

Α.Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

**“ΜΙΑ ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΤΗΣ
ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΑ ΚΑΛΩΔΙΑ
ΥΨΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ ΜΕ ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΗ ΟΠΤΙΚΗ ΪΝΑ”**



Επιβλέπων Καθηγητής:
Σπουδαστής:

Κ Στ ΨΩΜΟΠΟΥΛΟΣ
ΒΑΡΣΟΣ ΗΛΙΑΣ

ΑΜ:

37882

Αιγάλεω

Μάιος - 2013

Copyright © Α. Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για όλη την βοήθεια που μου προσέφερε όλα τα χρόνια των σπουδών μου .

Και φυσικά να εκφράσω θερμές ευχαριστίες στον επιβλέποντα αυτής της πτυχιακής εργασίας, Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Κ.Σ. Ψωμόπουλο, για την πάντα θετική διάθεση και αν(τ)οχή με την οποία με αντιμετώπισε καθ όλη τη διάρκεια της συνεργασίας μας και την πολύτιμη καθοδήγηση που μου προσέφερε.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες	i
Περιεχόμενα	ii
Λίστα Σχημάτων	iv
Λίστα Πινάκων	v
Λίστα Διαγραμμάτων	vi
Summary	ix
Πρόλογος	1
1^ο Κεφάλαιο “Θερμότητα & Βασικά μεγέθη”	1
1.1 Θερμότητα	1
1.2 Τρόποι μετάδοσης	1
1.2.1 Αγωγή	2
1.2.2 Συναγωγή	2
1.2.3 Ακτινοβολία	3
1.3 Θερμικά μεγέθη	4
1.3.1 Θερμική αντίσταση	4
1.3.2 Θερμοχωρητικότητα	4
1.3.3 Thermal Time Constant τ (sec) «Θερμική σταθερά χρόνου»	5
2^ο Κεφάλαιο “Θέρμικες Απώλειες”	6
2.1 Θερμικές Απώλειες	6
2.1.1 θερμοκρασία υπερθέρμανσης-πλήρως θέρμανσης	7
2.1.2 Θερμική χρονική σταθερά (ειδικότερα)	7
2.2 Θερμική αντοχή αγωγών	8
2.2.1 Χρόνος μέγιστης φόρτισης	8
2.3 Κατανομή θερμότητας στον κύλινδρο	8
3^ο Κεφάλαιο “Καλωδια & Οπτική ίνα”	10
3.1 Εισαγωγή και γενικά στοιχεία	10
3.2 Κατασκευαστικά στοιχεία των καλωδίων	11
3.2.1 Αγωγοί Καλωδίων	11
3.2.2 Μόνωση	12
3.2.2.1 Μόνωση PEX-XLPE	13
3.2.3 Αντίσταση καλωδίου	13
3.2.4 Ψύξη και φόρτιση των καλωδίων	15
3.3 Οπτική Ίνα	16
3.3.1 Παραγωγή οπτικών ινών	16
3.3.2 Βασική αρχή λειτουργίας	17
4^ο Κεφάλαιο “Μελετη & Υπολογισμοί”	18
4.1 Εισαγωγή – επεξήγηση	18
4.1.1 Διαδικασία επίλυσης	18
4.1.2 Υπολογισμός αναπτυσσόμενης θερμότητας	20
4.2 Μετρήσεις & Γραφικές απεικονίσεις	22
4.2.1 Αγωγός τάσης 500 / 290 kV με μόνωση XLPE	22
4.2.2 Αγωγός τάσης 400 / 230 kV με μόνωση XLPE	31
4.2.3 Αγωγός τάσης 345 / 200 kV με μόνωση XLPE	40
4.2.4 Αγωγός τάσης 220 / 127 kV με μόνωση XLPE	49
4.2.5 Αγωγός τάσης 132 / 76 kV με μόνωση XLPE	58
5^ο Κεφάλαιο “Συμπεράσματα”	67
5.1 Σκοπός της εργασίας	67

5.2	Συμπεράσματα.....	67
	Βιβλιογραφία.....	68
	Παράρτημα Ι.....	a
	Παράρτημα ΙΙ.....	I

ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1 Φάσμα ακτινοβολίας μέλανος σώματος.....	3
Σχήμα 2.1 Αναπτυσσόμενη και Απαγόμενη θερμοκρασία	6
Σχήμα 2.2 Διατομή κυλινδρικού αγωγού	9
Σχήμα 3.1 Καλώδιο υψηλής τάσης 110 ~ 220KV XLPE.....	10
Σχήμα 3.2 Κατανομή υψίσυχνου ρεύματος σε αγωγούς. α) SKIN EFFECT (επιδερμικό φαινόμενο, β)PROXIMITY EFFECT (φαινόμενο προσέγγισης) δύο παράλληλων αγωγών .	14
Σχήμα 3.3 Βασική αρχή λειτουργίας οπτικής ίνας.....	17
Σχήμα 4.1 Παράδειγμα υπολογιστικού φύλλου Microsoft excel - επεξήγηση μεταβλητών.....	21

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1 Θερμική αντοχή μονωτικών υλικών.....	8
Πίνακας 4.1 Χαρακτηριστικά αγωγού τάσης 500 / 290 kV με μόνωση XLPE	22
Πίνακας 4.2 Υπολογισμός αναπτυσσόμενης θερμότητας αγωγού τάσης 500 / 290 kV για διατομή 2000mm ²	22
Πίνακας 4.3 Υπολογισμός αναπτυσσόμενης θερμότητας αγωγού τάσης 500 / 290 kV για διατομή 1600mm ²	27
Πίνακας 4.4 Χαρακτηριστικά αγωγού τάσης 400 / 230 kV με μόνωση XLPE	31
Πίνακας 4.5 Υπολογισμός αναπτυσσόμενης θερμότητας αγωγού τάσης 400 / 230 kV για διατομή 1400mm ²	31
Πίνακας 4.6 Υπολογισμός αναπτυσσόμενης θερμότητας αγωγού τάσης 400 / 230 kV για διατομή 1200mm ²	36
Πίνακας 4.7 Χαρακτηριστικά αγωγού τάσης 345 / 200 kV με μόνωση XLPE	40
Πίνακας 4.8 Υπολογισμός αναπτυσσόμενης θερμότητας αγωγού τάσης 345 / 200 kV για διατομή 1000mm ²	40
Πίνακας 4.9 Υπολογισμός αναπτυσσόμενης θερμότητας για διατομή 800mm ²	45
Πίνακας 4.10 Χαρακτηριστικά αγωγού τάσης 220 / 127 kV με μόνωση XLPE.....	49
Πίνακας 4.11 Υπολογισμός αναπτυσσόμενης θερμότητας αγωγού τάσης 220 / 127 kV για διατομή 630mm ²	49
Πίνακας 4.12 Υπολογισμός αναπτυσσόμενης θερμότητας για διατομή 500mm ²	54
Πίνακας 4.13 Χαρακτηριστικά αγωγού τάσης 132 / 76 kV με μόνωση XLPE.....	58
Πίνακας 4.14 Υπολογισμός αναπτυσσόμενης θερμότητας αγωγού τάσης 132 / 76 kV για διατομή 400mm ²	58
Πίνακας 4.15 Υπολογισμός αναπτυσσόμενης θερμότητας για διατομή 300mm ²	63

SUMMARY

This thesis investigates the temperature distribution along the section of high voltage cables insulation. The aim of the thesis is to use the theoretical calculations to evaluate temperature by an observer DTS with a view to timely and accurate fault diagnosis.

The basic parameters such as current through conductors, insulation material ,environmental temperature that are used to calculate the temperature distribution are user-defined and always in accordance with the manufacturer's specifications, thus with the use of a software even as simple as Microsoft Excel calculations for different conditions and conductors can be executed.

In addition to the calculation of the temperature distribution, the position of the optical fiber thus is critical, can determine the temperature distribution and consequently the fault.

In the context of this work, some general information on the heat transmission, conductors and optical fibers are presented to support the general understanding of the subject.

Keywords: High Voltage cables with fiber optics, heat losses, fiber optics sensor, temperature distribution.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματεύεται την ανάπτυξη θερμότητας σε υπόγειο αγωγό υψηλής τάσης. Ο σκοπός έχει την σύγκριση των θεωρητικών υπολογισμών αυτών με την μετρίσιμη θερμοκρασία μέσω ενός συστήματος DTS με απώτερο στόχο την έγκαιρη και έγκυρη διάγνωση βλαβών.

Οι βασικές παράμετροι όπως θερμοκρασία περιβάλλοντος και αγωγού η οποίες χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της αναπτυσσόμενης θερμοκρασίας ορίζονται από το χρήστη και πάντα σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα μέσω του προγράμματος Microsoft Excel να μπορεί να γίνει πρόβλεψη για διαφορετικές συνθήκες αλλά και αγωγούς.

Επιπρόσθετος στον υπολογισμό της αναπτυσσόμενης θερμότητας λαμβάνετε υπόψη η θέση της οπτικής ίνας δίνοντας έτσι την δυνατότητα για την δημιουργία γραφικών παραστάσεων που αντικατοπτρίζουν την κατανομή θερμότητας.

Στο πλαίσιο της εργασίας αυτής παρουσιάζονται κάποια γενικά στοιχεία για την θερμότητα και την μετάδοση της, τους αγωγούς αλλά και τις οπτικές ίνες .

Λέξεις κλειδιά: αισθητήρας θερμοκρασίας, οπτική ίνα, απώλειες θερμότητας, καλώδια υψηλής τάσης, καλώδια YT με οπτικές ίνες, κατανομή θερμοκρασίας

1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ & ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ”

1.1 Θερμότητα

Η θερμότητα είναι μια μορφή ενέργειας. Είναι η ενέργεια που μεταφέρεται από συστήματα υψηλής θερμοκρασίας σε συστήματα χαμηλής θερμοκρασίας μόνο και μόνο από τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο αυτών συστημάτων. Γι' αυτό το λόγο αν δύο συστήματα είναι στην ίδια θερμοκρασία δεν μεταφέρεται 'θερμότητα'

1.2 Τρόποι μετάδοσης

Η μετάδοση θερμότητας οφείλεται στην διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ δύο σωμάτων ή σημείων και μεταφέρεται ως μια μορφή ενέργειας μεταξύ των σωμάτων του συστήματος.

Οι βασικές αρχές της μετάδοσης αυτής αφορούν τους τρόπους με τους οποίους μεταφέρεται η θερμότητα και μαζί με την θερμοδυναμική η οποία ασχολείται με την τελική κατάσταση ενός συστήματος και την αλληλεπίδραση του με το περιβάλλον μπορεί να παρέχει όλες της απαραίτητες πληροφορίες για την μετάδοση ενέργειας του συστήματος που εξετάζεται. Οι τρόποι με τους οποίους γίνεται η μετάδοση είναι οι εξής :

- **Αγωγή:** είναι η μεταφορά θερμότητας μέσα σε μια στερεή ουσία από περιοχή υψηλής θερμοκρασίας σε περιοχή χαμηλής θερμοκρασίας, η από στερεό υψηλής θερμοκρασίας σε στερεό χαμηλής θερμοκρασίας με φυσική επαφή με αυτό.
- **Συναγωγή:** είναι η μεταφορά θερμότητας από μία στερεή επιφάνεια υψηλής θερμοκρασίας σε ρευστό χαμηλότερης θερμοκρασίας που βρίσκεται σε κίνηση, η από περιοχή υψηλής σε ένα ρευστό χαμηλής θερμοκρασίας ως αποτέλεσμα της κίνησης των ρευστών.
- **Ακτινοβολία:** είναι η μεταφορά θερμότητας από ηλεκτρομαγνητικά κύματα που προκαλείτε από διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ δύο σωμάτων σε κενό χώρο ή χώρο χαμηλής πυκνότητας (όπως ο αέρας).

1.2.1 Αγωγή

Στην **αγωγή** έχουμε μεταφορά ενέργειας από επιφάνειες ή σώματα μεγαλύτερης ενέργειας σε επιφάνειες ή σώματα χαμηλότερης ενέργειας ενός υλικού, λόγω αλληλεπιδράσεων μεταξύ τους.

Όταν δύο σώματα, ή σωματίδια, με διαφορετικές θερμοκρασίες έλθουν σε άμεση επαφή, πραγματοποιείται μετάδοση θερμότητας από το θερμότερο προς το ψυχρότερο. Η θερμοκρασία είναι μέτρο κινητικής ενέργειας της τυχαίας κίνησης των μορίων ενός σώματος. Αύξηση της θερμοκρασίας σημαίνει αύξηση της κινητικής ενέργειας. Τα μόρια περιοχής μεγάλης θερμοκρασίας συγκρούονται με τα γειτονικά τους, μικρότερης θερμοκρασίας και μεταφέρουν σε αυτά ένα μέρος της κινητικής τους ενέργειας.

Ο μηχανισμός αυτός ονομάζεται αγωγή θερμότητας. Αποτελεί το μηχανισμό μετάδοσης θερμότητας στα στερεά σώματα. Στα μέταλλα συμβάλλουν στην αγωγή θερμότητας και τα ελεύθερα ηλεκτρόνια.

Μαθηματικά η μετάδοση θερμότητας με αγωγή περιγράφεται από τον εμπειρικό νόμο του Fourier σύμφωνα με τον οποίο:

Η πυκνότητα θερμότητας q'' [W/m^2], που οφείλεται στην αγωγή θερμότητας είναι ανάλογη και αντιθέτου πρόσημου προς την κλίση μεταβολής της θερμοκρασίας.

Αν λ ο συντελεστής αναλογίας τότε:

$$q'' = -\lambda \frac{dT}{dx} \quad (1.1)$$

Όπου λ η σταθερά αναλογίας, δηλαδή ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας που έχει διαστάσεις $W / m \times K$ και είναι χαρακτηριστικό του υλικού

1.2.2 Συναγωγή

Η **συναγωγή** συμβαίνει ανάμεσα σε ένα στερεό και ένα ρευστό, και ειδικότερα όταν ένα ρευστό κινείται πάνω σε μια επιφάνεια στερεού. Δεν μπορεί να συμβεί μεταξύ δύο στερεών όπου εκεί η θερμότητα μεταδίδεται μέσω αγωγής. Όταν δύο ρευστά διαφορετικής θερμοκρασίας έρχονται σε επαφή πραγματοποιείται ανάμιξη των ουσιών ένα φαινόμενο που περιλαμβάνει και μεταφορά θερμότητας αλλά και μεταφορά μάζας.

Ο μηχανισμός της μεταφοράς της θερμότητας είναι η γρήγορη διάχυση της στο ρευστό λόγω της αυξημένης διάχυσης της ορμής του. Δηλαδή η θερμότητα αφού μεταφερθεί στο ρευστό διαχέεται σε μεγαλύτερη έκταση του ρευστού και έτσι οι θερμοκρασιακές διαφορές επιφάνειας-ρευστού μένουν αυξημένες. Η τριβή που δημιουργεί η κίνηση του ρευστού καθιστούν στην αγωγή μεγαλύτερη θερμοροπή λόγω της καλύτερης επαφής της επιφάνειας με το ρευστό. Έτσι γενικά η συναγωγή είναι ένας τρόπος μετάδοσης που περιλαμβάνει και το φαινόμενο της αγωγής και τα φαινόμενα της διάχυσης ορμής του ρευστού.

Η συναγωγή είναι εκείνος ο τρόπος μετάδοσης θερμότητας που μπορεί να μεταφέρει μεγάλες ποσότητες θερμότητας σε μικρό χρονικό διάστημα σε αντίθεση με την αγωγή και την ακτινοβολία σε μικρές θερμοκρασίες. Η συναγωγή είναι εξαιρετικά πολύπλοκο φαινόμενο. Κατά τη μοντελοποίηση της και για την εξαγωγή των εξισώσεων που δίνουν την θερμοροπή συχνά πρέπει να ληφθεί υπόψη και να επιλυθεί και το πρόβλημα ροής των ρευστών.

Η ροή θερμότητας στην συναγωγή δίνεται από την σχέση :

$$Q=h \cdot A \cdot \Delta T \quad (1.2)$$

όπου:

A: το εμβαδόν της επιφάνειας,

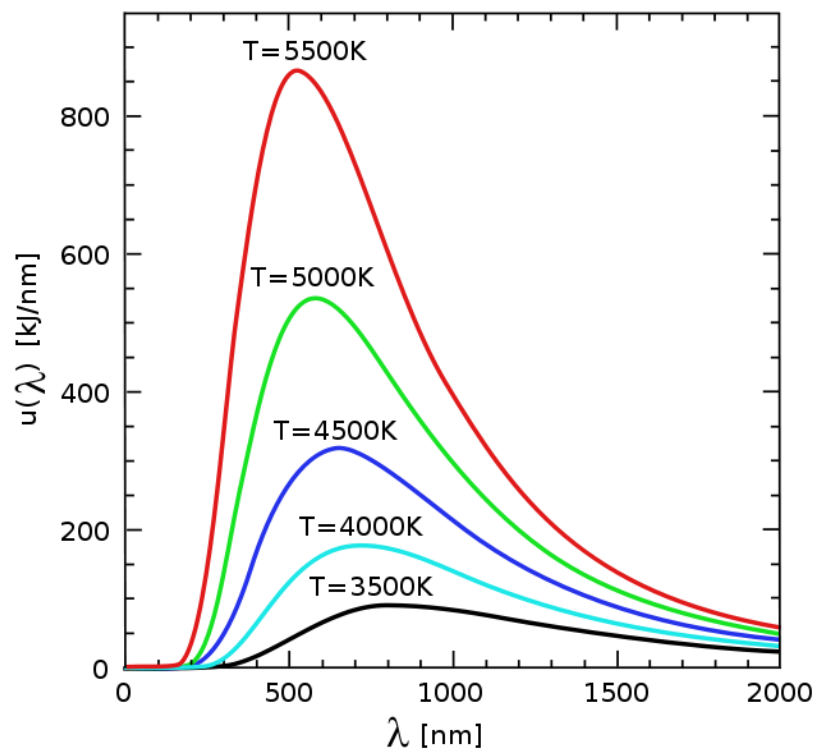
ΔT : η διαφορά θερμοκρασίας του σώματος και του ρευστού και

h: ο συντελεστής μεταφοράς.

Λόγω της πολυπλοκότητας του φαινομένου, για τον υπολογισμό της μεταφοράς θερμότητας χρησιμοποιούνται εμπειρικές σχέσεις με κατάλληλο συντελεστή μεταφοράς, ο οποίος προκύπτει από πειραματικά δεδομένα για διάφορες περιπτώσεις και διαφορετικές γεωμετρίες προβλημάτων συναγωγής. Η εύρεση του συντελεστή μεταφοράς h γίνεται με την αδιάστατη μορφή του που είναι ο αριθμός Nusselt (Nu) ο οποίος υπολογίζεται συναρτήσει των αριθμών Reynolds (Re) και Prantl (Pr).

