέσα αποθήκευσης καλωδίου, διακρίνεται περιστρεφόμενη τράπεζα, καρούλια διαφόρων μεγεθών. Δεξιά Κατακόρυφο περιστρεφόμενο τύμπανο αποθήκευσης	85

	καλωδίου	
Εικόνα 4.5:	Απεικόνιση ταυτόχρονης διάνοιξης χάνδακος και εναπόθεσης υποβρύχιου καλωδίου. Η θέση του εκσκαφέα ελέγχεται από το πλοίο με τη βοήθεια διαφορικού δορυφορικού συστήματος προσδιορισμού θέσης DGPS	86
Εικόνα 4.6:	Απεικόνιση πόντισης καλωδίου από CLV	86
Εικόνα 4.7:	Δυναμικά συστήματα ακριβούς διατήρησης θέσης Αριστερά bow thruster ,Δεξιά Azimuth pods	87
Εικόνα 4.8:	Ελευθερίες κινήσεως πλοίου CLV	87
Εικόνα 4.9:	Αριστερά Κέντρο Ελέγχου Ποντίσεως Δεξιά Χειριστής ROV	88
Εικόνα 4.10:	Αριστερά ,Δεξιά Εντατήρες καλωδίων	89
Εικόνα 4.11:	Αριστερά ,Δεξιά Υποβρύχιο όχημα ROV,Κέντρο απεικόνιση σε οθόνη εικόνας από ROV	90
Εικόνα 4.12:	σκαπτικά μηχανήματα διάνοιξης χάνδακος	90
Εικόνα 4.13:	Ελικοδρόμιο μεταφοράς προσωπικού σε CLV	90
Εικόνα 4.14:	CLV «SKAGERRAK»	92
Εικόνα 4.15:	Διάφορες λήψεις του CLV «SKAGERRAK». Διακρίνονται τα μέσα φορτοεκφόρτωσης των καλωδίων ,η περιστρεφόμενη τράπεζα αποθήκευσης καθώς και ο εξοπλισμός ποντίσεως	93
Εικόνα 4.16:	CLV «GIULIO VERNE»	94
Εικόνα 4.17:	Διάφορες λήψεις του CLV «GIULIO VERNE». Διακρίνονται τα μέσα φορτοεκφόρτωσης των καλωδίων ,η περιστρεφόμενη τράπεζα αποθήκευσης καθώς και ο εξοπλισμός ποντίσεως	96
Εικόνα 4.18:	Γενική Διάταξη του CLV «GIULIO VERNE»	97
Εικόνα 4.19:	CLV «ATALANTI»	98
Εικόνα 4.20:	CLV «ATALANTI». Διακρίνονται δύο άγκυρες στην πλώρη του πλοίου για υποβοήθηση στην διατήρηση θέσης κατά την πόντιση του καλωδίου	100
Εικόνα 4.21:	Γενική Διάταξη του CLV «ATALANTI».	101
Εικόνα 4.22:	CLV «STANELCO»	102
Εικόνα 4.23:	Διάφορες λήψεις του CLV «STANELCO» Διακρίνεται ο εξοπλισμός ποντίσεως καθώς και του σύστημα διατήρησης θέσης κατά την πόντιση του καλωδίου	103
Εικόνα 4.24:	CLV «ARGO II»	104
Εικόνα 4.25:	Διάφορες λήψεις του CLV «ARGO II». Διακρίνεται ο εξοπλισμός ποντίσεως καθώς και το τύμπανο αποθήκευσης καλωδίου.	106
Εικόνα 4.26:	Γενική Διάταξη του CLV «ARGO II».	107
Εικόνα 4.27:	CLV «ΙΚΑΡΟΣ»	108
Εικόνα 4.28:	Λήψεις του CLV «ΙΚΑΡΟΣ» Διακρίνεται ο εξοπλισμός ποντίσεως καθώς και δύο τύμπανα αποθήκευσης καλωδίου	109
Εικόνα 4.29:	CLV «ASTREA»	110
Εικόνα 4.30:	CLV «ASTREA» σε πλάγια όψη.	112
Εικόνα 4.31:	Σχέδιο Γενικής Διάταξης CLV «ASTREA»	113
Εικόνα 4.32:	Πλωτή Φορηγίδα «Assodiver VII»	114
Εικόνα 4.33:	Διάφορες λήψεις πλωτής φορηγίδα «Assodiver VII» σε επιχείρηση πόντισης υποβρύχιου καλωδίου	115
Εικόνα 5.1:	Χάρτης διασυνδέσεων Y/B καλωδίων MT στην Ελλάδα το 2011	116

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1:	Τιμές αντίστασης για αγωγούς αλουμινίου και χαλκού σύμφωνα με προδιαγραφή IEC 60228	23
Πίνακας 2.2:	Θερμοκρασίες λειτουργίας μονωτών αγωγών υποβρύχιων καλωδίων	24
Πίνακας 2.3:	Κράματα μολύβδου που χρησιμοποιούνται στα υποβρύχια καλώδια ισχύος και τα συστατικά τους	29
Πίνακας 2.4:	Σύνθεση και τάσεις διαρροής μη σιδηρούχων υλικών οπλισμού	31
Πίνακας 2.5:	Ειδική θερμική αντίσταση υλικών κατασκευής καλωδίων σύμφωνα με προδιαγραφή IEC 60287	34
Πίνακας 2.6:	Θερμικό μοντέλο της προδιαγραφής IEC 60287	35
Πίνακας 2.7:	Σύγκριση τιμών τάσεων από προδιαγραφή και από μαθηματική εκτίμηση σε περίπτωση κακοκαιρίας	40
Πίνακας 2.8:	Βασικές κατηγορίες καλωδίων	42
Πίνακας 2.9:	Πίνακας υποβρύχιων καλωδίων MT στην Ελλάδα	46
Πίνακας 2.10:	Πίνακας χαρακτηριστικών υποβρύχιων καλωδίων MT στην Ελλάδα	47
Πίνακας 2.11:	Προδιαγραφές Ελέγχων διαφόρων τύπων Υποβρύχιων Καλωδίων	59
Πίνακας 2.12:	Τάσεις ελέγχου καλωδίων για ελέγχους ρουτίνας και επισκευής	60
Πίνακας 3.1 :	Βάθος διείσδυσης συναρτήσεως εκτοπίσματος πλοίου	73
Πίνακας 3.2 :	Τύποι αγκυρών που χρησιμοποιούνται σε εμπορικά πλοία	74
Πίνακας 3.3α:	Περιορισμοί κατά τη διαδικασία της πόντισης	78
Πίνακας 3.3β:	Περιορισμοί κατά τη διαδικασία της πόντισης	78
Πίνακας 5.1 :	Πίνακας διατομών και μέγιστης ονομαστικής τάσης υφιστάμενων Υ/Β	117
Πίνακας 5.2 :	Χαρακτηριστικά κόστους –μη διαθεσιμότητας βεβλαμμένων διασυνδέσεων	118
Πίνακας 5.3 :	Συχνότητα βλαβών ανά ζεύξη	119
Πίνακας 5.4 :	Κατηγοριοποίηση βλαβών ανά γεωγραφική περιοχή	120
Πίνακας 5.5 :	Συσχέτιση βλαβών με χρονολογία πόντισης καλωδίου	121
Πίνακας 5.6 :	Πίνακας συσχέτισης αριθμού βλαβών και είδους μόνωσης αγωγού	123
Πίνακας 5.7:	Πίνακας συσχέτισης αριθμού βλαβών και υλικού κατασκευής αγωγού	124
Πίνακας 5.8 :	Χαρακτηριστικές τιμές κανονικής κατανομής βλαβών συναρτήσεως ηλικίας καλωδίου	126
Πίνακας 5.9 :	Πίνακας βλαβών ανά έτος από 2000 έως 2011	126
Πίνακας 5.10:	Πίνακας συχνότητας βλαβών ανά αιτία πρόκλησης	129
Πίνακας 5.11:	Πίνακας βλαβών κατηγοριοποιημένος ως προς τον ανθρώπινο παράγοντα	130
Πίνακας 5.12:	Πίνακας συχνότητας βλαβών ως προς την ελάχιστη απόσταση από την ακτή.	131
Πίνακας 5.13:	Πίνακας συχνότητας βλαβών ως προς την ποιότητα του βυθού.	132
Πίνακας 5.14:	Συσχέτιση αιτίας βλαβών ως προς την ποιότητα του βυθού.	133
Πίνακας 5.15:	Πίνακας βλαβών και αντίστοιχο επίπεδο προστασίας του	134

	καλωδίου	
Πίνακας 6.1:	Υφιστάμενες διασυνδέσεις MT στη Ελλάδα μέχρι Αυγ.2011	137
Πίνακας 6.2:	Συγκεντρωτική ανάλυση στοιχείων από το δίκτυο MT Y/B καλωδίων. Διακρίνονται στοιχεία που εκφράζουν το σύνολο του δικτύου Nt καθώς και τα στοιχεία που εκφράζουν τις βλάβες Nf	139
Πίνακας 6.3:	Πίνακας συσχέτισης ηλικίας καλωδίου και έτους εμφάνισης της βλάβης	140
Πίνακας 6.4:	Πίνακας παραμετρικού παράγοντα βάθους D	140
Πίνακας 6.5:	Πίνακας παραμετρικού παράγοντα μήκους L	141
Πίνακας 6.6:	Πίνακας διείσδυσης άγκυρας σε διάφορες ποιότητες βυθού	142
Πίνακας 6.7α:	Πίνακας αντιστοιχίας ποιότητας βυθού και συνολικής προστασίας	143
Πίνακας 6.7β:	Πίνακας αντιστοιχίας ποιότητας βυθού και συνολικής προστασίας	143
Πίνακας 6.8:	Πίνακας παραμέτρων στατιστικού μοντέλου	144
Πίνακας 6.9:	Πίνακας συντελεστή ασφάλειας	147
Πίνακας 6.10:	Πίνακας παραμέτρου συνολικής προστασίας και μετασχηματισμού αυτής.	148
Πίνακας 6.11:	Πίνακας προσέγγισης παραμέτρου συνολικής προστασίας με κατανομή Poisson	149
Πίνακας 6.12:	Προσέγγιση βλαβών με κατανομή Log-Normal $\sigma=1, \mu=0$	151
Πίνακας 6.13:	Πίνακας παραμέτρου ελάχιστης απόστασης βλάβης από την ακτή L και μετασχηματισμού αυτής.	152
Πίνακας 6.14:	Πίνακας Υπολογισμού $N_f(L_j, D_k E_1)$	153
Πίνακας 6.15:	Πίνακας προσέγγισης βλαβών ως προς το βάθος με κατανομή poisson για $\lambda=2$	154
Πίνακας 6.16:	Πίνακας παραμέτρου βάθους βλάβης από την επιφάνεια D και μετασχηματισμού αυτής	155
Πίνακας 6.17:	Πίνακας ανάλυσης αξιοπιστίας διασύνδεσης Σπέτσες – Σπετσοπούλα	159
Πίνακας 6.18α:	Πίνακας ανάλυσης αξιοπιστίας από Αίγινα προς μέσο διαδρομής	161
Πίνακας 6.18β:	Πίνακας ανάλυσης αξιοπιστίας από Μέθανα προς μέσο διαδρομής	162
Πίνακας 6.19:	Πίνακας βλαβών διασύνδεσης Αίγινα -Μέθανα	163
Πίνακας 6.20:	Πίνακας προστασίας καλωδίου διασύνδεσης Κω-Καλύμνου	164
Πίνακας 6.21α:	Πίνακας ανάλυσης αξιοπιστίας από Κω προς μέσο διαδρομής	165
Πίνακας 6.21β:	Πίνακας ανάλυσης αξιοπιστίας από Κάλυμνο προς μέσο διαδρομής	165
Πίνακας 6.22:	Πίνακας ανάλυσης συνολικής προστασίας διασύνδεσης διαδρομών A και B	167
Πίνακας 6.23α:	Πίνακας ανάλυσης αξιοπιστίας από Λαύριο προς μέσο διαδρομής	167
Πίνακας 6.23β:	Πίνακας ανάλυσης αξιοπιστίας από Σύρο προς μέσο διαδρομής	168
Πίνακας 6.24α:	Πίνακας ανάλυσης αξιοπιστίας από Λαύριο προς μέσο διαδρομής	168
Πίνακας 6.24β:	Πίνακας ανάλυσης αξιοπιστίας από Λαύριο προς μέσο διαδρομής	168

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1:	Σκαριφηματική απεικόνιση των δυνάμεων που ασκούνται κατά την πόντιση ενός υποβρύχιου καλωδίου MT	36
Σχήμα 2.2:	Τομή τριπολικού καλωδίου 3x150mm ² Al /20kV κατασκευής FULGOR	48
Σχήμα 2.3:	Τομή τριπολικού καλωδίου 1x95mm ² Cu/20kV κατασκευής FELTEN & GUILLEAUME	50
Σχήμα 2.4:	Τομή Τριπολικού Καλωδίου XLPE 3x95mm ² Cu 12/20kV	52
Σχήμα 2.5:	Διάγραμμα σταδίων κατασκευή τριπολικού καλωδίου εναλλασσόμενου ρεύματος	56
Σχήμα 2.6:	Διάταξη δοκιμής μηχανικής αντοχής Y/B καλωδίου	60
Σχήμα 5.1:	Γραφική απεικόνιση βλαβών ανά γεωγραφική περιοχή	120
Σχήμα 5.2:	Γραφική απεικόνιση βλαβών ανά 10000m ποντισμένο καλώδιο και ποσοστιαίος αριθμός βλαβών ανά 1000 ποντισμένου καλωδίου.	121
Σχήμα 5.3:	Ιστόγραμμα συχνότητας βλαβών και βλαβών/χιλ ως προς την χρονολογία πόντισης	122
Σχήμα 5.4:	Συσχέτιση αριθμού βλαβών και βλαβών/100χιλ. με είδους μόνωσης αγωγού	
Σχήμα 5.5:	Συσχέτιση αριθμού βλαβών και βλαβών/100χιλ. με υλικό κατασκευής αγωγού	
Σχήμα 5.6:	Αριστερά, διάγραμμα πραγματικών και θεωρητικών για κανονική κατανομή τιμών βλαβών Y/B καλωδίων Δεξιά, απόκλιση τιμών από τις θεωρητικές κανονικής κατανομής	123
Σχήμα 5.7:	Ιστόγραμμα αριθμού βλαβών συναρτήσει ηλικίας καλωδίων	124
Σχήμα 5.8:	Ιστόγραμμα αριθμού βλαβών συναρτήσει χρονολογίας που συνέβη η βλάβη	125
Σχήμα 5.9:	Ιστόγραμμα συσχέτισης βάθους βλάβης με αριθμό βλαβών	125
Σχήμα 5.10:	Ιστόγραμμα ποσοστιαίας απεικόνισης αιτιών βλάβης Y/B καλωδίων	129
Σχήμα 5.11:	Ιστόγραμμα απεικόνισης συσχέτισης αιτιών βλάβης Y/B καλωδίων και ποιότητας βυθού	130
Σχήμα 5.12:	Διάγραμμα απεικόνισης βλαβών ως προς την ανθρώπινη επικινδυνότητα	131
Σχήμα 5.13:	Διάγραμμα απεικόνισης βλαβών ως προς την ελάχιστη απόσταση της βλάβης από την ακτή	132
Σχήμα 5.14:	Διάγραμμα απεικόνισης βλαβών ως προς την ποιότητα του βυθού	133
Σχήμα 5.15:	Διάγραμμα απεικόνισης βλαβών ως προς το επίπεδο προστασίας του καλωδίου.	134
Σχήμα 6.1:	Τρισδιάστατη απεικόνιση στατιστικού μοντέλου αξιοπιστίας Y/B καλωδίων	136
Σχήμα 6.2:	Προσέγγιση πραγματικών βλαβών με κατανομή Poisson	149
Σχήμα 6.3:	Προσέγγιση βλαβών με κατανομή Log-Normal	151
Σχήμα 6.4:	Προσέγγιση βλαβών με κατανομή Poisson για λ=2	154
Σχήμα 6.5:	Χάρτης διασύνδεσης ζεύξης Σπέτσες -Σπετσοπούλα	158
Σχήμα 6.6:	Γραφική απεικόνιση ανάλυσης αξιοπιστίας διασύνδεσης Σπέτσες -Σπετσοπούλα	159

Σχήμα 6.7:	Λογαριθμική ανάλυση αξιοπιστίας Σπέτσες -Σπετσοπούλα	159
Σχήμα 6.8:	Χάρτης διασύνδεσης ζεύξης Αίγινας-Μεθάνων	160
Σχήμα 6.9:	Μηκοτομή βυθομετρικού διαγράμματος διασύνδεσης Αίγινα – Μέθανα	161
Σχήμα 6.10:	Γραφική απεικόνιση ανάλυσης αξιοπιστίας διασύνδεσης Αίγινα -Μέθανα	162
Σχήμα 6.11:	Λογαριθμική ανάλυση αξιοπιστίας διασύνδεσης Αίγινα - Μέθανα	162
Σχήμα 6.12:	Χάρτης διασύνδεσης ζεύξης Κω-Καλύμνου	164
Σχήμα 6.13:	Γραφική αναπαράσταση αξιοπιστίας διασύνδεσης Κω- Καλύμνου	165
Σχήμα 6.14:	Λογαριθμική ανάλυση αξιοπιστίας διασύνδεσης Κω-Καλύμνου	166
Σχήμα 6.15:	Εναλλακτικές γραμμές όδευσης Α,Β για την υποθετική διασύνδεση της Αττικής με τη νήσο Σύρο	169
Σχήμα 6.16:	Διάγραμμα ανάλυσης αξιοπιστίας διασύνδεσης διαδρομής Α	169
Σχήμα 6.17:	Διάγραμμα ανάλυσης αξιοπιστίας διασύνδεσης διαδρομής Β	169
Σχήμα 6.18:	Υπέρθωση διαγραμμάτων ανάλυσης αξιοπιστίας διασυνδέσεων διαδρομών Α και Β	169
Σχήμα 6.19:	Λογαριθμική ανάλυση αξιοπιστίας διασύνδεσης διαδρομής Α	170
Σχήμα 6.20:	Λογαριθμική ανάλυση αξιοπιστίας διασύνδεσης διαδρομής Β	170
Σχήμα 6.21:	Λογαριθμική ανάλυση αξιοπιστίας διασυνδέσεων Α και Β	170
Σχήμα 8.1:	Δυνατότητες παραγωγής των ΑΣΠ Άνδρου, Σύρου, Μυκόνου και Πάρου το έτος 2005	174
Σχήμα 8.2:	Πρόβλεψη μέγιστης ζήτησης σε ηλ. φορτία από το 2005 -2035	175
Σχήμα 8.3:	Τεχνικές λύσεις διασύνδεσης νήσων με ηπειρωτικό δίκτυο βάσει διακήρυξης ΔΕΗ ΥΠΜ - 40908	176

ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ

XLPE	Μόνωση από χημικά δικτυωμένο πολυαιθυλένιο
IEC	International Electrotechnical Commition
EPR	Συνθετικό ελαστικό από αιθυλενιούχο προπυλένιο
PVC	Πολυβινυλοχλωρίδιο
EVA	Ελαστικό από οξικό βινυλαιθύλιο
Cigre	Conseil International Des Grands Reseaux Electriques
PE	Πολυαιθυλένιο
LCV	Laying Cable Vessel
HEΔ	Ηλεκτρεγερτική δύναμη
YT	Υψηλή Τάση
MT	Μέση Τάση
LDPE	Low-density polyethylene
MDPE	Medium-density polyethylene
HDPE	High-density polyethylene
HVCD	High-voltage direct current
EN	European Standards
PVC	Polyvinyl chloride
ROV	Remote operated Vehicle
ΤΠ	Τεχνική Προδιαγραφή
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
AEIC	Association of Edison Illuminating Companies
ANSI	American National Standards Institute
ΕΛΚΕΘΕ	Ελληνικό Κέντρο Θαλασσίων Ερευνών
MBES	Multibeam echo sounder
SSS	side scan sonar
ΥΥΠΝ	Υδρογραφική Υπηρεσία Πολεμικού. Ναυτικού
Y/B	Υποβρύχιο
MPSV	Multi purpose support vessel
DGPS	Differential Global Positioning System
S/V	Support vessel
DP	Dynamic Position
GPS	Global Positioning System
CLB	Cable Lay Barge
MTBF	Mean Time Between Failures
ΔΕΣΜΗΕ	Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας
ΔΕΗ	Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού
ΡΑΕ	Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας
ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.0 Εφαρμογές των Υποβρύχιων Καλωδίων Ισχύος

Τα υποβρύχια καλώδια ισχύος χρησιμοποιούνται τα τελευταία εκατό χρόνια, αλλά βρίσκονται στο προσκήνιο κυρίως τις τελευταίες δεκαετίες. Ενώ αρχικά η χρήση τους περιοριζόταν κατά κύριο λόγο σε ηλεκτροδότηση παράκτιων φάρων, στη συνέχεια διευρύνθηκε η χρήση τους στην ηλεκτροδότηση νησιών, με σκοπό την διακοπή λειτουργίας τοπικών σταθμών παραγωγής ρεύματος ή την αποφυγή δημιουργίας νέων. Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις, που τα υποβρύχια καλώδια χρησιμοποιούνται για την διασύνδεση υφιστάμενων δικτύων ηλεκτρικού ρεύματος. Στις μέρες μας, το θέμα της χρήσης υποβρυχίων καλωδίων έχει επεκταθεί, σε ηλεκτροδότηση πλωτών παράκτιων δεξαμενών, καθώς και στην μεταφορά στο ηπειρωτικό δίκτυο, του παραγόμενου από παράκτιες εγκαταστάσεις, με ανεμογεννήτριες ηλεκτρικού ρεύματος, στα πλαίσια παραγωγής «πράσινης» ενέργειας.

1.1 Παροχή ηλεκτρικής ισχύος σε Νησιά

Η ιδέα της ηλεκτροδότησης νησιών πλησίον της ηπειρωτικής περιοχής, προέκυψε ως φυσική συνέπεια, της αναπόφευκτης αδυναμίας κάλυψης των συνεχώς αυξανόμενων αναγκών τροφοδοσίας με ηλεκτρική ισχύ. Στις αρχές του εικοστού αιώνα, οι ανάγκες ηλεκτρικής ισχύος των νησιών καλύπτονταν από εγκαταστημένες μηχανές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, μικρής σχετικά ισχύος από μεγάλες εταιρείες ή ιδιώτες. Επειδή οι ανάγκες αυτές μεγαλώνουν με την πάροδο των χρόνων, απαιτούνταν σημαντικές επενδύσεις, τόσο σε μηχανές ηλεκτροπαραγωγής, όσο και σε δίκτυα, οπότε φθάνουμε στο σημείο, που οι τοπικές εταιρείες δεν μπορούν πλέον να ανταπεξέλθουν, στο κόστος των απαιτούμενων επενδύσεων.

Η διασύνδεση των νησιών με το ηπειρωτικό δίκτυο μέσω υποβρύχιων καλωδίων ισχύος, γίνεται ως επί το πλείστον με μέσης τάσης καλώδια εναλλασσόμενου ρεύματος ($\leq 52\text{kV}$) και μετάδοση ισχύος της τάξης των 10-30MW ανά καλώδιο. Το μέγιστο οικονομοτεχνικά συμφέρον μήκος διασύνδεσης είναι 10-30km, χωρίς να αποκλείονται και μεγαλύτερα μήκη. Το βασικότερο πρόβλημα στην διασύνδεση μεγάλων αποστάσεων, είναι οι διηλεκτρικές απώλειες, που στην περίπτωση καλωδίων εναλλασσόμενου ρεύματος αυξάνουν δραματικά με την απόσταση.

Συνήθης τακτική στις υποβρύχιες διασυνδέσεις νησιών με το ηπειρωτικό δίκτυο ισχύος, είναι η εξασφάλιση εφεδρείας της τροφοδότησης σε απροσδόκητη διακοπή μεταφοράς της ηλεκτρικής ισχύος. Στην περίπτωση τριπολικού καλωδίου αυτό επιτυγχάνεται μέσω της πόντισης έτερου ίδιας διατομής, ενώ στην περίπτωση μονοπολικού καλωδίου, με την πόντιση ενός τέταρτου όμοιου καλωδίου. Επίσης νησιά με αυτόνομο δίκτυο ηλεκτρικής ισχύος, δύναται να συνδεθούν μέσω υποβρυχίων καλωδίων με γειτονικά νησιά ή το ηπειρωτικό δίκτυο, για να αυξήσουν την διαθεσιμότητα ηλεκτρικής ισχύος.

Χώρες με παράδοση στην πόντιση υποβρύχιων καλωδίων θεωρούνται η Νορβηγία, οι Φιλιππίνες και η Ιαπωνία, λόγω του γεωγραφικού χαρακτήρα τους. Η πρώτη καταγεγραμμένη διασύνδεση μέσης τάσης στον Ελλαδικό χώρο, είναι αυτή του Διαύλου του Κόλπου Γέρας στη νήσο Λέσβο, με χρονολογία πόντισης το 1960

και ονομαστική ισχύ 15kV, ενώ ορόσημο θεωρείται το 1968, όπου τίθενται σε λειτουργία οι πρώτες Υποβρύχιες διασυνδέσεις υψηλής τάσης 150 kV (Κάλαμος - Αμάρυνθος) & 66 kV (Ηγουμενίτσα - Κέρκυρα).

1.2 Διασύνδεση αυτόνομων ηλεκτρικών δικτύων

Η χρήση υποβρύχιων καλωδίων ισχύος, βρίσκει εφαρμογή και στη διασύνδεση των μεγάλων αυτόνομων ηλεκτρικών δικτύων χωρών-κρατών. Χώρες που έχουν ήδη διασυνδεθεί είναι Αγγλία-Γαλλία, Σουηδία-Γερμανία, Δανία-Σουηδία, Ελλάδα-Ιταλία. Εξάλλου, η διασύνδεση κρατών μελών της ΕΕ, αποτελεί πρωταρχικό στόχο της Ευρωπαϊκής Ένωσης τα τελευταία χρόνια.

Η διασύνδεση μεγάλων αυτόνομων δικτύων εξυπηρετεί πολλαπλούς σκοπούς, εκ των οποίων οι κυριότεροι είναι:

- Η ικανοποίηση της ζήτησης και η κάλυψη των αυξημένων και ιδιαίτερων αναγκών μίας χώρας, στην περίπτωση που το αυτόνομο δίκτυό της λειτουργεί οριακά,
- Η όδευση της ΕΕ σε καθαρότερες μορφές ενέργειας και επομένως η καλύτερη αξιοποίηση «πράσινης ενέργειας», από χώρες που μπορούν να την παράγουν.

Η μεγαλύτερη υπάρχουσα υποβρύχια σύνδεση με καλώδια ισχύος είναι αυτή ενός ζεύγος καλωδίων μήκους 580km, που συνδέει τη Νορβηγία με την Ολλανδία.

1.3 Παράκτια αιολικά πάρκα

Η στροφή τις τελευταίες δεκαετίες σε καθαρότερες μορφές ενέργειας, (π.χ. αιολική, ηλιακή) σε συνδυασμό με χωροταξικούς -εικαστικούς περιορισμούς που υπόκειται η χρήση ογκωδών ανεμογεννητριών, οδήγησαν στην ανάπτυξη των παράκτιων αιολικών πάρκων.

Επί της ουσίας, πρόκειται για εγκατάσταση των ανεμογεννητριών πλησίον της ακτής και σύνδεση των ανεμογεννητριών μεταξύ τους και όλων μαζί με το επίγειο δίκτυο ισχύος, μέσω υποβρύχιων καλωδίων μέσης τάσης.

Η απόσταση μεταξύ των ανεμογεννητριών είναι περίπου 300 -800m, ενώ η απόσταση του πάρκου από την ακτή, μπορεί να ξεπεράσει τα 30km.



Εικόνα 1.1: Πόντιση Υποβρυχίων Καλωδίων σε Αιολικό Πάρκο στη Δανία

Η διασύνδεση των ανεμογεννητριών γίνεται με υποβρύχια καλώδια μέσης τάσης (10-36kV), ενώ η σύνδεση του πάρκου με την ακτή γίνεται για μικρά πάρκα και αποστάσεις της τάξης των 10km με καλώδια μέσης τάσης και για μεγάλα πάρκα ή μεγάλες αποστάσεις της τάξης των 30km με καλώδια υψηλής τάσης(>100kV).

1.4 Τροφοδότηση ισχύος σε πλωτές εξέδρες

Μια σημαντική εφαρμογή των υποβρυχίων καλωδίων ισχύος, είναι η παροχή ενέργειας σε παράκτιες πλωτές δεξαμενές, εξόρυξης πετρελαίου ή φυσικού αερίου. Οι παραπάνω δεξαμενές, λόγω της φύσης των εργασιών παραγωγής έχουν πολύ αυξημένες ενεργειακές ανάγκες, για να καλύψουν την τροφοδότηση των καταδυόμενων αντλιών εξόρυξης, τη παραγωγή ατμού για την εκτέλεση διαφόρων λειτουργιών διαχωρισμού πετρελαίου, αερίων και νερού, τη λειτουργία μηχανημάτων όπως συμπιεστές αέρος, τη λειτουργία αντλιών μεταφοράς πετρελαίου ή αερίου διαμέσου σωληνώσεων κ.α. Αν και πολλές πλωτές εξέδρες διαθέτουν αυτόνομους σταθμούς παραγωγής ενέργειας, η ανάγκη για εξοικονόμηση χώρου οδηγεί συχνά στην εναλλακτική τροφοδότηση από το ηπειρωτικό δίκτυο, μέσω υποβρυχίων καλωδίων. Ένας επιπλέον λόγος χρησιμοποίησης υποβρυχίων καλωδίων, είναι η σημαντική μείωση εκπομπών CO₂ που επιτυγχάνεται στα πλαίσια μείωσης του φαινομένου του θερμοκηπίου.



Εικόνα 1.2: Πλωτή εξέδρα εξόρυξης πετρελαίου

Η χρήση βέβαια υποβρυχίων καλωδίων ισχύος σε πλωτές εξέδρες, προϋποθέτει μια ιδιαίτερα λεπτομερή μελέτη, καθόσον στην εγκατάσταση πρέπει να συμπεριληφθούν οι εγκάρσιες και διαμήκεις μετακινήσεις της πλωτής εξέδρας, λόγω κυματισμού ή δυσμενών καιρικών συνθηκών.

1.5 Άλλες εφαρμογές

Εκτός από τις εφαρμογές που αναφέρθηκαν παραπάνω, εκατοντάδες υποβρύχια καλώδια χρησιμοποιήθηκαν για πλήθος άλλες εφαρμογές μεταφοράς ηλεκτρικής ισχύος. Διάφοροι παράγοντες συχνά καθιστούν επιτακτική τη χρησιμοποίηση υποβρύχιων καλωδίων μεταφοράς ισχύος, έναντι του αντίστοιχου υπέργειου διαμήκους ποταμών, καναλιών, θαλάσσιων στενών, φιόρδ ή κόλπων.

Πολλές φορές τουριστικοί λόγοι ή στα πλαίσια εκμετάλλευσης των φυσικών πόρων, είναι επιβεβλημένη η χρήση υποβρύχιων καλωδίων. Άλλοτε πάλι, η χρήση υπέργειου δικτύου που διασχίζει ποτάμια ή κανάλια, δυσχεραίνει τη διέλευση μεγάλων πλοίων. Σημαντικός τέλος παράγοντας, είναι το μικρότερο στη διάρκεια ζωής δικτύου μεταφοράς ισχύος κόστος συντήρησης, που έχει ένα υποβρύχιο καλώδιο σε σύγκριση με ένα υπέργειο, το οποίο στατιστικά εκτίθεται σε περισσότερους φυσικούς

1.6 Αντικείμενο-Σκοπός παρούσης εργασίας

Η παρούσα εργασία πραγματεύεται το θέμα της πόντισης Υποβρυχίων καλωδίων ισχύος και προσπαθεί να φωτίσει κατά το δυνατόν περισσότερες πτυχές, που αφορούν στο εν λόγω εγχείρημα.

Από τη στιγμή που θα αποφασιστεί η ηλεκτρική διασύνδεση δύο σημείων, μεταξύ των οποίων παρεμβάλλεται το υδάτινο στοιχείο, είτε πρόκειται για θαλάσσια περιοχή, είτε λίμνη ή ποτάμι, μέχρι την ολοκλήρωση αυτής της διασύνδεσης, γίνεται μια επισκόπηση όλων των φάσεων που ακολουθούνται, του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται και των παραγόντων που επηρεάζουν την επιτυχή έκβαση του εγχειρήματος.

Συναφώς με τα παραπάνω όμως, η εργασία αυτή πηγαίνει ένα βήμα πιο πέρα αναφορικά με τον έλεγχο αξιοπιστίας του δικτύου. Αφού γίνει μια εκτενής αναφορά στο υπάρχον υποβρύχιο δίκτυο μέσης τάσης στην Ελλάδα, χρησιμοποιούνται στοιχεία που αντλήθηκαν από μια βάση δεδομένων της ΔΕΗ για βλάβες την τελευταία δεκαετία με τη βοήθεια των οποίων, δημιουργούμε ένα στατιστικό μοντέλο ανάλυσης της αξιοπιστίας, του υφιστάμενου δικτύου ηλεκτρικής ισχύος.

Τέλος γίνεται αναφορά, στην δυνατότητα πρόβλεψης, που παρέχεται από το στατιστικό μοντέλο, μεταξύ δύο ή περισσότερων οδύσεων ηλεκτρικής διασύνδεσης δύο σημείων της επιλογής εκείνης της διαδρομής με την μεγαλύτερη συνολικά αξιοπιστία.

1.7 Προεπισκόπηση κεφαλαίων

Η παρούσα εργασία αποτελείται από επτά κεφάλαια, το περιεχόμενο των οποίων παρουσιάζεται συνοπτικά όπως παρακάτω :

Το Κεφάλαιο 1 αναφέρεται γενικά στους λόγους που οδήγησαν στην αναγκαιότητα ανάπτυξης των υποβρύχιων δικτύων μεταφοράς ηλεκτρικής ισχύος. Αναλύεται επίσης, το πεδίο που βρίσκει εφαρμογή η χρήση των υποβρύχιων καλωδίων ισχύος.

Στο Κεφάλαιο 2 αναπτύσσεται διεξοδικά η φυσιολογία των υποβρυχίων καλωδίων μεταφοράς ισχύος σε παγκόσμια κλίμακα, ενώ γίνεται αναφορά και στα τεχνικά χαρακτηριστικά, που διέπουν τα εν λόγω καλώδια. Επιπλέον εστιάζοντας στο Ελλαδικό δίκτυο υποβρυχίων καλωδίων Μέσης Τάσης, γίνεται αναλυτική περιγραφή κάποιων χαρακτηριστικών διατομών. Τέλος γίνεται αναφορά στα περιφερειακά εξαρτήματα που συνοδεύουν ένα καλώδιο Μέσης τάσης όπως τους συνδέσμους ένωσης καλωδίων ή τα μέσα συγκρατήσεως του καλωδίου στον πυθμένα.

Στο Κεφάλαιο 3 αναλύονται διεξοδικά, αφενός οι παράγοντες που σχετίζονται με την εκπόνηση μελέτης για την διαδικασία της πόντισης ενός υποβρυχίου καλωδίου, αφετέρου παρουσιάζονται τα στάδια που ακολουθούνται κατά την επιχείρηση της πόντισης ενός καλωδίου, από ένα LCV (Laying Cable Vessel)

Στο Κεφάλαιο 4 γίνεται αναφορά, στις ειδικές προδιαγραφές που πρέπει να έχει ένα Πλοίο Πόντισης Καλωδίων (LCV), καθώς και στον περιφερειακό εξοπλισμό που φέρει, με σκοπό να ολοκληρώσει επιτυχώς το εγχείρημα της πόντισης ενός καλωδίου. Ακολούθως παρουσιάζονται τα σημαντικότερα Καλωδιόπλοια, που συμμετείχαν σε επιχειρήσεις πόντισης υποβρυχίων καλωδίων στην Ελλάδα.

Το Κεφάλαιο 5 πραγματεύεται, το υπάρχον δίκτυο υποβρυχίων καλωδίων μέσης τάσης στην Ελλάδα. Γίνεται αναλυτική παρουσίαση του δικτύου, καθώς και των καταγεγραμμένων την τελευταία δεκαετία βλαβών. Επιπλέον, με τη βοήθεια της περιγραφικής στατιστικής του προγράμματος SPSS φωτίζονται ενδιαφέρουσες πτυχές που αφορούν σε συσχετισμούς μεταξύ χαρακτηριστικών ή παραμέτρων των ποντισμένων καλωδίων.

Στο Κεφάλαιο 6 επιχειρείται η δημιουργία ενός στατιστικού μοντέλου ανάλυσης της αξιοπιστίας των υποβρυχίων καλωδίων του δικτύου μέσης τάσης. Παρουσιάζονται οι παράμετροι πάνω στις οποίες στηρίζεται το μοντέλο και στο τέλος παρατίθενται τρία πραγματικά παραδείγματα ανάλυσης αξιοπιστίας, ώστε να επαληθευτεί η αποτελεσματικότητα του μοντέλου, καθώς και ένα υποθετικό παράδειγμα ώστε να αναδειχθεί μια επιπλέον ιδιότητα του μοντέλου που σχετίζεται με την βελτιστοποίηση στην διαδικασία επιλογής μιας, ανάμεσα σε πολλές επιλογές, διαδρομής όδευσης ενός καλωδίου.

Στο Κεφάλαιο 7 τέλος, παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα συμπεράσματα, που προκύπτουν από τη χρήση των υποβρυχίων καλωδίων στην Ελλάδα, ως μέσο μεταφοράς ηλεκτρικής ισχύος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Υποβρύχια καλώδια Ισχύος

2.1 Περιγραφή Υποβρύχιων Καλωδίων Ισχύος.

Αν παρατηρήσουμε την τομή ενός υποβρυχίου καλωδίου ισχύος, από μέσα προς τα έξω, θα διαπιστώσουμε, αφενός σημαντικές ομοιότητες με τα αντίστοιχα καλώδια ξηράς και αφετέρου το γεγονός ότι, ανεξάρτητα του συγκεκριμένου τύπου καλωδίου, υπάρχουν κάποια χαρακτηριστικά τμήματα, που συνθέτουν το καλώδιο.

Το πρώτο τμήμα που παρατηρούμε στον πυρήνα του καλωδίου, είναι ο αγωγός, που είναι το μέσο διέλευσης του ηλεκτρικού ρεύματος από την μία άκρη στην άλλη. Ακολουθώντας, παρατηρούμε την ύπαρξη του μονωτικού μέσου του αγωγού, δηλαδή ενός συστήματος διαδοχικών στοιβάδων με μονωτικά υλικά, που αποτρέπουν την ηλεκτρική επαφή του αγωγού με το περιβάλλον. Μετά το μονωτικό υλικό, υφίσταται ένα περίβλημα υδατοστεγανότητας, που προστατεύει από την εισροή ύδατος τον αγωγό και τον μονωτή. Ακολουθεί ο οπλισμός, ο οποίος με κυριότερο σκοπό, αφενός την απορρόφηση των αναπτυσσόμενων μηχανικών τάσεων και αφετέρου την προστασία από τάσεις, που εμφανίζονται εξωτερικά του καλωδίου προστατεύει το καλώδιο από τις τάσεις που το φορτίζουν κατά την κατασκευή, μεταφορά, αποθήκευση, εγκατάσταση και λειτουργία του, ενώ μπορεί να είναι και διπλός, για επιπλέον προστασία του καλωδίου. Τελικά, παρατηρούμε το εξωτερικό περίβλημα, που δίνει την εξωτερική εικόνα του καλωδίου, ενώ προστατεύει σε ένα επίπεδο τον οπλισμό από τη δημιουργία διάβρωσης και μικρορωγμών.

2.1.1 Αγωγός

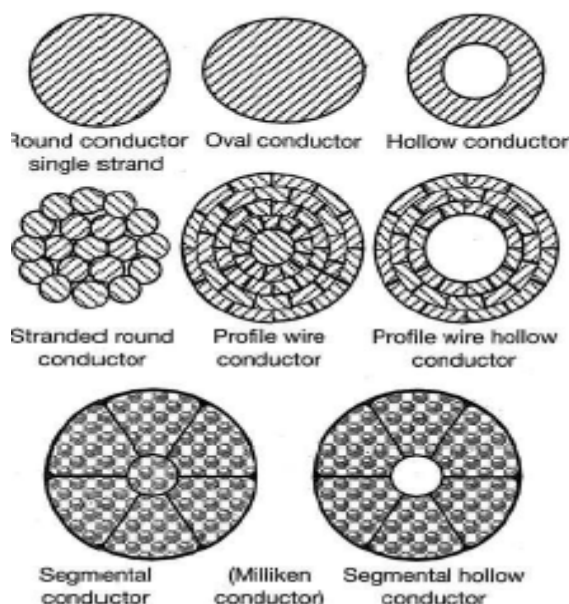
Ο αγωγός ενός υποβρυχίου καλωδίου ισχύος, είναι κατασκευασμένος από χαλκό Cu ή αλουμίνιο Al. Παρά το υψηλότερο κόστος χρήσης του χαλκού έναντι του αλουμινίου, η πλειονότητα των υποβρυχίων καλωδίων θα μπορούσαμε να πούμε ότι είναι κατασκευασμένη από χαλκό. Ο χαλκός υπερτερεί έναντι του αλουμινίου, καθόσον επιτρέπει την κατασκευή μικρότερων διατομών αγωγών, με αποτέλεσμα την απαίτηση λιγότερου υλικού, για την κατασκευή του εξωτερικού μολύβδινου ή ατσάλινου περιβλήματος. Πολλές φορές η επιλογή του υλικού του αγωγού μεταξύ χαλκού και αλουμινίου εξαρτάται από τις διακυμάνσεις στις τιμές στο εμπόριο των μετάλλων. Οι τιμές αυτές, μπορεί να είναι ιδιαίτερα ευμετάβλητες και ως εκ τούτου, η επιλογή του υλικού εμπεριέχει και τα υποκειμενικά χαρακτηριστικά της κρίσης του κατασκευαστή. Πάντως, ένας επιπλέον παράγοντας που συνηγορεί στη χρήση του χαλκού είναι η καλύτερη συμπεριφορά του στη διάβρωση, έναντι του αλουμινίου.

Γεγονός είναι πάντως, ότι αν διεισδύσει θαλασσινό νερό στον αγωγό ώστε να τον διαβρώσει, τότε αυτό σημαίνει ότι έχουν υποστεί ζημιά και οι υπόλοιπες στοιβάδες έξωθεν του αγωγού, οπότε και το καλώδιο πρέπει να αντικατασταθεί, επειδή καθίσταται άχρηστο για περαιτέρω λειτουργία.

Μία τακτική που ακολουθείται από τους κατασκευαστές, για να μετριάσουν το κόστος και να βελτιώσουν την απόδοση του καλωδίου, είναι η τμηματική χρησιμοποίηση των δύο παραπάνω υλικών, καθόσον έχουν πολύ καλή μεταλλουργική συνδεσιμότητα. Είναι για παράδειγμα δυνατή η χρήση στο υποβρύχιο τμήμα του καλωδίου, αγωγού από χαλκό, ενώ στα σημεία προσαιγιάλωσης μέχρι το ηλεκτρικό δίκτυο, χρησιμοποιείται αγωγός αλουμινίου.

Ένας αγωγός υποβρυχίου καλωδίου ισχύος μπορεί να κατασκευαστεί σε διάφορα σχήματα, τα οποία μπορούν να κατηγοριοποιηθούν όπως παρακάτω:

- Συμπαγής αγωγός
- Αγωγός από περιστρεφόμενη πλεξούδα συρμάτων
- Αγωγός συμπιεσμένων συρμάτων
- Αγωγός οπής ελαίου
- Τμηματικός αγωγός
- Τμηματικός αγωγός οπής ελαίου



Εικόνα 2.1: Κατηγοριοποίηση αγωγών Y/B καλωδίων

Ο συμπαγής αγωγός, αποτελείται από ένα σύρμα με διατομή που μπορεί να φτάσει τα 400mm^2 . Η κατασκευή του αγωγού είναι σχετικά απλή, ενώ η διαμήκης υδατοστεγανότητα του αγωγού είναι εξαιρετική. Εξαιτίας του περιορισμού της διατομής στα 400mm^2 , δεν χρησιμοποιείται για την κατασκευή καλωδίων ισχύος Υ.Τ. $>150\text{kV}$, στα οποία απαιτούνται μεγαλύτερες διατομές.

Οι περισσότεροι αγωγοί υποβρυχίων καλωδίων ισχύος, κατασκευάζονται από περιστρεφόμενα κυκλικής διατομής σύρματα. Η κατασκευή γίνεται από ειδικές μηχανές σε στρώσεις, ενώ τα σύρματα του αγωγού συμπιέζονται, ώστε να μειωθούν τα διάκενα μεταξύ τους. Με αυτόν τον τρόπο, επιτυγχάνεται κάλυψη διατομής της τάξης του 92%. Υπάρχουν δύο τρόποι περιστροφής των συρμάτων, δεξιόστροφα και αριστερόστροφα. Επιπλέον η επίστρωση μπορεί να είναι τύπου-Z ή τύπου-S, ανάλογα με το μηχανισμό περιστροφής της μηχανής. Οι αγωγοί αυτής της μορφής, χρησιμοποιούνται εξίσου σε εφαρμογές εναλασσόμενου και συνεχούς ρεύματος. Συνήθως, η κατασκευή τους γίνεται στα βιομηχανικά πρότυπα του IEC 60228, Class 2. Αγωγοί από επικασιτερωμένο χαλκό, χρησιμοποιούνταν τα παλιότερα χρόνια, όμως τα τελευταία χρόνια ο τρόπος αυτός έχει εγκαταλειφτεί.

Ο αγωγός συμπιεσμένων συρμάτων, αποτελείται από μικρά τμήματα συρμάτων συμπιεσμένα, στο σχήμα της διατομής. Οι μηχανές κατασκευής αυτής της μορφής αγωγών, συνθέτουν τα κομμάτια των συρμάτων σε κυκλική διατομή. Με αυτόν τον τρόπο, επιτυγχάνεται πληρότητα της τάξεως του 96% και μεγαλύτερη. Ο

τρόπος αυτός κατασκευής, ενδείκνυται για μεγάλα καλώδια ισχύος, ενώ η προδιαγραφή IEC 60228 δεν προσφέρεται για την παραγωγή του.



Εικόνα 2.2: Αγωγός ελαίου της Nexans Norway

Οι αγωγοί οπής ελαίου πληρώνονται από έλαιο χαμηλού ιξώδους. Αποτελούνται από μία κεντρική οπή, διαμέσου της οποίας ρέει το λάδι, προερχόμενο από τους σταθμούς κατάληξης των καλωδίων. Σε μερικά καλώδια κατασκευάζεται επιπλέον μεταλλικός αγωγός, με σκοπό να αποτρέψει την διαρροή του υλικού στην μεριά της οπής. Αγωγοί οπής μπορούν να κατασκευαστούν και με την μέθοδο των συμπιεσμένων συρμάτων, που αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο.

Οι τμηματικοί αγωγοί παρουσιάστηκαν για πρώτη φορά το 1930 από την H. Milliken, με σκοπό την μείωση του επιφανειακού φαινομένου δυνορευμάτων. Το φαινόμενο αυτό, είναι αποτέλεσμα της ηλεκτρεγερτικής δύναμης (HEΔ), που αναπτύσσεται λόγω του εναλλασσόμενου μαγνητικού πεδίου εξαιτίας του ρεύματος, που διαρρέει τον αγωγό. Επειδή η HEΔ αναπτύσσεται περιφερειακά του αγωγού, αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της πυκνότητας του ρεύματος περιφερειακά και την αντίστοιχη μείωση στο εσωτερικό του αγωγού.



Εικόνα 2.3: Αγωγός τύπου Milliken

Κατασκευαστικά, ο τμηματικός αγωγός αρχικά δημιουργείται με την σύνθεση υποτμημάτων, που αποτελούνται από λεπτά σύρματα συμπιεσμένα μεταξύ τους. Τα υποτμήματα στη συνέχεια ενώνονται, με ειδική μηχανή περιστρεφόμενα σε τριαξονικό επίπεδο δίνοντας αγωγό όπως στην εικόνα 2.2. Οι τμηματικοί αγωγοί λέγονται αλλιώς και Milliken, ενώ μπορεί να κατασκευαστούν και με οπή ελαίου στο εσωτερικό τους. Το υψηλό κόστος κατασκευής του, περιορίζει την χρήση του με διατομές χαλκού $>1200\text{mm}^2$.

Ένα χαρακτηριστικό που χαρακτηρίζει τον αγωγό, είναι η ηλεκτρική του αντίσταση. Η ειδική αντίσταση ενός αγωγού, εξαρτάται πρωτίστως από την θερμοκρασία και δίνεται από τη σχέση:

$$R_{\theta} = R_{20} \cdot (1 + a(\theta - 20))$$

Όπου R_{θ} : ειδική αντίσταση σε $\theta^{\circ}\text{C}$

R_{20} : ειδική αντίσταση σε 20°C

a : συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας

Η ειδική αντίσταση του χαλκού και του αλουμινίου, δίνονται από τον πίνακα 2.1 και εξαρτώνται από την καθαρότητα του μετάλλου. Στην πράξη αυτό που ενδιαφέρει έναν υποψήφιο αγοραστή καλωδίου, δεν είναι η ηλεκτρική αντίσταση σε μία διατομή, αλλά η ανοιγμένη αντίσταση π.χ. η προμήθεια ενός καλωδίου διατομής 1600mm^2 , για τον αγοραστή σημαίνει αντίσταση αγωγού όχι μεγαλύτερη από $0,0113\Omega/\text{Km}$ σύμφωνα με το πρότυπο IEC 60228.

Πίνακας 2.1: Τιμές αντίστασης για αγωγούς αλουμινίου και χαλκού σύμφωνα με προδιαγραφή IEC 60228

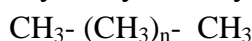
	Χαλκός	Αλουμίνιο
Ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα, $20^{\circ}\text{C} [\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}]$	0.01786	0.02874
Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, $20^{\circ}\text{C} [1/\text{K}]$	0.00392	0.0042
Αντίσταση αγωγού	Ω/km	Ω/km
240 mm^2	0.0754	0.1250
400 mm^2	0.0470	0.0778
500 mm^2	0.0366	0.0605
630 mm^2	0.0283	0.0469
800 mm^2	0.0221	0.0367
1000 mm^2	0.0176	0.0291
1200 mm^2	0.0151	0.0247
1600 mm^2	0.0113	0.0186
2000 mm^2	0.0090	0.0149

2.1.2 Μονωτικό Υλικό

Το σύστημα μονώσεως του αγωγού ενός υποβρυχίου καλωδίου, προσδιορίζει την ηλεκτρική αντοχή του καλωδίου σε τάση και επομένως, καθορίζει την μέγιστη ένταση ρεύματος που επιτρέπεται να το διαρρέυσει κατά τη φόρτιση του αγωγού. Με άλλη προσέγγιση, θα μπορούσε να πει κανείς ότι, προστατεύει το πυρήνα του καλωδίου δηλαδή τον αγωγό, από την δημιουργία με κάποια άλλη επιφάνεια διαφοράς δυναμικού και επομένως διαρροή ηλεκτρικού ρεύματος. Για τον παραπάνω λόγο αντιλαμβάνεται κανείς, τη σπουδαιότητα του να παραμένει ο μονωτής απολύτως καθαρός και άρτιος. Επιπλέον ο μονωτής πρέπει να διατηρεί συνέχεια, αμείωτες τις μηχανικές και χημικές του ιδιότητες καθώς επίσης, να μην επηρεάζεται από θερμοκρασιακές μεταβολές και φαινόμενα γήρανσης. Στο παραπάνω πλαίσιο τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται μονωτές καλωδίων YT και MT με παρόμοια χαρακτηριστικά μεταξύ τους, ενώ εν γένει τα χαρακτηριστικά αυτά των υποβρυχίων

καλωδίων δεν διαφέρουν σε σημαντικό βαθμό από αυτά, των αντίστοιχων καλωδίων ισχύος των ηπειρωτικών περιοχών.

Ένα από τα υλικά που πληρούν τις παραπάνω προϋποθέσεις, είναι το πολυαιθυλένιο του οποίου ο χημικός τύπος είναι ως γνωστόν:



Αποτελείται κατ' αποκλειστικότητα από άτομα άνθρακα και υδρογόνου. Για την χρήση ως ηλεκτρικός μονωτής είναι διαθέσιμο ως LDPE (χαμηλής πυκνότητας), MDPE (μέσης πυκνότητας) και HDPE (υψηλής πυκνότητας), με τιμές από χαμηλή σε υψηλή πυκνότητα, της τάξεως 0.9 έως 0.97 g/cm³. Οι μονωτές PE γενικά έχουν χαμηλότερο συντελεστή σκεδάσεως και διηλεκτρικών απωλειών από τον μονωτή χαρτιού.

Το μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα διαρροής του αγωγού, είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας, στην οποία αντέχει το μονωτικό. Εξαιτίας του περιορισμού που έθεταν οι μονωτές PE στη θερμοκρασία του αγωγού (70-80°C), οι μονωτές PE αντικαταστάθηκαν σταδιακά από τους μονωτές χημικά διασταυρούμενου πολυαιθυλενίου ή αλλιώς XLPE, που αντέχουν συνεχείς θερμοκρασίες 90 °C και στιγμιαίες της τάξης των 200 °C.



Εικόνα 2.4 :Καλώδιο μόνωσης XLPE της Nexans Norway

Πάντως εξαιτίας της στροφής που γίνεται σήμερα στην λειτουργία αγωγών σε χαμηλές θερμοκρασίες για τον περιορισμό των απωλειών, μπορεί να ξαναεπανεέλθουν στο προσκήνιο μονωτές PE.

Πίνακας 2.2:Θερμοκρασίες λειτουργίας μονωτών αγωγών υποβρύχιων καλωδίων

	Θερμοκρασία λειτουργίας	Στιγμιαία αύξηση θερμοκρασίας (5 sec)
LDPE	70 °C	125 °C
XLPE	90 °C	250 °C
EPR	90 °C	250 °C
Χαρτιού	50-55 °C	
Χαρτιού-λαδιού	85-90 °C	

Ένα από τα υλικά που χρησιμοποιούνται ως μονωτές, είναι όπως προείπαμε το XLPE. Χρησιμοποιείται ως μονωτής υποβρυχίων καλωδίων από το 1973 και από ακόμη νωρίτερα για υπόγεια καλώδια ξηράς. Κατασκευαστικά ο μονωτής XLPE κατασκευάζεται από συνδυασμούς σε τρισδιάστατο δίκτυο της χημικής ένωσης πολυαιθυλενίου LDPE. Η ένωση που δημιουργείται είναι μη αναστρέψιμη και παρεμποδίζει το πολυμερές, από το λιώσιμο σε υψηλές θερμοκρασίες. Ενώ λοιπόν το μονωτικό PE μαλακώνει και τελικά λιώνει σε θερμοκρασίες 80-110°C, αντίθετα το μονωτικό XLPE, μπορεί να αντέξει πολύ υψηλότερες θερμοκρασίες, αφού καταστρέφεται με πυρόλυση στους 300 °C. Το μονωτικό XLPE αποτελεί σήμερα μια άριστη επιλογή για την μόνωση του αγωγού ενός υποβρύχιου καλωδίου. Ο μόνος ουσιαστικός περιορισμός στην χρήση του, είναι η διαθεσιμότητα των κατάλληλων συνδέσμων. Ενώ έχουν κατασκευαστεί περιστασιακά σύνδεσμοι για καλώδια 245-345kV, παρ'όλ'αυτά δεν υπάρχουν σύνδεσμοι για μεγαλύτερες τάσεις. Αυτό περιορίζει το μέγιστο μήκος κατασκευής ενός XLPE καλωδίου, που πρέπει να παραχθεί δίχως την παρεμβολή συνδέσμων. Έτσι υποβρύχια καλώδια για 170kV μπορούν να κατασκευαστούν σε μήκη περίπου 50km.



Εικόνα 2.5 :Υποβρύχιο καλώδιο MT από μόνωση XLPE

Εάν επιχειρούσαμε να τοποθετήσουμε τον XLPE μονωτή απευθείας στον αγωγό, τότε οι διάφορες εγκοπές, προεξοχές και ανωμαλίες του αγωγού, θα δημιουργούσαν τοπικές συγκεντρώσεις τάσεων και θα μειωνόταν σε σημαντικό βαθμό η διηλεκτρική αντοχή της μόνωσης. Για την αποφυγή αυτού του φαινομένου, ένα εσωτερικό υπόστρωμα από ημιαγωγίμο υλικό τοποθετείται ανάμεσα στον αγωγό και τον μονωτή. Επειδή το ημιαγωγίμο υπόστρωμα είναι κυλινδρικό και από μαλακό υλικό, έχουμε εξομάλυνση των ανωμαλιών της εξωτερικής επιφάνειας του αγωγού και αποφυγή της δημιουργίας συγκέντρωσης τάσεων. Κατά την μέθοδο αυτή, τοποθετείται ένα ακόμη ημιαγωγίμο υπόστρωμα στην εξωτερική μεριά του μονωτή, ώστε να επιτευχθεί σταθερή διηλεκτρική επιφάνεια, δίχως να επηρεάζεται από τα εξωτερικά υποστρώματα του καλωδίου. Το διηλεκτρικό σύστημα λοιπόν του υποβρύχιου καλωδίου, αποτελείται από τον τριπλό συνδυασμό «ημιαγωγίμης ταινίας -μονωτή- ημιαγωγίμης ταινίας». Για υψηλό επίπεδο μόνωσης τα τρία υποστρώματα

πρέπει να συντίθενται ταυτόχρονα. Οι ημιαγωγικές ταινίες έχουν συνήθως πάχος 1-2 mm και για μεγάλους μήκους καλώδια το κόστος της ταινίας μπορεί να λάβει υπολογίσιμα μεγέθη.

Ένα από τα βασικά προβλήματα που καλούνται οι κατασκευαστές καλωδίων μόνωσης XLPE κατά τη διάρκεια ζωής του καλωδίου να αντιμετωπίσουν, είναι το φαινόμενο της δένδρικής υδατοδιάρρηξης (water treeing). Καλείται έτσι καθότι κατά τη διάρρηξη της μόνωσης λόγω υγρασίας, ο τρόπος εξάπλωσης της ρήξης ακολουθεί πορείες που μοιάζουν με δέντρο. Η δένδρική υδατοδιάρρηξη, που αποκαλείται αλλιώς και ηλεκτροχημικό δέντρο (electrochemical trees), μπορεί να κατηγοριοποιηθεί με δύο τρόπους:

-Δένδροειδείς σχισμές, που ξεκίνησαν από την επιφάνεια της μόνωσης ή του ημιαγωγού, λόγω συνεχούς επαφής με το νερό και αυξάνουν συνεχώς.

-Ημικυκλικές δένδροειδείς σχισμές λόγω μοριακής μόλυνσης ή κενά, που περιέχονται εντός της μόνωσης. Η τελευταία περίπτωση συνήθως, δεν επεκτείνεται και σπάνια οδηγεί σε ηλεκτρική αστοχία του καλωδίου.

Ένα άλλο φαινόμενο που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στον μονωτή, είναι αυτό της γήρανσης. Γήρανση είναι η επιδείνωση των ιδιοτήτων του μονωτή λόγω της επίδρασης της θερμοκρασίας, των ηλεκτρικών και μηχανικών τάσεων ή του συνδυασμού όλων των παραπάνω. Με το πέρασμα του χρόνου η διηλεκτρική αντοχή μπορεί να μειωθεί δραστικά. Η μείωση των ιδιοτήτων της μόνωσης δεν συμβαίνει ταυτόχρονα σε όλο το μήκος του καλωδίου αλλά τμηματικά. Για στατιστικούς λόγους ένα καλώδιο μεγάλου μήκους θα κινδυνεύσει περισσότερο να καταρρεύσει από ένα αντίστοιχο μικρού μήκους.

Ο χαλκός έχει την ιδιότητα να επιταχύνει δραματικά τη γήρανση καλωδίων με μονωτές XLPE και PE. Στα σύγχρονα καλώδια, ένας μανδύας ημιαγωγικού υλικού τοποθετείται μεταξύ αγωγού και μονωτή, για να αποτρέψει το παραπάνω φαινόμενο.

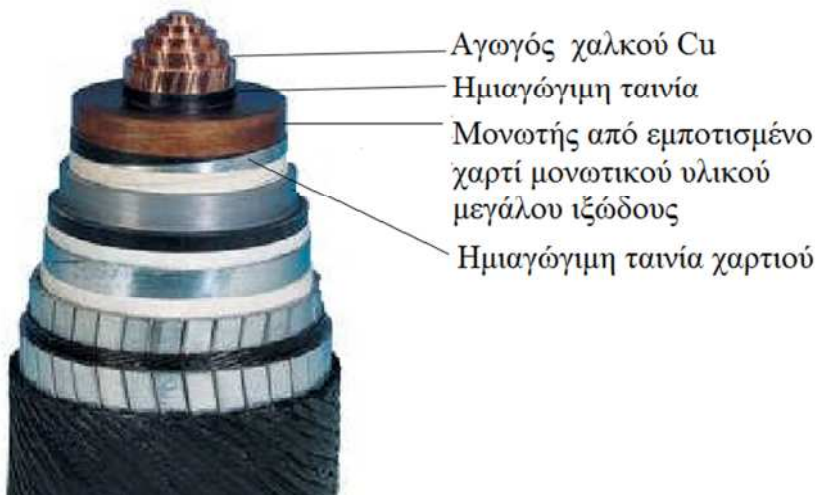
Ένας επιπλέον εχθρός της διηλεκτρικής μόνωσης, είναι η υγρασία. Γενικά είναι αποδεκτό ότι η διηλεκτρική αντοχή και η αντοχή σε γήρανση, μειώνονται υπό την επίδραση της υγρασίας. Είναι σημαντικό εδώ να ειπωθεί ότι, τα πολυμερή υλικά ενώ είναι απρόσβλητα στην εισροή ύδατος δεν είναι το ίδιο και στην υγρασία. Σύμφωνα με μία μέθοδο που ακολουθείται στο καλώδιο, υπάρχει ένα στρώμα πολυμερούς για την αποτροπή ύδατος, ενώ διάφορες ταινίες με εξογκώματα αναλαμβάνουν την απορρόφηση της υγρασίας εφ' όρου ζωής του καλωδίου, αποτρέποντας την καταστροφή της μόνωσης και κατ' επέκταση του αγωγού.

Ένας μονωτής που επίσης χρησιμοποιείται από τους κατασκευαστές υποβρύχιων καλωδίων, είναι από αιθυλενιούχο - προπυλαινιούχο ελαστικό ή αλλιώς EPR. Ο εν λόγω μονωτής, έχει μεγαλύτερη ελαστικότητα και τα αντίστοιχα καλώδια είναι ανθεκτικότερα στο λάδι ή σε άλλα χημικά απ' ότι τα καλώδια XLPE. Πρόκειται όμως και για καλώδια με υψηλότερο κόστος κατασκευής και αυτό, αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα κατά την τελική επιλογή μονωτικού.



Εικόνα 2.6 : Υποβρύχιο καλώδιο MT με μονωτή από ERP

Ο μονωτής χαρτιού χρησιμοποιείται για πολλές δεκαετίες και αποτελεί αδιαμφισβήτητα το παλιότερο μονωτικό μέσο για υποβρύχια καλώδια ισχύος. Το χαρτί μονωτής στα καλώδια ελαίου είναι κατασκευασμένο από πολύ κωνοφόρου (Kraft paper). Για την βελτίωση των διηλεκτρικών απωλειών, μερικές φορές το χαρτί, πλένεται με απιονισμένο νερό. Η πυκνότητα του χαρτιού κυμαίνεται μεταξύ $0.7-0.8 \text{ kg/dm}^3$ ενώ η μόνωση φτάνει σε πάχος $50-180\mu\text{m}$.



Εικόνα 2.7 :Υποβρύχιο καλώδιο με μονωτή εμποτισμένου χαρτιού μεγάλου ιξώδους

Ο μονωτής των καλωδίων HVDC είναι από διαφορετικό υλικό από τον μονωτή καλωδίων ελαίου εναλλασσόμενου ρεύματος. Η πυκνότητα του χαρτιού κυμαίνεται στα 1.0 kg/dm^3 , με σκοπό την επίτευξη καλύτερης διηλεκτρικής αντοχής. Το υλικό κατασκευής είναι κυτταρικός κωνοφόρος πολτός.

Συνοψίζοντας θα μπορούσαμε να πούμε ότι:

- ❖ Διάφορα συνθετικά υλικά όπως βουτύλιο και αιθυλενιούχο προπυλένιο (EPR), χρησιμοποιούνται για λόγους ευκαμψίας σε καλώδια μεταφοράς ισχύος.
- ❖ Το πολυαιθυλένιο PE χρησιμοποιείται στην κατασκευή υποβρύχιων καλωδίων μέσης τάσης, λόγω των μικρών διηλεκτρικών απωλειών καθώς και της μηχανικής και χημικής ανθεκτικότητας που επιδεικνύει.
- ❖ Το διασταυρούμενο πολυαιθυλένιο XLPE παρουσιάζει βελτιωμένη συμπεριφορά σε συνεχή θερμοκρασιακή καταπόνηση (90 °C έναντι 70 °C του PE)
- ❖ Η μόνωση χαρτιού είναι η πιο δοκιμασμένη και ακριβότερη σαν επιλογή και δυσκολότερη κατά την κατασκευή από την EPR ή την XLPE. Κατά κανόνα αυτή η μόνωση έχει αντικατασταθεί από την XLPE.

2.1.3 Περίβλημα υδατοστεγανότητας

Το διηλεκτρικό μονωτικό για να παρέχει αποτελεσματική προστασία στον αγωγό πρέπει να προστατεύεται επαρκώς, από την διείσδυση νερού ή υγρασίας. Για το σκοπό αυτό, στα περισσότερα υποβρύχια καλώδια ισχύος είναι τοποθετημένος ένας διμεταλλικός μανδύας που αποτρέπει την ανεπιθύμητη διείσδυση του νερού στον πυρήνα του καλωδίου. Τα συνήθη μέταλλα που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του μανδύα είναι το αλουμίνιο, ο μόλυβδος και ο χαλκός χωρίς να αποκλείονται και άλλα μέταλλα με παρόμοιες μηχανικές και χημικές ιδιότητες. Στα καλώδια μέσης τάσης ωστόσο δεν είναι επιτακτική η χρήση του διηλεκτρικού μανδύα, εξαιτίας των χαμηλότερων ηλεκτρικών καταπονήσεων της μόνωσης. Ένας εναλλακτικός τρόπος κατασκευής μανδύα είναι από πολυμερή υλικά, τα οποία έχουν υψηλή απορροφητικότητα υγρασίας με αποτέλεσμα να διατηρούν στεγνό το μονωτικό υλικό καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του καλωδίου.

Οι περισσότεροι μεταλλικοί μανδύες παρέχουν επίσης προστασία από την τερηδόνα, ένα επικίνδυνο μαλάκιο που βρίσκεται εν αφθονία στο θαλασσινό νερό και καταστρέφει τρώγοντας τα υποβρύχια καλώδια. Προστασία από τα εν λόγω μαλάκια παρέχεται επίσης με ταινίες χαλκού ή ορείχαλκου.

Το πιο σημαντικό υλικό κατασκευής του μανδύα προστασίας της μόνωσης είναι από μόλυβδο ή κράματα αυτού. Ο μόλυβδος ως μέσο προστασίας άρχισε να χρησιμοποιείται από το 1900 και μετά αν και ήταν γνωστός ως ιδέα νωρίτερα (1797).

Ένας μανδύας από καλά κατεργασμένο μόλυβδο θεωρείται απρόσβλητος από εισροή ύδατος ή διάδοση υγρασίας. Εκτός από την προστασία, ο μόλυβδος προσθέτει βάρος στο καλώδιο με αποτέλεσμα να το κάνει στιβαρό και να βελτιώνεται με αυτό τον τρόπο, η ευστάθειά του στο βυθό. Το πρότυπο EN 50307 έχει μια σειρά από κράματα μολύβδου, που δύναται να χρησιμοποιηθούν για το σκοπό αυτό.

Πίνακας 2.3:Κράματα μολύβδου που χρησιμοποιούνται στα υποβρύχια καλώδια ισχύος και τα συστατικά τους

Προέλευση κράματος σύμφωνα με EN50307	Συστατικά κράματος Μολύβδου Όρια τιμών (min-max)				
	As	Bi	Cd	Sb	Sn
PK012S	½ C		0.06-0.09		0.17-0.23
PK021S	E			0.15-0.25	0.35-0.45
PK022S	EL			0.06-0.10	0.35-0.45
PK031S	F3	0.15-0.18	0.08-0.12		0.10-0.13

Επειδή ο μολύβδος καθώς και τα κράματά του είναι μαλακά υλικά, είναι πολύ εύκολο να πάθουν φθορές, είτε κατά την διαδικασία παραγωγής του καλωδίου, είτε κατά την εγκατάσταση ή ακόμη και κατά την λειτουργία του στο πυθμένα, από αιχμηρά συρόμενα αντικείμενα όπως άγκυρες. Για το λόγο αυτό είναι πολύ σημαντικό να παρέχεται επαρκής προστασία στον μολύβδινο μανδύα μιας και τραυματισμός του μανδύα θα σημάνει σύντομα και καταστροφή του καλωδίου. Από το φόβο της φθοράς του μολύβδινου μανδύα, κάποιες φορές προτιμάται η χρήση διπλού μανδύα στην κατασκευή του καλωδίου.