1.2.3 Ακτινοβολία

Θερμική ακτινοβολία ονομάζεται η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται από την επιφάνεια ενός σώματος λόγω της θερμοκρασίας του. Γενικά, η θερμική ακτινοβολία που εκπέμπει ένα σώμα αντιστοιχεί σε συχνότητες ολόκληρου του φάσματος ακτινοβολίας αφού προέρχεται από τη θερμική, «τυχαία», κίνηση των συστατικών της ύλης. Μερικά παραδείγματα είναι η υπέρυθη ακτινοβολία (μη ορατή) καθώς και η ακτινοβολία που εκπέμπεται στο ορατό φάσμα.



Σχήμα 1.1 Φάσμα ακτινοβολίας μέλανος σώματος.

Γενικά όλα τα σώματα στη Φύση χάνουν ή αποκτούν θερμότητα εκπέμποντας ή απορροφώντας ακτινοβολία. Καθώς κινούνται αδιάκοπα τα σωματίδια που συγκροτούν ένα σώμα εκπέμπουν ακτινοβολίας, χάνοντας έτσι ένα μέρος της κινητικής τους ενέργειας με συνέπεια να αρχίζουν να επιβραδύνονται και έτσι τα σώματα που συγκροτούν να ψύχονται. Η ποσότητα της ενέργειας που αντιστοιχεί σε κάθε περιοχή συχνότητας εξαρτάται από τον συντελεστή εκπομπής του σώματος, ο οποίος καθορίζεται από το υλικό και την θερμοκρασία του σώματος καθώς και από την γωνία υπό την οποία γίνεται η εκπομπή ή η απορρόφηση.

Ένα ιδανικό σώμα του οποίου ο συντελεστής εκπομπής είναι σταθερός ονομάζεται φαιό σώμα ενώ αν ο συντελεστής είναι σταθερός και ίσος με την μονάδα τότε καλείται μέλαν σώμα. Όταν το μέλαν σώμα βρίσκεται σε θερμική ισορροπία η ακτινοβολία που εκπέμπει ονομάζεται "ακτινοβολία μέλανος σώματος". Η κατανομή της ενέργειας στις διάφορες συχνότητες για το μέλαν σώμα καθορίζεται από τον Νόμο του Πλανκ. Ο νόμος του Βιέν δίνει την συχνότητα της μέγιστης εκπομπής και ο νόμος των Στέφαν - Μπόλτςμαν δίνει την συνολική ενέργεια που εκπέμπεται ανά μονάδα επιφάνειας.

1.3 Θερμικά μεγέθη

1.3.1 Θερμική αντίσταση

Η μονάδα μέτρησης της **θερμικής αντίστασης** είναι [K /W], αφού εξ' ορισμού η θερμική αντίσταση ενός υλικού ισούται με το λόγο της αύξησης της θερμοκρασίας του προς την κατανάλωση ισχύος που προκαλεί τη θερμοκρασιακή διαφορά. Η σύνθετη θερμική αντίσταση είναι συνεχής συνάρτηση καθ' όλη τη διάρκεια μεταβολής της θερμοκρασίας. Όταν η επιβαλλόμενη θερμική ισχύς είναι συνεχής, δηλαδή στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας, η σύνθετη θερμική αντίσταση αυξάνει και πλησιάζει την τιμή της θερμικής αντίστασης στη μόνιμη κατάσταση και όταν επιτευχθεί θερμική ισορροπία, η σύνθετη θερμική αντίσταση ισούται με τη θερμική αντίσταση.

Η σημαντικότερη διαφορά μεταξύ της σύνθετης θερμικής αντίστασης και της θερμικής αντίστασης είναι η χρονική διάρκεια. Η σύνθετη θερμική αντίσταση υπολογίζεται μετρώντας ολόκληρη τη συνάρτηση θερμοκρασίας- χρόνου $T(t)$, ενώ η θερμική αντίσταση μετρείται μόνο όταν επιτευχθεί θερμική ισορροπία σε συνθήκες μόνιμης κατάστασης λειτουργίας.

1.3.2 Θερμοχωρητικότητα

Η ειδική **θερμοχωρητικότητα** ενός αγωγού (c_p) αντιπροσωπεύει την ενέργεια που πρέπει να δοθεί σε μια συγκεκριμένη ποσότητα υλικού με σκοπό να αυξηθεί η θερμοκρασία του κατά μια μονάδα βαθμού θερμοκρασίας. Περισσότερη ενέργεια απαιτείται για να αυξηθεί η θερμοκρασία ενός υλικού του οποίου η ειδική θερμοχωρητικότητα είναι υψηλή σε σχέση με ένα υλικό του οποίου η ειδική θερμοχωρητικότητα είναι χαμηλότερη. Απαραίτητη προϋπόθεση για τον ορισμό της θερμοχωρητικότητας είναι το μέγεθος μάζας, δηλαδή, για τον υπολογισμό της πρέπει να δοθεί απαραίτητως και μια ποσότητα μάζας. Η θερμοχωρητικότητα ενός αγωγού ορίζεται ως το προϊόν της ειδικής θερμοχωρητικότητας επί τη μάζα του ανά μονάδα μήκους. Στο συγκεκριμένο πρότυπο, η θερμοχωρητικότητα των προς μελέτη αγωγών, διαχωρίζεται και υπολογίζεται ως εξής:

- Ομογενείς Αγωγοί: Η θερμοχωρητικότητα ισούται με την ειδική θερμοχωρητικότητα του υλικού του αγωγού επί τη μάζα ανά μονάδα μήκους.

- Μη-ομογενείς αγωγοί: Η θερμοχωρητικότητα ισούται με το σύνολο των θερμοχωρητικότητων των υλικών που απαρτίζουν τον αγωγό

1.3.3 Thermal Time Constant τ (sec) «Θερμική σταθερά χρόνου»

Το μέγεθος **Θερμική σταθερά χρόνου** αντιστοιχεί στον χρόνο που απαιτείται ώστε η θερμοκρασία του αγωγού να φτάσει, από μια αρχική θερμοκρασία, στο 63,2% μιας τελικής θερμοκρασίας, όταν το ηλεκτρικό ρεύμα που διαπερνά τον αγωγό υφίσταται μια απότομη αλλαγή (αλλαγή βήματος).

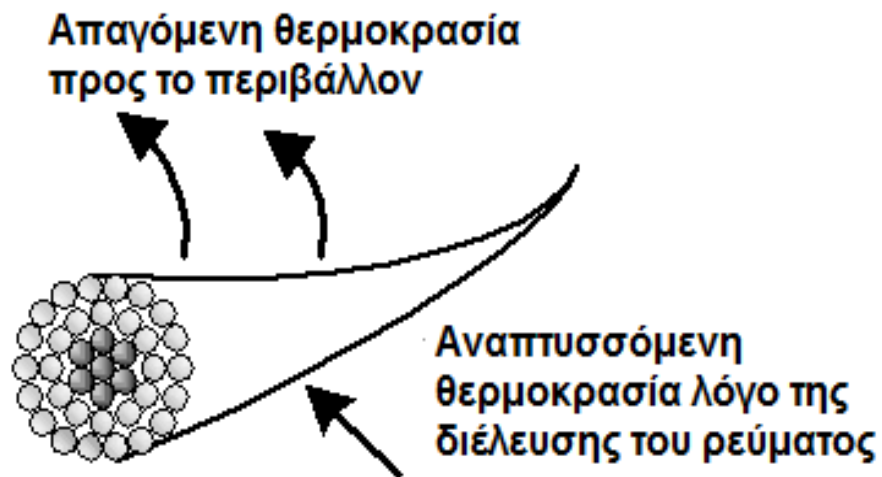
Η χρονική σταθερά χρόνου του αγωγού αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο μέγεθος στον υπολογισμό των θερμικών διαβαθμίσεων επειδή με τη βοήθειά της είναι δυνατό να πραγματοποιηθούν οι απαραίτητες συγκρίσεις μεταξύ υπέρθερμων αγωγών και άλλου θερμικά περιοριζόμενου εξοπλισμού όπως για παράδειγμα: μετασχηματιστών ή αποζευκτών . Στην περίπτωση των βραχύβιων υπολογισμών, όταν ο χρήστης δε γνωρίζει τον ακριβή χρόνο dt τότε αυτός θα ισούται με το 1% αυτής της θερμικής σταθεράς χρόνου του εκάστοτε αγωγού.

2^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ”

2.1 Θερμικές Απώλειες

Όλοι οι αγωγοί παρουσιάζουν αντίσταση στη ροή του ρεύματος με αποτέλεσμα την δημιουργία απωλειών σε μορφή θερμότητας. Ο αγωγός αλλά και το περιβάλλον υλικό γίνεται θερμότερο. Η θερμότητα αυτή που αναπτύσσεται ανά μονάδα χρόνου (sec) χωρίζεται σε δύο μέρη αυτή που αποθηκεύεται και αυτή που χάνεται στο περιβάλλον όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα (2.1).



Σχήμα 2.1 Αναπτυσσόμενη και Απαγόμενη θερμοκρασία

Ο υπολογισμός τους γίνεται με τους εξής τύπους :

$$P_c = c \cdot \gamma \cdot A \frac{d}{dt} \Delta \vartheta \quad (2.1)$$

η οποία αποθηκεύεται

$$P_A = \alpha \cdot U \cdot \Delta \vartheta \quad (2.2)$$

και αυτή που διοχετεύεται στο περιβάλλον.

Η ανάπτυξη θερμότητας μπορεί να περιγραφεί ως :

$$\frac{c \cdot \gamma \cdot A}{\alpha \cdot U} \cdot \frac{d}{dt} \Delta \vartheta + \Delta \vartheta = \frac{A \cdot \rho}{\alpha \cdot U} \left(\frac{I}{A} \right)^2 \quad (2.3)$$

Όπου :

$\Delta \mathcal{G}$ = διαφορά θερμοκρασίας του αγωγού σε σχέση με το χρόνο

$\Delta \mathcal{G}_e$ = διαφορά θερμοκρασίας στη τελική σταθερή κατάσταση

α = σταθερά μετάδοσης θερμότητας (εξαρτάτε από τον αγωγό 9...40W/(m²K))

c = ειδική θερμότητα (384.38 Ws/k·kg)

γ = πυκνότητα (8.92·10⁻³ kg/cm³)

ρ = ειδική αντίσταση (0.0178 Ωmm²/m στους 20°C

A = διατομή

U = περιφέρεια

I = ένταση ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό

2.1.1 Θερμοκρασία υπερθέρμανσης-πλήρως θέρμανσης

Η θερμοκρασία ενός αγωγού όταν όλες οι απώλειες εκπέμπονται στο περιβάλλον και η αλλαγή της θερμοκρασίας είναι 0 υπολογίζετε :

$$\Delta \mathcal{G}_e = \frac{\rho \cdot A}{\alpha \cdot U} \left(\frac{I}{A} \right)^2 \quad (2.4)$$

Ο υπολογισμός της αναπτυσσόμενης θερμοκρασίας σε σχέση με τον χρόνο εκφράζεται από την επίλυση της παραπάνω διαφορικής από την οποία προκύπτει ότι :

$$\Delta \mathcal{G} = \Delta \mathcal{G}_e \cdot \left(1 - e^{-\frac{1}{T}} \right) \quad (2.5)$$

2.1.2 Θερμική χρονική σταθερά (ειδικότερα)

Η μεταβλητή T (Θερμική χρονική σταθερά) η οποία έχει αναφερθεί στην παράγραφο 1.2.3 υπολογίζετε ως εξής :

$$T = \frac{c \cdot \gamma \cdot A}{\alpha \cdot U} = \frac{\text{thermal storage capacity}}{\text{thermal dissipation capacity}} \quad (2.6)$$

Το αποτέλεσμα αυτό επηρεάζεται άμεσα και ανάλογα από τη διατομή του αγωγού όπως επίσης και από τον τρόπο τοποθέτησης των αγωγών.

2.2 Θερμική αντοχή αγωγών

Η θερμική αντοχή των αγωγών είναι κάτι που πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη καθώς η εκτεταμένη έκθεση των αγωγών σε υψηλότερη από το όριο θερμοκρασία μπορεί να προκαλέσει βλάβες στον αγωγό αλλά και στο περιβάλλον. Οι οριακές θερμοκρασίες των αγωγών σε συνεχές φορτίο καθορίζονται από τον τύπο της μόνωσης και έχουν ως εξής :

Πίνακας 2.1 Θερμική αντοχή μονωτικών υλικών

Τύπος μόνωσης	Θ (C°)
Rubber insulation (μόνωση από ελαστικό)	60
Plastic insulation (μόνωση από πλαστικό)	70
Plastic with incr. heat resistance (μόνωση από πλαστικό με αυξημένη θερμική αντίσταση)	100

2.2.1 Χρόνος μέγιστης φόρτισης

Ωστόσο σύμφωνα με τους κανονισμούς DIN & VDE επιτρέπεται μεγαλύτερη από το επιτρεπτό όριο θερμοκρασία για μια μικρή περίοδο σε περίπτωση ενός σύντομου βραχυκυκλώματος . Ο μέγιστος χρόνος λειτουργίας το αγωγού με κανονικό φορτίο I_z που μπορεί να λειτουργήσει στο μέγιστο φορτίο $I_a = a I_z$ ώστε να μην ξεπεράσει την επιτρεπτή θερμοκρασία είναι :

$$t_{B \max} = T \cdot \ln \left(\frac{\partial^2}{\partial^2 - 1} \right) \quad (2.7)$$

2.3 Κατανομή θερμότητας στον κύλινδρο

Για την απλοποίηση των εξισώσεων και χωρίς σημαντικό σφάλμα μπορεί να θεωρηθεί ότι ένα καλώδιο αποτελεί ένα κύλινδρο. Επομένως η εξίσωση που εκφράζει την μετάδοση θερμότητας στον κύλινδρο σε σταθερή κατάσταση όπου δεν παράγεται θερμότητα είναι η εξής :

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(k_r \frac{dT}{dr} \right) = 0 \quad (2.8)$$

Όπου το k θεωρείται μεταβλητή.

Ο ρυθμός μετάδοσης της ενέργειας για όλες τις κυλινδρικές στερεές επιφάνειες εκφράζεται ως :

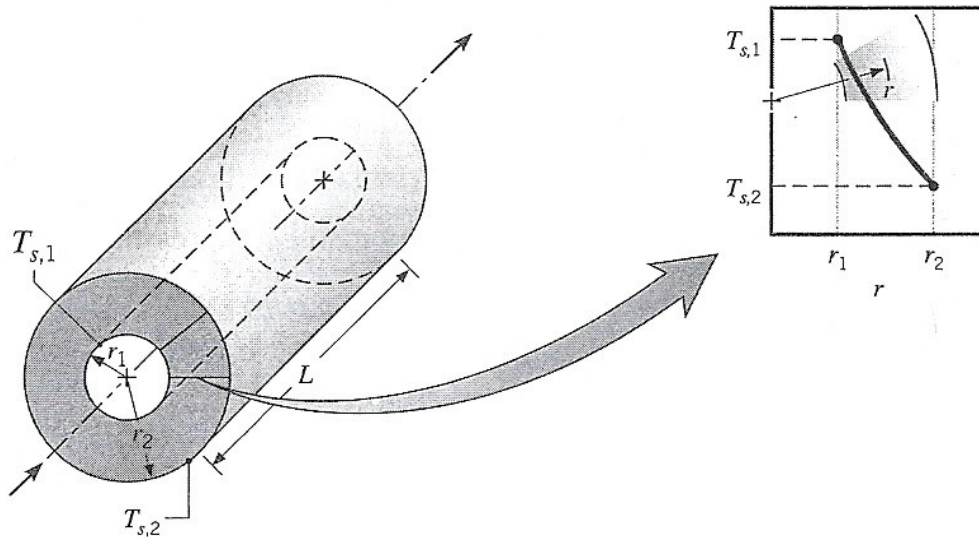
$$q_r = -kA \frac{dT}{dr} = -k(2\pi rL) \frac{dT}{dr} \quad (2.9)$$

Όπου $A=2\pi rL$ και αφορά την περιοχή που κατευθύνεται η απάγουσα θερμότητα.

Σύμφωνα με την εξίσωση 2.8 το $kr(dT/dr)$ είναι ανεξάρτητο του r άρα το qr (ρυθμός μετάδοσης θερμότητας) είναι μια σταθερά.

Η κατανομή θερμότητας στον κύλινδρο δίνεται από την επίλυση της 2.8 θέτοντας τους κατάλληλους περιορισμούς. Ολοκληρώνοντας την εξίσωση 2.8 δύο φορές και αντιμετωπίζοντας το k ως σταθερά προκύπτει :

$$T(r) = C_1 \ln r + C_2 \quad (2.10)$$



Σχήμα 2.2 Διατομή κυλινδρικού αγωγού

Σύμφωνα και με το παραπάνω σχήμα έχουμε :

$$\Delta \mathcal{Q} = T_{s1} - T_{s2} \quad (2.11)$$

Όπου $T_{s1} = T(r_1)$ και $T_{s2} = T(r_2)$

Σύμφωνα με την εξίσωση της $T(r)$ και επιλύοντας το σύστημα που δημιουργείτε από τις δύο παραπάνω εξισώσεις ως προς C_1 και C_2 προκύπτει :

$$T(r) = \frac{T_{s1} - T_{s2}}{\ln(r_1/r_2)} \ln\left(\frac{r}{r_2}\right) + T_{s2} \quad (2.12)$$

Η εξίσωση αυτή εκφράζει την κατανομή της θερμοκρασίας στο μεταξύ των ακτινών r_1 , r_2 του κυλίνδρου όταν είναι γνωστές οι θερμοκρασίες T_{s1} και T_{s2} αντίστοιχα

3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ΚΑΛΩΔΙΑ & ΟΠΤΙΚΗ ΙΝΑ”

3.1 Εισαγωγή και γενικά στοιχεία

Η χρήση καλωδίων για μεταφορά και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται σε δύο περιπτώσεις:

- Όταν το περιβάλλον δε προσφέρεται για εναέρια μεταφορά και
- Όταν δε μπορούν να στηριχθούν οι εναέριοι αγωγοί λόγω μεγάλων ανοιγμάτων [3].

Έτσι υπάρχουν υπόγειες γραμμές στις πόλεις και στην υποθαλάσσια μεταφορά ενέργειας, όπου ενδεχομένως συνδυάζεται και με συνεχές ρεύμα.

Ανάλογα με την τάση διακρίνουμε τα παρακάτω είδη καλωδίων:

- Καλώδια χαμηλής τάσης (XT), $U_n < 1\text{kV}$
- Καλώδια μέσης τάσης (MT), $1 > U_n < 45\text{kV}$
- Καλώδια υψηλής τάσης (YT), $U_n > 60\text{kV}$

Τα καλώδια μπορεί να είναι μονοπολικά (L1), τριπολικά (L1,L2,L3), τετραπολικά (L1,L2,L3,N) ή και πενταπολικά (L1,L2,L3,N, αγωγός γείωσης).

Σαν ονομαστική τάση των καλωδίων ορίζεται κατά VDE ή IEC, η φασική τάση και επιπροσθέτως η πολική τάση της διαρκούς καταπόνησης, π.χ. 0,6/1 kV. Συχνά όμως χρησιμοποιείται μόνο μια τάση, η πολική π.χ. καλώδιο μονοπολικό 150 kV σημαίνει ότι η τάση μεταξύ μανδύα και φάσης είναι $150/\sqrt{3}=86,7\text{ kV}$.



Σχήμα 3.1 Καλώδιο υψηλής τάσης 110 ~ 220KV XLPE

Τα καλώδια ΜΤ και ΥΤ αποτελούνται από τα παρακάτω στοιχεία:

- **Αγωγούς**, οι οποίοι φέρουν το ρεύμα του φορτίου. Είναι από ηλεκτροτεχνικό αλουμίνιο E-Al ή ηλεκτροτεχνικό χαλκό E-Cu.
- **Εξαμαλυντικά στρώματα**, τα οποία εφαρμοζόμενα πάνω σε αγωγούς με ανώμαλη επιφάνεια (πολύκλωνους ΜΤ και ΥΤ) επιφέρουν μείωση του ηλεκτρικού πεδίου E και ανύψωση της διηλεκτρικής αντοχής της μόνωσης.
- **Μόνωση**, από χαρτί εμποτισμένο σε λάδι παλαιότερα ή από πλαστικό όπως PVC ή άλλα υλικά όπως XLPE .
- **Μανδύα**, ο οποίος είναι ένας εξωτερικός γειωμένος αγωγός που δε φέρει μεγάλα ρεύματα, παρά μόνο σε περίπτωση σφαλμάτων.
- **Ζώνη μηχανικής ενίσχυσης**, που είναι περίβλημα από ατσάλινα σύρματα ή ταινίες.
- **Εξωτερικό προστατευτικό περίβλημα**, κατά της υγρασίας, το οποίο κατασκευάζεται συνήθως από PVC, μολυβδο ή ίνες γιούτας με πίσσα.
- **Ακροκιβώτια ή ακροκεφαλές**, που χρησιμοποιούνται στα άκρα των καλωδίων για την αποφυγή υπερπηδήσεων και τη δημιουργία ηλεκτρικών τόξων.
- **Σύνδεσμοι ή μούφες**, που χρησιμεύουν για τη σύνδεση δύο καλωδίων, για διακλαδώσεις και σαν παγίδες υδροστατικής πίεσης.
- **Σύστημα επιβολής και ελέγχου πίεσης** που χρησιμοποιείται σε καλώδια με λάδι ή υπό αέριο πίεση.
- **Σύστημα κυκλοφορίας ψυκτικού**, στην περίπτωση που γίνεται ψύξη με βεβιασμένη κυκλοφορία νερού ή λαδιού.

3.2 Κατασκευαστικά στοιχεία των καλωδίων

Στην προηγούμενη παράγραφο αναφέρθηκαν τα μέρη από τα οποία αποτελούνται τα καλώδια. Εδώ αναλύονται τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των αγωγών από χαλκό και της μόνωσης από πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC), το οποίο και χρησιμοποιείται παρακάτω.

3.2.1 Αγωγοί Καλωδίων

Οι αγωγοί των καλωδίων κατασκευάζονται από ηλεκτροτεχνικό χαλκό. Πρόκειται για αγωγούς από τεχνικό υλικό υψηλής αγωγιμότητας, δηλ. για E-Cu, όπου η περιεκτικότητα του μετάλλου φθάνει το 99,9% σε Cu. Τα μέταλλα αυτά είναι κατεργασμένα θερμικά ώστε να είναι εύκαμπτα. Η μορφή της διατομής μπορεί να είναι κυκλική ή να αποτελείται από κυκλικούς τομείς. Οι κυκλικές διατομές μπορεί να είναι συμπαγείς μέχρι και 16mm² για E-Cu. Για μεγαλύτερες διατομές οι αγωγοί γίνονται, για λόγους ευκαμψίας, πολύκλωνοι. Για καλώδια τάσεων μέχρι 10 kV χρησιμοποιούνται, σε υψηλά ρεύματα, διατομές με κυκλικούς τομείς. Έτσι εξοικονομείται όγκος. Επίσης, όγκος εξοικονομείται αν σε πολύκλωνους αγωγούς επιβληθεί μια συμπίεση των συρματιδίων.

Αυτό μειώνει τη γεωμετρική διατομή του αγωγού. Χωρίς συμπίεση η ενεργός διατομή ενός πολύκλωνου αγωγού είναι 78% της γεωμετρικής διατομής.

Η ποιότητα του αγωγού χαρακτηρίζεται και από την αντίσταση του στο συνεχές ρεύμα, σε θερμοκρασία 20⁰ C. Αυτή αποτελεί αφετηρία για τον υπολογισμό της αντίστασης κατά τη λειτουργία του καλωδίου. Πρέπει να ληφθεί υπόψη και η επίδραση των παρακάτω μεγεθών:

1. Η κατεργασία του αγωγού.
2. Η συστροφή των συρματιδίων του αγωγού.
3. Η θερμοκρασία.
4. Το επιδερμικό φαινόμενο.
5. Το φαινόμενο προσέγγισης.

Η κατεργασία εν ψυχρώ του υλικού επιφέρει μια αλλαγή στην κρυσταλλική του δομή και αύξηση της αντίστασης. Η συστροφή των συρματιδίων ή και όλου του αγωγού επιδρά στο να έχουμε ένα ενεργό μήκος των αγωγών, που στην ουσία είναι μεγαλύτερο από το πραγματικό μήκος του καλωδίου.

Οι υπ' αριθμόν 1,2,3 παράγοντες αυξάνουν κατά περίπου 3-4% την αντίσταση. Για E-Cu αντί της ειδικής αντίστασης 17,24 10⁻³ Ωmm²/m έχουμε 17,86 10⁻³ Ωmm²/m

Η ανύψωση της θερμοκρασίας από 20⁰C στους θ βαθμούς Κελσίου αυξάνει την αντίσταση ως εξής:

$$R_{\theta} = R_{20^{\circ}} [1 + a(\theta - 20)] \quad (3.1)$$

Όπου α είναι ο θερμοκρασιακός συντελεστής του υλικού. Για το χαλκό α=3,93 10⁻³

3.2.2 Μόνωση

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για μόνωση εκτός από χαρτί εμποτισμένο με λάδι ή μάζα είναι πολυβινυλοχλωρίδιο PVC, είναι πολυαιθυλένιο, δικτυωμένο πολυαιθυλένιο, όπως και λάστιχο συνθετικό βουτυλίου ή ελαστικό σιλικόνης ή ακόμη και φυσικό ελαστικό. Στην υψηλή και μέση τάση χρησιμοποιούνται μονώσεις χαρτί-λάδι ή χαρτί-μάζα και πολυαιθυλένιο, ενώ για τάσεις κάτω των 10kV, PVC.

Η εκλογή της μόνωσης γίνεται ανάλογα με την εφαρμογή, λαμβάνοντας υπόψη της ηλεκτρικές, τις θερμικές και τις μηχανικές ιδιότητες. Η δυνατότητα εύκολης εγκατάστασης του καλωδίου, σε σχέση με την ευκαμψία ή την μηχανική αντοχή του, είναι κάτι που πρέπει οπωσδήποτε να ληφθεί υπόψη. Στις υψηλές τάσεις παίζει σημαντικό ρόλο η διηλεκτρική αντοχή της μόνωσης και οι διηλεκτρικές της απώλειες. Το είδος της μόνωσης καθορίζει τόσο τη μέγιστη συνεχή όσο και την παροδικά επιτρεπόμενη θερμοκρασία. Συνεπώς, καθορίζει τη φόρτιση του καλωδίου. Η παροδικά επιτρεπόμενη θερμοκρασία, π.χ. σε βραχυκυκλώματα, είναι πολλαπλάσια της μόνιμης επιτρεπτής θερμοκρασίας.

Οι μονωτικές ιδιότητες στα καλώδια χαρακτηρίζονται από τη διηλεκτρική αντοχή σε kV/mm, από την ωμική αντίσταση του υλικού, από το συντελεστή απωλειών tanδ και το μέγεθος των μικροεκεκνώσεων (μη αυτοσυντηρούμενες εκκενώσεις στο διηλεκτρικό). Οι μικροεκεκνώσεις προκαλούν βαθμιαία διάβρωση του υλικού και καταστροφή του.

Η ωμική αντίσταση και οι λοιπές διηλεκτρικές απώλειες δημιουργούν θερμότητα και παράλληλα με τη θερμότητα joule των αγωγών, θερμαίνουν το καλώδιο. Οι διηλεκτρικές απώλειες, P_d, είναι συνάρτηση της άεργου ισχύος του καλωδίου.

Για τις τρεις φάσεις:

$$P_d = C \cdot \omega \cdot U^2 \cdot \tan \delta = Q \text{ διηλεκτρικές απώλειες} \quad (3.2)$$

Όπου χωρητικότητα λειτουργίας, $\omega = 314 \dots$, U η πολική τάση Q η άεργη ισχύς και $\tan \delta$ ο συντελεστής απωλειών.

Όσον αφορά πλαστικές μονώσεις, σε χαμηλές τάσεις γίνεται χρήση ελαστικού βουτυλίου, πολυβινυλοχλωριδίου (PVC), νεοπρενίου (πολυχλωροπρενίου). Λόγω, κυρίως, των υψηλών διηλεκτρικών απωλειών δε γίνεται χρήση αυτών σε τάσεις πάνω από 5,8/10 kV. Για υψηλότερες τάσεις χρησιμοποιείται αποκλειστικά πολυαιθυλένιο (δικτυωμένο ή μη).

3.2.2.1 Μόνωση PEX-XLPE

Σχεδόν όλα τα PEX είναι κατασκευασμένα από πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE). Περιέχει πολυμερούς σταυροειδείς δεσμούς στην δομή του, αλλάζοντας έτσι το θερμοπλαστικό σε ένα θερμοσκληρυνόμενο. Έτσι επιτυγχάνεται εγκάρσια σύνδεση εντός ή εκτός του σωλήνα όδευσης. Σύμφωνα με το πρότυπο ASTM F 876-93, ο απαιτούμενος βαθμός εγκάρσιας σύνδεσης είναι μεταξύ 65 και 89%. Ένας υψηλότερος βαθμός σταυροδεσμών μπορεί να οδηγήσει σε ευθραυστότητα και ρωγμές του υλικού.

Οι ιδιότητες του πολυμερούς σε υψηλές θερμοκρασίες είναι αρκετά βελτιωμένες. Η αντοχή του διατηρείται ακόμα και σε 120-150°C μειώνοντας την τάση, η χημική του αντίσταση ενισχύεται από αντιστέκεται της διάλυσης.

Τα βασικά πλεονεκτήματα είναι η αντοχή σε εφελκυσμό, γρατζουνιές και η ανθεκτικότητα σε πλήρη θραύση.

Τα PEX-ή-XLPE μονωμένα καλώδια έχουν μια ονομαστική μέγιστη θερμοκρασία αγωγού 90°C και θερμοκρασία υπερφόρτισης έως 140 °C, ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο πρότυπο. Η θερμοκρασία βραχυκυκλώματος είναι περίπου 250°C.

Το XLPE έχει εξαιρετικές διηλεκτρικές ιδιότητες, καθιστώντας το χρήσιμο για μέση τάση - 10 έως 50 kV AC - και καλώδια υψηλής τάσης - έως 380 kV AC τάσης, και αρκετές εκατοντάδες kV DC.

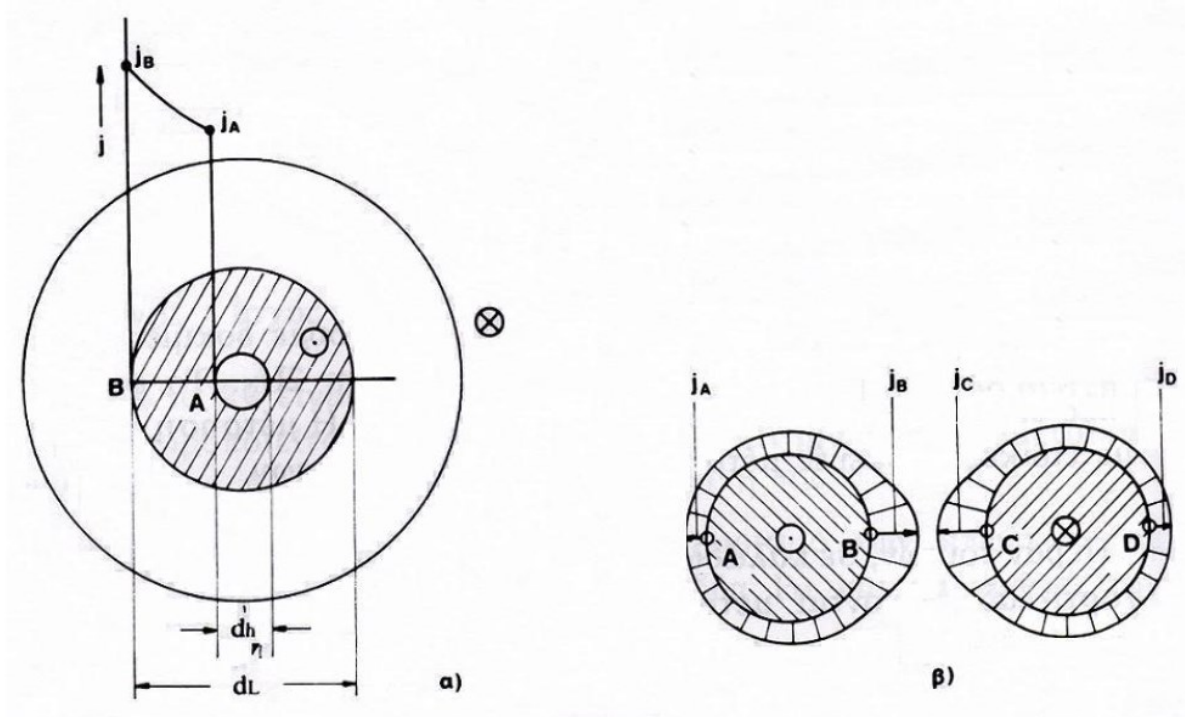
Πολυάριθμες τροποποιήσεις στην βασική δομή του πολυμερούς μπορούν να γίνουν για τη μεγιστοποίηση της παραγωγικότητας κατά τη διαδικασία κατασκευής. Για μεσαίου μεγέθους εφαρμογές τάσης, η αντιδραστικότητα μπορεί να ενισχυθεί σημαντικά. Αυτό οδηγεί σε υψηλότερες ταχύτητες γραμμής σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν περιορισμοί είτε της σκλήρυνσης ή ψύξης εντός των συνεχών σωλήνων βουλκανισμού (CV) που χρησιμοποιούνται για τη διασύνδεση.

Οι μονώσεις αυτές μπορούν να τροποποιηθούν για να περιορίσουν την ποσότητα των παραπροϊόντων αερίων που παράγεται κατά τη διαδικασία διασυνδέσεως. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για καλώδια υψηλής τάσης, όπου η ανάγκη απαέρωσης μπορεί να επιμηκύνει σημαντικά το χρόνο κατασκευής του καλωδίου.

3.2.3 Αντίσταση καλωδίου

Η αντίσταση του αγωγού R_L διαμορφώνεται και από το γεγονός ότι το ρεύμα είναι εναλλασσόμενο. Έτσι η πυκνότητα του ρεύματος είναι αυξημένη στην επιφάνεια του αγωγού

(επιδερμικό φαινόμενο, Skin Effect). Επίσης εμφανίζεται αυξημένη εκεί όπου ο ένας αγωγός πλησιάζει τον άλλο φαινόμενο Γειτνίασης, Proximity Effect) (Σχήμα 2.1).



Σχήμα 3.2 Κατανομή υψίσυχνου ρεύματος σε αγωγούς. α) SKIN EFFECT (επιδερμικό φαινόμενο, β) PROXIMITY EFFECT (φαινόμενο προσέγγισης) δύο παράλληλων αγωγών

Η συνολική αντίσταση του αγωγού μπορεί να γραφεί σαν το γινόμενο της αντίστασης στο συνεχές ρεύμα, διορθωμένη κατά δύο συντελεστές:

$$R_L = R \cdot F_S \cdot F_P \tag{3.3}$$

Όπου οι συντελεστές F_S , F_P είναι μεγαλύτεροι της μονάδας και αντιστοιχούν στην αύξηση της αντίστασης λόγω των φαινομένων επιδερμικό και γειτνίασης αντίστοιχα. Συνήθως το γινόμενο $F_S \cdot F_P$ για διατομές μέχρι και 300mm^2 , δεν υπερβαίνει το 1,05, δηλ. η συνολική επαύξηση είναι σε τέτοιες περιπτώσεις κάτω των 5%.

Οι συντελεστές F_S , F_P προκύπτουν από πεδιακούς υπολογισμούς. Στους υπολογισμούς χρησιμοποιείται το επιδερμικό βάθος δ , που είναι ένα μέτρο για πάχος του αγωγού όπου διεισδύει το ρεύμα.

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi \cdot \kappa \cdot f \cdot \mu}} \tag{3.4}$$

Όπου

κ = αγωγιμότητα,

f = συχνότητα 50 HZ,

μ = μαγνητική διαπερατότητα.

Για χαλκό είναι στους 200C $\delta = 9,9\text{mm}$. Για πάχη αρκετά μικρότερα του επιδερμικού πάχους ή επίδραση του επιδερμικού φαινομένου είναι μικρή.