Ο μολύβδινος μανδύας τέλος, είναι υποκείμενο κοπώσεως με το πέρασμα του χρόνου. Κραδασμοί, καμπτικές τάσεις σε καμπύλα τμήματα του βυθισμένου καλωδίου και θερμοκρασιακές μεταβολές, μπορούν να επηρεάσουν την κρυσταλλική δομή του μανδύα. Αυτό σε συνδυασμό με εγγενείς κρυσταλλικές ανωμαλίες του κράματος, μπορούν να οδηγήσουν σε μικρορωγμές, οι οποίες με το πέρασμα του χρόνου εξελίσσονται, επηρεάζοντας αρνητικά την ικανότητα παρεμπόδισης εισροής του νερού στον πυρήνα του καλωδίου. Για την μετρίαση αυτού του φαινομένου, τα καλώδια με μολύβδινο μανδύα χρησιμοποιούνται με έναν οβάλ σύστημα αγωγού-μονωτή-μανδύα, ώστε κατά την θερμική διαστολή το καλώδιο να τείνει να αποκτήσει κυλινδρικό σχήμα (κυκλική διατομή) απορροφώντας έτσι τις τάσεις και αποτρέποντας την δημιουργία μικρορωγμών.

Άξιοι αναφοράς, είναι και οι μανδύες από πολυμερισμό των οποίων η χρήση, εξαρτάται από τη θέση τους στο υποβρύχιο καλώδιο. Συνήθως ένας μανδύας πολυμερούς χρησιμοποιείται για να προστατεύσει τον μολύβδινο μανδύα, από τη διάβρωση και την τριβή. Οι μανδύες αυτού του τύπου είναι συνήθως HDPE ή LDPE. Οι παραπάνω μανδύες προσφέρουν εξαιρετική μηχανική και χημική αντοχή αλλά και σταθερότητα καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του καλωδίου. Άλλα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι το PVC ,το NAYLON και η πολυουρεθάνη. Σ την περίπτωση που στο καλώδιο δεν υπάρχει καθόλου μεταλλικός μανδύας, το πολυμερές παρέχει επαρκή ακτινική προστασία στην διείσδυση του νερού, όχι όμως και στην παρεμπόδιση των ατμών νερού. Για τα καλώδια MT μικρά ποσά εξατμισμού γίνονται αποδεκτά εφόσον το ηλεκτρικό πεδίο είναι μικρό. Ο πιο κοινός μανδύας HDPE έχει μικρή διεισδυτικότητα εξατμίσεων νερού (145gμm/(m²d) ,@38°C). Το PVC και το NAYLON έχουν μεγαλύτερους ρυθμούς διεισδυτικότητας.

Πολυμερείς μανδύες κατασκευάζονται μερικές φορές από ημιαγώγιμα PE υλικά γεμισμένα με μαύρο άνθρακα. Αυτοί παρέχουν εξισορρόπηση τάσης μεταξύ του εσωτερικού μεταλλικού μανδύα και του οπλισμού εξωτερικά του καλωδίου.

2.1.4 Οπλισμός

Ένα σημαντικό στοιχείο στα υποβρύχια καλώδια ισχύος, είναι ο οπλισμός που αποτελείται, είτε από χαλύβδινα επιψευδαργυρωμένα σύρματα, είτε από σύρματα από ανοξείδωτο χάλυβα ή ακόμα από σύρματα από κράμα αλουμινίου. Τα σύρματα αυτά καλύπτουν πλήρως την κυλινδρική επιφάνεια του καλωδίου. Βασικός σκοπός του οπλισμού είναι η παροχή της απαιτούμενης μηχανικής αντοχής στο καλώδιο σε δύο φάσεις.

Αρχικά κατά τη διαδικασία της πόντισης, καλείται να αντισταθμίσει τάσεις οφειλόμενες αφενός στο βάρος του καλωδίου και επομένως στο βάθος της θάλασσας τη γωνία πόντισης κ.α. και αφετέρου τις δυναμικές φορτίσεις που υπόκειται το καλώδιο κατά την πόντιση, λόγω των εγκάρσιων κινήσεων του πλοίου από ρεύματα, θαλάσσιο κυματισμό, επίδραση ανέμου κ.α.

Όταν ολοκληρωθεί η διαδικασία της πόντισης και κατά την διάρκεια λειτουργίας του στο βυθό, ο οπλισμός το προστατεύει από τις δυναμικές φορτίσεις της θάλασσας οφειλόμενες σε υποθαλάσσια ρεύματα ή καθιζήσεις του βυθού ή την ανθρώπινη δραστηριότητα (εργαλεία ψαρέματος, άγκυρες κ.α.). Ένας ακόμη παράγοντας είναι οι τάσεις που δέχεται το καλώδιο, κατά τη διαδικασία ανέλκυσης για επισκευή. Αναλυτικότερα οι παράγοντες που δύναται να επιδράσουν αρνητικά στη λειτουργία του καλωδίου θα αναφερθούν σε επόμενο κεφάλαιο.

Τα μεταλλικά σύρματα που αποτελούν τον οπλισμό είναι τοποθετημένα στο καλώδιο στρεφόμενα ελικοειδώς και έχουν συγκεκριμένο μήκος επιστρώσεως. Το μήκος αυτό, στο οποίο ένα σύρμα ολοκληρώνει μια πλήρη περιστροφή γύρω από το καλώδιο, είναι συνήθως 30-40 φορές η διάμετρος του καλωδίου. Τα σύρματα του οπλισμού έχουν διάμετρο 2-8mm.

Η ελικοειδής άρμωση των συρμάτων, έχει ως αποτέλεσμα την μετατροπή των αξονικών δυνάμεων σε στρεπτικές τάσεις προς την κατεύθυνση στροφής των συρμάτων. Για την αποφυγή τους σε σύρματα οπλισμού μεγάλου μήκους η άρμωση γίνεται σχεδόν παράλληλα στον διαμήκη άξονα, ώστε ενώ είναι δυνατή η παραλαβή αξονικών φορτίων να μην αναπτύσσονται ταυτόχρονα έντονες στρεπτικές τάσεις.

Παράλληλα στα καλώδια με σύρματα μεγάλου μήκους επίστρωσης, αυξάνει η δυσκαμψία του καλωδίου πράγμα που είναι ανεπιθύμητο. Στα καλώδια με σύρματα οπλισμού μικρού μήκους έχουμε και μικρότερη δυσκαμψία. Γενικά πάντως, η επιλογή της αντοχής του οπλισμού είναι συνάρτηση της επιδιωκόμενης μηχανικής αντοχής του αγωγού και των στρεπτικών τάσεων, που απαιτείται να έχουν για την εγκατάστασή τους.

Πολλές φορές για αύξηση της μηχανικής προστασίας από εξωτερικές παρεμβάσεις, τα καλώδια ενισχύονται από μία δεύτερη στρώση οπλισμού (διπλός οπλισμός). Όταν οι δύο οπλισμοί αποτελούνται από σύρματα αντίθετων κατευθύνσεων τότε το καλώδιο προστατεύεται επαρκώς ακόμη και από συρόμενες

άγκυρες ή επαφή με βράχια. Επειδή στα αντίθετης ελίκωσης οπλισμού καλώδια οι στρεπτικές τάσεις αλληλοεξουδετερώνονται, τα καλώδια αυτά προτιμώνται για πόντιση σε θάλασσες μεγάλου βάθους.

Εκτός των καλωδίων ελικοειδούς οπλισμού, υπάρχουν υποβρύχια καλώδια επίπεδου οπλισμού. Τα καλώδια αυτά παρέχουν την απαραίτητη μηχανική αντοχή με χρήση πολύ λιγότερου υλικού. Η απαίτηση λιγότερου υλικού και λιγότερου χώρου αποθήκευσης αντισταθμίζεται από το υψηλότερο κόστος κατασκευής τους.

Στις περισσότερες περιπτώσεις ο οπλισμός κατασκευάζεται από μαλακό χάλυβα ο οποίος όμως ως μαγνητικό υλικό δημιουργεί ένα μαγνητικό πεδίο γύρω από τον αγωγό προκαλώντας ανεπιθύμητες απώλειες και επιπλέον εκπομπή θερμότητας στα καλώδια εναλλασσόμενου ρεύματος. Στα μονοπολικά καλώδια οι απώλειες αυτές μπορεί να αυξηθούν σημαντικά μειώνοντας έτσι την ικανότητα μεταφοράς ρεύματος στον αγωγό.

Με σκοπό την μείωση των παραπάνω απωλειών και για την αποφυγή του φαινομένου έχει αναπτυχθεί η παραγωγή οπλισμών από άλλα μεταλλικά υλικά όπως μπρούτζος, ορείχαλκος, χαλκός ή αλουμίνιο. Στον πίνακα 2.4 είναι υποτυπωμένες οι τάσεις αντοχής κάποιων μη σιδηρούχων μετάλλων. Τα κράματα χαλκού γενικά, αποτελούν μία ακριβή λύση κατασκευής οπλισμού. Το αλουμίνιο είναι φθηνότερο αλλά διαβρώνεται ταχύτερα από τα κράματα χαλκού. Οπλισμοί από χαλκό συνδυάζουν χαμηλή αντίσταση με υψηλή αντίσταση διάβρωσης όμως δεν έχει μηχανική αντοχή ανάλογη με τον ανοξείδωτο χάλυβα.

Πίνακας 2.4: Σύνθεση και τάσεις διαρροής μη σιδηρούχων υλικών οπλισμού

Υλικό	Χημικός τύπος	Τάση διαρροής (MPa)	Συστατικά
Χαλκός	Cu-ETP	200-400	Cu: 99.9%
Μπρούτζος	CuZn40	340-500	Cu: 59.5-61.5% Zn: υπόλοιπο
Φωσφορούχος ορείχαλκος	CuSn6	340-1000	Sn:5.5-7.0% Zn:λίγο % Cu:υπόλοιπο

Μία άλλη μέθοδος είναι με την απαγωγή του μαγνητικού πεδίου. Τα ομοαξονικά καλώδια είναι δυνατό να κατασκευαστούν με ένα συμπαγές παραπέτασμα χαλκού το οποίο είναι σταθερά τοποθετημένο στα δύο άκρα του καλωδίου. Το επιφανειακό ρεύμα που δημιουργείται είναι σχεδόν όσο του αγωγού αλλά σε αντίθετη κατεύθυνση, οπότε τα μαγνητικά πεδία των δύο ρευμάτων αλληλοεξουδετερώνονται. Επειδή όμως, ενώ εξαφανίζονται οι μαγνητικές απώλειες, εμφανίζονται αντ' αυτού απώλειες στο παραπέτασμα χαλκού, για τον παραπάνω λόγο, στα ομοαξονικά καλώδια προτιμώνται διπλοί οπλισμοί αντίθετης ελίκωσης, όπου ο εσωτερικός είναι από χαλκό και ο εξωτερικός από ανοξείδωτο χάλυβα, ώστε να περιορίζονται οι παραπάνω απώλειες.

Στα καλώδια τριών αγωγών δεν υπάρχει το παραπάνω πρόβλημα, μιας και τα τρία δημιουργούμενα μαγνητικά πεδία αλληλοεξουδετερώνονται μεταξύ τους.

Τέλος, η μηχανική αντοχή των καλωδίων μπορεί να βελτιωθεί, με χρήση οπλισμού από ίνες πολυεστέρα ή aramid. (Κέβλαρ κτλ).

2.1.4.1 Προστασία Διάβρωσης

Το θαλασσινό νερό αποτελεί έντονα διαβρωτικό περιβάλλον και το γεγονός της διάβρωσης πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη στη μελέτη και σχεδιασμό των υποβρυχίων καλωδίων. Υπάρχουν διάφοροι μηχανισμοί διάβρωσης που αξίζει να μελετηθούνε.

Η επίδραση του θαλασσινού νερού στον οπλισμό του καλωδίου προκαλεί γενική διάβρωση στα σύρματα του οπλισμού. Τα σύρματα, είναι στις περισσότερες περιπτώσεις επιψευδαργυρωμένα σύρματα ανοξειδώτου χάλυβα. Το στρώμα επιψευδαργύρωσης των συρμάτων είναι συνήθως της τάξης των 50μm ή μεγαλύτερο. Εκτός της κύριας προστασίας με επιψευδαργύρωση, δευτερεύουσα προστασία επιτυγχάνεται με εμποτισμό των συρμάτων με θερμή πίσσα κατά τη διάρκεια της κατασκευής τους. Το εξωτερικό στρώμα πίσσας όμως, που δημιουργείται είναι πιθανό να φθαρεί, είτε κατά τη διαδικασία της πόντισης, είτε κατά την διάρκεια λειτουργίας στο βυθό από θαλάσσια ρεύματα ή από εργασίες ανέλκυσης και επισκευής. Στην περίπτωση αυτή, την προστασία του οπλισμού αναλαμβάνει ο ψευδάργυρος, που είναι επιστρωμένος. Τιμές αναφοράς διάβρωσης, δίνουν ρυθμούς διάβρωσης του ψευδαργύρου 5-50μm/χρόνο. Μελέτες έκθεσης καλωδίων στη Βαλτική θάλασσα, δίνουν τιμές 1 μm/χρόνο.

Μια άλλη μορφή διάβρωσης είναι η ηλεκτρική διάβρωση. Η διάβρωση αυτή σχετίζεται με τα εισερχόμενα και εξερχόμενα ρεύματα στον οπλισμό, από το περιβάλλον τα οποία ρεύματα προκαλούνται από παλιρροιακά φαινόμενα σε συνδυασμό με το μαγνητικό πεδίο της γης.

Για την προστασία των καλωδίων από διάβρωση, χρησιμοποιούνται μέθοδοι όπως σύρματα θυσιαζόμενου ψευδαργύρου. Με αυτόν τον τρόπο, θυσιάζονται τα σύρματα ψευδαργύρου, αντί των συρμάτων του οπλισμού. Παρ'όλ'αυτά λόγω του επιστρώματος πίσσας που προαναφέραμε, η μέθοδος δεν θεωρείται ιδιαίτερα αποτελεσματική.

Μια εναλλακτική μέθοδος προστασίας, είναι η χρήση στρώματος πολυμερούς υλικού για προστασία του οπλισμού. Αυτή η μορφή προστασίας είναι επαρκής, εφόσον δεν διαρρηγνύεται το προστατευτικό στρώμα πολυμερούς.

Εναλλακτικά, είναι δυνατή η κατασκευή όπως είπαμε και παραπάνω, από υλικά προερχόμενα από μέταλλα που ανθίστανται στην διάβρωση. Τέτοια υλικά είναι ο χαλκός, ο μπρούτζος και ο ορείχαλκος. Οπλισμοί αλουμινίου πρέπει να προτιμώνται σε περιβάλλον γλυκού νερού, μιας και μελέτες έδειξαν ανεπάρκεια προστασίας στο θαλασσινό νερό.

Τέλος, ο ενταφιασμός του καλωδίου στον βυθό, περιορίζει τους ρυθμούς διάβρωσης, καθόσον το καλώδιο δεν έρχεται σε απευθείας επαφή τόσο με το θαλασσινό νερό όσο και με το περιεχόμενο στο νερό οξυγόνο.

2.1.5 Εξωτερικό Περίβλημα

Η δημιουργία ουλών και το γδάρισμα του υποβρυχίου καλωδίου λόγω τριβής κατά τη διαδικασία παραγωγής, μεταφοράς και εγκατάστασης έχει πολύ αρνητική επίδραση στα μέσα αντιδιαβρωτικής προστασίας όπως τις επιστρώσεις ψευδαργύρου που προστατεύουν το καλώδιο. Για την αποφυγή αυτού του δυσάρεστου φαινομένου τα υποβρύχια καλώδια επικαλύπτονται από ένα εξωτερικό περίβλημα το οποίο έχει σκοπό την προστασία του αντιδιαβρωτικού συστήματος από γδαρσίματα και ουλές. Το εξωτερικό περίβλημα στα σύγχρονα υποβρύχια καλώδια ισχύος αποτελούνται από ελικοειδείς επιστρώσεις νημάτων ή από εξωθημένο πολυμερές. Τα καλώδια με τις επιστρώσεις νημάτων είναι σχεδιασμένα ώστε να επιτρέπουν τη διείσδυση του θαλασσινού νερού μέχρι τον οπλισμό. Η εισροή του νερού στα περιορισμένα διάκενα των εξωτερικών επιστρώσεων είναι πολύ περιορισμένη με αποτέλεσμα να μειώνεται σημαντικά ο ρυθμός διάβρωσης του καλωδίου. Το εξωτερικό περίβλημα θυσιάζεται για την προστασία του οπλισμού του καλωδίου και ως εκ τούτου μικρές εκδορές κατά την μεταφορά, αποθήκευση και εγκατάσταση του καλωδίου δεν λαμβάνονται υπόψη. Το εξωτερικό περίβλημα εκτός από την παραπάνω προστασία που παρέχει δίνει στο καλώδιο μια επιμελημένη εικόνα φροντίζοντας έτσι την εξωτερική του εμφάνιση. Μία παράμετρος που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στην κατασκευή του εξωτερικού περιβλήματος είναι και ο συντελεστής τριβής του επιστρώματος μιας και από αυτόν εξαρτάται η ικανότητα του επιστρώματος να ανθίσταται στις εκδορές που τείνουν εξωτερικές δυνάμεις να του προκαλέσουν. Το εξωτερικό περίβλημα συνήθως έχει σημάδια ώστε να γίνεται εύκολα αναγνωρίσιμο από κάμερες υποβρυχίων οχημάτων (ROV). Το εσωτερικό υπόστρωμα του εξωτερικού περιβλήματος συχνά εμποτίζεται με πίσσα ώστε να ενισχυθεί η αντιδιαβρωτική προστασία που παρέχει στον οπλισμό του καλωδίου.

2.2 Ειδικά κατασκευαστικά στοιχεία Καλωδίων

Η σχεδίαση ενός υποβρυχίου καλωδίου ισχύος είναι μια επίπονη διαδικασία στην οποία πρέπει μέσα από την καταγραφή των παραγόντων που επηρεάζουν την λειτουργία του καλωδίου να παραχθεί τελικά ένα προϊόν το καλώδιο με επαρκή χαρακτηριστικά ώστε να ανταπεξέλθει σε κάθε δυνατή καταπόνηση μπορεί να υποστεί. Τρία είναι τα βασικά επιστημονικά πεδία στα οποία πρέπει να στραφεί ο μελετητής για να αντλήσει δεδομένα για την κατασκευή του καλωδίου. Πρόκειται για το **πεδίο μετάδοσης θερμότητας** δηλ. τον θερμικό σχεδιασμό του καλωδίου, το **πεδίο της μηχανικής αντοχής** δηλ. τον μηχανολογικό σχεδιασμό του καλωδίου και τέλος το **πεδίο της μεταφοράς ρεύματος** δηλ. τον ηλεκτρικό σχεδιασμό του καλωδίου.

2.2.1 Προδιαγραφές θερμικών ιδιοτήτων

Βασική επιδίωξη του σχεδιαστή ενός υποβρυχίου καλωδίου ισχύος, είναι να τοποθετήσει στο καλώδιο έναν αγωγό κατάλληλο να μεταφέρει το μέγιστο δυνατό ηλεκτρικό φορτίο συναρτήσει πάντα, των περιορισμών που υφίστανται και έχουν να κάνουν με οικονομοτεχνικούς παράγοντες.

Κατά τη λειτουργία του καλωδίου και με τη μεταφορά του ρεύματος παράγεται θερμότητα λόγω ωμικών απωλειών η οποία μεταδίδεται από το εσωτερικό του αγωγού προς το περιβάλλον, δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο ισοθερμοκρασιακές ζώνες.

Ο σχεδιαστής λοιπόν, λαμβάνοντας αυτό υπόψη καθώς επίσης και το γεγονός ότι ο αγωγός πρέπει να επιτρέπει τη μέγιστη συγκέντρωση ισχύος και ταυτόχρονα την μέγιστη δυνατότητα μετάδοσης ενέργειας καλείται να κατασκευάσει το θερμικό μοντέλο πάνω στο οποίο θα βασιστεί η κατασκευή του καλωδίου.

Αν για παράδειγμα αναπτύξουμε το μοντέλο θερμικής σχεδίασης μονοπολικού καλωδίου θεωρούμε ότι οι ωμικές απώλειες είναι η αιτία παραγωγής θερμότητας στο εσωτερικό του καλωδίου. Η απώλεια ισχύος με τη μορφή θερμότητας δίνεται από τη σχέση:

$$P_{απωλ.} = I^2 \cdot R_{\theta}$$

$$\text{όπου } R_{\theta} = R_{20} \cdot (1 + a(\theta - 20))$$

με $P_{απωλ.}$ και R_{θ} στα ανηγμένα μεγέθη τους [W/m] και [Ω/m] αντίστοιχα.

Ο προσδιορισμός της θερμοκρασίας θ γίνεται με χρήση της κλασικής θεωρίας μετάδοσης θερμότητας σε διαφορετικής σύστασης υλικά. Κατά την θεωρία αυτή η μεταβολή της θερμοκρασία κατά την ροή ενέργειας σε ένα μέσο είναι:

$$\Delta\Theta_i = P_{\theta} \cdot T_i = \frac{\rho_T}{2\pi} \cdot \ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right)$$

όπου ρ_T η ειδική θερμική αντίσταση του υλικού διαμέσου του οποίου διέρχεται η ενέργεια.

Πίνακας 2.5 :Ειδική θερμική αντίσταση υλικών κατασκευής καλωδίων σύμφωνα με προδιαγραφή IEC 60287

Μονωτικό υλικό	Ειδική θερμική αντίσταση K.m/W
Μόνωση χαρτιού καλώδια ελαίου	5
Μόνωση εμποτισμένου χαρτιού	6
PPL	5.5
Πολυαιθυλένιο ,XLPE ή PE θερμοπλαστικό	3.5
Διασταυρούμενο πολυαιθυλένιο HVDC καλώδια	3.5
Εξωτερικό περίβλημα	
PE	3.5
PVC	6
Νήματα Πολυπροπυλενίου βυθισμένα στο νερό	3.7

Σε ένα κυλινδρικό μονοπολικό υποβρύχιο καλώδιο ισχύος η διαφορά θερμοκρασίας από το αγωγό στο εξωτερικό περιβάλλον $\Delta\Theta$ με παρεμβολή n στρωμάτων θα είναι :

$$\Delta\Theta = \sum_{i=1}^n (P_{\theta} \cdot T_i) = P_{\theta} \cdot \sum_{i=1}^n T_i = I^2 \cdot R_{\theta} \cdot \sum_{i=1}^n T_i$$

Όπου I η ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό.

Το θερμικό μοντέλο της προδιαγραφής IEC 60287 καθορίζει τέσσερα θερμοκρασιακά στρώματα από τον αγωγό μέχρι το περιβάλλον.

Πίνακας 2.6: Θερμικό μοντέλο της προδιαγραφής IEC 60287

	Θερμοκρασιακό υπόστρωμα	Τύπος υπολογισμού
T_1	Θερμική αντίσταση του μονωτή	$T_2 = \frac{\rho_T}{2\pi} \cdot \ln\left(1 + \frac{2t_2}{D_s}\right)$
T_2	Θερμική αντίσταση επιμεταλλωμένης ταινίας-οπλισμού	$T_3 = \frac{\rho_T}{2\pi} \cdot \ln\left(1 + \frac{2t_3}{D_a}\right)$
T_3	Θερμική αντίσταση εξωτερικού περιβλήματος πάνω από τον οπλισμό	$T_3 = \frac{\rho_T}{2\pi} \cdot \ln\left(1 + \frac{2t_3}{D_a}\right)$
T_4	Θερμική αντίσταση μεταξύ καλωδίου και πυθμένα (όταν το καλώδιο είναι ενταφιασμένο)	$T_4 = \frac{\rho_T}{2\pi} \cdot \ln\left(\frac{4L}{D_e}\right)$

2.2.2 Προδιαγραφές μηχανικών ιδιοτήτων

Ο καθορισμός των μηχανικών ιδιοτήτων ενός υποβρυχίου καλωδίου είναι μια σημαντική παράμετρος που καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την αξιοπιστία του συστήματος μεταφοράς ισχύος. Οποιοσδήποτε συμβιβασμός στην επιλογή ιδιοτήτων του καλωδίου μπορεί να οδηγήσει σε φθορά ή βλάβη του καλωδίου με αποτέλεσμα αφενός την αύξηση του κόστους συντήρησης και αφετέρου την μείωση της διαθεσιμότητας της γραμμής μεταφοράς με ότι κοινωνικό ή εμπορικό κόστος συνεπάγεται αυτό. Οι προδιαγραφές κατασκευής ενός καλωδίου πρέπει να είναι εκείνες που θα προστατεύσουν το καλώδιο από βλάβη κατά την διαδικασία παραγωγής, μεταφοράς και αποθήκευσης αρχικά καθώς επίσης και κατά την διαδικασία εναπόθεσης στον βυθό, λειτουργίας ή συντήρησης/επισκευή κατά τη διάρκεια ζωής του. Για τον προσδιορισμό των μηχανικών ιδιοτήτων ενός υποβρυχίου καλωδίου θα προσεγγίσουμε αρχικά τη διαδικασία της πόντισης από μηχανικής απόψεως μεταφράζοντας τις εικόνες της πόντισης με μαθηματικές εξισώσεις ώστε να αντιληφθούμε καλύτερα τη συλλογιστική από την οποία προκύπτει ο καθορισμός των μηχανικών προδιαγραφών ενός υποβρυχίου καλωδίου.

Αν επιχειρήσουμε λοιπόν να προσδιορίσουμε τη φύση των τάσεων που ασκούνται στο καλώδιο κατά την πόντιση θα παρατηρήσουμε ότι η συνολική τάση που ασκείται στο καλώδιο στο σημείο εκφυγής του από το πλοίο είναι:

Συνολική Τάση=Τάση λόγω αλυσοειδούς + Τάση λόγω δυναμικής κίνησης του πλοίου

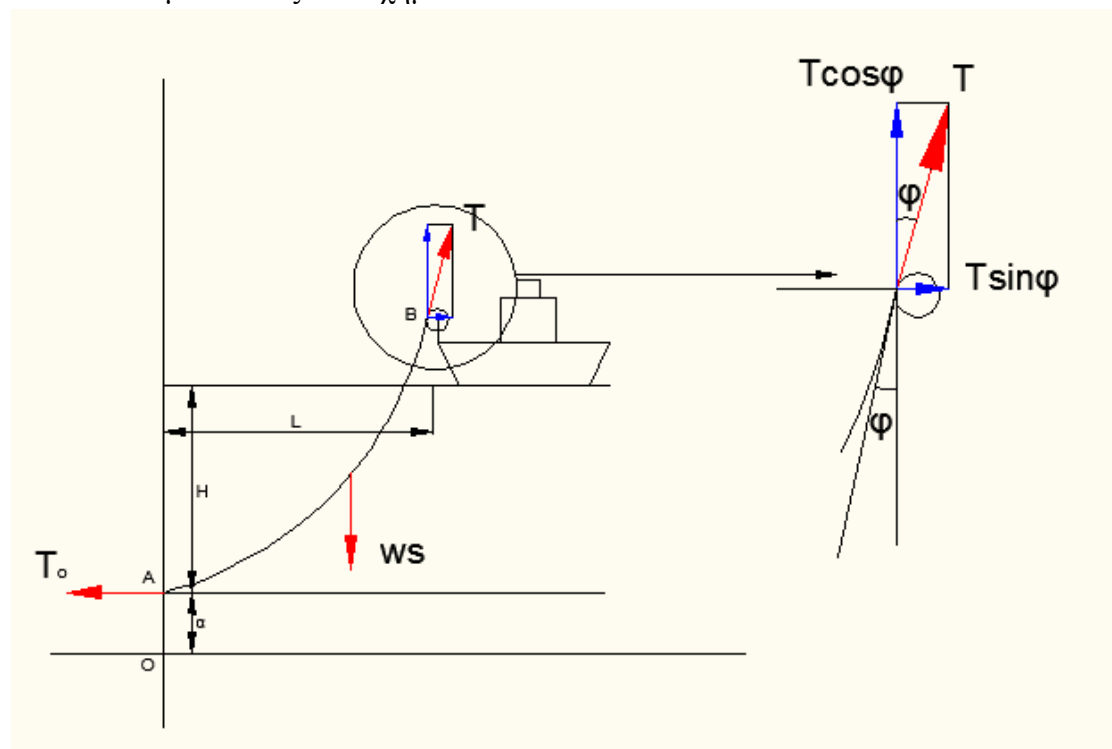
$$\text{ή } T = T_{\sigma} + T_{\delta}$$

Αν και η συνολική τάση που ασκείται στο καλώδιο προκύπτει από την υπέρθεση των δύο επιμέρους για λόγους απλότητας θα μελετήσουμε κάθε μία ξεχωριστά.

2.2.2.1 Τάση αλυσοειδούς καμπύλης καλωδίου T_{σ}

Αν παρατηρήσουμε τις δυνάμεις που ασκούνται στο καλώδιο κατά τη φάση της πόντισης θα καταγράψουμε την τάση που ασκείται στο καλώδιο λόγω του στατικού βάρους του καλωδίου w με μονάδες βάρους/μήκος την αντίσταση του πυθμένα και μία επιπλέον τάση ασκούμενη στο καλώδιο στον τροχό εναπόθεσης.

Έστω ένα πλοίο που ποντίζει υποβρύχιο καλώδιο ισχύος με σταθερή ταχύτητα, σε θάλασσα δίχως άνεμο, κυματισμό και υποθαλάσσια ρεύματα, σε επίπεδο πυθμένα όπως στο σχήμα.



Σχήμα 2.1: Σκαριφηματική απεικόνιση των δυνάμεων που ασκούνται κατά την πόντιση ενός υποβρύχιου καλωδίου MT

Από την ισορροπία δυνάμεων θα ισχύει:

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow T_o = T \cdot \sin \varphi$$

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow w \cdot s = T \cdot \cos \varphi$$

Με χρήση πυθαγόρειου θεωρήματος και εφαρμογή βασικών τριγωνομετρικών σχέσεων προκύπτει:

$$(w \cdot s)^2 + T_o^2 = T^2$$

$$\tan \varphi = \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} = \frac{T_o}{w \cdot s}$$

Θεωρούμε την παράμετρο a τέτοια ώστε:

$$a \cdot w = T_o$$

Θα ισχύει λοιπόν:

$$\tan \varphi = \frac{T_o}{w \cdot s} = \frac{a \cdot w}{w \cdot s} = \frac{a}{s}$$

Η τάση που εφαρμόζεται στον τροχό εναπόθεσης είναι :

$$T = \sqrt{(w \cdot s)^2 + T_o^2}$$

Αν συνεχίσουμε περαιτέρω την διερεύνηση της αλυσοειδούς γραμμής προκύπτουν τα ακόλουθα:

$$\frac{dx}{dy} = \tan \varphi = \frac{a}{s} \Rightarrow \frac{dy}{dx} = \frac{s}{a}$$

$$\frac{d}{dx} \cdot \frac{s}{a} = \frac{d}{dx} \frac{dy}{dx} \Rightarrow \frac{ds}{dx} = a \cdot \frac{d^2y}{dx^2}$$

Όμως ισχύει :

$$ds^2 = dy^2 + dx^2 \Rightarrow \frac{ds^2}{dx^2} = \left(\frac{dy}{dx}\right)^2 + 1 \Rightarrow \frac{ds}{dx} = \sqrt{\left(\frac{dy}{dx}\right)^2 + 1} = a \cdot \frac{d^2y}{dx^2}$$

Απαλείφοντας το s από τις δύο τελευταίες εξισώσεις προκύπτει:

$$y'' = \frac{1}{a} \cdot \sqrt{(y')^2 + 1}$$

Αν χρησιμοποιήσουμε τις συνοριακές συνθήκες έχουμε:

-Συνθήκη 1: $y'(0) = 0$

οπότε: $y'(x) = \sinh \frac{x}{a} \Rightarrow y(x) = a \cdot \cosh \frac{x}{a} + C$

- Συνθήκη 2: $y(0) = 0$

οπότε: $y(x) = a \cdot \cosh \frac{x}{a} - a$, $a = \frac{T_0}{w}$

Έστω τώρα ότι οι συντεταγμένες στο σημείο άφεσης του καλωδίου είναι $(x,y)=(L,H+a)$. Τότε με εφαρμογή στη σχέση έχω:

$$H + a = a \cdot \cosh\left(\frac{L}{a}\right)$$

Και από :

$$y'(L) = \sinh \frac{L}{a} = \cot \varphi \Rightarrow \frac{L}{a} = \text{arc} \cdot \sinh(\cot \varphi)$$

Η παραπάνω σχέση σημαίνει ότι παρατηρώντας την γωνία για κίνηση πλοίου με σταθερά μικρή ταχύτητα μπορώ υπολογίζοντας την τιμή της να προσδιορίσω το λόγο $\frac{L}{a}$. Αρά με γνωστό το L γνωρίζω και το a .

Επίσης ισχύει $\frac{s}{a} = \frac{dy}{dx}$ και $\frac{dy}{dx} = \sinh \frac{L}{a}$ επομένως $s = a \cdot \sinh \frac{x}{a}$, $a = \frac{T_0}{w}$

Υποπερίπτωση αποτελεί το καλώδιο μέχρι να ακουμπήσει στον πυθμένα και αμέσως πιο πριν όπου έχω $T_0=0$ και επομένως $T_\sigma = \sqrt{w^2 \cdot s^2} = w \cdot s \xrightarrow{s=D} T_\sigma = w \cdot D$ όπου T_σ η τάση λόγω του βάρους του καλωδίου στο νερό.

2.2.2.2 Τάση λόγω δυναμικής κίνησης του πλοίου T_δ

Η κατακόρυφη κίνηση του πλοίου κατά τη διαδικασία της πόντισης επιβαρύνει το καλώδιο με μία επιπλέον τάση T_δ . Για λόγους απλότητας υποθέτουμε ότι η κατακόρυφη κίνηση του πλοίου και επομένως και του τροχού εναποθέσεως είναι ημιτονοειδούς μορφής. Σε αυτή την περίπτωση η μέγιστη τάση αναπτύσσεται στο καλώδιο στις ακραίες τιμές της ημιτονοειδούς καμπύλης. Επειδή η δύναμη που ασκείται στο καλώδιο είναι γινόμενο της μάζας του καλωδίου επί την επιτάχυνση, γ'αυτό στις ακραίες τιμές της ημιτονοειδούς καμπύλης που έχουμε την μέγιστη επιτάχυνση γ_{\max} θα ισχύει:

$$\gamma_{\max} = \frac{h}{2} \cdot \left(\frac{2\pi}{\tau}\right)^2 \quad [\text{απόσταση} \times \text{χρόνο}^{-2}]$$

όπου h η απόσταση από κορυφή σε κορυφή και τ η περίοδος κίνησης δηλ. ο χρόνος μεταξύ δύο διαδοχικών ακρότατων.

Η μέγιστη τάση που αναπτύσσεται λοιπόν είναι

$$T_{\max} = T_\delta = T_s + m \cdot \gamma_{\max}$$

Όπου m όπως προείπαμε η μάζα του αναρτημένου καλωδίου και T_s η τάση λόγω του βάρους του καλωδίου.

Βέβαια τα πραγματικά κύματα δεν υπακούουν πάντα σε ημιτονοειδή μετατόπιση όμως η συγκεκριμένη μορφή παρέχει μια ικανοποιητική προσέγγιση για τη μελέτη του φαινομένου.

Αν θέλουμε να λάβουμε υπόψη στις δυναμικές τάσεις και άλλα φαινόμενα εκτός του κυματισμού υπάρχουν καταγεγραμμένες καμπύλες που δίνουν διάφορες τιμές της κατακόρυφης επιτάχυνσης ενώ αν δεν υπάρχουν δεδομένα σχετικά με την επιτάχυνση προτείνεται η τιμή $\gamma_{\max}=6\text{ms}^{-2}$.

2.2.2.3 Η προδιαγραφή “Electra 171”

Οι κατασκευαστές καλωδίων προτού προβούν στην παραγωγή ενός υποβρύχιου καλωδίου ισχύος προϋπολογίζουν την πιθανή τιμή της συνολικής τάσης που ενδέχεται να φορτίσει το καλώδιο κατά την πόντιση. Η προδιαγραφή βάσει της οποίας γίνεται ο παραπάνω υπολογισμός αναφέρεται ως Electra 171 και διατυπώθηκε 1997 από την Cigre ως σύσταση για τις δοκιμές μηχανικής αντοχής που πρέπει να κάνει ο κατασκευαστής στον καλώδιο κατά την παραγωγή του.

Σύμφωνα με την προδιαγραφή για βάθη μέχρι 500 μέτρα πρέπει:

$T = 1,3 \cdot w \cdot d + T_o$ όπου $T_o = 0,2 \cdot w \cdot d_1$ με περιορισμό στο βάθος πόντισης d_1 να είναι κατ’ ελάχιστο η τιμή του στα 200 μέτρα.

Για βάθη μεγαλύτερα των 500 μέτρων η προδιαγραφή προτείνει η τάση να προκύπτει από: $T = 1,3 \cdot w \cdot d + T_o + 1,2 \cdot |D|$ όπου D η δυναμική τάση (σε Nt)

$D = \pm \frac{1}{2} \cdot b_h \cdot m \cdot d \cdot \omega^2$ όπου b_h : η κατακόρυφη κίνηση του τροχού εναπόθεσης, m η μάζα του καλωδίου στον αέρα, $\omega = \frac{2\pi}{t}$ κυκλική συχνότητα του τροχού και t ο χρόνος μετακίνησης του καλωδίου σε δευτερόλεπτα.

Είναι σημαντικό να ειπωθεί ότι οι παραπάνω τύποι δεν λαμβάνουν υπόψη το σχήμα της αλυσοειδούς καμπύλης αλλά μόνο τις αδρανειακές δυνάμεις που αναπτύσσονται κατά την πόντιση υπό την επίδραση της κατακόρυφης κίνησης του πλοίου.

Αν και η προδιαγραφή καλύπτει την πλειονότητα των περιπτώσεων πόντισης καλωδίων σε περίπτωση δυσμενών καιρικών συνθηκών όπως προκύπτει και από τον πίνακα οι πραγματικές τιμές από αυτές της προδιαγραφής μπορεί να αποκλίνουν σημαντικά.

Πίνακας 2.7: Σύγκριση τιμών τάσεων από προδιαγραφή και από μαθηματική εκτίμηση σε περίπτωση κακοκαιρίας

Μάζα καλωδίου, m	29kg/m
Βάρος καλωδίου στο νερό	209N/m
Βάθος πόντισης	250m
Υπολοιπόμενη τάση πυθμένα T_0	10.450N
Στατική φόρτιση w.d	52.250N
Προτεινόμενη τάση βάσει προδιαγραφής	78.375N
Υποτιθέμενη κατακόρυφη επιτάχυνση γ_{max}	$6ms^{-2}$
Δυναμική φόρτιση m. γ_{max}	43.500N
Συνολική φόρτιση $T=T_{\sigma}+T_{\delta}$	106.200N

2.2.3 Προδιαγραφές ηλεκτρικών ιδιοτήτων

Οι ηλεκτρικές ιδιότητες που λαμβάνονται υπόψη στη σχεδίαση ενός υποβρυχίου καλωδίου ισχύος είναι παρόμοιες με αυτές των αντίστοιχων υπόγειων καλωδίων ξηράς. Η βασικότερη διαφοροποίηση έγκειται στην εγγενή αδυναμία εύκολης προσβασιμότητας στα υποβρύχια καλώδια σε περίπτωση βλάβης. Η παραπάνω αδυναμία είναι που οδηγεί την κατασκευή των υποβρυχίων καλωδίων σε μεγαλύτερα περιθώρια ασφάλειας σε σχέση με τα αντίστοιχα υπόγεια ξηράς.

Ένας παράγοντας που λαμβάνεται υπόψη σχετικά με τον σχεδιασμό των ηλεκτρικών ιδιοτήτων είναι η ηλεκτρική αντοχή. Πρόκειται για την ικανότητα ενός μονωτικού υλικού να αντέχει μια τάση που του επιβάλλεται δίχως να καταρρέει ηλεκτρικά. Ηλεκτρική κατάρρευση επέρχεται όταν η επιβαλλόμενη τάση είναι μεγαλύτερη από την τάση ηλεκτρικής αντοχής του μονωτή. Κατά την ηλεκτρική κατάρρευση προκαλείται ένα ξαφνικό ηλεκτρικό τόξο εκκένωσης που διαπερνά τον μονωτή. Η κατασκευή του μονωτή του καλωδίου πρέπει να γίνεται με γνώμονα την αντοχή του σε όλες τις πιθανές επιβαλλόμενες τάσεις που πρόκειται να υποστεί κατά την ωφέλιμη διάρκεια ζωής του. Η ηλεκτρική αντοχή μετράται σε kV/mm. Επειδή εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως τη θερμοκρασία, το είδος της επιβαλλόμενης τάσης και τη διάρκεια καθώς και την παλαιότητα του καλωδίου γι' αυτό και δεν μπορούν να ληφθούν συγκεκριμένες τιμές για κάθε υλικό. Το πάχος του μονωτή δεν αποτελεί κριτήριο για την ηλεκτρική αντοχή του υλικού καθόσον ενώ θα περίμενε κάποιος αύξηση της αντοχής με αύξηση του πάχους παρ'όλα αυτά δεν ισχύει επειδή αύξηση του πάχους σημαίνει αύξηση των προσμίξεων και άρα αύξηση της πιθανότητας αρχικής εμφάνισης ρωγμής με ηλεκτρική φόρτιση.

Η ηλεκτρική κατάρρευση αποτελεί στατιστικό πρόβλημα και η κατανομή που την αποδίδει με αξιόπιστο τρόπο είναι η κατανομή Weibull:

$$f(E) = \frac{b}{n} \cdot \left(\frac{E}{n}\right)^{b-1} \cdot e^{-\left(\frac{E}{n}\right)^b}$$

όπου $f(E)$ η πιθανότητα το καλώδιο να υποστεί κατάρρευση με την επιβολή ηλεκτρικής έντασης E . Οι μεταβλητές n και b είναι εσωτερικές μεταβλητές της

κατανομής. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η αθροιστική κατανομή πιθανότητας $F(E)$ που εκφράζει την πιθανότητα κατάρρευσης μιας ομάδας καλωδίων που καταπονούνται με ένταση E :

$$F(E) = 1 - e^{-\left(\frac{E}{n}\right)^b}$$

Στην περίπτωση καλωδίων εναλλασσόμενου ρεύματος η ένταση E είναι συνάρτηση της ακτίνας του μονωτή και εκφράζεται από τη σχέση που προκύπτει από εφαρμογή οριακών συνθηκών στην εξίσωση Laplace για το δυναμικό πεδίο $\nabla^2\Phi = 0$ σε κυλινδρικές συντεταγμένες:

$$E(r) = \frac{U_o}{r \ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right)}, \text{ όπου } U_o = \frac{U_r}{\sqrt{3}} \text{ με } U_r \text{ φασική τάση, } D_o \text{ εξωτερική διάμετρος}$$

μονωτή και D_i εσωτερική διάμετρος μονωτή.

Στην περίπτωση καλωδίων συνεχούς ρεύματος σε κανονική λειτουργία, η ηλεκτρική ένταση E είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας του αγωγού και της ειδικής αγωγιμότητας $\sigma = \sigma(E, T)$.

Υπάρχουν διάφορες εκφράσεις που συνδέουν τις μεταβλητές σ, E, T . Χάριν λόγου αναφέρουμε την έκφραση $\sigma = \sigma_o \cdot e^{(a(T-273)+\gamma|E|)}$ όπου σ_o : η αγωγιμότητα στους 0°C και 0 kV/mm ,

a : είναι θερμοκρασιακή παράμετρος

γ : παράμετρος εξαρτώμενη από το πεδίο

Ενδεικτικές τιμές των σ_o, a, γ είναι για καλώδια εμποτισμένου χαρτιού :

$$\sigma_o = 1 \times 10^{-16} \Omega^{-1} \text{m}^{-1}$$

$$a = 0.1 \text{K}^{-1}$$

$$\gamma = 0.03 \text{ mm/kV}$$

Γενικά πάντως ισχύει ότι όσο μεγαλύτερο είναι το ηλεκτρικό πεδίο και η θερμοκρασία για δεδομένη ακτίνα μονωτή r τόσο μεγαλύτερη είναι η τοπική αγωγιμότητα $\sigma(r)$.

2.3 Τύποι Καλωδίων

Από την πρώτη χρήση των υποβρύχιων καλωδίων ισχύος μέχρι τις μέρες μας το ευρύ φάσμα απαιτήσεων σε συνδυασμό με τις σχεδιαστικές εμπνεύσεις των μελετητών και την εφαρμογή νέων υλικών στην κατασκευή των καλωδίων οδήγησε σταδιακά στη δημιουργία ποικίλων μορφών και σχημάτων σε υποβρύχια καλώδια ισχύος. Σε μια προσπάθεια να κατηγοριοποιήσουμε την πληθώρα των καλωδίων καταλήγουμε στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 2.8: Βασικές κατηγορίες καλωδίων

Τύπος Καλωδίου/ Διερχόμενη Τάση	Μόνωση	Εφαρμογές	Μέγιστο Μήκος	Μέγιστη Ισχύς
33kV Εναλ/σόμενο Ρεύμα	XLPE,EPR	Ηλεκτροδότηση μικρών νησιών, σύνδεση WTG	20-30km	30MW
150 kV Εναλ/σόμενο Ρεύμα	XLPE	Ηλεκτροδότηση μεγάλων νησιών ,διασύνδεση OWP	70-150km	180MW
420 kV Εναλ/σόμενο Ρεύμα	Λάδι/χαρτί ή XLPE	Διαμήκους ποταμιών	<50km	700MW/τρία καλώδια
320 kV Συνεχές Ρεύμα	Εξωθημένο	Συνδέσεις μεγάλων αποστάσεων παρακτίων πλατφόρμων, αιολικών πάρκων	>500km	1000MW/ Ζεύγος καλωδίων
450 kV Συνεχές Ρεύμα	Εμποτισμένο	Διασυνδέσεις μεγάλων αποστάσεων αυτόνομων ηλ. Δικτύων.	>500km	600MW/ καλώδιο

2.3.1 Καλώδια Ισχύος τριών Πυρήνων

Όταν μιλάμε για σύγχρονα υποβρύχια καλώδια μέσης τάσης (≤ 52 kV), συνήθως αναφερόμαστε σε τριπολικά καλώδια, με XLPE μόνωση. Τα τριπολικά υποβρύχια καλώδια δεν διαφέρουν κατά πολύ από τα αντίστοιχα υπόγεια. Υπάρχουν πολλών ειδών υποστρώματα που τοποθετούνται τόσο για την μόνωση των επιμέρους αγωγών του καλωδίου όσο και για την μόνωση των τριών αγωγών συνολικά στο υπό κατασκευή καλώδιο. Ανάλογα με τις προδιαγραφές του το τριπολικό καλώδιο μπορεί να κατασκευαστεί με ή και χωρίς μεταλλικό μανδύα. Ένας συνήθης συνδυασμός είναι φύλλα αλουμινίου για υδατοστεγανότητα σε συνδυασμό με μανδύα από σύρματα χαλκού. Ο μη μεταλλικός μανδύας μπορεί να κατασκευαστεί από ημιαγώγιμα πολυμερή υλικά.

Όταν αναφερόμαστε σε καλώδια υψηλής τάσης εννοούμε εκείνα που φτάνουν και ξεπερνούν τα 170kV. Σχεδόν όλα τα σύγχρονα τριπολικά καλώδια υψηλής τάσης κατασκευάζονται με μόνωση XLPE.

Όταν ετοιμαστούν οι αγωγοί καθένας ξεχωριστά και έρθει η ώρα να συνενωθούν για την κατασκευή του τριπολικού καλωδίου τότε ανάλογα με τον τρόπο που πλέκονται οι αγωγοί δημιουργούνται διαστήματα κενά που πρέπει πληρωθούν με υλικό ώστε στη συνέχεια να τοποθετηθούν τα σύρματα του οπλισμού. Το υλικό που γεμίζει αυτά τα κενά είναι συνήθως PE ή PVC. Το κέντρο που προκύπτει από την ένωση των τριών αγωγών δεν απαιτείται να πληρωθεί από το παραπάνω υλικό. Τα καλώδια ενός τριπολικού καλωδίου μπορούν εύκολα να ξεπεράσουν σε διάμετρο τα

200mm. Καλώδια ανωτέρω διαμέτρου καταλήγουν μετά την εφαρμογή του οπλισμού σε διατομές της τάξης των 3700mm².

Τα τριπολικά καλώδια μέσης και υψηλής τάσης επίσης δύναται να κατασκευαστούν με μόνωση λαδιού. Αυτά τα καλώδια έχουν πάντα και μόνωση μολύβδου είτε σε καθένα αγωγό ξεχωριστά είτε και στους τρεις μαζί. Μεταξύ των δύο παραπάνω μονώσεων πλεονεκτεί η μόνωση καθενός ξεχωριστά αγωγού με μολύβδο κυρίως λόγω της καλύτερης σταθερότητας που παρέχεται κατά τη διάρκεια εγκατάστασης και λειτουργίας του καλωδίου. Στον αντίλογο η κοινή μόνωση μολύβδου στα τρία καλώδια δίνει τη δυνατότητα χρήσης ελαίου στο κανάλι που δημιουργείται μεταξύ των αγωγών. Όπως και να έχει πάντως η μόνωση PE ή PVC είναι υποδεέστερη από την μόνωση XLPE.

2.3.2 Ομοαξονικά Καλώδια Ισχύος

Τα ομοαξονικά υποβρύχια καλώδια ισχύος χρησιμοποιούνταν τα παλιότερα χρόνια με σκοπό την επίτευξη της ομοκεντρικότητας ακόμη και σε πολυφασικά συστήματα.

Λόγω των πολλαπλών δυσκολιών στην δημιουργία συνδέσεων και στον τερματισμό των καλωδίων στους σταθμούς απόληξης άρχισαν εδώ και αρκετές δεκαετίες να θεωρούνται μη πρακτικά στη χρήση με αποτέλεσμα να αντικαθίστανται σταδιακά από τριπύρηνα καλώδια για την μεταφορά εναλλασσόμενου ρεύματος. Τα ομοαξονικά καλώδια εξακολουθούν στις μέρες μας να βρίσκουν εφαρμογή στη μεταφορά συνεχούς ρεύματος ισχύος.



Εικόνα 2.8 : Ομοαξονικό καλώδιο διπλού αγωγού

2.3.3 Άλλοι τύποι Καλωδίων

Εκτός των δύο βασικών τύπων καλωδίων που προαναφέρθηκαν υπάρχουν άλλοι δύο τύποι άξιοι αναφοράς. Πρόκειται για τα υποβρύχια καλώδια δύο πυρήνων ή διπολικά καθώς επίσης τα υποβρύχια καλώδια ισχύος με οπτική ίνα.

Η περίπτωση των διπύρηνων καλωδίων βρίσκει εφαρμογή τόσο σε σύστημα συνεχούς όσο και εναλλασσόμενου ρεύματος. Πρόκειται για δύο μονωμένους αγωγούς τοποθετημένους τον ένα δίπλα στον άλλο. Οι δύο αγωγοί καλύπτονται από μόνωση μολύβδου ενώ διαρρέονται από λάδι. Η πολικότητα του ρεύματος των δύο καλωδίων μπορεί να είναι ίδια ή αντίθετη (σε αυτή την περίπτωση έχουμε αλληλεξουδετέρωση των μαγνητικών πεδίων). Από τη φύση του το διπύρηνο καλώδιο χρησιμοποιείται κατά βάση σε συστήματα συνεχούς ρεύματος. Είναι όμως

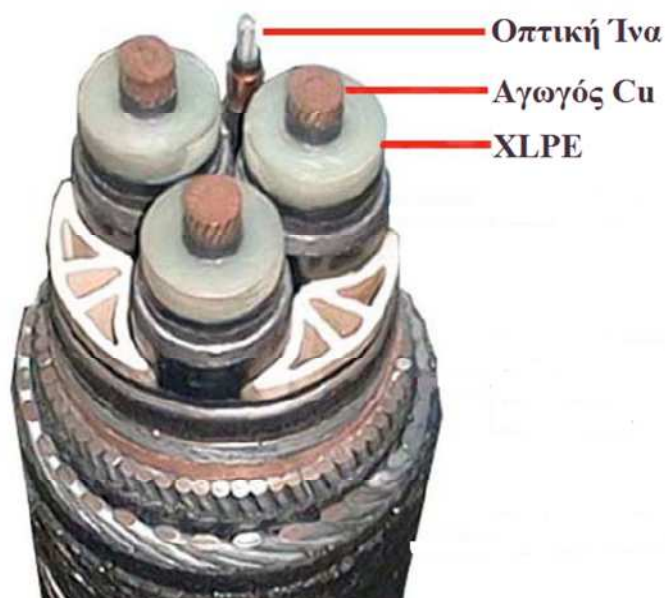
πιθανή η χρήση του και σε εγκαταστάσεις εναλλασσόμενου ρεύματος όπως στην περίπτωση των αιολικών πάρκων όπου χρησιμοποιούνται τρία διπύρρηνα καλώδια για την μεταφορά ισχύος από το πάρκο στον σταθμό ξηράς.



Εικόνα 2.9: Διπύρρηνο υποβρύχιο καλώδιο ΜΤ

Τα υποβρύχια καλώδια ισχύος είναι δυνατό να ενσωματώνουν και οπτικές ίνες. Το γεγονός αυτό παρέχει κάποια πλεονεκτήματα στον χρήστη του συστήματος όπως:

- ✚ Διανεμημένη μέτρηση θερμοκρασίας λειτουργίας καλωδίου κατά την οποία υπάρχει ένδειξη της θερμοκρασίας καθ' όλο το μήκος του καλωδίου,
- ✚ Μετάδοση δεδομένων κατά την οποία δίχως τη χρήση προενισχυτών/επαναληπτών υφίσταται δυνατότητα μετάδοσης σε ρυθμούς από 5 έως 10GB/s για κάθε ίνα σε μήκος 200km και μεγαλύτερο.
- ✚ Καταμέτρηση τάσεων και κραδασμών στο καλώδιο,
- ✚ Εντοπισμό συνεχειών που προκαλούνται από βλάβη του καλωδίου. Αυτή η δυνατότητα παρέχεται με κατάλληλο εξοπλισμό από την ξηρά.
- ✚ Εντοπισμό αλλαγών στην διαδρομή του καλωδίου που μπορεί να οφείλονται λόγω χάριν σε ιζηματογενείς μετατοπίσεις πάνω από το καλώδιο.



Εικόνα 2.10 : Υποβρύχιο καλώδιο με ενσωματωμένη οπτική ίνα

2.3.4 Σύνοψη Τύπων Καλωδίων-Σύγκριση

Η επιλογή στην περίπτωση του εναλλασσόμενου ρεύματος, που έχει και έννοια, του τύπου καλωδίου που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από διάφορους παράγοντες που σχετίζονται τόσο με τις ιδιότητες των καλωδίων όσο και με οικονομοτεχνικές παραμέτρους.

Αναφορικά με τις ιδιότητες των καλωδίων θα λέγαμε ότι στην περίπτωση των καλωδίων τριπλού πυρήνα οι απώλειες στον οπλισμό του καλωδίου είναι αρκετά μικρότερες από αυτές του μονοπολικού καλωδίου καθώς στο τριπολικό καλώδιο τα μαγνητικά πεδία που δημιουργούνται ένα σε κάθε αγωγό είναι έτσι προσανατολισμένα που αλληλοεξουδετερώνονται. Λόγω των μικρών απωλειών τα τριπύρηνα καλώδια έχουν περιθώριο να κατασκευαστούν από μαλακό χάλυβα χωρίς την χρήση εξειδικευμένων μετάλλων για τον οπλισμό του καλωδίου. Από την άλλη μεριά βέβαια ένα μειονέκτημα των τριπύρηνων καλωδίων είναι η αδυναμία ικανοποιητικής απαγωγής θερμότητας έναντι των αντίστοιχων μονοπύρηνων με αποτέλεσμα την εμφάνιση υψηλότερων θερμοκρασιών λειτουργίας.

Όσον αφορά τα οικονομοτεχνικά μεγέθη παραδοσιακά τα τριπύρηνα καλώδια έχουν μεγαλύτερο κόστος κατασκευής από τα αντίστοιχα μονοπύρηνα λόγω κυρίως της πολυπλοκότητας της κατασκευής τους. Ένα τριπολικό καλώδιο μπορεί να εγκατασταθεί σε μία διαδρομή του σκάφους εναπόθεσης αντίθετα με τα μονοπολικά καλώδια που στην περίπτωση μεταφοράς εναλλασσόμενου ρεύματος που απαιτούνται τρία καλώδια το σκάφος πρέπει να εκτελέσει τόσες διαδρομές όσα είναι και τα καλώδια. Επίσης είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι ένα μονοπολικό καλώδιο μπορεί να ποντιστεί και να θαφτεί αν απαιτείται με ελαφρύτερο εξοπλισμό αφού έχει μικρότερο βάρος ανά μονάδα μήκους και μικρότερο συντελεστή ακαμψίας από το αντίστοιχο τριπολικό.

Τέλος ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που πρέπει να εξετάζεται είναι η διαθεσιμότητα σε περίπτωση βλάβης. Στα μονοπολικά καλώδια αποτελεί συνήθη πρακτική να ποντίζονται τέσσερα αντί τριών καλωδίων. Έτσι στην περίπτωση βλάβης ενός εκ των καλωδίων η παροχή ρεύματος εκτελείται εναλλακτικά από το τέταρτο αμοιβό. Για να καταστεί κάτι παρόμοιο δυνατό στην περίπτωση τριπολικού καλωδίου είναι απαραίτητη η πόντιση ενός δεύτερου ομοίου καλωδίου πράγμα οικονομοτεχνικά ασύμφορο.

2.4 Τύποι υποβρυχίων καλωδίων ισχύος στην Ελλάδα

Οι υποβρυχίες διασυνδέσεις καλωδίων ΜΤ της ΔΕΗ στην Ελλάδα αποσκοπούν κατά κύριο λόγο:

- ✚ στη διακοπή λειτουργίας των τοπικών σταθμών παραγωγής των νησιών ή
- ✚ την αποφυγή δημιουργίας νέων σταθμών παραγωγής λόγω κατάργησης παλαιών από παλαιότητα είτε αύξηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας ή όταν πρόκειται για νησιά που ηλεκτροδοτούνται για πρώτη φορά.
- ✚ τη διασύνδεση δύο υφιστάμενα ηλεκτρικών δικτύων.

- ✚ την εκμετάλλευση της ενέργειας που θα μπορούσε να παραχθεί από αιολικά πάρκα. (έχουν εκκινήσει οι ενέργειες δημιουργίας ηλεκτρικής διασύνδεσης των Κυκλάδων με την ηπειρωτική Ελλάδα στο εν λόγω πλαίσιο.)

Το υφιστάμενο δίκτυο ΜΤ υποβρύχιων καλωδίων απαριθμεί συνολικά καλώδια μήκους 1096 km και αναλύεται στο κεφάλαιο 5. Η κατασκευή των υποβρυχίων καλωδίων στο εν λόγω δίκτυο έγινε σύμφωνα με τις παρακάτω προδιαγραφές:

- GR – 214: αφορά σε οπλισμένα τριπολικά ή μονοπολικά καλώδια ακτινικού πεδίου με χάρτινη μόνωση εμποτισμένη με μονωτικό λάδι μεγάλου ιξώδους, μολύβδινο μανδύα (κοινό για τα τριπολικά) και εξωτερικό περίβλημα από εμποτισμένη ιούτα.
- ΤΠ – 195: αφορά σε οπλισμένα τριπολικά καλώδια με μόνωση από διασταυρωμένο πολυαιθυλένιο (X-LPE), μεταλλική θωράκιση, με ανεξάρτητο μολύβδινο μανδύα σε κάθε φάση, με κατάλληλες προστασίες έναντι διαμήκους διείσδυσης νερού και εξωτερικό περίβλημα από νήματα πολυπροπυλενίου.

Οι τύποι καλωδίων που χρησιμοποιούνται στο δίκτυο φαίνονται στον πίνακα 2.9, ενώ αναλυτικά τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους φαίνονται στον πίνακα 2.10

Πίνακας 2.9 :Πίνακας υποβρύχιων καλωδίων ΜΤ στην Ελλάδα

Μονοπολικά Καλώδια		
Διατομή	Υλικό Αγωγού	Κατασκευαστής
1x50	Al	FULGOR
1x50	Cu	F & G
1x95	Cu	F & G
1x95	Cu	FULGOR
Τριπολικά Καλώδια		
Διατομή	Υλικό Αγωγού	Κατασκευαστής
3x35	Al	FULGOR
3x35	Cu	FULGOR
3x50	Al	FULGOR
3x150	Al	FULGOR
3x185	Cu	C. de L.
3x95	Cu XLPE	FULGOR- ALCATEL

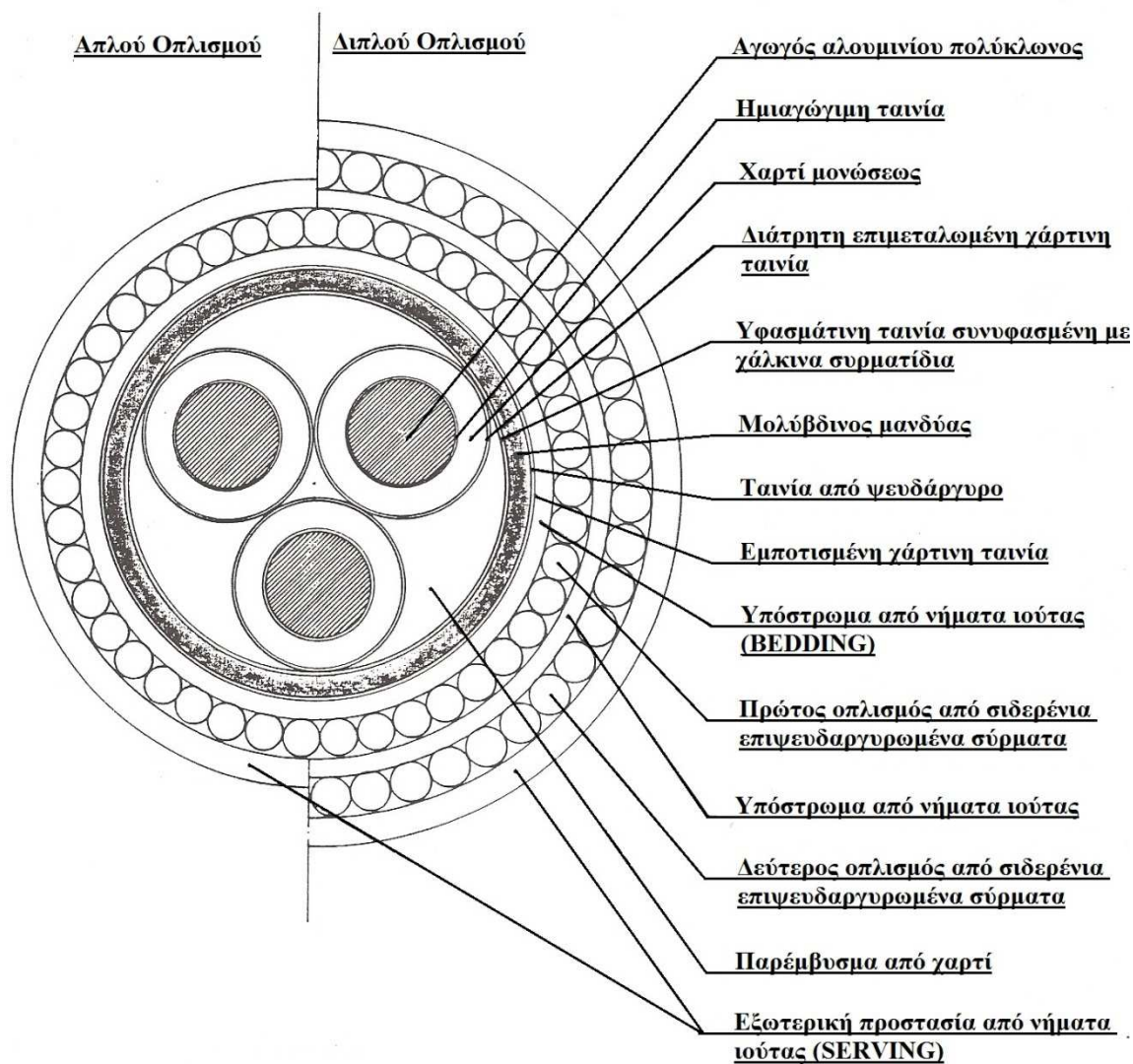
Πίνακας 2. :Πίνακας υποβρύχιων καλωδίων ΜΤ στην Ελλάδα

ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΠΟΒΡΥΧΙΩΝ ΚΑΛΩΔΙΩΝ Μ.Τ.																
ΔΙΑΤΟΜΗ ΚΑΛΩΔΙΟΥ		mm ²	1x50		1x50	1x95	1x95		3x35	3x35		3x50	3x150	3x185	3x95	
ΥΛΙΚΟ ΑΓΩΓΟΥ (Aluminium / Copper)			Al		Cu	Cu	Cu		Al	Cu		Al	Al	Cu	Cu XLPE	
ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ			FULGOR		F & G	F & G	FULGOR		FULGOR	FULGOR		FULGOR	FULGOR	C. de L.	FULGOR- ALCATEL	
ΥΛΙΚΟ ΣΤΡΩΜΑΤΙΣΤΗ ΟΠΛΙΣΜΟΥ (Almeco / Steel)			Al	St	St	St	Al	St	St	Al	St	St	St	St	St	
ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	ΑΠΛΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ	mm	44	49	47	50	50	50	64	67,8	66		94	103	94	
	ΔΙΠΛΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ	mm		66	61	64							114			
ΒΑΡΟΣ ΣΤΟΝ ΑΕΡΑ	ΑΠΛΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ	kg/m	3,9	4,5	5,9	6,9	5,6	7,9	11,5	10,1	10,1		23,9		23,4	
	ΔΙΠΛΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ	kg/m		7,2	10,6	11,9							38,6			
ΒΑΡΟΣ ΣΤΟ ΝΕΡΟ	ΑΠΛΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ	kg/m	2,4	2,6	4,2	4,9	3,6	6,36	8,3		6,6		16,9		16,4	
	ΔΙΠΛΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ	kg/m		3,8	7,7	8,7							28,3			
ΜΕΓΙΣΤΗ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΗ ΤΑΝΥΣΗ		kg	980	1500	1500		2035	3700	3500	5000	6900		3000		12060	
ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΗ ΕΝΤΑΣΗ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΣΕ ΝΕΡΟ	15°C	A	220	227	255	335	420	381	165	210	210	190	332		
		25°C	A	200	203	228	300	375	340	145	190	190	170	300	350	
	ΣΕ ΕΔΑΦΟΣ 20°C		A	135	173	205	280	240	212	110	140	140	125	236	270 (30°C)	
	ΣΕ ΑΕΡΑ 40°C		A	130	128	173	246	245	224	90	115	115	100	200	295	
ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ	ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΑΓΩΓΩΝ, ΜΑΝΔΥΑ ΚΑΙ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΑ	100%	kW/km	124	126	141,0	140,0	157	216	85,3	82,5	82,5	83,4	85,8	93,6	
		75%		69,6	60	79,4	77,4	88,3	122	44,4	46,8	46,8	43,2	44,7	52,7	
		50%		31	25,4	35,4	32,4	39,3	54	19,0	20,9	20,9	18,3	18,8	23,4	
		25%		7,8	6,1	8,8	7,9	9,8	13,5	4,7	5,4	5,4	4,7	4,5	5,9	
		10%		1,3	1,0	1,3	1,3	1,6	2,2	1,0	1,2	1,2	1,0	0,7	1	
	ΕΠΙ ΜΕΡΟΥΣ ΣΕ ΦΟΡΤΙΟ 100%	ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΑΓΩΓΩΝ ΜΟΛΥΒΔ. ΜΑΝΔΥΑ & ΟΠΛΙΣΜΟΥ	kW/km							0,3	0,3	0,3	0,3	0,57	0,01	
								84,6	81,6	81,6	81,9	82,2	30,3			
									0,4	0,6	0,4	1,1	3,03	2,86		
ΩΜΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΚΑΘΕ ΑΓΩΓΟΥ	15°C	DC	Ω/km	0,641 (20°C)	0,616	0,323	0,179	0,193 (20°C)	0,193 (20°C)	0,859	0,514	0,514	0,628	0,202	0,094	0,193 (20°C)
		AC			0,616	0,323	0,179			0,859	0,514	0,514	0,628	0,202	0,094	
	65°C	DC			0,739	0,388	0,215			1,035	0,617	0,617	0,757	0,243	0,113	
		AC		0,7573	0,739	0,388	0,215	0,2275	0,2275	1,035	0,617	0,617	0,757	0,243	0,113	0,247 (90°C)
ΕΠΑΓΩΓΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΚΑΘΕ ΑΓΩΓΟΥ f=50Hz	ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΓΩΓΩΝ	20m	Ω/km		0,563	0,543	0,525									
		50m			0,578	0,601	0,583									
		100m			0,619	0,645	0,626			0,119	0,119	0,119	0,112	0,079	0,120	0,130
		150m		0,67	0,644	0,670	0,652	0,690	0,690							
ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ		μF/km		0,235	0,247	0,296				0,226	0,225	0,226	0,280	0,373	0,490	0,227
ΡΕΥΜΑ ΦΟΡΤΙΣΕΩΣ Jc	15 kV	A/km		0,64	0,67	0,80				0,61		0,61	0,76	1,01	1,33	
	20 kV			0,85	0,89	1,07			0,82		0,82	1,01	1,35	1,78	0,823	
ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑ ΓΙΑ 1 sec		kA		4,6	4,8	5,5	10,4	13,1	13,1	2,6	4,0	4,0	3,8	13,6	13,6	
R συν	15 kV	συνφ=1	-	3,0	3,0	5,8	10,5	9,9	9,9	2,2	3,6	3,6	3,0	9,3	19,9	9,1
		συνφ=0,9		2,3	2,4	3,6	4,8	4,5	4,5	2,3	3,7	3,7	3,1	8,9	14,6	8,1
		συνφ=0,8		2,2	2,3	3,2	4,1	3,8	3,8	2,5	4,0	4,0	3,3	9,3	13,8	8,2
	20kV	συνφ=1	-	5,3	5,4	10,3	18,6	17,6	17,6	3,9	6,5	6,5	5,3	16,4	35,4	16,2
		συνφ=0,9		4,1	4,3	6,3	8,6	7,9	7,9	4,1	6,6	6,6	5,5	15,8	26,0	14,3
		συνφ=0,8		4,0	4,1	5,7	7,3	6,7	6,7	4,5	7,1	7,1	5,9	16,5	24,6	14,5

2.4.1 Περιγραφή καλωδίων εμποτισμένου χαρτιού

Τα καλώδια με μόνωση εμποτισμένου χαρτιού χρησιμοποιούνταν στην Ελλάδα από το 1968 μέχρι το 2000. Τα γενικά χαρακτηριστικά λειτουργίας τους αναγράφονται στον πίνακα 2.10. Θα ακολουθήσει λεπτομερής περιγραφή δειγματοληπτικά κάποιων χαρακτηριστικών διατομών των εν λόγω καλωδίων.