Ο συντελεστής επαύξησης F_s , λόγω επιδερμικού, δίνεται για αγωγούς κυκλικής διατομής κοίλους ή μη από την παρακάτω προσεγγιστική σχέση:

$$F_s = 1 + \frac{x^4}{3} \cdot \frac{(1 - \lambda_s) \cdot (1 + 2\lambda_s)^2}{(1 + \lambda_s)^3} \quad (3.5)$$

Όπου

$$x = d_L / 4\delta$$

$$\lambda_s = d_h / d_L$$

d_h, d_L = διάμετροι εσωτερικά και εξωτερικά του αγωγού

Ο συντελεστής επαύξησης F_p λόγω προσέγγισης εμφανίζεται μόνο σε περιζωμένα καλώδια, αλλιώς μπορεί να θεωρηθεί μονάδα. Για τρεις αγωγούς διατεταγμένους σε τρίγωνο δίνεται κατά προσέγγιση από τον τύπο:

$$F_p = 1 + \frac{x^4 \cdot \lambda_p^2}{3 + x^4} \cdot \left(0.312\lambda_p^2 + \frac{1}{0.2828x^4 + 0.2288} \right) \quad (3.6)$$

Όπου

$$x = d_L / 4\delta$$

$$\lambda_p = d_L / d_a$$

d_h, d_L = διάμετροι εσωτερικά και εξωτερικά του αγωγού

3.2.4 Ψύξη και φόρτιση των καλωδίων

Η θερμότητα που δημιουργείται στους αγωγούς, το μανδύα και τη μόνωση ρέει σε καλώδια συμβατικής τεχνολογίας μέσω του μανδύα ακτινικά προς τα έξω και θερμαίνει τον περιβάλλοντα χώρο. Η θερμότητα σε καλώδια ενταφιασμένα ή όχι, θεωρείται ότι διαχέεται προς τον ελεύθερο αέρα, ο οποίος συμπεριφέρεται θερμοδυναμικά και σαν δεξαμενή χαμηλής σταθερής θερμοκρασίας. Είναι εξαιρετικά δύσκολη η ανάλυση του θερμοκρασιακού πεδίου σε καλώδια. Στην απλή περίπτωση ενός μεμονωμένου μονοπολικού κυλινδρικού καλωδίου, όπου η ανοιγμένη θερμική ισχύς P_V (W/m) παράγεται μόνο στον αγωγό, έχουμε για τη ροή θερμότητας ανά μονάδα μήκους:

$$\theta_1 - \theta_2 = P_V \cdot R_{th} \quad (3.7)$$

Όπου θ_1, θ_2 (°K) οι θερμοκρασίες του αγωγού και του μεταλλικού μανδύα και R_{th} (K*m/W) συμβολίζει τη θερμική αντίσταση της μόνωσης ανά μονάδα μήκους. Ο αγωγός και ο μανδύας θεωρούνται άριστοι αγωγοί θερμότητας, δηλ. η θερμική τους αγωγιμότητα είναι άπειρη. Η θερμική αντίσταση R_{th} δίνεται κατά τα γνωστά από τη μετάδοση θερμότητας σε κυλινδρική γεωμετρία, όπως παρακάτω:

$$R_{th} = \frac{\sigma_i}{2\pi} \ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right) \quad (3.8)$$

Όπου d_2, d_1 , είναι οι διάμετροι του μανδύα και του αγωγού και σ_i είναι η ειδική θερμική αντίσταση της μόνωσης σε (K·m/W). Όσο μεγαλύτερη είναι η αντίσταση, τόσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία θ_1 του αγωγού. Για πολυβινυλοχλωρίδιο PVC είναι $\sigma_i=7,0\text{K}\cdot\text{m}/\text{W}$

Το μέγιστο ρεύμα που θα περάσει από το καλώδιο δεν επιτρέπεται να επηρεάζει αρνητικά τη διάρκεια ζωής του. Η μόνωση των αγωγών είναι το πιο αδύνατο σημείο. Η μέγιστη διαρκής θερμοκρασία στη μόνωση εξαρτάται από το χρησιμοποιούμενο υλικό. Βραχυχρόνια σε βραχυκυκλώματα, επιτρέπονται πολύ υψηλότερες θερμοκρασίες. Οι επιτρεπόμενες οριακές θερμοκρασίες σε βραχυχρόνια ή μόνιμη καταπόνηση εξαρτώνται, όχι μόνο από το υλικό μόνωσης, αλλά και από την κατασκευή του καλωδίου. Έτσι εξηγούνται και οι παραπάνω περιοχές της θερμοκρασίας.

3.3 Οπτική Ίνα

Ως οπτική ίνα ορίζεται μια Ίνα ή νήμα από διηλεκτρικό υλικό που χρησιμοποιείται ως αγωγός ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων της ορατής ή της υπέρυθρης περιοχής του φάσματος. Οι οπτικές ίνες αποτελούνται από δύο ομοαξονικά διατεταγμένα, διαφανή, γυάλινα στοιχεία: έναν πυρήνα, υψηλού δείκτη διάθλασης και ένα περίβλημα, χαμηλότερου δείκτη διάθλασης που καλείται μανδύας.

3.3.1 Παραγωγή οπτικών ινών

Για την παραγωγή οπτικών ινών απαιτείται η χρήση γυαλιού υψηλής διαφάνειας και, συνεπώς, εξαιρετικής καθαρότητας. Η περιεκτικότητα σε ακαθαρσίες, ιδιαίτερα στην περίπτωση των μεταβατικών μετάλλων, δεν επιτρέπεται να υπερβαίνει τα λίγα εκατομμυριοστά στην περίπτωση ινών για οπτικές εφαρμογές και λίγα δισεκατομμυριοστά προκειμένου περί τηλεπικοινωνιακών εφαρμογών.

Άλλωστε, οι δύο ανωτέρω τύποι ινών παράγονται με διαφορετικές μεθόδους. Στην περίπτωση των ινών για οπτικές εφαρμογές, μπορεί να εφελκυστεί ταυτόχρονα ένα ζεύγος αποτελούμενο από γυάλινη ράβδο και γυάλινο σωλήνα, προσαρμοσμένα μεταξύ τους, με διαφορετικούς δείκτες διάθλασης. Από τη ράβδο παράγεται ο πυρήνας και από τον σωλήνα μανδύας.

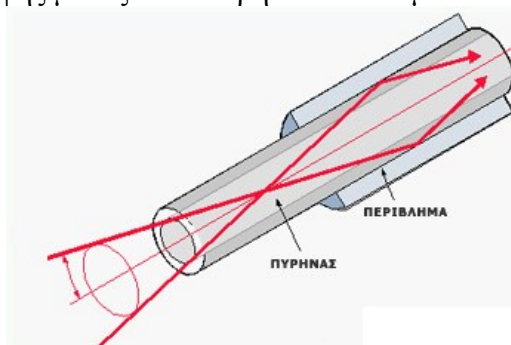
Συνηθέστερα όμως εφαρμόζεται η μέθοδος της διπλής χοάνης (χωνευτηρίου). Κατά την διαδικασία αυτή τα δύο γυάλινα στοιχεία τήκονται σε δύο συγκεντρικά διευθετημένες κυλινδρικές χοάνες διαφορετικών διαστάσεων. Η εσωτερική χοάνη παράγει τον πυρήνα ενώ η εξωτερική τον πάνω προς τα κάτω, καθώς εξέρχεται από τις συγκεντρικές θηλές των ινοποιητικών μητρών. Σε ορισμένες περιπτώσεις, το στόμιο της εξωτερικής μήτρας τοποθετείται αισθητά χαμηλότερα από το στόμιο της εσωτερικής έτσι ώστε η καταρχήν διαμορφούμενη ίνα του πυρήνα να παραμένει επί ορισμένο χρόνο σε επαφή με την υαλόμαζα του μανδύα. Η συντελούμενη στον χρόνο αυτόν ιοντοανταλλαγή οδηγεί στην παραγωγή ίνας με αδιαβάθμητα μεταβαλλόμενο δείκτη διάθλασης.

Για την παραγωγή οπτικών ινών τηλεπικοινωνιακών εφαρμογών μπορεί να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος της διπλής χοάνης, από την οποία προκύπτουν μικρές διαφορές δείκτη διάθλασης μεταξύ πυρήνα και μανδύα, χαρακτηριστικό ευνοϊκό γι' αυτό το είδος εφαρμογής. Ωστόσο, χρησιμοποιούνται συχνότερα μέθοδοι αντίδρασης σε ατμώδη φάση που επιτρέπουν την επίτευξη υψηλών βαθμών καθαρότητας. Οι μέθοδοι αυτές αναπτύχθηκαν από την εταιρία Κόρνιγκ Γκλας Γουέρκς, που επέλεξε ως βασικό υλικό το καθαρό οξείδιο του πυριτίου, υλικό που χαρακτηρίζεται από υψηλή διαφάνεια.

Μίγμα οξυγόνου, αλογονιδίου του πυριτίου και αλογονιδίων νοθευτών διοχετεύεται σε θερμασμένο στέλεχος (ράβδο οξειδίου του πυριτίου). Η καύση του μίγματος των αλογονιδίων παράγει μίγμα οξειδίων, που λέγεται «αιθάλη», που επικάθεται στο στέλεχος δημιουργώντας ένα «πρόπλασμα», το οποίο στη συνέχεια τήκεται και εφελκύεται σε ίνα. Το πρόπλασμα συγκροτείται από μεγάλο πλήθος στρώσεων, προοδευτικά μεταβαλλόμενης συγκέντρωσης νοθευτών, ώστε να προκύπτει η επιθυμητή βαθμίδα του δείκτη διάθλασης. Ως νοθευτές χρησιμοποιούνται το βόριο και το φθόριο, που μειώνουν τον δείκτη διάθλασης του οξειδίου του πυριτίου, ή ο φώσφορος και το γερμάνιο, που τον αυξάνουν. Στην περίπτωση του σωληνωτού στελέχους, η κατεργασία μπορεί να συντελεστεί εξωτερικά ή εσωτερικά του σωλήνα. Οι δύο ανωτέρω μέθοδοι έχουν πολλές παραλλαγές.

3.3.2 Βασική αρχή λειτουργίας

Κατά τη λειτουργία της μια φωτεινή ακτίνα που εισδύει στον πυρήνα της ίνας από το ένα του άκρο διαδίδεται κατά μήκος έως το άλλο άκρο, λόγω των ολικών ανακλάσεων που υφίσταται στην επιφάνεια επαφής μεταξύ του πυρήνα και του μανδύα.



Σχήμα 3.3 Βασική αρχή λειτουργίας οπτικής ίνας

Γενικά, οι οπτικές ίνες δεν χρησιμοποιούνται μεμονωμένες, αλλά συγκεντρωμένες σε δέσμες που περιέχουν από μερικές ίνες έως πολλά εκατομμύρια, ανάλογα με την εφαρμογή. Οι δέσμες αυτές μπορεί να είναι εύκαμπτες ή άκαμπτες και να διαβιβάζουν φως ή εικόνες ή ακόμη πληροφορίες. Στην τελευταία περίπτωση χαρακτηρίζονται καλύτερα με τον όρο οπτικοί κυματοαγωγοί. Το μήκος των ινών έχει τάξη μεγέθους εκατοστόμετρου στις άκαμπτες δέσμες, μέτρου στις εύκαμπτες και πολλών χιλιομέτρων στην περίπτωση των οπτικών κυματοαγωγών.

4^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ΜΕΛΕΤΗ & ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ”

4.1 Εισαγωγή – επεξήγηση

4.1.1 Διαδικασία επίλυσης

Στα προηγούμενα κεφάλαια η αντίσταση που παρουσιάζουν στη διέλευση του ρεύματος οι αγωγοί είναι η αιτία ανάπτυξης θερμότητας η οποία κατά ένα μέρος αποθηκεύεται και η υπόλοιπη χάνεται στο περιβάλλον. Με αποτέλεσμα η μόνωση του αγωγού να θερμαίνεται.

Η θερμότητα που αναπτύσσεται στον αγωγό ανά sec χωρίζεται σε δύο μέρη

$$\text{➤ } P_c = c \cdot \gamma \cdot S \frac{d}{dt} \Delta \vartheta \text{ η οποία αποθηκεύεται}$$

$$\text{➤ } P_A = \alpha \cdot A \cdot \Delta \vartheta \text{ αυτή που διοχετεύεται στο περιβάλλον.}$$

Η ανάπτυξη θερμότητας μπορεί να περιγραφεί ως :

$$\frac{c \cdot \gamma \cdot S}{\alpha \cdot A} \cdot \frac{d}{dt} \Delta \vartheta + \Delta \vartheta = \frac{S \cdot \rho}{\alpha \cdot A} \left(\frac{I}{S} \right)^2$$

Όπου :

$\Delta \vartheta$ = διαφορά θερμοκρασίας του αγωγού σε σχέση με το χρόνο

$\Delta \vartheta_e$ = διαφορά θερμοκρασίας στη τελική σταθερή κατάσταση

α = σταθερά μετάδοσης θερμότητας (εξαρτάτε από τον αγωγό 9...40W/(m²K))

c = ειδική θερμότητα (384.38 Ws/k*kg)

γ = πυκνότητα (8.92*10⁻³ kg/cm³)

ρ = ειδική αντίσταση (0.0178 Ωmm²/m στους 20°C

S = διατομή

A = περιφέρεια

I = ένταση ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό

Στο σημείο αυτό πρέπει να οριστούν οι οριακές συνθήκες σύμφωνα με τις οποίες θα λυθεί η εξίσωση

I. Όταν το $t = 0$:

Τότε το $\Delta\theta = 0$ γιατί ο αγωγός δεν διαρρέεται από ρεύμα

II. Όταν το $t = \max$

Όπου το $\Delta\theta$ έχει σταθεροποιηθεί στη μέγιστη τιμή του σύμφωνα με τις παραμέτρους του περιβάλλοντος. Σύμφωνα με τα παραπάνω η εξίσωση μας θα γίνει της μορφής :

$$\frac{c \cdot \gamma \cdot S}{\alpha \cdot A} \cdot \frac{d}{dt} \Delta\theta + \Delta\theta = \frac{S \cdot \rho}{\alpha \cdot A} \left(\frac{I}{S} \right)^2$$

επομένως

$$\Delta\theta = \frac{S \cdot \rho}{\alpha \cdot A} \left(\frac{I}{S} \right)^2$$

χρησιμοποιώντας τον τύπο μετάδοσης της θερμότητας στον κύλινδρο έχουμε :

$$T(r_x) = \frac{\Delta\theta - \theta_\pi}{\ln(r_\alpha / r_2)} \ln\left(\frac{r_x}{r_2}\right) + \theta_\pi$$

όπου :

θ_π = θερμοκρασία περιβάλλοντος

r_α = ακτίνα αγωγίμου μέρους

r_x = θέση οπτικής ίνας

r_2 = ακτίνα ολόκληρου του καλωδίου

Το T που προκύπτει είναι το ποσό θερμότητας που αντιλαμβάνεται και οπτική ίνα συναρτήσει της θέσης της.

III. Όταν το $t = \infty$

Κατά τη περίοδο αυτή όπου η θερμοκρασία αυξάνεται συνεχώς θα πρέπει να γίνει επίλυση της διαφορικής εξίσωσης

$$\frac{c \cdot \gamma \cdot S}{\alpha \cdot A} \cdot \frac{d}{dt} \Delta\theta + \Delta\theta = \frac{S \cdot \rho}{\alpha \cdot A} \left(\frac{I}{S} \right)^2$$

επιλύοντας προκύπτει ότι :

$$\Delta \mathcal{G} = \frac{S \cdot \rho}{\alpha \cdot A} \left(\frac{I}{S} \right)^2 \cdot \left(1 - e^{-\frac{1}{t}} \right)$$

Όπου t η χρονική στιγμή που μελετάμε. Επιλύοντας αυτό ακολουθούμε την ίδια διαδικασία όπως και παραπάνω ώστε να υπολογιστεί η θερμοκρασία που αντιλαμβάνεται η οπτική ίνα. Οπότε :

$$T(r_x) = \frac{\Delta \mathcal{G} - \mathcal{G}_\pi}{\ln(r_\alpha / r_2)} \ln \left(\frac{r_x}{r_2} \right) + \mathcal{G}_\pi$$

4.1.2 Υπολογισμός αναπτυσσόμενης θερμότητας

Για το υπολογιστικό κομμάτι θα χρησιμοποιηθεί το πρόγραμμα Excel της Microsoft μέσο του οποίου θα δημιουργηθούν τα ζητούμενα διαγράμματα.

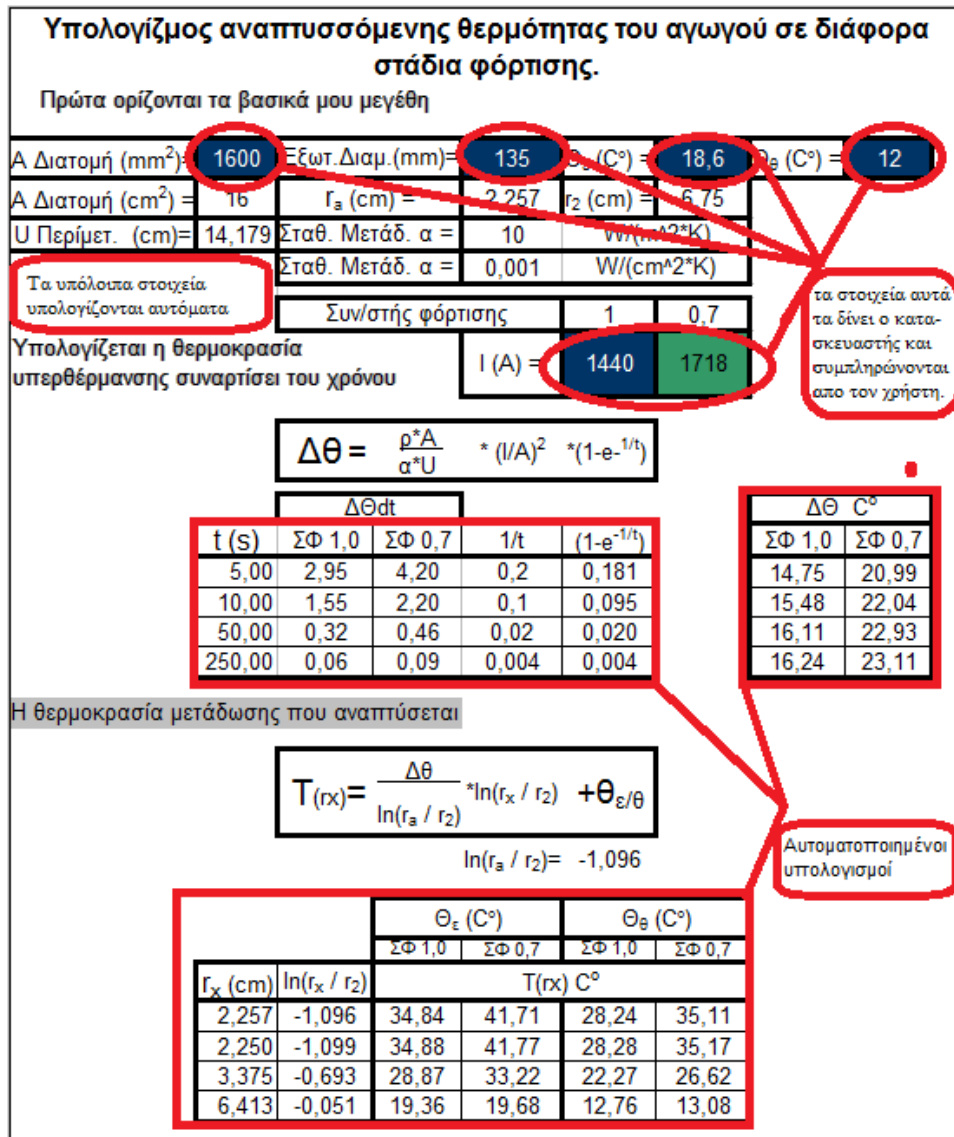
Για την εφαρμογή της θεωρητικής προσομοίωσης θα χρησιμοποιηθούν τα χαρακτηριστικά στοιχεία των αγωγών, τα οποία απέστειλε η εταιρεία Brugg Cables μετά από ηλεκτρονική αλληλογραφία, αλλά και η μέση θερμοκρασία εδάφους στον ένα μέτρο βάθος σύμφωνα με τον πίνακα μετρήσεων που απέστειλε η Ελληνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, ο οποίος βρίσκεται στο παράρτημα II.