2.4.1.1 Περιγραφή Τριπολικού Καλωδίου $3 \times 150 \text{mm}^2$ Al



Σχήμα 2.2: Τομή τριπολικού καλωδίου $3 \times 150 \text{mm}^2$ Al /20kV κατασκευής FULGOR

Το συγκεκριμένο καλώδιο είναι οπλισμένο τριπολικό με διατομή ανά πόλο 150mm^2 και ηλεκτρική θωράκιση, μόνωση από εμποτισμένο χαρτί μονωτικού υλικού μεγάλου ιξώδους, κοινού μολύβδινου μανδύα, διπλού εξωτερικού περιβλήματος εμποτισμένης ιούτας και κατασκευής FULGOR

Αγωγός

Ο αγωγός είναι κατασκευασμένος κατά το International Standard IEC 60228/2004 για την κατηγορία 2 (συνεστραμμένοι αγωγοί, STRANDED).

Είναι κατασκευασμένος από αλουμίνιο ή κράμα αυτού και είναι πολύκλωνος κυκλικής διατομής αποτελούμενος από συρματίδια επίσης κυκλικής διατομής, συνεστραμμένα και συμπιεσμένα.(CIRCULAR, STRANDED, COMPACTED)

Μονωτικό Χαρτί

Το μονωτικό χαρτί είναι εμποτισμένο με μονωτικό υλικό μεγάλου ιξώδους NON DRAINING, ούτως ώστε αυτό να καθίσταται πρακτικά αμετακίνητο. Η μόνωση έχει πάχος κατ' ελάχιστο 5,5mm.

Γεμίσματα μεταξύ των πέλων

Τα γεμίσματα (fillers) που απαιτούνται για τη συναρμολόγηση των τριών πέλων για το σχηματισμό του κυκλικού καλωδίου, τα υλικά περιόδου (π.χ. υφασματοταινίες σε κοινή πλέξη με συρματίδια χαλκού), καθώς και τα εσωτερικά καλύμματα (inner covering, beddings) είναι κατασκευασμένα από υλικά συμβατά με τα υλικά μόνωσης του καλωδίου και ικανά να αντέχουν τις λειτουργικές του θερμοκρασίες.

Μολύβδινος μανδύας

Ο μανδύας είναι κατασκευασμένος από κράμα μολύβδου, ενισχυμένο για μεγαλύτερη μηχανική αντοχή λόγω των αναμενόμενων καταπονήσεων και ταλαντώσεων του καλωδίου στο βυθό της θάλασσας, με κατάλληλες προσμίξεις όπως π.χ. κράμα E κατά BS-801 ή παρόμοιων ιδιοτήτων κράματα κατά DIN 17640(Pb-Te-Cu κ.α.Το ελάχιστο πάχος του μολύβδινου μανδύα έχει επιλεγεί από τις τιμές δοσμένων στους κανονισμούς ASA C8-15 για υποβρύχια καλώδια και δεν είναι μικρότερο των 3,5mm.

Προστατευτικό περίβλημα μανδύα (bedding)

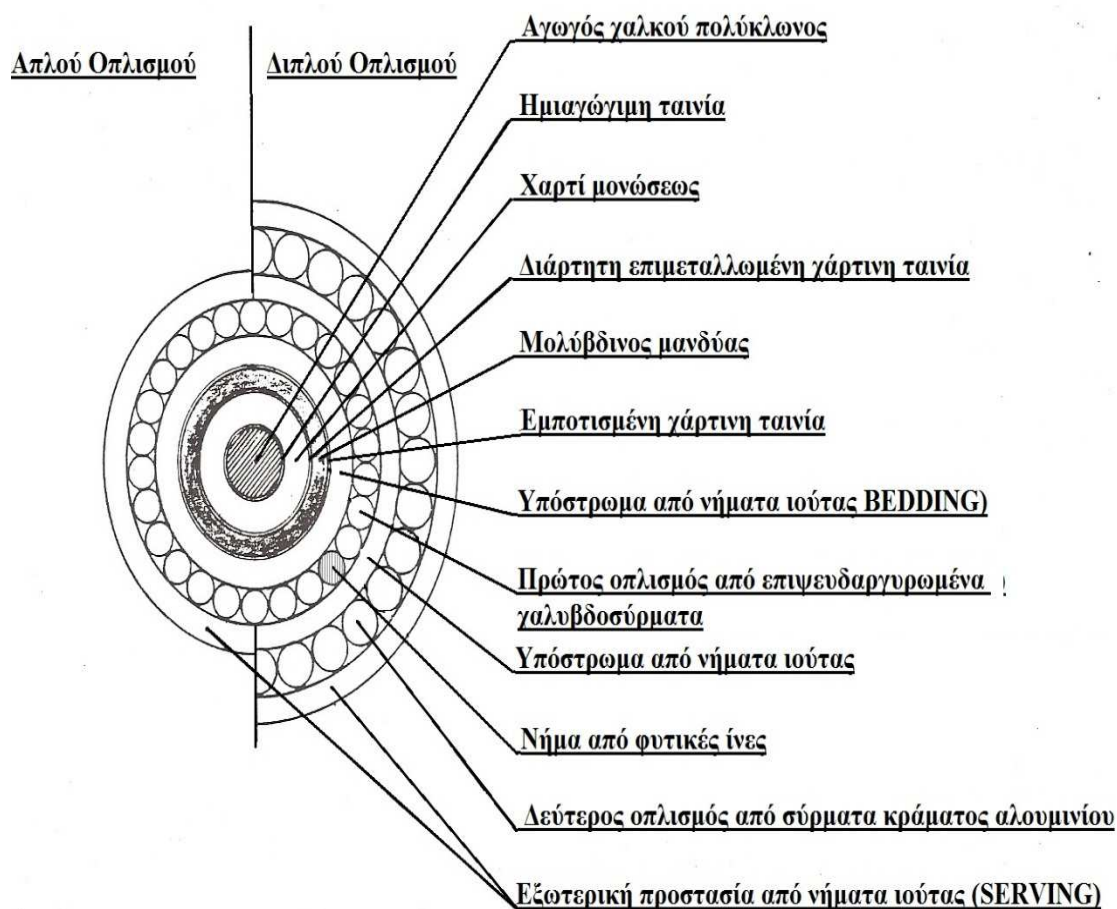
Ο μολύβδινος μανδύας έχει πλήρη αντιδιαβρωτική προστασία από κατάλληλα εμποτισμένες στρώσεις χαρτιού και πρόσθετη προστασία από μικροοργανισμούς του βυθού (anti-terredo protection) με κατάλληλες ταινίες ψευδαργύρου

Οπλισμός

Ο οπλισμός του υποβρυχίου καλωδίου καλύπτει πλήρως την κυλινδρική επιφάνεια αυτού και συνίσταται από χαλύβδινα επιψευδαργυρωμένα σύρματα κατάλληλα για υποβρύχια καλώδια, κυκλικής διατομής, με ελάχιστη διάμετρο ίση με την καθοριζόμενη στους Κανονισμούς ASA C8-15 για υποβρύχια καλώδια και τέτοια ώστε να ικανοποιεί τις απαιτήσεις της πόντισης του καλωδίου ως προς το βάθος.

Η φορά ελίκωσης των συρμάτων του οπλισμού είναι αντίθετη εκείνης των αγωγών. Κάθε σύρμα οπλισμού είναι υπενδεδυμένο από θερμοπλαστικό μανδύα PVC.Τα σύρματα του οπλισμού περιελίσσονται επί υποστρώματος κατάλληλου υλικού (π.χ. γιούτα).

2.4.1.2 Περιγραφή Μονοπολικού Καλωδίου 1x95mm² Cu



Σχήμα 2.3 : Τομή τριπολικού καλωδίου 1x95mm² Cu/20kV κατασκευής FELTEN & GUILLEAUME.

Το συγκεκριμένο καλώδιο είναι οπλισμένο μονοπολικό καλώδιο με διατομή πόλου 95mm² και ηλεκτρική θωράκιση, μόνωση από εμποτισμένο χαρτί μονωτικού υλικού μεγάλου ιξώδους, μολύβδινου μανδύα, διπλού εξωτερικού περιβλήματος από εμποτισμένη ιούτα.

Αγώγος

Ο αγώγος είναι κατασκευασμένος κατά το International Standard IEC 60228/2004 για την κατηγορία 2 (συνεστραμμένοι αγωγοί, STRANDED). Είναι κατασκευασμένος από ανοπτημένο ηλεκτρολυτικό χαλκό Cu και είναι πολύκλωνος κυκλικής διατομής αποτελούμενος από συρματίδια επίσης κυκλικής διατομής, συνεστραμμένα και συμπιεσμένα. (CIRCULAR, STRANDED, COMPACTED).

Μονωτικό Χαρτί

Το μονωτικό χαρτί είναι εμποτισμένο με μονωτικό υλικό μεγάλου ιξώδους NON DRAINING, ούτως ώστε αυτό να καθίσταται πρακτικά αμετακίνητο. Η μόνωση έχει πάχος κατ' ελάχιστο 5,5mm.

Μολύβδινος μανδύας

Ο μανδύας είναι κατασκευασμένος από κράμα μολύβδου, ενισχυμένο για μεγαλύτερη μηχανική αντοχή λόγω των αναμενόμενων καταπονήσεων και ταλαντώσεων του καλωδίου στο βυθό της θάλασσας, με κατάλληλες προσμίξεις όπως π.χ. κράμα E κατά BS-801 ή παρόμοιων ιδιοτήτων κράματα κατά DIN 17640 (Pb-Te-Cu κ.α.).

Το ελάχιστο πάχος του μολύβδινου μανδύα έχει επιλεγεί από τις τιμές δοσμένων στους κανονισμούς ASA C8-15 για υποβρύχια καλώδια και δεν είναι μικρότερο των 2,5mm.

Προστατευτικό περίβλημα μανδύα(bedding)

Ο μολύβδινος μανδύας έχει πλήρη αντιδιαβρωτική προστασία από κατάλληλα εμποτισμένες στρώσεις χαρτιού και πρόσθετη προστασία από μικροοργανισμούς του βυθού (anti-terredo protection) με κατάλληλες ταινίες ψευδαργύρου.

Οπλισμός

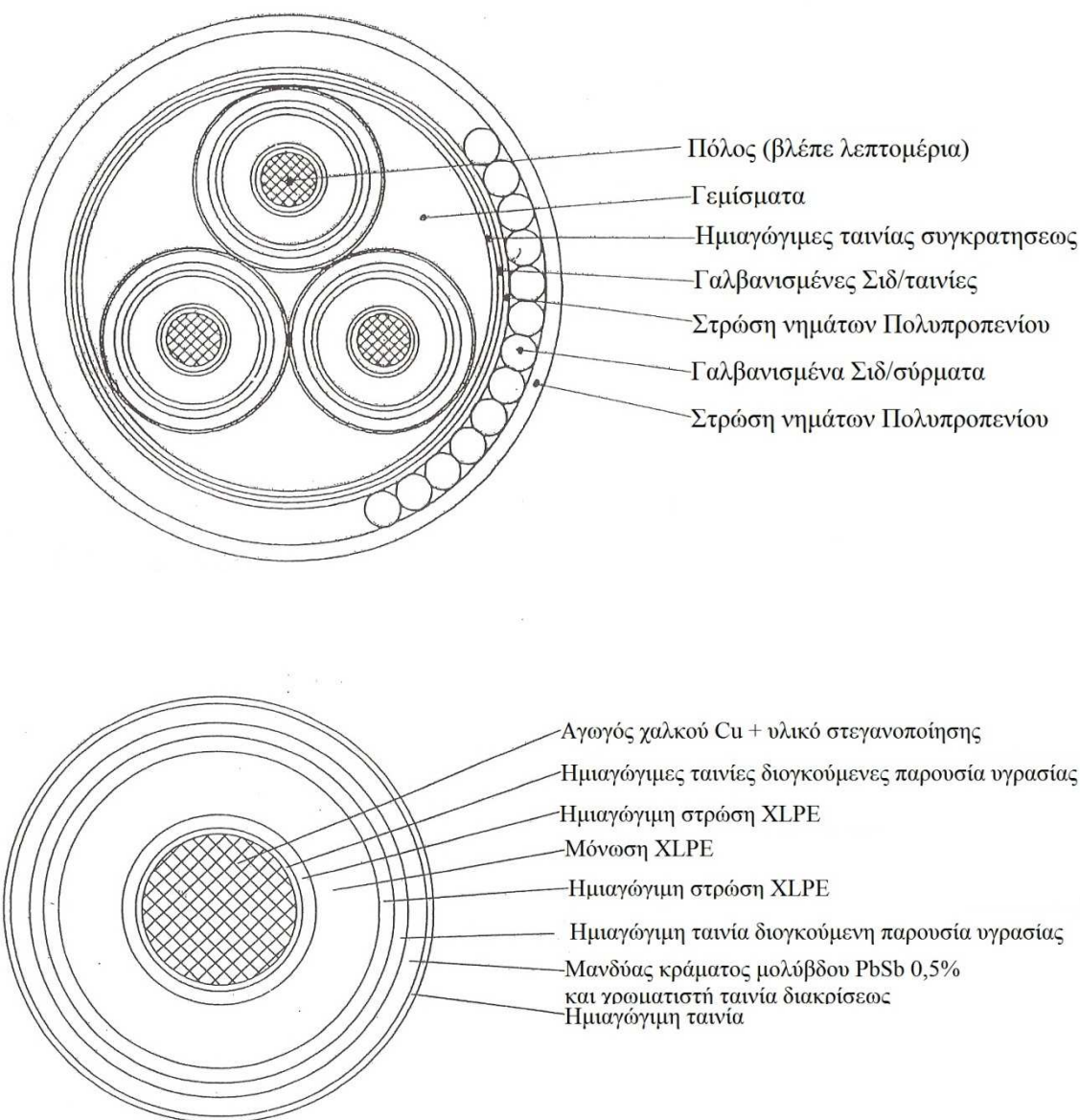
Ο οπλισμός του υποβρυχίου καλωδίου καλύπτει πλήρως την κυλινδρική επιφάνεια αυτού και συνίσταται από χαλύβδινα επιψευδαργυρωμένα σύρματα κατάλληλα για υποβρύχια καλώδια, κυκλικής διατομής, με ελάχιστη διάμετρο ίση με την καθοριζόμενη στους Κανονισμούς ASA C8-15 για υποβρύχια καλώδια.

Τα χάλκινα σύρματα περιελίσσονται με μεγάλο βήμα ελίκωσης αντίθετα με τη φορά περιστροφής των συρμάτων του αγωγού, ο δε σχηματιζόμενος μαγνητικός σωλήνας διακόπτεται καθώς τα σύρματα οπλισμού είναι υπενδεδυμένα από θερμοπλαστικό PVC προς μείωση των απωλειών οπλισμού.

Ως οπλισμός του μονοπολικού καλωδίου χρησιμοποιούνται επιψευδαργυρωμένα σύρματα και παρέχουν την απαιτούμενη μηχανική αντοχή και αντιβιαβρωτική ικανότητα.

2.4.2 Περιγραφή καλωδίου μόνωσης XLPE

2.4.1.1 Περιγραφή Τριπολικού Καλωδίου XLPE 3x95mm² Cu 12/20kV



Σχήμα 2.4: Τομή Τριπολικού Καλωδίου XLPE 3x95mm² Cu 12/20kV

Αγωγός

Ο αγωγός είναι κατασκευασμένος από ανοπτημένο ηλεκτρολυτικό χαλκό, σύμφωνα με τον κανονισμό IEC-228 (Class 2) και είναι πολύκλωνος κυκλικής διατομής αποτελούμενος από συρματίδια επίσης κυκλικής διατομής συνεστραμμένα και συμπιεσμένα (CIRCULAR, STRANDED, COMPACTED).

Ο αγωγός προστατεύεται από την κατά μήκος διάδοση υγρασίας (WATER SEALED CONDUCTORS) με την χρησιμοποίηση ειδικού υλικού ανάμεσα στα συρματίδιά τους. Το εν λόγω υλικό μπορεί να απομακρυνθεί κατά τη διάρκεια επισκευών χωρίς βλαβερή επίδραση σε άλλα συστατικά.

Ημιαγώγιμη θωράκιση αγωγού

Η ημιαγώγιμη θωράκιση του αγωγού (CONDUCTOR SCREENING) είναι από συνθετικό υλικό κατάλληλο να αντέχει τις μέγιστες επιτρεπόμενες για τον αγωγό θερμοκρασίες. Η θωράκιση παράγεται με τη μέθοδο της τριπλής εξώθησης, είναι συνεχής, με σταθερό πάχος χωρίς επιφανειακές ανωμαλίες και προσκολλάται καλά στη μόνωση σ' όλη της την περιφέρεια. Το ελάχιστο πάχος της ημιαγώγιμης θωράκισης είναι 0,5mm.

Μόνωση

Η μόνωση αποτελείται από μια στρώση διασταυρούμενου πολυαιθυλενίου (XLPE) και είναι τοποθετημένη στον αγωγό με την μέθοδο της τριπλής εξώθησης (TRIPLE EXTRUSION METHOD) δηλαδή της ταυτόχρονης τριπλής εξώθησης της μόνωσης και των δύο ημιαγώγιμων θωρακίσεων.

Ο βουλκανισμός της μόνωσης και των ημιαγώγιμων στρωμάτων έγινε σε ξηρό περιβάλλον (DRY CURING METHOD) είτε με την μέθοδο ξηρού αζώτου (εναλλακτικά γίνεται με ειδικό σωλήνα βουλκανισμού, LONG LAND DIE METHOD) και ψύξη με νερό υπό συνθήκες απόλυτης καθαρότητας.

Το υλικό της μόνωσης είναι υπερκαθαρό τύπου (SUPER CLEAN MATERIAL) έτσι ώστε η παραγόμενη μόνωση να είναι χωρίς κενά ή ακαθαρσίες (VOID-FREE CONDAMINATION AND TRANSLUCENT-FREE INSULATION).

Το υλικό των ημιαγώγιμων στρωμάτων είναι καθαρό έτσι ώστε τα στρώματα να είναι απαλλαγμένα από κενά, ακαθαρσίες και προεξοχές. (VOIDS, CONTAMINANTS AND TRANSLUCENT-FREE LAYERS)

Το μέσο πάχος της μόνωσης είναι τουλάχιστον 5,5mm.

Το πάχος των ημιαγώγιμων θωρακίσεων δεν περιλαμβάνεται στο μετρούμενο μέσο πάχος της μόνωσης.

Ημιαγώγιμη θωράκιση Μόνωσης

Η ημιαγώγιμη θωράκιση της μόνωσης (INSULATION SCREENING) αποτελείται από μία στρώση ημιαγώγιμου συνθετικού υλικού παραγόμενου με την μέθοδο της τριπλής εξώθησης. Η στρώση αυτή είναι είτε συγκολλημένη με την μόνωση (μη-αποχωριζόμενη θωράκιση/FIRMLY BONDED) είτε αποχωριζόμενη δίχως όμως τη χρήση ειδικών εργαλείων.(STRIPPABLE). Η παρουσία ημιαγώγιμης επικάλυψης μεταξύ της μόνωσης και της ημιαγώγιμης θωράκισης δεν είναι επιτρεπτή. Το μετρούμενο σε κάθε σημείο πάχος της ημιαγώγιμης θωράκισης δεν πρέπει να είναι μικρότερο από 0,5mm.

Μεταξύ της ημιαγώγιμης θωράκισης της μόνωσης και του μεταλλικού μανδύα το καλώδιο διαθέτει προστασία έναντι της κατά μήκος διάδοσης του νερού σε περίπτωση βλάβης του εξωτερικού περιβλήματος.(LONGITUDINAL PROTECTION SYSTEM), με την χρήση ταινίας από ημιαγώγιμο ειδικό υλικό το οποίο διογκώνεται όταν έρθει σε επαφή με το θαλασσινό νερό (SWELLING TAPES). Η ταινία είναι τοποθετημένη δια περιελίξεως σε τουλάχιστον δύο στρώσεις με επικάλυψη 50%.

Μεταλλική θωράκιση/μανδύας

Η μεταλλική θωράκιση των φάσεων του καλωδίου (METALLIC SCREEN/SHEATH) αποτελείται από τρεις μολύβδινους μανδύες κατασκευασμένους δι'εξωθήσεως, ανά ένα σε καθένα από τους τρεις πόλους του καλωδίου.(METALLIC SCREEN OVER EACH INDIVIDUAL CORE).

Ο μεταλλικός μανδύας εγγυάται τη μηχανική προστασία του καλωδίου, εγγυάται την ακτινική προστασία του καλωδίου έναντι διεισδύσεως νερού, υγρασίας (RADIAL WATERTIGHTNESS) και τέλος αντέχει στη ροή του ρεύματος βραχυκυκλώσεως προς γη.Είναι κατασκευασμένος είτε από μαλακό, επιμελώς καθαρισμένο μόλυβδο πρώτης τήξεως με καθαρότητα 99,9% είτε από κατάλληλο ομοιογενές κράμα μολύβδου.

Επιπλέον είναι απαλλαγμένος από στίγματα, οπές, ρωγμές, πτυχώσεις και κάθε είδους ελαττώματα ενώ θα πρέπει να προστατεύεται κατάλληλα από θερμική διαστολή/συστολή της μόνωσης, αλλά και από την εξωτερική πίεση του νερού στο βάθος της θάλασσας.

Το ελάχιστο ονομαστικό πάχος καθενός μολύβδινου μανδύα δεν είναι μικρότερο από 2mm. Οι μολύβδινοι μανδύες είναι καλυμμένοι με κατάλληλο υλικό (ημιαγώγιμες ταινίες) για την επίτευξη ισοδύναμης επιφάνειας της μεταλλικής θωράκισης του καλωδίου αλλά και για την προστασία των μανδύων από φθορές τριβής από την μεταξύ τους επαφή κάτω από τις οποίες είναι τοποθετημένη διαμήκης έγχρωμη ή αριθμημένη ταινία για την διάκριση των φάσεων.

Εναλλακτικά έκαστος μολύβδινος μανδύας μπορεί να περιβάλλεται από θερμοπλαστικό εξωθημένο (χωρίς ραφή) μανδύα PE ο οποίος θα επιτρέπει τη διάκριση των φάσεων με κατάλληλη μέθοδο.

Γεμίσματα –Εσωτερικά καλύμματα

Κατά τη συναρμολόγηση των τριών πόλων του καλωδίου τα γεμίσματα (FILLERS) που απαιτούνται για το σχηματισμό του κυκλικού καλωδίου καθώς και τα εσωτερικά καλύμματα (INNER COVERINGS, BEDDINGS) είναι κατασκευασμένα από κατάλληλα υλικά που αντέχουν τις θερμοκρασιακές συνθήκες λειτουργίας του καλωδίου.

Πάνω από τα εσωτερικά καλύμματα υπάρχει μεταλλική προστασία του καλωδίου αποτελούμενη από μεταλλικές ταινίες κατάλληλου πάχους με επίστρωση ειδικού υλικού (FLUSHING COMPOUND) για αντιδιαβρωτική προστασία.Οι ταινίες αυτές είναι από επιψευδαργυρωμένο χάλυβα με ελάχιστη μάζα επιψευδαργύρωσης σε κάθε επιφάνεια τους 190 g/m² έτσι ώστε να παρέχονται στο καλώδιο τα παρακάτω:

- Αύξηση της μηχανικής αντοχής του καλωδίου σε εξωτερικές καταπονήσεις
- Προστασία των εξωτερικών μερών του καλωδίου από τους μικροοργανισμούς του βυθού (ANTI-TEREDO PROTECTION)
- Μείωση των εφελκυστικών καταπονήσεων κατά την πόντιση σε μεγάλα βάθη (ANTITWIST ROLL)
- Προστασία των μολύβδινων μανδύων από ενδεχόμενες παραμορφώσεις λόγω της κυκλικής φόρτισης των αγωγών και της πίεσης του νερού στα μεγάλα βάθη.

Οπλισμός καλωδίου

Ο οπλισμός εφαρμόζεται εξωτερικά της μεταλλικής προστασίας του καλωδίου πάνω σε υπόστρωμα νημάτων πολυπροπυλενίου με αντιδιαβρωτικό υλικό (POLYPROPYLENE YARN BEDDING AND FLUSING COMPOUND), καλύπτει πλήρως την κυλινδρική επιφάνεια του καλωδίου.

Ο οπλισμός συνίσταται από μία στρώση στρογγυλών συρμάτων επιψευδαργυρωμένου χάλυβα.

Η ελάχιστη μάζα επιψευδαργύρωσης των χαλύβδινων συρμάτων είναι 290 g/m².

Ο οπλισμός είναι τέτοιου σχεδιασμού ώστε όλη η καταπόνηση κατά τη φόρτιση, πόντιση, ταφή ή ανέλκυση του καλωδίου να θεωρείται ότι παραλαμβάνεται μόνο από τον οπλισμό. Ο κατασκευαστής γι' αυτό το λόγο σχεδιάζει την αντοχή του οπλισμού με βάση τα στοιχεία αυτά και με συντελεστή ασφαλείας για καλώδια μέχρι βάθος 250m ίσο προς τουλάχιστον 5 έναντι του ορίου θραύσεως. Αν η απαίτηση για ανάληψη των καταπονήσεων δεν δύναται να παραληφθεί εξ' ολοκλήρου από τον οπλισμό τότε η υπολειπόμενη απαίτηση καλύπτεται και παραλαμβάνεται από τον αγωγό.

Εξωτερικός μανδύας καλωδίου

Η εξωτερική επιφάνεια του οπλισμού καλύπτεται με διάφορα στρώματα νημάτων πολυπροπυλενίου και αντιδιαβρωτικών υλικών (POLYPROPYLENE YARN SERVING AND FLUSHING COMBOUND).

Τα στρώματα αυτά είναι κατάλληλα και αποτελεσματικά για να αποτελούν εξωτερικό μανδύα του καλωδίου έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η αντιδιαβρωτική προστασία στα εσωτερικά μέρη του καλωδίου.

2.5 Διαδικασία παραγωγής και έλεγχος

Η διαδικασία παραγωγής των υποβρύχιων καλωδίων ισχύος είναι παρόμοια με αυτή της κατασκευής υπόγειων καλωδίων ισχύος. Μεγάλη σημασία δύναται στην κατασκευή όσο το δυνατόν λιγότερων συνδέσμων μιας και η ύπαρξη συνδέσμων αυξάνει το ενδεχόμενο αστοχίας του καλωδίου. Περιορισμό στην κατασκευή μεγάλου μήκους καλωδίων αποτελεί μόνο η αποθηκευτική δυνατότητα των πλοίων εναποθέσεως άρα το μέγιστο μήκος παραγωγής ποικίλλει ανάλογα με τον τύπο και το είδος του καλωδίου αφού παρόμοια ποικίλλει και το βάρος ανά μονάδα μήκους. Παρακάτω απεικονίζεται ένα διάγραμμα σταδίων παραγωγής ενός τριπολικού καλωδίου.

Σχήμα 2.5: Διάγραμμα σταδίων κατασκευή τριπολικού καλωδίου εναλλασσόμενου ρεύματος



Αρχικά παρατηρούμε την κατασκευή του αγωγού. Ο αγωγός κατασκευάζεται όπως προαναφέρθηκε από σύρματα χαλκού ή αλουμινίου και το σημαντικότερο κατά την κατασκευή είναι η εξάλειψη κατά το δυνατόν των διακένων μεταξύ των συρμάτων. Έχουν επιτευχθεί αγωγοί διατομής μέχρι 3000mm^2 . Το επόμενο βήμα στην κατασκευή του καλωδίου είναι η τοποθέτηση της μόνωσης. Στα μοντέρνα καλώδια η μόνωση είναι XLPE ή μόνωση χαρτιού. Στην μόνωση XLPE η πρώτη ύλη είναι μίγμα ρητίνης πολυαιθυλενίου εμπλουτισμένου με αντιοξειδωτικά. Το μίγμα παρέχεται στον αγωγό σε μορφή κόκκων ενώ όσο υψηλότερη είναι η ισχύς των καλωδίων τόσο υψηλότερη πρέπει να είναι η καθαρότητα της ρητίνης. Κατά τη διαδικασία τοποθέτησης της ρητίνης παράγεται θερμότητα και εκλύονται διάφορα αέρια που πρέπει να απομακρυνθούν. Έτσι ακολουθεί η απαέρωση που απαιτεί μεγάλους θερμοαντήρες και δυνατές διατάξεις εξαερισμού. Η μόνωση χαρτιού παρέχεται από ειδικές ταινίες που απλώνονται ταυτόχρονα με χρήση ειδικών μηχανών στην επιφάνεια του αγωγού. Το άπλωμα των ταινιών γίνεται σε ελικοειδή μορφή ενώ το πάχος του χαρτιού κυμαίνεται μεταξύ $40\mu\text{m}$ και $180\mu\text{m}$.



Εικόνα 2.11: Μηχανή απλώματος ταινιών στην επιφάνεια του αγωγού

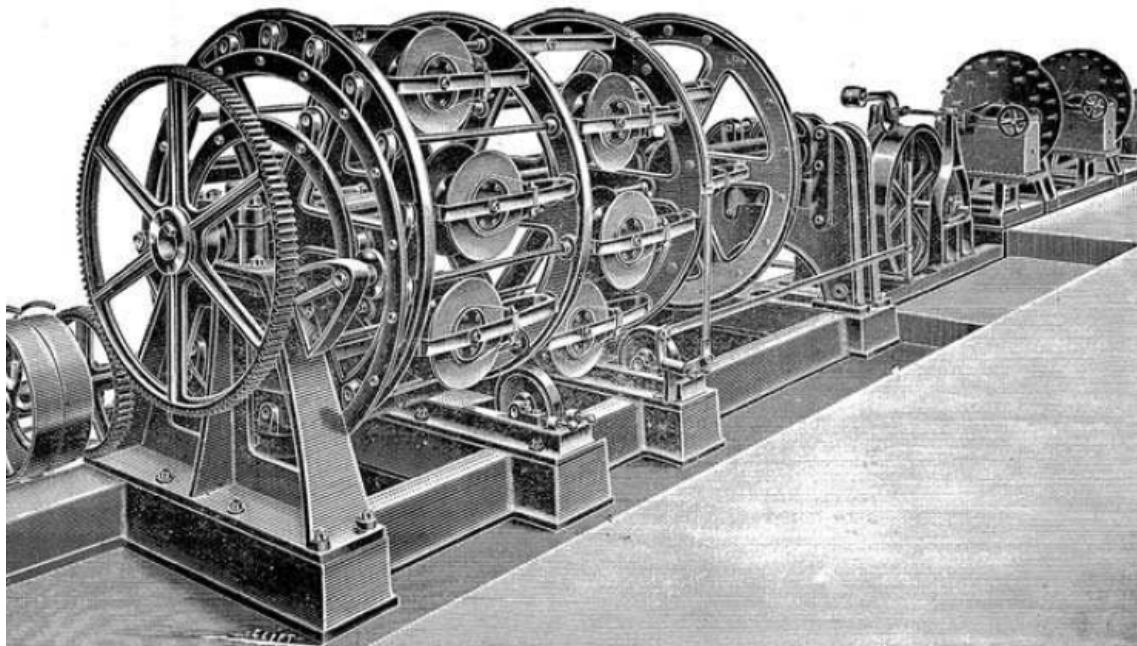
Η μόνωση μπορεί να έχει μέχρι και 270 διαφορετικά στρώματα ταινίας τοποθετημένα σε μια διαδρομή. Μετά την μόνωση του αγωγού ακολουθεί μια κυλινδρική επιμεταλλωμένη επίστρωση προστασίας του μονωτή. Στα καλώδια μέσης τάσης η επίστρωση αυτή είναι από φύλλα αλουμινίου. Στις περισσότερες περιπτώσεις η επίστρωση αυτή προέρχεται από μόλυβδο πάχους 2-5mm με εξαιρετικές στεγανοποιητικές ιδιότητες. Ακολούθως οι τρεις μονωτές που κατασκευάζονται μέχρι τώρα ξεχωριστά προεκτείνονται ο ένας δίπλα στον άλλο ώστε να ακολουθήσει η διαδικασία συνένωσής τους.



Εικόνα 2.12: Υποβρύχιο καλώδιο διπλού οπλισμού. Μεταξύ των αγωγών διακρίνεται καλώδιο οπτικής ίνας

Σε αυτή την περίπτωση συναρμολογείται μαζί με τα καλώδια και ένα καλώδιο οπτικής ίνας. Αυτή η προέκταση συμβαίνει για μικρά μήκη καλωδίων. Στην περίπτωση που θέλουμε μεγαλύτερα μήκη τα καλώδια προεκτείνονται και συνενώνονται με συνδέσμους ώστε να κατασκευαστεί το τελικό καλώδιο μήκους 20-40km.

Μετά την συνένωση των αγωγών του καλωδίου ακολουθεί η τοποθέτηση του οπλισμού. Η τοποθέτηση του οπλισμού αποτελεί ένα πολύ σημαντικό στάδιο καθόσον ο οπλισμός καλείται να παραλάβει όλες τις αναπτυσσόμενες τάσεις στο καλώδιο.



Εικόνα 2.13 : Μηχανή αρμώσεως οπλισμού με περιστροφική κίνηση συρμάτων. Διακρίνονται έξι μπομπίνες σε δύο γκρουπ (Μηχανή σχεδιασμένη από Johnson & Phillips, Λονδίνο)

Για την τοποθέτηση του οπλισμού τα καλώδια τοποθετούνται στο κέντρο μια περιστροφικής μηχανής και κατά την περιστροφή των καλωδίων από τη μηχανή απλώνονται τα σύρματα του οπλισμού.

Η πιστοποίηση της ποιότητας ενός υποβρύχιου καλωδίου ισχύος αποτελεί ένα πολύ σημαντικό παράγοντα σε όλες τις φάσεις σχεδίασης, κατασκευής, και εγκατάστασης του καλωδίου. Διάφορα τεστ καλούνται να πιστοποιήσουν ότι το καλώδιο κατασκευάζεται σύμφωνα με τις προδιαγραφές και τις απαιτήσεις του περιβάλλοντος στο οποίο αυτό θα λειτουργήσει. Οι έλεγχοι πιστοποίησης που εκτελούνται θα μπορούσαν να κατηγοριοποιηθούν σε:

- ελέγχους κατά τον σχεδιασμό/ανάπτυξη του καλωδίου
- ελέγχους με βάση τον τύπο του καλωδίου
- ελέγχους ρουτίνας
- ελέγχους αποδοχής από το εργοστάσιο
- ελέγχους κατόπιν επισκευής.

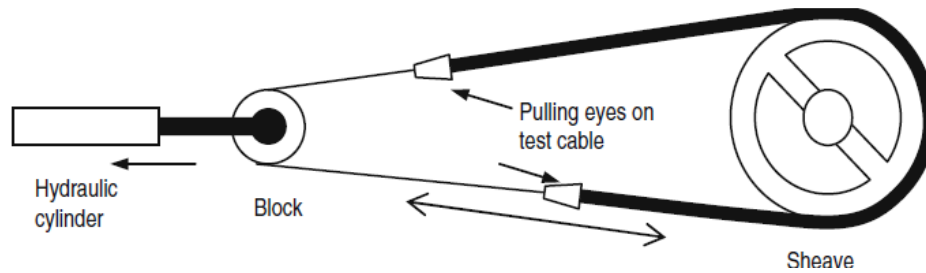
Οι έλεγχοι που εκτελούνται στην φάση σχεδίασης και ανάπτυξης του καλωδίου είναι πολύ σημαντικοί για δύο λόγους. Πρώτον διότι πρόκειται για ελέγχους με μικρό κόστος αφού δεν προαπαιτείται να έχει κατασκευαστεί το καλώδιο. Αφορά ελέγχους των διαφόρων επιμέρους συστατικών του καλωδίου όπως ελέγχους διηλεκτρικής αντοχής, γωνίας απωλειών κ.α. που σχετίζονται με χαρακτηριστικά του υλικού μονώσεως. Στα πολυμερή υλικά εξάλλου γίνονται έλεγχοι υδατοστεγανότητας, αντίστασης τριβής κτλ.. Επίσης έχουμε ελέγχους κοπώσεως και αντοχής σε διάβρωση. Δεύτερον διότι αδυναμία εντοπισμού των μειονεκτημάτων για την εξάλειψή τους θα οδηγήσει στην κατασκευή ελαττωματικού καλωδίου και επομένως σε υπερβολική αύξηση του κόστους.

Οι έλεγχοι με βάση τον τύπο του καλωδίου σχετίζονται με ελέγχους που προτείνονται από διεθνείς οργανισμούς όπως IEEE, AEIC, ANSI, Cigre. Οι προτεινόμενοι έλεγχοι Cigre που εκδόθηκαν με την ονομασία ELECTRA 171 αποτελούν την μοναδική πρόταση έως σήμερα για έλεγχο μηχανικών ιδιοτήτων υποβρύχιων καλωδίων.

Πίνακας 2.11: Προδιαγραφές Ελέγχων διαφόρων τύπων Υποβρύχιων Καλωδίων

	Ημερομηνία έκδοσης	Περιεχόμενα
Cigre	Electra No.171 Απρίλιος 1997 [15]	Συστάσεις Ελέγχους Μηχανικών Ιδιοτήτων σε υποβρύχια Καλώδια
Cigre	Electra No.189 Απρίλιος 2000[16]	Συστάσεις για ελέγχους υποβρύχιων καλωδίων εναλλασσομένου ρεύματος μεγάλου μήκους(30-150kV)
Cigre	Electra No.189 Απρίλιος 2000[17]	Συστάσεις για ελέγχους υποβρύχιων καλωδίων συνεχούς ρεύματος (μέχρι 800kV)
Cigre Τεχν.εγχειδ.ΤΒ 219	Cigre τεχνικό Εγχειρίδιο 219	Συστάσεις για ελέγχους υποβρύχιων καλωδίων συνεχούς ρεύματος (μέχρι 250kV)
IEC 60840		Μέθοδοι ελέγχου και απαιτήσεις για καλώδια ισχύος μεταξύ 30kV και 150kV
IEC 62067		Μέθοδοι ελέγχου και απαιτήσεις για καλώδια ισχύος μεταξύ 150kV και 500kV

Είναι σημαντικό να ειπωθεί ότι οι παραπάνω έλεγχοι είναι συνιστώμενοι δηλαδή δεν επιβάλλονται από κάποιο νόμο ή συνθήκη αλλά συνήθως αποτελούν μέρος των διαπραγματεύσεων μεταξύ αγοραστή και κατασκευαστή. Οι παραπάνω έλεγχοι διαχωρίζονται σε μηχανικούς ελέγχους, σε ελέγχους κυκλικής φόρτισης και ελέγχους διέγερσης. Οι μηχανικοί έλεγχοι επιδεικνύουν την ικανότητα του καλωδίου να ανθίσταται σε εντατικές δυνάμεις που αναπτύσσονται τόσο κατά την πόντιση από τον τροχό επικάθησης όσο και κατά την διάρκεια λειτουργίας στον πυθμένα της θάλασσας. Η διάταξη φαίνεται στο Σχήμα 2.6



Σχήμα 2.12: Διάταξη δοκιμής μηχανικής αντοχής Y/B καλωδίου

Κατά τον έλεγχο κυκλικής φόρτισης το καλώδιο παρακολουθείται επί 24 ώρες αφού φορτιστεί με φορτίο για 8 συνεχόμενες ώρες και αποφορτιστεί με φυσική ψύξη επί 16 ώρες. Το τεστ αποτελείται από 10 κύκλους φορτίσεων-αποφορτίσεων μιας πολικότητας και στη συνέχεια άλλες 10 φορτίσεις-αποφορτίσεις αντίθετης πολικότητας.

Ο παράγοντας που ελέγχεται είναι η θερμοκρασία περιβάλλοντος. (συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 6-30°C).

Οι έλεγχοι διεγέρσεως είναι στην ουσία δοκιμές υπερέντασης. Επειδή τα τεστ που εκτελούνται δεν μπορούν να καλύψουν όλα τα ενδεχόμενα συμβάντα στη διάρκεια λειτουργίας ενός καλωδίου διεξάγεται ο έλεγχος υπερέντασης για την προσομοίωση καταστάσεων υπερφόρτωσης του καλωδίου και έλεγχο της συμπεριφοράς του.

Αναφορικά με τους ελέγχους ρουτίνας πρόκειται για τεστ που εκτελούνται σε όλα τα είδη και μήκη καλωδίων. Σχεδόν όλες οι προδιαγραφές απαιτούν την μέτρηση της αντίστασης αγωγού, τη χωρητικότητα του μονωτή και τη γωνία απωλειών $\tan\delta$ Σύμφωνα με τις προδιαγραφές IEC το περιθώριο απόκλισης από τις εργοστασιακές τιμές είναι 8%.

Οι εργοστασιακοί έλεγχοι γίνονται κατά τη φάση εξαγωγής του καλωδίου από το εργοστάσιο. Πρόκειται για ελέγχους που έχουν σχέση με τις προσυμφωνημένες τιμές ιδιοτήτων του καλωδίου μεταξύ αγοραστή και κατασκευαστή. Συνήθως περιλαμβάνει πολλές από τις δοκιμές που αναφέρθηκαν σε προηγούμενες παραγράφους.

Πίνακας 2.12: Τάσεις ελέγχου καλωδίων για ελέγχους ρουτίνας και επισκευής

Τύπος καλωδίου/Μόνωση	33kV a.c./ XLPE	150kVa.c./ XLPE	420kVa.c./ Χαρτί-λάδι	150kVd.c./ Πολυμερές	450kV a.c./ Εμποτισμένο
Προδιαγραφή	Electra 189a με αναφορά στο IEC 60840		IEC 62067	Cigre TB 219	Electra 189b
Τάση ελέγχων ρουτίνας	-	218kV	440 kV	1.8xU ₀ = -278 kV d.c.	1.8xU ₀ = -810 kVd.c. 15min
Τάση ελέγχων επισκευής	-	150 kV	260 kV	1.45xU ₀ = -218 kV d.c. 15min	1.4xU ₀ = -630 kV d.c. 15 min

Τέλος έχουμε τους ελέγχους κατόπιν επισκευής. Κατ' ουσία πρόκειται για τους ελέγχους που εκτελούνται μετά την ολοκλήρωση της επισκευής με σκοπό την επαναλειτουργία του καλωδίου. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συνοπτικά οι τάσεις ελέγχου καλωδίων διαφόρων τύπων ανάλογα με την προδιαγραφή και την μέθοδο ελέγχου.

2.6 Περιφερειακά εξαρτήματα

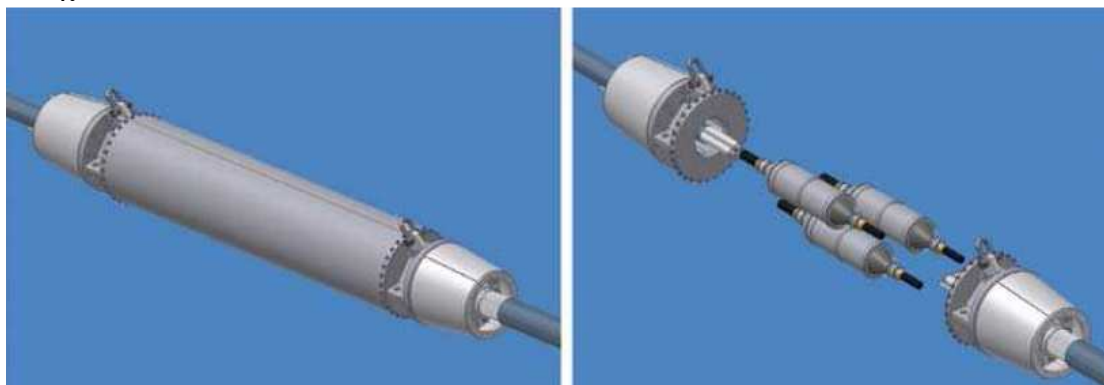
Εκτός από το υποβρύχιο καλώδιο που ποντίζεται στον πυθμένα για την ολοκλήρωση της ηλεκτρικής διασύνδεσης απαιτείται και μια σειρά άλλων εξαρτημάτων τα οποία παρεμβάλλονται μεταξύ των δύο προς σύνδεση σημείων. Έτσι έχουμε καταρχήν τους πάσης φύσεως συνδέσμους διασύνδεσης καλωδίων.

Οι σύνδεσμοι διασύνδεσης είναι διαφόρων τύπων και σχημάτων και συνδέουν δύο τμήματα καλωδίου ίδιας ή διαφορετικής διατομής. Από μελέτες τη δεκαετία του '80 διαπιστώθηκε ότι η αξιοπιστία ενός υποβρύχιου καλωδίου ισχύος εξαρτάται κατά 18% από βλάβες συνδέσμων και κατά 82% από βλάβες του καλωδίου. Εκτοτε βελτιώθηκαν οι τεχνικές κατασκευής των συνδέσμων και τα χρησιμοποιούμενα υλικά με αποτέλεσμα το ποσοστό αποτυχιών λειτουργίας λόγω αστοχία συνδέσμου να περιοριστεί σημαντικά.

Μια επιτυχημένη λογική που ακολουθείται είναι η παρεμβολή σε μία γραμμή το δυνατόν λιγότερων συνδέσμων για την ελαχιστοποίηση της πιθανότητας αστοχίας. Μια πολύ σημαντική παράμετρος στην αστοχία των συνδέσμων είναι η κακή συναρμολόγηση σε αρχικό στάδιο ή κατά την διάρκεια επισκευής. Αυτό μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα την επαναλαμβανόμενη αστοχία του ίδιου συνδέσμου με δυσμενείς συνέπειες στην λειτουργία της γραμμής και σημαντική επιβάρυνση του κόστους συντήρησης. Βέβαια τα στοιχεία σχετικά με τον παράγοντα κακής συντήρησης πιθανώς είναι ελλείποντα καθώς κανείς δεν επιθυμεί να «εκθέσει» τον εαυτό του για κακή επισκευή. Παρ'όλ'αυτά είναι ένας σημαντικός παράγοντας που αν δεν λαμβάνεται υπόψη στη μελέτη αξιοπιστία μπορεί να οδηγήσει σε εσφαλμένα αποτελέσματα. Οι σύνδεσμοι διασύνδεσης μπορεί να είναι εργοστασιακοί. Αυτό συμβαίνει στο εργοστάσιο κατά τη διαδικασία κατασκευής του καλωδίου όπου ενώνονται δύο ημιτελώς κατασκευασμένα καλώδια και στη συνέχεια ολοκληρώνεται η διαδικασία κατασκευής.

Εκτός των εργοστασιακών συνδέσμων υπάρχουν και σύνδεσμοι εγκατάστασης οι οποίοι ενώνουν δύο υποβρύχια καλώδια ισχύος που βρίσκονται το ένα δίπλα στο άλλο πάνω στο σκάφος εναπόθεσης ή στην στεριά. Για τη σύνδεση πάνω στο σκάφος σημαντικό ρόλο παίζει ο καιρός και ο χρόνος. Μιλώντας πάντα για χρήση προσωπικού εξειδικευμένου για την ολοκλήρωση της σύνδεσης ο χρόνος που απαιτείται κυμαίνεται μεταξύ μίας έως δέκα ημερών. Δυσμενείς καιρικές συνθήκες δυσχεραίνουν το έργο των συνεργείων συντήρησης. Οι εν λόγω σύνδεσμοι μπορεί να είναι εύκαμπτοι ή άκαμπτοι ανάλογα με τη φύση και τις απαιτήσεις της σύνδεσης. Άξιοι αναφοράς είναι και οι σύνθετοι σύνδεσμοι οι οποίοι αποτελούνται από διάφορα τμήματα εύκαμπτα ή άκαμπτα συναρμολογημένα μεταξύ τους. Τέλος υπάρχουν και οι σύνδεσμοι στεριάς οι οποίοι αναφέρονται ξεχωριστά λόγω της φύσης του περιβάλλοντος στο οποίο

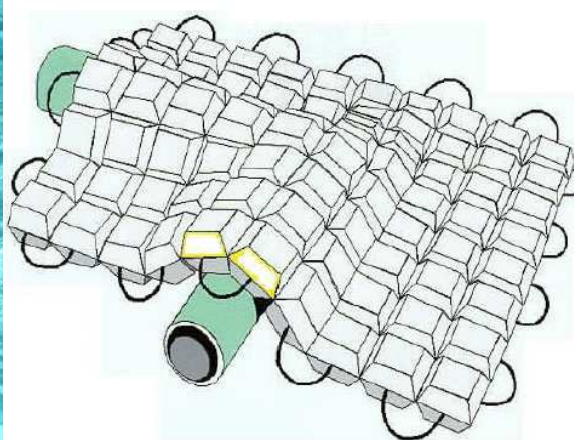
καλούνται να λειτουργήσουν. Εδώ λοιπόν έχουμε τα αντισταθμίσαμε παραμέτρους όπως αμμώδες έδαφος (έντονη διεισδυτικότητα λεπτόκοκκης άμμου), ύπαρξη ανέμου και έντονο διαβρωτικό περιβάλλον επειδή βρίσκεται πλησίον του θαλάσσιου στοιχείου.



Εικόνα 2.14 : Σύνδεσμος ένωσης τριπολικού υποβρύχιου καλωδίου

Εκτός των συνδέσεων τα καλώδια ισχύος από τα σημεία προσαιγιάλωσης μέχρι την σύνδεση στον τερματικό σταθμό λόγω αυξημένου κόστους είναι ασύμφορο να καλύπτουν και την εν λόγω απόσταση που κάποιες φορές μπορεί να είναι αρκετά μεγάλη. Γι' αυτό από την προσαιγιάλωση και πέρα μέχρι τον τερματικό σταθμό χρησιμοποιείται απλό υπόγειο καλώδιο ισχύος σύμφωνα με τις προδιαγραφές υπόγειων ηπειρωτικών καλωδίων. Αυτή η μορφή καλωδίων δεν θα μας απασχολήσει εδώ. Ακόμη στην περίπτωση ηλεκτρικής τροφοδότησης παράκτιων εγκαταστάσεων ισχύος απαιτείται μια σειρά εξαρτημάτων διασύνδεσης του καλωδίου με τον τερματικό σταθμό τα οποία υπόκεινται αφενός σε εντονότερη διάβρωση λόγω του θαλάσσιου στοιχείου και αφετέρου σε αυστηρότερες προδιαγραφές ασφαλείας λόγω χρήσης σε παράκτιες εγκαταστάσεις ισχύος έναντι των αντίστοιχων ηπειρωτικών.

Τέλος μια σειρά εξαρτημάτων διασφαλίζουν την προστατευμένη όδευση του καλωδίου από περιοχές στον πυθμένα που μπορεί να προκαλέσουν φθορές στο καλώδιο λόγω π.χ. τριβής σε βραχώδη σημεία.



Εικόνα 2.15:Σύστημα συγκρατήσεως καλωδίων με σάκους από οπλισμένο σκυρόδεμα

Τα εξαρτήματα αυτά μπορεί να είναι σωλήνες προστασίας ή εκτροπής του καλωδίου, συστήματα συγκρατήσεως ή κρεμάσεως που επωμίζονται το βάρος του καλωδίου π.χ. στην κατακόρυφη όδυσή του προς την παράκτια πλατφόρμα ή διαιρούμενα διαιρετά κελύφη όπου πρόκειται για προστατευτικά από την τριβή του καλωδίου κελύφη που δεν επιτρέπουν την φθορά του στον πυθμένα της θάλασσας.



Εικόνα 2.16 : Διαιρούμενα κελύφη προστασίας Υ/Β καλωδίων. Στην Αριστερή εικόνα διακρίνεται σύστημα συγκρατήσεως με αλυσίδα του καλωδίου.

Η καταγραφή των παραπάνω εξαρτημάτων καθίσταται επιβεβλημένη διότι όταν κάνουμε ανάλυση αξιοπιστίας ή ρίσκου ενός υποβρύχιου καλωδίου εννοούμε τη μελέτη ολόκληρης της γραμμής υποβρύχιας διασύνδεσης ισχύος ως σύστημα αποτελούμενο κυρίως από το καλώδιο καθαυτό και δευτερεύοντος από τα περιφερειακά εξαρτήματα. Συνεπώς η αξιοπιστία μιας γραμμής υποβρύχιας μεταφοράς ισχύος είναι συνάρτηση πρωτογενώς τόσο των βλαβών του καλωδίου όσο και των βλαβών των παρελκόμενων εξαρτημάτων όπως των συνδέσεων διασύνδεσης.

Κεφάλαιο 3

3. Διαδικασία πόντισης Υποβρύχιων καλωδίων

Δεν υπάρχουν αυστηρά καθορισμένα πλαίσια για την διεξαγωγή επιχείρησης πόντισης ενός υποβρύχιου καλωδίου ισχύος. Γεγονός είναι ότι πρόκειται για μια πολύπλοκη και επίπονη διαδικασία κατά την οποία πρέπει να ληφθούν υπόψη πολλοί παράμετροι που επηρεάζουν την επιτυχή έκβαση του εγχειρήματος. Παράγοντες που σχετίζονται με την μορφολογία του πυθμένα, την ανθρώπινη δραστηριότητα στην περιοχή πόντισης, τις περιβαλλοντολογικές συνθήκες είναι δυνατό να ματαιώσουν ή καθυστερήσουν την επικάλυψη του καλωδίου στον πυθμένα ή ακόμη χειρότερα να προκαλέσουν μακροπρόθεσμα βλάβες που θα θέσουν το καλώδιο προσωρινά ή μόνιμα εκτός λειτουργίας.

Η διαδικασία διασύνδεσης δύο σημείων με υποβρύχια καλώδια ισχύος θα μπορούσε να χωριστεί σε δύο φάσεις. Η πρώτη φάση αποτελείται από την εκπόνηση της μελέτης ενώ η δεύτερη από την καθ' αυτό διαδικασία της πόντισης. Παρακάτω θα παρουσιαστούν στοιχεία αναλυτικά σχετικά με τις δύο παραπάνω φάσεις.

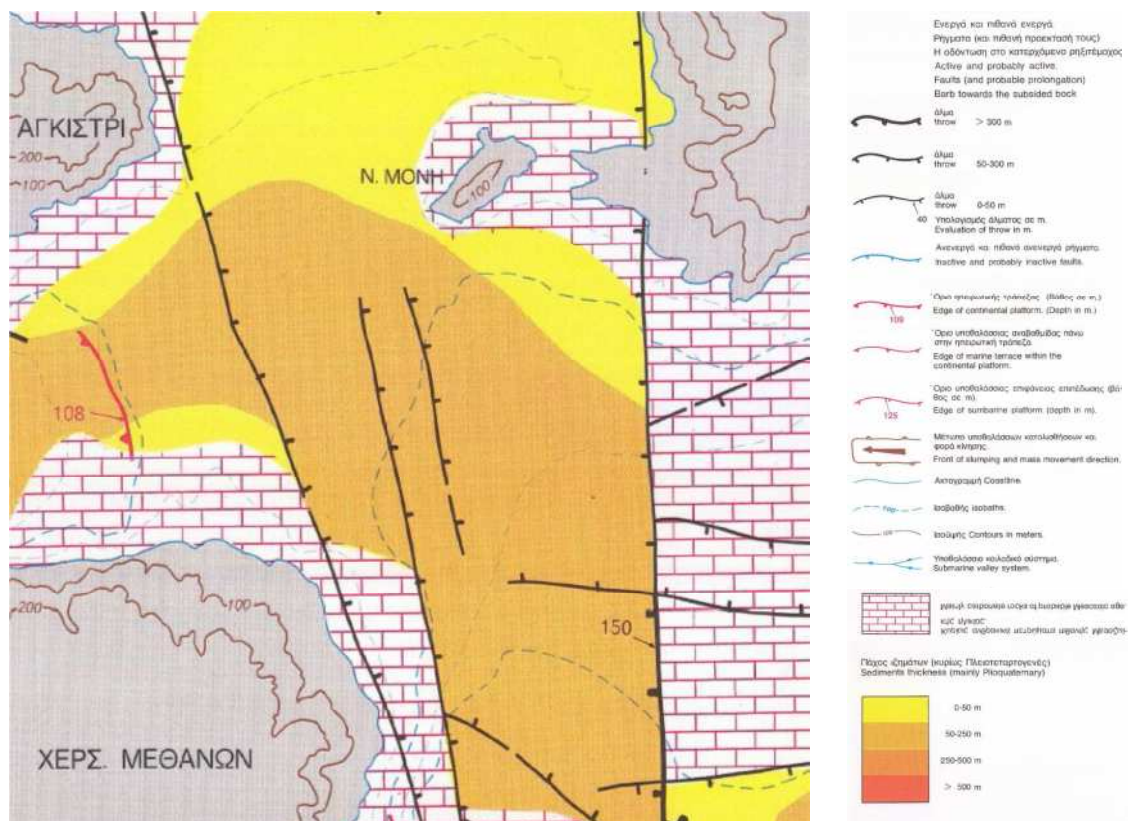
3.1 Μελέτη πόντισης υποβρύχιου καλωδίου ισχύος

Η εκπόνηση λεπτομερούς μελέτης στα πλαίσια της διαδικασίας πόντισης ενός υποβρύχιου καλωδίου καθίσταται επιβεβλημένη λόγω του ιδιαίτερα υψηλού κόστους κατασκευής των υποβρύχιων καλωδίων ισχύος όπως επίσης και του επίσης υψηλού κόστους επισκευής. Τόσο σε καθαρά τεχνικό επίπεδο στην καθ' αυτό επισκευή του καλωδίου όσο και στις επιπτώσεις από την διακοπή λειτουργίας μέχρι την περάτωση της επισκευής στην περιοχή που παύει να ηλεκτροδοτείται το κόστος σε οικονομικό αλλά και κοινωνικό επίπεδο μπορεί να λάβει τεράστιες διαστάσεις. Ένα λάθος στην διαδικασία πόντισης, ένας λάθος υπολογισμός ή μια εσφαλμένη εκτίμηση σε παράγοντες που επηρεάζουν την διαδικασία όπως λ.χ. περιβαλλοντικούς είναι δυνατό να προξενήσει καταστροφή του καλωδίου η αποκατάσταση της οποίας να απαιτεί ακόμη και αντικατάσταση τμήματος ή ολόκληρου του καλωδίου για την κατασκευή του οποίου απαιτήθηκαν πολλοί μήνες και που μεταφράζονται σε πολλές περισσότερες εργατοώρες.

Μια λεπτομερής και αναλυτική μελέτη περιλαμβάνει στοιχεία που σχετίζονται με την γεωλογική δομή της ευρύτερης περιοχής της ζεύξης, την έρευνα του πελάγιου τμήματος, την αναλυτική μελέτη των σημείων προσγειάωσης, τα ωκεανογραφικά στοιχεία της ευρύτερης περιοχής καθώς επίσης τις φυσικές και ανθρωπογενείς επικινδυνότητες.

3.1.1. Γεωλογική δομή της ευρύτερης περιοχής της ζεύξης

Ιδιαίτερη έμφαση κατά την μελέτη της γεωλογικής δομής δίνεται στον έλεγχο για ενεργά ρήγματα και επίπεδα σεισμικής δραστηριότητας στην ευρύτερη περιοχή της ζεύξης. Η περιοχή ελέγχεται για υποθαλάσσια ηφαίστεια και οποιοδήποτε άλλο γεωλογικό φαινόμενο θα μπορούσε να επηρεάσει την ασφαλή πόντιση και μετέπειτα λειτουργία του υποβρύχιου καλωδίου. Για την διευκόλυνση των παραπάνω υποτυπώσεων επιστρατεύονται γεωτεκτονικοί χάρτες της περιοχής που έχει εκδώσει το ΕΛΚΕΘΕ. Τέλος γίνεται έλεγχος των κρηπιδών των δύο ακτών προσαιγιάλωσης και της διαδρομής όδευσης του καλωδίου αναφορικά με τα πετρώματα που τα συνιστούν.



Εικόνα 3.1: Απόσπασμα γεωτεκτονικού χάρτη του Σαρωνικού Κόλπου.(ΕΛΚΕΘΕ)

3.1.2 Έρευνα πελάγιου τμήματος

Η έρευνα του πελάγιου τμήματος περιλαμβάνει :

-Αναλυτική μελέτη της μορφολογίας του βυθού της ζώνης ζεύξης κατά την οποία γίνεται αναλυτική έρευνα της βυθομετρίας της περιοχής επικάθισης του καλωδίου ενώ η περιοχή μελετάται ξεχωριστά στις κρηπίδες των σημείων προσαιγιάλωσης καθώς και στην λεκάνη μεταξύ των κρηπιδωμάτων.

Το βυθομετρικό διάγραμμα της περιοχής ποντίσεως είναι παρόμοιο με τα αντίστοιχα χερσαία τοπογραφικά. Είναι πολύ σημαντικό να γίνει λεπτομερής

υποτύπωση του πυθμένα καθώς και των σημείων αυξημένης επικινδυνότητας. Πρανή ή περιοχές με μεγάλη κλίση μπορεί να προκαλέσουν εξολίσθηση του καλωδίου θέτοντας σε κίνδυνο την επιχείρηση επικάθισης. Η εξέλιξη της τεχνολογίας μας επιτρέπει πλέον την λεπτομερή βυθομετρία με χρήση σύγχρονων συστημάτων σόναρ που παρέχουν υψηλής ανάλυσης τρισδιάστατα βυθομετρικά διαγράμματα. Η μέθοδος μπορεί να συγκριθεί με αυτή του ραντάρ μόνο που γίνεται εκπομπή υψηλής συχνότητας ηχητικών κυμάτων (500 Hz) αντί ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Η συσκευή εκπέμπει διακριτούς παλμούς και αναλύει το σήμα που επιστρέφει αφού αυτό ανακλαστεί στην επιφάνεια του πυθμένα.

-Έλεγχος της μορφολογίας του υπεδάφους κάτω από τον πυθμένα. Ο εν λόγω έλεγχος γίνεται συνήθως στα σημεία προσεγγιάωσης όπου υπάρχει η απαίτηση ταφής του καλωδίου. Παρ' ολ' αυτά στην περίπτωση που είναι επιθυμητή επιπλέον προστασία του καλωδίου πρέπει να γίνει έλεγχος καθ' όλο το μήκος όδευσης του καλωδίου. Η υποτύπωση της μορφολογίας του υπεδάφους γίνεται μέσω σκαφών αυτοκινούμενων για ρηχά νερά και ρυμουλκούμενων για βαθιά με εκπομπή παλμού διαμορφωμένης συχνότητας η οποία παρέχει ταυτόχρονα βαθιά διείσδυση στο εσωτερικό του πυθμένα και υψηλή ανάλυση δειγματοληψίας.

-Έλεγχος της σύστασης του υπεδάφους κάτω από τον πυθμένα. Είναι επιβεβλημένος όταν ο έλεγχος της μορφολογίας του υπεδάφους δεν παρέχει επαρκείς πληροφορίες για τη φύση του και υπάρχει απαίτηση προστασίας του καλωδίου μέσω ταφής σε χάνδακα. Η γνώση της σύστασης του υπεδάφους μας επιτρέπει να καθορίσουμε τον σωστό εξοπλισμό διάνοιξης του χάνδακα ταφής ενώ σε περίπτωση που δεν επιτρέπει την διάνοιξη του χάνδακος μας οδηγεί εγκαίρως στην μελέτη άλλων συστημάτων προστασίας του καλωδίου γλυτώνοντας έτσι χρόνο που μεταφράζεται σχεδόν πάντα σε κόστος.

-Έρευνα με θαλάσσιο μαγνητόμετρο κατά τον οποίο η γραμμή όδευσης του καλωδίου ελέγχεται για ύπαρξη μεγάλων μεταλλικών μαγνητικών αντικειμένων επί του πυθμένα ή κάτω από αυτόν, με θαλάσσιο μαγνητόμετρο (π.χ. πρωτονίου). Η έρευνα αυτή συνήθως καλύπτει μία ζώνη εύρους 100m γύρω από την γραμμή όδευσης που επιλέχτηκε για την εγκατάσταση του καλωδίου για εντοπισμό μεταλλικών αντικειμένων με μαγνητική μάζα τουλάχιστον 500kgr.

3.1.3. Σημεία προσγγείωσης

Τα σημεία προσαιγιάωσης του καλωδίου αποτελούν αντικείμενο ιδιαίτερης και ξεχωριστής μελέτης καθόσον αποτελούν τα σημεία στα οποία το καλώδιο διατρέχει αυξημένο κίνδυνο τραυματισμού τόσο κατά την διαδικασία της πόντισης όσο και μετέπειτα κατά την διάρκεια λειτουργίας του. Η μελέτη στα σημεία προσγγείωσης περιλαμβάνει :

-Έρευνα στη μορφολογία παράκτιας περιοχής προσαιγιάωσης κατά την οποία καταγράφονται εκτενώς τα γεωλογικά και γεωγραφικά στοιχεία που σχετίζονται με το χερσαίο τμήμα του καλωδίου συνοδευόμενα από τοπογραφικά διαγράμματα, φωτογραφίες κ.τ.λ.

-Έρευνα στη μορφολογία του πυθμένα προσαιγιάλωσης κατά την οποία εξετάζεται η παράκτια μορφολογία στο ύφαλο τμήμα της περιοχής που την χαρακτηρίζει. Η μορφολογική αποτύπωση του πυθμένα στην περιοχή προσαιγιάλωσης προκύπτει συνήθως με την λεπτομερή βυθομετρική και ηχογραφική αποτύπωση του πυθμένα με ειδικές συσκευές (MBES σε συνδυασμό με το σύστημα SSS imagery).

3.1.4 Υποβρύχια επιθεώρηση στην προσαιγιάλωση

Εκτός από τις πληροφορίες, που προκύπτουν από τη μελέτη της βυθομετρίας στη ζώνη της προσαιγιάλωσης, ειδικά για το παράκτιο τμήμα της διαδρομής του καλωδίου, συγκεντρώνονται επιπλέον πληροφορίες από την υποβρύχια επιθεώρηση του πυθμένα κατά μήκος της διαδρομής του. Οι πληροφορίες αυτές είναι κυρίως ποιοτικές, αφορούν τη μορφή και σύσταση του πυθμένα και παρουσιάζονται σε συνδυασμό με φωτογραφικό αρχείο. Ένα βυθιζόμενο σχοινί –οδηγός, βαθμονομημένο απλώνεται στον πυθμένα κατά μήκος της γραμμής όδευσης και η επιθεώρηση του πυθμένα πραγματοποιείται από δύτες κατά μήκος του άξονα του καλωδίου, με χρήση ψηφιακής βιντεοσκόπησης, οπτικής περιγραφή της μορφολογίας και σύστασης του πυθμένα, δειγματοληπτικούς έλεγχοι διεϊσδυσης του πυθμένα, κατά μήκος του άξονα σε χαρακτηριστικά σημεία της διαδρομής. Η δυνατότητα ταφής του καλωδίου κατά μήκος της πορείας ελέγχεται με μετρήσεις της διεϊσδυσης, χρησιμοποιώντας βαθμονομημένη ράβδο η οποία εισχωρεί στο εσωτερικό του πυθμένα σε βάθος ανάλογο με την σύστασή του.

3.1.4.1. Υποβρύχια έρευνα για τον εντοπισμό μεταλλικών αντικειμένων

Ελέγχεται η γραμμή όδευσης του καλωδίου –τουλάχιστον από την ακτογραμμή έως και 100μ από την ακτή - με τον Y/B ανιχνευτή μετάλλων για ύπαρξη μεταλλικών αντικειμένων τα οποία έχουν σχέση με πολεμικό υλικό (νάρκες, βλήματα, κ.λ.π.) όπως επίσης στην επιφάνεια του πυθμένα, ή και καλυμμένα από τα αμμώδη ιζήματα πάσης φύσεως μεταλλικά κουτιά (κονσέρβες και απορρίμματα) τα οποία στη συνέχεια αναγνωρίστηκαν.

3.1.4.2. Εντοπισμός εγκατεστημένων καλωδίων με υποβρύχιο ανιχνευτή Μετάλλων

Παράλληλα με τον έλεγχο της γραμμής όδευσης του καλωδίου κατά την έρευνα της ζώνης για την εγκατάσταση του καλωδίου, γίνεται έλεγχος για τον εντοπισμό έτερων εγκατεστημένων υποβρυχίων καλωδίων από τις καταγραφές του ηχοβολιστή πλευρικής σάρωσης (SSS). Στις θέσεις όπου τα καλώδια καλύπτονται από την ύλη του πυθμένα ή είναι θαμμένα (κοντά στις δύο ακτές) για τον εντοπισμό θα χρησιμοποιείται ο υποβρύχιος ανιχνευτής μετάλλων.

3.1.5. Ωκεανογραφικά –Υδρογραφικά στοιχεία

Στα πλαίσια της μελέτης συλλέγονται πληροφορίες για τις ωκεανογραφικές-υδρογραφικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή από την υπάρχουσα βιβλιογραφία. Τα εν λόγω στοιχεία που μπορεί να έχουν σοβαρή επίδραση στο σχεδιασμό και την εγκατάσταση του καλωδίου έχουν σχέση με τη θερμοκρασία θαλάσσης (επιφανειακή και πυθμένα) κατά την διάρκεια του έτους, την δομή του κυματισμού της περιοχής ποντίσεως, τις παλίρροιες και τα υποθαλάσσια ρεύματα καθώς επίσης την μορφή των ανέμων.

Στην περίπτωση **παλίρροιών και ρευμάτων** οι πηγές από τις οποίες μπορούν να αντληθούν πληροφορίες είναι μόνο αυτές που προέρχονται από επίσημους κρατικούς φορείς. Τέτοιες πηγές είναι λόγω χάριν ο "ΠΛΟΗΓΟΣ" Τόμος Δ', ΥΥΠΝ 1987 και τα "ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΑΛΙΡΡΟΙΑΣ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΛΙΜΕΝΩΝ", ΥΥΠΝ 1991. Πέρα από τις ανεμογενείς παλίρροιες χαρακτηριστικές στάθμες της παλίρροιας στο λιμάνι του Πειραιά, όπου βρίσκεται εγκατεστημένος ο πλησιέστερος παλιρροιογράφος της ΥΥΠΝ προέρχονται από την έκδοση της ΥΥΠΝ "Παλίρροιες Ελληνικών Λιμένων, 1991". Οι στάθμες αυτές έχουν υπολογισθεί από ένα διάστημα παρατηρήσεων 75 ετών (1933 - σήμερα).

Η διακύμανση της θερμοκρασίας της θάλασσας στην περιοχή του πυθμένα και ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες όπου παρατηρείται αύξηση είναι απαραίτητο να είναι γνωστή πριν την κατασκευή του προς χρήση καλωδίου για μια σωστή και ορθολογική σχεδίαση υποβρύχιου καλωδίου.

3.1.6. Φυσικές και ανθρωπογενείς επικινδυνότητες

Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία η καταστροφή Υ/Β καλωδίων σε ποσοστό 95% προέρχεται από τις ανθρωπογενείς επικινδυνότητες και σε ποσοστό 5% προέρχεται από φυσικές επικινδυνότητες όπως κατολισθήσεις λόγω σεισμών, μετακινήσεις ιζημάτων κ.α.. Στην Ελλάδα επειδή χαρακτηρίζεται από έντονη σεισμικότητα και τεκτονισμό και απότομες κλίσεις πρανών, το ποσοστό καταστροφής καλωδίων από φυσικές επικινδυνότητες βρίσκεται στο 21% σημαντικά υψηλότερα του 5%. Χαρακτηριστικό παράδειγμα, της επίδρασης των φυσικών επικινδυνότητων σε υποβρύχια καλώδια είναι ο Κορινθιακός Κόλπος. Τα τηλεπικοινωνιακά καλώδια που συνέδεαν την Αθήνα-Κόρινθο-Πάτρα μεταξύ 1880 και 1950 είχαν ρυθμό βλαβών μία ανά τρία χρόνια εξαιτίας κατολισθήσεων.

Αν αναφερθούμε αναλυτικότερα από την εμπειρία που έχει αποκτηθεί τα τελευταία 40 χρόνια όσον αφορά στις θραύσεις των υποβρύχιων καλωδίων, προκύπτει ότι οι κυριότερες γεωλογικές και ανθρωπογενείς επικινδυνότητες που μπορεί να προκαλέσουν βλάβες στα καλώδια είναι οι παρακάτω:

3.1.6.1 Φυσικές επικινδυνότητες:

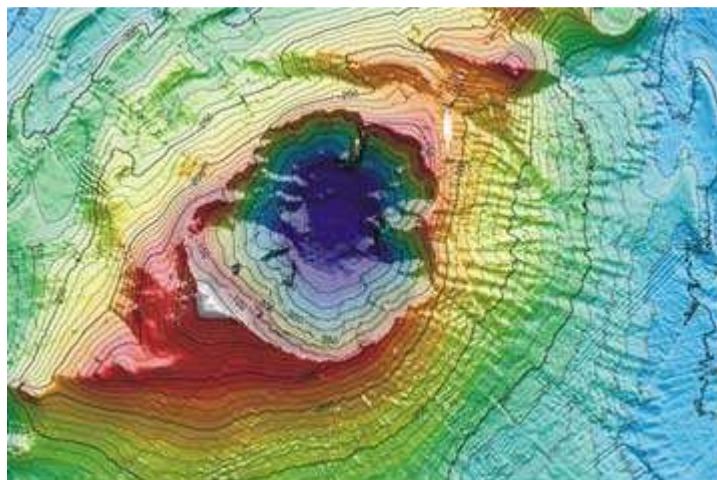
(α) ενεργά ρήγματα, σεισμοί και βαρυτικές μετακινήσεις ιζημάτων

Όταν μιλάμε για ρήγματα εννοούμε διαρρήξεις των πετρωμάτων της λιθόσφαιρας της γης εξαιτίας των τεκτονικών τάσεων που συσσωρεύονται σε αυτή. Οι σεισμοί είναι το αποτέλεσμα της διάρρηξης των πετρωμάτων στο μήκος του ρήγματος και η μετατροπή της συσσωρευμένης ελαστικής ενέργειας παραμόρφωσης σε κινητική θέτοντας τη μάζα του πετρώματος σε ταλάντωση. Ενεργά ρήγματα (δηλ. αυτά που έχουν καταγεγραμμένη δραστηριότητα τα τελευταία 2×10^6 χρόνια) είναι καταγεγραμμένα σε πολλές περιοχές του Ιόνιου και του Αιγαίου πελάγους. Η εξέλιξη ενός σεισμού έχει σαν αποτέλεσμα εκτός της κύριας διάρρηξης και δευτερογενείς διαρρήξεις οι οποίες εκτείνονται σε μήκος πολλών χιλιομέτρων συνοδευόμενες από κατακόρυφη ή οριζόντια μετατόπιση μεταξύ των δύο πλευρών του ρήγματος. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι σεισμοί 6R και 7R προκαλούν αντίστοιχα επιφανειακή μετατόπιση της τάξης των 0,5 έως 2 μέτρα., ενώ αν δραστηριοποιηθούν ρήγματα μήκους 5 έως 50 km οι επιφανειακές μετατοπίσεις εκατέρωθεν του ρήγματος φτάνουν τα 1,5 έως 5 μέτρα. Οι επιφανειακές διαρρήξεις καθώς και οι κατακόρυφες και οι οριζόντιες μετατοπίσεις δεν προκαλούν συνήθως βλάβες στα καλώδια λόγω μεγάλης ευκαμψίας, δίχως όμως αυτό να αποκλείεται κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες τάνυσης λόγω πόντισης του καλωδίου σε βραχώδη πυθμένα. Με τον ίδιο τρόπο οι σεισμοί δεν προκαλούν συνήθως άμεσα βλάβη στα καλώδια όπως τα συνεπακόλουθα των σεισμών όπως κατολισθήσεις, ροές κορημάτων και ρευστοποιήσεις ιζημάτων είναι πιθανό να προκαλέσουν. Η ανάπτυξη (πυροδότηση-μεταφορά-απόθεση) βαρυτικών μετακινήσεων μαζών (ολισθήσεις, ροές μαζών, τουρβιδιτικά ρεύματα) οι οποίες πυροδοτούνται από σεισμούς είναι μια πολύπλοκη διαδικασία που εξαρτάται από την κλίση των πρηνών τις γεωτεχνικές ιδιότητες των ιζημάτων και την εδαφική επιτάχυνση που προκαλούν οι σεισμοί. Ευσταθή πρηνή μπορεί να γίνουν κάτω από ιδιαίτερες συνθήκες εξαιρετικά ασταθή θέτοντας σε κίνδυνο την ακεραιότητα διερχόμενου καλωδίου.

(β) αέριοι υδρογονάνθρακες και σχετιζόμενες γεωμορφές (π.χ. κρατήρες-rockmarks)

Οι πόροι των επιφανειακών ιζημάτων του πυθμένα περικλείουν υδρογονάνθρακες. Αυτοί οι υδατάνθρακες είναι είτε βιογενούς (υδρογονάνθρακες που προέρχονται από βιοχημικές και βακτηριολογικές διεργασίες –μεθάνιο) είτε θερμογενούς προέλευσης (μετανάστευση υδρογονανθρακών από τα βαθύτερα στρώματα του πυθμένα). Όταν η ποσότητα του περιεχόμενου μεθανίου υπερβεί μια ορισμένη τιμή τότε το μεθάνιο μεταβαίνει διαφεύγοντας βιαίως προς την υδάτινη στήλη από τη διαλαλημένη στην αέρια φάση δημιουργώντας γεωμορφές στην πυθμένα σε σχήμα κρατήρα γνωστές ως “rockmarks”. Ιζήματα με αέριους υδρογονάνθρακες έχουν εντοπιστεί τόσο στο Ιόνιο όσο και στο Αιγαίο πέλαγος. Οι αέριοι υδρογονάνθρακες στα ιζήματα δεν φαίνεται να αποτελούν επισφαλείς συνθήκες στην

πόντιση καλωδίων. Ο κίνδυνος όπως για την ασφάλεια του καλωδίου είναι μεγάλος από τη δημιουργία νέων κρατήρων υπό μορφή εκρήξεων.



Εικόνα 3.2 : Χάρτης του υποβρύχιου κρατήρα Κολούμπο, πέντε χλμ από τη Σαντορίνη.

(γ) Θαλάσσια κύματα βαρύτητας (τσουνάμι)

Τα τσουνάμι είναι ως γνωστόν το φαινόμενο της μετακίνησης μεγάλου υδάτινου όγκου προς τον δημιουργηθέντα κενό χώρο με αποτέλεσμα την δημιουργία στην επιφάνεια της θάλασσας τεράστιων βαρυτικών κυμάτων. Τα τσουνάμι δύναται να προκληθούν από την απότομη μετατόπιση του πυθμένα κατά την ενεργοποίηση ενός ρήγματος με την πρόκληση σεισμού, τη μετατόπιση μεγάλου όγκου ιζημάτων λόγω κατολίσθησης καθώς και την έκρηξη υποθαλάσσιου ηφαιστείου. Οι καταστροφές που προκαλούνται από τα τσουνάμι περιορίζονται στην παράκτια ζώνη και αφορούν στην περίπτωση των καλωδίων βλάβες που προκαλούνται πλησίον των σημείων προσαιγιάλωσης. Οι Ελληνικές ακτές τόσο του Αιγαίου όσο και του Ιονίου από τους αρχαιότερους χρόνους μέχρι σήμερα έχουν επηρεαστεί από τσουνάμι κάποια από τα οποία ήταν και αρκετά καταστροφικά. Αναφέρονται ειδικά δύο πρόσφατα σχετικά γεγονότα τα οποία συσχετίζονται με την πρόκληση τσουνάμι από σεισμική δραστηριότητα. Στις 9/7/1956 στο νότιο Αιγαίο σεισμός έντασης 7,5R στην περιοχή της Αμοργού προκάλεσε ένα τσουνάμι που προξένησε πολλές καταστροφές στην παράκτια ζώνη των Κυκλάδων και των Δωδεκανήσων. Στην Αμοργό και την Αστυπάλαια το ύψος κύματος έφτασε τα 20-25 μέτρα και κατέκλυσε την ακτή σε βάθος 80 έως 400 μέτρα. Έτερο περιστατικό καταγράφηκε στις 7/2/1963 στις Καμάρες Αιγίου που προκλήθηκε τσουνάμι οφειλόμενο σε υποθαλάσσια κατολίσθηση. Το μέγιστο ύψος του τσουνάμι ήταν 6 μέτρα ενώ η θάλασσα εισχώρησε 50 με 100 μέτρα μέσα στη ν ξηρά και προξένησε αρκετές καταστροφές στην παράκτια περιοχή του δυτικού Κορινθιακού κόλπου.



Εικόνα 3.3 :Χάρτης επικινδυνότητας από θαλάσσια κύματα βαρύτητας (τσουνάμι)

(δ) γεωμορφές διάβρωσης, μεταφοράς και απόθεσης ιζημάτων.

Η διάβρωση, μεταφορά και απόθεση των ιζημάτων δύναται να προκαλέσει σημαντικές μορφολογικές αλλαγές στον πυθμένα της θάλασσας. Για βάθη μικρότερα των 30 μέτρων ο μηχανισμός διάβρωσης τροφοδοτείται με ενέργεια από τα κύματα ενώ για βάθη μεγαλύτερα των 30 μέτρων ο μηχανισμός τροφοδοτείται από τα θαλάσσια ρεύματα. Οι μεταβολές που προκύπτουν στη μορφολογία της ακτής από τα ρεύματα και τα κύματα είναι δυνατό να προκαλέσουν βλάβες στα καλώδια ιδίως στην περιοχή προσαιγιάλωσης. Με σκοπό την προστασία των καλωδίων συνήθως διανοίγονται χάνδακες στους οποίους και ενταφιάζονται. Βέβαια είναι σημαντικό εδώ το βάθος της ταφής να είναι τέτοιο ώστε με τη διάβρωση της μορφολογίας του πυθμένα να αποφευχθεί ενδεχόμενη αποκάλυψη του καλωδίου με αποτέλεσμα την έκθεσή του σε καταπονήσεις λόγω των ρευμάτων, των κυμάτων καθώς και της ανθρώπινης δραστηριότητας (αγκυροβόληση, αλιεία).

Στην περίπτωση των θαλάσσιων ρευμάτων για βάθη μεγαλύτερα των 30 μέτρων είναι χαρακτηριστική η περίπτωση των Στενών Ρίο-Αντίρριο και Τήνου-Άνδρου όπου έχουν εντοπιστεί επιφάνειες διάβρωσης σε μεγάλη έκταση προδηλώνοντας την παρουσία ισχυρών ρευμάτων. Μετά τη λήψη μετρήσεων στο Ρίο-Αντίρριο κατεγράφησαν ρεύματα με ταχύτητες 100 έως και 140cm/sec.

(ε) απότομες πλαγιές (πρανή)

Οι απότομες πλαγιές επικάθισης των καλωδίων επηρεάζουν την ασφαλή λειτουργία των καλωδίων κυρίως στην περίπτωση που συνδυάζονται με πτώσεις βράχων όπως συμβαίνει συχνά σε απότομα πρανή ή κατολισθήσεων. Η πτώση βράχων μπορεί να συμβεί από φυσικά αίτια όπως σεισμοί ή από ανθρωπογενείς παράγοντες όπως χρήση εκρηκτικών υλών.

Η αποκόλληση βράχων κατά μήκος ευαίσθητων επιφανειών μπορεί να τραυματίσει το καλώδιο που διέρχεται από το πρανές διακόπτοντας έτσι τη μεταφορά ηλεκτρικής ισχύος. Στην περίπτωση των κατολισθήσεων έχουμε μετακίνηση μαζών ιζημάτων πάνω σε μια επιφάνεια λόγω μειωμένων διατμητικών δυνάμεων συγκρατήσεως. Οι υποθαλάσσιες κατολισθήσεις είναι σύνηθες φαινόμενο σε περιοχές που παρουσιάζουν ενεργό τεκτονισμό και έντονη σεισμική δραστηριότητα.

(στ) ανώμαλο ανάγλυφο του πυθμένα

Το ανώμαλο ανάγλυφο του πυθμένα μπορεί να προκαλέσει φθορά στο καλώδιο είτε λόγω της ποιότητας του πυθμένα, είτε διότι δημιουργούνται σημεία από τα οποία διέρχεται το καλώδιο με αιώρηση λόγω αδυναμίας εφαρμογής του στον πυθμένα. Βραχώδης πυθμένας ή σημεία αιώρησης σε συνδυασμό με έστω και μικρό θαλάσσιο ρεύμα δημιουργεί καταπονήσεις λόγω τριβών στο καλώδιο καταστρέφοντας σιγά σιγά στην εξωτερική μόνωση του καλωδίου και αποκαλύπτοντας εσωτερικά στρώματα του καλωδίου.

3.1.6.2. Ανθρωπογενείς επικινδυνότητες:

(α) Αγκυροβολήσεις πλοίων

Σύμφωνα με τα στοιχεία βλαβών της τελευταίας δεκαετίας σε υποβρύχια καλώδια μέσης τάσης η άγκυρα αποτελεί τον υπ' αριθμόν ένα κίνδυνο βλάβης των υποβρύχιων καλωδίων στην Ελλάδα. Το γεγονός αυτό φαίνεται να είναι σε συμφωνία με την ύπαρξη των δεκάδων διάσπαρτων νησιών στην Ελληνική επικράτεια και κατά συνέπεια την έντονη δραστηριότητα ναυσιπλοΐας που παρατηρείται και την πολλαπλή στατιστικά χρήση αγκυρών.

Αρχικά φαντάζει παράδοξο τη στιγμή που υπάρχουν χάρτες ναυσιπλοΐας ενημερωμένοι με τις ποντίσεις καλωδίων να υφίστανται περιπτώσεις βλάβης καλωδίου από άγκυρες. Παρ' όλ' αυτά μια κατηγορία ποντίσεων αγκυρών συμβαίνει

για ακούσιους λόγους. Αιτίες όπως κακή ασφάλιση της άγκυρας ή χρήση του συστήματος αγκυροβολίας από πλήρωμα υπό την επήρεια ουσιών ή αλκοόλ έχουν κατά καιρούς καταγραφεί. Άλλη αιτία είναι η άπαρση του πλοίου μετά από αγκυροβόλιο δίχως την ανέλκυσή της ή η παρέαση της άγκυρας επειδή το πλοίο «ξεσέρνει» λόγω καιρού.

Εκτός από τους ακούσιους λόγους πόντισης της άγκυρας είναι δυνατό να έχουμε και ηθελημένη πόντιση στην που τίθενται θέματα ασφάλειας ναυσιπλοΐας λόγω αδυναμίας χειρισμών πηδαλίου ή προωστηρίου σκεύους. Το παραπάνω γεγονός είναι στατιστικά σημαντικό ιδίως σε χειρισμούς πλησίον ή εντός των λιμανιών προσδέσεως. Ένας ακόμη λόγο πόντισης της άγκυρας είναι κατά την αναμονή έξωθεν των λιμένων λόγω είτε αυξημένης κυκλοφορίας είτε ενδεχόμενης απεργίας των λιμενεργατών. Όλοι οι παραπάνω λόγοι συμβάλουν άλλος λιγότερο και άλλος περισσότερο στην πόντιση των αγκυρών σε σημεία που είναι ποντισμένα καλώδια και κατ' επέκταση στον τραυματισμό τους.

Πίνακας 3.1 :Βάθος διείσδυσης συναρτήσει εκτοπίσματος πλοίου

Εκτόπισμα πλοίου (tons)	Βάρος άγκυρας (tones)	Βάθος διείσδυσης σε λασπώδες υπόστρωμα	Βάθος διείσδυσης σε αμμώδες υπόστρωμα
1000	1.0	~1.0m	~0.5m
5000	2.8	~2.0m	~1.0m
15000	4.6	~3.0m	~1.5m
50000	8.2	~4.0	~2.0
100000	12.4	~5.0m	~2.5m

Υπάρχει ένας τεράστιος αριθμός αγκυρών σε διάφορα μεγέθη και σχήματα βάρος μιας άγκυρας πλοίου μπορεί να φτάσει τους 30 τόνους. Χαρακτηριστική η περίπτωση του κρουαζιερόπλοιου “Queen Mary 2” που το βάρος της άγκυρας φτάνει τους 23 τόνους.

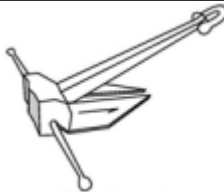


Η προστασία των καλωδίων με ταφή παρέχει προστασία έναντι των αγκυρών όμως πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα παρακάτω:

-Μία ογκώδης άγκυρα με μεγάλο βάρος έχει υψηλή πιθανότητα τραυματισμού καλωδίου ακόμη και θαμμένου σε απ' ευθείας χτύπημα.

-Βαριά άγκυρα φέρεται από ογκώδες και μεγάλου εκτοπίσματος πλοίο και η παρέαση της άγκυρας από αυτό το πλοίο οδηγεί την άγκυρα σε μεγάλη διείσδυση στον πυθμένα και αυτό σε συνδυασμό με την ποιότητα του βυθού μπορεί να προκαλέσει ζημιά στο θαμμένο καλώδιο.

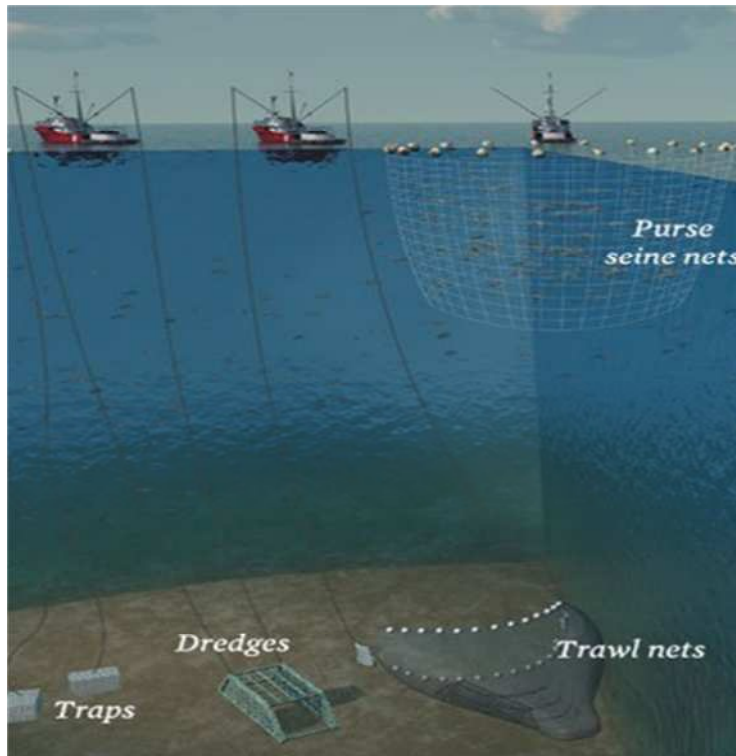
Έρευνες στη «ράδα» του λιμένα Πειραιά για τον εντοπισμό άγκυρας 3 τόνων έδειξαν ότι οι άγκυρες στην περιοχή αυτή διεισδύουν κατά τη σύρση τους στον πυθμένα σε βάθος μικρότερο του 1 μέτρου

Πίνακας 3.2: Τύποι αγκυρών που χρησιμοποιούνται σε εμπορικά πλοία

Κλάση	Τύπος άγκυρας	Εικόνα
D	Danforth	
E	Snugstow	
F	Stockless	

(β) Αλιευτική δραστηριότητα

Η αλιευτική δραστηριότητα με μηχανότρατες αποτελεί μία από τις βασικότερες απειλές για τα υποβρύχια καλώδια και τη δεύτερη σε μέγεθος αιτία βλάβης καλωδίων στη μελέτη κόστους –αποτελεσματικότητας που ακολουθεί στο κεφάλαιο 5. Στην αλιεία με μηχανότρατες τα εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται είναι οι υδραετοί (πόρτες), το δίκτυ που είναι ανάμεσα στους υδραετούς και τα συρματόσχοινα που τραβούν τους υδραετούς. Οι υδραετοί είναι συνήθως μήκους 2 έως 2,5 μέτρα, ύψους 1,1 έως 1,7 μέτρα πάχους 0,2 μέτρα και βάρους που φτάνει μέχρι και τα 3.500kg. Το βάρος υδραετών εξαρτάται από την μεταφορική ικανότητα και τα λοιπά χαρακτηριστικά του αλιευτικού. Στην Ελλάδα δεν συναντώνται υδραετοί αυτού του μεγέθους. Η μηχανότρατα σέρνει τους υδραετούς πίσω της με ταχύτητα που κυμαίνεται μεταξύ δύο και τεσσάρων κόμβων ενώ κατά την πορεία τους καταφέρνουν να διεισδύσουν στα ιζήματα του πυθμένα μέχρι 30-40 cm ανάλογα με την ποιότητα και τη μορφολογία του πυθμένα (μαλακός πυθμένας π.χ. αμμώδης ή λασπώδης επιτρέπει μέγιστη διείσδυση). Οι μηχανότρατες κάνουν αλιεία σε βάθη από 20 έως 800 μέτρα ενώ στον Ελλαδικό χώρο η αλιεία περιορίζεται συνήθως σε βάθη μέχρι 600 μέτρα αναλόγως του μηχανολογικού εξοπλισμού της μηχανότρατας. Χαρακτηριστικό είναι ότι έχει υπολογιστεί πως η δύναμη κρούσης σε ένα καλώδιο που προσκρούει οριζόντια ένας υδραετός βάρους 1900 kg με ταχύτητα παρέασης στους 2,9 κόμβους είναι στους 11 τόνους.



Εικόνα 3.4: Εξοπλισμός Αλιείας

Ο υφιστάμενος κίνδυνος για τα υποβρύχια καλώδια βρίσκεται στην περιπλοκή του υδραετού κατά το σύρσιμο στον πυθμένα ή κατά την ανέλκυση με το καλώδιο που είναι κείμενα ποντισμένο. Κατά την εμπλοκή του καλωδίου στον υδραετό είναι πιθανό να συμβεί είτε ανέλκυση του καλωδίου εφόσον υπάρχει περίσσεια καλωδίου ποντισμένη στον πυθμένα είτε θραύση του καλωδίου εφόσον τα μηχανήματα ανάσυρσης του υδραετού είτε μεγαλύτερης μηχανικής αντοχής από αυτή του καλωδίου.

Είναι σημαντικό εδώ να αναφερθούν τα παρακάτω:

- σε περίπτωση καλωδίου υψηλής αντοχής σε θραύση υφίσταται αυξημένος κίνδυνος για την ευστάθεια της μηχανότρατας που κάνει την ανάσυρση καθόσον σε αυτή την περίπτωση το καλώδιο λειτουργεί ως «βαρύδι» και δίνει μεγάλη κλίση στην μηχανότρατα αυξάνοντας τον κίνδυνο ανατροπής της.
- τα σημερινά αλιευτικά είναι εξοπλισμένα με σύγχρονα συστήματα έλξης και παράσης υδραετών με αποτέλεσμα στην περίπτωση εμπλοκής του υδραετού με το καλώδιο να είναι ιδιαίτερα αυξημένη η πιθανότητα ανάσυρσης του καλωδίου στην επιφάνεια της θάλασσας.

(γ) Βλάβες κατά τη διαδικασία της πόντισης

Ενώ υπάρχουν πολλές καταγραφές και δεδομένα για βλάβες καλωδίων μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας της πόντισης παρ'όλ'αυτά ελάχιστα είναι τα κατεχόμενα στοιχεία για βλάβες που προκαλούνται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας της πόντισης ή ακόμη και της επισκευής ενός ήδη βεβλαμένου καλωδίου. Τα πιο πιθανά και τα πιο απίθανα ενδεχόμενα μπορεί να συμβούν κατά την εκτέλεση της διαδικασίας πόντισης ή επισκευής βεβλαμένου καλωδίου. Μεταξύ των παραπάνω ενδεχόμενων μπορούμε να αναφέρουμε τα σημαντικότερα παρακάτω:

-Αδυναμία τήρησης της θέσης του πλοίου μέσω του δυναμικού συστήματος λόγω κακοκαιρίας, κυμάτων, θαλάσσιων ρευμάτων ή μηχανικής βλάβης. Η απώλεια θέσης μπορεί να προκαλέσει στο καλώδιο αυξημένη τάση, «κουλούριασμα» ή περιστροφή. Σε κάποιες περιπτώσεις είναι δυνατό να απαιτηθεί ακόμη και απόρριψη του καλωδίου με τον κόφτη ανάγκης.

-Βλάβη από το σύστημα αγκυροβολίας. Σε αυτή την περίπτωση είναι δυνατό να προκληθεί ζημιά στο καλώδιο από το σύστημα τήρησης θέσης μέσω αγκυρών με εμπλοκή κάποιας άγκυρας και το προς πόντιση καλώδιο.

(δ) Άλλοι παράγοντες ανθρώπινης επικινδυνότητας

Εκτός των παραγόντων που αναφέρθηκαν παραπάνω υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός άλλων παραγόντων που δύναται να οδηγήσουν σε βλάβη ενός υποβρύχιου καλωδίου. Μεταξύ αυτών αναφέρονται τα ναυάγια, τα απόβλητα υποβρυχίων καθώς και τα ανενεργά παλιά καλώδια δημιουργούν αφενός έντονα ανώμαλο ανάγλυφο στον πυθμένα και αφετέρου σε περίπτωση βλάβης του καλωδίου και απαίτησης ανέλκυσης αυτού υπάρχει έντονα το ενδεχόμενο εμπλοκής του σε αυτό. Η στρατιωτική δραστηριότητα (ασκήσεις, εκτέλεση πυρών κ.α.) αποτελεί έναν εν δυνάμει κίνδυνο τραυματισμού Υ/Β καλωδίων. Τέλος η χρήση δυναμίτιδας είναι δυνατό να προκαλέσει επίσης βλάβες σε διερχόμενα καλώδια.

Για καθεμία από τις παραπάνω περιπτώσεις γίνεται ξεχωριστά έρευνα για την περιοχή που πρόκειται να ποντιστεί το καλώδιο και αφού συγκεντρωθούν όλες οι δυνατές πληροφορίες γίνεται ξεχωριστά αναφορά στην έκδοση της μελέτης ώστε να συμπεριληφθούν στους παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη για την επιτυχή κατάληξη του έργου πόντισης και στη συνέχεια λειτουργίας του υποβρύχιου καλωδίου.

Τέλος ιδιαίτερη μνεία μπορεί να γίνει στον έλεγχο παραγόντων που σπάνια μεν πιθανά δε δύναται να καθυστερήσουν προσωρινά την διαδικασία επικάθισης του καλωδίου όπως τουριστική δραστηριότητα στην περιοχή και μεταναστεύσεις ψαριών και πουλιών.

3.2 Διαδικασία πόντισης Υποβρύχιων καλωδίων

Η περιγραφή που παρουσιάζεται ακολούθως είναι μια γενική περιγραφή πόντισης ενός Υποβρύχιου Καλωδίου από σκάφος ποντίσεως καλωδίων (cable laying vessel, CLV). Συνηθίζεται η εταιρεία που αναλαμβάνει την επιχείρηση πόντισης ενός καλωδίου να εκδίδει αναλυτική οδηγία κατά την εκπόνηση της μελέτης πριν την έναρξη των εργασιών δίνοντας αναλυτικές πληροφορίες σχετικά με τη φύση της εργασίας, τα μέσα και τον εξοπλισμό που θα χρησιμοποιηθεί καθώς και την ακριβή διαδικασία που θα ακολουθηθεί κατά την φάση της αποθήκευσης του καλωδίου στο πλοίο, την αγκίστρωση του πρώτου άκρου του καλωδίου στον ένα σημείο προσαιγιάλωσης, την πορεία του καλωδίου κατά μήκος της διαδρομής ποντίσεως και τέλος την αγκίστρωση στο δεύτερο σημείο προσαιγιάλωσης. Εάν τα καλώδια που θα ποντιστούν είναι περισσότερα του ενός τότε διεθνής βιβλιογραφία συνιστά για την ασφάλεια των καλωδίων κατά την πόντιση, καθώς και την ανέλκυσής λόγω βλάβης, η απόσταση ανάμεσά στα καλώδια να είναι διπλάσια του βάρους και ποτέ μικρότερη των 100m.

1^η φάση :Φόρτωση καλωδίου. Η πρώτη φάση της επιχείρησης αφορά την μεταφορά του καλωδίου από το εργοστάσιο κατασκευής του στο CLV. Πρόκειται για μια διαδικασία φαινομενικά απλή, που εγκυμονεί όμως κρυφούς κινδύνους για την επιτυχή διεξαγωγή των επόμενων φάσεων. Η εκτέλεση δοκιμών στο καλώδιο πριν τη μεταφορά του στο πλοίο είναι επιβεβλημένη ώστε να εξασφαλιστεί η λειτουργικότητά του. Η τοποθέτηση προστατευτικού μεταλλικού περιβλήματος στις απολήξεις του καλωδίου θα το προστατεύσει από τις τοπικές τάσεις κατά τη διάρκεια της έλξης του από τα βαρούλκα του πλοίου. Στη συνέχεια ο έλεγχος του εξοπλισμού που θα χρησιμοποιηθεί κατά τη μεταφορά είτε από τη μεριά του εργοστασίου είτε από τη μεριά του πλοίου είναι απαραίτητος για να αποφευχθεί ενδεχόμενη δυσλειτουργία κατά την διάρκεια της μεταφορά του καλωδίου (μήκους μερικών χιλιάδων μέτρων) που θα σημαίνει καθυστέρηση στην εκτέλεση της επιχείρησης η οποία καθυστέρηση μεταφράζεται πάντα σε αύξηση του κόστους υλοποίησης του έργου. Ακολουθεί ο έλεγχος των μέσων και αποκατάσταση επικοινωνίας σε όλες τις θέσεις εργασίας. Πριν την έναρξη μεταφοράς του καλωδίου συνηθίζεται να εκτελείται η διαδικασία με εναλλακτικό σχοινί ώστε να εξασφαλιστεί η ορθή και ασφαλής λειτουργία του συστήματος σε συνδυασμό με την αδιάλειπτη επικοινωνία μεταξύ των διαφόρων θέσεων εργασίας. Στο εν λόγω σχοινί προσδένεται εν τέλει και το Υποβρύχιο καλώδιο και τραβιέται με τη βοήθεια των μηχανισμών έλξης του πλοίου (βαρούλκα) στην θέση εναπόθεσης και αποθήκευσής του.

Το Υ/Β καλώδιο φορτώνεται στους χώρους αποθήκευσης του CLV, με μεθοδικότητα και προσοχή με σκοπό την μεταφορά του στην περιοχή της πόντισης. Για την διασφάλιση της σωστής φόρτωσης η διαδικασία εκτελείται από εξειδικευμένο προσωπικό το οποίο είναι υπεύθυνο για όλη τη διαδρομή μεταφοράς του καλωδίου αλλά κυρίως για την τελική τοποθέτησή του στην ακριβή θέση στην δεξαμενή αποθήκευσης.



Εικόνα 3.5:Αριστερά Ράουλο επί της διαδρομής μεταφοράς καλωδίου
Δεξιά Χώρος αποθήκευσης καλωδίου επί πλοίου

Η μεταφορά του καλωδίου από τον αποθηκευτικό χώρο του εργοστασίου γίνεται μέσω οδηγών του καλωδίου γνωστοί και ως ραουλόδρομοι, με τα καλωδιακά μηχανήματα του πλοίου και περιελίσσεται στους ειδικούς αποθηκευτικούς χώρους του

πλοίου. Μετά τη φόρτωση γίνονται εκ νέου δοκιμές στο καλώδιο -εάν αυτό είναι απαραίτητο- για να εξασφαλιστεί η ασφαλής φόρτωσή του.

Προκαταρκτικοί έλεγχοι έναρξης διαδικασίας πόντισης

Οι έλεγχοι που εκτελούνται από τους ιθύνοντες της επιχείρησης θα μπορούσαν από μόνοι τους να αποτελούν μια ανεξάρτητη φάση. Αρχικά το πλοίο εκτελεί μια δοκιμαστική διαδρομή κατά μήκος της διαδρομής πόντισης του καλωδίου ώστε να εξασφαλίσει ότι όλα τα συστήματα υποστήριξης του πλοίου λειτουργούν και αποδίδουν ικανοποιητικά. Παράλληλα στα σημεία προσαιγιάλωσης ελέγχεται ο εξοπλισμός που θα χρησιμοποιηθεί για να τραβήξει το καλώδιο και να το ασφαλίσει στα σημεία αγκίστρωσης του. Ακολούθως ελέγχονται οι καιρικές συνθήκες αν επιτρέπουν την ασφαλή διεξαγωγή της επιχείρησης. Η διεξαγωγή της επιχείρησης συναρτήσεται των καιρικών συνθηκών εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τις δυνατότητες του πλοίου ποντίσεως σε εξοπλισμό.

Ενδεικτικά αναφέρονται οι περιορισμοί σε καιρικές συνθήκες για τη διεξαγωγή επιχειρήσεων πόντισης από το πολλαπλών χρήσεων σκάφος υποστήριξης (multi purpose support vessel) MPSV Argo II που χρησιμοποιείται σε πόντιση καλωδίων ως CLV.

Πίνακας 3.3α:Περιορισμοί κατά τη διαδικασία της πόντισης

	Κατά τη διάρκεια ταφής του καλωδίου
Ορατότητα	0,3 Km
Ύψος κύματος	1,5 m
Ταχύτητα ανέμου	15 m/sec
Θαλάσσιο ρεύμα	1,0 m/sec

Πίνακας 3.3β:Περιορισμοί κατά τη διαδικασία της πόντισης

	Κατά τη διάρκεια πόντισης του καλωδίου
Ύψος κύματος	1 m
Ταχύτητα ανέμου	10 m/sec
Θαλάσσιο ρεύμα	0,5 m/sec

2^η φάση :Προσαιγιάλωση του πρώτου άκρου. Αφού ολοκληρωθεί η δοκιμαστική διαδρομή και διερευνηθούν οι καιρικές συνθήκες ως προς την καταλληλότητα το CLV πηγαίνει στην προκαθορισμένη από τη μελέτη περιοχή και αγκυροβολεί αρόδου δηλαδή πλησίον της ακτής. Η πλοήγηση του πλοίου καθ' όλη τη διάρκεια της επιχείρησης βασίζεται όπως προαναφέρθηκε στη χρήση εξελιγμένων συστημάτων πλοήγησης DGPS (Differential Global Positioning System).

Το καλώδιο απλώνεται από το CLV στη θάλασσα πάνω σε πλωτήρες ώστε να καθίσταται δυνατή η κατεύθυνσή του. Με τη βοήθεια των πλωτήρων και με τη χρήση πλωτών μέσων το καλώδιο οδεύεται προς το σημείο προσαιγιάλωσης.



Εικόνα 3.6: Τοποθέτηση καλωδίου πάνω σε πλωτήρες κατά τη διαδικασία της πόντισης

Οι καιρικές συνθήκες και το μήκος του καλωδίου που έχει τοποθετηθεί σε πλωτήρες καθορίζουν τον αριθμό των πλωτών μέσω των οποίων θα χρησιμοποιηθούν για να τραβήξουν το καλώδιο. Για μικρά καλώδια και μικρές αποστάσεις από την ακτή ένα πλωτό μέσο είναι επαρκές να καλύψει τις ανάγκες

Παράλληλα τοποθετείται στην ακτή μια τροχαλία χειριζόμενη από ένα εργάτη (βαρούλκο) και απλώνεται ένα συρματόσχοινο το οποίο θα συνδεθεί με το Y/B καλώδιο σε περιοχή βάρους 1,5 με 2,0 μέτρα. Το καλώδιο τραβιέται στη συνέχεια μέσω του συρματόσχοινου που με τη σειρά του έλκεται από τον εργάτη που είναι τοποθετημένος στην ακτή.



Εικόνα 3.7: Αριστερά Εργάτης έλξης καλωδίου στο σημείο πάκτωσης. Δεξιά Ραουλόδρομος όδευσης καλωδίου στο σημείο προσαιγιάλωσης.

Ταυτόχρονα με την έλξη του καλωδίου που επιπλέει στους πλωτήρες από το CLV ξετυλίγουν συνεχώς το μήκος του καλωδίου ώστε να μην δημιουργούνται ανεπιθύμητες τάσεις κατά την έλξη από την ακτή.

Στην ακτογραμμή το καλώδιο τοποθετείται και μεταφέρεται πάνω σε ράουλα και οδηγείται στο φρεάτιο προσαιγιάλωσης ή στον τερματικό σταθμό ενώ παράλληλα αφαιρούνται από αυτό προσεκτικά οι πλωτήρες. Όταν τραβηχτεί το απαιτούμενο μήκος καλωδίου τότε αφαιρούνται προσεκτικά και οι ραουλόδρομοι και το καλώδιο έρχεται στην τελική θέση προσαιγιάλωσής του από εξειδικευμένο προσωπικό και ειδικά βοηθητικά μέσα.

Το άκρο του καλωδίου τοποθετείται με ειδικό σύστημα αγκίστρωσης σε υποδοχή που κατασκευάζεται από σκυρόδεμα στην ακτή προσαιγιάλωσης και λίγο πριν από τα σημεία μετάβασης των καλωδίων. Στο σημείο αυτό μετέπειτα κατασκευάζεται ειδικός σύνδεσμος (μουφάρισμα) ο οποίος συνδέει το Y/B καλώδιο με

αντίστοιχο υπόγειο καλώδιο ξηρά για την διασύνδεση της γραμμής με το ηπειρωτικό δίκτυο.

Η διαδικασία επικάθισης του καλωδίου στον πυθμένα αρχίζει από την ακτή ξεφουσκώνοντας σιγά σιγά τους πλωτήρες. Αυτή η εργασία γίνεται από δύτες που οδηγούν προσεκτικά το καλώδιο στον βυθό ή σε προσχεδιασμένους χάνδακες αναλόγως της πρόβλεψης της μελέτης.

Για ελαφρά καλώδια ή πολύ μικρές αποστάσεις από την ακτή το καλώδιο μπορεί να τραβηχτεί και χωρίς πλωτήρες, αναλόγως και της υπάρχουσας τυπικής κλίσης της ακτής.

Υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί βοηθητικά και πλωτή εξέδρα πόντισης από βάθος βυθού 2-3 μέτρα περίπου. Το καλώδιο σε αυτή την περίπτωση τοποθετείται στην εξέδρα που είναι εφοδιασμένη με ερπύστρια. Η ερπύστρια χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της ορθής τοποθέτησης του καλωδίου στο βυθό ή στην ήδη σκαμμένη σε αυτόν τάφο. Όταν η εξέδρα φτάσει στο CLV το καλώδιο αφαιρείται από αυτήν και συνεχίζεται η πόντιση από το καλωδιόπλοιο.

3^η φάση :πόντιση καλωδίου μεταξύ σημείων προσαιγιάλωσης.

Η πόντιση του καλωδίου συνίσταται στην απευθείας τοποθέτηση του καλωδίου στον βυθό από το CLV. Η όλη διαδικασία ελέγχεται από ένα άτομο πάνω στο πλοίο, τον προϊστάμενο ποντίσεως, ο οποίος και έχει τον έλεγχο τόσο της ταχύτητας του πλοίου όσο και της ταχύτητας του μηχανισμού ποντίσεως. Η ταχύτητα και η θέση του πλοίου κάθε στιγμή κατά τη διάρκεια της ποντίσεως ελέγχονται από το διαφορικό σύστημα προσδιορισμού θέσης του πλοίου (DGPS). Η διαδικασία βασίζεται συνήθως στην μέτρηση της τάσης που αναπτύσσεται λόγω της αλυσοειδούς από το καλώδιο στον εργάτη (μηχανισμός πόντισης) του πλοίου. Η τάση του καλωδίου μετριέται γι' αυτό το λόγο συνεχώς ηλεκτρονικά και η ένδειξη δίδεται στο κέντρο ελέγχου της διαδικασίας πόντισης καθώς και στη γέφυρα του πλοίου ώστε να είναι δυνατή η άμεση διόρθωση της ταχύτητας του πλοίου ανάλογα με το αν η τάση είναι εντός ή εκτός καθορισθέντων ορίων.



Εικόνα 3.8: Πόντιση καλωδίου από LCV

Για τον έλεγχο της ταχύτητας ποντίσεως του καλωδίου χρησιμοποιείται ο γραμμικός μηχανισμός που αποτελείται όπως ήδη αναφέρθηκε από κατάλληλα διατεταγμένες ρόδες μεγέθους φορτηγού ή από ερπύστριες. Πολύ σημαντική είναι η συνεχής καταγραφή της ταχύτητας πόντισης και του βάθους ώστε να υπολογίζεται η παραμένουσα τάνυση στο καλώδιο. Τόσο η θέση όσο και η απόκλιση του καλωδίου από την προκαθορισμένη πορεία καταγράφονται από το σύστημα πλοήγησης. Το καλώδιο τοποθετείται χωρίς περίσσεια στο βυθό ώστε να αποφευχθεί το ενδεχόμενο βυρινιάσματος ή ανεπιθύμητου κουλουριάσματος. Για το λόγο αυτό καθ' όλη τη διάρκεια υπάρχει μια μόνιμη τάνυση λόγω της αλυσοειδούς που δημιουργείται η οποία μάλιστα είναι και επιθυμητή γιατί διευκολύνει τον έλεγχο και την κατεύθυνση του καλωδίου όταν απαιτείται.

Η ταχύτητα ποντίσεως εξαρτάται από την τάνυση του καλωδίου κατά τη διάρκεια της πόντισης αλλά και από τις δυνατότητες του εξοπλισμού ποντίσεως του πλοίου. Ενδεικτικά αναφέρεται ως μέγιστη ταχύτητα ποντίσεως για το S/V Stanelco τα 30 m/min με μέση ταχύτητα ποντίσεως μεταξύ 20-30 m/min.

Όταν το CLV φτάσει και πάλι σε ένα προκαθορισμένο σημείο στη δεύτερη θέση προσαιγιάλωσης στην απέναντι ακτή η διαδικασία της πόντισης διακόπτεται προσωρινά και το πλοίο αγκυροβολεί αρόδου.

4^η φάση :Προσαιγιάλωση του δεύτερου άκρου.

Κατά την προσέγγιση του πλοίου στο δεύτερο σημείο προσαιγιάλωσης η ταχύτητα του πλοίου σταδιακά μειώνεται εξίσου και η ταχύτητα ποντίσεως του καλωδίου. Η πίεση που ασκείται στην καλωδιομηχανή πόντισης απομονώνεται μερικώς τοποθετώντας πλωτήρες ανακούφισης στο καλώδιο. Ένα σχοινί δεμένο γύρο από τους πλωτήρες στερεώνεται στην ακτή για να διατηρεί την τάνυση στην προκαθορισμένη διεύθυνση. Έχοντας μετρήσει το μήκος του σχοινιού μετράμε αντίστοιχο μήκος καλωδίου επί του πλοίου και αφήνοντας επιπλέον ένα μήκος της τάξης των τριάντα ή παραπάνω μέτρων και στη συνέχεια κόβουμε το καλώδιο στο κατάλληλο σημείο καλύπτοντας το άκρο με προστατευτικό μεταλλικό περίβλημα, ώστε να είναι ελεύθερο το άκρο του να βγει στην ακτή.

Στη συνέχεια το CLV οπισθοδρομεί ώστε να εκταθεί το υπόλοιπο καλώδιο πάνω σε πλωτήρες στην επιφάνεια της θάλασσας. Το καλώδιο διατηρεί τη σωστή θέση μέσω των πλωτών σκαφών. Όταν το ελεύθερο άκρο απελευθερωθεί από το πλοίο τα πλωτά μέσα αναλαμβάνουν τραβώντας να το μεταφέρουν στο σημείο προσαιγιάλωσης στην ακτή.



**Εικόνα 3.9: Αριστερά Διαδικασία όδευσης καλωδίου στο δεύτερο σημείο προσαιγιάλωσης
Δεξιά Μεταφορά καλωδίου με πλωτήρες προς την ακτή**

Όταν το καλώδιο φτάσει σε βάθος 2 μέτρων περίπου γίνεται η διαδικασία τραβήγματος μέσω της τροχαλίας και του εργάτη. Το καλώδιο τραβιέται με συρματόσχοινο πάνω σε οδηγούς επί της ακτής μέσα στο χάνδακα. Ακολούθως το καλώδιο τραβιέται μέχρι να ευθυγραμμιστεί μεταξύ της ακτής και των πλωτήρων ανακούφισης. Δύτες και πάλι αφαιρούν τους πλωτήρες προς την ακτή και οδηγούν το καλώδιο στη θέση του στο βυθό ή στα προσχεδιασμένα χανδάκια. Η τροχαλία μέσω του εργάτη στην ακτή ρυθμίζει την τάνυση έλξης ανάλογα. Και στην περίπτωση του δεύτερου σημείου προσαιγιάλωσης εφόσον το καλώδιο είναι ελαφρύ ή σε πολύ μικρή απόσταση από την ακτή δύναται η μεταφορά του να γίνει δίχως τη χρήση πλωτήρων ενώ υπάρχει και η δυνατότητα χρησιμοποίησης και πλωτής εξέδρας πόντισης η οποία θα τοποθετηθεί κάτω από το επιπλέον καλώδιο στη θέση των πλωτήρων ανακούφισης. Οι πλωτήρες ανακούφισης αφαιρούνται και η πόντιση του καλωδίου στο βύθο ή σε χανδάκια εντός του βυθού συνεχίζεται μέχρι την ακτή. Όταν η πλωτή εξέδρα έρθει σε βάθος βυθού 2-3 μέτρα η πλωτή εξέδρα πόντισης απομακρύνεται από το καλώδιο. Οι υπόλοιποι πλωτήρες αφαιρούνται αφήνοντας τον αέρα να διαφεύγει.

Κάθε ενδεχόμενη περίσσεια ρυθμίζεται με την τροχαλία μέχρις ότου το καλώδιο πάρει τη σωστή θέση από την ακτή μέχρι και το σημείο προσαιγιαλώσεως ή του σταθμού τερματισμού. Τελικά οι ραουλόδρομοι αφαιρούνται και το καλώδιο αγκυστρώνεται.

Κεφάλαιο 4

Ο Στόλος

Οι ιδιόμορφες συνθήκες που υπάρχουν κατά τη διαδικασία πόντισης ενός υποβρύχιου καλωδίου και οι πολλαπλές παράμετροι που πρέπει να συνυπολογιστούν από τους αρμόδιους μηχανικούς επίβλεψης είχε σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη ενός ανεξάρτητου και ξεχωριστού τύπου πλοίων με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά ιδίως κατά τη διάρκεια των τελευταίων είκοσι χρόνων.

Οι σύγχρονοι κατασκευαστές καλωδίων είναι πλέον σε θέση να παραδώσουν προς εγκατάσταση μεγάλα μήκη καλωδίων της τάξης των 160km σε ένα κομμάτι. Πανίσχυρα πλοία επικάθισης καλωδίων (Cable laying vessel-CLV) με δυνατότητα χειρισμού περιστρεφόμενων καρουλιών (τράπεζα) ισχύος 6000tn μπορούν να επιχειρούν σε πάσης φύσεως θαλάσσιο περιβάλλον χρησιμοποιώντας εξελιγμένα δορυφορικά συστήματα διατήρησης θέσεως. Παράλληλα με την άνθηση της βιομηχανίας των υποβρύχιων οπτικών ινών στα καλώδια επικοινωνιών συντελέστηκε μια ιδιαίτερη άνθηση στα τηλεχειριζόμενα υποβρύχια οχήματα (Remote operated vehicles-ROV) τα οποία δεικνύουν ικανότητες τις οποίες πριν είκοσι χρόνια δεν μπορούσαμε ούτε να φανταστούμε.

Παρά την τεράστια εξέλιξη όμως που παρουσιάζεται στο στόλο των σκαφών πόντισης υποβρύχιων καλωδίων η όλη διαδικασία εξακολουθεί να αποτελεί πολλές φορές ένα δυσεπίλυτο γρίφο. Ο σχολαστικός σχεδιασμός της επιχείρησης σε συνδυασμό με λεπτομερή μελέτη ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του καλωδίου, τις ιδιαιτερότητες της γραμμής όδευσης και τις ικανότητες του σκάφους πόντισης αποτελούν μονόδρομο για την επιτυχή έκβαση της διαδικασίας.

Ακολουθώς θα αναφερθούμε αναλυτικά στα χαρακτηριστικά που παρουσιάζουν τα πλοία στο στόλο των σκαφών πόντισης των καλωδίων.

4.1 Γενικά Χαρακτηριστικά πλοίων πόντισης καλωδίων

Τα CLV αποτελούν την καρδιά σε μια επιχείρηση επικάθισης υποβρύχιου καλωδίου. Σήμερα πλέον μπορούμε να μιλάμε για σκάφη που καλύπτουν ένα τεράστιο φάσμα μεγεθών και δυνατοτήτων. Οι ιδιαιτερότητες μιας επιχείρησης πόντισης είναι τόσες ώστε ο στόλος πόντισης καλωδίων επικοινωνιών τις περισσότερες φορές δεν είναι συμβατός για πόντιση καλωδίων ισχύος ή για να γίνει απαιτούνται εκτεταμένες μετασκευές λόγω των μεγαλύτερων τάσεων που αναπτύσσονται κατά την έκταση του καλωδίου.

Εκτός από τα αμιγώς χρησιμοποιούμενα σκάφη για την πόντιση των καλωδίων δύναται να χρησιμοποιηθούν ενίοτε και φορηγίδες ρυμουλκούμενες μετασκευασμένες προσωρινά για την επιχείρηση.

Οι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη για την κατασκευή ενός CLV είναι οι παρακάτω:

Χωρητικότητα φορτίου. Πρόκειται για την μεταφορική ικανότητα καλωδίου που έχει το σκάφος και μετράται σε τόνους. Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι όσο μεγαλύτερη είναι η χωρητικότητα φορτίου τόσο μειώνεται αφενός ο αριθμός συνδέσεων που θα απαιτηθεί να γίνουν στο καλώδιο στη θάλασσα και αφετέρου ο χρόνος διεξαγωγής της επιχείρησης (δεν θα απαιτηθεί δεύτερο ή τρίτο δρομολόγιο μεταφοράς καλωδίου). Επειδή όλα τα παραπάνω μεταφράζονται σε κόστος είναι πολύ σημαντική παράμετρος

η χωρητικότητα φορτίου. Τα μεγάλα CLV έχουν χωρητικότητα που ξεπερνά τους 6000 τόνους.

Περιστρεφόμενες τράπεζες. Οι περιστρεφόμενες τράπεζες αποτελούν βασικό εξάρτημα των CLV. Πρόκειται για κατ' ουσία για καρούλια με κατακόρυφο άξονα περιστροφής και την ικανότητα να αποθηκεύουν μεγάλης διατομής καλώδια με σημαντικό συντελεστή δυσκαμψίας τα οποία δεν είναι δυνατό τα αποθηκευτούν στις δεξαμενές αποθήκευσης καλωδίων.

Η διάμετρος μιας τράπεζας είναι δυνατό να φτάσει τα 30 μέτρα και ο έλεγχός της συνήθως γίνεται υδραυλικά. Ορισμένα σκάφη έχουν τη δυνατότητα να φέρουν δύο ανεξάρτητες τράπεζες με ικανότητα έτσι ταυτόχρονης πόντισης δύο ξεχωριστών καλωδίων.



Εικόνα 4.1 : Περιστρεφόμενη τράπεζα μεγάλης διαμέτρου

Κάποιες περιστρεφόμενες τράπεζες μπορεί να είναι διαιρούμενες και να αποτελούνται από την εσωτερική και εξωτερική διαίρεση με δυνατότητα απόθεσης καλωδίου και στα δύο τμήματα. Για τη μεταφορά μικρότερων υποβρύχιων καλωδίων είναι δυνατόν να εγκατασταθούν μικρές τράπεζες προσωρινά στο κατάστρωμα του σκάφους μόνο για τις ανάγκες της συγκεκριμένης επιχείρησης.



Εικόνα 4.2 : Φότρωση καλωδίου σε περιστρεφόμενη τράπεζα αποθήκευσης

Δεξαμενές αποθήκευσης καλωδίων. Οι δεξαμενές αποθήκευσης καλωδίων μπορεί να είναι κυκλικής διαμέτρου ή παραλληλόγραμμες και χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση καλωδίων με μικρό συντελεστή δυσκαμψίας. Το καλώδιο συνήθως εναποτίθεται με τη βοήθεια ενός διαμορφωτή, εξάρτημα που τοποθετεί το καλώδιο σπειροειδώς.

Η σωστή τοποθέτηση του καλωδίου θα επιτρέψει την εξαγωγή του από την αποθήκη για πόντιση δίχως να υπάρξουν ανεπιθύμητες τάσεις λόγω κομπιάσματος. Μια ομάδα από έμπειρο προσωπικό επιβλέπει επί τούτου τη διαδικασία αποθήκευσης.



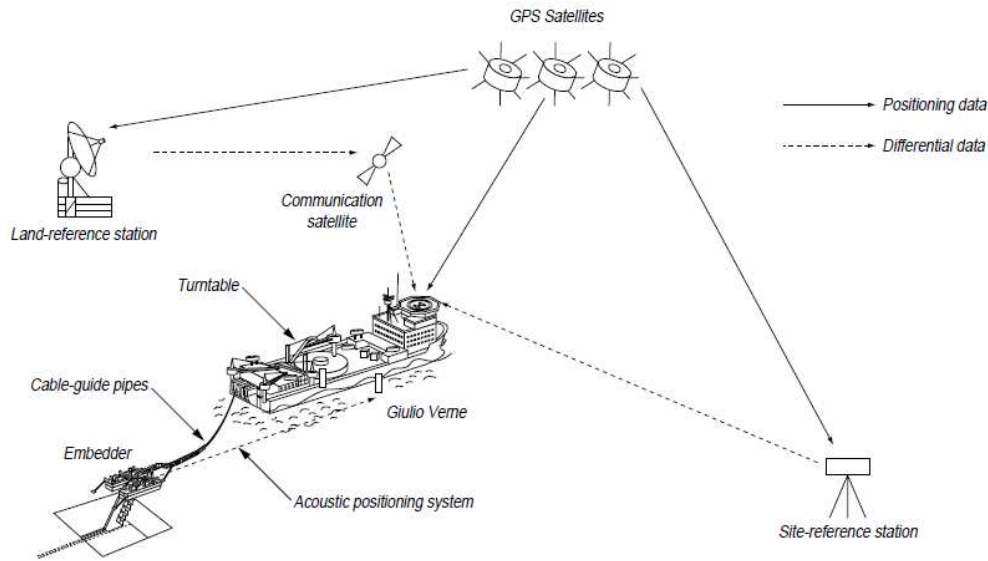
Εικόνα 4.3 :Τοποθέτηση καλωδίου από εξειδικευμένο προσωπικό

Καρούλια καλωδίων. Σε αρκετές περιπτώσεις καλωδίων όπου δεν υπάρχει απαίτηση μεγάλου μήκους (400-800 μέτρα) δεν είναι απαραίτητη η ύπαρξη περιστρεφόμενης τράπεζας. Σε αυτή την περίπτωση την επιχείρηση πόντισης μπορεί να την φέρει σε πέρας εξίσου καλά φορτηγίδα ρυμουλκούμενη στην οποία είναι προσαρμοσμένα κατάλληλα μικρά καρούλια καλωδίων με οριζόντιο άξονα περιστροφής. Ειδική περίπτωση σκαφών είναι εκείνα πόντισης αγωγών όπου δύναται να φέρουν μεγάλα καρούλια με οριζόντιο άξονα περιστροφής και μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για την πόντιση καλωδίων ισχύος.



Εικόνα 4.4 :Αριστερά Μέσα αποθήκευσης καλωδίου, διακρίνεται περιστρεφόμενη τράπεζα, καρούλια διαφόρων μεγεθών. Δεξιά Κατακόρυφο περιστρεφόμενο τύμπανο αποθήκευσης καλωδίου

Δυνατότητα ακριβούς προσδιορισμού θέσης. Μια σημαντική παράμετρος που λαμβάνεται υπόψη στα CLV είναι η ικανότητα να διατηρούν ακριβή θέση κατά την διέλευσή τους από μία συγκεκριμένη πορεία. Η ικανότητα αυτή είναι πολύ σημαντική δεδομένου του γεγονότος ότι σε περίπτωση έστω και μικρής απόκλισης από την προσχεδιασμένη πορεία η επικάλυψη του καλωδίου θα γίνει σε λάθος κατεύθυνση και το κόστος για την διόρθωση του λάθους μεγάλο τόσο σε χρόνο όσο και σε χρήμα.



Εικόνα 4.5 : Απεικόνιση ταυτόχρονης διάνοιξης χάνδακος και εναπόθεσης υποβρύχιου καλωδίου. Η θέση του εκσκαφέα ελέγχεται από το πλοίο με τη βοήθεια διαφορικού δορυφορικού συστήματος προσδιορισμού θέσης DGPS

Το συγκεκριμένο πρόβλημα πολλαπλασιάζεται σε σημαντικότητα στην περίπτωση που η πόντιση του καλωδίου γίνεται σε διανοιγμένο χάνδακα και η απόκλιση της πορείας του CLV θα συνεπάγεται επικάλυψη του καλωδίου δίπλα στον χάνδακα με ότι αυτό σημαίνει. Η εξασφάλιση ακριβούς προσδιορισμού θέσης γίνεται στην συντριπτική πλειοψηφία των περιπτώσεων με χρήση διαφορικού συστήματος GPS (Differential GPS system).



Εικόνα 4.6 : Απεικόνιση πόντισης καλωδίου από CLV

Το παραπάνω σύστημα είναι σε θέση να διορθώνει την ληφθείσα από τους δορυφόρους θέση μέσω ενός άλλου τοπικού ή απομακρυσμένου σταθμού. Πολλές φορές χρησιμοποιείται παράλληλα με το κύριο σύστημα προσδιορισμού θέσης και έτερο ως δευτερεύόν για ασφαλέστερη επίτευξη ακριβούς θέσης.

Δυνατότητα ακριβούς διατήρησης θέσης. Την διατήρηση ή διόρθωση της ακριβούς θέσης του το CLV μπορεί να την επιτύχει με δύο τρόπους.

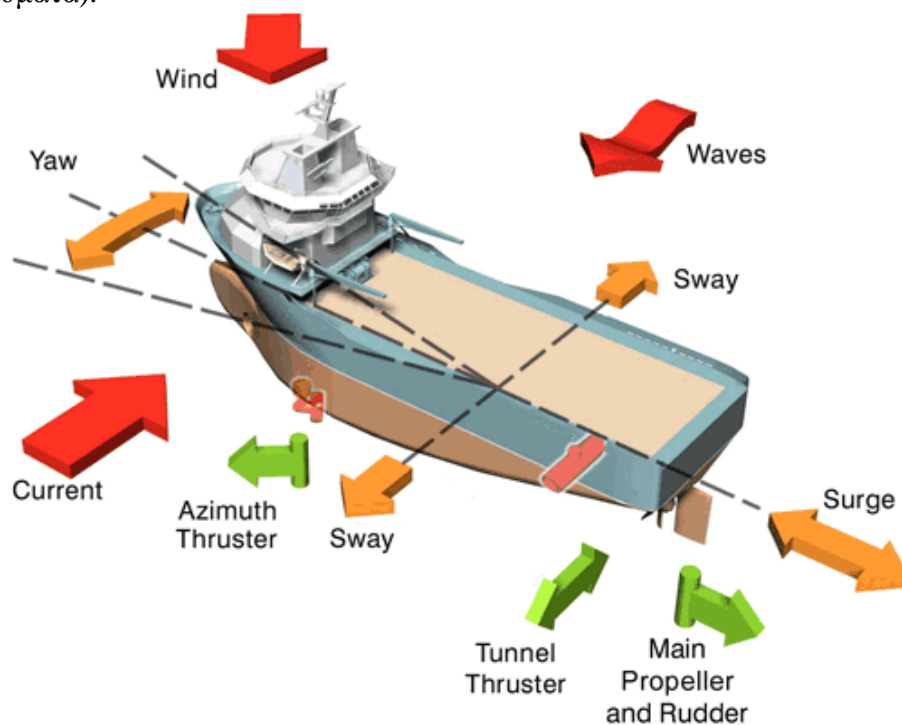
Ο κλασικός τρόπος είναι με την χρήση του συστήματος αγκυροβολίας. Σε αυτή την περίπτωση το CLV ελέγχει την πορεία του μέσω ενός συστήματος ποντισμένων αγκυρών προς όλες τις κατευθύνσεις –τέσσερις έως οκτώ- συνήθως σε σχήμα βεντάλιας. Οι άγκυρες αυτές ελέγχονται από εργάτες τοποθετημένους στο κατάστρωμα του CLV. Το σύστημα αγκυρών για τον έλεγχο και τη διατήρηση της θέσης είναι αρκετά αποτελεσματικό αλλά ιδιαίτερα επικίνδυνο όταν εφαρμόζεται σε περιοχές που είναι ποντισμένα άλλα καλώδια ή αγωγοί. Πρέπει επίσης να δίνεται προσοχή ώστε να μην προκληθεί ζημιά στο ήδη ποντισμένο καλώδιο. Πρόκειται για

ένα κουραστικό και χρονοβόρο σύστημα διατήρησης θέσης είναι όμως κατά πολύ οικονομικότερο από την χρήση του σύγχρονου δυναμικού συστήματος διατήρησης θέσης που θα αναφερθεί αμέσως μετά.



Εικόνα 4.7 : Δυναμικά συστήματα ακριβούς διατήρησης θέσης Αριστερά bow thruster, Δεξιά Azimuth pods

Το δυναμικό σύστημα διατήρησης θέσης (DP) διατηρεί δυναμικά τη θέση του σκάφους μέσω μοντέρνων και ιδιαίτερα εξελιγμένων τεχνολογικά δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης. Το σύστημα DP μπορεί να κατευθύνει το CLV επακριβώς κατά μήκος προκαθορισμένης πορείας εφόσον οι συνθήκες είναι εκτός των προκαθορισμένων από τον κατασκευαστή ορίων (ταχύτητα ανέμου, ύψος κύματος, θαλάσσια ρεύματα).



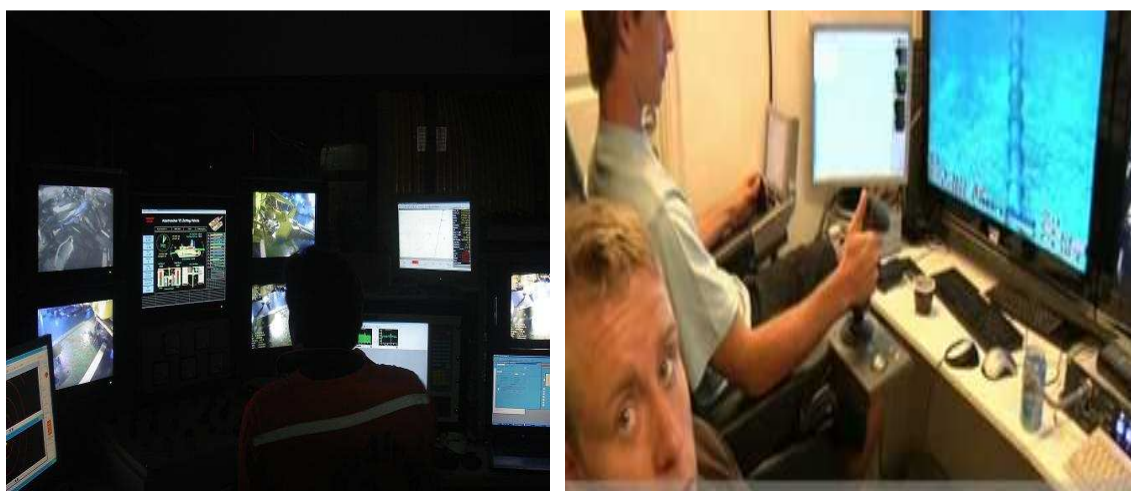
Εικόνα 4.8:Ελευθερίες κινήσεως πλοίου CLV

Ο συνδυασμός παραδοσιακού τύπου προπελών περιστρεφόμενων ακόμη και κατά 360 μοίρες με τη χρήση πηδαλίων δίνει τη δυνατότητα κατεύθυνσης του σκάφους στην επιθυμητή διεύθυνση. Ακόμη και χωρίς τη χρήση πηδαλίων οι προωθητήρες είναι σε θέση να κατευθύνουν επακριβώς το σκάφος με οποιαδήποτε ταχύτητα σε οποιαδήποτε κατεύθυνση. Το DP συνδυαζόμενο με δορυφορικό GPS αποτελεί την τελευταία λέξη της τεχνολογίας στην πόντιση καλωδίων είναι όμως

εξαιρετικά ακριβό σύστημα με αποτέλεσμα συχνά να προτιμάται το σύστημα αγκυρών που αναφέρθηκε παραπάνω.

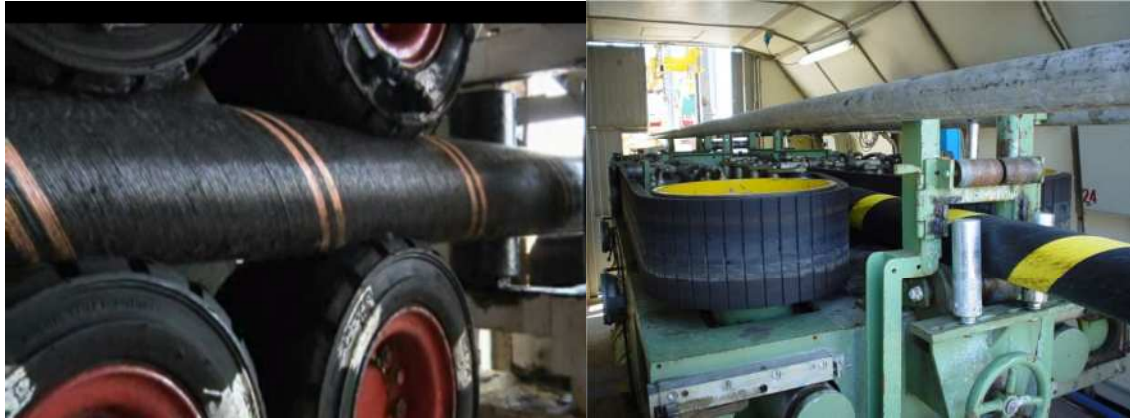
Χώρος διασύνδεσης καλωδίων. Η ένωση (μάτιση) δύο καλωδίων είναι μια ιδιαίτερη διαδικασία εξαιτίας του γεγονότος ότι το καλώδιο που ματίζεται πρέπει να έχει απόλυτη υδατοστεγανότητα αφού πρόκειται να λειτουργήσει στον θαλάσσιο πυθμένα. Για το λόγο αυτό απαιτείται η ύπαρξη ειδικού χώρου καθώς και ειδικού εξοπλισμού. Ο χώρος μάτισης καλωδίων πρέπει να έχει ηλεκτρική τροφοδότηση, κλιματισμό και αφυγραντήρα ώστε να εξασφαλίζονται οι απαιτούμενες περιβαλλοντολογικές για τη μάτιση των καλωδίων συνθήκες. Για λόγους εργονομίας το δωμάτιο μάτισης είναι πλησίον του μηχανισμού απόθεσης του καλωδίου ενώ για λόγους ασφαλείας έχει ανεξάρτητο σύστημα επικοινωνίας και alarm με τη γέφυρα του πλοίου.