Οι εξεταζόμενοι αγωγοί είναι οι εξής :

- 500 / 290 kV XLPE Cable
- 400 / 230 kV XLPE Cable
- 345 / 200 kV XLPE Cable
- 220 / 127 kV XLPE Cable
- 132 / 76 kV XLPE Cable

Επισημαίνεται ωστόσο ότι στην ηλεκτρονική μορφή του μοντέλου υπολογισμού μπορούν να εξετασθούν όλοι οι αγωγοί απλά εισάγοντας τα χαρακτηριστικά τους στοιχεία σύμφωνα με τον κάθε κατασκευαστή.

Για την ευκολότερη κατανόηση ακολουθεί ένα παράδειγμα υπολογισμού



Σχήμα 4.1 Παράδειγμα υπολογιστικού φύλου Microsoft excel - επεξήγηση μεταβλητών.

Όλοι η ακολουθία υπολογισμού έχει επεξηγηθεί παραπάνω. Αυτό που έχει σημασία να επισημανθεί είναι ότι στη θερμοκρασία υπερθέρμανσης προστίθεται η θερμοκρασία του αγωγού που εξαρτάται άμεσα από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Και στην σταθερή άλλα και στην μεταβλητή κατάσταση οι δείκτες είναι ίδιοι. Τέλος εκτός των τεσσάρων σημείων που είναι μπλε όλα τα υπόλοιπα στοιχεία υπολογίζονται - συμπληρώνονται αυτόματα

Από τους υπολογισμούς προκύπτουν τα εξής διαγράμματα :

- $f(t) = \Delta\theta \cdot dt$ όπου φαίνεται ο ρυθμός αύξησης της θερμότητας συναρτήσει του χρόνου για συντελεστή φόρτισης 0,7 και 1,0.
- $F(r_x) = T(r_x)$ για τις θερμοκρασίες εδάφους και θάλασσας, για τους δύο συντελεστές φόρτισης σε ένα κοινό γράφημα
- Και για κάθε τιμή του συντελεστή φόρτισης αλλά κοινό για διαφορετικές τιμές της έντασης του ρεύματος $F(r_x) = T(r_x)$

4.2 Μετρήσεις & Γραφικές απεικονίσεις

Παρακάτω ακολουθούν η σειράς υπολογισμών αλλά και οι γραφικές που αναφέρθηκαν παραπάνω. Οι πίνακες υπολογισμών για όλες τις περιπτώσεις στο παράρτημα Ι

4.2.1 Αγωγός τάσης 500 / 290 kV με μόνωση XLPE

Σύμφωνα με τον κατασκευαστή του αγωγού η χαρακτηριστικές τιμές της έντασης σύμφωνα για διάφορες διατομές είναι :

Copper conductor cross-section		Outer diameter approx. mm	Buried in soil ύύύ	Buried in soil ύύύ
mm ²	kcmil		0.7 A	1.0 A
630	1250	122	1026	882
800	1600	123	1170	998
1000	2000	127	1377	1166
1200	2400	128	1497	1261
1400	2750	129	1622	1361
1600	3200	135	1718	1440
2000	4000	143	1901	1585
2500	5000	144	2120	1751

Πίνακας 4.1 Χαρακτηριστικά αγωγού τάσης 500 / 290 kV με μόνωση XLPE

Υπολογίζμος αναπτυσσόμενης θερμότητας του αγωγού σε διάφορα στάδια φόρτισης.

Πρώτα ορίζονται τα βασικά μου μεγέθη

A Διατομή (mm ²)=	2000	Εξωτ. Διαμ. (mm)=	143	Θ _ε (C°)=	18,6	Θ _θ (C°)=	12
A Διατομή (cm ²)=	20	r _a (cm)=	2,523	r ₂ (cm)=	7,15		
U Περιμετ. (cm)=	15,853	Σταθ. Μετάδ. α =	10	W/(m ² *K)			
		Σταθ. Μετάδ. α =	0,001	W/(cm ² *K)			
		Συν/στής φόρτισης		1	0,7		
Υπολογίζεται η θερμοκρασία υπερθέρμανσης συναρτήσει του χρόνου		I (A)=		1585	1901		

$$\Delta\theta = \frac{\rho^*A}{\alpha^*U} * (I/A)^2 * (1-e^{-1/t})$$

Δθdt					Δθ C°	
t (s)	Σφ 1,0	Σφ 0,7	1/t	(1-e ^{-1/t})	Σφ 1,0	Σφ 0,7
5,00	2,56	3,68	0,2	0,181	12,78	18,39
10,00	1,34	1,93	0,1	0,095	13,42	19,31
50,00	0,28	0,40	0,02	0,020	13,96	20,09
250,00	0,06	0,08	0,004	0,004	14,08	20,25

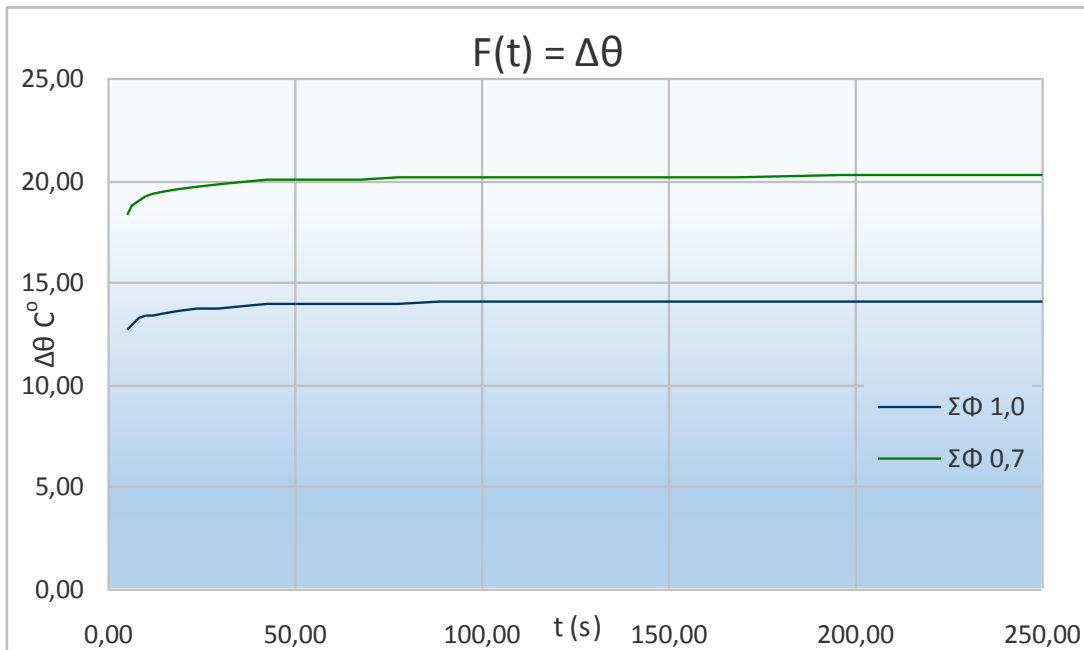
Η θερμοκρασία μετάδοσης που αναπτύσσεται

$$T_{(rx)} = \frac{\Delta\theta}{\ln(r_a / r_2)} * \ln(r_x / r_2) + \theta_{ε/θ}$$

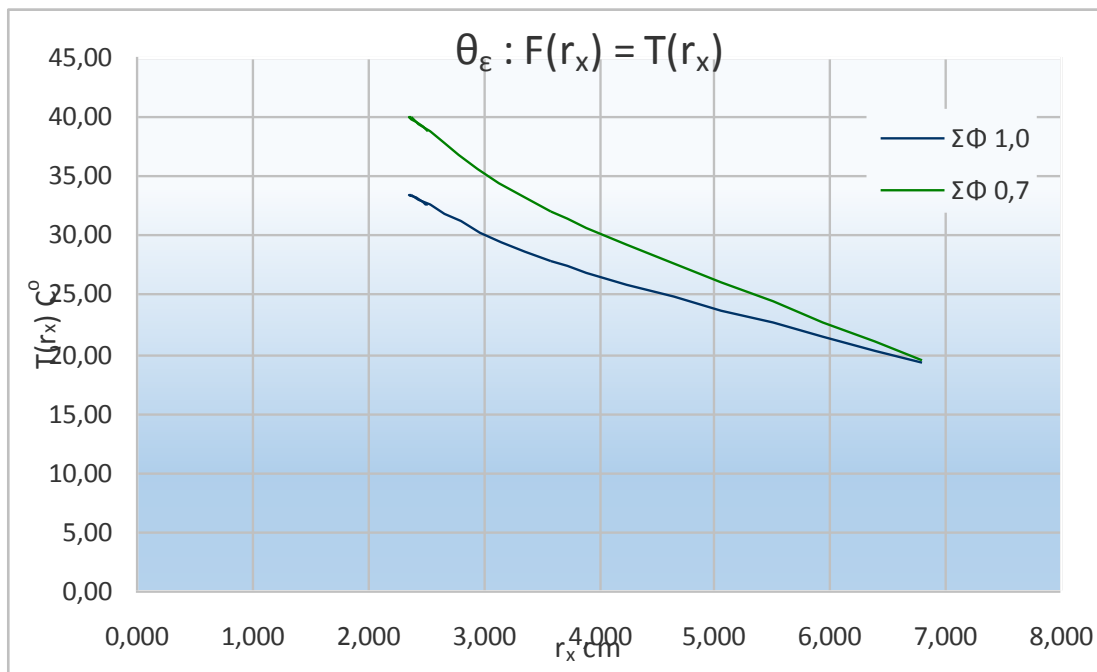
ln(r_a / r₂)= -1,042

r _x (cm)	ln(r _x / r ₂)	Θ _ε (C°)		Θ _θ (C°)	
		Σφ 1,0	Σφ 0,7	Σφ 1,0	Σφ 0,7
		T(r _x) C°			
2,523	-1,042	32,68	38,85	26,08	32,25
2,383	-1,099	33,45	39,96	26,85	33,36
3,575	-0,693	27,97	32,07	21,37	25,47
6,793	-0,051	19,29	19,60	12,69	13,00

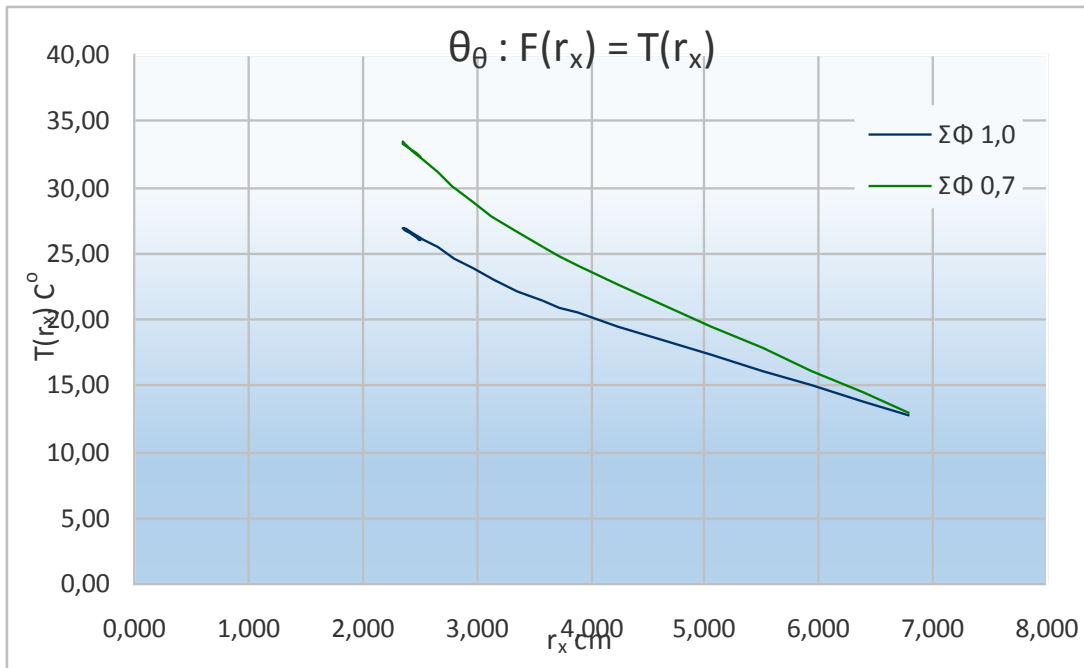
Πίνακας 4.2 Υπολογισμός αναπτυσσόμενης θερμότητας αγωγού τάσης 500 / 290 kV για διατομή 2000mm²



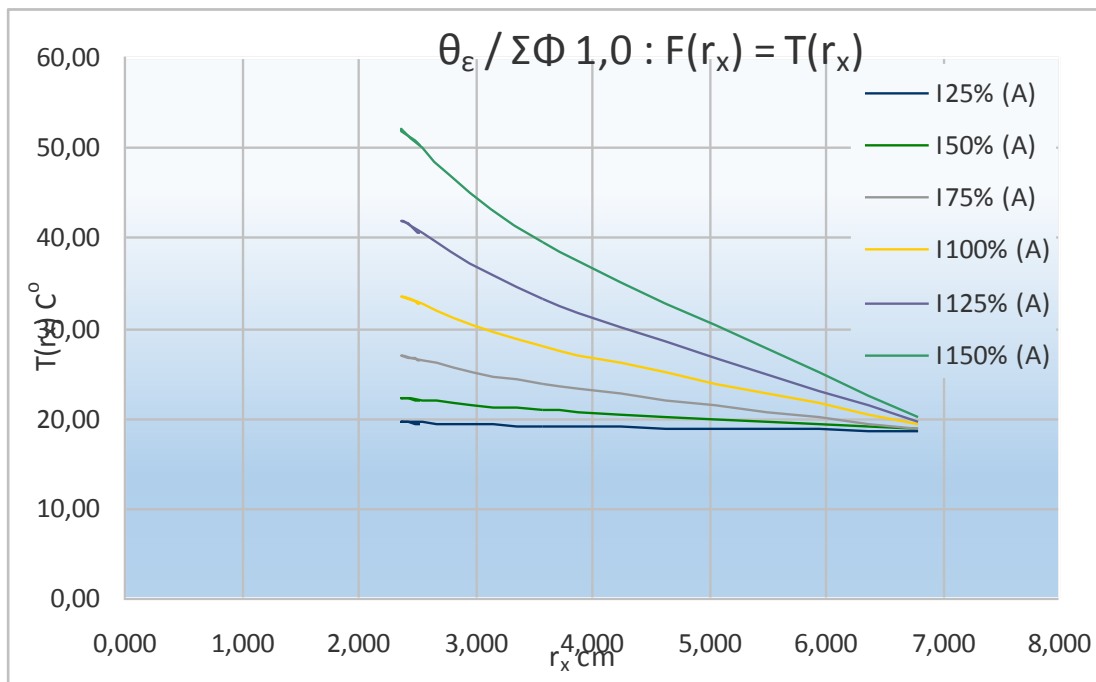
Διάγραμμα 4.1 Διάγραμμα θερμότητας συναρτήσει του χρόνου για συντελεστή φόρτισης 0,7 και 1,0. Διατομή 2000mm²



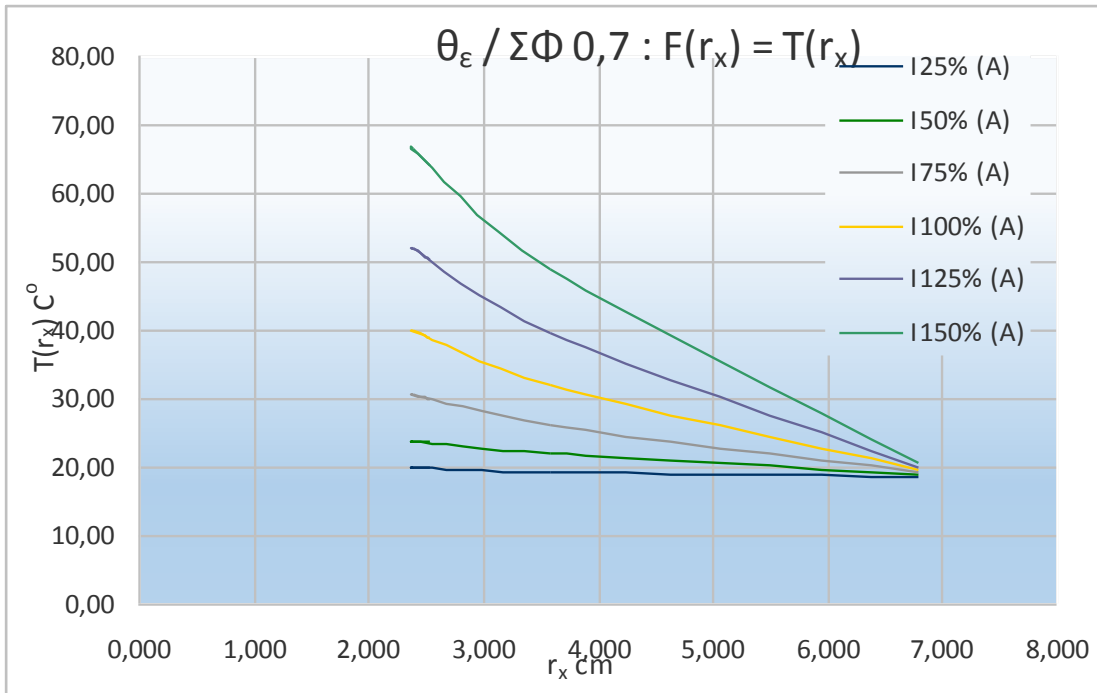
Διάγραμμα 4.2 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στο έδαφος στο 1m βάθος για συντελεστές φόρτισης 0,7 και 1,0. Διατομή 2000mm²