Κέντρο ελέγχου ποντίσεως. Είναι ο χώρος στον οποίο βρίσκονται οθόνες με ενδείξεις για την τήρηση της θέσης του πλοίου, την επίβλεψη της διαδικασίας, ποντίσεως, τον τηλεχειρισμό του κόφτη ανάγκης, καθώς και τον έλεγχο του βαθυσκάφους και του λοιπού καταλυτικού εξοπλισμού. Ο συγκεκριμένος χώρος αποφεύγεται να είναι στη γέφυρα ή στο κέντρο ελέγχου προώσεως και για λόγους εργονομίας βρίσκεται σε θέση που παρέχεται άμεση οπτική επαφή της διαδικασίας αφέσεως του καλωδίου.



Εικόνα 4.9: Αριστερά Κέντρο Ελέγχου Ποντίσεως
Δεξιά Χειριστής ROV

Εντατήρες καλωδίων. Αποκαλείται επίσης και γραμμικός μηχανισμός ενώ είναι απαραίτητος για την κίνηση των καλωδίων στο κατάστρωμα του πλοίου καθώς και για να προσδώσει την απαραίτητη τάνυση κατά τη διάρκεια του ποντίσματος του καλωδίου. Πολλοί γραμμικοί μηχανισμοί χρησιμοποιούν κοινά ελαστικά μεγέθους μεγάλου φορτηγού.



Εικόνα 4.10: Αριστερά ,Δεξιά Εντατήρες καλωδίων

Τις περισσότερες φορές το σύστημα που κινεί τους τροχούς είναι υδραυλικό λόγω των μεγάλων τάσεων που αναπτύσσονται και των απαιτήσεων για αυξημένη ροπή περιστροφής. Πολλά γραμμικά συστήματα έχουν τη δυνατότητα ρύθμισης της ταχύτητας περιστροφής. Όταν το καλώδιο έχει αναπτυχθεί στον πυθμένα ο μηχανισμός μπορεί να λειτουργήσει και ως φρένο στην ταχύτητα ποντίσεως του καλωδίου και αν απαιτηθεί να την μηδενίσει απορροφώντας την τάση που δημιουργείται από την αλυσοειδή του καλωδίου. Εναλλακτικά αντί για τροχούς δύναται να χρησιμοποιηθούν γραμμικοί μηχανισμοί με ιμάντες. Οι ιμάντες λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο με τις ρόδες ως ρυθμιστές ταχύτητας ποντίσεως και ως φρένο ενώ είναι γνωστοί και ως ερπύστριες.

Και στις δύο περιπτώσεις γραμμικών μηχανισμών η καλή πρόσφυση μεταξύ καλωδίου και μηχανισμού ολίσθησης είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την ασφαλή και λειτουργική εκτέλεση της διαδικασίας πόντισης του καλωδίου.

Κόφτης ανάγκης. Επειδή οι συνθήκες περιβάλλοντος επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό τη διεξαγωγή της επιχείρησης είναι πιθανό κάτω από συγκεκριμένες που κινδυνεύει η ασφάλεια προσωπικού και υλικού να απαιτηθεί να κοπεί το καλώδιο άμεσα με επείγουσες διαδικασίες. Για τον παραπάνω λόγο είναι επιβεβλημένη η ύπαρξη επί του πλοίου διάταξης συνήθως υδραυλικά τηλεχειριζόμενης η οποία είναι σε θέση να κόψει το καλώδιο ταχέα σε χρόνο 60 με 90 δευτερόλεπτα. Για την περίπτωση αποτυχίας λειτουργίας του κόφτη ανάγκης είναι σε ετοιμότητα και ένα μέλος του προσωπικού με αυτόνομο βενζινοκίνητο χειροκίνητο πριόνι.

Βαθυσκάφος ROV. Ένα μεγάλο μέρος των διαδικασιών από την απόφαση πόντισης ενός Υ/Β καλωδίου ισχύος μέχρι την ολοκλήρωση της επιχείρησης εκτελείται με την βοήθεια βαθυσκάφους. Πρόκειται για μία υποβρύχια τηλεχειριζόμενη συσκευή με δυνατότητα να εξοπλιστεί με διαφορετικά εξαρτήματα-εργαλεία, να απεικονίσει εικόνες από το βυθό και να εκτελέσει πολυσύνθετες διαδικασίες. Η χρήση της κάμερας προσφέρει τη δυνατότητα καταγραφής πολύτιμων στοιχείων για την ποιότητα και τη μορφολογία ενώ κατά τη διάρκεια της πόντισης αποτελεί τα μάτια του υπεύθυνου μηχανικού για την ασφαλή πόντιση αφού αποτρέπει επικάθιση του καλωδίου σε σημεία που δύναται να του προκαλέσουν φθορά. Το ROV μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την επιθεώρηση ενός καλωδίου ή για την διαδικασία εντοπισμού υφιστάμενης βλάβης και επισκευής της. Επί του CLV πρέπει να υπάρχει ξεχωριστός χώρος αποθήκευσής του, συντήρησης-επισκευής αν απαιτηθεί καθώς και ικανά συστήματα βύθισης και ανακρέμασης (γερανός κ.τ.λ.) και ειδικός χώρος για τον τηλεχειρισμό και την λήψη των εικόνων που στέλνει από το βυθό.



Εικόνα 4.11: Αριστερά, Δεξιά Υποβρύχιο όχημα ROV, Κέντρο απεικόνιση σε οθόνη εικόνας από ROV

Λοιπός εξοπλισμός. Στον λοιπό εξοπλισμό περιλαμβάνεται μία πλειάδα μηχανημάτων, εξαρτημάτων, μηχανισμών και ειδικών εργαλείων που διευκολύνουν την διαδικασία της πόντισης του καλωδίου. Σε κάθε επιχείρηση ποντίσεως Υ/Β καλωδίου πρέπει να επιλέγεται ο κατάλληλος εξοπλισμός λαμβανομένου υπόψη αφενός τις ειδικές απαιτήσεις εκτελέσεως του έργου και αφετέρου την ασφάλεια προσωπικού και υλικού. Μεταξύ των μηχανημάτων –εξαρτημάτων αναφέρονται ενδεικτικά οι ραουλδόδρομοι πάνω στους οποίους μεταφέρεται το καλώδιο στα σημεία προσαιγιάλωσης ή στο κατάστρωμα του πλοίου, διάφορα είδη γερανών ως βοηθητικά μέσα, σκαπτικά μηχανήματα τα οποία μπορεί να είναι και Υ/Β τηλεχειριζόμενα, διάφοροι κόφτες, μηχανήματα επικάθισης του καλωδίου στο βυθό κ.α.



Εικόνα 4.12: σκαπτικά μηχανήματα διάνοιξης χάνδακος

Ελικοδρόμιο. Η ύπαρξη χώρου ελικοδρομίου στο CLV διευκολύνει την μετάβαση από και προς το σκάφος μελών του πληρώματος καθώς και του απαιτούμενου κατά περίπτωση εξειδικευμένου προσωπικού είτε πρόκειται για ειδικούς στους συνδέσμους, είτε για εντοπισμό βλάβης κατά μήκος της Υ/Β διασύνδεσης.



Εικόνα 4.13: Ελικοδρόμιο μεταφοράς προσωπικού σε CLV

4.2 Ο Στόλος πόντισης Y/B καλωδίων στην Ελλάδα

Κατά καιρούς στον Ελλαδικό χώρο έχουν δραστηριοποιηθεί διάφορες εταιρείες στις επιχειρήσεις ηλεκτρικής διασύνδεσης της ηπειρωτικής χώρας με τα δεκάδες διάσπαρτα νησιά ή της διασύνδεσης μεταξύ των νησιών. Το ήδη μεγάλο και συνεχώς αυξανόμενο Υποβρύχιο δίκτυο Μέσης και Υψηλής Τάσης αναπτύσσεται ολοένα και περισσότερο με την εγκατάσταση νέων καλωδίων και την διεξαγωγή νέων μελετών για περαιτέρω διασυνδέσεις. Εταιρείες όπως η Alcatel Kabel Norge, η Global Maritime N.E., η Assodivers EΠE κ.α. διαθέτουν πλοία ειδικά μετασκευασμένα και ικανά να φέρουν σε πέρας επιχειρήσεις πόντισης καλωδίων σε ένα ευρύ φάσμα βαθών και γενικότερων περιορισμών-ειδικών συνθηκών.

Θα ακολουθήσει αναλυτική αναφορά στα πλοία αλλά και τον ειδικό εξοπλισμό που μπορεί να φέρουν και που έχουν χρησιμοποιηθεί για την πόντιση των Y/B καλωδίων στην Ελλάδα τα τελευταία είκοσι χρόνια.

4.2.1 Καλωδιακό πλοίο «SKAGERRAK»

Το καλωδιόπλοιο «SKAGERRAK» κατασκευάστηκε το 1975 από την Øgreys Mekaniske Verksted στο Kristiansand στη Νορβηγία με αρχικές διαστάσεις: 90m μήκος, πλάτος 33m και μεταφορική ικανότητα 6600t. Το 1981 μετασκευάστηκε εκτεταμένα στο πρωραίο τμήμα του το οποίο και αντικαταστάθηκε, τοποθετήθηκαν νέες έλικες και προωστήριο σκεύος. Το πλάτος του μειώθηκε σε 32.1m έτσι ώστε θα μπορούσε να περάσει από τη διώρυγα του Παναμά, και το μήκος του αυξήθηκε σε 106. Ιδιοκτησιακά ανήκε αρχικά στην Statkraft, Norway (1975-2000) κατόπιν στην Havila Supply AS, Norway (2000-2003) στη συνέχεια στην Bourbon Offshore Norway AS, France (2003-2006) ώσπου το 2006 εξαγοράστηκε από την Nexans Norway AS, Norway (2006 onwards).

Η Nexans, μια από τις μεγαλύτερες παγκοσμίως εταιρείες στο πεδίο των υποβρύχιων καλωδίων. Με σκοπό να πρωταγωνιστήσει στις εξελίξεις στην πόντιση Y/B καλωδίων το εν λόγω πλοίο τον Ιανουάριο του 2010 υπέστη εκτεταμένες μετασκευές στα ναυπηγεία του CAMMEL Laird στο Ηνωμένο Βασίλειο όπου ξοδεύτηκαν κοντά στα 8 million euro, και δύο μήνες εντατικής εργασίας..

Κατά τον εκσυγχρονισμό το πλοίο μεγάλωσε στο μήκος κατά 12,5 μέτρα φτάνοντας έτσι τα 112,25 meters. Οι ενδιαιτήσεις αυξήθηκαν επίσης από 49 σε 60 άτομα ενώ αυξήθηκε και ο αποθηκευτικός χώρος στο κατάστρωμα από 900 m² σε 2000 m². Η αναβάθμιση αύξησε το ωφέλιμο εκτόπισμα από 7,886 tones σε 9,373 tones.

Το εν λόγω καλωδιόπλοιο αποτελεί μάλλον τη ναυαρχίδα των CLV είναι σχεδιασμένο να μεταφέρει και να εγκαθιστά καλώδια οποιασδήποτε ισχύος, βάρους ή τύπου ανά τον κόσμο. Σήμερα υπάρχουν μόνο δύο πλοία αυτού του μεγέθους στην πόντιση καλωδίων στον κόσμο. Το δεύτερο είναι το «GIULIO VERNE» για το οποίο γίνεται αναφορά παρακάτω. Το πλοίο δύναται να φέρει και επιπλέον εξοπλισμό με σκοπό την επισκευή κομμένων ή τραυματισμένων καλωδίων ενώ έχει δυνατότητα μεταφοράς μέσων για την ταφή των καλωδίων. Τέλος είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι υπάρχει δυνατότητα ταυτόχρονης πόντισης δύο καλωδίων εφόσον αυτό απαιτηθεί..



Εικόνα 4.14: CLV «SKAGERRAK»

Κύρια Χαρακτηριστικά

Έτος ναυπήγησης	1976
Χώρα ναυπήγησης	Νορβηγία
Κύριες διαστάσεις	
Μήκος	112,25 m
Πλάτος	32.15 m
Βύθισμα	8.13 (μέγιστο φορτίο)
Χωρητικότητα	
Ολική	13,773 tons
Ωφέλιμη	9,373 tons
Ταχύτητα	10 Κόμβοι
Μεταφορική Ικανότητα σε καλώδια	Ωφέλιμη Επιφάνεια καταστρώματος 2000 m ² Χωρητικότητα καταστρώματος 10 t/m Συνολική χωρητικότητα σε καλώδιο 6600 t
Ηλεκτρική ισχύς	Power generation 4 x 500 kVA 1 X 600 kVA
Εξοπλισμός Δυναμική τήρηση θέσης	Type Simrad ADP-503 Reference systems 2 x DGPS 1 x tracking USSBL transducer 1 x Artemis mk III 1 x Fanbeam (Optional)
Σύστημα Πρόωσης	ΠΜ προωθητήρες 2 x 1943 kW (2640 HP) azimuth units 1 X 1000 kW (1360 HP) azimuth unit ΠΡ προωθητήρες 1 x 1820 kW (2475 HP) retractable azimuth unit 1 x 957 kW (1300 HP) tunnel unit
Εξοπλισμός πόντισης καλωδίων	Περιστρεφόμενη τράπεζα 6600 t

Εξωτερική διάμετρος : 29 m
 Εσωτερική διάμετρος: 12 m
 Χωρητικότητα : 6600 t
 Βαρούλκο(pull/breaking capacity : 50 t)
 Μέγιστη ταχύτητα ποντίσεως : 50 m/min
 2 ΠΜ τροχαλίες (10 m και 5 m διάμετρος)
 Σύστημα ελέγχου διαδικασίας πόντισης με Computer
 Έλεγχος θέσης επικάθησης καλωδίου μέσω ROV
 Ανυψωτικά μέσα
 A-Frame 40 t SWL
 Κύριος προωραίος γερανός 20 t SWL
 Πρυμναίος γερανός 3 x 5 t SWL
 Βαρούλκα
 A & R winches 2 x 30 t SWL linear winches
 Stern cherry pickers 2 x hydraulic manriding cherry pickers for use during deployment of cable floats.
 Βαθυσκάφος ROV ARGUS Mariner XL
 Σκαπτικά μηχανήματα για ταφή καλωδίου
 Carjet 1MV
 60 άτομα

Λοιπός εξοπλισμός

Χώροι ενδίαιτησης



Εικόνα 4.15:Διάφορες λήψεις του CLV «SKAGERRAK».Διακρίνονται τα μέσα φορτοεκφόρτωσης των καλωδίων ,η περιστρεφόμενη τράπεζα αποθήκευσης καθώς και ο εξοπλισμός ποντίσεως.

4.2.2 Καλωδιακό πλοίο «GIULIO VERNE»

Ναυπηγήθηκε για εκμετάλλευση από την ITM Offshore Ltd., Middlesborough ως πλοίο πόντισης καλωδίων /εύκαμπτων σωληνώσεων και ονομάστηκε αρχικά ITM Venturer. Το 1987 το πλοίο αγοράστηκε από την Stena Offshore A/B, από την Σουηδία και μετονομάστηκε σε Northern Venturer. Πουλήθηκε ξανά το 1988 στην Davy Normanby Ltd., Middlesborough και εξακολούθησε να χρησιμοποιείται με τον ίδιο τρόπο και να δραστηριοποιείται στις Βόρειες θάλασσες. Πουλήθηκε ξανά το 1988 στην Ιταλική εταιρεία καλωδίων Italcable s.p.A., Sorrento και ξανά μετονομάστηκε σε Giulio Verne, ενώ δραστηριοποιήθηκε στην πόντιση καλωδίων στη Μεσόγειο Θάλασσα με βάση τη Νάπολη.

Υπέστη σοβαρές ζημιές τον Αύγουστο του 1999 κατά τη φόρτωση καλωδίου από εργοστάσιο της Pirelli κοντά στη Νάπολη. Ακολούθως επισκευάστηκε και χρησιμοποιείται για πόντιση καλωδίων από την Pirelli. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά αναφέρονται παρακάτω:



Εικόνα 4.16:CLV «GIULIO VERNE»

Κύρια Χαρακτηριστικά	
Έτος ναυπήγησης	1983 από την Hyundai Mipo Dockyard Ltd.
Χώρα ναυπήγησης	N.Κορέα (Ulsan)
Κύριες διαστάσεις	
Μήκος	133.18 m
Πλάτος	30.48 m
Βύθισμα	8.50 m (μέγιστο φορτίο)
Χωρητικότητα	
Ολική	10.617 tons
Ωφέλιμη	8.840 tons
Ιπποδύναμη	Daihatsu 6 DV 22A V12 2.200 BHP at 1.000 RPM 5.710 kW

Ταχύτητα Μεταφορική Ικανότητα σε καλώδια	10 Κόμβοι Συνολική χωρητικότητα φορτίου 8.000 tons. Μέγιστη χωρητικότητα περιστρεφόμενης τράπεζας 7.000 tons.
Ηλεκτρική ισχύς	Ωφέλιμη Επιφάνεια καταστρώματος 500 m ² Fuji 1500 KW 600 Volt GFV 563ZB-6Z <u>Ηλεκτογεννήτρια ανάγκης</u> Caterpillar 3508 DITA (Marine) 1500 RPM Hyundai Electrical Engineering HFC 3-454- 4 500 KVA
Εξοπλισμός Δυναμική τήρηση θέσης Σύστημα Πρόωσης	DP system: SIMRAD SDP 21. ΠΜ: 2 έλικες σταθερού βήματος Προωθητήρες σταθερού βήματος. Type: 1500/1000 ZS driven by Fuji Electric Motors 1000 RPM, 1250 kW, 600 Volt direct current. Speed control by SCR type ΠΡ: 2 προπέλες σταθερού βήματος Schottel Fixed Pitch Προωθητήρες με προπέλα. Type: S 1000 LSV driven by Fuji Electric Motors 720 RPM, 1250 kW, 600 Volt direct current. Speed control by SCR type. Βολβός : Tunnel thruster Type Kamewa TT 1650 K/BMS-CP 710 kW, 380 V, 50 Hz.
Εξοπλισμός Πόντισης Καλωδίων	3 ηλεκτρικούς εργάτες (βαρούλκα) 6 tons με ικανότητα πόντισης 15 m/μιν. 4 βαρούλκα στο Πρόστεγο(50 tons pull on). 2 μετά διπλού τιμπάνου βαρούλκα (80 tons pull on) Περιστρεφόμενη τράπεζα 7000 tons • Εξωτερική διάμετρος τραπέζης (Carousel) 25 m • Εσωτερική διάμετρος τραπέζης (Carousel) 6 m Ανυψωτικά μέσα 4 Γερανοί ανυψωτικής ικανότητας 25 tons στα 22 metres (360°) 1 Γερανός με ανυψωτική ικανότητα 13 tons στα 6 m 8 άγκυρες Flipper Delta 7 tons κάθε μια
Λοιπός εξοπλισμός	Πλωτά μέσα (λέμβοι) για το ξετύλιγμα του καλωδίου και την επικάθεισή του στο βυθό. • Κόφτες καλωδίων, φρένα κ.τ.λ.. • εξοπλισμός για δημιουργία συνδέσμων • εξοπλισμός για ηλ. ελέγχους • Σύστημα μέτρησης μήκους καλωδίου στην

**Χώροι ενδιαίτησης
Ηλεκτρονικά μέσα**

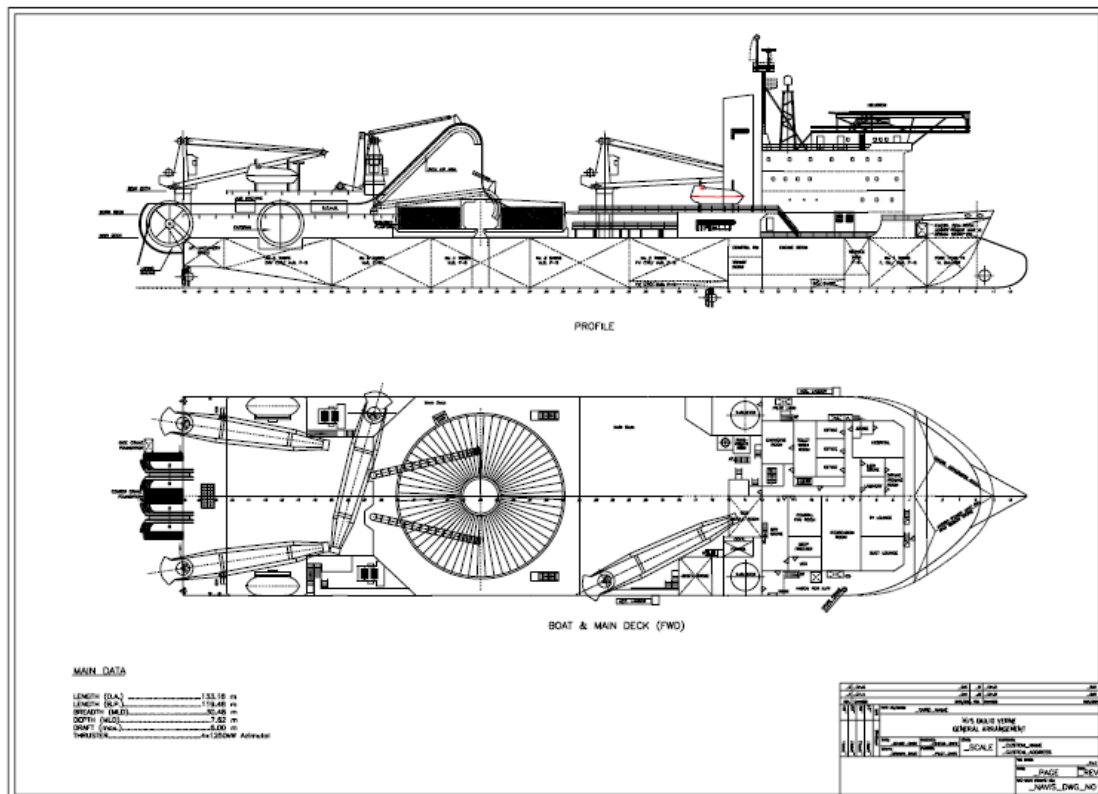
πόντιση
18 – 40 άτομα
2 Radar Kelvin Hughes
3 ηχοβολιστικά(Hydrographic Echo
Sounder SIMRAD EA500, JRC Type NJA
178 S, Kelvin Hughes)
1 Doppler Log JRC type JLN 203
4 GPS (2 Satellite Navigator Furuno GPS
GP 80,2 Trimble 4000 DS)
1 αυτόματος πιλότος στο DP System
3 Γυροπηξίδες (2 Gyro Compass Sperry
Type SR 220,
1 Gyro Compass Brown)

Ελικοδρόμιο

Το ελικοδρόμιο είναι εγκατεστημένο πάνω
από τη γέφυρα και δύναται να φέρει
ελικόπτερο 5080 kg.



Εικόνα 4.17:Διάφορες λήψεις του CLV «GIULIO VERNE».Διακρίνονται τα μέσα φορτοεκφόρτωσης των καλωδίων ,η περιστρεφόμενη τράπεζα αποθήκευσης καθώς και ο εξοπλισμός ποντίσεως



Εικόνα 4.18: Γενική Διάταξη του CLV «GIULIO VERNE»

4.2.3 Καλωδιακό πλοίο «ATALANTI»

Τον Μάιο 2010 η Assodivers παρέλαβε το νεόκτιστο DP-2 Cable Laying Barge "Atalanti" από τα Ναυπηγεία της Χαλκίδας, Ελλάδα. Η Assodivers Ιδρύθηκε το 1976 και είναι μια ιδιωτική εταιρεία με έδρα τον Πειραιά, στην Ελλάδα.

Το πλοίο σχεδιάστηκε για απόθήκευση και μεταφορά Υ/Β καλωδίων καθώς και πόντιση σε ρηχά νερά με τη χρήση εξελιγμένου συστήματος δυναμικής τήρησης θέσης, εκτέλεση εργασιών ταφής καλωδίου καθώς και δυνατότητα υποθαλάσσιων ερευνών και εργασιών επισκευής Υ/Β καλωδίων.

Το DP-2 CLB (Cable Lay Barge) "Atalanti" είναι σχεδιασμένο να μπορεί να φέρει τουλάχιστον 4.000 τόνους καλωδίων σε μέγιστο βάθος 4,14 μέτρα. Το σύστημα δυναμικής τήρησης θέσεως ελέγχει μέσω υπολογιστή πέντε προωθητήρες (5x1.000 HP Azimuthing) και είναι σχεδιασμένο από την Kongsberg Marine οι οποίοι σε συνδυασμό με τον υπόλοιπο μηχανολογικό –ηλεκτρολογικό εξοπλισμό παρέχουν ακριβή σύμφωνα με τα πιο σύγχρονα διεθνή στάνταρ προσδιορισμό και τήρηση θέσης. (πιστοποιημένο από την Bureau of Shipping σαν ένα DP-Class II system).

Σε βαθιά νερά οι προωθητήρες εργάζονται σε αζημουθιακή θέση (90) και έρχονται στα 2 μέτρα κάτωθεν της γάστρας του πλοίου. Σε ρηχά νερά οι δύο προωθητήρες που προεξέχουν κάτω από την καρίνα έρχονται μέσω μηχανισμού σε ειδική θέση μειώνοντας το βύθισμα του πλοίου κατά 2 μέτρα και επιτρέποντας έτσι τη διεξαγωγή των επιχειρήσεων ποντίσεως.



Εικόνα 4.19: CLV «ATALANTI»

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά αναφέρονται παρακάτω:

Κύρια Χαρακτηριστικά

Έτος ναυπήγησης

Hull Built: 2008, Taizhou Sanfu Shipyard, Κίνα
Completed: 2010 Ναυπηγεία Χαλκίδας S.A.,
Ελλάδα

Χώρα ναυπήγησης

Ελλάδα

Κύριες διαστάσεις

Μήκος

93.33 m

Πλάτος

27.40 m

Βύθισμα

Μέγιστο: 4.14 m (with Fore Side Thrusters
retracted)

6.34 m (with Fore Side Thrusters
extended)

Ελάχιστο: 3.00 m (with Fore Side Thrusters
retracted)

5.20 m (with Fore Side Thrusters
extended)

Χωρητικότητα

Ολική

5.242 tons

Ωφέλιμη

4.000 tons

Ιπποδύναμη

5 x Caterpillar 3508B SCAC DITA Propulsion
Engines, each 1.100 BHP

**Μεταφορική Ικανότητα σε
καλώδια**

Κατάστημα: Abt 71.40 m x 26.40 m = 1.885
m²

	Χωρητικότητα κατ/τος: 15 t/m2
Ηλεκτρική ισχύς	3 x auxiliary generators Caterpillar C18, 425 kW each 1 x emergency generator, Abt. 95 kW (440 V/220 V - 60 Hz)
Εξοπλισμός Δυναμική τήρηση θέσης	DP System Maker: Kongsberg Marine A/S DP System Type: K-Pos 21 + CJoy DP GPS Units: 1 x DGPS Kongsberg DPS-132 1 x DGPS Kongsberg DPS-122 Wind Sensors: 3 x Gill Instruments Motion Ref. Units: 2 x Kongsberg MRU-D 1 x Kongsberg MRU-5 Position Ref. Units: 1 x Kongsberg HiPap 500 1 x Bandak Light Taught Wire System DP Operating Stations: 2 in Aft Bridge Console + 1 CJoy in Fore Bridge Console Rule Compliance: ABS Compliance with □DPS-2 (Equivalent IMO Class II DP System) ERN Number: 98, 93, 85
Σύστημα Πρόωσης	Fore Center Thruster: 1 x Thrustmaster TH1000RN with 1.000 BHP – Hydraulic driven, Azimuthing, Retractable Fore Side Thrusters: 2 x Thrustmaster TH1000RT with 1.000 BHP – Hydraulic driven, Combined Tunnel and Azimuthing, Retractable. When operating in shallow water these thrusters may be retracted and used as tandem tunnel thrusters. Aft Thrusters: 2 x Thrustmaster TH1000N each with 1.000 BHP – Hydraulic driven, Azimuthing, Fixed Thruster Prime Movers: 5 x Caterpillar 3508B SCAC DITA Propulsion Engines, each 1.100 BHP Fwd capstans: 2 x Capstans 15T Pull Anchor windlass: 2 x Anchor Winches 30T Pull / 80T static forward 2 x Anchor Winches 30T Pull / 80T Static aft Aft capstans: 2 x Combined bollard - Capstan 15T Pull Spud Cans 2 x Hydraulically Operated Spud Cans on Port Side for positioning in water depths of 8m or less, and up to Beaufort Scale 5.
Εξοπλισμός Πόντισης Καλωδίων	Αγκυροφόροι: 2 x 5t Flipper-Delta Anchors each with 800m wire cables forward 2 x 5t Flipper-Delta Anchors each with 800m wire cables aft
Λοιπός εξοπλισμός	Πλωτά μέσα (λέμβοι) για το ξετύλιγμα του

Χώροι ενδιαίτησης Ηλεκτρονικά μέσα

καλωδίου και την επικάθεισή του στο βυθό.

- Κόφτες καλωδίων, φρένα κ.τ.λ..
- εξοπλισμός για δημιουργία συνδέσμων
- εξοπλισμός για ηλ. ελέγχους
- Σύστημα μέτρησης μήκους καλωδίου στην πόντιση

77 άτομα

Radars: 1 x X-Band Sperry VisionMaster 340

1 x S-Band Sperry VisionMaster 340

Electronic Chart System: 1 x Sperry Visionmaster FT ECDIS

Navigation DGPS 2 x SAAB Navigator R4

Gyro Compass: 3 x C-Plath Gyro Compass w/steering and bearing repeaters

Magnetic Compass: 1 x Sperry Navipol I

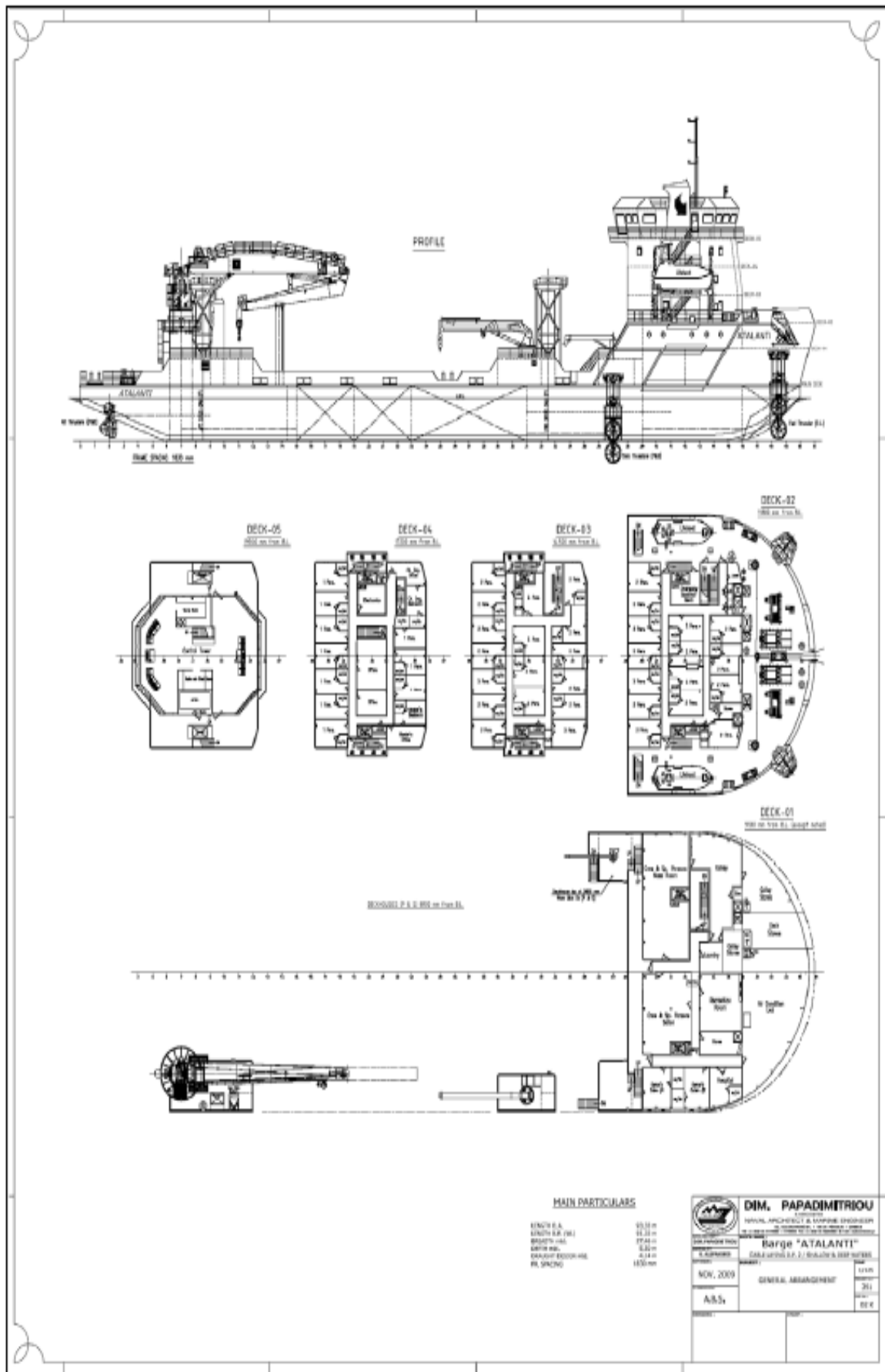
AIS: 1 x SAAB AIS R4

Echo Sounder: 1 x Skipper GDS 102 (Twin transducer)

Speed Log 1 x Sperry Naviknot 450D (Single Axis)



Εικόνα 4.20: CLV «ATALANTI». Διακρίνονται δύο άγκυρες στην πλώρη του πλοίου για υποβοήθηση στην διατήρηση θέσης κατά την πόντιση του καλωδίου



Εικόνα 4.21: Γενική Διάταξη του CLV «ATALANTI».

4.2.4 Καλωδιακό πλοίο «STANELCO»

Το Καλωδιόπλοιο «STANELCO» είναι ιδιοκτησίας της «ALCATEL ΣΥΜΒΑΣΕΙΣ ΥΠΟΒΡΥΧΙΩΝ ΚΑΛΩΔΙΩΝ ΝΟΡΒΗΓΙΑΣ AS» από το 2000. Είναι εξοπλισμένο κατάλληλα για την πόντιση και επιδιόρθωση Υ/Β καλωδίων ισχύος, τηλεπικοινωνιακών καλωδίων και εύκαμπτων σωληνώσεων. Ναυπηγήθηκε το 1975 για ποστάλι με την ονομασία «Siraholm» ενώ ανασχεδιάστηκε και αναβαθμίστηκε από την ALCATEL το 1981 για Υ/Β καλωδιακές εργασίες και μετονομάστηκε στην σημερινή του ονομασία. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά αναφέρονται παρακάτω:



Εικόνα 4.22:CLV «STANELCO»

Κύρια Χαρακτηριστικά	
Έτος ναυπήγησης	1975 by Brattvag Skips., Brattvag
Χώρα ναυπήγησης	Νορβηγία
Κύριες διαστάσεις	
Μήκος	65.00 m
Πλάτος	13.30 m
Βύθισμα	6.41 m (μέγιστο φορτίο)
Χωρητικότητα	
Ολική	2.128 tons
Ωφέλιμη	1.730 tons
Ιπποδύναμη	Normo Diesel type LDBM-9 ισχύος 1575 B.H.P.στις 800 στρ./λεπτό
Ταχύτητα	11 Κόμβοι
Μεταφορική Ικανότητα σε καλώδια	Συνολική χωρητικότητα φορτίου 1.730 tons.
Ηλεκτρική ισχύς	Ηλεκτρογεννήτριες 380V/220V/50Hz 2 μονάδες των 430 KVA 2 μονάδες των 150 KVA
Εξοπλισμός	
Δυναμική τήρηση θέσης	DGPS
Σύστημα Πρόωσης	PIM: Aft thruster 368 KW (500Hp) PIP: Bow thruster 184 KW (250Hp)

Εξοπλισμός Πόντισης Καλωδίων

Μηχάνημα Πόντισης

Διάμετρος τυμπάνου 5 μέτρα

Δύναμη έλξης-πέδησης 25 τόννοι

Ταχύτητα πόντισης 60 μέτρα/λεπτό

Ταχύτητα πόντισης με μέγιστη δύναμη τάνυσης
20 μέτρα/λεπτό

Ανυψωτικά μέσα

Ηλεκτρο-υδραυλικός γερανός στην ΑΡ πλευρά
του πλοίου

Βραχίονας 14 μέτρα

Μέγιστο φορτίο ανύψωσης 5 τόννοι

Βαρούλκα-Βίντσια

2 υδραλικά (8 τόννοι)

2 διπλά υδραυλικής λειτουργίας (21 τόννοι το
διπλό, 12 τόννοι το μονό)

2 διπλά υδραυλικής λειτουργίας (25 τόννοι
έκαστο)

Πλωτά μέσα (λέμβοι) για το ξετύλιγμα του
καλωδίου και την επικάθυσή του στο βυθό.

Μπαλόνια πόντισης

Σχεδιά με Caterpillar

Άγκυρα ανέλκυσης /κοπής καλωδίων βαθέων
υδάτων

Εξοπλισμός για μουφάρισμα καλωδίων

30 άτομα

Radar

Ηχοβολιστικά

Αυτόματο πιλότο

GPS

Λοιπός εξοπλισμός

Χώροι ενδιαίτησης

Ηλεκτρονικά μέσα



Εικόνα 4.23: Διάφορες λήψεις του CLV «STANELCO» Διακρίνεται ο εξοπλισμός ποντίσεως καθώς και του συστήμα διατήρησης θέσης κατά την πόντιση του καλωδίου

4.2.5 Καλωδιακό πλοίο «ARGO II»

Το M / V Αργώ II αγοράστηκε το 1996 από την Assodivers που αύξησε τον στόλο της με την προσθήκη ενός Πολλαπλών Χρήσεων παροχής σκάφος.

Το 2001, M / V Αργώ II ανακαινίστηκε με την τελευταία εξέλιξη της τεχνολογίας τεχνολογικού εξοπλισμού, ώστε να λειτουργούν σε όλο τον κόσμο. Το πλοίο είχε σχεδιαστεί καλώδια και την πόντιση, την έρευνα και εργασίες ROV. Εξοπλισμένο με σύστημα δυναμικής τήρησης θέσης (DP2) μπορεί να λειτουργεί σε κάθε είδους καιρικές συνθήκες.

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά αναφέρονται παρακάτω:



Εικόνα 4.24: CLV «ARGO II»

Κύρια Χαρακτηριστικά

Έτος ναυπήγησης	1976 Scheepswert Waterhuizen, B.V. Holland
Χώρα ναυπήγησης	Ολλανδία
Κύριες διαστάσεις	
Μήκος	65.52 m
Πλάτος	14.02 m
Βύθισμα	4.98 m (μέγιστο φορτίο)
Χωρητικότητα	
Ολική	1.602 tons
Ωφέλιμη	1.000 tons
Ιπποδύναμη	2 Diesel engines MAK 6M 452 AK - 2 x 1.600 BHP
Ταχύτητα	12 Κόμβοι

Μεταφορική Ικανότητα σε καλώδια

Clear deck area: 460.20 m²
Clear deck length: 35.40 m
Clear deck breadth: 13.00 m
Deck strength: 8.00 T/m²
Max deck load: 1.000.00 T

Ηλεκτρική ισχύς

The vessel is powered by three (3) Iveco Aifo diesel generating sets running on gas oil.

Type:Iveco Aifo 8210 SRM
Generators:Stamford 380 KVA each
One (1) Emergency/Harbour Generator.

Type:General Motors
Generator:BV71N 200 KVA

Power supply:
440 Volt – 60Hz for general board network
220 Volt – 60Hz for user supplies

Εξοπλισμός

Δυναμική τήρηση θέσης

SDP 21 system από την Kongsberg Simrad

Το σύστημα ελέγχει τα τρία συστήματα πρόωσης του πλοίου :το πρυμνιό, το πωραίο και το κύριο σύστημα πρόωσης

Σύστημα Πρόωσης

Κύρια πρόωση:

2 Diesel engines MAK 6M 452 AK - 2 x 1.600 BHP continuous output fitted with two (2) variable pitch Hundested Propellers.

Bow Thrusters:

1 Ulstein thruster with controlled pitch propeller (450 HP output) driven by a General Motors diesel engine.

4 ThrustMaster fixed pitch hydraulic thrusters (275 HP output each) driven by two (2) Iveco Aifo diesel engines.

ΠΜ προωθητήρες:

Four (4) ThrustMaster fixed pitch hydraulic thrusters (275 HP output each) driven by two (2) IVeco Aifo diesel engines.

Εξοπλισμός Πόντισης Καλωδίων

Πρόστεγο:

Hydraulic anchor windlass “Brattvaag”
15.00 T pull.

2 bow anchors1.360.00 kg.

1 spare anchor1.360.00 kg.

Επίστεγο:

2 single windlasses.

Ανυψωτικά μέσα

A-Frame – The Engineering Business

40.00 T – all angles

Λοιπός εξοπλισμός

Χώροι ενδιαίτησης Ηλεκτρονικά μέσα

Aft Crane – Sormec M330/3S
6.8T / 25.00 m, 20 T / 11.50 m
Fore Crane – Scarab SRW 40-33
2.00 T / 14.00 m, 6.50 T / 2.50 m
Πλωτά μέσα (λέμβοι) για το ξετύλιγμα
του καλωδίου και την επικάθυσή του στο
βυθό.

- Κόφτες καλωδίων, φρένα κ.τ.λ..
- εξοπλισμός για δημιουργία συνδέσμων
- εξοπλισμός για ηλ. ελέγχους
- Σύστημα μέτρησης μήκους καλωδίου
στην πόντιση

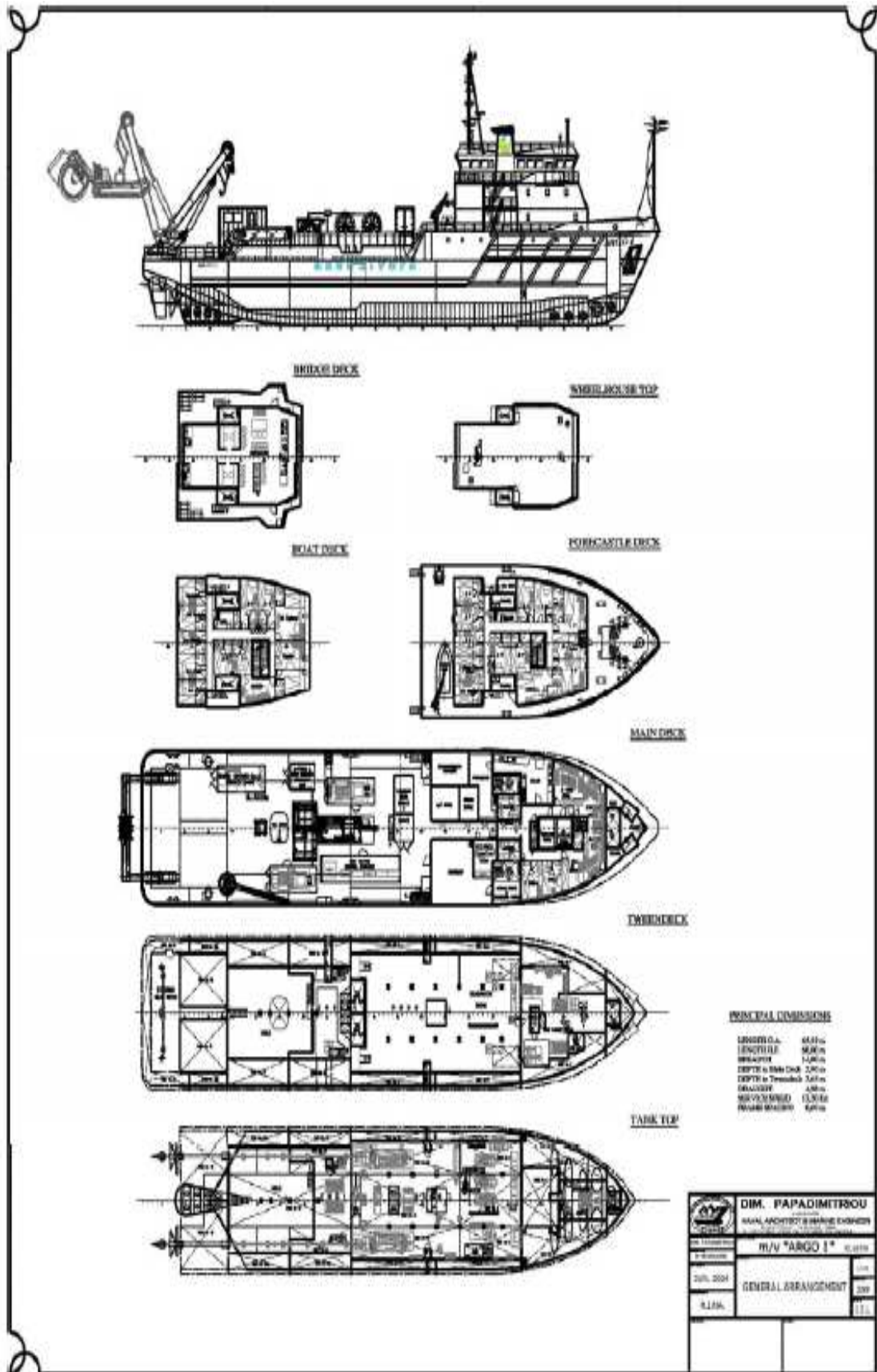
41 άτομα

2 Gyro compasses C-Plath Navigat
X MK1

- 1 Magnetic Compass
- 2 Radar(Furuno- Koden)
- 2Echo Sounder(Elac LAZ 5000-
KodenCVS106)
- 1 Auto Pilot Robertson AP9MK3
- 1 GPS Garmin 120
- 2 DGPS (Leica MX 9400N-
TrimbleAgGPS 132)



Εικόνα 4.25: Διάφορες λήψεις του CLV «ARGO II». Διακρίνεται ο εξοπλισμός ποντίσεως καθώς και το τύμπανο αποθήκευσης καλωδίου.



Εικόνα 4.26: Γενική Διάταξη του CLV «ARGO II».

4.2.6 Καλωδιακό πλοίο «ΙΚΑΡΟΣ»

Το πλοίο ανήκει στην εταιρεία GLOBAL MARITIME που ιδρύθηκε το 1999. Η εταιρεία που έχει ως έδρα τον Πειραιά χρησιμοποιεί το πλοίο για εκτέλεση υποθαλάσσιων εργασιών καθώς και υποθαλάσσιων ερευνών. Το καλωδιόπλοιο «ΙΚΑΡΟΣ» έχει δυνατότητα να εκτελέσει υποθαλάσσια έρευνα μέχρι βάθος 600 μέτρα.

Είναι σε θέση να ποντίσει Υ/Β καλώδια ισχύος ενώ μπορεί να τα ανελκύσει προς αποκατάσταση βλαβών αν απαιτηθεί. Τέλος μπορεί να προβεί σε «γρίπηση» και ανέλκυση κομμένων καλωδίων. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά αναφέρονται παρακάτω:



Εικόνα 4.27: CLV «ΙΚΑΡΟΣ»

Κύρια Χαρακτηριστικά

Έτος ναυπήγησης	1975
Χώρα ναυπήγησης	Δανία
Έτος μετασκευής σε CLV	1985
Κύριες διαστάσεις	
Μήκος	52.4m
Πλάτος	8.32m
Βύθισμα	3.47m
Χωρητικότητα	325.33
Ιπποδύναμη	500 Hp
Ταχύτητα	11 Κόμβοι
Μεταφορική Ικανότητα σε καλώδια	370 tn
Ηλεκτρική ισχύς	2 τ. CATERPILLAR 400BHP/380KVA 1 τ. FORD 120BHP (50KVA) 1 τ. PERKINS 45BHP (20 KVA)

Εξοπλισμός
Δυναμική τήρηση θέσης
Εξοπλισμός Πόντισης
Καλωδίων

1 Bow Thruster τ. CATERPILLAR 200BHP
2 με τύμπανο διαμέτρου 2.8 μέτρα, δυνατότητα ανέλκυσης 20tn η καθεμιά με δυναμόμετρα ψηφιακής και αναλογικής μέτρησης της τάνυσης και ψηφιακούς μετρητές καλωδίων.

Ανυψωτικά μέσα

Μπίγα με ανυψωτική ικανότητα 4 tn (180°)
Γερανός με ανυψωτική ικανότητα 1.5tn(270°)
Γερανογέφυρα με ανυψωτική ικανότητα 1.5tn (25 m στο διάμηκες του πλοίου)

Καταδυτικός εξοπλισμός

Καταδυτικό σκάφος ΝΑΥΤΙΛΟΣ

Θάλαμος Αποσυμπίεσης Δυτών

Δυνατότητα ενδιαίτησης 21 ατόμων

Χώροι ενδιαίτησης

Ηλεκτρονικά μέσα

3 Ραντάρ (2 Kelvin Hughes, 1 Raytheon)

2 GPS (Shipmate, Raytheon)

Πυξίδα GYRO

Αυτόματος πιλότος

2 Βυθόμετρα (Marconi In. Marine, Sea Chart&Digital)



Εικόνα 4.28: Διάφορες λήψεις του CLV «ΙΚΑΡΟΣ» Διακρίνεται ο εξοπλισμός ποντίσεως καθώς και δύο τύμπανα αποθήκευσης καλωδίου

4.2.7 Καλωδιακό πλοίο «ASTREA»

Το M / V **ASTREA** αγοράστηκε το 2007 από την Assodivers που αύξησε τον στόλο της με την προσθήκη ενός ακόμη Πολλαπλών Χρήσεων παροχής σκάφους. Το πλοίο υπέστη ανακαίνιση και ανακατασκευή το 2008 οπότε και τοποθετήθηκαν συστήματα αιχμής όπως η πιο πρόσφατη έκδοση του Συστήματος δυναμικής τήρησης θέσης Kongsberg DP2, ένα 55T A-Frame, δύο τηλεσκοπικοί Γερανοί, σύγχρονα συστήματα πλοήγησης και τηλεπικοινωνιών. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά αναφέρονται παρακάτω:



Εικόνα 4.29: CLV «ASTREA»

Κύρια Χαρακτηριστικά

Έτος ναυπήγησης	1987 A.M. Liaaen A/S, Ålesund Ανακατασκευή στο Πέραμα, Ελλάδα 2007-2008
Χώρα ναυπήγησης	Νορβηγία
Κύριες διαστάσεις	
Μήκος	71.30 m
Πλάτος	17.50 m
Βύθισμα	7.30 m (μέγιστο φορτίο)
Χωρητικότητα	
Ολική	2.590 tons
Ωφέλιμη	2853MT
Ιπποδύναμη	2 Wartsila Vasa 6R32 - 6 cylinders 2χ3060 BHP στις 750 rpm
Ταχύτητα	14.7 Κόμβοι
Μεταφορική Ικανότητα σε καλώδια	Deck Measurements: - Main Deck: 36.00 m x 16.50 m = 594.00 m ² - Clear deck between A-Frame struts:

	<p>36.00m x 10.40m = 374.40 m² - 01 Deck: 5.00 m x 16.50 m = 82.50 m² Deck Load Capacity: 8 t/m² on Main Deck Cargo Hold (lower gallery) L 21.00m x B 4.00m x H 3.40m</p>
Ηλεκτρική ισχύς	<p>Ηλεκτρογεννήτριες: • 2 off shaft generators each 2.100 KVA (Power Take-off from Main Engines) • 2 off auxiliary generators Mercedes Benz OM-424a, 420 KVA each • 1 off auxiliary generator Volvo Penta D12-MG, 440 KVA • 1 off emergency generator Mercedes Benz OM-407, 183 KVA (440 V/220 V - 60 Hz)</p>
Εξοπλισμός Δυναμική τήρηση θέσης	<p>Kongsberg K-Pos DP-21, with HiPap and Fan Beam Laser reference system, in full compliance with DNV and IMO Class II DP System (system fitted in entirety in 2007-2008).</p>
Σύστημα Πρόωσης	<p>Κύρια πρόωση: Main Engines: 2 off Wartsila Vasa 6R32 - 6 cylinders Bore/Stroke: 320 mm x 350 mm Horse Power Rating: 3060 BHP totalling 6120 BHP at 750 rpm</p> <p>Propellers Make/Type: 2 off Liaaen – controllable pitch, 4 blades Diameter/Speed: 2800 mm - 200 rpm</p> <p>Bow Thrusters: 2 off Liaaen each 800 BHP - thrust 19 tonnes, electric driven with CP propellers</p> <p>Stern Thrusters: 2 off Liaaen each 800 BHP - thrust 19 tonnes, electric driven with CP propellers</p>
Εξοπλισμός Πόντισης Καλωδίων	<p>Aft capstans: 2 off combined capstan-bollard, BRATTVAAG, 10t Pull, 40t SWL static</p> <p>Fore winch: 1 off 10t BRATTVAAG mooring winch with declutchable warping ends (2 off) and wire drums (2 off)</p> <p>Anchors 3 off (2 in use, 1 spare) SPEK type recessed anchors, 2470kg each</p> <p>Anchor chain 25 cables (S) and 9 cables (P) 42 mm DnV K3 stud link chain</p> <p>Anchor windlass 1 off BRATTVAAG</p>

combined windlass/mooring winch with 30 m/min heave rate

Ανυψωτικά μέσα

A-Frame: One x 55t hydraulic (Aft) Crane, Aft Stbd: 1 x SORMEC M330/3S Telescopic Boom Crane

- Load 6.8MT @ Max. outreach of 25m

- Load 20MT @ Max. outreach of 11.5m

Crane, Fore Port: 1 x SORMEC M170/2S Telescopic Boom Crane

- Load 17.5MT @ Max. outreach of 8m

- Load 4.0MT @ Max. outreach of 21m

Πλωτά μέσα (λέμβοι) για το ξετύλιγμα του καλωδίου και την επικάθυσή του στο βυθό.

- Κόφτες καλωδίων, φρένα κ.τ.λ..
- εξοπλισμός για δημιουργία συνδέσμων
- εξοπλισμός για ηλ. ελέγχους
- Σύστημα μέτρησης μήκους καλωδίου στην πόντιση

56 άτομα

Radars:

Furuno FAR 2827 (X-Band)

Furuno FR-2130 10 cm w/ARPA

Electronic Chart System: Telchart

Gyro Compass: 3 x C-Plath Navigat X Mk1 Mod.10 w/steering

Autopilot: C-Plath Navipilot 4000

Navtex: Furuno NX-500

AIS: Furuno FA-100

SSAS: Furuno Felcom-16

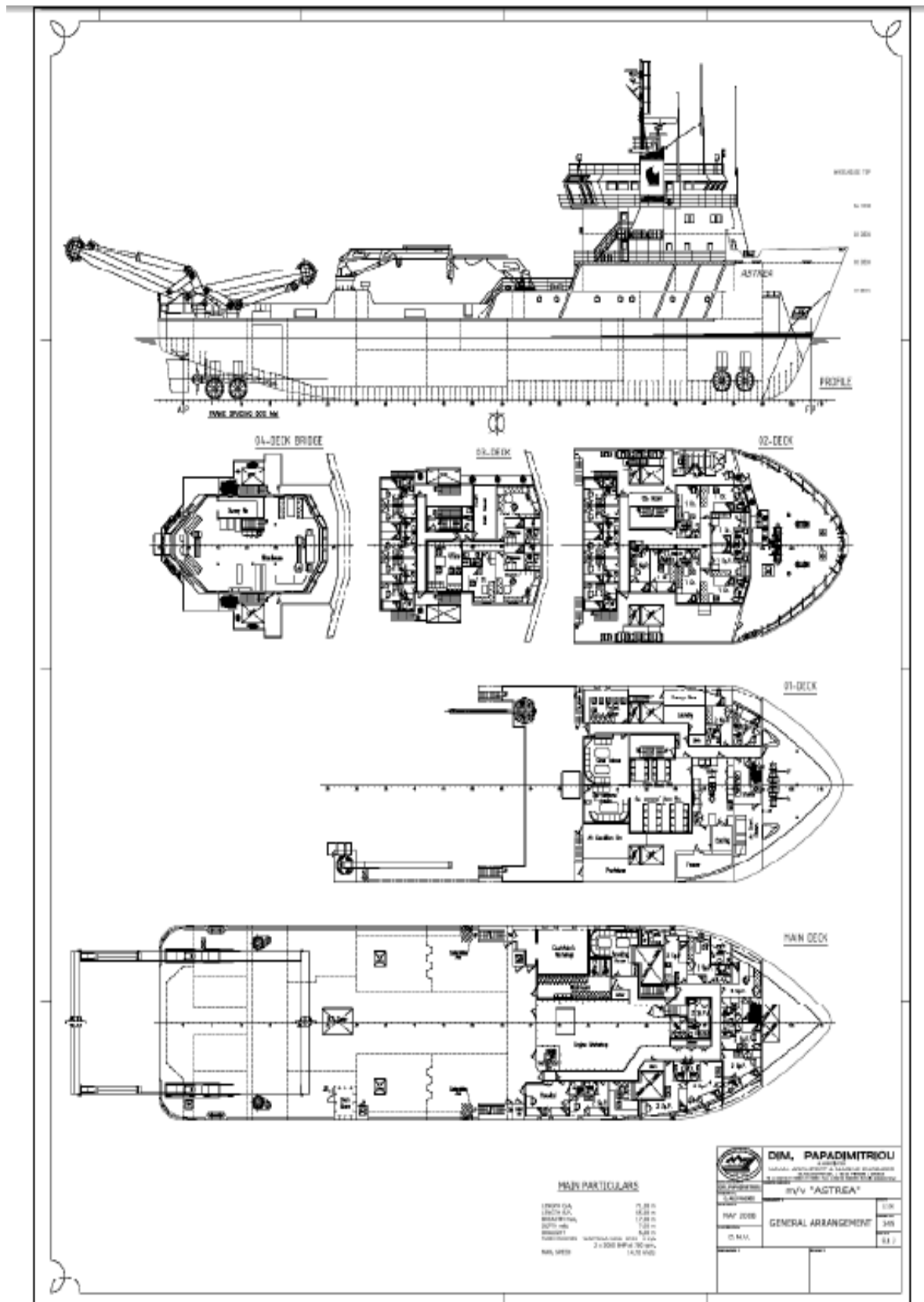
Echo Sounder: Simrad ED 161B with digital depth indicator

Λοιπός εξοπλισμός

**Χώροι ενδιαίτησης
Ηλεκτρονικά μέσα**



Εικόνα 4.30: CLV «ASTREA» σε πλάγια όψη.



Εικόνα 4.31: Σχέδιο Γενικής Διάταξης CLV «ASTREA»

4.2.8 Πλωτή Φορτηγίδα «Assodiver VII»

Όπως έχει αναφερθεί παραπάνω εκτός από τα αυτοπροωθούμενα σκάφη που χρησιμοποιούνται για την πόντιση Υ/Β καλωδίων δύναται για τον ίδιο σκοπό και αναλόγως των ειδικών συνθηκών να χρησιμοποιηθούν και πλωτές φορτηγίδες. Η πλωτή φορτηγίδα Assodiver VII είναι αυτοπροωθούμενη ενώ η τήρηση θέσης γίνεται μέσω δυναμικού συστήματος DP. Η φορτηγίδα φέρει όλο τον απαιτούμενο εξοπλισμό για την πόντιση των καλωδίων. Συνήθως χρησιμοποιείται σε περιοχές με ρηχά νερά λόγω του μικρού βυθίσματος. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά της πλωτής φορτηγίδας Assodiver VII αναφέρονται παρακάτω:



Εικόνα 4.32: Πλωτή Φορτηγίδα «Assodiver VII»

Κύρια Χαρακτηριστικά

Έτος κατασκευής	1987
Χώρα ναυπήγησης	Ελλάδα
Κύριες διαστάσεις	
Μήκος	35.00 m
Πλάτος	15.35 m
Βύθισμα	3.30 m
Χωρητικότητα	
Ολική	479.84 tons
Ηλεκτρική ισχύς	4 Ηλεκτρογεννήτριες (60, 40, 25, 8 KVA). Ηλεκτρικές παροχές 380, 220, 110, 24, 12 V.
Εξοπλισμός	
Δυναμική τήρηση θέσης	Dynamic Positioning Simrad SDP 01 Reference systems 2 DGPS Taut wire Bandak MK 12B / SIMRAD HPR 400P
Σύστημα Πρόωσης	2 x IVECO 8281 SRM50 / 550HP 2 x OD 500 Thrustmaster hydraulic azimuth thrusters
Εξοπλισμός Πόντισης	Ανυψωτικός εξοπλισμός

Καλωδίων

Γερανός 71-Ruston Bucyrus

Ανυψωτική ικανότητα 10 tons/13m

Εξοπλισμός καταστρώματος

- Βίντσια για 6 σημεία με 600 m. των 25 mm

Καλώδιο έναστο

- Πίνακας ελέγχου 8 υδραυλικών βιντσιών.

- Υδραυλική ισχύς : 2 υδραυλικές μονάδες των 150

HP/each.

Λοιπός εξοπλισμός

4 χ εξωλέμβιες Μοστρο 4.60 μ. με ιπποδύναμη 40 HP.

- Μεγάλος αριθμός ναυτικού εξοπλισμού (rollers, steel-wires, ropes, shackles, etc.)

1x H.P. Compressor BAUER K15 15 m³/h.

- 2x L.P. Compressors 450 ft³/min.

- Oxygen cutting system - 3 welding generators.

- Electrical u/w pumps 1000 m³/h total capacity.

- Several hydraulic and air tools for u/w use

- 1 Decompression chamber double lock -

Comex TP 1200 (with lt. Cylinders)

14 άτομα

DGPS Leica MX 9400N

GYRO Compass C-Plath NAVIGAT X MK1, MOD 10

Χώροι ενδιαίτησης Ηλεκτρονικά μέσα



Εικόνα 4.33: Διάφορες λήψεις πλωτής φορηγίδα «Assodiver VII» σε επιχείρηση πόντισης υποβρύχιου καλωδίου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Δίκτυο Υ/Β καλωδίων ΜΤ στην Ελλάδα

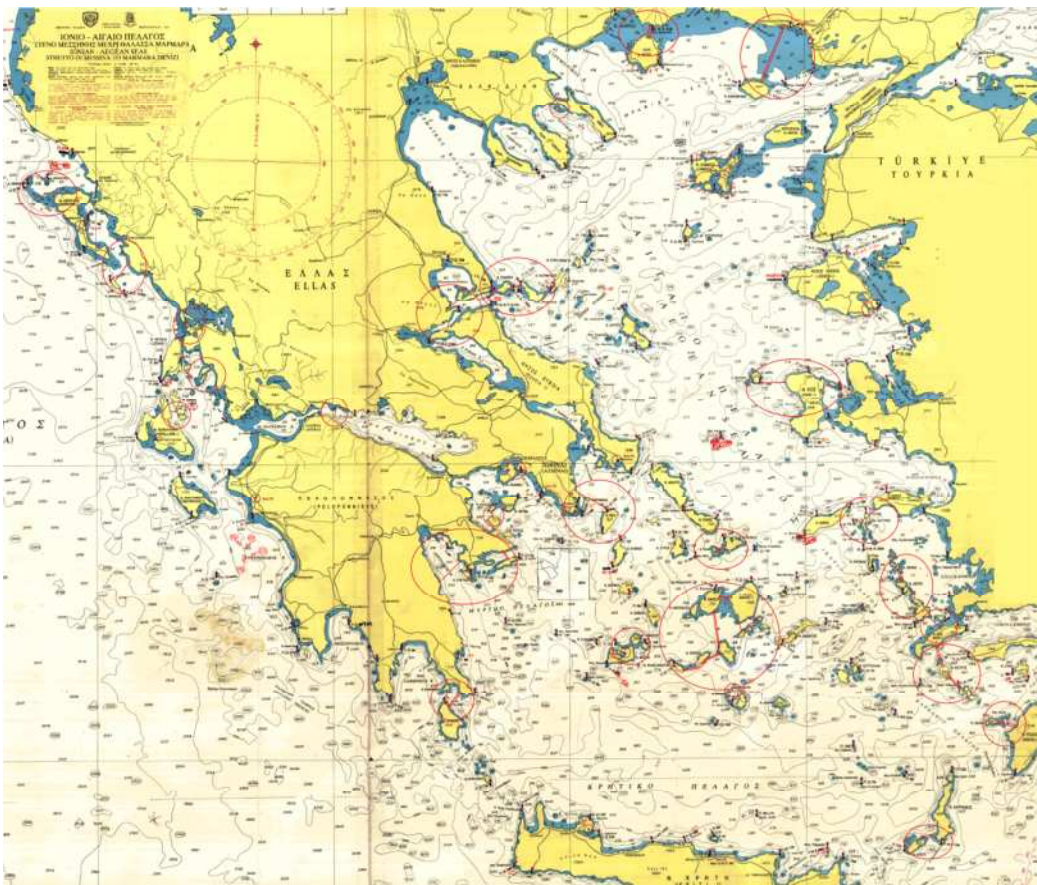
5.1 Γενική περιγραφή Ελλαδικού Υ/Β δικτύου καλωδίων ΜΤ

Η πρώτη επίσημα καταγεγραμμένη περίπτωση πόντισης Υ/Β καλωδίου ισχύος ΜΤ εντοπίζεται περί το 1960 με την εγκατάσταση στον Κόλπο Γέρας στην νήσο Λέσβο ενός τριπολικού καλωδίου ΜΤ 3 x 60 Cu ονομαστικής τάσης 15kV. Το μήκος απλής διαδρομής ήταν 600 μέτρα ενώ το μέγιστο βάθος πόντισης στα 20 μέτρα.

Έκτοτε έχει αναπτυχθεί ένα μεγάλο υποβρύχιο δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ισχύος το οποίο σήμερα απαριθμεί συνολικά 69 ζεύξεις ποντισμένων καλωδίων ΜΤ και 16 ζεύξεις ΥΤ με προοπτική δημιουργίας τουλάχιστον τριών ακόμη διασυνδέσεων ΜΤ.

Το μέγιστο μήκος διαδρομής είναι στα 46 km με την διασύνδεση της Αλεξανδρούπολης με την Σαμοθράκη από το 2000 μέσω δύο καλωδίων 3 x 95 Cu XLPE ονομαστικής ισχύος 20kV και μέγιστο βάθος διαδρομής στα 80.5 μέτρα.

Το μέγιστο βάθος πόντισης Υ/Β καλωδίου είναι την ζεύξη της Τήλου με τη Νίσυρο το 1989 στα 445 μέτρα με δύο καλώδια 3 x 35 Cu ονομαστικής ισχύος 20kV και συνολικό μήκος διαδρομής 15992 και 15890 μέτρα αντίστοιχα.



Εικόνα 5.1 : Χάρτης διασυνδέσεων Υ/Β καλωδίων ΜΤ στην Ελλάδα το 2011

5.1.1 Χαρακτηριστικά πληθυσμού δικτύου Y/B καλωδίων

Ο συνολικός αριθμός καλωδίων MT που απαριθμούν οι 69 ζεύξεις ανέρχεται στα 169 καλώδια διαφόρων διατομών ενώ το συνολικό τρέχον μήκος ποντισμένης διαδρομής είναι 1092 km.

Πίνακας 5.1 Πίνακας διατομών και μέγιστης ονομαστικής τάσης υφιστάμενων Y/B

Τύπος, φύση & διατομή αγωγών (mm ²)	Ονομαστική τάση (kV)
1 x 50 Cu	20
1 x 95 Cu	15-20
3 x 25 Cu	15
3 x 35 Cu	20
3 x 60 Cu	15
3 x 95 Cu	12.1-20
3 x 150 Cu	15
3 x 185 Cu	22
1 x 50 Al	20
1 x 150 Al	15
3 x 35 Al	6.5-20
3 x 150 Al	20

5.2 Περιγραφή βάσης δεδομένων βλαβών Y/B καλωδίων MT

Τα στοιχεία που συγκεντρώθηκαν αφορούν σε καταγεγραμμένες βλάβες Y/B καλωδίων MT από τον 2000 μέχρι σήμερα. Συνολικά είναι καταγεγραμμένες 96 περιπτώσεις διακοπής λειτουργίας λόγω βλάβης κάποιας εκ των 69 συνολικά ζεύξεων που απαριθμούνται στο Ελλαδικό υποθαλάσσιο χώρο.

Η μελέτη κόστους –αποτελεσματικότητας στην περίπτωση του εν λόγω δικτύου είναι πολύ σημαντική καθόσον πρόκειται να μας δώσει στοιχεία που σχετίζονται με την καλύτερη διαχείριση του δικτύου τόσο στο παρόν όσο και σε επίπεδο μελλοντικού σχεδιασμού. Χαρακτηριστικό σημείο που δεικνύει την αναγκαιότητα της μελέτης είναι το εξαγόμενο αποτέλεσμα της επεξεργασίας των 96 περιπτώσεων βλαβών αναφορικά με τον χρόνο εκτός λειτουργίας και το απαιτούμενο κόστος αποκατάστασης αυτών. Από την επεξεργασία των στοιχείων προκύπτει ότι ο μέσος χρόνος παραμονής της ζεύξης εκτός λειτουργίας κυμαίνεται στις 46 μέρες/βλάβη, φτάνοντας ακόμη και τις 329 μέρες, ενώ το μέσο κόστος αποκατάστασης τιμάται στα 46.000 ευρώ, φτάνοντας κατά περίπτωση και το ποσό των 246.000 ευρώ. Στις παραπάνω τιμές αν συνυπολογιστεί η παράμετρος του κοινωνικού κόστους από τις επιπτώσεις της διακοπής ηλεκτροδότησης λόγω της μη διαθεσιμότητας της βεβλαμμένης γραμμής σε συνδυασμό με το κόστος υποστήριξης με εναλλακτικούς τρόπους της ηλεκτροδότησης της περιοχής αντιλαμβάνεται κανείς την ειδική βαρύτητα

που αποκτά η διερεύνηση του κόστους-αποτελεσματικότητας του εν λόγω υποβρύχιου δικτύου.

Πίνακας 5.2 Χαρακτηριστικά κόστους –μη διαθεσιμότητας βεβλαμμένων διασυνδέσεων

	N	Minimum	Maximum	Sum	Mean	Std. Deviation
ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ	89	200	246000	4046729	45468.87	54501.309
ΜΕΡΕΣ ΕΚΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	96	1	329	4414	45.98	53.478
Valid N (listwise)	89					

5.2.2 Περιγραφική Στατιστική Παραμέτρων επίδρασης στη δημιουργία βλαβών στο δίκτυο Y/B καλωδίων MT

Για την μελέτη κόστους-αποτελεσματικότητας που εφαρμόστηκε χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία που προέκυψαν από τις βλάβες που καταγράφηκαν από το 2000 έως σήμερα. Για κάθε βλάβη υφίστανται στοιχεία αναφορικά με τις παρακάτω παραμέτρους:

- Γεωγραφική περιοχή που ανήκει η ζεύξη
- Χρονολογία πόντισης καλωδίου/ων της ζεύξης
- Μόνωση καλωδίου ζεύξης
- Υλικό κατασκευής αγωγού ζεύξης
- Ηλικία καλωδίου κατά την βλάβη
- Βάθος βλάβης καλωδίου
- Αιτία δημιουργίας της βλάβης
- Επίδραση ανθρώπινου παράγοντα στην βλάβη
- Απόσταση βλάβης από την ακτή
- Ποιότητα βυθού στην περιοχή της βλάβης
- Προστασία καλωδίου στην περιοχή της βλάβης

Στην συνέχεια θα αναλυθούν οι παράμετροι καθεμιά ξεχωριστά.

5.2.2.1 Γεωγραφική περιοχή που ανήκει η ζεύξη

Από την επεξεργασία των στοιχείων προκύπτει ότι οι 96 περιπτώσεις βλαβών συνέβησαν σε 28 από τις 69 ζεύξεις. Η συχνότητα εμφάνισης των βλαβών ανά ζεύξη καταγράφεται στον παρακάτω πίνακα από τον οποίο προκύπτει και το ποσοστό εμφάνισης των βλαβών επί του συνόλου των περιπτώσεων.

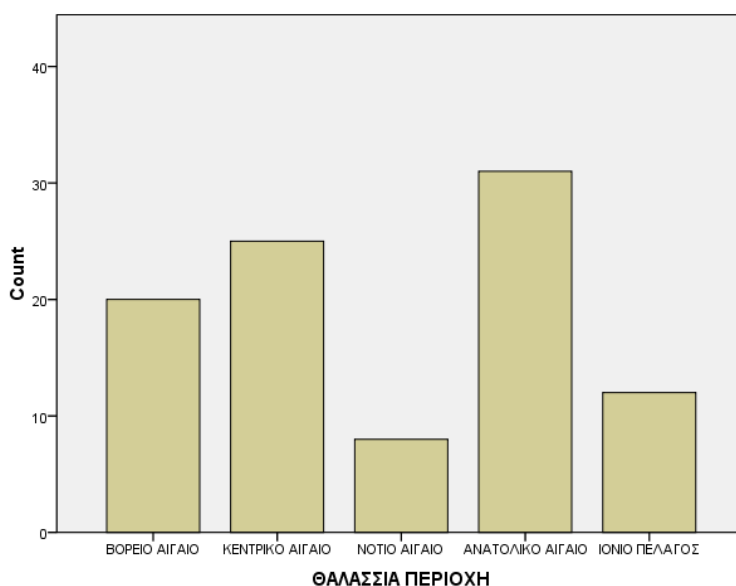
Πίνακας 5.3 Συχνότητα βλαβών ανά ζεύξη

	Frequency	Percent	Cumulative Percent
ΑΡΓΟΣΤΟΛΙ-ΑΓ.ΚΩΝ/ΝΟΣ	2	2.1	2.1
ΕΛΛΑΦΟΝΗΣΟΣ-ΚΥΘΗΡΑ	5	5.2	7.3
ΗΠΕΙΡ.ΑΚΤΗ-ΠΑΞΟΙ	6	6.3	13.5
ΚΑΛΥΜΝΟΣ-ΤΕΛΕΝΔΟΣ	2	2.1	15.6
ΚΑΣΟΣ-ΚΑΡΠΑΘΟΣ	1	1.0	16.7
ΚΕΡΑΜΩΤΗ-ΘΑΣΟΣ	2	2.1	18.8
ΚΕΡΚΥΡΑ-ΜΑΘΡΑΚΙ	2	2.1	20.8
ΚΕΦΑΛΛΟΝΙΑ-ΙΘΑΚΗ	1	1.0	21.9
ΚΕΦΑΛΟΝΙΑ(ΚΟΥΤΑΒΟΣ)	3	3.1	25.0
ΚΟΥΦΟΝΗΣΙ-ΣΧΟΙΝΟΥΣΑ	2	2.1	27.1
ΚΩΣ-ΨΕΡΙΜΟΣ	1	1.0	28.1
ΛΑΥΡΙΟ-ΚΕΑ	4	4.2	32.3
ΛΕΡΟΣ-ΛΕΙΨΟΙ	4	4.2	36.5
ΜΕΘΑΝΑ-ΑΙΓΙΝΑ	6	6.3	42.7
ΜΕΤΟΧΙ-ΥΔΡΑ	1	1.0	43.8
ΜΗΛΟΣ-ΚΙΜΩΛΟΣ	1	1.0	44.8
ΝΑΞΟΣ-ΗΡΑΚΛΕΙΑ	5	5.2	50.0
ΝΕΑΠΟΛΗ-ΚΥΘΗΡΑ	3	3.1	53.1
ΝΙΣΥΡΟΣ-ΓΥΑΛΙ	6	6.3	59.4
ΝΙΣΥΡΟΣ-ΤΗΛΟΣ	6	6.3	65.6
ΠΑΡΟΣ-ΝΑΞΟΣ Ν5	1	1.0	66.7
ΠΕΡΑΜΑ-ΣΑΛΑΜΙΝΑ	2	2.1	68.8
ΠΗΛΙΟ-ΣΚΙΑΘΟΣ	8	8.3	77.1
ΡΟΔΟΣ-ΧΑΛΚΗ	6	6.3	83.3
ΣΑΜΟΣ-ΦΟΥΡΝΟΙ	1	1.0	84.4
ΣΚΙΑΘΟΣ-ΣΚΟΠΕΛΟΣ	5	5.2	89.6
ΣΚΟΠΕΛΟΣ-ΑΛΟΝΝΗΣΟΣ	5	5.2	94.8
ΧΙΟΣ-ΨΑΡΑ	5	5.2	100.0
Total	96	100.0	

Κατηγοριοποιώντας τις ζεύξεις ανά γεωγραφική περιοχή η κατανομή της συχνότητας εμφάνισης βλαβών καταγράφεται στον ακόλουθο πίνακα

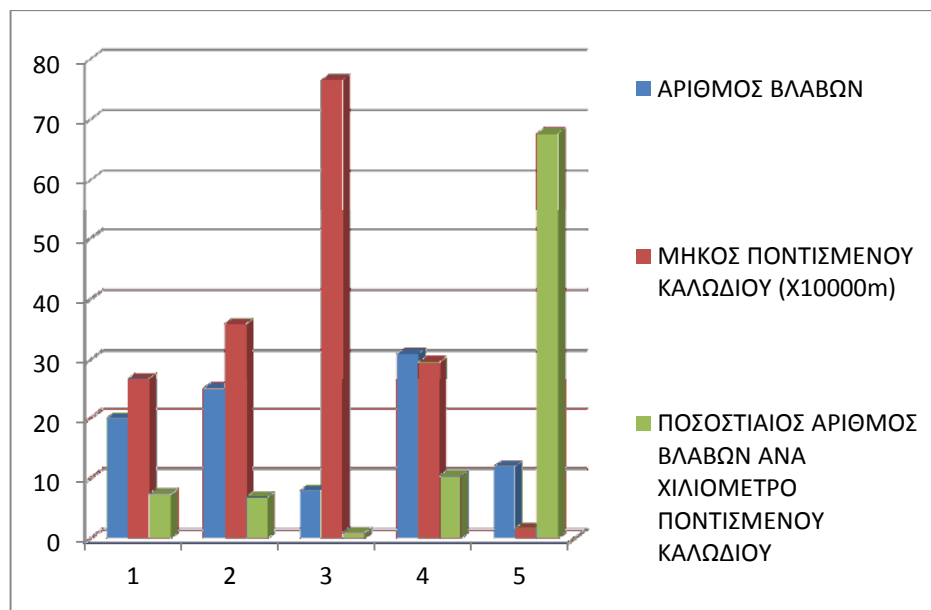
Πίνακας 5.4 Κατηγοριοποίηση βλαβών ανά γεωγραφική περιοχή

			ΒΛΑΒΕΣ	ΜΗΚΟΣ	ΒΛΑΒΕΣ
			(Αριθμός)	(x10 ⁴ m)	(/Km)
ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗ	ΒΟΡΕΙΟ ΑΙΓΑΙΟ	Count	20	26.94	0.0742
		% of Total	20.80%	26.84%	7.93%
	ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΑΙΓΑΙΟ	Count	25	35.93	0.0696
		% of Total	26%	35.79%	7.43%
	ΝΟΤΙΟ ΑΙΓΑΙΟ	Count	8	76.6	0.0104
		% of Total	8.30%	7.63%	1.11%
	ΑΝΑΤΟΛΙΚΟ ΑΙΓΑΙΟ	Count	31	29.66	0.1045
		% of Total	32.30%	29.55%	11.16%
	ΙΟΝΙΟ ΠΕΛΑΓΟΣ	Count	12	1.77	0.6780
		% of Total	12.50%	0.17%	72.37%
Total		Count	96	96	0.9367
		% of Total	100.00%	100.00%	100%



Σχήμα 5.1 :Γραφική απεικόνιση βλαβών ανά γεωγραφική περιοχή

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το ακόλουθο διάγραμμα στο οποίο απεικονίζονται ταυτόχρονα για κάθε μια περιοχή το συνολικό μήκος καλωδίων σε συνδυασμό με τις παρακληθείσες βλάβες. Όπως είναι δυνατό να παρατηρήσει κάποιος για όλες τις περιοχές ανά την Ελλάδα πλην αυτής του Ιονίου πελάγους οι προσκληθείσες βλάβες είναι σε αναλογία με το μήκος των Υ/Β καλωδίων που είναι ποντισμένα πράγμα αναμενόμενο. Η δυσαναλογία στην περιοχή του Ιονίου πελάγους χρήζει περαιτέρω διερεύνησης.



Σχήμα 5.2 :Γραφική απεικόνιση βλαβών ανά 10000m ποντισμένο καλώδιο και ποσοστιαίος αριθμός βλαβών ανά 1000 ποντισμένου καλωδίου.

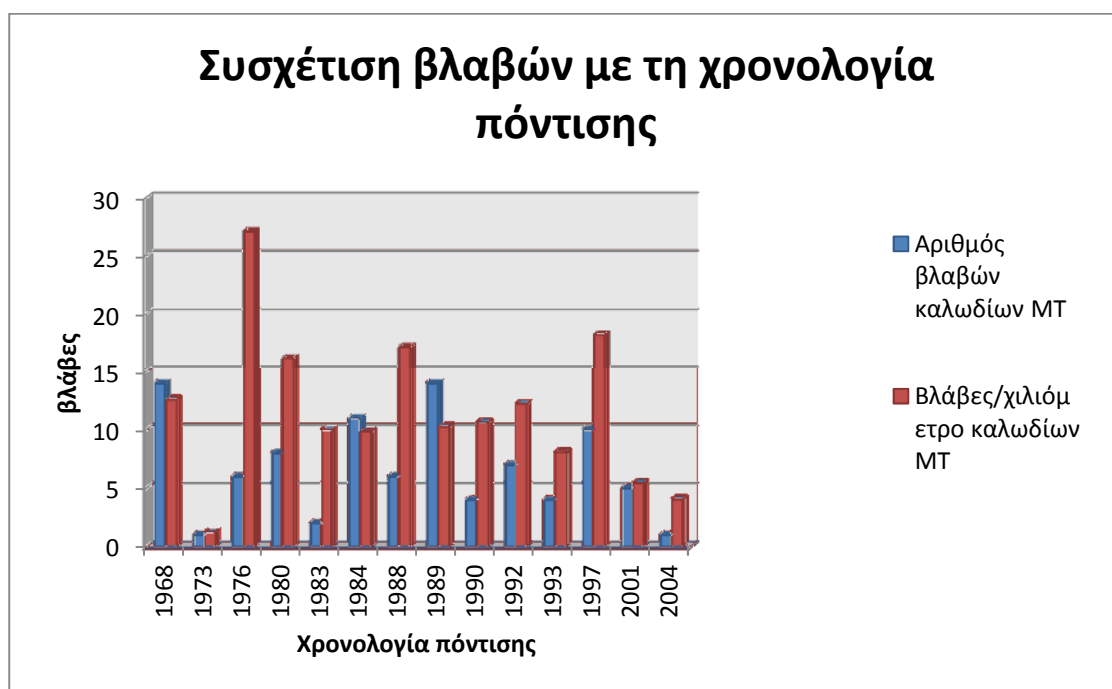
5.2.2.2 Χρονολογία πόντισης καλωδίου/ων της ζεύξης

Από τα υφιστάμενα στοιχεία για τις βλάβες των καλωδίων μεταξύ 2000-2011 έγινε έλεγχος αν αυτές συσχετίζονται με κάποιο τρόπο με τη χρονολογία πόντισης της διασύνδεσης που εμφάνισε τη βλάβη.

Πίνακας 5.5 :Συσχέτιση βλαβών με χρονολογία πόντισης καλωδίου

		Frequency	Percent	Submegred Cable (km)	Failures Per km (x1000)
Χρονολογία	1968	14	15.1	119.2	12.58
	1973	1	1.1	80.8	1.24
	1976	6	6.5	22.1	27.15
	1980	8	8.6	49.4	16.19
	1983	2	2.2	20.0	10.00
	1984	11	11.8	132.3	9.83
	1988	6	6.5	34.9	17.19
	1989	14	15.1	136.4	10.26
	1990	4	4.3	37.6	10.65
	1992	7	7.5	57.2	12.23
	1993	4	4.3	49.6	8.06
	1997	10	10.7	38.5	18.21
	2001	5	5.4	11.0	5.45
	2004	1	1.1	24.6	4.07
	Total	93	100.0	100.0	

Όπως προκύπτει από τον πίνακα 5.5 η μεγαλύτερη συχνότητα βλαβών εμφανίζεται ποσοστιαία σε απόλυτο αριθμό βλαβών σε καλώδια που εγκαταστάθηκαν τις χρονολογίες 1968, 1984, 1989 και 1997. Παρ'όλα αυτά αν γίνει επιπλέον έλεγχος των βλαβών ανά χιλιόμετρο καλωδίου παρατηρείται ότι οι χρονολογίες που εμφανίζουν μεγάλη συχνότητα βλαβών είναι σε καλώδια που ποντίστηκαν το 1968, 1976, 1980, 1988, 1997.



Σχήμα 5.3 Ιστόγραμμα συχνότητας βλαβών και βλαβών/χιλ ως προς την χρονολογία πόντισης

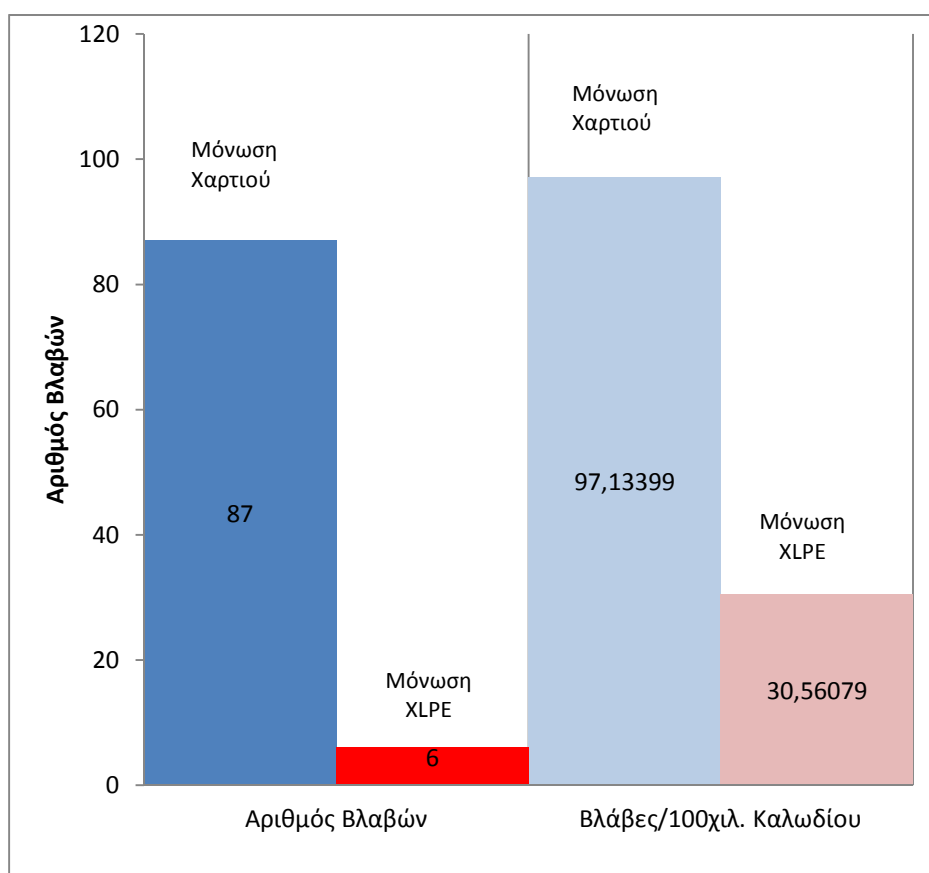
Μετά από έλεγχο της βάσης δεδομένων για τις βλάβες παρατηρήθηκε ότι σε σύνολο 44 βλαβών οι 30 (ποσοστό 68.18%) σχετίζονται με αγωγό Cu και μόνο οι 14 (ποσοστό 31.82%) σχετίζονται με αγωγό Al.

5.2.2.3 Μόνωση καλωδίου ζεύξης

Αναφορικά με τη μόνωση των καλωδίων του δικτύου τα καλώδια που ποντίστηκαν από το 1968 μέχρι το 2000 είχαν μόνωση χαρτιού ενώ τα καλώδια που ποντίστηκαν μετά το 2000 είναι με μόνωση XLPE. Από τον έλεγχο συσχέτισης είδους μόνωσης και βλαβών προκύπτει ότι η μόνωση XLPE μάλλον υπερτερεί έναντι αυτής του χαρτιού, είναι όμως σημαντικό εδώ να επισημανθεί ότι η μόνωση XLPE εφαρμόζεται στα καλώδια από το 2000 και ως εκ τούτου έχει πολύ μικρή σχετικά με τη μόνωση χαρτιού περίοδο λειτουργίας.

Πίνακας 5.6 :Πίνακας συσχέτισης αριθμού βλαβών και είδους μόνωσης αγωγού

	Συχνότητα	Ποσοστό	Μήκος Καλωδίων (km)	Βλάβες /1000m καλωδίου
ΜΟΝΩΣΗ ΧΑΡΤΙΟΥ	87	93.8	895.67	0.0971
ΜΟΝΩΣΗ XLPE	6	6.3	196.33	0.0306
Total	96	100.0	1092	



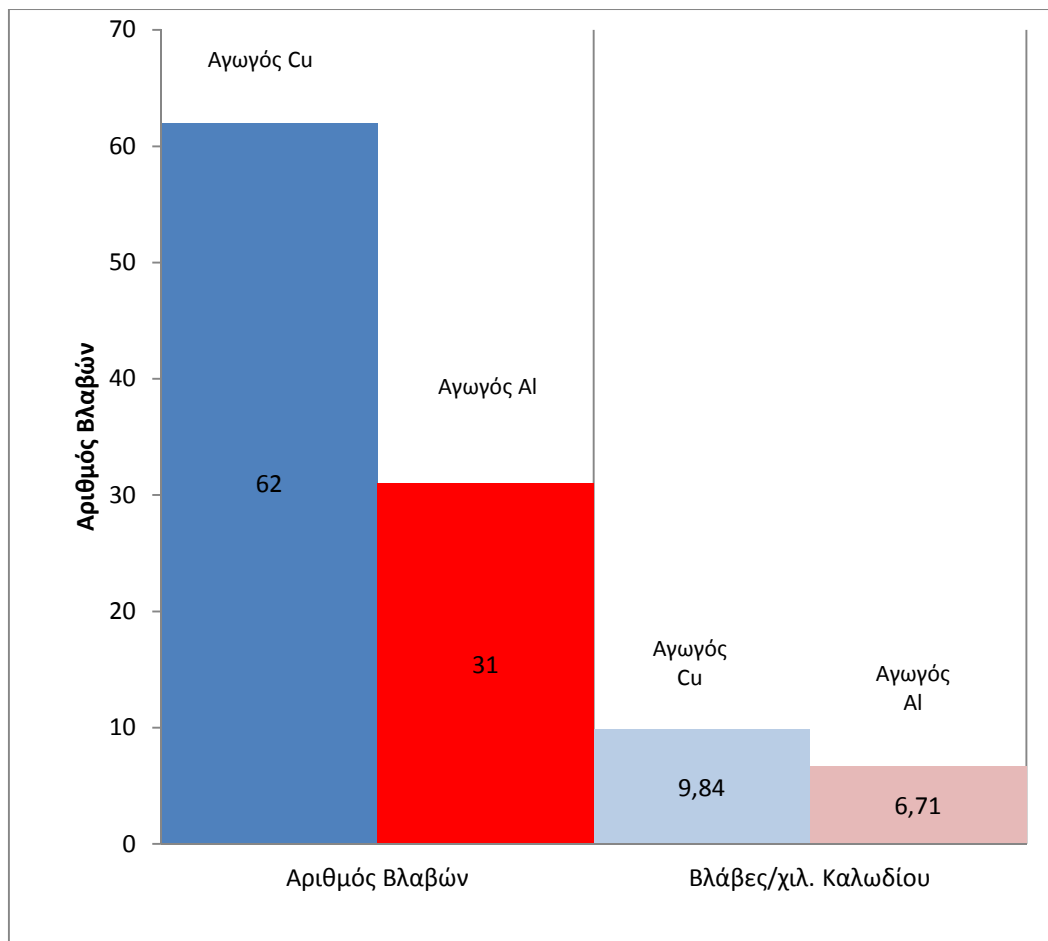
Σχήμα 5.4: Συσχέτιση αριθμού βλαβών και βλαβών/100χιλ. με είδους μόνωσης αγωγού

5.2.2.4 Υλικό κατασκευής αγωγού ζεύξης

Αναφορικά με το υλικό κατασκευής του αγωγού των καλωδίων από τα στοιχεία της βάσης δεδομένων προέκυψε ο παρακάτω πίνακας 5.7

Πίνακας 5.7: Πίνακας συσχέτισης αριθμού βλαβών και υλικού κατασκευής αγωγού

		Frequency	Percent	Submerged cable (km)	Failures per km
Valid	Cu	62	66.7	629.9	9.84
	Al	31	33.3	462.1	6.71
	Total	93	100.0	1092.0	

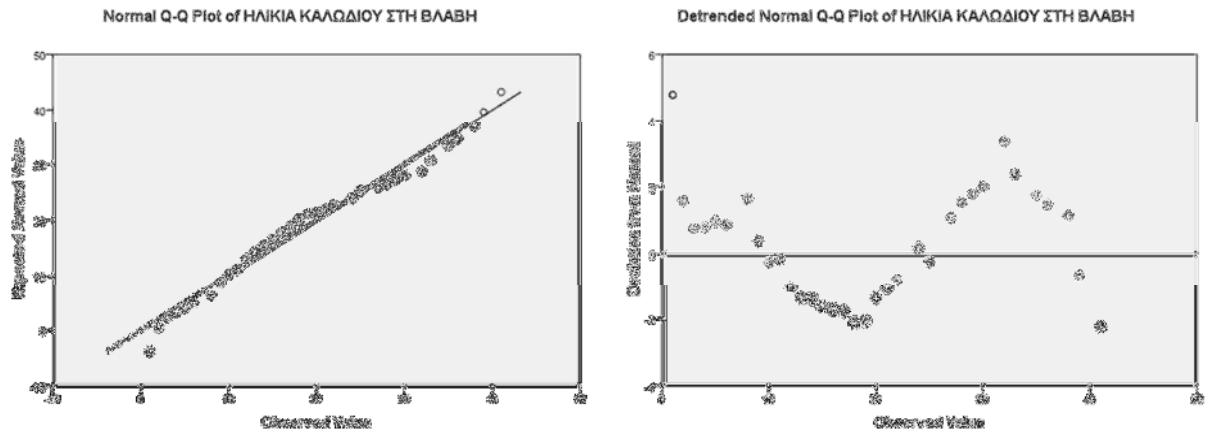


Σχήμα 5.5: Συσχέτιση αριθμού βλαβών και βλαβών/100χιλ. με υλικό κατασκευής αγωγού

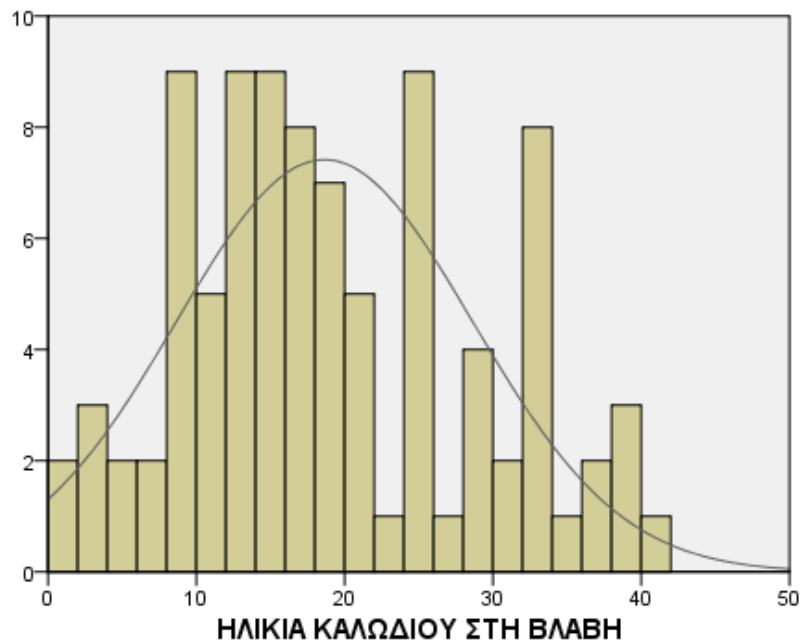
Αν και αρχικά παρατηρείται διπλάσιος αριθμός βλαβών σε καλώδια Cu έναντι αυτών του Al στην πραγματικότητα η διαφορά αμβλύνεται όταν μελετάμε τις βλάβες/χιλιόμετρο.

5.2.2.5 Ηλικία καλωδίου κατά την βλάβη

Από τη βάση δεδομένων για τις βλάβες που συνέβησαν στην χρονική περίοδο 2000-2011 έγινε έλεγχος της ηλικίας του καλωδίου κατά την βλάβη και διαπιστώθηκε ότι οι βλάβες ακολουθούν την κανονική κατανομή με ικανοποιητική προσέγγιση.



Σχήμα 5.6 :Αριστερά, διάγραμμα πραγματικών και θεωρητικών για κανονική κατανομή τιμών βλαβών Y/B καλωδίων
Δεξιά, απόκλιση τιμών από τις θεωρητικές κανονικής κατανομής



Σχήμα 5.7:Ιστόγραμμα αριθμού βλαβών συναρτήσει ηλικίας καλωδίων

Πίνακας 5.8:Χαρακτηριστικές τιμές κανονικής κατανομής βλαβών συναρτήσει ηλικίας καλωδίου

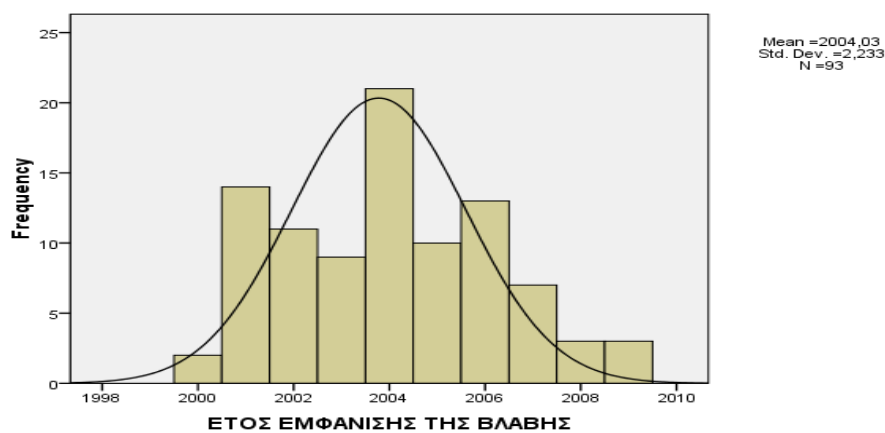
	N	Minimum	Maximum	Sum	Mean	Std. Deviation	Skewness	Kurtosis		
	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error
ΗΛΙΚΙΑ ΚΑΛΩΔΙΟΥ ΣΤΗ ΒΛΑΒΗ	93	1	41	1734	18.65	9.947	.373	.250	-.690	.495
Valid N (listwise)	93									

Από τα δεδομένα στοιχεία μεταξύ 2000 και 2010 επίσης προέκυψε ότι:

Πίνακας 5.9:Πίνακας βλαβών ανά έτος από 2000 έως 2011

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Έτος	2000	2	2.2	2.2	2.2
	2001	14	15.1	15.1	17.2
	2002	11	11.8	11.8	29.0
	2003	9	9.7	9.7	38.7
	2004	21	22.6	22.6	61.3
	2005	10	10.8	10.8	72.0
	2006	13	14.0	14.0	86.0
	2007	7	7.5	7.5	93.5
	2008	3	3.2	3.2	96.8
	2009	3	3.2	3.2	100.0
	Total	93	100.0	100.0	

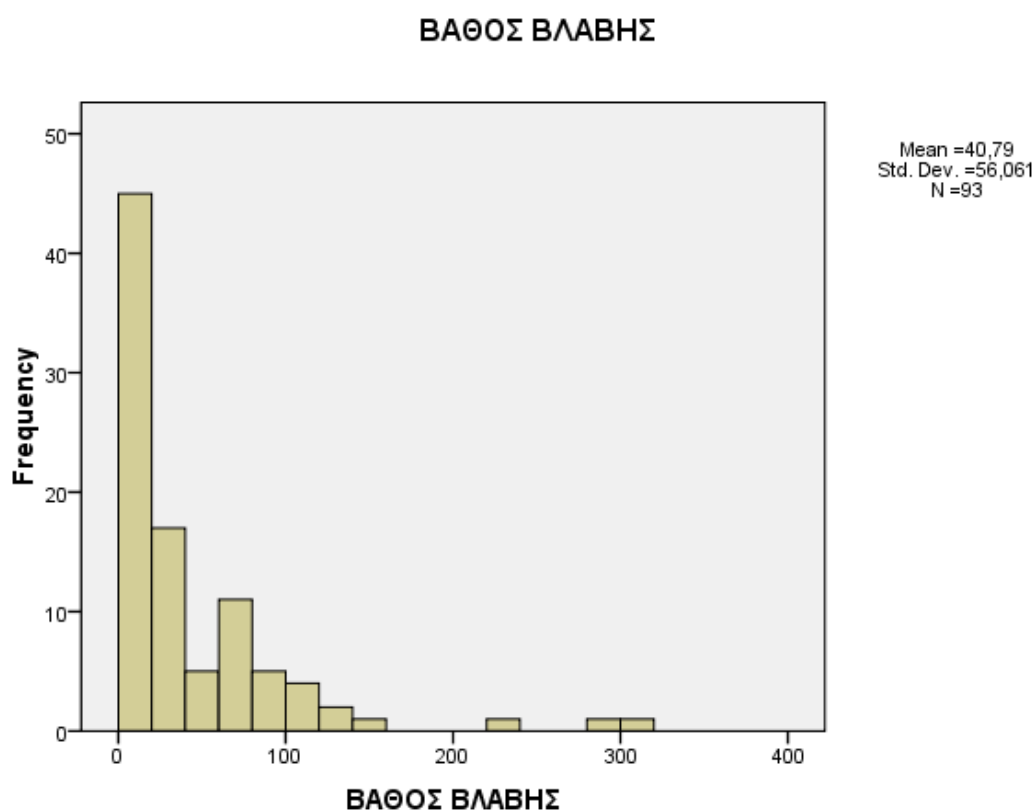
Histogram



Σχήμα 5.8:Ιστογράμμα αριθμού βλαβών συναρτήσει χρονολογίας που συνέβη η βλάβη

Από το παραπάνω σχήμα παρατηρούμε ότι την περίοδο 2004 υπήρξε έντονη αύξηση βλαβών ενδεχομένως λόγω των αυξημένων απαιτήσεως στα πλαίσια διεξαγωγής των Ολυμπιακών αγώνων 2004.

5.2.2.6 Βάθος βλάβης καλωδίου



Σχήμα 5.9: Ιστόγραμμα συσχέτισης βάθους βλάβης με αριθμό βλαβών

Από την μελέτη των βλαβών ως προς την παράμετρο του βάθους στο οποίο συνέβησαν είναι ολοφάνερο από το παραπάνω σχήμα ότι δεν είναι τυχαίο το βάθος στο οποίο συμβαίνουν οι βλάβες αλλά ακολουθούν μια εκθετική κατανομή όπου οι βλάβες είναι πολλές πλησίον των σημείων προσαυγείαλωσης και μικραίνουν όσο βαθαίνουν τα νερά. Αυτό είναι τρόπον τινά αναμενόμενο αφού όσο μεγαλώνουν τα βάθη γίνεται απαγορευτική τόσο η αγκυροβολία των πλοίων όσο και η χρησιμοποίηση μέσων αλιείας.

5.2.2.7 Αιτία δημιουργίας της βλάβης

Από τα δεδομένα για τις βλάβες που συνέβησαν μεταξύ 2000 και 2011 προέκυψε ότι αιτία πρόκλησης βλάβης καλωδίου ήταν μία από τις παρακάτω:

-**Άγκυρα.** Πρόκειται για βλάβες που συμβαίνουν κατά την προσπάθεια αγκυροβολίου ενός πλοίου οπότε και η άγκυρα αγκιστρώνεται στο καλώδιο είτε επειδή ξέσυρε το πλοίο, είτε κατά την ανέλκυσή της ή ακόμη και από λάθος χειρισμό και ακούσια πόντισή της.

-**Τράτα.** Πρόκειται για βλάβες που σχετίζονται με μέσα αλιείας οπότε κατά τη διάρκεια αυτής. Στην αλιεία με μηχανότρατες τα εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται είναι οι υδραετοί (πόρτες), το δίκτυ που είναι ανάμεσα στους υδραετούς και τα συρματόσχοινα που τραβούν τους υδραετούς. Κατά την παρέαση των υδραετών είναι πιθανό να αγκιστρωθούν εξαρτήματα του με υπάρχον ποντισμένο καλώδιο προκαλώντας του φθορά η οποία αν και όχι σε όλες τις περιπτώσεις οδηγεί σε βλάβη του καλωδίου.

-**Αστοχία συνδέσμου.** Αν και επιδιώκεται το ποντισμένο καλώδιο να είναι ενιαίο σε όλο το μήκος του παρ' ολ' αυτά δεν είναι πάντα αυτό δυνατό και έτσι για μεγάλα μήκη χρησιμοποιούνται υποβρύχιοι σύνδεσμοι που ενώνουν τα δυο τμήματα του καλωδίου. Η αστοχία συνήθως οφείλεται σε κακή συναρμογή στο σημείο της σύνδεσης.

-**Αστοχία καλωδίου.** Πρόκειται για βλάβη που προέρχεται συνήθως από βυρίνες που δημιουργούνται στο ποντισμένο καλώδιο είτε κατά τη διαδικασία της πόντισης είτε λόγω ρευμάτων στη συνέχεια και εξαιτίας των οποίων το καλώδιο τρίβεται και καταστρέφεται. Υπενθυμίζεται ότι για την αποφυγή βυρίνων το καλώδιο ποντίζεται με μια μόνιμη τάνυση.

-**Τριβή καλωδίου.** Η τριβή του καλωδίου είναι συνήθως αποτέλεσμα υπόγειων ρευμάτων που εξαναγκάζουν το καλώδιο να μετακινείται από τη θέση στην οποία είναι ποντισμένο. Στην περίπτωση που η μορφολογία του πυθμένα είναι βραχώδης ή πετρώδης τότε η τριβή του καλωδίου επιβαρύνει ιδιαίτερα τον οπλισμό που προστατεύει το καλώδιο με αποτέλεσμα την τελική διακοπή της συνέχειάς του.

-**Καθίζηση.** Όταν μιλάμε για καθιζήσεις τη μετακίνηση μαζών ιζημάτων οφειλόμενη σε διάφορους παράγοντες όπως σεισμούς, απότομα πρηνή και άλλα.. Κατά τον σεισμό γίνεται μετατροπή της συσσωρευμένης ελαστικής ενέργειας παραμόρφωσης σε κινητική θέτοντας τη μάζα του πετρώματος σε ταλάντωση και προκαλώντας καταστροφή σε καλώδια που ενδεχομένως βρίσκονται πλησίον του φαινομένου.

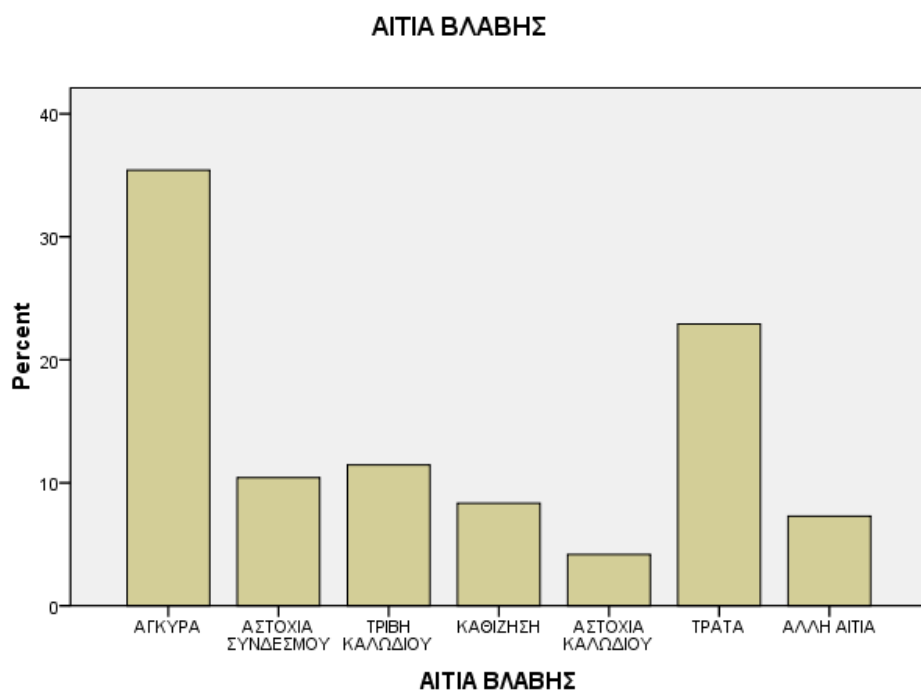
-**Άλλη αιτία.** Εδώ έχουν συμπεριληφθεί εξαιρετικά μειονοτικές περιπτώσεις όπως δολιοφθορά και χρήση δυναμίτιδας.

Από την επεξεργασία των δεδομένων προέκυψε ο παρακάτω πίνακας 5.10

Πίνακας 5.10: Πίνακας συχνότητας βλαβών ανά αιτία πρόκλησης

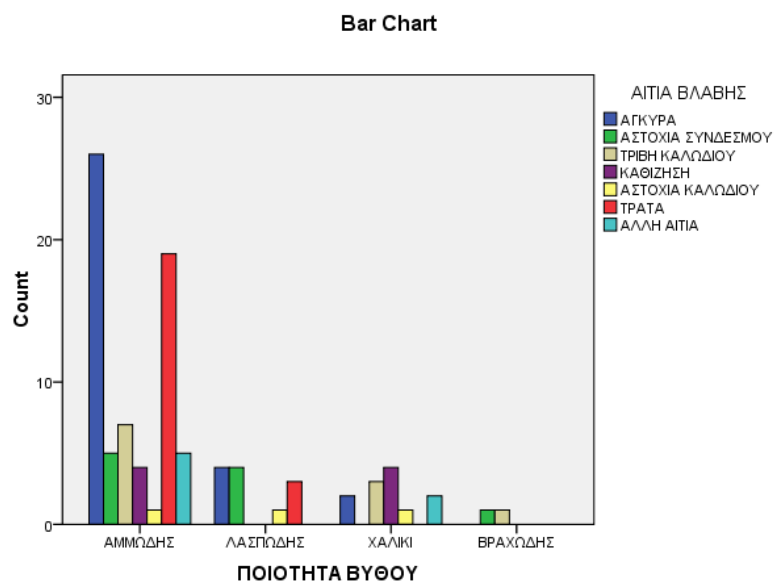
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	ΑΓΚΥΡΑ	34	35.4	35.4	35.4
	ΑΣΤΟΧΙΑ ΣΥΝΔΕΣΜΟΥ	10	10.4	10.4	45.8
	ΤΡΙΒΗ ΚΑΛΩΔΙΟΥ	11	11.5	11.5	57.3
	ΚΑΘΙΖΗΣΗ	8	8.3	8.3	65.6
	ΑΣΤΟΧΙΑ ΚΑΛΩΔΙΟΥ	4	4.2	4.2	69.8
	ΤΡΑΤΑ	22	22.9	22.9	92.7
	ΑΛΛΗ ΑΙΤΙΑ	7	7.3	7.3	100.0
	Total	96	100.0	100.0	

Αν απεικονίσουμε τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα σε ιστόγραμμα προκύπτει:



Σχήμα 5.10: Ιστόγραμμα ποσοστιαίας απεικόνισης αιτιών βλάβης Υ/Β καλωδίων

Αν προσπαθήσουμε να συσχετίσουμε τις αιτίες βλάβης των καλωδίων με την ποιότητα του βυθού στην περιοχή της βλάβης θα πάρουμε το παρακάτω ιστόγραμμα.



Σχήμα 5.11: Ιστογράμμα απεικόνισης συσχέτισης αιτιών βλάβης Υ/Β καλωδίων και ποιότητας βυθού

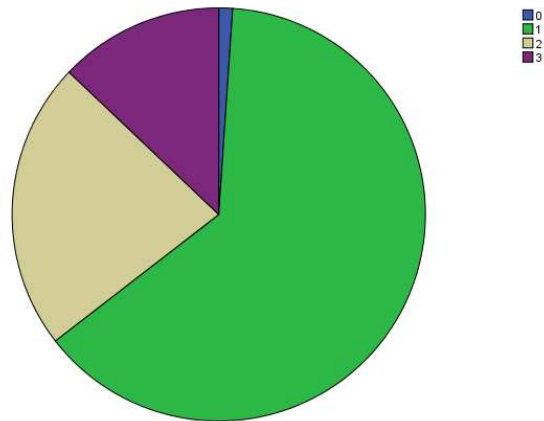
5.2.2.8 Επίδραση ανθρώπινου παράγοντα στην βλάβη

Από τη επεξεργασία των δεδομένων προέκυψε όπως φαίνεται και στον ακόλουθο πίνακα ότι οι βλάβες λόγω ανθρώπινης δραστηριότητας είναι σε ένα ποσοστό 63.4% έναντι των υπολοίπων που συνολικά δεν ξεπερνούν το ποσοστό των 35.5%.

Πίνακας 5.11: Πίνακας βλαβών κατηγοριοποιημένος ως προς τον ανθρώπινο παράγοντα

	Frequency	Percent	Valid Percent
1 ΒΛΑΒΗ ΛΟΓΩ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ	59	63.4	63.4
2 ΒΛΑΒΗ ΛΟΓΩ ΦΥΣΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ	21	22.6	22.6
3 ΒΛΑΒΗ ΛΟΓΩ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΥΛΙΚΟΥ	12	12.9	12.9
0 ΒΛΑΒΗ ΑΓΝΩΣΤΗΣ ΑΙΤΙΑΣ	1	1.1	1.1
Total	93	100.0	100.0

ΣΧΕΣΗ ΒΛΑΒΗΣ ΜΕ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ



Σχήμα 5.12: Διάγραμμα απεικόνισης βλαβών ως προς την ανθρώπινη επικινδυνότητα

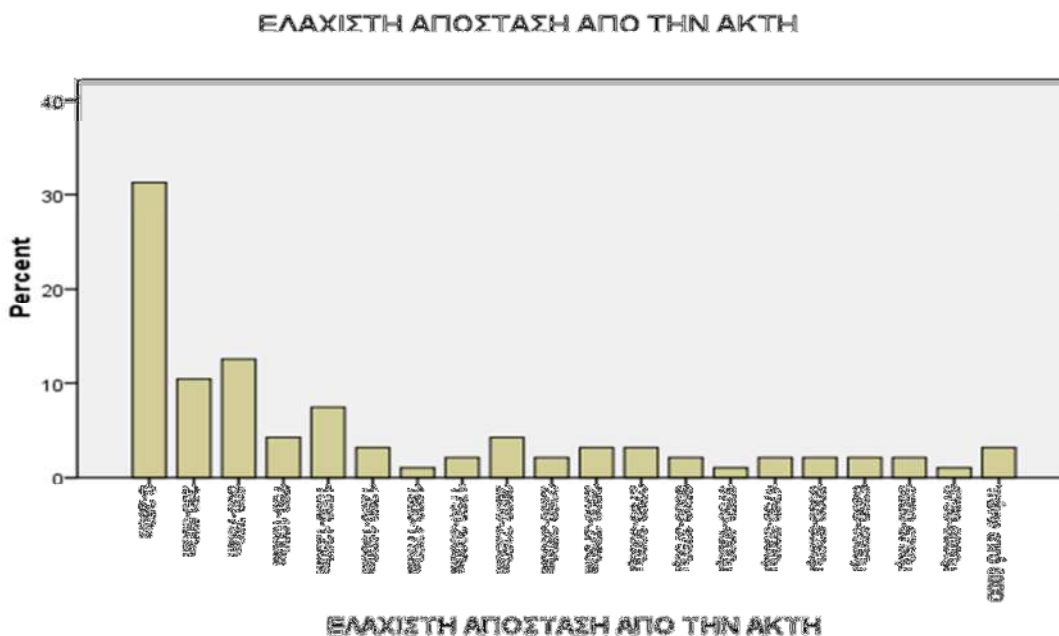
5.2.2.9 Απόσταση βλάβης από την ακτή

Από την επεξεργασία των δεδομένων έγινε διαχωρισμός των καλωδίων σε τμήματα των 250 μέτρων και στη συνέχεια ομαδοποιήθηκαν οι βλάβες ανάλογα με την ελάχιστη απόσταση από την ακτή.

Πίνακας 5.12: Πίνακας συχνότητας βλαβών ως προς την ελάχιστη απόσταση από την ακτή.

	Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid 0-250m	30	31.3	31.3	31.3
250-500m	10	10.4	10.4	41.7
500-750m	12	12.5	12.5	54.2
750-1000m	4	4.2	4.2	58.3
1000-1250m	7	7.3	7.3	65.6
1250-1500m	3	3.1	3.1	68.8
1500-1750m	1	1.0	1.0	69.8
1750-2000m	2	2.1	2.1	71.9
2000-2250m	4	4.2	4.2	76.0
2250-2500m	2	2.1	2.1	78.1
2500-2750m	3	3.1	3.1	81.3
2750-3000μ	3	3.1	3.1	84.4
3500-3750μ	2	2.1	2.1	86.5
3750-4000μ	1	1.0	1.0	87.5
4750-5000μ	2	2.1	2.1	89.6
5000-5250μ	2	2.1	2.1	91.7
5250-5500μ	2	2.1	2.1	93.8
5500-5750μ	2	2.1	2.1	95.8
5750-6000μ	1	1.0	1.0	96.9
πάνω από 6000	3	3.1	3.1	100.0
Total	96	100.0	100.0	

Από το ιστόγραμμα που δημιουργείται με τα στοιχεία του παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι όσο απομακρυνόμαστε από την ακτή τόσο μικραίνει το ποσοστό των βλαβών. Αυτό το στοιχείο είναι σε πλήρη συμφωνία με το διάγραμμα του σχήματος 5.7 που απεικονίζεται επίσης μείωση των βλαβών αυξανόμενου του βάθους.



Σχήμα 5.13: Διάγραμμα απεικόνισης βλαβών ως προς την ελάχιστη απόσταση της βλάβης από την ακτή

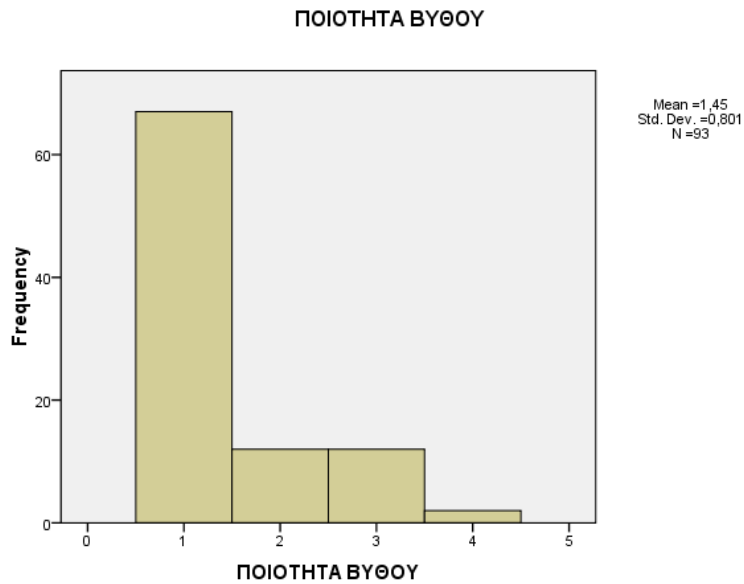
5.2.2.10 Ποιότητα βυθού στην περιοχή της βλάβης

Η ποιότητα του βυθού στην περιοχή πόντισης του καλωδίου αποτελεί ένα πολύ σημαντικό παράγοντα για την αξιοπιστία της διασύνδεσης και την διάρκεια λειτουργίας της. Ο βυθός ανάλογα με τη σύσταση διακρίνεται σε αμμώδη, λασπώδη, αμμοχάλικο και βραχώδη.

Στον αμμώδη και το λασπώδη βυθό έχει παρατηρηθεί με την πάροδο του χρόνου ελαφρά διείδυση του ποντισμένου καλωδίου με βάθος μέχρι 30 cm. Στον βραχώδη βυθό απαιτείται καλή στερέωση του καλωδίου ώστε να αποφεύγεται η τριβή του κατά την κίνησή του στον πυθμένα. Αναλυτικότερη αναφορά στην σύσταση του βυθού έγινε στο κεφ.3 ενώ θα ακολουθήσει και στο κεφ.6.

Πίνακας 5.13: Πίνακας συχνότητας βλαβών ως προς την ποιότητα του βυθού.

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	ΑΜΜΩΔΗΣ	67	72.0	72.0	72.0
	ΛΑΣΠΩΔΗΣ	12	12.9	12.9	84.9
	ΧΑΛΙΚΙ	12	12.9	12.9	97.8
	ΒΡΑΧΩΔΗΣ	2	2.2	2.2	100.0
Total		93	100.0	100.0	



Σχήμα 5.14: Διάγραμμα απεικόνισης βλαβών ως προς την ποιότητα του βυθού

Παρατηρείται ότι στον αμμώδη βυθό προκύπτει μεγάλη συχνότητα τραυματισμών. Από την περαιτέρω διερεύνηση των στοιχείων προκύπτει ο παρακάτω πίνακας

Πίνακας 5.14: Πίνακας συσχέτισης αιτίας βλαβών ως προς την ποιότητα του βυθού.

ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΒΥΘΟΥ * ΑΙΤΙΑ ΒΛΑΒΗΣ Crosstabulation

			ΑΙΤΙΑ ΒΛΑΒΗΣ							Total
			ΑΓΚΥΡΑ	ΑΣΤΟΧΙΑ ΣΥΝΔΕΣΜΟΥ	ΤΡΙΒΗ ΚΑΛΩΔΙΟΥ	ΚΑΘΙΖΗΣΗ	ΑΣΤΟΧΙΑ ΚΑΛΩΔΙΟΥ	ΤΡΑΤΑ	ΛΛΗ ΑΙΤΙΑ	
ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΒΥΘΟΥ	ΑΜΜΩΔΗΣ	Count	26	5	7	4	1	19	5	67
		% within ΑΙΤΙΑ ΒΛΑΒΗΣ	81,3%	50,0%	63,6%	50,0%	33,3%	86,4%	71,4%	72,0%
		% of Total	28,0%	5,4%	7,5%	4,3%	1,1%	20,4%	5,4%	72,0%
	ΛΑΣΠΩΔΗΣ	Count	4	4	0	0	1	3	0	12
		% within ΑΙΤΙΑ ΒΛΑΒΗΣ	12,5%	40,0%	,0%	,0%	33,3%	13,6%	,0%	12,9%
		% of Total	4,3%	4,3%	,0%	,0%	1,1%	3,2%	,0%	12,9%
	ΧΑΛΙΚΙ	Count	2	0	3	4	1	0	2	12
		% within ΑΙΤΙΑ ΒΛΑΒΗΣ	6,3%	,0%	27,3%	50,0%	33,3%	,0%	28,6%	12,9%
		% of Total	2,2%	,0%	3,2%	4,3%	1,1%	,0%	2,2%	12,9%
	ΒΡΑΧΩΔΗΣ	Count	0	1	1	0	0	0	0	2
		% within ΑΙΤΙΑ ΒΛΑΒΗΣ	,0%	10,0%	9,1%	,0%	,0%	,0%	,0%	2,2%
		% of Total	,0%	1,1%	1,1%	,0%	,0%	,0%	,0%	2,2%
Total		Count	32	10	11	8	3	22	7	93
		% within ΑΙΤΙΑ ΒΛΑΒΗΣ	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
		% of Total	34,4%	10,8%	11,8%	8,6%	3,2%	23,7%	7,5%	100,0%

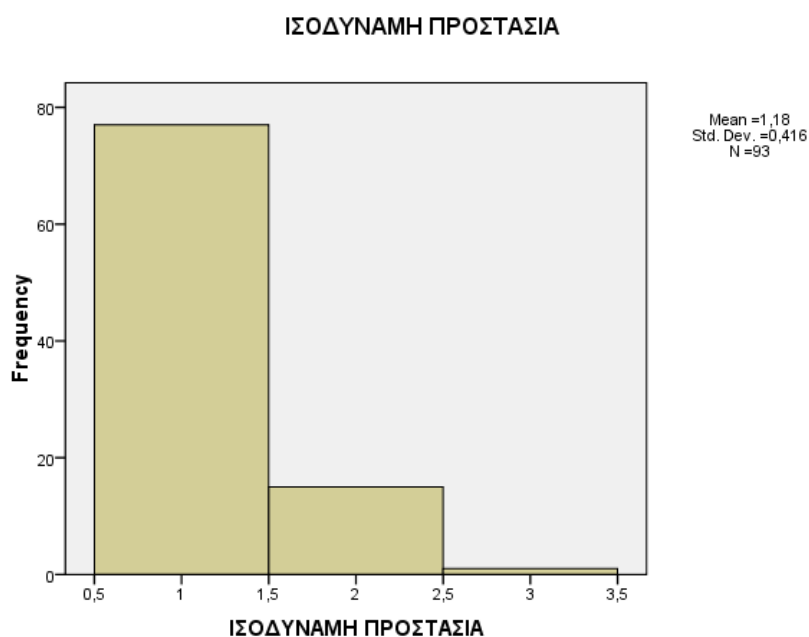
Παρατηρούμε ότι στον αμμώδη βυθό οι βλάβες οφείλονται ως επί το πλείστον στην ανθρώπινη δραστηριότητα 72% (άγκυρα + τράτα).

5.2.2.11 Προστασία καλωδίου στην περιοχή της βλάβης

Από τη επεξεργασία των δεδομένων σχετικά με την ποιότητα προστασίας των καλωδίων στην περιοχή της βλάβης προέκυψαν τα παρακάτω στοιχεία

Πίνακας 5.15: Πίνακας βλαβών και αντίστοιχο επίπεδο προστασίας του καλωδίου

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	ΑΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΟ ΕΝ ΑΠΟΘΕΣΕΙ ΜΕ ΑΠΛΟ ΟΠΛΙΣΜΟ	77	82.8	82.8	82.8
	ΕΛΑΦΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ Π.Χ. ΜΕ ΠΕΤΡΕΣ	15	16.1	16.1	98.9
	ΚΑΛΑ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΜΕΝΟ ΜΕ ΕΝΥΣΧΥΜΕΝΟ ΟΠΛΙΣΜΟ	1	1.1	1.1	100.0
Total		93	100.0	100.0	



Σχήμα 5.15: Διάγραμμα απεικόνισης βλαβών ως προς το επίπεδο προστασίας του καλωδίου.

Είναι προφανές ότι η προστασία του καλωδίου παίζει καθοριστικό ρόλο στην αποφυγή βλαβών. Το εντελώς αποστάτευτο εν αποθέσει καλώδιο είναι έρμαιο κάθε παράγοντα επικινδυνότητας που δύναται να του προκαλέσει βλάβη.

Αναλυτικότερη αναφορά σχετικά με την προστασία των υποβρύχιων καλωδίων γίνεται στο κεφ.6.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Μοντέλο Αξιοπιστίας

6.1 Κατασκευή Στατιστικού Μοντέλου

6.1.1 Επιλογή παραμέτρων

Για τη μελέτη αξιοπιστίας που θα ακολουθήσει κατασκευάστηκε μαθηματικό-στατιστικό μοντέλο μέσω του οποίου υπολογίστηκε ο αριθμός βλαβών του υπό μελέτη υποβρύχιου δικτύου MT ανά 250 μέτρα καλωδίου.

Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν στο εν λόγω μοντέλο είναι :

- το βάθος όδευσης/βλάβης του καλωδίου
- το μήκος όδευσης/ελάχιστη απόσταση βλάβης από την ακτή
- τα χαρακτηριστικά του βυθού στην διαδρομή όδευσης/σημείο βλάβης του καλωδίου
- τα μέτρα προστασίας του καλωδίου που λαμβάνονται κατά την διαδρομή όδευσης

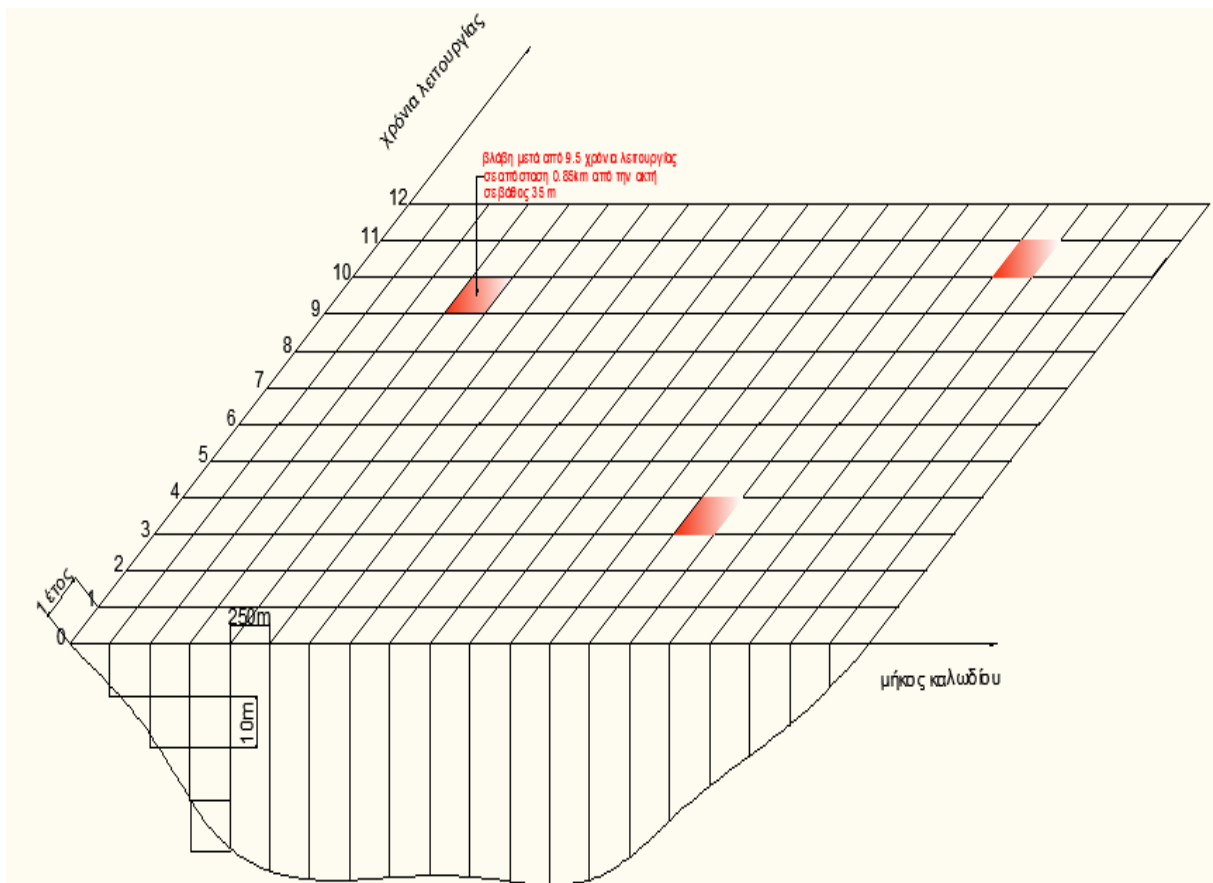
Η επιλογή των παραπάνω παραμέτρων έγινε διότι αποδείχθηκε προηγουμένως ένας σημαντικός βαθμός συσχέτισης του αριθμού βλαβών με τους εν λόγω παράγοντες. Δεδομένου ότι για την πόντιση των καλωδίων θεωρήθηκαν κανονικές συνθήκες περιβάλλοντος με παράλληλη απουσία θαλάσσιων ρευμάτων θα θεωρήσουμε στην μελέτη ότι δεν υφίσταται επίδραση από θαλάσσια ρεύματα.

Όσον αφορά στο στατιστικό μοντέλο που δημιουργήθηκε έγινε η υπόθεση ότι σε κάθε ζεύξη μεταξύ των δύο σημείων προσαιγιάλωσης το καλώδιο αποτελείται από τμήματα L_i , όπου $i = 0,1,2, \dots, 9$ των 250 μέτρων τα οποία βρίσκονται το καθένα σε ένα μέσο βάθος D_i , όπου $i = 0,1,2, \dots, 7$.

Επιπλέον των ανωτέρω για καθένα καλώδιο μελετήθηκε ο αριθμός βλαβών του σε διαστήματα του ενός έτους. Επειδή οι βλάβες από τη βάση δεδομένων που υπάρχει παρέχουν αξιόπιστα αποτελέσματα στο διάστημα μεταξύ 2000 και 2011 γι' αυτό θεωρήθηκε ότι τα χρονικά διαστήματα του 1 έτους στα οποία μελετήθηκαν οι βλάβες αφορούν μόνο την περίοδο 2000-2011.

Σύμφωνα με τα παραπάνω καθένα καλώδιο αποκτά μία μοναδική «ταυτότητα» η οποία το χαρακτηρίζει με την πάροδο του χρόνου από την στιγμή της πόντισής του και έπειτα. Κάθε μήκος 250 μέτρων στο συγκεκριμένο μέσο βάθος αντιστοιχίζεται σε κάθε έτος που περνά με μοναδικό τρόπο με ένα λευκό τετράγωνο στοιχείο. Εάν σε κάποιο έτος από την πόντιση του καλωδίου διαπιστωθεί βλάβη τότε αυτή απεικονίζεται με κόκκινο τετράγωνο στοιχείο.

Έτσι τελικώς ένα καλώδιο μιας τυχαίας ζεύξης που θα μπορούσε εικονικά να εκφραστεί από το παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 6.1 Τρισδιάστατη απεικόνιση στατιστικού μοντέλου αξιοπιστίας Y/B καλωδίων

Αναλυτικότερα έχουμε ότι κάθε τετράγωνο στοιχείο έχει στον άξονα οx μοναδιαία διάσταση που ισούται με την παρέλευση ενός έτους. Έτσι αν λόγου χάριν για το καλώδιο της ζεύξης Πάρου-Νάξο με χρονολογία πόντισης το 2004 εάν μελετάται η συμπεριφορά του έως το 2011 δηλ. για 7 χρόνια τότε η τρισδιάστατη επιφάνεια που το αντιπροσωπεύει θα έχει στον άξονα οx 7 μοναδιαίες πλευρές.

Επιπρόσθετα κάθε τετράγωνο έχει στον άξονα οy μοναδιαία διάσταση ίση με αυτή του οx που αντιστοιχεί σε μήκος καλωδίου ίσο 250 μέτρα. Αυτό σημαίνει ότι για το καλώδιο του παραπάνω παραδείγματος με μήκος 3500 μέτρα έχουμε 14 πλευρές στον άξονα οy.

Με την παραπάνω συλλογιστική κατασκευάζουμε έναν επίπεδο χώρο που αντικατοπτρίζονται 69 ζεύξεις με 169 ποντισμένα καλώδια και συνολικό μήκος αυτών 1092 μέτρα. Η απεικόνιση γίνεται με 45311 στοιχεία ίσων διαστάσεων.

Αν και η μελέτη αφορά όπως προείπαμε την περίοδο 2000-2011 παρ'όλ'αυτά το εξαγόμενο στατιστικό μοντέλο επειδή στηρίζεται στην πρόβλεψη αξιοπιστίας με δεδομένο ένα ιστορικό βλαβών θα μπορούσαμε να πούμε ότι δεν μας περιορίζει τη γενικότητα.

Η βάση δεδομένων περιέχει στοιχεία για συνολικά 97 βλάβες που έλαβαν χώρα μεταξύ 2000 και 2011 σε ένα δίκτυο καλωδίων συνολικού μήκους 1092 χιλιομέτρων ανά την Ελλάδα.