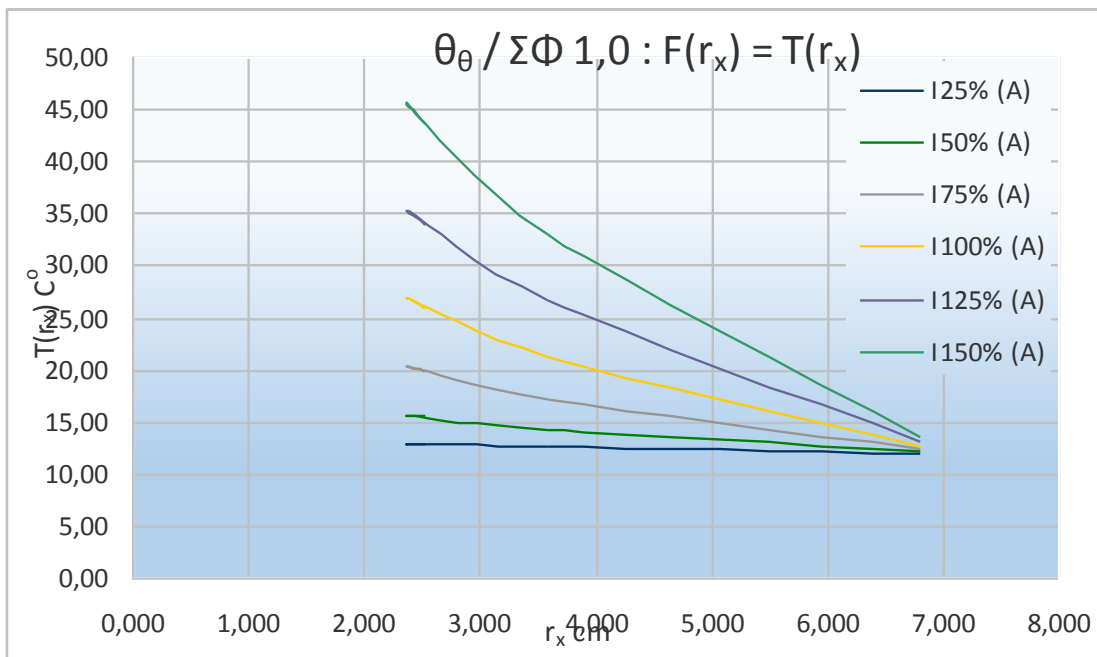
Διάγραμμα 4.3 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στην θάλασσα για τους συντελεστές φόρτισης 0,7 και 1,0. Διατομή 2000mm²



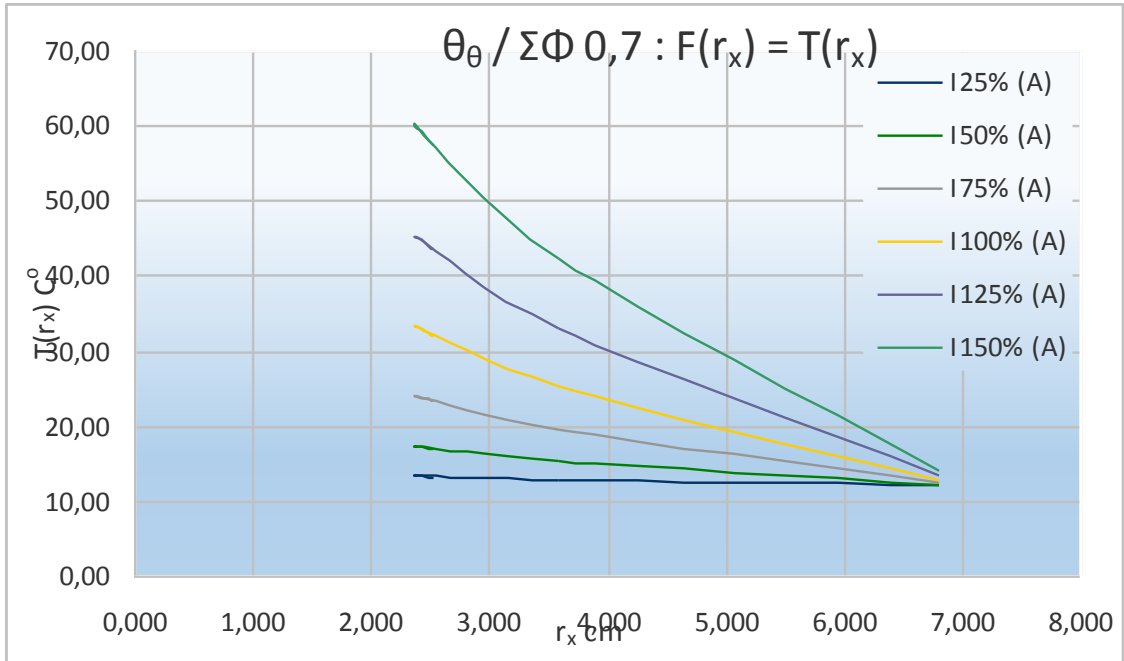
Διάγραμμα 4.4 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στο έδαφος στο 1m βάθος για έξι διαφορετικές τιμές έντασης με συντελεστή φόρτισης 1,0. Διατομή 2000mm²



Διάγραμμα 4.5 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στο έδαφος στο 1m βάθος για έξι διαφορετικές τιμές έντασης με συντελεστή φόρτισης 0,7. Διατομή 2000mm²



Διάγραμμα 4.6 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στη θάλασσα για έξι διαφορετικές τιμές έντασης με συντελεστή φόρτισης 1,0. Διατομή 2000mm²



Διάγραμμα 4.7 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στη θάλασσα για έξι διαφορετικές τιμές έντασης με συντελεστή φόρτισης 0,7. Διατομή 2000mm²

Πίνακας 4.3 Υπολογισμός αναπτυσσόμενης θερμότητας αγωγού τάσης 500 / 290 kV για διατομή 1600mm²

Υπολογίζομαι αναπτυσσόμενης θερμότητας του αγωγού σε διάφορα στάδια φόρτισης.

Πρώτα ορίζονται τα βασικά μου μεγέθη

A Διατομή (mm ²)=	1600	Εξωτ. Διαμ. (mm)=	135	Θ _ε (C°)=	18,6	Θ _θ (C°)=	12
A Διατομή (cm ²)=	16	r _a (cm)=	2,257	r ₂ (cm)=	6,75		
U Περιμετ. (cm)=	14,179	Σταθ. Μετάδ. α =	10	W/(m ² *K)			
		Σταθ. Μετάδ. α =	0,001	W/(cm ² *K)			
		Συν/στής φόρτισης	1	0,7			

Υπολογίζεται η θερμοκρασία υπερθέρμανσης συναρτήσει του χρόνου

I (A) =	1440	1718
---------	------	------

$$\Delta\theta = \frac{\rho^*A}{\alpha^*U} * (I/A)^2 * (1-e^{-1/t})$$

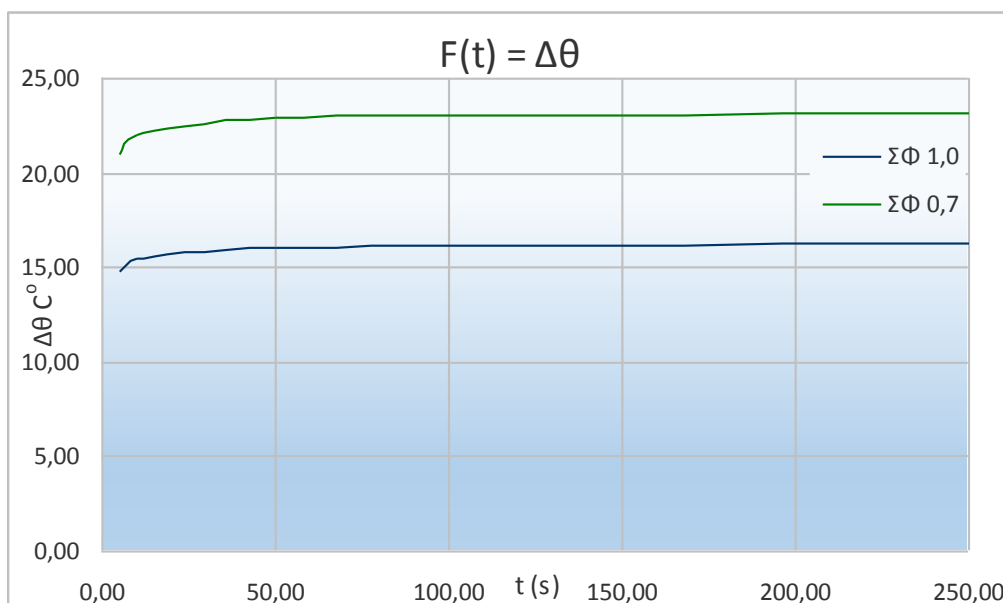
ΔΘdt					ΔΘ C°	
t (s)	ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7	1/t	(1-e ^{-1/t})	ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7
5,00	2,95	4,20	0,2	0,181	14,75	20,99
10,00	1,55	2,20	0,1	0,095	15,48	22,04
50,00	0,32	0,46	0,02	0,020	16,11	22,93
250,00	0,06	0,09	0,004	0,004	16,24	23,11

Η θερμοκρασία μετάδοσης που αναπτύσσεται

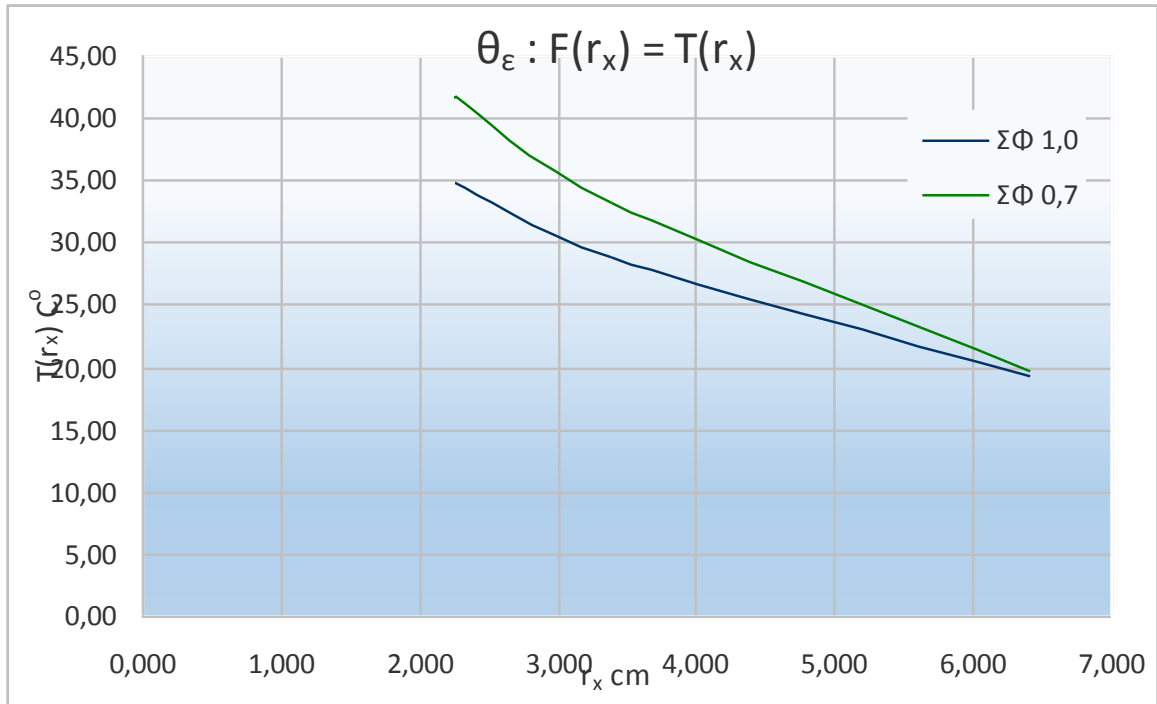
$$T(r_x) = \frac{\Delta\theta}{\ln(r_a / r_2)} * \ln(r_x / r_2) + \theta_{\epsilon/\theta}$$

ln(r_a / r₂) = -1,096

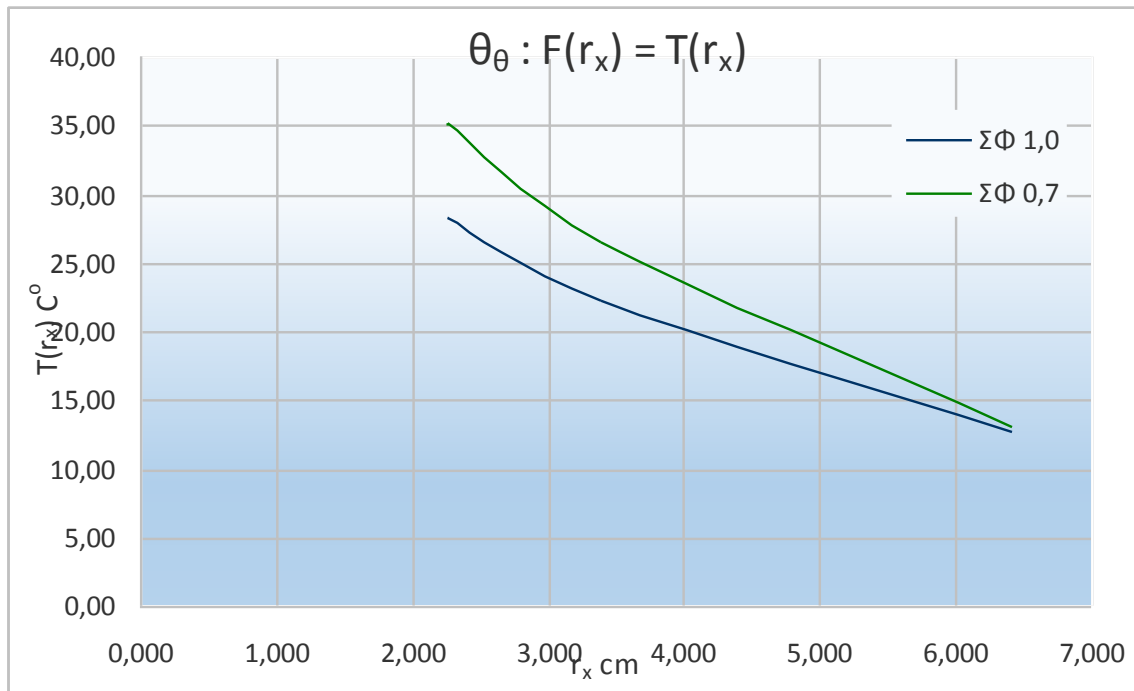
r _x (cm)	ln(r _x / r ₂)	Θ _ε (C°)		Θ _θ (C°)	
		ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7	ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7
2,257	-1,096	34,84	41,71	28,24	35,11
2,250	-1,099	34,88	41,77	28,28	35,17
3,375	-0,693	28,87	33,22	22,27	26,62
6,413	-0,051	19,36	19,68	12,76	13,08



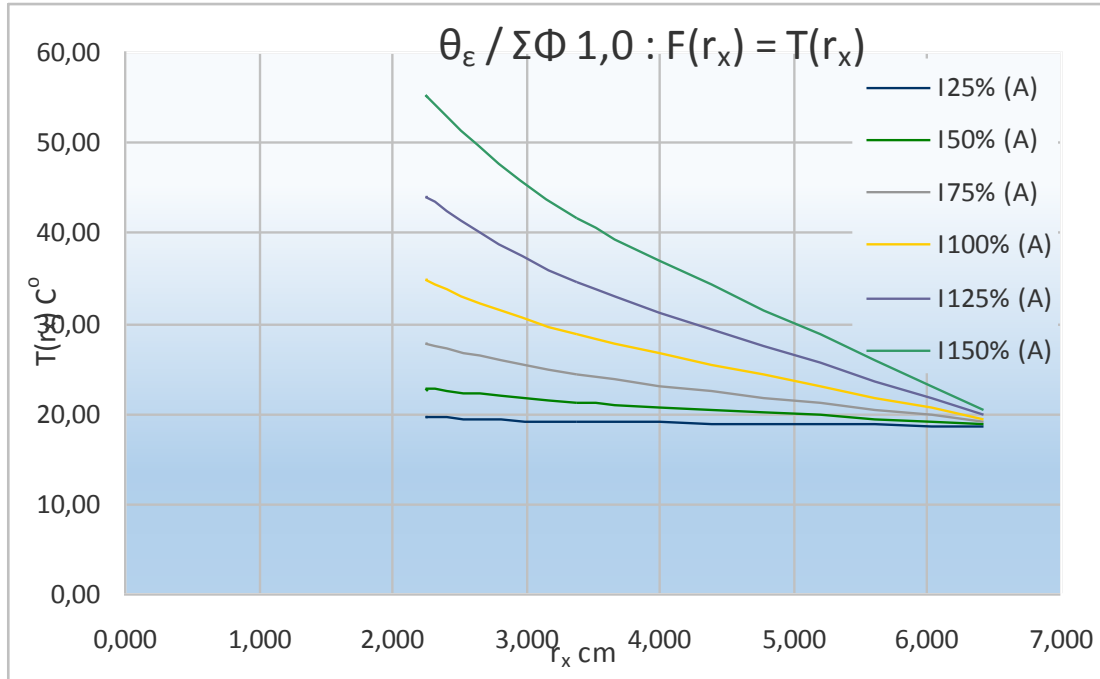
Διάγραμμα 4.8 Διάγραμμα θερμότητας συναρτήσει του χρόνου για συντελεστή φόρτισης 0,7 και 1,0. Διατομή 1600mm²



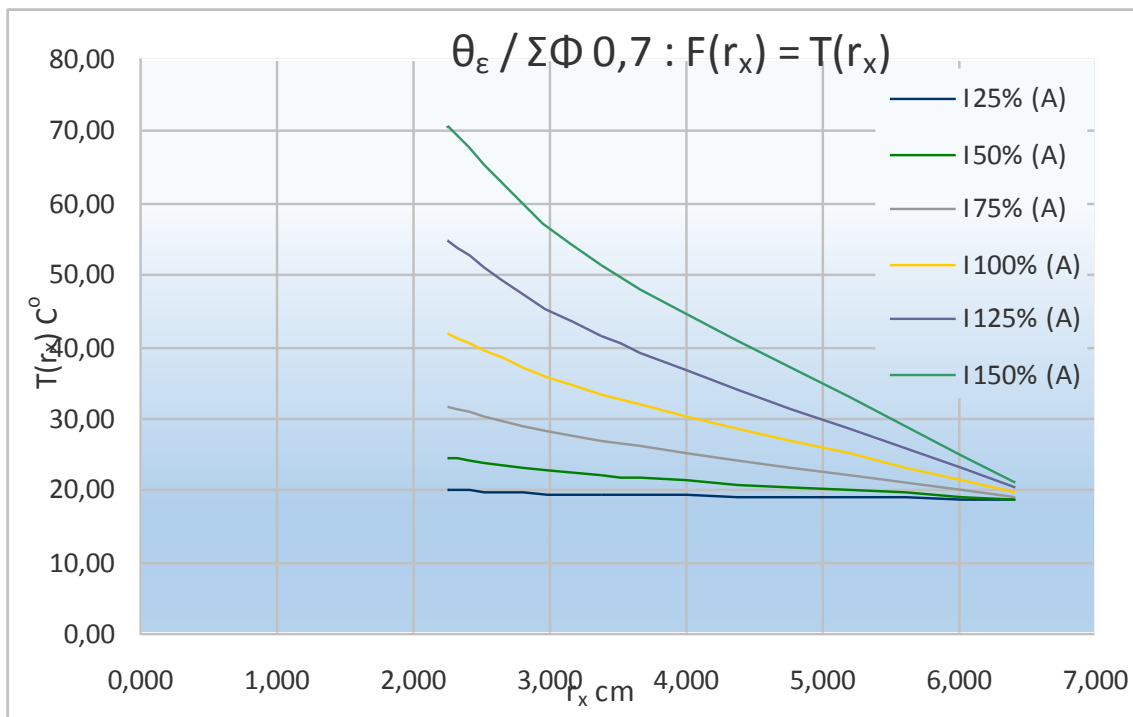
Διάγραμμα 4.9 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στο έδαφος στο 1m βάθος για συντελεστές φόρτισης 0,7 και 1,0. Διατομή 1600mm²