Πίνακας 6.1: Υφιστάμενες διασυνδέσεις ΜΤ στη Ελλάδα μέχρι Αυγ.2011

Πίνακας υφισταμένων υποβρυχίων διασυνδέσεων (αρμοδιότητα Διανομής)								
a/a	Σημεία (από - προς)	προσαυγιάωσης	Πλήθος καλωδίων	Τύπος, φύση & διατομή αγωγών (mm ²)	Ονομαστική τάση (kV)	Ισχύς/καλ.σε ον.τάση (MVA)	Μήκος (km)	Έτος πόντισης
1	Δίαυλος κόλπου Γέρας		1	3 x 60 Cu	15	6.5*	0.6	1960
2	Κοιλάδα - Κορωνίδα		1	3 x 25 Cu	15	4.2*	0.5	1963
3	Σπέτσες - Σπετσοπούλα		2	3 x 25 Cu	15	4.2*	0.9	1963
4	Γλύφα - Ωρεοί		4	1 x 150 Al	15	7.8*	4.0	1963
5	Κόστα - Σπέτσες		4	1 x 95 Cu	15	7.8	2.7	1964
	Κόστα - Σπέτσες		2	3 x 150 Al	20	10.4*	2.7	1996
6	Ακτιο - Πρέβεζα		4	1 x 150 Al	15	7.8*	0.8	1964
	Ακτιο - Πρέβεζα		2	3 x 150 Al	20	10.4	1.0	1976
7	Στενό Χαλκίδας		1	3 x 150 Cu	15	9*	0.3	1964
8	Πέραμα - Σαλαμίνα		1	3 x 185 Cu	22	14.5*	1.5	1965
	Πέραμα - Σαλαμίνα		1	3 x 150 Al	22	11.4	1.7	1976
9	Κεραμωτή - Θάσος		4	1 x 95 Cu	20	10.4	8.7	1968
	Κεραμωτή - Θάσος		2	3 x 150 Al	20	10.4	8.2	1990
10	Πήλιο - Σκιάθος		4	1 x 95 Cu	20	10.4	5.4	1968
	Πήλιο - Σκιάθος		2	3 x 150 Al	20	10.4	5.0	1989
	Πήλιο - Σκιάθος		1	3 x 95 Cu	20	10.4	5.0	2004
11	Σκιάθος - Σκόπελος		4	1 x 50 Cu	20	7.9	9.2	1968
	Σκιάθος - Σκόπελος		2	3 x 150 Al	20	10.4	9.3	1997
12	Κεφαλλονιά - Ιθάκη		4	1 x 95 Cu	20	10.4	6.5	1968
13	Πάρος - Νάξος		2	3 x 150 Al	20	10.4	7.5	1973
	Πάρος - Νάξος		1	3 x 150 Al	20	10.4	7.1	1992
	Πάρος - Νάξος		2	3 x 95 Cu	12.1	12.1	7.5	2004
14	Πάρος - Αντίπαρος		4	1 x 50 Al	20	7.0	1.9	1973
15	Μήλος - Κίμωλος		4	1 x 50 Al	20	7.0	1.7	1973
16	Κως - Κάλυμνος		2	3 x 150 Al	20	10.4	12.7	1973
17	Χίος - Οινούσες		4	1 x 50 Al	20	7.0	3.7	1973
18	Τρυπητή - Αμολιανή		4	1 x 50 Al	20	7.0	2.8	1973
19	Μύτικας - Κάλυμνος		4	1 x 50 Al	20	7.0	2.2	1974
20	Λευκάδα - Μεγανήσι		4	1 x 50 Al	20	7.0	1.3	1974
21	Στερ. Ελλάδα - Λευκάδα		2	3 x 150 Al	20	10.4	0.6	1974
22	Στερ. Ελλάδα - Τριζόνια		4	1 x 50 Al	20	7.0	0.5	1974
23	Ανδρος - Τήνος		2	3 x 150 Al	20	10.4	3.3	1974
24	Λακωνία - Ελαφόνησος		2	3 x 150 Al	20	10.4	1.3	1974
25	Κάλυμνος - Λέρος		2	3 x 150 Al	20	10.4	4.0	1974
26	Μέθανα - Αίγινα		2	3 x 150 Al	20	10.4	9.2	1976
	Μέθανα - Αίγινα		1	3 x 150 Al	20	10.4	9.4	1997
27	Στενό Λευκάδας		1	3 x 150 Al	20	10.4	0.1	1979
28	Κάλυμνος - Κάστος		2	3 x 35 Al	20	5.0	1.8	1980
29	Κάλυμνος - Τέλενδος		2	3 x 35 Al	20	5.0	1.1	1980
30	Κως - Ψέριμος		2	3 x 35 Al	20	5.0	4.3	1980
31	Φούρνοι - Θύμιανα		2	3 x 35 Al	20	5.0	2.3	1980
32	Σκόπελος - Αλόνησος		2	3 x 35 Cu	20	6.6	10.5	1980
33	Μαγνησία - Τρίκερι		2	3 x 35 Al	20	5.0	1.4	1980
34	Θήρα - Θηρασιά		2	3 x 35 Cu	20	6.6	2.8	1980
35	Άγιος Αχίλλειος Πρέσπας		2	3 x 35 Al	20	5.0	0.6	1980
36	Νάξος - Κουφονήσι		1	3 x 35 Cu	20	6.6	6.2	1983

37	Κουφονήσι - Σχοινούσα	1	3 x 35 Cu	20	6.6	9.2	1983
38	Σχοινούσα - Ηρακλειά	1	3 x 35 Cu	20	6.6	4.6	1983
39	Κάρπαθος - Κάσος	2	3 x 35 Al	20	5.0	15.2	1984
40	Μετόχι - Ύδρα	1	3 x 35 Cu	20	6.6	7.8	1984
	Μετόχι - Ύδρα	1	3 x 35 Cu	20	6.6	7.4	1989
41	Μέθανα - Αγκίστρι	2	3 x 35 Cu	20	6.6	5.1	1984
42	Ηπειρωτική ακτή - Παξοί	2	3 x 35 Cu	20	6.6	17.5	1984
43	Παξοί - Αντίπαξοι	1	3 x 35 Al	6.6	1.7	4.2	1984
44	Κέρκυρα - Μαθράκι	1	3 x 35 Al	6.6	1.7	11.4	1984
45	Σάμος - Φούρνοι	2	3 x 35 Al	20	5.0	8.5	1984
46	Νεάπολη (Λακωνία) - Κύθηρα	1	3 x 35 Cu	20	6.6	16.3	1984
	Νεάπολη (Λακωνία) - Κύθηρα	1	3 x 35 Cu	20	6.6	16.3	1987
47	Γυαλί - Νίσυρος	2	3 x 35 Cu	20	6.6	7.2	1988
48	Κως - Γυαλί	2	3 x 35 Cu	20	6.6	10.4	1988/1995
49	Νίσυρος - Τήλος	2	3 x 35 Cu	20	6.6	16.0	1989
50	Ρόδος - Χάλκη	2	3 x 35 Cu	20	6.6	14.7	1989
51	Σίκινος - Ιος	2	3 x 35 Al	20	5.0	10.3	1989
52	Φολέγανδρος - Σίκινος	2	3 x 35 Al	20	5.0	18.5	1989
53	Λέρος - Λειψοί	2	3 x 35 Al	20	5.0	9.7	1990
54	Κέρκυρα - Βίδος	1	3 x 35 Al	20	5.0	1.8	1990
55	Μύκονος - Δήλος	2	3 x 35 Al	20	5.0	3.7	1991
56	Λιμάνι Δήλου - Λιμάνι Φούρνων Δήλου	1	3 x 35 Al	20	5.0	0.6	1991
57	Χίος - Ψαρά	2	3 x 35 Cu	20	6.6	20.6	1992
58	Αργοστόλι - Αγ. Κωνσταντίνος	2	3 x 150 Al	20	10.4	1.6	1992
59	Ληξούρι - Λάσση	2	3 x 150 Al	20	10.4	2.9	1992
60	Λαύριο - Κέα	2	3 x 150 Al	20	10.4	24.8	1993
61	Νάξος - Ηρακλειά	1	3 x 35 Cu	20	6.6	8.8	1997
62	Αλεξανδρούπολη - Σαμοθράκη	2	3 x 95 Cu	20	12.1	46.0	2000
63	Πάρος - Ιος	2	3 x 95 Cu	20	12.1	27.0	2000
64	Λιμνοθάλασσα "Κούταβος"	2	3 x 150 Al	20		0.8	1997
65	Ελαφόνησος - Κύθηρα	1	3 x 35 Cu	20		11.0	2001
66	Εύβοια - Καβαλιανή	2	3 x 35 Al	20		2.3	2004
67	Λιμνοθάλασσα Αιτωλικού	4	3 x 95 Cu	20		0.4	2005
68	Κάλυμνος - Κως	2	3 x 95 Cu	20		15.2	2008
69	Μαράθι - Αρκιοί	1	3 x 35 Al	20		1.1	2008

Συνολικά καλώδια

169

Συνολικό μήκος

1092km

Για κάθε βλάβη υφίστανται στοιχεία μεταξύ άλλων σχετικά με το χρόνο στον οποίο συνέβη, το βάθος και την ελάχιστη απόσταση από την ακτή καθώς και την ποιότητα βυθού στο σημείο που συνέβη. Ως εκ τούτου κάθε βλάβη αντιστοιχεί σε ένα τετράγωνο-στοιχείο.

Τα στοιχεία που προέκυψαν από την παραπάνω ανάλυση είναι καταχωρημένα στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 6.2: Συγκεντρωτική ανάλυση στοιχείων από το δίκτυο ΜΤ Υ/Β καλωδίων. Διακρίνονται στοιχεία που εκφράζουν το σύνολο του δικτύου Νt καθώς και τα στοιχεία που εκφράζουν τις βλάβες Νf

		D	D0				D1				D2				D3				D4				D5				D6				D7				
			(0-9)				(10-19)				(20-29)				(30-39)				(40-49)				(50-59)				(60-69)				70 ABOVE				
L			E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	
L0	0.00-0.24	Nt	88	198	2724	22	0	0	94	0	66	0	0	0	44	0	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Nf	5	16	14										1																				
L1	0.25-0.49	Nt	44	1417	108	22	242	513	0	0	0	47	0	0	44	44	0	0	66	0	66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	0	0	0
		Nf	2	4	0			2							1				1																
L2	0.50-0.74	Nt	132	22	22	22	1224	88	104	0	405	0	0	0	23	0	0	0	154	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	0	0	0	0
		Nf	1	2			2				3				2				1																
L3	0.75-0.99	Nt	22	22	0	22	1078	66	84	0	380	0	0	0	350	0	0	0	67	0	0	0	44	0	0	0	0	0	0	0	22	0	0	0	0
		Nf	1					1			5	1																							
L4	1.00-1.24	Nt	0	22	0	22	418	0	0	0	984	110	0	0	286	0	0	0	317	0	0	0	3	0	0	0	64	0	0	0	22	0	0	0	0
		Nf									1	3											2												
L5	1.25-1.49	Nt	0	0	0	0	264	0	0	22	355	110	0	0	827	44	0	0	165	0	0	0	306	0	0	0	0	0	0	0	42	0	0	0	0
		Nf									1								1								2								
L6	1.49-1.74	Nt	0	0	0	0	44	44	0	22	220	0	0	0	311	66	0	0	717	44	0	0	209	0	0	0	306	0	0	0	42	0	0	0	0
		Nf									1																								
L7	1.74-1.99	Nt	0	0	0	0	154	0	22	0	176	0	0	0	102	66	0	0	110	66	0	0	706	110	0	0	110	0	0	0	262	0	0	0	0
		Nf							1																										
L8	2.00-2.24	Nt	0	0	0	0	0	0	0	0	308	0	0	0	22	0	22	0	168	363	0	0	0	44	0	0	772	44	0	0	350	0	0	0	0
		Nf																												2					
L9	ABOVE 2.25	Nt	0	0	0	0	0	0	0	0	1210	154	0	0	154	0	0	0	843	0	22	0	66	0	0	0	520	0	0	0	21124	528	0	0	0
		Nf									4								1																

Δεδομένου ότι η πόντιση των καλωδίων δεν έγινε για όλα τα καλώδια από το 2000 που έχουμε ιστορικό βλαβών θα εξετάσουμε αν πρέπει να ληφθεί υπόψη η γήρανση των καλωδίων.

Από το ιστορικό βλαβών προκύπτουν θα ακόλουθα στοιχεία σχετικά με καλώδια και την ηλικία τους κατά την βλάβη.

Πίνακας 6.3: Πίνακας συσχέτισης ηλικίας καλωδίου και έτους εμφάνισης της βλάβης

			ΗΛΙΚΙΑ ΚΑΛΩΔΙΟΥ ΣΤΗ ΒΛΑΒΗ	ΕΤΟΣ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΤΗΣ ΒΛΑΒΗΣ
ΗΛΙΚΙΑ ΒΛΑΒΗ	ΚΑΛΩΔΙΟΥ	ΣΤΗ Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	1 93	.076 .470 93
ΕΤΟΣ ΒΛΑΒΗΣ	ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ	ΤΗΣ Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	.076 .470 93	1 1 93

Παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ της χρονολογίας στην οποία συνέβη η βλάβη και της ηλικίας του καλωδίου. Δεδομένου ότι από την βιβλιογραφία προκύπτει ότι ένα καλώδιο έχει κύκλο ζωής μεγαλύτερο των 60 χρόνων ως εκ τούτου στην μελέτη δεν θα λάβουμε υπόψη την γήρανση των καλωδίων λόγω παλαιότητας.

Θα ακολουθήσει αναλυτική περιγραφή καθεμιάς από τις παραμέτρους που υπεισέρχονται στο στατιστικό μοντέλο.

6.2 Αναλυτική Περιγραφή Παραμέτρων Στατιστικού Μοντέλου

-βάθος όδευσης/βλάβης του καλωδίου. Πρόκειται για την απόσταση κάθε στοιχείου από την επιφάνεια της θάλασσας. Στην περίπτωση βλάβης το εν λόγω βάθος αντιστοιχεί στο βάθος του στοιχείου στο οποίο έχει εντοπιστεί η βλάβη. Το βάθος λαμβάνει τιμές όπως αυτές προκύπτουν από τον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 6.4: Πίνακας παραμετρικού παράγοντα βάθους D

D	Depth (m)	
	Dk	
	D0	0-9
	D1	10-19
	D2	20-29
	D3	30-39
	D4	40-49
	D5	50-59
	D6	60-69
D7	above 70	

-**μήκος όδευσης/ελάχιστη απόσταση βλάβης από την ακτή.** Σε καθένα καλώδιο υποτυπώνονται τα στοιχεία ελέγχου μεταξύ των δύο σημείων προσαιγιάλωσης της ζεύξης. Στην περίπτωση της βλάβης ενός καλωδίου λαμβάνεται υπόψη η ελάχιστη απόσταση της βλάβης από τα σημεία προσαιγιάλωσης δίχως να μας ενδιαφέρει από ποιο σημείο ξεκινάμε να μετράμε.

$$L_{failure} = L_f = \min\{L_a, L_b\},$$

όπου L_a η απόσταση της βλάβης από το σημείο αφετηρίας της γραμμής ζεύξης,

L_b η απόσταση της βλάβης από το σημείο προορισμού της γραμμής ζεύξης.

Παρατηρούμε ότι στην περίπτωση βλάβης το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στην σχετική απόσταση της βλάβης από την ακτή διότι το στοιχείο που μελετάμε είναι η επίδραση της απόστασης από την ακτή στην πρόκληση της βλάβης ανεξάρτητα από την γεωγραφική ταυτότητα των σημείων προσαιγιάλωσης της ζεύξης.

Το μήκος λαμβάνει τιμές όπως αυτές προκύπτουν από τον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 6.5: Πίνακας παραμετρικού παράγοντα μήκους L

L	Length (km)	
	Li	
	L0	0-0.24
	L1	0.25-0.49
	L2	0.50-0.74
	L3	0.75-0.99
	L4	1.00-1.24
	L5	1.25-1.49
	L6	1.50-1.74
	L7	1.75-1.99
	L8	2.00-2.24
	L9	>2.25

- χαρακτηριστικά του βυθού στην διαδρομή όδευσης/σημείο βλάβης του καλωδίου

Στα χαρακτηριστικά του βυθού έγινε διαχωρισμός της σύστασης του βυθού και κατηγοριοποίηση σε τέσσερις περιπτώσεις: λασπώδης, αμμώδης, αμμοχάλικο και βραχώδης ή πέτρα. Ανάλογα με την χημική σύσταση του βυθού διαφοροποιούνται και τα χαρακτηριστικά της απαιτούμενης προστασίας του καλωδίου μιας και κάθε περίπτωση βυθού παρουσιάζει διαφορετική επίδραση στο ποντισμένο καλώδιο. Χαρακτηριστικό στοιχείο αυτής της διαφορετικότητας είναι το διαφορετικό βάθος διείδυσης μιας άγκυρας κατά την αγκυροβολία ενός πλοίου αναλόγως του βάρους της σε καθένα από τους παραπάνω πυθμένες αυξάνοντας έτσι

άλλοτε περισσότερο και άλλοτε λιγότερο την πιθανότητα πρόκλησης ζημιάς στο ποντισμένο καλώδιο. Ακολουθεί πίνακας από πειράματα με το βάθος διείσδυσης συναρτήσει του βάρους της άγκυρας και της ποιότητας του βυθού.

Πίνακας 6.6: Πίνακας διείσδυσης άγκυρας σε διάφορες ποιότητες βυθού

Εκτόπισμα πλοίου (tons)	Βάρος Άγκυρας (tons)	Βάθος διείσδυσης της άγκυρας (m)		
		Αμμώδης	Αμμοχάλικο	Βραχώδης /πετρώδης
1000	1.0	~0.5	~0.5	-
5000	2.8	~1.0	~0.8	-
15000	4.8	~1.5	~1.0	-
50000	8.2	~2.0	~1.2	-
100000	12.4	~2.5	~1.4	-

Επιπλέον η μέχρι τώρα παρατήρηση κατά την διεξαγωγή της πόντισης έχει δείξει ότι κατά την διάνοιξη χάνδακος για την ταφή του καλωδίου σε αμμώδεις και λασπώδεις βυθούς η διείσδυση στον βυθό για την διάνοιξη αύλακος με εμφύσηση πεπιεσμένου αέρα σε λασπώδεις βυθούς είναι ελαφρώς δυσκολότερη από αυτή σε αμμώδεις. Τούτο οφείλεται στην αργιλική σύσταση του υποστρώματος που δημιουργεί λασπώδες υπόστρωμα παχύρρευστης υφής. Επιπρόσθετα κατά την αποκατάσταση βλαβών έχει παρατηρηθεί ότι η φυσική διείσδυση του καλωδίου τόσο σε αμμώδη όσο και σε λασπώδη βυθό δεν ξεπερνά τα 30-50 εκατοστά δίχως να συμβαίνει περισσότερο σε ένα από τους δύο. Το γεγονός αυτό βέβαια οφείλεται και στην μόνιμη τάνυση που έχει το ποντισμένο καλώδιο καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του

- προστασία του καλωδίου κατά την διαδρομή όδευσης

Η προστασία του καλωδίου κατά την διαδρομή όδευσης σχετίζεται με δύο συνιστώσες. Αφενός την προστασία του καλωδίου από εξωγενείς παράγοντες είτε με την τοποθέτηση του καλωδίου εντός χάνδακα δηλ. μέσω της ταφής του σε ορισμένο βάθος, είτε την προστασία του με κάλυψή του με πέτρες ή την τοποθέτησή του εντός μεταλλικού σωλήνα και αφετέρου την προστασία του καλωδίου διαμέσου της καθαυτό κατασκευής του είτε με ενίσχυση του οπλισμού είτε με τοποθέτηση διπλού οπλισμού ή με χρήση υλικών μεγαλύτερης μηχανικής αντοχής για την κατασκευή του οπλισμού που προστατεύει το καλώδιο.

Για απλοποίηση του στατιστικού μοντέλου και επειδή υπάρχει άμεση συσχέτιση μεταξύ της ποιότητας του βυθού και της προστασίας του καλωδίου δημιουργήσαμε μια νέα μεταβλητή που ονομάζουμε **συνολική προστασία** και είναι το αποτέλεσμα του συνδυασμού των δύο παραπάνω παραμέτρων. Στον ακόλουθο πίνακα απεικονίζεται ο τρόπος συσχέτισης μεταξύ των δύο παραμέτρων λαμβανομένου υπόψη του βαθμού διείσδυσης μιας άγκυρας όπως αναφέρθηκε παραπάνω καθώς και των προδιαγραφών πόντισης καλωδίων της ΔΕΗ όπως θα αναφερθούν αμέσως μετά.

Πίνακας 6.7α: Πίνακας αντιστοιχίας ποιότητας βυθού και συνολικής προστασίας

		Ποιότητα βυθού			
		Λασπώδης	Αμμώδης	Αμμοχάλικο	Βραχώδης/Πετρώδης
Συνολική προστασία	E ₁	1.2	1.2	1.2	1.2
	E ₂	3	3	4	4
	E ₃	7	7	3	3
	E ₄	8	8	6	5

όπου 1: Απροστάτευτο εξωτερικά με απλό οπλισμό

2: Ελαφρά προστασία με πέτρες ή/και ενισχυμένο οπλισμό

3: Μέτρια προστασία με διαιρούμενα χυτοσιδηρά κελύφη και ενισχυμένο διπλό οπλισμό ή ανοξείδωτη ντίζα πακτωμένη.

4: Μέτρια προστασία με χρησιμοποίηση σάκων από σκυρόδεμα

















5: Ταφή καλωδίου σε μικρό βάθος μέχρι 0.7 μέτρα

6: Ταφή καλωδίου σε μικρό βάθος 0.7-0.9 μέτρα

7: Ταφή καλωδίου σε μικρό βάθος 0.9-2.0 μέτρα

8: Ταφή καλωδίου σε μεγάλο βάθος άνω των 2.0 μέτρων

Πίνακας 6.7β: Πίνακας αντιστοιχίας ποιότητας βυθού και συνολικής προστασίας

	Mud	Sand	Gravel	Rock/Stone
E ₁				
E ₂				
E ₃				
E ₄				

Οι μεταβλητές που τελικά χρησιμοποιούνται στο μαθηματικό μοντέλο περιγράφονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 6.8: Πίνακας παραμέτρων στατιστικού μοντέλου

α/α	Παράμετροι	Συμβολισμός	Πεδίο ορισμού	Διάσταση στοιχείου	Περιγραφή
1	Προστασία καλωδίου	E	{E ₁ , E ₂ , E ₃ , E ₄ }		Συνολική προστασία
2	Απόσταση από την πλησιέστερη ακτή	L	{L ₀ , L ₁ , L ₂ , L ₃ , L ₄ , L ₅ , L ₆ , L ₇ , L ₈ , L ₉ }	0.25km	Απόσταση από ακτή
3	Βάθος λειτουργίας καλωδίου	D	{D ₀ , D ₁ , D ₂ , D ₃ , D ₄ , D ₅ , D ₆ , D ₇ }	10m	Βάθος πόντισης

Για την επεξεργασία των στοιχείων των παραπάνω παραμέτρων ελήφθησαν επίσης υπόψη τα ακόλουθα στοιχεία:

- Σχετικά με την ποιότητα βυθού έγινε καταρχήν έλεγχος των αναφορών στην προμελέτη για την ανάθεση του έργου σε ανάδοχο εταιρεία. Εφόσον δεν υπήρχαν στοιχεία από εκεί έγινε έλεγχος της μορφολογίας από τους Πλοηγούς τόμος Α, Β, Γ, Δ έκδοσης της Υδρογραφικής υπηρεσίας ΠΝ. Παράλληλα με τα παραπάνω έγινε έρευνα μέσω διαδικτύου για σχετικές αναφορές σε παρόμοιες μελέτες ή μορφολογικούς χάρτες από τους οποίους προέκυψαν στοιχεία που έπρεπε να επαληθεύουν τα ήδη υπάρχοντα.
- Η κατασκευή των υποβρυχίων καλωδίων γίνεται σύμφωνα με τις προδιαγραφές:
 - GR – 214 η οποία αφορά οπλισμένα τριπολικά ή μονοπολικά καλώδια ακτινικού πεδίου με χάρτινη μόνωση εμποτισμένη με μονωτικό λάδι μεγάλου ιξώδους, μολύβδινο μανδύα (κοινό για τα τριπολικά) και εξωτερικό περίβλημα από εμποτισμένη ιούτα.
 - ΤΠ – 195 η οποία αφορά οπλισμένα τριπολικά καλώδια με μόνωση από διασταυρωμένο πολυαιθυλένιο (X-LPE), μεταλλική θωράκιση, με ανεξάρτητο μολύβδινο μανδύα σε κάθε φάση, με κατάλληλες προστασίες έναντι διαμήκουσ διεΐσδυσης νερού και εξωτερικό περίβλημα από νήματα πολυπροπυλενίου.

Οι εργασίες διαχείρισης, πόντισης και προστασίας του εγκατεστημένου καλωδίου προσδιορίζονται από τις Τεχνικές Περιγραφές κάθε έργου, η σύνταξη των οποίων βασίζεται στα δεδομένα των οριστικών μελετών.

- Κατά τις πρώτες δεκαετίες εγκατάστασης Υποβρυχίων Καλωδίων (αρχές δεκαετίας 1960) η προστασία τους έναντι της κυματικής δράσης περιοριζόταν σε ταφή τους σε βάθος 1,0 m υπό τον βυθό και μέχρι βάθους θάλασσας 3 m. Από το 1980 και μετά η προστασία δια

ταφής επεκτάθηκε μέχρι την ισοβαθή των 5 m. Από το 2000 και εξής τυποποιήθηκε η προστασία των Υποβρυχίων Καλωδίων έναντι κυματικής δράσης και έναντι παράκτιας αγκυροβολίας με ταφή τους μέχρι την ισοβαθή των 20 m, σε βάθη υπό τον πυθμένα ως εξής:

- Σε βραχώδη πυθμένα βάθος χάνδακος min 0,60 m.
 - Σε ημιβραχώδη πυθμένα βάθος χάνδακος min 0,80 m.
 - Σε αμμώδη πυθμένα βάθος χάνδακος min 1,0 m.
- Σε ειδικές περιπτώσεις έντονου ανάγλυφου του πυθμένα και επακόλουθης αδυναμίας χρησιμοποίησης σκαπτικών εργαλείων χρησιμοποιούνται, ανάλογα με τις προβλέψεις της μελέτης, σακόλιθοι σκυροδέματος ή χυτοσιδηρά συναρμολογούμενα αρθρωτά κελύφη. Σε εξαιρετικές περιπτώσεις βυθού αποτελούμενου από συμπαγή βράχο, σε περιοχές όπου δεν είναι δυνατή η προσέγγιση ή η αποτελεσματική εργασία χερσαίου ή ναυτικού τύπου εξοπλισμού εκσκαφής, εφαρμόζεται η πάκτωση του καλωδίου επί του βράχου με χρήση ανοξειδωτων στηριγμάτων.
- Για λόγους μηχανικής αντοχής τα υποβρύχια καλώδια φέρουν οπλισμό που αποτελείται από χαλύβδινα επιψευδαργυρωμένα σύρματα ή σύρματα από ανοξειδωτο χάλυβα ή ακόμη σύρματα από κράμα αλουμινίου. Σε ορισμένες περιπτώσεις τα σύρματα οπλισμού είναι υπενδεδυμένα με PVC. Τα σύρματα αυτά καλύπτουν πλήρως την κυλινδρική επιφάνεια του καλωδίου. Η όλη καταπόνηση του καλωδίου κατά την πόντιση, που οφείλεται στο βάρος του, σε συνδυασμό με τους λοιπούς παράγοντες (βάθος θάλασσας, γωνία πόντισης κλπ.), θεωρείται ότι παραλαμβάνεται από τον οπλισμό και μόνο. Για το σκοπό αυτό ο οπλισμός υπολογίζεται με συντελεστή ασφάλειας ίσο με 5.
- Μέχρι το 1980, για την αύξηση της μηχανικής προστασίας από εξωτερικές επεμβάσεις τα άκρα των υποβρυχίων καλωδίων ενισχύονταν κατά κανόνα με δεύτερη στρώση συρμάτων οπλισμού (διπλός οπλισμός) σε μήκος τουλάχιστον 300 m από κάθε πλευρά και μέχρι βάθους θάλασσας 8m περίπου.
- Η δεύτερη αυτή στρώση του οπλισμού, εκτός από την άμεση αύξηση του κόστους, προϋπέθετε την κατασκευή του καλωδίου στο επακριβώς προκαθορισμένο από τη μελέτη μήκος της διασύνδεσης. Έτσι, δεδομένου ότι πάντα αφήνεται ένα περιθώριο ασφαλείας στο μήκος αυτό, όχι μόνο δεν καθίσταται δυνατό να αποκοπεί, μετά την πόντιση, το περίσσειμα του καλωδίου και να χρησιμοποιηθεί σαν εφεδρικό για την αντιμετώπιση μελλοντικών βλαβών, αλλά ποντίζεται υποχρεωτικά και αυτό, αυξάνοντας χωρίς άλλο λόγο τη διαδρομή του καλωδίου, με

ανοικτές καμπύλες πριν από την περιοχή της τερματικής προσαιγιάλωσης. Κατόπιν αυτών, από το 1980, η πρακτική αυτή εγκαταλείφθηκε.

- Τα υποβρύχια καλώδια μετά την έξοδό τους από τη θάλασσα συνεχίζουν τη διαδρομή τους μέσα σε υπόγειο χαντάκι βάθους τουλάχιστον 1 m μέχρι το σημείο ζεύξης με τις αντίστοιχες εναέριες ή υπόγειες γραμμές. Η ζεύξη με το εναέριο δίκτυο γίνεται κατά κανόνα υπαίθρια εκτός από ειδικές περιπτώσεις μεγάλου κινδύνου καθαλατώσεων, οπότε κατασκευάζονται οικίσκοι ζεύξεως με εξοπλισμό εσωτερικού χώρου.
- Δεδομένου ότι η επιτρεπόμενη ένταση ρεύματος των υποβρυχίων καλωδίων μέσα στο νερό είναι μεγαλύτερη από ότι στο έδαφος ή στον αέρα, στις περιπτώσεις που είναι απαραίτητη η εκμετάλλευση όλης της ικανότητας των υποβρυχίων καλωδίων, χρησιμοποιούνται υπόγεια καλώδια μεγαλύτερης διατομής για τα εκτός θαλάσσης τμήματα της διασύνδεσης. Η σύνδεση των δύο καλωδίων γίνεται με ειδικούς υπόγειους συνδέσμους μετάβασης μεταξύ υποβρυχίου και χερσαίου καλωδίου, οι οποίοι εγκαθίστανται στην ακτή, σε θέση που να διαβρέχεται συνεχώς από το θαλάσσιο νερό.
- Σε όλες κατά κανόνα τις υποβρύχιες διασυνδέσεις η εφεδρεία της τροφοδοτήσεως εξασφαλίζεται στην περίπτωση τριπολικού καλωδίου με ένα δεύτερο της ίδιας διατομής και στην περίπτωση μονοπολικών καλωδίων με την εγκατάσταση ενός τέταρτου ομοίου καλωδίου.
- Για λόγους οικονομίας όλα τα καλώδια μιας διασύνδεσης τοποθετούνται συνήθως στο ίδιο χαντάκι τόσο στην ξηρά όσο και στη θάλασσα. Μετά την έξοδό τους όμως από το χαντάκι του βυθού μέσα στη θάλασσα απομακρύνονται και, στην συνέχεια, ακολουθούν παράλληλες διαδρομές σε αποστάσεις μεταξύ τους τέτοιες που να είναι εύκολη, σε περίπτωση βλάβης, η γρίπιση και η ανέλκυση του συγκεκριμένου καλωδίου. Κατά γενικό κανόνα η απόσταση μεταξύ δύο γειτονικών υποβρυχίων καλωδίων επιδιώκεται να είναι ίση περίπου με το διπλάσιο του μέγιστου βάθους της διαδρομής.

6.2.1 Διαστατική ανάλυση μαθηματικού μοντέλου

Ο αριθμός βλαβών ανά στοιχείο ή ανά 250 μέτρα θα δίνεται από τη σχέση:

$$P(E_i, L_j, D_k) = \frac{N_f(E_i, L_j, D_k)}{N_t(E_i, L_j, D_k)}$$

όπου $i=1$ έως 4, $j=0$ έως 9, $k=0$ έως 7 και N_f , N_t ο αριθμός των βεβλαμμένων και ο συνολικός αριθμός των στοιχείων αντίστοιχα του πίνακα 1.

Παρατηρούμε ότι η απευθείας χρησιμοποίηση της παραπάνω σχέσης θα δώσει για μεγάλο αριθμό στοιχείων μηδενική πιθανότητα βλάβης. Επειδή είναι εύκολα αντιληπτό ότι πιθανότητα βλάβης έχουν έστω και πολύ μικρή όλα τα τμήματα ενός ποντισμένου καλωδίου θα ακολουθήσουμε μια τεχνική με την οποία θα αποφύγουμε τη λανθασμένη μηδενική πιθανότητα.

Έτσι κατά την κατασκευή του στατιστικού μοντέλου θα ορίσουμε δύο καινούργιες έννοιες. Τον συντελεστή ασφαλείας (safety factor) και τον συντελεστή βλάβης (failure factor).

6.2.1.1 Συντελεστής ασφαλείας (safety factor)

Έστω ότι ο ρυθμός βλαβών (failures/element) για δύο επίπεδα ελέγχου είναι A για το επίπεδο Λ_1 και B για το επίπεδο Λ_2 . Τότε για ρυθμό βλαβών ίσο με τη μονάδα στο επίπεδο Λ_1 το επίπεδο Λ_2 θα έχει συντελεστή ασφάλειας A/B δηλαδή θα είναι A/B φορές μικρότερος ο ρυθμός βλαβών του Λ_2 ως προς το Λ_1

Πίνακας 6.9: Πίνακας συντελεστή ασφάλειας

	Ρυθμός βλαβών	Συντελεστής ασφαλείας S
Λ_1	A	A/A=1
Λ_2	B	A/B

6.2.1.2 Συντελεστής βλάβης (failure factor)

Ο συντελεστής βλάβης για το προηγούμενο παράδειγμα που εκφράζει τρόπον τινά μια πιθανότητα βλάβης, θα εκφράζεται από το πηλίκο $1/S$ και θα δίνει πληροφορία για το πόσο πιθανό είναι να συμβεί βλάβη στο επίπεδο Λ_2 με δεδομένο ότι η πιθανότητα βλάβης στο επίπεδο Λ_1 είναι 1. Για να έχει ιδιότητες πιθανότητας επιλέγω για την εξαγωγή των συντελεστών ασφαλείας το επίπεδο εκείνο με την μεγαλύτερη τιμή, ώστε στη συνέχεια να έχω πιθανότητα βλάβης μικρότερη της μονάδας.

Οι παραπάνω παράγοντες θα υπολογιστούν παίρνοντας ένα επίπεδο αναφοράς για όλα τα πεδία τιμών των μεταβλητών (E_i, L_j, D_k) του στατιστικού μοντέλου. Κατόπιν χρησιμοποιώντας του συντελεστές ασφαλείας θα επιχειρήσουμε να μετασχηματίσουμε τις μεταβλητές εκφράζοντας την δεσμευμένη πιθανότητα εμφάνισης βλάβης αρχικά του $(L_j|E_i)$ για δεδομένο i , και στη συνέχεια του $(D_k|E_i, L_j)$ για δεδομένα i, j .

6.2.2 Μετασχηματισμός της μεταβλητής E_i

Για τον μετασχηματισμό της μεταβλητής E_i παρατηρούμε ότι καταρχήν πρόκειται για μία διακριτή μεταβλητή. Τα πεδία τιμών της φαίνονται πίνακα

Πίνακας 6.10: Πίνακας παραμέτρου συνολικής προστασίας και μετασχηματισμού αυτής.

E	Επίπεδο	Βλάβες	Μετ/σμός	Συν.Στοιχεία	Ρυθμός βλαβών	Συντελεστής Ασφάλειας S	Συντελεστής Βλάβης F
	E_i	$N_f(E_i)$	$\bar{N}_f(E_i)$	$N_t(E_i)$	$\frac{\bar{N}_f(E_i)}{N_t(E_i)}$	$S(E_i)$	$F(E_i) = \frac{1}{S(E_i)}$
	E1	53	79.47	37598	0.0021	1.0000	1.0000
	E2	29	15.89	4232	0.0038	0.5628	1.7768
	E3	15	1.59	3305	0.0005	4.3952	0.2275
	E4	0	0.11	176	0.0006	3.5108	0.2848
		97	97	45311			

Στην στήλη με τις βλάβες απεικονίζονται οι πραγματικές βλάβες όπως αυτές προκύπτουν από τον πίνακα 6.2

Επειδή όπως προείπαμε αν χρησιμοποιήσουμε τον ορισμό της πιθανότητας βλαβών ως το πηλίκο βλαβών προς συνολικά στοιχεία θα προέκυπταν πολλά στοιχεία με μηδενική πιθανότητα βλάβης πράγμα αδύνατο θα προσεγγίσουμε το γράφημα των πραγματικών βλαβών με κάποια διακριτή κατανομή.

Από το παραπάνω γράφημα γίνεται αντιληπτό ότι η κατανομή Poisson είναι πολύ καλή προσέγγιση για την περιγραφή της κατανομής των βλαβών.

Από την Poisson ισχύει ως γνωστόν ότι:

$$\bar{N}_f(E_i) = \lambda^r \frac{e^{-\lambda}}{r!}$$

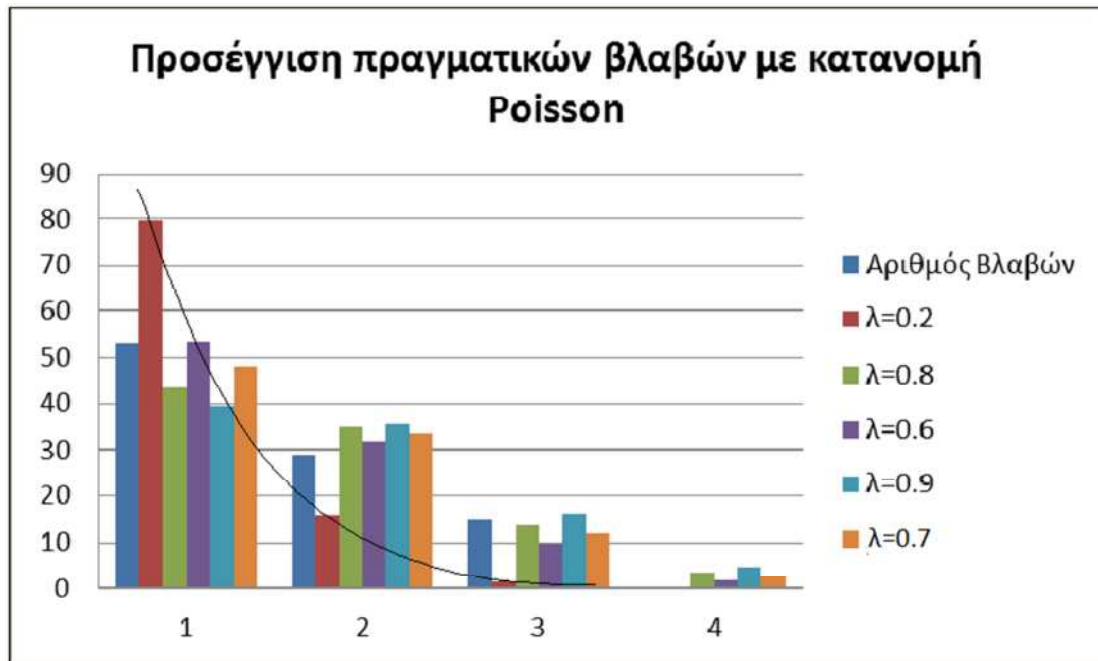
όπου λ = ρυθμός βλαβών

και r = αριθμός βλαβών

Δεδομένου ότι στο επίπεδο E_4 έχω μηδενικό αριθμό βλαβών η καλύτερη προσέγγιση δίνεται για $\lambda=0.2$. Οι τιμές $\bar{N}_f(E_i)$ φαίνονται στον πίνακα 3.

Πίνακας 6.11: Πίνακας προσέγγισης παραμέτρου συνολικής προστασίας με κατανομή Poisson

προσέγγιση του αριθμού βλαβών με κατανομή poisson για διάφορα λ						
	Πραγματικές βλάβες	λ=0.7	λ=0.8	λ=0.6	λ=0.9	λ=0.2
E1	53	48.2718	43.6914	53.3323	39.5457	79.4654
E2	29	33.7902	34.9531	31.9994	35.5911	15.8931
E3	15	11.8266	13.9813	9.5998	16.0160	1.5893
E4	0	2.7595	3.7283	1.9200	4.8048	0.1060



Σχήμα 6.2 : Προσέγγιση πραγματικών βλαβών με κατανομή Poisson

Ο αριθμός βλαβών που προκύπτει από τον μετασχηματισμό (προσέγγιση με κατανομή Poisson) φαίνεται στην στήλη $\bar{N}_f(E_i)$. Επειδή κάθε επίπεδο προστασίας έχει τον δικό του αριθμό στοιχείων η πιθανότητα βλάβης ή ρυθμός αποτυχίας για κάθε επίπεδο θα δίνεται από τη σχέση

$$P(E_i) = \frac{\bar{N}_f(E_i)}{N_t(E_i)}$$

όπου $\bar{N}_f(E_i)$ οι μετασχηματισμένες βλάβες σε κάθε επίπεδο E_i και $N_t(E_i)$ τα συνολικά στοιχεία στο αντίστοιχο επίπεδο E_i .

Το E_1 επιλέγει ως επίπεδο αναγοράς οπότε υπολογίστηκε ο συντελεστής ασφαλείας (safety factor) από τη σχέση

$$S(E_i) = \frac{P(E_1)}{P(E_i)}$$

Επιπλέον ο συντελεστής βλάβης (failure factor) υπολογίστηκε από τη σχέση

$$F(E_i) = \frac{1}{S(E_i)}$$

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών απεικονίζονται στο πίνακα στις στήλες $S(E_i)$ και $F(E_i)$ αντίστοιχα.

Αν προσπαθούσαμε να δώσουμε μια φυσική σημασία στον συντελεστή ασφάλειας θα λέγαμε ότι αν ο ρυθμός βλαβών στο E_1 επίπεδο προστασίας είναι ίσος με μία βλάβη ανά στοιχείο τότε στο E_i επίπεδο (π.χ. στο επίπεδο E_4 : 3.5 βλάβες) ο ρυθμός είναι $\frac{E_1}{E_i}$ φορές μικρότερος (στο παράδειγμα E_4 : 3.5 φορές μικρότερος).

Επιπλέον αν δώσουμε μια φυσική έννοια στην πιθανότητα βλάβης θα λέγαμε ότι για πιθανότητα βλάβης του E_1 ίση με την μονάδα τότε η αντίστοιχη πιθανότητα βλάβης στο E_i θα είναι $1/E_i$ (στο παράδειγμά μας είναι $F(E_4)=0.2848$

Βασιζόμενοι στην παραπάνω εννοιολογική προσέγγιση του συντελεστή ασφαλείας προσδιορίστηκε ο συντελεστής ασφαλείας για όλα τα επίπεδα E_i .

Έτσι ο αριθμός βλαβών ισοδύναμα ως προς το επίπεδο E_1 για κάθε ζεύγος (L_i, D_k) θα δίνεται από τη σχέση

$$N_f(L_j, D_k | E_1) = \sum_{i=1}^4 N_f(E_i, L_j, D_k) \cdot S(E_i) \quad 1$$

όπου $N_f(L_j, D_k | E_1)$ ο αριθμός των βεβλαμμένων στοιχείων στο επίπεδο (E_i, L_j, D_k) του πίνακα...

Ο αριθμός των συνολικών στοιχείων θα δίνεται από τη σχέση

$$N_t(L_j, D_k) = \sum_{i=1}^4 N_t(E_i, L_j, D_k) \quad 2$$

όπου $N_t(L_j, D_k)$ ο αριθμός των συνολικών στοιχείων στο επίπεδο (E_i, L_j, D_k) του πίνακα...

Είναι σημαντικό εδώ να αναφερθεί ότι η προσέγγιση δια μετασχηματισμού έγινε μόνο για τον προσδιορισμό του συντελεστή ασφαλείας και του συντελεστή βλάβης ενώ για την μείωση των μεταβλητών με αναγωγή τους σε μία χρησιμοποιήθηκαν τα αρχικά στοιχεία του πίνακα χωρίς απώλεια της γενικότητας. (Άλλωστε δεν απαιτείται μετασχηματισμός διότι ο συντελεστής ασφαλείας και ο συντελεστής βλάβης συσχετίζονται μόνο με βλάβες.)

Όπως είναι εύκολα αντιληπτό με τις εξισώσεις 1 και 2 μπορούμε να απαλείψουμε την επίδραση της μεταβλητής της ισοδύναμης προστασίας και να δημιουργήσουμε μία νέα κατανομή από ισοδύναμες ως προς το επίπεδο E_1 βλάβες $N_f(L_j, D_k | E_1)$ με παραμέτρους το μήκος L και το βύθισμα D .

6.2.3 Μετασχηματισμός της μεταβλητής L_j

Η επόμενη μεταβλητή που επιλέγεται να απαλειφτεί είναι αυτή του μήκους. Ο αριθμός των ισοδύναμων βλαβών σε κάθε L_i επίπεδο θα δίνεται από τις σχέσεις

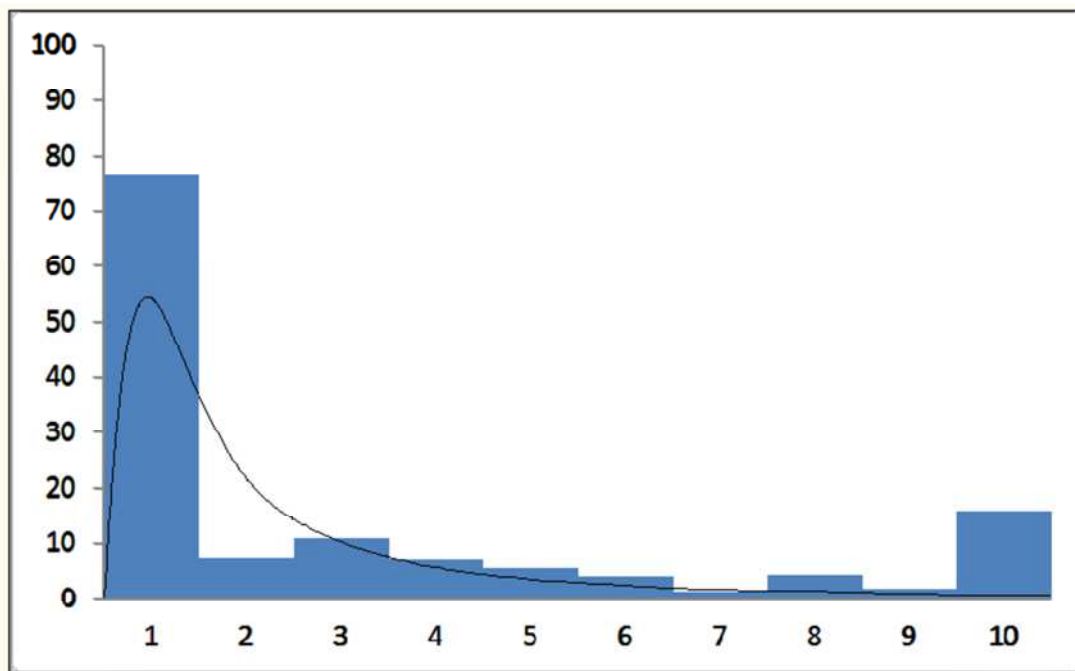
$$N_f(L_j|E_1) = \sum_{k=0}^7 N_f(L_j, D_k|E_1)$$

$$N_t(L_j) = \sum_{k=0}^7 N_t(L_j, D_k)$$

αντίστοιχα. Τα $N_f(L_j, D_k|E_1)$ και $N_t(L_j, D_k)$ υπολογίζονται αντίστοιχα από τις σχέσεις 1 και 2.

Το διάγραμμα που ακολουθεί απεικονίζει τις ισοδύναμες βλάβες που υπολογίστηκαν από τα παραπάνω σχέσεις.

Προσέγγιση βλαβών με Log-Normal κατανομή



Σχήμα 6.3 : Προσέγγιση βλαβών με κατανομή Log-Normal

Πίνακας 6.12: Προσέγγιση βλαβών με κατανομή Log-Normal $\sigma^2=1, \mu=0$

Log-Normal Distribution			
	log.normal $\sigma^2=1, \mu=0$	$\times 135.25$	eqv.fail.
1	0.39894678	53.95755	76.53726
2	0.15687579	21.21745	7.376775
3	0.07272908	9.836608	11.12559
4	0.03815389	5.160313	7.125592
5	0.02185096	2.955343	5.688388

6	0.01335469	1.806222	4
7	0.00858172	1.160678	1
8	0.00573936	0.776249	4.395181
9	0.00396579	0.536373	2
10	0.00281593	0.380855	16

Η προσέγγιση στο L_{10} έγινε με γνώμονα το γεγονός ότι σε αυτό το επίπεδο περιλαμβάνονται όλες οι βλάβες που είναι σε απόσταση $>2.25\text{km}$. Με δεδομένο ότι μεγάλος αριθμός καλωδίων έχει μήκος διπλάσιο τουλάχιστον του 2.25km στην πραγματικότητα η εν λόγω στήλη είναι ομοιόμορφα κατανομημένη συγκλίνοντας προς την εικόνα της Log-normal κατανομής.

Για την προσέγγιση της κατανομής των βλαβών επιλέγεται λοιπόν η Log-Normal κατανομή με $\sigma^2=1$ και $\mu=0$.

$$\bar{N}_f(E_i; \mu, \sigma) = \begin{cases} \frac{1}{\sigma x \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2}(\ln x - \mu)^2\right], & x > 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$$

Με $\sigma^2=1$ και $\mu=0$ έχουμε

$$\bar{N}_f(E_i) = \begin{cases} \frac{1}{x\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}(\ln x)^2\right], & x > 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$$

Ο πίνακας που προκύπτει είναι ο παρακάτω:

Πίνακας 6.13: Πίνακας παραμέτρων ελάχιστης απόστασης βλάβης από την ακτή L και μετασχηματισμού αυτής.

L _i	Length		Eq. Failures $N_f(L_j E_1)$	Μετ/σμός $\bar{N}_f(L_j E_1)$	Συνολικά στοιχεία $N_t(L_j)$	Ρυθμός βλαβών $\frac{\bar{N}_f(L_j E_1)}{N_t(L_j)}$	Συντελεστής Ασφάλειας $S(L_j)$	Συντελεστής Βλάβης $F(L_j)$
	L ₀	(0-0.24)	76,5373	53,95755	3280	0,0233	1,00	1,000
L ₁	(0.25-0.49)	7,3768	21,21745	2635	0,0028	8,34	0,120	
L ₂	(0.50-0.74)	11,1256	9,836608	2218	0,0050	4,65	0,215	
L ₃	(0.75-0.99)	7,1256	5,160313	2157	0,0033	7,06	0,142	
L ₄	(1.00-1.24)	5,6884	2,955343	2248	0,0025	9,22	0,108	
L ₅	(1.25-1.49)	4,0000	1,806222	2135	0,0019	12,45	0,080	
L ₆	(1.50-1.74)	1,0000	1,160678	2025	0,0005	47,25	0,021	
L ₇	(1.75-1.99)	4,3952	0,776249	1884	0,0023	10,00	0,100	
L ₈	(2.00-2.24)	2,0000	0,536373	2093	0,0010	24,42	0,041	
L ₉	(>2.25)	16,0000	0,380855	24621	0,0006	35,91	0,028	

Η πιθανότητα αποτυχίας ή ρυθμός βλαβών ανά 250m δίνεται από τη σχέση

$$P(L_j|E_1) = \frac{\bar{N}_f(L_j|E_1)}{N_t(L_j)}$$

Θεωρούμε ως βάση αναφοράς το επίπεδο L_0 οπότε στη συνέχεια υπολογίζουμε το συντελεστή ασφάλειας σε κάθε επίπεδο ως προς το επιλεγμένο επίπεδο αναφοράς L_0 .

Ο συντελεστής ασφαλείας (safety factor) υπολογίζεται από τη σχέση

$$S(L_j) = \frac{P(L_j|E_1)}{P(L_j|E_1)}$$

Επιπλέον η πιθανότητα βλάβης (failure factor) υπολογίστηκε από τη σχέση

$$F(L_j) = \frac{1}{S(L_j)}$$

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών απεικονίζονται στο πίνακα στις στήλες $S(E_i)$ και $F(E_i)$ αντίστοιχα.

6.2.4 Μετασχηματισμός της μεταβλητής D_k

Οι συντελεστές ασφαλείας του προηγούμενου πίνακα χρησιμοποιήθηκαν για να μετασχηματίσουμε τα ισοδύναμα βεβλαμμένα στοιχεία $N_f(L_j, D_k|E_1)$ ως προς το επίπεδο L_0 .

Παρόμοια με τους υπολογισμούς της προηγούμενης παραγράφου ο αριθμός των ισοδύναμων βλαβών ως προς τα επίπεδα E_1, L_0 σε κάθε βάθος D_i θα δίνεται από τις σχέσεις

$$N_f(D_k|E_1, L_0) = \sum_{j=0}^9 N_f(L_j, D_k|E_1) \cdot S(L_j)$$

$$N_t(D_k) = \sum_{j=0}^9 N_t(L_j, D_k)$$

αντίστοιχα. Τα $N_f(D_k|E_1, L_0)$ και $N_t(D_k)$ υπολογίζονται αντίστοιχα από τις σχέσεις 1 και 2.

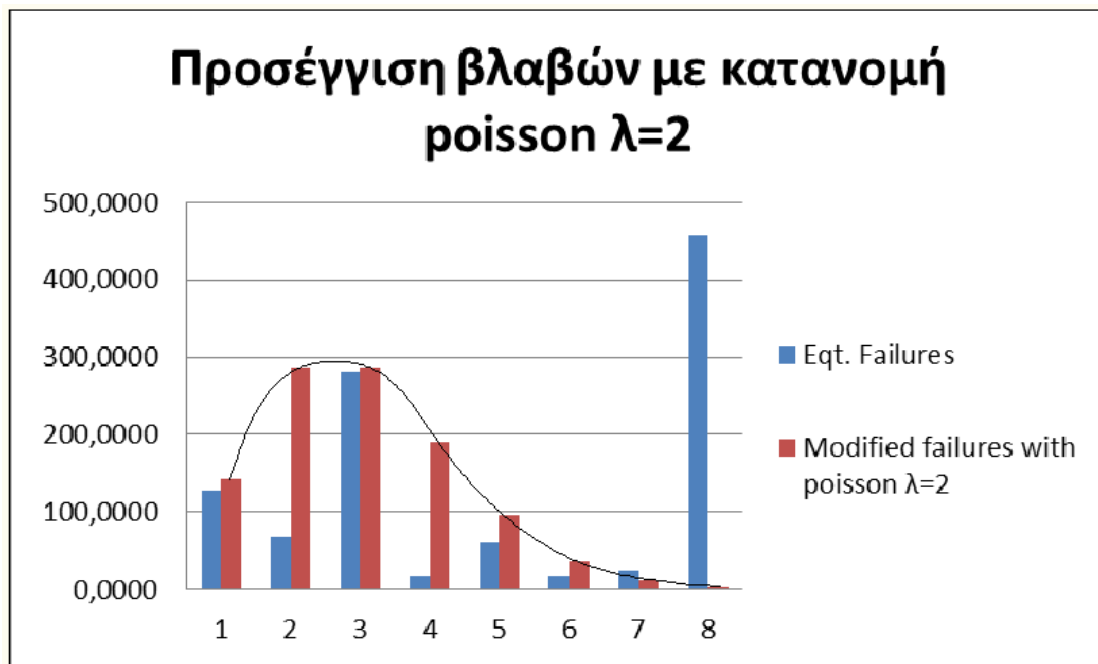
Πίνακας 6.14: Πίνακας Υπολογισμού $N_f(L_j, D_k|E_1)$

	Υπολογισμός $N_f(L_j, D_k E_1)$							
	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
L0	75.5373			1.0000				
L1	4.2512	1.1256		1.0000	1.0000			
L2	2.1256	2.0000	3.0000	2.0000	1.0000			1.0000
L3	1.0000	0.5628	5.5628					
L4			2.6884			2.0000		1.0000
L5			1.0000		1.0000		2.0000	
L6			1.0000					
L7		4.3952						
L8								2.0000
L9			4.0000		1.0000			11.0000

Το διάγραμμα που ακολουθεί απεικονίζει τις ισοδύναμες βλάβες που υπολογίστηκαν από τα παραπάνω σχέσεις.

Πίνακας 6.15 :Πίνακας προσέγγισης βλαβών ως προς το βάθος με κατανομή poisson για λ=2

Προσέγγιση βλαβών ως προς το βάθος με Κατανομή poisson για λ=2				
	Ισοδύναμες Βλάβες		Poisson λ=2	
				χ1056.96
D0	127.9233	0	0.1353	143.04
D1	66.6236	1	0.2707	286.09
D2	281.3778	2	0.2707	286.09
D3	18.6391	3	0.1804	190.73
D4	61.3494	4	0.0902	95.36
D5	18.4432	5	0.0361	38.15
D6	24.9096	6	0.0120	12.72
D7	457.6949	7	0.0034	3.63
	1056.96			



Σχήμα 6.4 :Προσέγγιση βλαβών με κατανομή Poisson για λ=2

Για την προσέγγιση της κατανομής των βλαβών επιλέγεται κατανομή Poisson για την οποία ισχύει ως γνωστόν ότι:

$$\bar{N}_f(E_i) = \lambda^r \frac{e^{-\lambda}}{r!}$$

όπου λ= ρυθμός βλαβών

και r = αριθμός βλαβών

Η καλύτερη προσέγγιση δίνεται για $\lambda=2$

Ο πίνακας που προκύπτει είναι ο παρακάτω:

Πίνακας 6.16: Πίνακας παραμέτρου βάθους βλάβης από την επιφάνεια D και μετασχηματισμού αυτής

D	Depth		Eqt. Failures	Μετ/σμός	Συν.Στοιχεία	Ρυθμός βλαβών
	D _k		$N_f(D_k E_1, L_0)$	$\bar{N}_f(D_k E_1, L_0)$	$N_t(D_k)$	$\frac{\bar{N}_f(D_k E_1, L_0)}{N_t(D_k)}$
	D0	(0-9)	127.92	143.04	4779	0.0299
D1	(10-19)	66.62	286.09	4229	0.0676	
D2	(20-29)	281.38	286.09	4525	0.0632	
D3	(30-39)	18.64	190.73	2449	0.0779	
D4	(40-49)	61.35	95.36	3168	0.0301	
D5	(50-59)	18.44	38.15	1488	0.0256	
D6	(60-69)	24.91	12.72	1816	0.0070	
D7	(above 70)	457.69	3.63	22436	0.0002	
		1056.96				

Η πιθανότητα αποτυχίας ή ρυθμός βλαβών ανά 250m δίνεται από τη σχέση

$$P(D_k|E_1, L_0) = \frac{\bar{N}_f(D_k|E_1, L_0)}{N_t(D_k)}$$

όπου

$$N_f(D_k|E_1, L_0) = \sum_{j=0}^9 N_f(L_j, D_k|E_1) \cdot S(L_j)$$

$$N_t(D_k) = \sum_{j=0}^9 N_t(L_j, D_k)$$

και

$$N_f(L_j, D_k|E_1) = \sum_{i=1}^4 N_f(E_i, L_j, D_k) \cdot S(E_i)$$

$$N_t(L_j, D_k) = \sum_{i=1}^4 N_t(E_i, L_j, D_k)$$

6.3 Εφαρμογή μαθηματικού μοντέλου ανάλυσης αξιοπιστίας για μια δοσμένη διαδρομή καλωδίου

Το μαθηματικό μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε παραπάνω αναγάγει τις τέσσερις παραμέτρους που θεωρήθηκαν αρχικά, πρωτίστως σε τρεις, ενώ στη

συνέχεια με χρήση των συντελεστών ασφαλείας εκφράζει τις τρεις (E_i, L_j, D_k) ως συνάρτηση μίας $P(D_k|E_1, L_0)$.

Έτσι αν επιλέξουμε μια υποτιθέμενη διαδρομή αρχικά την διαιρέσουμε σε στοιχεία L_j μήκους 250m. Καθένα εκ των στοιχείων υποδιαίρεσης της διαδρομής αντιστοιχεί σε ένα συγκεκριμένο βάθος D_k . Εφόσον το τμήμα των 250 m ξεκινά από βάθος D_1 και καταλήγει σε βάθος D_2 τότε θεωρούμε ως βάθος στοιχείου το

$$D_k = \frac{D_1 + D_2}{2} .$$

Στη συνέχεια για κάθε στοιχείο υπολογίζουμε την ισοδύναμη προστασία από τον πίνακα... Μπορούμε να υπολογίσουμε έτσι την αξιοπιστία καθενός στοιχείου από τη σχέση

$$R_l = F(E_i) \cdot F(L_j) \cdot P(D_k|E_1, L_0) \text{ για } l = 1 \text{ μέχρι } n$$

$$\text{όπου } n = \frac{\text{Συνολικό μήκος καλωδίου}}{250}$$

Οι παραπάνω υπολογισμοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά τη μελέτη αξιοπιστίας υποβρύχιων καλωδίων MT με δύο τρόπους:

- ✚ για τον προσδιορισμό των κρίσιμων αλλά και ασφαλών περιοχών κατά μήκος μιας υπάρχουσας διαδρομής ενός καλωδίου ισχύος. Στην πραγματικότητα υπολογίζεται η αξιοπιστία ανά στοιχείο L_j (250m) και αφού τα υποτυπώσουμε σε ένα ιστόγραμμα μπορούμε να προσδιορίσουμε τα κρίσιμα στοιχεία στα οποία η προστασία είναι ανεπαρκής και χρήζει ενίσχυσης ή τα σημεία στα οποία δεν απαιτείται η λήψη επιπλέον μέτρων προστασίας λόγω χαμηλού βαθμού επικινδυνότητας για την δημιουργία βλάβης.
- ✚ κατά την προμελέτη για την πόντιση ενός υποβρύχιου καλωδίου για την επιλογή της βέλτιστης διαδρομής. Αφού καταγραφούν οι πιθανές επιλογές διαδρομές πόντισης του καλωδίου, με χρήση του μαθηματικού μοντέλου γίνεται έλεγχος αξιοπιστίας κάθε διαδρομής και από το αποτέλεσμα αυτής επιλέγεται η πλέον κατάλληλη διαδρομή.

6.3.1 Επιλογή της βέλτιστης διαδρομής

Εφόσον πρέπει να επιλεγεί μια διαδρομή όδευσης καλωδίου μεταξύ πολλών εναλλακτικών τότε αφού ακολουθήσουμε τα βήματα της προηγούμενης παραγράφου

και καταγράφουν την αξιοπιστία για όλα τα επιμέρους στοιχεία L_j τότε η συνολική αξιοπιστία του καλωδίου για την συγκεκριμένη διαδρομή θα δίνεται από τη σχέση

$$R = \sum_{l=0}^n R_l$$

Στην περίπτωση που επιθυμούμε να καθορίσουμε μια ελάχιστη προστασία για το καλώδιο που πρόκειται να ποντίσουμε δεν έχουμε παρά να θέσουμε το μέγιστο επιθυμητό ρυθμό βλαβών που είναι ανεκτός R_{max} και στη συνέχεια υπολογίζουμε το λόγο $Q_l = \frac{R_{max}}{R_l}$ για $l = 0$ μέχρι n . Από το αποτέλεσμα συγκρινόμενο με τη μονάδα μπορούμε να πούμε ότι:

- Για $Q_l = \frac{R_{max}}{R_l} \geq 1$ δεν είναι απαραίτητη επιπλέον προστασία διότι το καλώδιο προστατεύεται επαρκώς
- Για $Q_l = \frac{R_{max}}{R_l} < 1$ είναι απαραίτητη επιπλέον προστασία στα αντίστοιχα στοιχεία διότι το καλώδιο δεν προστατεύεται επαρκώς

Υπολογίζουμε έτσι εκ νέου την αξιοπιστία στα συγκεκριμένα στοιχεία L_j με διάφορους τρόπους προστασίας που προκύπτουν από τον πίνακα ... (παίρνουμε το αμέσως επόμενο $F(E_j)$) έως ότου καταλήξουμε στο επιθυμητό αποτέλεσμα $Q_l \geq 1$.

6.4 Υπολογισμός μέσου χρόνου μεταξύ βλαβών (MTBF)

Ο μέσος χρόνος μεταξύ βλαβών (**Mean Time Between Failures**) αποτελεί το διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ δύο βλαβών στη γραμμή όδευσης της υποβρύχιας διασύνδεσης. Ο MTBF προκύπτει αφού έχουμε υπολογίσει από την προηγούμενη παράγραφο την αξιοπιστία R από τη σχέση

$$MTBF = \frac{1}{R}$$

6.5 Εφαρμογή του στατιστικού μοντέλου στο υφιστάμενο Υποβρύχιο δίκτυο ΜΤ

6.5.1 Παράδειγμα 1

Ζεύξη Σπέτσες -Σπετσοπούλα

Τα στοιχεία της διασύνδεσης Σπέτσες –Σπετσοπούλα είναι

Αριθμός Καλωδίων 2

Είδος καλωδίων 3x35 Cu

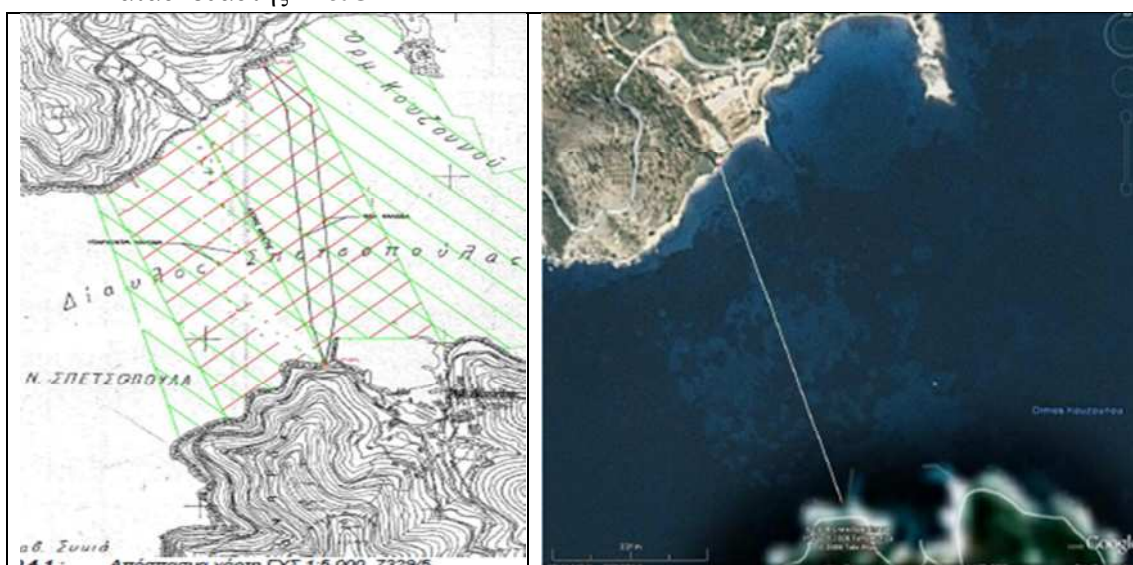
Ονομαστική τάση 15KV

Μήκος απλής διαδρομής 0.9 km

Μεγαλύτερο βάθος διαδρομής 13m

Χρονολογία πόντισης 1663

Κατασκευαστής F&G



Σχήμα 6.5:Χάρτης διασύνδεσης ζεύξης Σπέτσες -Σπετσοπούλα

Η ενεργειακή ζεύξη Ν. Σπέτσες με την Ν. Σπετσοπούλα έχει πραγματοποιηθεί με την πόντιση δύο υποβρυχίων καλωδίων Μέσης Τάσης που συνδέουν τα δύο νησιά και συγκεκριμένα την Ανατολική πλευρά των Σπετσών, νότια του λιμανιού, με την Δυτική πλευρά της Σπετσοπούλας, ακριβώς έξω από τον υπάρχοντα κυματοθραύστη προστασίας του λιμενίσκου της νησίδας.

Από τα υπάρχοντα στοιχεία είναι γνωστό ότι :

- Η ακτή στη θέση προσαιγιάλωσης των καλωδίων στις Σπέτσες είναι βραχώδης.
- Κατά μήκος της διαδρομής των καλωδίων ο πυθμένας είναι ομαλός, αμμώδης με σύσταση από χαλαρά ιζήματα.
- Η ακτή στη θέση προσαιγιάλωσης των καλωδίων στη νησίδα Σπετσοπούλα είναι βραχώδης.

Επίσης από τις προδιαγραφές πόντισης της ΔΕΗ για την περίοδο που έγινε η πόντιση έχουμε ότι το καλώδιο ενταφιάζεται στα σημεία προσαιγιάλωσης και μέχρι βάθος θαλάσσης 3 μέτρα (στο παράδειγμα έχω 3 μέτρα στα 100 μέτρα περίπου).

Η συνολική αξιοπιστία του καλωδίου για την συγκεκριμένη διαδρομή θα δίνεται από τη σχέση

$$R = \sum_{l=0}^n R_l$$

όπου $l=0,1,2,3,4$.

Υπολογίζουμε την αξιοπιστία καθενός στοιχείου από τη σχέση

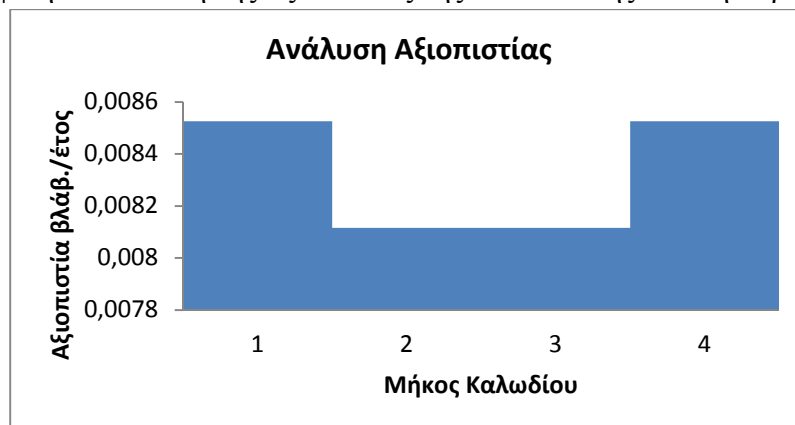
$$R_l = F(E_i) \cdot F(L_j) \cdot P(D_k|E_1, L_0) \text{ για } l = 0 \text{ μέχρι } 4$$

Ο πίνακας που προκύπτει από τα παραπάνω είναι :

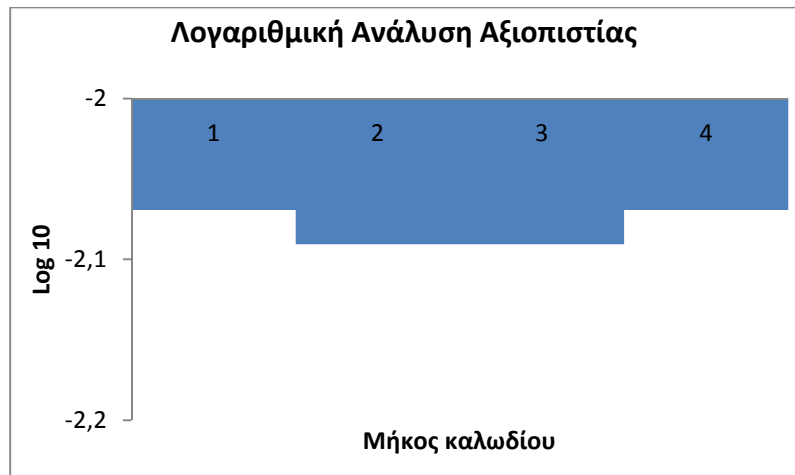
Πίνακας 6.17 : Πίνακας ανάλυσης αξιοπιστίας διασύνδεσης Σπέτσες -Σπετσοπούλα

Μήκος (m)	F(E)	F(L/E)	P(D/E,L)	R	Log (R)
0-250	0.2848	1.000	0.0299	0.008525576	-2.069276248
250-500	1.0000	0.120	0.0676	0.008116133	-2.090650862
500-750	1.0000	0.120	0.0676	0.008116133	-2.090650862
750-1000	0.2848	1.000	0.0299	0.008525576	-2.069276248

Η γραφική απεικόνιση της αξιοπιστίας της διασύνδεσης είναι η παρακάτω:



Σχήμα 6.6: Γραφική απεικόνιση ανάλυσης αξιοπιστίας διασύνδεσης Σπέτσες -Σπετσοπούλα



Σχήμα 6.7: Λογαριθμική ανάλυση αξιοπιστίας Σπέτσες -Σπετσοπούλα

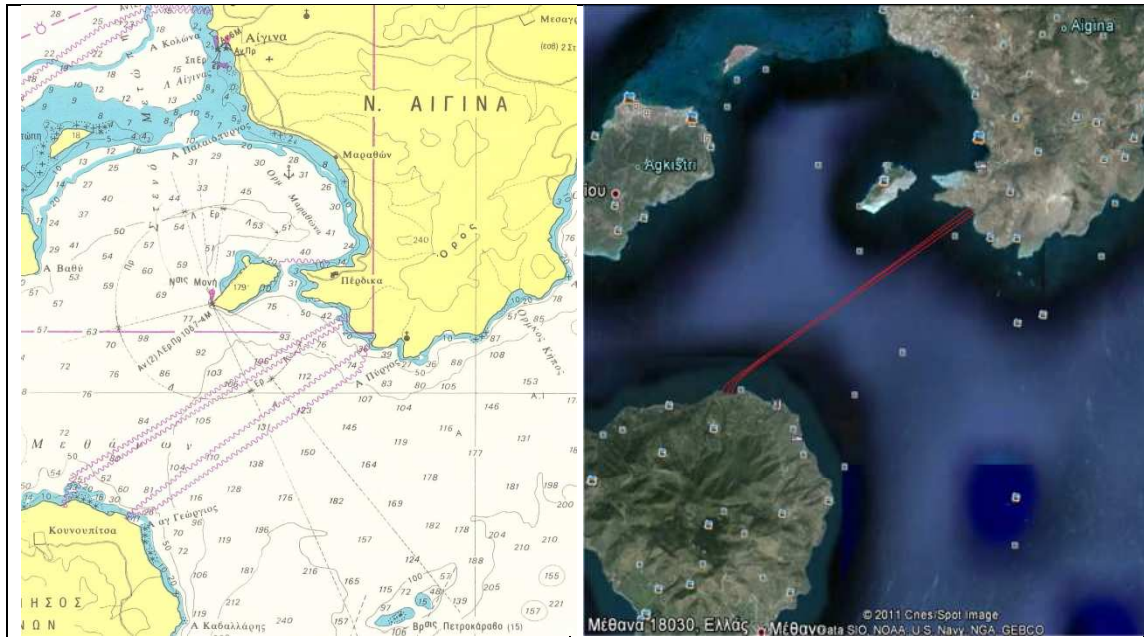
Παρατηρούμε από τα διαγράμματα ότι η προστασία στα σημεία προσαιγιείλωσης είναι υψηλότερη από αυτή στο μέσο τμήμα του καλωδίου.

6.5.2 Παράδειγμα 2

Ζεύξη Αίγινας-Μεθάνων

Τα στοιχεία της διασύνδεσης Σπέτσες –Σπετσοπούλα είναι

Αριθμός Καλωδίων	2	1
Είδος καλωδίων	3x150mm Al	3x150mm Al
Ονομαστική τάση (KV)	20	20
Μήκος απλής διαδρομής (km)	9.2	9.4
Μεγαλύτερο βάθος διαδρομής (m)	105	105
Χρονολογία πόντισης	1976	1997
Κατασκευαστής	FULGOR	FULGOR



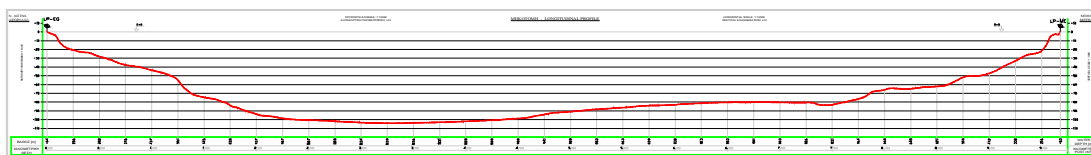
Σχήμα 6.8:Χάρτης διασύνδεσης ζεύξης Αίγινας-Μεθάνων

Η ενεργειακή ζεύξη της Ν. Αίγινας με τα Μέθανα ξεκινάει από το 1976 με την πόντιση αρχικά δύο καλωδίων (No1 και No2) 3x150mm Al μέσης τάσης 20kV. Στη συνέχεια για την ενίσχυση του δικτύου της Αίγινας ποντίστηκε το 1997 ένα ακόμη καλώδιο, το Νο3, βόρεια των ήδη εγκατεστημένων.

Από τα υπάρχοντα στοιχεία είναι γνωστό ότι :

- Η ακτή του Όρμου Σάρπας, στη θέση προσαιγιάλωσης του καλωδίου στην Αίγινα είναι ομαλή και καλύπτεται από άμμο, χαλίκια και κροκάλες.
 - Κατά μήκος της διαδρομής του καλωδίου ο πυθμένας είναι αμμώδης, ομαλός με σύσταση από χαλαρά ιζήματα.
 - Η ακτή του Όρμου Λίμιτζα, Κουνουπίτσας, στη θέση προσαιγιάλωσης του καλωδίου στα Μέθανα είναι ομαλή και καλύπτεται από άμμο, χαλίκια και κροκάλες.
- Επίσης όπως προείπαμε κατά τις πρώτες δεκαετίες εγκατάστασης Υποβρυχίων Καλωδίων (αρχές δεκαετίας 1960) η προστασία τους έναντι της κυματικής δράσης περιοριζόταν σε ταφή τους σε βάθος 1.0 m υπό τον βυθό και μέχρι βάθους θάλασσας 3 m. Από το 1980 μέχρι το 2000 η προστασία δια ταφής επεκτάθηκε μέχρι την ισοβαθή των 5 m

Η μηκοτομή της διασύνδεσης φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 6.9:Μηκοτομή βυθομετρικού διαγράμματος διασύνδεσης Αίγινα –Μέθανα

Πίνακας 6.18 α: Πίνακας ανάλυσης αξιοπιστίας από Αίγινα προς μέσο διαδρομής

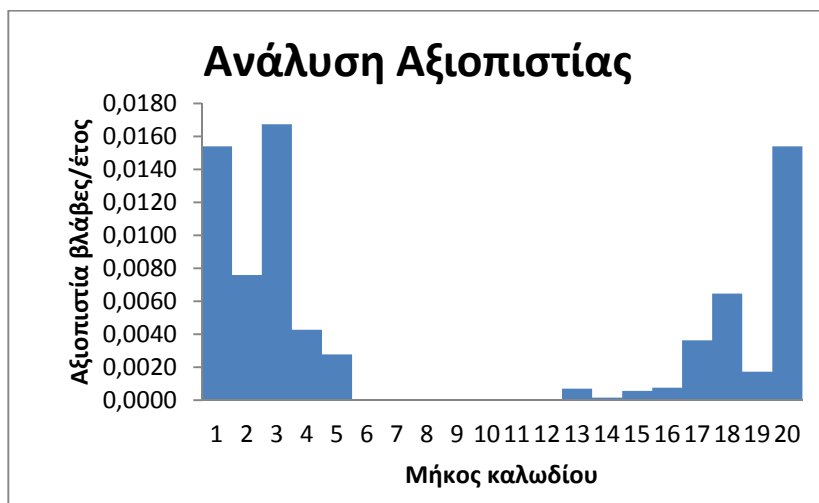
Από τη χρήση των συντελεστών πιθανότητας βλάβης προκύπτουν τα ακόλουθα:

Από Αίγινα προς μέσο διαδρομής						
	Μήκος (km)	F(E)	F(L/E)	P(D/E,L)	R	Log®
L0	(0-0.24)	0,2275	1,000	0,0676	0,015391663	-1,812714444
L1	(0.25-0.49)	1,0000	0,120	0,0632	0,007585221	-2,120031761
L2	(0.50-0.74)	1,0000	0,215	0,0779	0,016741039	-1,776217581
L3	(0.75-0.99)	1,0000	0,142	0,0301	0,004261527	-2,37043475
L4	(1.00-1.24)	1,0000	0,108	0,0256	0,002779903	-2,55597043
L5	(1.25-1.49)	1,0000	0,080	0,0002	1,60581E-05	-4,794306974
L6	(1.50-1.74)	1,0000	0,021	0,0002	3,42673E-06	-5,465120137
L7	(1.75-1.99)	1,0000	0,100	0,0002	1,61883E-05	-4,790799284
L8	(2.00-2.24)	1,0000	0,041	0,0002	6,6308E-06	-5,178434343
L9	(2.25-4.60)	1,0000	0,028	0,0002	4,5094E-06	-5,345880815
					0,046806167	

Πίνακας 6.18β :Πίνακας ανάλυσης αξιοπιστίας από Μέθανα προς μέσο διαδρομής

Από Μέθανα προς μέσο διαδρομής						
	Μήκος (km)	F(E)	F(L/E)	P(D/E,L)	R	Log®
L0	(0-0.24)	0,2275	1,000	0,0676	0,015390179	-1,812756319
L1	(0.25-0.49)	0,2275	0,120	0,0632	0,001725804	-2,763008485
L2	(0.50-0.74)	1,0000	0,215	0,0301	0,006470771	-2,189043965
L3	(0.75-0.99)	1,0000	0,142	0,0256	0,003629171	-2,440192517
L4	(1.00-1.24)	1,0000	0,108	0,0070	0,000759269	-3,119604598
L5	(1.25-1.49)	1,0000	0,080	0,0070	0,000562032	-3,25023893
L6	(1.50-1.74)	1,0000	0,021	0,0070	0,000148141	-3,829326069
L7	(1.75-1.99)	1,0000	0,100	0,0070	0,000699834	-3,155005216
L8	(2.00-2.24)	1,0000	0,041	0,0002	8,19015E-06	-5,086708319
L9	(2.25-4.60)	1,0000	0,028	0,0002	5,56987E-06	-5,254154792
		1			0,029398961	

Έτσι προκύπτουν τα διαγράμματα που απεικονίζουν την αξιοπιστία της διασύνδεσης



Σχήμα 6.10:Γραφική απεικόνιση ανάλυσης αξιοπιστίας διασύνδεσης Αίγινα -Μέθανα



Σχήμα 6.11: Λογαριθμική ανάλυση αξιοπιστίας διασύνδεσης Αίγινα -Μέθανα

Παρατηρούμε ότι η προστασία της διασύνδεσης στα σημεία προσαιγιάλωσης είναι σχεδόν δύο φορές μεγαλύτερη αυτής στο μέσον της διαδρομής. Η συνολική αξιοπιστία του καλωδίου είναι $0,046806167+0,029398961=0,076205127$ άρα η συχνότητα εμφάνισης βλαβών MTBF είναι 13,12 έτη. Αν το καλώδιο δεν ήταν προστατευμένο αλλά εν αποθέσει τότε αξιοπιστία θα ήταν $0,126040347+0,087517338=0,213557685$ άρα η συχνότητα εμφάνισης βλαβών MTBF θα ήταν 4,68 έτη.

Από τη βάση δεδομένων για βλάβες των Υ/Β καλωδίων προκύπτουν τα ακόλουθα στοιχεία για την εν λόγω διασύνδεση

Πίνακας 6.19: Πίνακας βλαβών διασύνδεσης Αίγινα -Μέθανα

ΑΙΓΙΝΑ - ΜΕΘΑΝΑ	23	21/9/2009	ΜΗΧ. ΚΑΚΩΣΗ ΑΠΟ ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΗ ΕΠΙΣΚΕΥΗ (ΒΥΡΙΝΑ) 2008	ΒΥΡΙΝΑ	ΑΙΓΙΝΑ (290)
N ^ο 3					

ΑΙΓΙΝΑ - ΜΕΘΑΝΑ	44	--	ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΗ		ΑΙΓΙΝΑ (400)
N ^ο 1			ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΗ		
ΑΙΓΙΝΑ - ΜΕΘΑΝΑ	--	--	ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΗ		--
N ^ο 2			ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΗ		
ΑΙΓΙΝΑ - ΜΕΘΑΝΑ	22	7/8/2010	ΒΛΑΒΗ ΣΕ ΠΑΛΑΙΑ		ΑΙΓΙΝΑ (250)
N ^ο 1			ΒΥΡΙΝΑ		
ΑΙΓΙΝΑ - ΜΕΘΑΝΑ	113	8/8/2010	ΑΣΤΟΧΙΑ 1 Θ/Σ	1	ΑΙΓΙΝΑ (3.350)
N ^ο 2			ΣΥΝΔΕΣΜΟΥ		

Παρατηρούμε ότι η πρώτη και η τέταρτη βλάβη συνέβησαν στο σημείο όπου η προστασία ήταν η μικρότερη στην εν λόγω περιοχή επαληθεύοντας τα αποτελέσματα του μοντέλου. Επίσης η πέμπτη βλάβη συνέβη σε σημείο με ελάχιστη προστασία σε απόσταση 3.350 μέτρα από την Αίγινα ενώ η προληπτική ανακατασκευή απαιτήθηκε σε σημείο με μικρή σχετικά με τις γειτονικές θέσεις αξιοπιστία.

6.5.3 Παράδειγμα 3

Ζεύξη Κω-Καλύμνου

Τα στοιχεία της διασύνδεσης Κω-Καλύμνου είναι

Αριθμός Καλωδίων	2
Είδος καλωδίων	3x95mm Cu
Ονομαστική τάση (KV)	20
Μήκος απλής διαδρομής (km)	15.2
Μεγαλύτερο βάθος διαδρομής (m)	66
Χρονολογία πόντισης	2008
Κατασκευαστής	FULGOR



Σχήμα 6.12:Χάρτης διασύνδεσης ζεύξης Κω-Καλύμνου

Από τα υπάρχοντα στοιχεία είναι γνωστό ότι :

-Τα καλώδια προστατεύονται και από τα δύο σημεία προσαρτησίμου με τις προδιαγραφόμενες από τη ΔΕΗ τεχνικές προδιαγραφές ενταφιασμού από τη μεριά της Κω και μέχρι την ισοβαθή των 45μέτρων, ενώ από τη μεριά της Καλύμνου μέχρι την ισοβαθή των 20 μέτρων. Αναλυτικότερα η ταφή έχει ως ακολούθως:

Πίνακας 6.20 :Πίνακας προστασίας καλωδίου διασύνδεσης Κω-Καλύμνου

Κως			Καλύμνος		
	Καλώδιο No1	Καλώδιο No2		Καλώδιο No1	Καλώδιο No2
Από LP μέχρι -2m (Land point)	45m	45m	Από LP μέχρι -2m (Land point)	55m	55m
	Χάνδακας 1.5m σε αμμώδες υπόστρωμα			Σωλήνα PVC 200mm σε βραχώδες υπόστρωμα	
Από -2m μέχρι -10m	800m	700m	Από -2m μέχρι -10m	180m	180m
	Χάνδακας 1.0m σε αμμώδες υπόστρωμα			Χάνδακας 1.0m σε αμμοχάλικο υπόστρωμα	
Από -10m μέχρι -20m	1300m	1300m	Από -10m μέχρι -20m	230m	230m
	Χάνδακας 0.5m σε αμμώδες υπόστρωμα			Χάνδακας 2.0m σε αμμώδες υπόστρωμα	

Από τη χρήση των συντελεστών πιθανότητας βλάβης προκύπτουν τα ακόλουθα:

Πίνακας 6.21α :Πίνακας ανάλυσης αξιοπιστίας από Κω προς μέσο διαδρομής

Από Κω προς μέσο διαδρομής						
	Μήκος (km)	F(E)	F(L/E)	P(D/E,L)	R	Log (R)
L0	(0-0.24)	0.2848	1.0000	0,0299	0,0154	-1,8128
L1	(0.25-0.49)	0.2275	0.1200	0,0299	0,0017	-2,7630
L2	(0.50-0.74)	0.2275	0.2150	0,0299	0,0065	-2,1890
L3	(0.75-0.99)	1.7768	0.1416	0,0676	0,0036	-2,4402
L4	(1.00-1.24)	1.7768	0.1084	0,0676	0,0008	-3,1196
L5	(1.25-1.49)	1.7768	0.0803	0,0676	0,0006	-3,2502
L6	(1.50-1.74)	1.0000	0.0212	0,0632	0,0001	-3,8293
L7	(1.75-1.99)	1.0000	0.1000	0,0779	0,0007	-3,1550
L8	(2.00-2.24)	1.0000	0.0410	0,0301	0,0000	-5,0867
L9	(2.25-4.60)	1.0000	0.0278	0,0256	0,0000	-5,2542

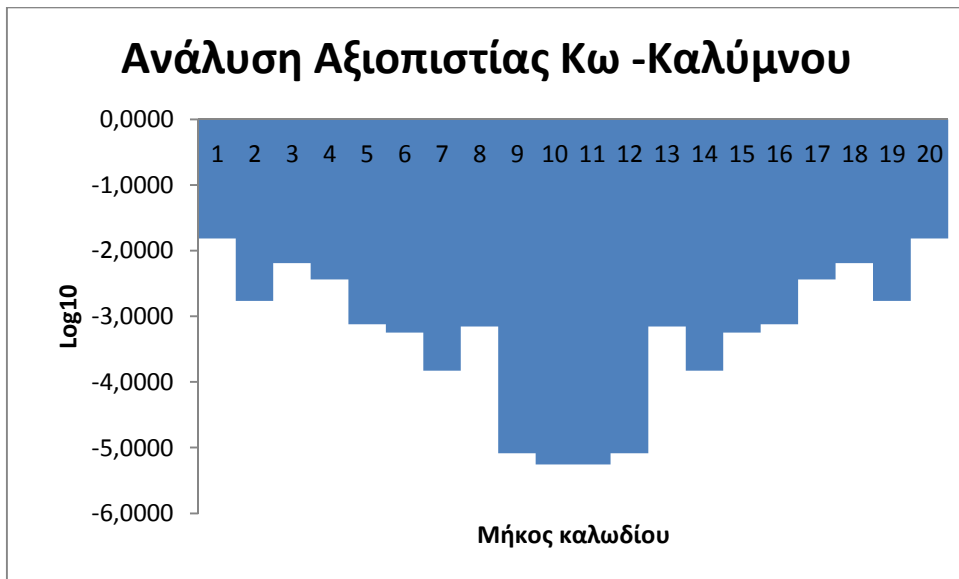
Πίνακας 6.21β : Πίνακας ανάλυσης αξιοπιστίας από Κάλυμνο προς μέσο διαδρομής

Από Κάλυμνο προς μέσο διαδρομής						
	Μήκος (km)	F(E)	F(L/E)	P(D/E,L)	R	Log (R)
L0	(0-0.24)	0.2275	1.0000	0.0299	0.0154	-1.8128
L1	(0.25-0.49)	0.2848	0.1200	0.0301	0.0017	-2.7630
L2	(0.50-0.74)	0.2848	0.2150	0.0256	0.0065	-2.1890
L3	(0.75-0.99)	1.0000	0.1416	0.0070	0.0036	-2.4402
L4	(1.00-1.24)	1.0000	0.1084	0.0070	0.0008	-3.1196
L5	(1.25-1.49)	1.0000	0.0803	0.0002	0.0006	-3.2502
L6	(1.50-1.74)	1.0000	0.0212	0.0002	0.0001	-3.8293
L7	(1.75-1.99)	1.0000	0.1000	0.0002	0.0007	-3.1550
L8	(2.00-2.24)	1.0000	0.0410	0.0002	0.0000	-5.0867
L9	(2.25-4.60)	1.0000	0.0278	0.0002	0.0000	-5.2542

Έτσι προκύπτουν τα διαγράμματα που απεικονίζουν την αξιοπιστία της διασύνδεσης



Σχήμα 6.13: Γραφική αναπαράσταση αξιοπιστίας διασύνδεσης Κω-Καλύμνου

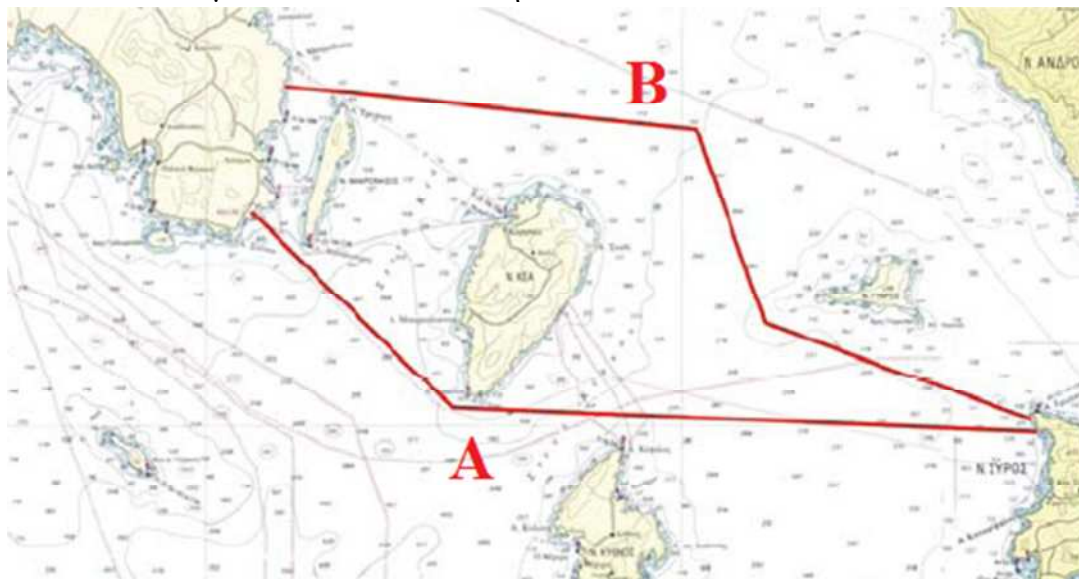


Σχήμα 6.14: Λογαριθμική ανάλυση αξιοπιστίας διασύνδεσης Κω-Καλύμνου

6.5.4 Παράδειγμα 4: Ηλεκτρική διασύνδεση Κυκλάδων Νήσων

Θεωρούμε το παρακάτω υποθετικό σενάριο ηλεκτρικής διασύνδεσης με υποβρύχια καλώδια των Κυκλάδων Νήσων

Έστω ότι η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) μελετάει τη διασύνδεση των Κυκλάδων Νήσων διαμέσου της Νήσου Σύρου, με την Αττική (Λαύριο) με υποβρύχια ενεργειακά καλώδια με στόχο την μεταφορά ενέργειας από την Ηπειρωτική Ελλάδα προς τις Κυκλάδες και αντίστροφα με απώτερο σκοπό την καλύτερη δυνατή εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας που δύναται να παραχθεί από το αιολικό δυναμικό των Κυκλάδων Νήσων.



Σχήμα 6.15: Εναλλακτικές γραμμές όδευσης Α, Β για την υποθετική διασύνδεση της Αττικής με τη νήσο Σύρο

Η διασύνδεση με τη νήσο Σύρο μπορεί να γίνει διαμέσω δύο εναλλακτικών διαδρομών την Α και την Β για τις οποίες έγινε προμελέτη και εκκρεμεί η επιλογή μιας εκ των δύο για την έναρξη του έργου.

Το μήκος και το μέγιστο βάθος των εναλλακτικών διαδρομών διασύνδεσης όπως προκύπτει από τον χάρτη της Υδρογραφικής Υπηρεσίας είναι:

Ζώνη Διασύνδεσης	Διαδρομή	Μήκος	Βάθος
Λαύριο – Σύρος	A	82.5 km	270 – 300 m
	B	84 km	270 m

Έστω ότι η μελέτη του πυθμένα για τις δύο πιθανές διαδρομές έδωσε τις παρακάτω επιλογές

Πίνακας 6.22 : Πίνακας ανάλυσης συνολικής προστασίας διασύνδεσης διαδρομών Α και Β

ΛΑΥΡΙΟ			ΣΥΡΟΣ		
	Καλώδιο A	Καλώδιο B		Καλώδιο A	Καλώδιο B
Από LP μέχρι -10m (Land point)	200m	10m	Από LP μέχρι -10m (Land point)	250m	50m
	Χάνδακας 1.0m σε αμμώδες υπόστρωμα	Χάνδακας 0.6m βραχώδες υπόστρωμα		Χάνδακας 1.0m σε αμμώδες υπόστρωμα	Χάνδακας 1.0m σε αμμώδες υπόστρωμα
Από -10m μέχρι -20m	800m	500m	Από -10m μέχρι -20m	1000m	200m
	Χάνδακας 1.0m σε αμμώδες υπόστρωμα	Σωλήνα PVC 200mm σε βραχώδες υπόστρωμα		Χάνδακας 1.0m σε αμμώδες υπόστρωμα	Χάνδακας 1.0m σε αμμώδες υπόστρωμα
Από -20m και έπειτα	40250m	41490m	Από -20m και έπειτα	40000m	41750m
	Εν αποθέσει σε αμμώδες υπόστρωμα			Εν αποθέσει σε αμμώδες υπόστρωμα	

Στη συνέχεια κατασκευάζουμε του πίνακες αξιοπιστίας των δύο εναλλακτικών διαδρομών Α, Β όπως παρακάτω:

Πίνακας 6.23α: Πίνακας ανάλυσης αξιοπιστίας από Λαύριο προς μέσο διαδρομής

ΔΙΑΔΡΟΜΗ Α						
Από Λαύριο προς μέσο διαδρομής						
	Μήκος (km)	F(E)	F(L/E)	P(D/E,L)	R	Log®
L0	(0-0.24)	0,2275	1,0000	0,0299	0,006810	-2,166844
L1	(0.25-0.49)	0,2275	0,1200	0,0676	0,001847	-2,733628
L2	(0.50-0.74)	0,2275	0,2150	0,0676	0,003306	-2,480668
L3	(0.75-0.99)	0,2275	0,1416	0,0676	0,002177	-2,662058
L4	(1.00-1.24)	1,0000	0,1084	0,0301	0,003264	-2,486213
L5	(1.25-1.49)	1,0000	0,0803	0,0301	0,002417	-2,616743
L6	(1.50-1.74)	1,0000	0,0212	0,0301	0,000637	-3,195831
L7	(1.75-1.99)	1,0000	0,1000	0,0256	0,002563	-2,591267
L8	(2.00-2.24)	1,0000	0,0410	0,0070	0,000287	-3,542537
L9	(2.25-4.60)	1,0000	0,0278	0,0002	0,000005	-5,345881
					0,023313	

Πίνακας 6.23β: Πίνακας ανάλυσης αξιοπιστίας από Σύρο προς μέσο διαδρομής

ΔΙΑΔΡΟΜΗ Α						
Από Σύρο προς μέσο διαδρομής						
	Μήκος (km)	F(E)	F(L/E)	P(D/E,L)	R	Log®
L0	(0-0.24)	0,2275	1,0000	0,0299	0,006810	-2,1668
L1	(0.25-0.49)	0,2275	0,1200	0,0676	0,001846	-2,7337
L2	(0.50-0.74)	0,2275	0,2150	0,0676	0,003306	-2,4807
L3	(0.75-0.99)	0,2275	0,1416	0,0676	0,002177	-2,6621
L4	(1.00-1.24)	0,2275	0,1084	0,0676	0,001668	-2,7779
L5	(1.25-1.49)	1,0000	0,0803	0,0779	0,006253	-2,2039
L6	(1.50-1.74)	1,0000	0,0212	0,0301	0,000637	-3,1958
L7	(1.75-1.99)	1,0000	0,1000	0,0256	0,002563	-2,5913
L8	(2.00-2.24)	1,0000	0,0410	0,0070	0,000287	-3,5425
L9	(2.25-4.60)	1,0000	0,0278	0,0002	0,000005	-5,3459
					0,025551	

Πίνακας 6.24α: Πίνακας ανάλυσης αξιοπιστίας από Λαύριο προς μέσο διαδρομής

ΔΙΑΔΡΟΜΗ Β						
Από Λαύριο προς μέσο διαδρομής						
	Μήκος (km)	F(E)	F(L/E)	P(D/E,L)	R	Log®
L0	(0-0.24)	0,2848	1,0000	0,0299	0,008526	-2,0693
L1	(0.25-0.49)	0,2275	0,1200	0,0632	0,001726	-2,7630
L2	(0.50-0.74)	0,2275	0,2150	0,0301	0,001472	-2,8320
L3	(0.75-0.99)	1,0000	0,1416	0,0256	0,003629	-2,4402
L4	(1.00-1.24)	1,0000	0,1084	0,0002	0,000018	-4,7555
L5	(1.25-1.49)	1,0000	0,0803	0,0002	0,000016	-4,7943
L6	(1.50-1.74)	1,0000	0,0212	0,0002	0,000004	-5,3734
L7	(1.75-1.99)	1,0000	0,1000	0,0002	0,000020	-4,6991
L8	(2.00-2.24)	1,0000	0,0410	0,0002	0,000008	-5,0867
L9	(2.25-4.60)	1,0000	0,0278	0,0002	0,000006	-5,2542
					0,015424	

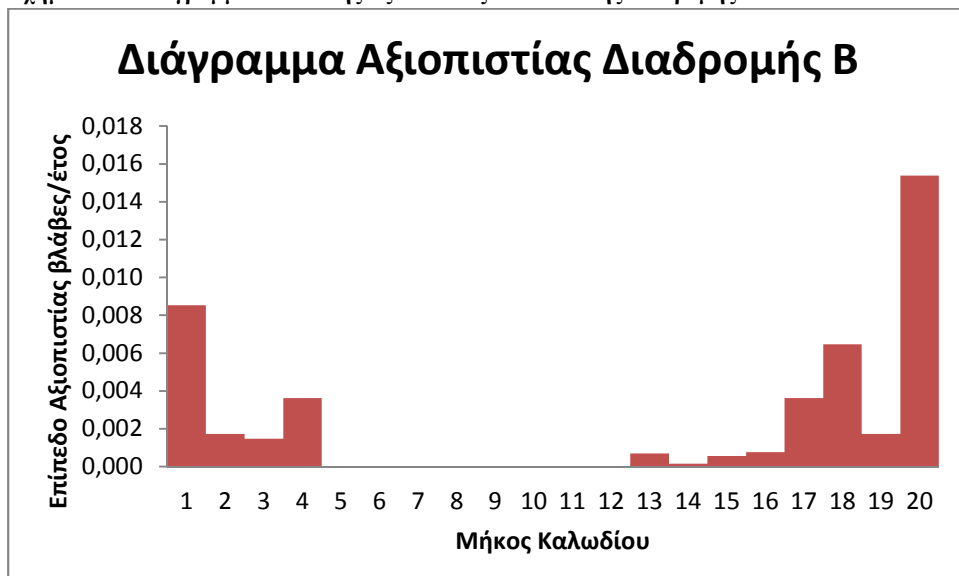
Πίνακας 6.24β: Πίνακας ανάλυσης αξιοπιστίας από Λαύριο προς μέσο διαδρομής

ΔΙΑΔΡΟΜΗ Β						
Από Σύρο προς μέσο διαδρομής						
	Μήκος (km)	F(E)	F(L/E)	P(D/E,L)	R	Log®
L0	(0-0.24)	0,2275	1,0000	0,0299	0,015390	-1,8128
L1	(0.25-0.49)	1,0000	0,1200	0,0632	0,001726	-2,7630
L2	(0.50-0.74)	1,0000	0,2150	0,0779	0,006471	-2,1890
L3	(0.75-0.99)	1,0000	0,1416	0,0256	0,003629	-2,4402
L4	(1.00-1.24)	1,0000	0,1084	0,0002	0,000759	-3,1196
L5	(1.25-1.49)	1,0000	0,0803	0,0002	0,000562	-3,2502
L6	(1.50-1.74)	1,0000	0,0212	0,0002	0,000148	-3,8293
L7	(1.75-1.99)	1,0000	0,1000	0,0002	0,000700	-3,1550
L8	(2.00-2.24)	1,0000	0,0410	0,0002	0,000008	-5,0867
L9	(2.25-4.60)	1,0000	0,0278	0,0002	0,000006	-5,2542
					0,029399	

Έτσι προκύπτουν τα διαγράμματα που απεικονίζουν την αξιοπιστία της διασύνδεσης διαμέσου της διαδρομής Α και Β όπως παρακάτω:



Σχήμα 6.16: Διάγραμμα ανάλυσης αξιοπιστίας διασύνδεσης διαδρομής Α



Σχήμα 6.17: Διάγραμμα ανάλυσης αξιοπιστίας διασύνδεσης διαδρομής Β



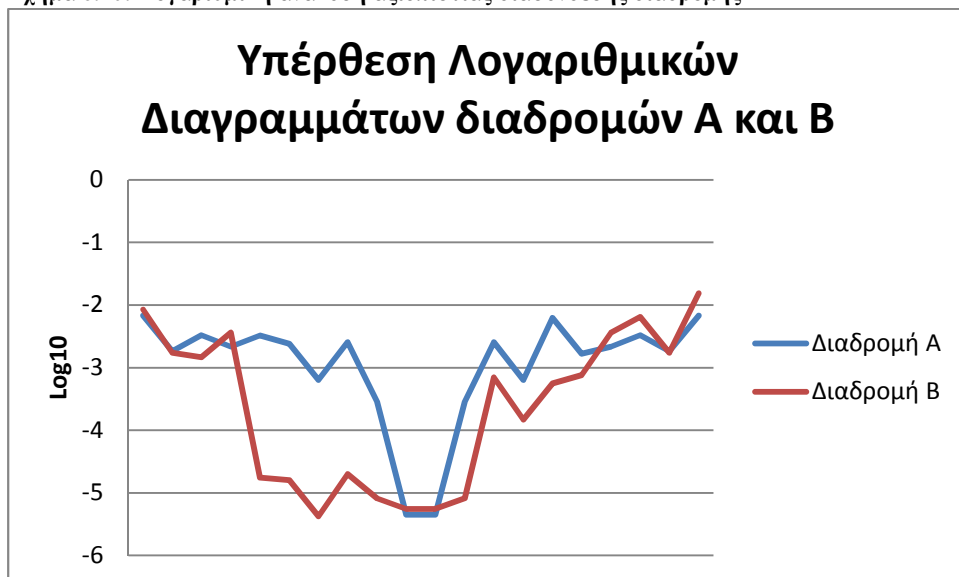
Σχήμα 6.18: Υπέρθωση διαγραμμάτων ανάλυσης αξιοπιστίας διασυνδέσεων διαδρομών Α και Β



Σχήμα 6.19: Λογαριθμική ανάλυση αξιοπιστίας διασύνδεσης διαδρομής A



Σχήμα 6.20: Λογαριθμική ανάλυση αξιοπιστίας διασύνδεσης διαδρομής B



Σχήμα 6.21: Λογαριθμική ανάλυση αξιοπιστίας διασυνδέσεων A και B

Η σύγκριση των δύο διαδρομών μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους και ανάλογα με τα δεδομένα που έχουμε για τις δυο διαδρομές. Εδώ επιλέγουμε για λόγους απλότητας να συγκρίνουμε τις δύο διαδρομές μέσω των εμβαδών που ορίζονται από τα σχήματα 6.18 και 6.19. Αν θεωρήσουμε μοναδιαίο το μήκος στον οριζόντιο άξονα τότε έχουμε:

Εμβαδό διαδρομής A=0.048864

Εμβαδό διαδρομής B=0.044823

Παρατηρούμε ότι **Εμβαδό διαδρομής A > Εμβαδό διαδρομής B** επομένως επιλέγουμε την διαδρομή B διότι έχει μεγαλύτερο συνολικό δείκτη αξιοπιστίας αφού έχει συνολικά μικρότερο ρυθμό βλαβών στη μονάδα του χρόνου.

Ένας εναλλακτικός τρόπος σύγκρισης των δύο διαδρομών είναι ο τμηματικός έλεγχος σε σημεία ενδιαφέροντος όπως τα σημεία προσαιγιάλωσης. Σε αυτή την περίπτωση λαμβάνονται υπόψη επιμέρους παράμετροι και δεν εξετάζεται η διαδρομή συνολικά ως προς την αξιοπιστία της. Έτσι παρατηρούμε ότι η διαδρομή A προστατεύει με μεγαλύτερη επάρκεια από τη διαδρομή B το καλώδιο σε μεγαλύτερο μήκος διαδρομής ειδικά από το σημείο προσαιγιάλωσης από τη Σύρο προς το μέσο της διαδρομής. Αυτές οι πληροφορίες είναι πολύ σημαντικές ειδικά αν ληφθούν υπόψη σε συνδιασμό με άλλες παραμέτρους όπως τουριστική κίνηση, αλιεία ή κινήσεις πλοίων από την εγκίτερη περιοχή.

Επίσης εάν επικεντρωθούμε στον μέσο χρόνο μεταξύ βλαβών για τις δύο διαδρομές θα προκύψει ότι :

$$MTBF_A = 1/R_A = 20,46 \text{ έτη}$$

$$MTBF_B = 1/R_B = 22,31 \text{ έτη}$$

Παρατηρούμε ότι μεταξύ των δύο διαδρομών αυτή του καλωδίου B έχει μεγαλύτερο μεσοδιάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών βλαβών επομένως υπερτερεί της διαδρομής A.

Αν θεωρούσαμε τις διαδρομές A, B χωρίς προστασία τότε θα ίσχυε αντίστοιχα:

$$MTBF_{A(απρ)} = 1/R_A = 6,64 \text{ έτη}$$

$$MTBF_{B(απρ)} = 1/R_B = 12,97 \text{ έτη}$$

Τα παραπάνω αποτελέσματα μας δίνουν μία ακόμη σημαντική πληροφορία. Ενώ με προστασία το $MTBF_A$ είναι κοντά στο $MTBF_B$ στην πραγματικότητα για παρόμοιο μήκος καλωδίου στις δύο διαδρομές απαιτείται ιδιαίτερα αυξημένο κόστος για να προστατεύσουμε επαρκώς την διαδρομή A (από $MTBF_{A(απρ)}$ $MTBF_A$) σε ως προς τη διαδρομή B πράγμα που σημαίνει ότι η διαδρομή A είναι γενικότερα «δυσκολότερη» της διαδρομής B.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Συμπεράσματα

Από την περιγραφική στατιστική του υποβρύχιου δικτύου ΜΤ προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- ✓ Η διερεύνηση κόστους-αποτελεσματικότητας του υποβρύχιου δικτύου είναι πολύ σημαντική υπόθεση καθόσον ο μέσος χρόνος παραμονής της ζεύξης εκτός λειτουργίας κυμαίνεται στις 46 μέρες/βλάβη, φτάνοντας ακόμη και τις 329 μέρες, ενώ το μέσο κόστος αποκατάστασης τιμάται στα 46.000 ευρώ, φτάνοντας κατά περίπτωση και το ποσό των 246.000 ευρώ. Στις παραπάνω τιμές πρέπει να συνυπολογιστεί η παράμετρος του κοινωνικού κόστους από τις επιπτώσεις της διακοπής ηλεκτροδότησης λόγω της μη διαθεσιμότητας της βεβλαμμένης γραμμής σε συνδιασμό με το κόστος υποστήριξης με εναλλακτικούς τρόπους της ηλεκτροδότησης της περιοχής.
- ✓ Από τη μελέτη των στοιχείων προέκυψε ότι για όλες τις περιοχές ανά την Ελλάδα πλην αυτής του Ιονίου πελάγους οι προσκληθείσες βλάβες είναι σε αναλογία με το μήκος των Υ/Β καλωδίων.
- ✓ Μετά από έλεγχο της βάσης δεδομένων για τις βλάβες παρατηρήθηκε ότι σε σύνολο 44 βλαβών οι 30 (ποσοστό 68.18%) σχετίζονται με αγωγό Cu και μόνο οι 14(ποσοστό 31.82%) σχετίζονται με αγωγό Al.
- ✓ Από τον έλεγχο συσχέτισης είδους μόνωσης και βλαβών προκύπτει ότι η μόνωση XLPE μάλλον υπερτερεί έναντι αυτής του χαρτιού, είναι όμως σημαντικό εδώ να επισημανθεί ότι η μόνωση XLPE εφαρμόζεται στα καλώδια από το 2000 και ως εκ τούτου έχει πολύ μικρή σχετικά με τη μόνωση χαρτιού περίοδο λειτουργίας.
- ✓ Αν και αρχικά παρατηρείται διπλάσιος αριθμός βλαβών σε καλώδια Cu έναντι αυτών του Al (62 έναντι 31) στην πραγματικότητα η διαφορά αμβλύνεται όταν μελετάμε τις βλάβες/χιλιόμετρο. (9.84βλάβες/χλμ έναντι 6.71βλάβες/χλμ)
- ✓ Μετά από έλεγχο της βάσης δεδομένων για τις βλάβες παρατηρήθηκε ότι την περίοδο 2004 υπήρξε έντονη αύξηση βλαβών ενδεχομένως λόγω των αυξημένων απαιτήσεως στα πλαίσια διεξαγωγής των Ολυμπιακών αγώνων 2004.
- ✓ Από την μελέτη των βλαβών ως προς την παράμετρο του βάθους στο οποίο συνέβησαν παρατηρείται ότι οι βλάβες ακολουθούν μια εκθετική κατανομή, όπου οι βλάβες είναι πολλές πλησίον των σημείων προσαιγιάλωσης και μικραίνουν όσο βαθαίνουν τα νερά. Αυτό είναι τρόπον τινά αναμενόμενο αφού όσο μεγαλώνουν τα βάθη γίνεται απαγορευτική τόσο η αγκυροβολία των πλοίων όσο και η χρησιμοποίηση μέσων αλιείας.
- ✓ Από τη επεξεργασία των δεδομένων προέκυψε ότι οι βλάβες λόγω ανθρώπινης δραστηριότητας είναι σε ένα ποσοστό 63.4% έναντι των υπολοίπων που συνολικά δεν ξεπερνούν το ποσοστό των 35.5%.(βλάβη λόγω φυσικής επικινδυνότητας 22.6%, βλάβη λόγω αστοχίας υλικού 12.9%)

- ✓ Από τη επεξεργασία των δεδομένων προκύπτει ότι ο αριθμός βλαβών μειώνεται εκθετικά όσο απομακρυνόμαστε από την ακτή οπότε και μικραίνει το ποσοστό των βλαβών.
- ✓ Παρατηρείται ότι στον αμμώδη βυθό προκύπτει μεγάλη συχνότητα τραυματισμών έναντι των υπολοίπων ειδών βυθού. Παρατηρούμε επίσης ότι στον αμμώδη βυθό οι βλάβες οφείλονται ως επί το πλείστον στην ανθρώπινη δραστηριότητα 72% (άγκυρα+τράτα).
- ✓ Είναι προφανές ότι η προστασία του καλωδίου παίζει καθοριστικό ρόλο στην αποφυγή βλαβών. Το εντελώς απροστάτευτο εν αποθέσει καλώδιο είναι έρμαιο κάθε παράγοντα επικινδυνότητας που δύναται να του προκαλέσει βλάβη

Από την εφαρμογή του στατιστικού μοντέλου στο κεφ.7 προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Η εφαρμογή του μοντέλου δίνει μέτρια αποτελέσματα σε περίπτωση εφαρμογής της σε καλώδια μήκους κάτω του χιλιομέτρου, ενώ αυξανόμενου του μήκους αυξάνει και η ποιότητα των αποτελεσμάτων σχετικά με την ανάλυση της αξιοπιστίας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα διαστήματα που ελήφθησαν είναι τμήματα των 250 μέτρων με αποτέλεσμα η απεικόνιση της ανάλυσης για ένα καλώδιο 500 μέτρων να δίνει πολύ συγκεχυμένη εικόνα σχετικά με την αξιοπιστία του καλωδίου. Αντιθέτως σε μεγάλα μήκη καλωδίου η απεικόνιση της αξιοπιστίας δίνει πολύ καλύτερη εικόνα αφού οι τιμές που παίρνει το στατιστικό μοντέλο είναι πολύ περισσότερες. Παρ'ολ'αυτά και για μικρά μήκη καλωδίου θα μπορούσαμε να προσεγγίσουμε πιο αξιόπιστα αποτελέσματα αν τα τμήματα που χωρίζουμε το καλώδιο γίνουν ανάλογα του συνολικού μήκους. Αυτό σημαίνει ότι σε καλώδιο 500 μέτρων θα μπορούσαμε να πάρουμε τμήματα των 50 αντί των 250 μέτρων.
- Στην περίπτωση της παραμέτρου του βάθους D του καλωδίου γίνεται η παραδοχή ότι το βάθος μεταξύ του διαστήματος των 250 μέτρων δεν μεταβάλλεται περισσότερο από 10 μέτρα. Αυτό σημαίνει ότι για βυθούς με κλίση >4% πρέπει να γίνεται προσεκτικά η επιλογή του μέσου βάθους που λαμβάνεται κατά την κατασκευή του μοντέλου.
- Το στατιστικό μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά τη μελέτη αξιοπιστίας υποβρύχιων καλωδίων MT αφενός για τον προσδιορισμό των κρίσιμων αλλά και ασφαλών περιοχών κατά μήκος μιας υπάρχουσας διαδρομής ενός καλωδίου ισχύος και αφετέρου κατά την προμελέτη για την πόντιση ενός υποβρύχιου καλωδίου για την επιλογή της βέλτιστης διαδρομής. Αφού δηλ. καταγραφούν οι πιθανές επιλογές διαδρομές πόντισης του καλωδίου, με χρήση του μαθηματικού μοντέλου γίνεται έλεγχος αξιοπιστίας κάθε διαδρομής και από το αποτέλεσμα αυτής επιλέγεται η πλέον κατάλληλη διαδρομή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

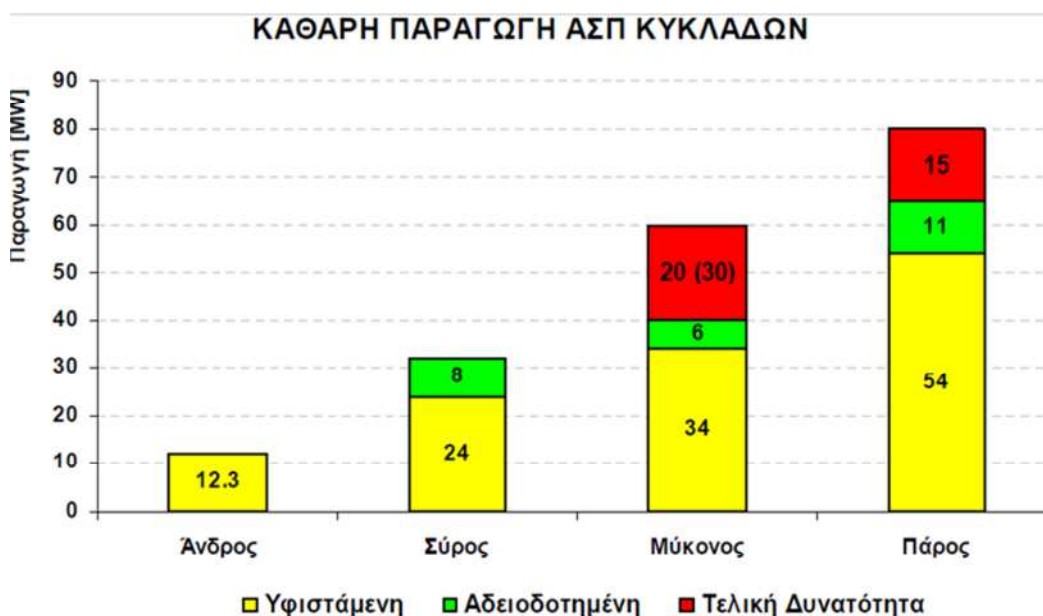
Προοπτικές αξιοποίησης Υποβρύχιου δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα

Από την δεκαετία του '60 που άρχισαν να διαφαίνονται τα οφέλη της ηλεκτρικής διασύνδεσης των Ελληνικών νήσων με την ηπειρωτική χώρα υπήρξε μια συστηματική προσπάθεια προς την κατεύθυνση αυτή που συνεχίζεται μέχρι τις μέρες μας με δυναμικές εξελίξεις.

Μέχρι σήμερα έχουν διασυνδεθεί ηλεκτρικά υπό Υ.Τ. όλα τα Ιόνια νησιά ενώ από τα νησιά του Αιγαίου έχει συνδεθεί ηλεκτρικά υπό Υ.Τ. η Άνδρος ενώ υπό Μ.Τ. έχουν συνδεθεί αρκετά νησιά πλησίον των ακτών (Σποράδες, Θάσος, Σαμοθράκη, Κύθηρα κ.α.). Τέλος, αρκετά νησιά του Αιγαίου έχουν διασυνδεθεί μεταξύ τους υπό Μ.Τ.

Ο αρχικός σχεδιασμός της διασύνδεσης των Κυκλάδων νήσων άρχισε να μελετάται στα μέσα της δεκαετίας του '80 και προέβλεπε τη διασύνδεση των νήσων (Άνδρος, Τήνος, Σύρος και Μύκονος) μέσω της γραμμής Υ.Τ. 150kV που ξεκινά από το Αλιβέρι και τροφοδοτεί τη νότια Εύβοια. Η υλοποίηση της διασύνδεσης ξεκίνησε (πόντιση υποβρύχιων καλωδίων 150kV μεταξύ Εύβοιας-Άνδρου και Άνδρου-Τήνου, καθώς και υποβρύχιων καλωδίων 66kV μεταξύ Τήνου-Σύρου και Τήνου-Μυκόνου) αλλά δεν ολοκληρώθηκε εξαιτίας των γενικευμένων αντιδράσεων σε τοπικό επίπεδο που κατέληξαν σε προσφυγές στο Συμβούλιο Επικρατείας για την εγκατάσταση έργων Υψηλής Τάσης (Υ.Τ.) στα νησιά των Κυκλάδων.

Η μεγάλη τουριστική ανάπτυξη των νήσων σε συνδιασμό με ολοένα και αυξανόμενες απαιτήσεις σε ηλεκτρική ενέργεια επανέφερε το πρόβλημα της ηλεκτρικής διασύνδεσης των Κυκλάδων μέσω της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας (ΡΑΕ) η οποία πρότεινε τη γενικότερη επανεξέταση του προβλήματος.

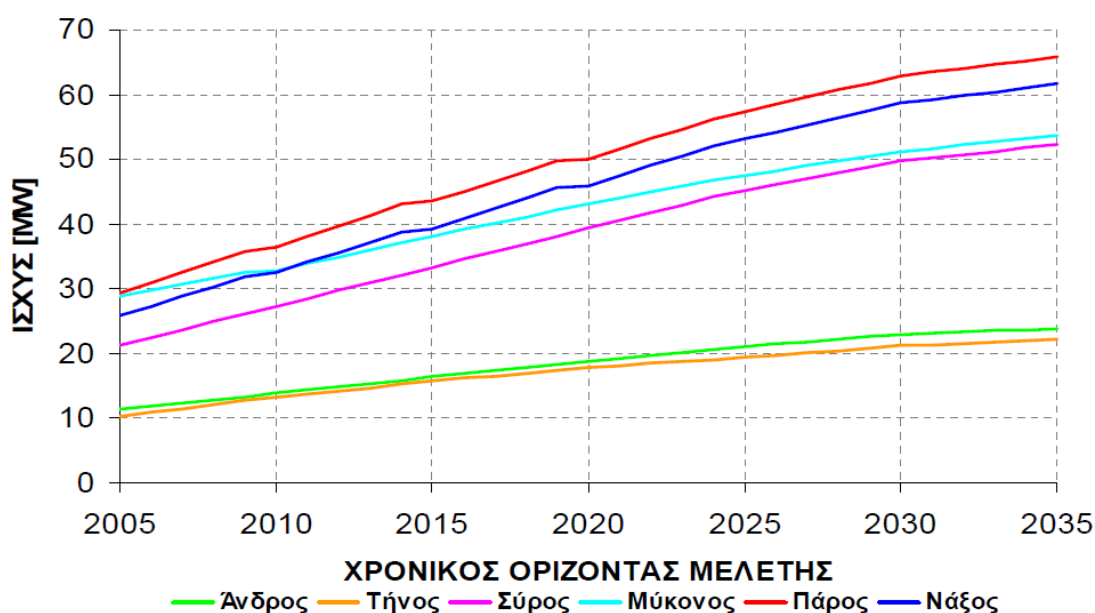


Σχήμα. 8.1: Δυνατότητες παραγωγής των ΑΣΠ Άνδρου, Σύρου, Μυκόνου και Πάρου το έτος 2005

Το 2004 έγινε σύσταση αρμόδιας Επιτροπής αποτελούμενης από εκπροσώπους του ΔΕΣΜΗΕ, της ΔΕΗ και της ΡΑΕ, με αντικείμενο την επανεξέταση του προβλήματος της ηλεκτρικής διασύνδεσης των νήσων .

Πιο συγκεκριμένα η επιτροπή κλήθηκε να *εξετάσει προτεινόμενες λύσεις για τη Διασύνδεση των Νησιών των Κυκλάδων Άνδρου, Τήνου, Μυκόνου, Πάρου και Νάξου με το Εθνικό Διασυνδεδεμένο Σύστημα και να υποβάλει τελικές προτάσεις για την υλοποίηση του έργου.*

Το 2005 και μετά την ολοκλήρωση της διερεύνησης από την Επιτροπή και αφού ελήφθησαν υπόψη όλες οι σύγχρονες εξελίξεις στο πεδίο των Υ/Β καλωδίων καθώς και τεχνοοικονομικές μελέτες σε βάθος τριαντακονταετίας, προτάθηκαν τρεις εναλλακτικές λύσεις για την ηλεκτρική διασύνδεση των νήσων με την ηπειρωτική χώρα. Οι εν λόγω λύσεις αποσκοπούν στη πλήρη κάλυψη των αναγκών των νήσων στα επόμενα τριάντα τουλάχιστον χρόνια επιτρέποντας επίσης την ανάπτυξη εναλλακτικών μορφών ενέργειας (αιολική) στα νησιά και τη διασύνδεση της Μήλου για την αξιοποίηση του γεωθερμικού της δυναμικού ενώ διαφέρουν κατ' ουσία στη εγκατάσταση ή μη έργων Υ.Τ. επί της Τήνου και το βαθμό εκμετάλλευσης των υφιστάμενων έργων (καλώδιο 150kV Άνδρου-Τήνου και καλώδια 66kV Τήνου-Σύρου και Σύρου Μυκόνου).

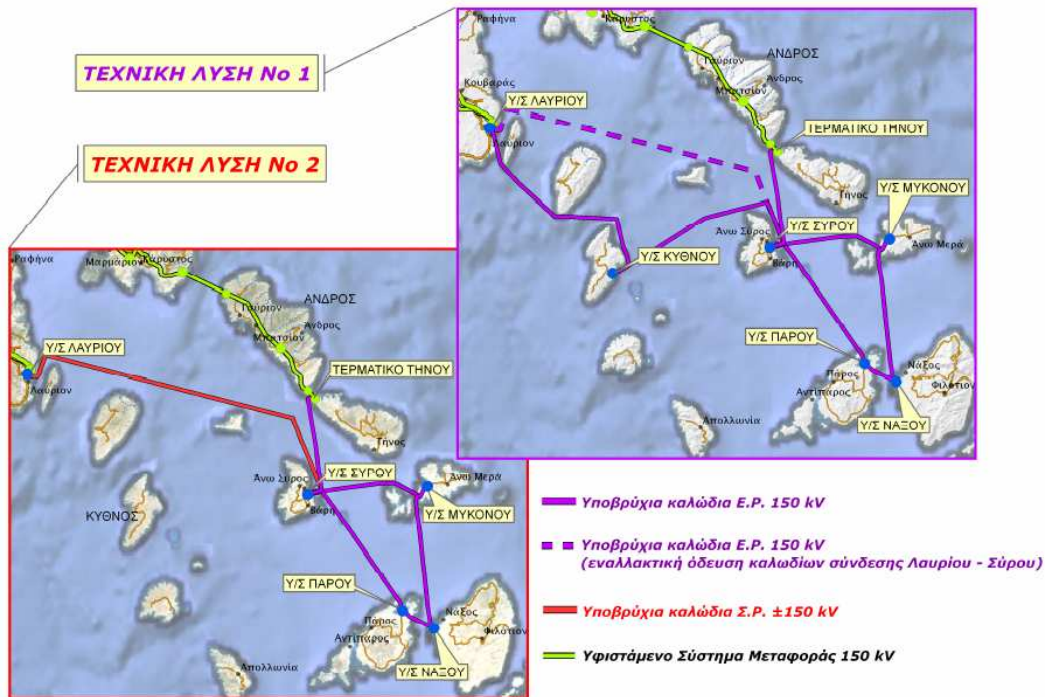


Σχήμα 8.2: Πρόβλεψη μέγιστης ζήτησης σε ηλ. φορτία από το 2005 -2035

Η επικείμενη διασύνδεση των Κυκλάδων είναι μία από τις μεγαλύτερες στο είδος τους διεθνώς, όσον αφορά το πλήθος των διασυνδεδεμένων νησιών, το πλήθος, το μήκος, το βάθος πόντισης και την απαιτούμενη ισχύ των καλωδίων διασύνδεσης, τις εφαρμοζόμενες τεχνολογίες (παρόμοια είναι το «Cometa» στη Μαγιόρκα, το «Norped» στη Νορβηγία και το «Sapei» στη Σαρδηνία).

Από τις τρεις προτεινόμενες λύσεις του 2005 η διακύρηξη έργου για την διασύνδεση των Κυκλάδων νήσων με την ηπειρωτική χώρα το 2011 εμπεριείχε τις δύο τεχνοοικονομικά συμφερότερες. Πρόκειται για δύο εναλλακτικές λύσεις, διαφορετικής τεχνολογίας μεταξύ τους, που χρησιμοποιούν καλώδια, είτε συνεχούς, είτε εναλλασσόμενου ρεύματος. Τα καλώδια που θα χρησιμοποιηθούν αναλόγως της λύσης θα είναι είτε πλήρωσης ελαίου, είτε πλαστικής μόνωσης X-LPE. Ειδικά στη περίπτωση του καλωδίου εναλλασσόμενου ρεύματος, στη διασύνδεση θα ενταχθεί και το νησί της Κύθνου, γεγονός που δεν ισχύει στη λύση για το καλώδιο συνεχούς ρεύματος. Το καλώδιο θα ποντισθεί στο Λαύριο, όπου και ο σταθμός

ηλεκτροπαραγωγής της ΔΕΗ, και οι διασυνδέσεις θα κλείσουν με ένα βρόχο, έτσι ώστε να συμπεριλάβουν τα νησιά Τήνος και Άνδρος, που είναι ήδη συνδεδεμένα μέσω της Καρύστου.



Σχήμα 8.3 :Τεχνικές λύσεις διασύνδεσης νήσων με ηπειρωτικό δίκτυο βάσει διακήρυξης ΔΕΗ ΥΠΜ - 40908

Το έργο προυπολογισμού άνω των 400 εκ. ευρώ διεκδικούν δύο κοινοπραξίες, όπου συμμετέχουν κάποια από τα πιο γνωστά ονόματα του χώρου παγκοσμίως. Η γερμανό- γάλλο- ιταλική κοινοπραξία SIEMENS- NEXANS- PRYSMIAN και τη γάλλο- ελληνική ALSTOM- ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΚΑΛΩΔΙΑ κατέθεσαν τεχνικές προσφορές στο διαγωνισμό της ΔΕΗ.

Το καλοκαίρι 2012 αναμένεται να ανακηρυχθεί ο ανάδοχος του έργου ενώ αναμένεται να ολοκληρωθεί στο τέλος του 2015 ή στις αρχές του 2016 οπότε και θα καταργηθεί η χρήση των υφιστάμενων ενεργοβόρων παλαιών πετρελαικών αυτόνομων μονάδων της ΔΕΗ σε Σύρο, Μύκονο, Πάρο και Κύθνο, ανοίγοντας παράλληλα παράθυρο πραγματική αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών τους (ΑΠΕ).

Βιβλιογραφία

1. Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις καταναλωτών, Π. Ντοκόπουλος, 2005, εκδ. ΖΗΤΗ
2. T.Worzyk (2009) Submarine Power Cables.Design Aspects, Springer, Ch.2 Submarine Power Cables and Their Design.
3. Υποβρύχια Καλώδια διανομής (1986) ΔΜΚΔ/ΤΜΣΑ Στοιχεία Υποβρυχίων Καλωδίων Μ.Τ.
4. Furugen M et al. (2002).Completion of Submarine Cable Lines Combining Low Enviromental Impact with Low Cost, Furukawa Review, No 21, pp.44-49
5. Li Y (2001).Corrosion Behaviour of Hot Dip Zinc and Zinc-Aluminium Coatings on Steel in Seawater, Bulletin Material Science Vol.24, No4, pp.355-360
6. Henriksson S(1980).Properties of Material in Sea Water –a Survey of Metallic Materials.Swedish Corrosion Institute, Reg.No 1980:4 1980-06-03
7. Bascom E C et al.(1998).Construction Features and Enviromental Factors Influencing Corrosion of a Self-Contained Fluid-Filled Submarine Cable Circuit in Long Island Sound , IEEE Transactions On Power Delivery, Vol.13, No.3, July 1998 , pp.677-682
8. The CIGRE Paper (1986). Methods to Prevent Mechanical Damage to Submarine Cables presented by Cigre Working Group 21 as Session Paper 21-12 at 1986 Cigre Session, Paris , France
9. http://www.containerhandbuch.de/chb_e/stra/stra_02_03_03.html, inEnglish
10. T.Worzyk (2009) Submarine Power Cables.Design Aspects, Springer, Ch.3 Desidn of mechanical Properties.
11. Cigre WG 21.02 (1997). Recommendations for Mechanical Test on Sub-Marine Cables, Electra No.171 April 1997
12. T.Worzyk (2009) Submarine Power Cables.Design Aspects, Springer, Ch.3 Desidn of mechanical Properties.Table 3.9 pg.83
13. Recommendations for Test of Power Transmission dc Cables for Rated Voltages up to 800kV , Electra No.189, April 2000, pp.39ff
14. Recommendations for Testing of Long ac Cables with Extruded Insulation for System Voltage above 30 to 150kV , Electra No.189, April 2000, pp.29ff
15. Cigre publication of Working group 21.01 (2003). Recommendations for Testing DC Extruded Cable Systems for Power Transmission at a Rate Voltage up to 250kV , Cigre Technical Brochure 219, February 2003, Paris, France.
16. T.Worzyk (2009) Submarine Power Cables, Springer, Ch.2 Manufacturing and Testing Tb.5.2 Pg138
17. Ross R et al.(1998).Application of Polyethylene Steath and Swelling Power Against Water Treeing.IEEE International Conferences on Conduction and Breakdown in Solid Dielectrics , June 22-25, 1998, Vasteras, Sweden
18. Electrical Power Cable Engineering, Williarn A. Thue, New York, 1999
19. Hitachi Cable Review No.19 (August 2000), Installation of 500-kV DC Submarine Cable Line in Japan, Yutaka Nakanishi, Koichiro Fujii, Takuya, Miyazaki, Miyafumi, Midorikawa, , Mitsumasa Shimada, Makoto Suizu,
20. Hvdc Transmission Cable Systems State Of The Art And Future Trends, Ernesto Zaccone, Prysmian Powerlink, Italy, Spring 2009 ICC Meeting Subcommittee C – Cable Systems, 17-20 May, 2009 Orlando, USA
21. Subsea Power Cables, www.abb.com/cables

22. Submarine Power Cables, www.nexans.de
23. Threats to Submarine Cables, Seymour Shapiro, Jam esGMurray, Robert F Gleason, Stuart R Barnes*, Brian A Eales*, Paul R Woodward*AT&T SS1, Holmdel, USA *Alcatel Submarine Networks, London, UK
24. Διάλεξη του Δημητρίου Μπουσδέκη, Γενικού Διευθυντή Μεταφοράς ΔΕΗ με θέμα «Διασύνδεση Κυκλάδων με το Ηπειρωτικό Σύστημα Μεταφοράς Ενέργειας»
25. Underlying treory of Computational Catenary Calculation Program (CCCP) v.1, 0 ©2005
26. Fishing And Submarine Cables Working Together, By Stephen C. Drew and Alan G. Hopper, 2009
27. PPA 15th Pacific Power Association Conference 24-26 July 2006, July 2006 1 of 15, Long Term Sustainability Of Cables David E. Griffiths, Olex New Zealand Limited
28. Έρευνα σύνταξης τεχνικών προδιαγραφών για την ασφαλή ηλεκτρική διασύνδεση με υποβρύχια καλώδια των Κυκλάδων νήσων, Εργαστήριο Θαλάσσιας Γεωλογίας & Φυσικής Ωκεανογραφίας Τμήμα Γεωλογίας – Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα 2006
29. Cable Risk Assessment, Dr. Claus F. Christensen 22. March 2006, DNV
30. Προδιαγραφή ΔΕΗ GR-214
31. Προσφορά για τη Διακύρση Δημοπρασίας ΔΔ-164, Ελληνική Εταιρεία Ηλεκτρικών Καλωδίων, Fulgor
32. Reliability Analysis Of Submarine Power Cables And Determination Of External Mechanical Protection, Masatoshi Nakamura, Nishantha Nanayakkara, Hironori Hatazaki, Kouhei Tsuji, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.2, April 1992
33. Προδιαγραφή ΔΕΗ ΤΠ – 195
34. SPSS Survival Manual , Julie Pallant 2001
35. Θαλάσσιες Γεωλογικές και Ανθρωπογενείς Επικινδυνότητες και η Επίδρασή τους στην Πόντιση Αγωγών και Καλωδίων, Δρ Γ. Παπαγεωργίου, Θ. Χασιώτης, Δρ Γ.Φερεντίνος, Ι. Βογιατζάκης, ΠΑΤΡΑ 1995
36. Διακήρυξη Δημοπρασίας με Αριθμό ΔΔ-164 για την ανάδειξη Αναδόχου κατασκευής του έργου Προμήθεια και Πόντιση ΥΒ Καλωδίων Τάσεως 20kV με Μόνωση από X-LPE στη Διασύνδεση «Κάλυμνος-Κως», ΔΕΗ, 2006
37. Power Interconnection Kos-Kalymnos Installation Work, Assodivers, 2006
38. Raycap, Τμήμα Ενεργειακού Υλικού, Οδηγία Εγκατάστασης Ε043-7/99, Σύνδεση Καλωδίου XLPE 3LC/SWA σε Καλώδιο ΗΝ 33S23 24kV, ΡΕΗΚΑΠ Α.Ε.
39. Περιγραφή Κατασκευής Εύκαμπτου Συνδέσμου Υ/Β Καλωδίου 3x95mm² 20kV Cu XLPE, FULGOR, Ελληνική Εταιρία Ηλεκτρικών Καλωδίων ΑΕ
40. Τεχνική Έκθεση, Αλκατέλ Καλώδια Ελλάς ΑΕ, FULGOR Ελληνική Εταιρία Ηλεκτρικών Καλωδίων ΑΕ.
41. Οδηγός Ανάλυσης Δεδομένων με τη Χρήση SPSS, Οικονομικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Στατιστικής, Πραμαγγιούλης Παναγιώτης, Ιούλιος 2008
42. Αξιοπιστία και Ασφάλεια Θαλασσιών Συστημάτων: Θεωρία και Εφαρμογές, Αναστ. Ν. Περάκη, 1989
43. About Submarine Telecommunications Cables, Communicating via the ocean, International Cable Protection Committee Ltd
44. United States Patent, Process for laying a submarine cable, 1983

45. Hydrographic information and the submarine cable industry, P. G. Allan, Presented at Hydro 2001 at Norwich, March 2001
46. Submarine cable awareness chart, Apollo North & Apollo South, Submarine Cable System, Edition June 2008.
47. Geotechnical aspects of submarine cables, P. G. Allan, Presented at subsea Geotechnics, Aberdeen, November 1998.
48. Long Term Sustainability Of Cables, David E. Griffiths Olex New Zealand Limited PPA 15th Pacific Power Association Conference 24-26 July 2006
49. Θαλάσσιες Γεωφυσικές Εργασίες στο Δίαυλο Σπετσών – Σπετσοπούλας, Τεχνική Έκθεση, Akti Engineering, Marine and Land Surveying Services, 2008
50. Βοηθητικές Θαλάσσιες Γεωφυσικές Εργασίες στον Δίαυλο Κοιλιάδας – Κορωνίδας, Τεχνική Έκθεση, Geotech, 2009
51. Technical Mechanics, Statics and Dynamics, Edward R. Maurer, Third Edition, New York, 1914
52. Basic Statistics by Allan Mense
53. Θαλάσσιες Γεωφυσικές Εργασίες στο Δίαυλο Αίγινας-Μεθάνων, Τεχνική Έκθεση, Akti Engineering, Marine and Land Surveying Services, 2008
54. International Standard IEC 60228/2004
55. Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού Α.Ε., Διακήρυξη ΔΥΠΜ- 40908, Για το έργο :«Σύνδεση των κυκλάδων με το ηπειρωτικό διασυνδεδεμένο σύστημα μεταφοράς», 2011
56. Ομάδα Εργασίας για τη Διασύνδεση των Κυκλάδων – Τελική Έκθεση, Μάιος 2005
57. <http://deitzis.blogspot.com/>