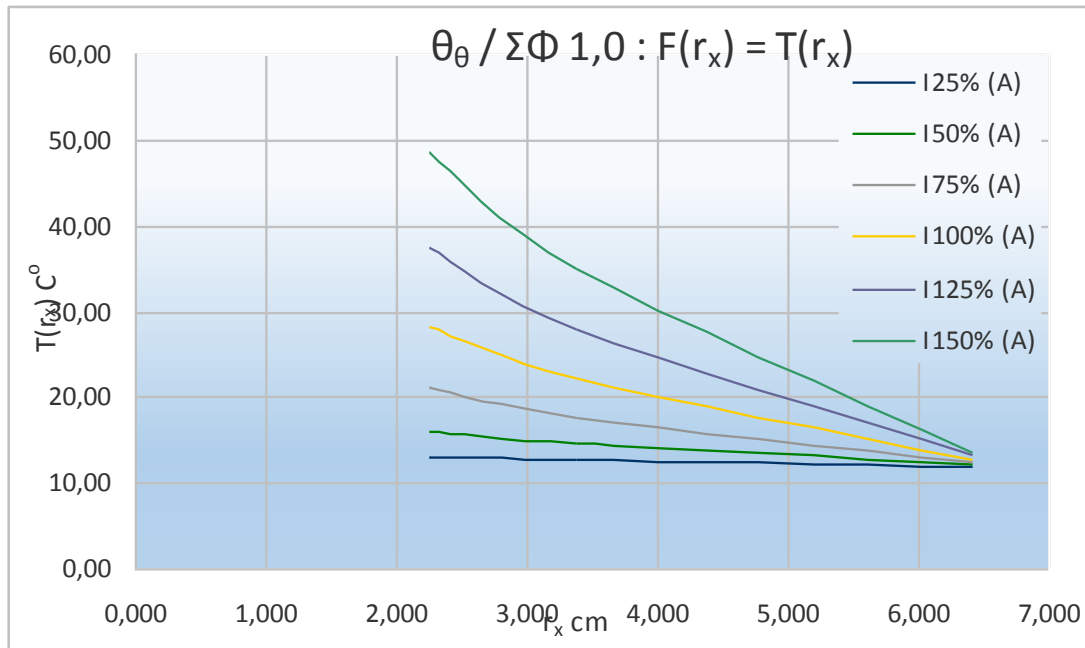
Διάγραμμα 4.10 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στην θάλασσα για τους συντελεστές φόρτισης 0,7 και 1,0. Διατομή 1600mm²



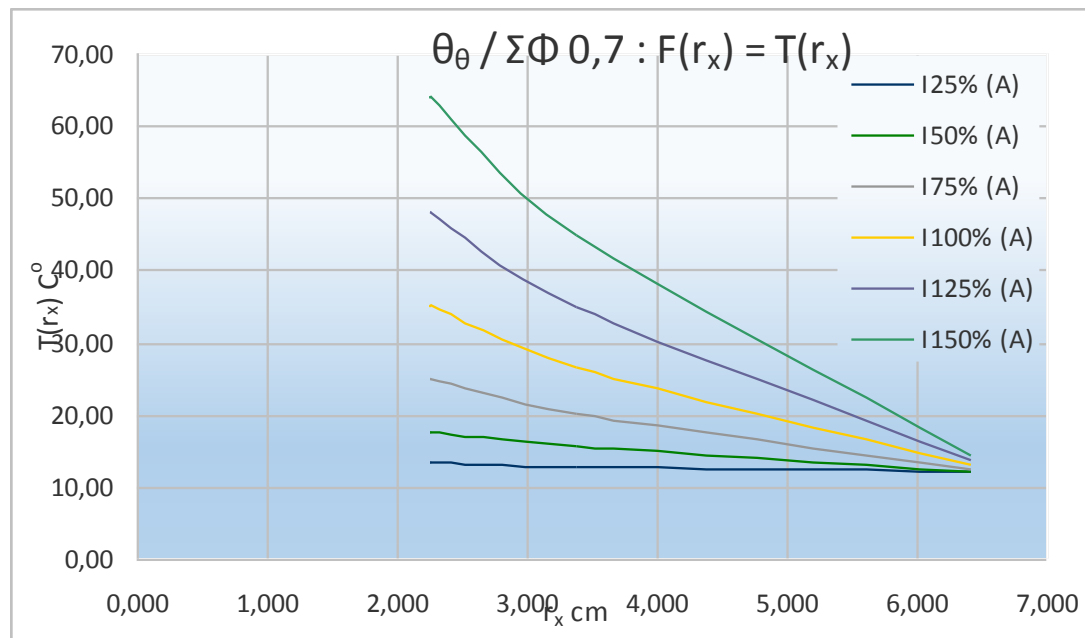
Διάγραμμα 4.11 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στο έδαφος στο 1m βάθος για έξι διαφορετικές τιμές έντασης με συντελεστή φόρτισης 1,0. Διατομή 1600mm²



Διάγραμμα 4.12 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στο έδαφος στο 1m βάθος για έξι διαφορετικές τιμές έντασης με συντελεστή φόρτισης 0,7. Διατομή 1600mm²



Διάγραμμα 4.13 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στη θάλασσα για έξι διαφορετικές τιμές έντασης με συντελεστή φόρτισης 1,0. Διατομή 1600mm²



Διάγραμμα 4.14 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στη θάλασσα για έξι διαφορετικές τιμές έντασης με συντελεστή φόρτισης 0,7. Διατομή 1600mm²

4.2.2 Αγωγός τάσης 400 / 230 kV με μόνωση XLPE

Σύμφωνα με τον κατασκευαστή του αγωγού η χαρακτηριστικές τιμές της έντασης σύμφωνα για διάφορες διατομές είναι :

Copper conductor cross-section		Outer diameter approx. mm	Buried in soil 0.7 A	Buried in soil 1.0 A
mm ²	kcmil			
500	1000	113	912	788
630	1250	114	1049	900
800	1600	115	1199	1020
1000	2000	118	1416	1195
1200	2400	122	1534	1290
1400	2750	123	1665	1394
1600	3200	128	1767	1477
2000	4000	135	1956	1628
2500	5000	136	2190	1804

Πίνακας 4.4 Χαρακτηριστικά αγωγού τάσης 400 / 230 kV με μόνωση XLPE

Υπολογίζμος αναπτυσσόμενης θερμότητας του αγωγού σε διάφορα στάδια φόρτισης.

Πρώτα ορίζονται τα βασικά μου μεγέθη

A Διατομή (mm ²)=	1400	Εξωτ. Διαμ. (mm)=	123	Θ _ε (C°) =	18,6	Θ _θ (C°) =	12
A Διατομή (cm ²) =	14	r _a (cm) =	2,111	r ₂ (cm) =	6,15		
U Περιμετ. (cm)=	13,264	Σταθ. Μετάδ. α =	10	W/(m ² *K)			
		Σταθ. Μετάδ. α =	0,001	W/(cm ² *K)			
		Συν/στής φόρτισης	1	0,7			
Υπολογίζεται η θερμοκρασία υπερθέρμανσης συναρτήσει του χρόνου		I (A) =	1394	1665			

$$\Delta\theta = \frac{\rho \cdot A}{\alpha \cdot U} \cdot (I/A)^2 \cdot (1 - e^{-1/t})$$

Δθdt					Δθ C°	
t (s)	ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7	1/t	(1-e ^{-1/t})	ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7
5,00	3,38	4,82	0,2	0,181	16,88	24,09
10,00	1,77	2,53	0,1	0,095	17,73	25,29
50,00	0,37	0,53	0,02	0,020	18,44	26,31
250,00	0,07	0,11	0,004	0,004	18,59	26,52

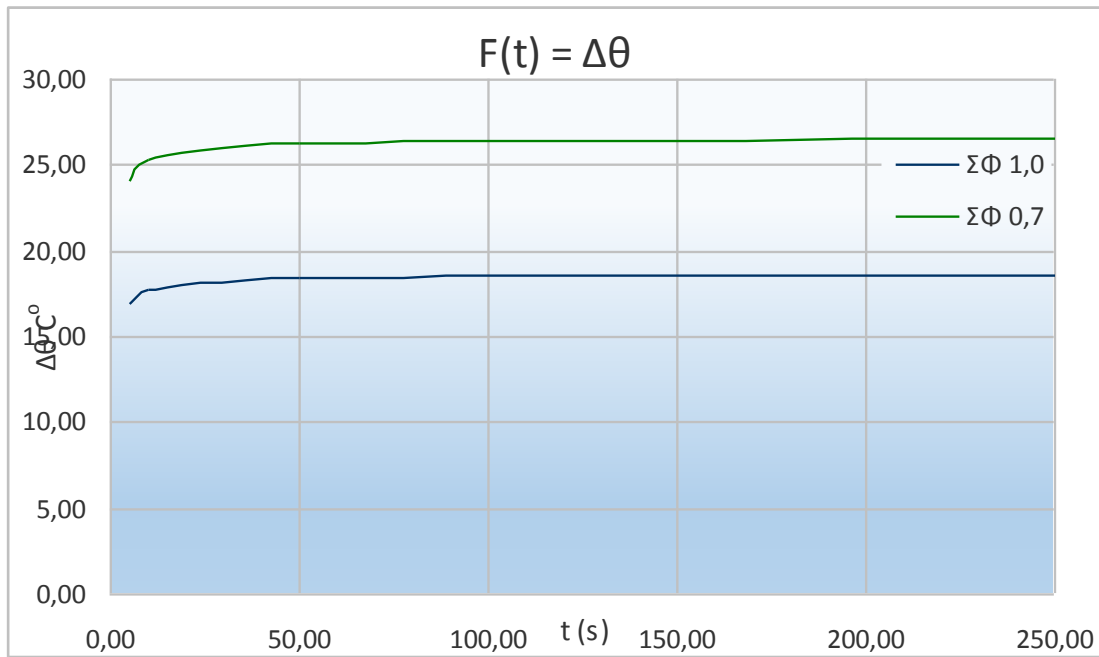
Η θερμοκρασία μετάδοσης που αναπτύσσεται

$$T(r_x) = \frac{\Delta\theta}{\ln(r_a / r_2)} \cdot \ln(r_x / r_2) + \theta_{\epsilon/\theta}$$

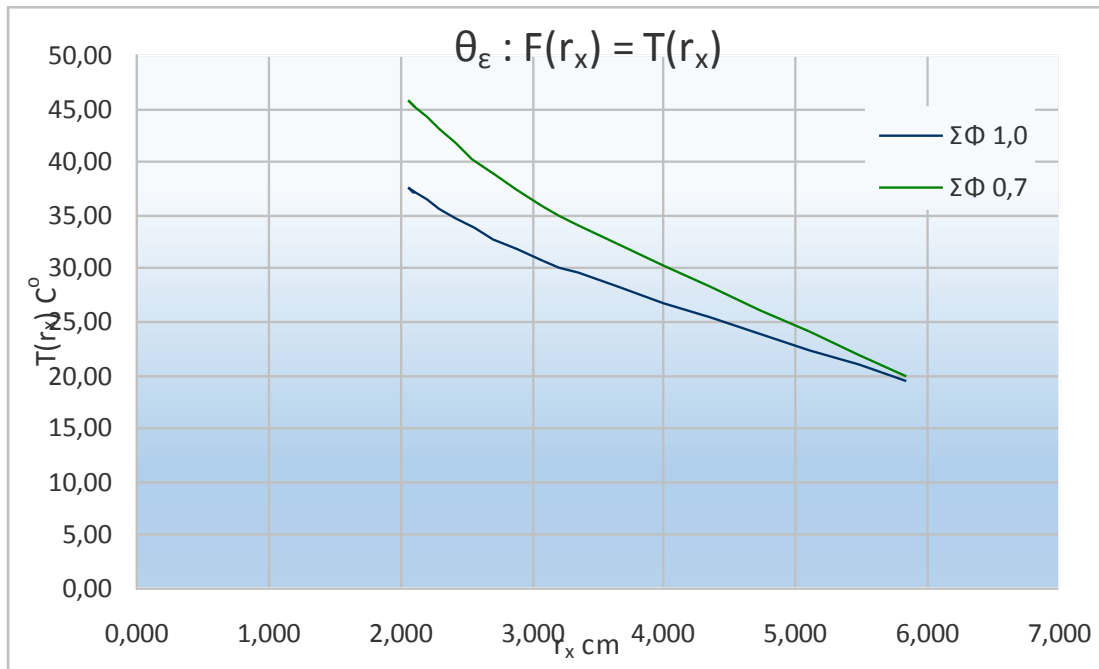
ln(r_a / r₂) = -1,069

r _x (cm)	ln(r _x / r ₂)	Θ _ε (C°)		Θ _θ (C°)	
		ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7	ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7
2,111	-1,069	37,19	45,12	30,59	38,52
2,050	-1,099	37,70	45,85	31,10	39,25
3,075	-0,693	30,65	35,79	24,05	29,19
5,843	-0,051	19,49	19,87	12,89	13,27

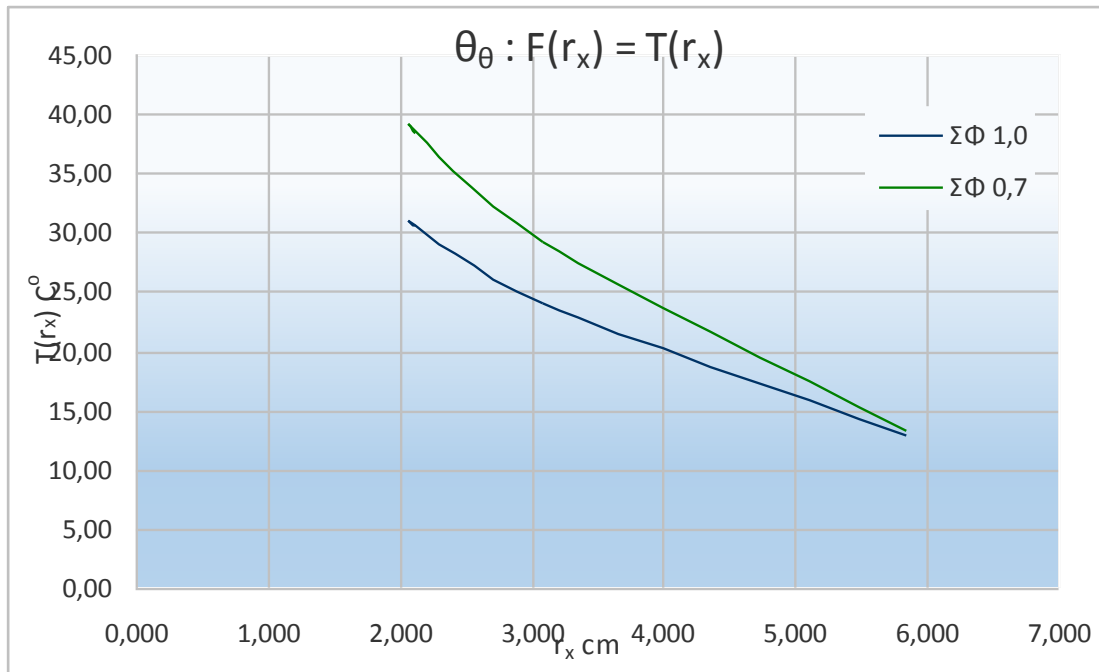
Πίνακας 4.5 Υπολογισμός αναπτυσσόμενης θερμότητας αγωγού τάσης 400 / 230 kV για διατομή 1400mm²



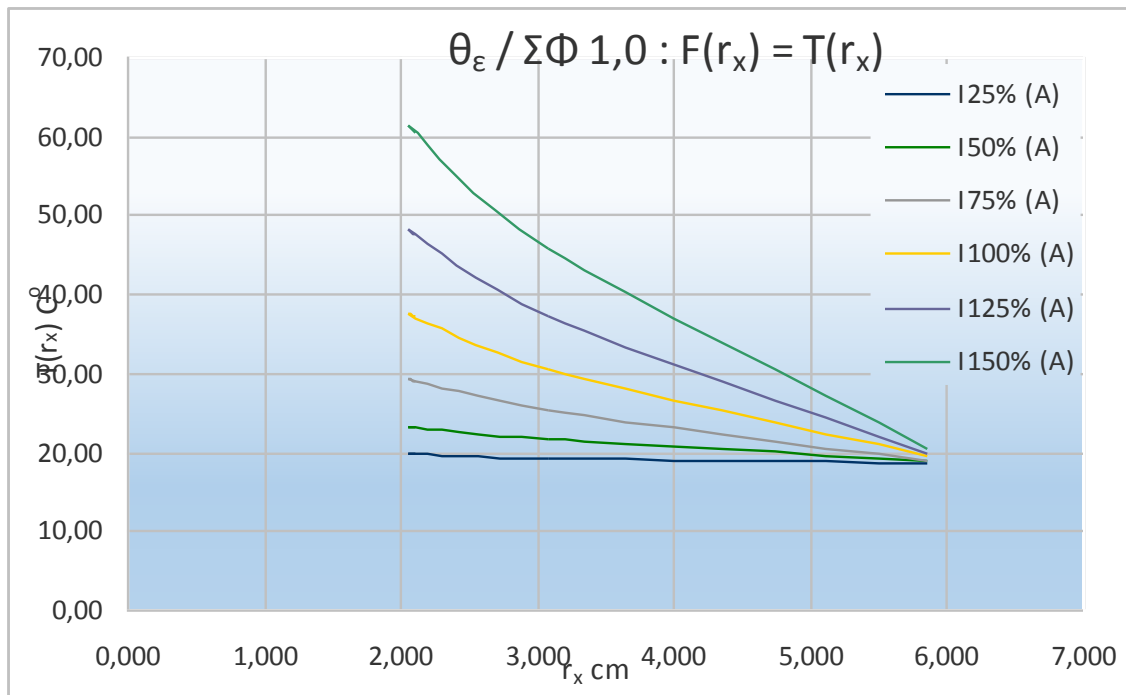
Διάγραμμα 4.15 Διάγραμμα θερμότητας συναρτήσει του χρόνου για συντελεστή φόρτισης 0,7 και 1,0. Διατομή 1400mm²



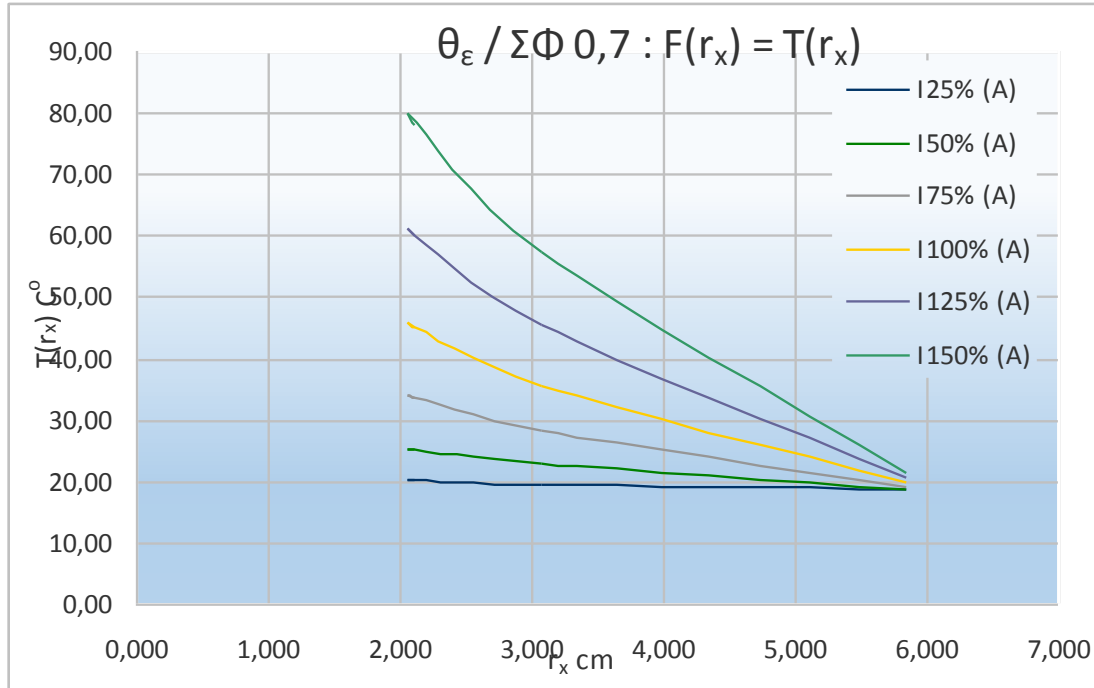
Διάγραμμα 4.16 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στο έδαφος στο 1m βάθος για συντελεστές φόρτισης 0,7 και 1,0. Διατομή 1400mm²



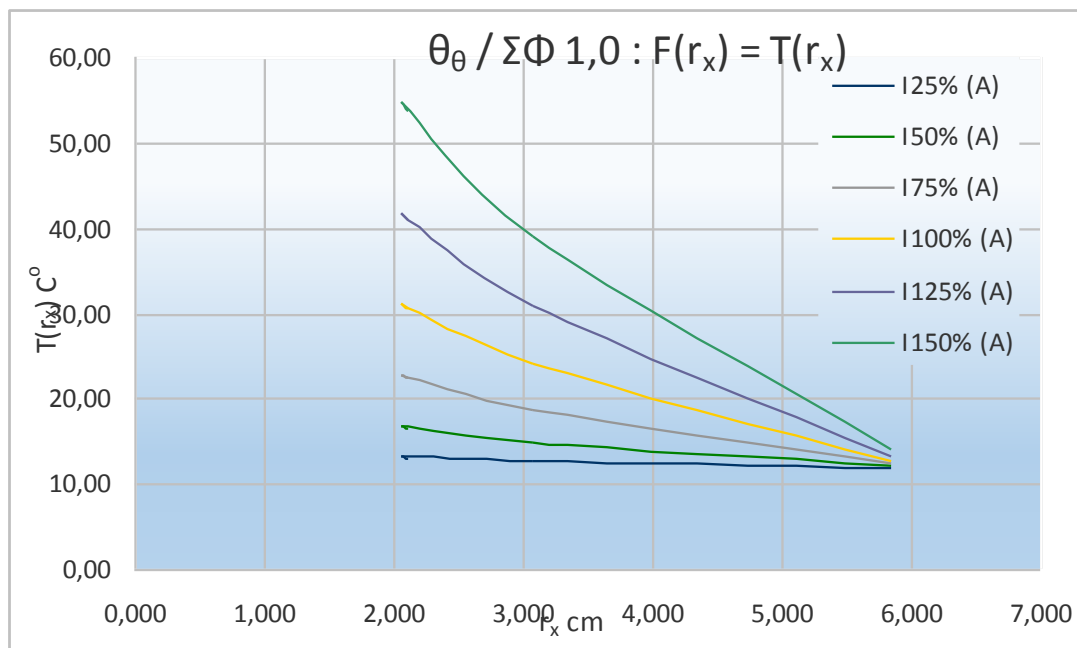
Διάγραμμα 4.17 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στην θάλασσα για τους συντελεστές φόρτισης 0,7 και 1,0. Διατομή 1400mm²



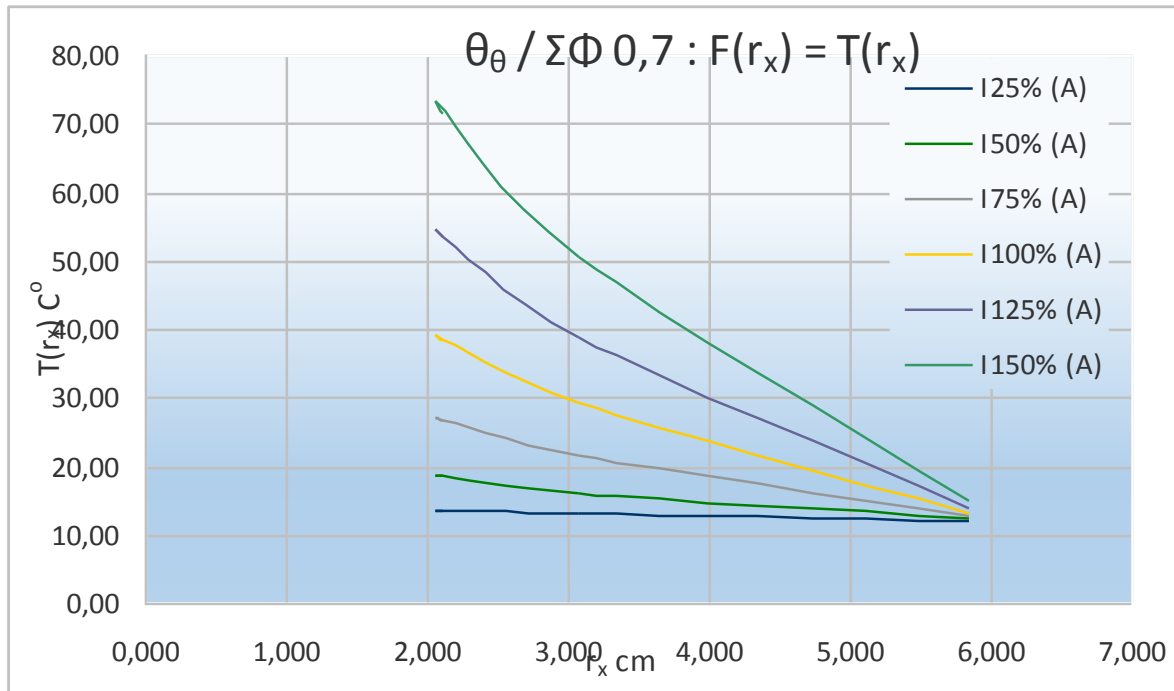
Διάγραμμα 4.18 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στο έδαφος στο 1m βάθος για έξι διαφορετικές τιμές έντασης με συντελεστή φόρτισης 1,0. Διατομή 1400mm²



Διάγραμμα 4.19 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στο έδαφος στο 1m βάθος για έξι διαφορετικές τιμές έντασης με συντελεστή φόρτισης 0,7. Διατομή 1400mm²



Διάγραμμα 4.20 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στη θάλασσα για έξι διαφορετικές τιμές έντασης με συντελεστή φόρτισης 1,0. Διατομή 1400mm²



Διάγραμμα 4.21 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στη θάλασσα για έξι διαφορετικές τιμές έντασης με συντελεστή φόρτισης 0,7. Διατομή 1400mm²

Πίνακας 4.6 Υπολογισμός αναπτυσσόμενης θερμότητας για διατομή 1200mm²

Υπολογίζω αναπτυσσόμενη θερμότητα του αγωγού σε διάφορα στάδια φόρτισης.

Πρώτα ορίζονται τα βασικά μου μεγέθη

A Διατομή (mm ²)=	1200	Εξωτ. Διαμ. (mm)=	122	Θ _ε (C°)=	18,6	Θ _β (C°)=	12
A Διατομή (cm ²)=	12	r _a (cm)=	1,954	r ₂ (cm)=	6,1		
U Περίμετ. (cm)=	12,280	Σταθ. Μετάδ. α =	10	W/(m ² *K)			
		Σταθ. Μετάδ. α =	0,001	W/(cm ² *K)			
		Συν/στής φόρτισης	1	0,7			

Υπολογίζεται η θερμοκρασία υπερθέρμανσης συναρτήσει του χρόνου

I (A) =	1290	1534
---------	------	------

$$\Delta\theta = \frac{\rho \cdot A}{\alpha \cdot U} \cdot (I/A)^2 \cdot (1 - e^{-1/t})$$

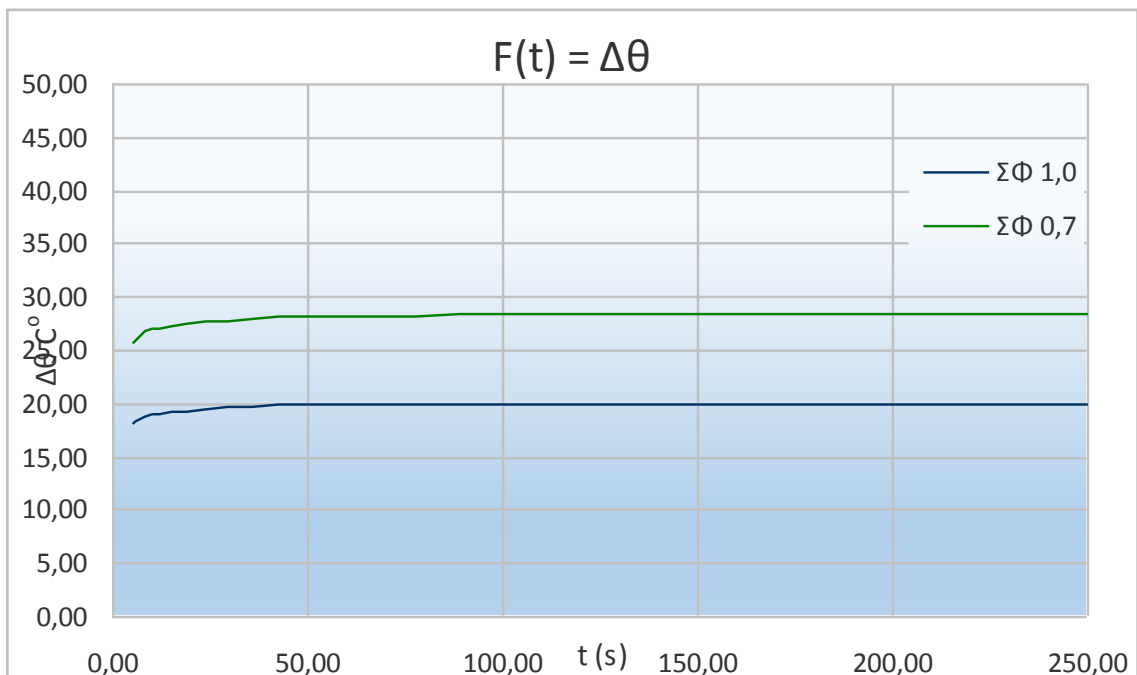
Δθdt					Δθ C°	
t (s)	ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7	1/t	(1-e ^{-1/t})	ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7
5,00	3,64	5,15	0,2	0,181	18,22	25,76
10,00	1,91	2,70	0,1	0,095	19,13	27,05
50,00	0,40	0,56	0,02	0,020	19,90	28,14
250,00	0,08	0,11	0,004	0,004	20,06	28,37

Η θερμοκρασία μετάδοσης που αναπτύσσεται

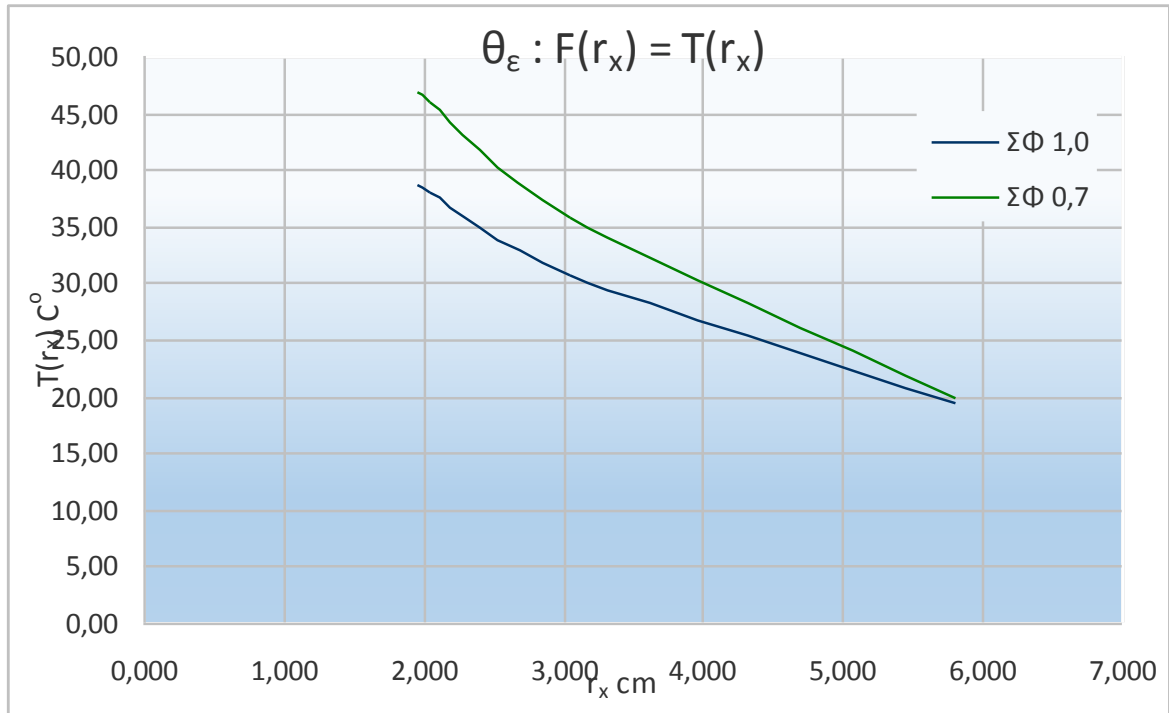
$$T_{(rx)} = \frac{\Delta\theta}{\ln(r_a / r_2)} \cdot \ln(r_x / r_2) + \theta_{ε/θ}$$

$\ln(r_a / r_2) = -1,138$

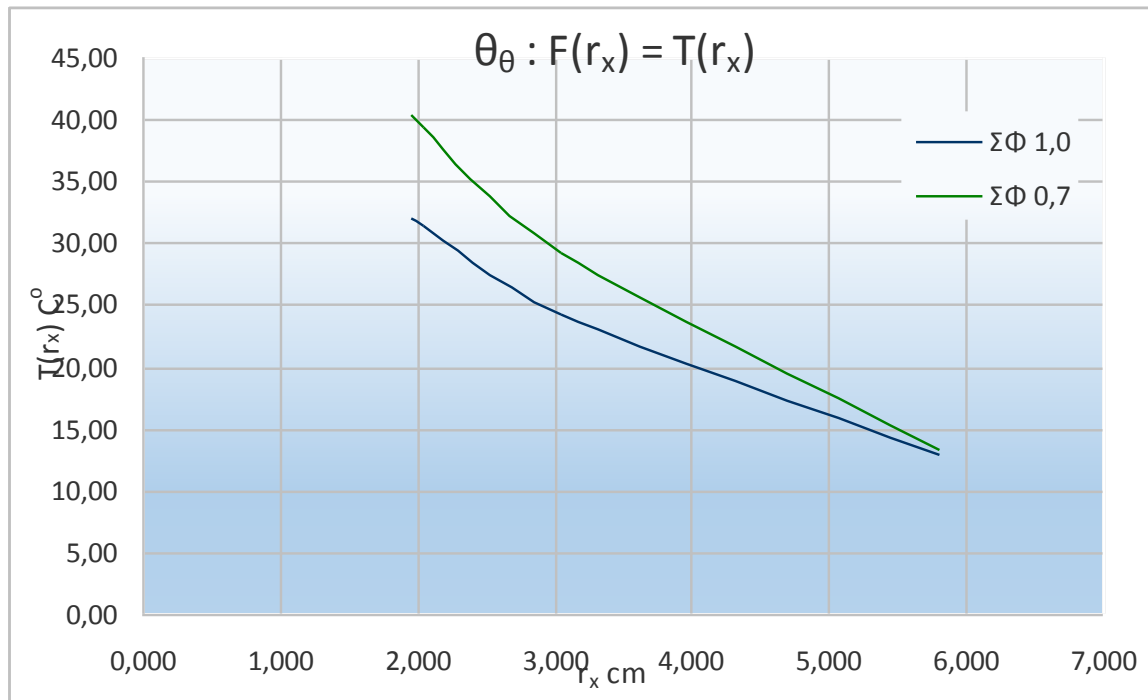
r _x (cm)	ln(r _x / r ₂)	Θ _ε (C°)		Θ _β (C°)	
		ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7	ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7
1,954	-1,138	38,66	46,97	32,06	40,37
2,033	-1,099	37,96	45,98	31,36	39,38
3,050	-0,693	30,82	35,88	24,22	29,28
5,795	-0,051	19,50	19,88	12,90	13,28



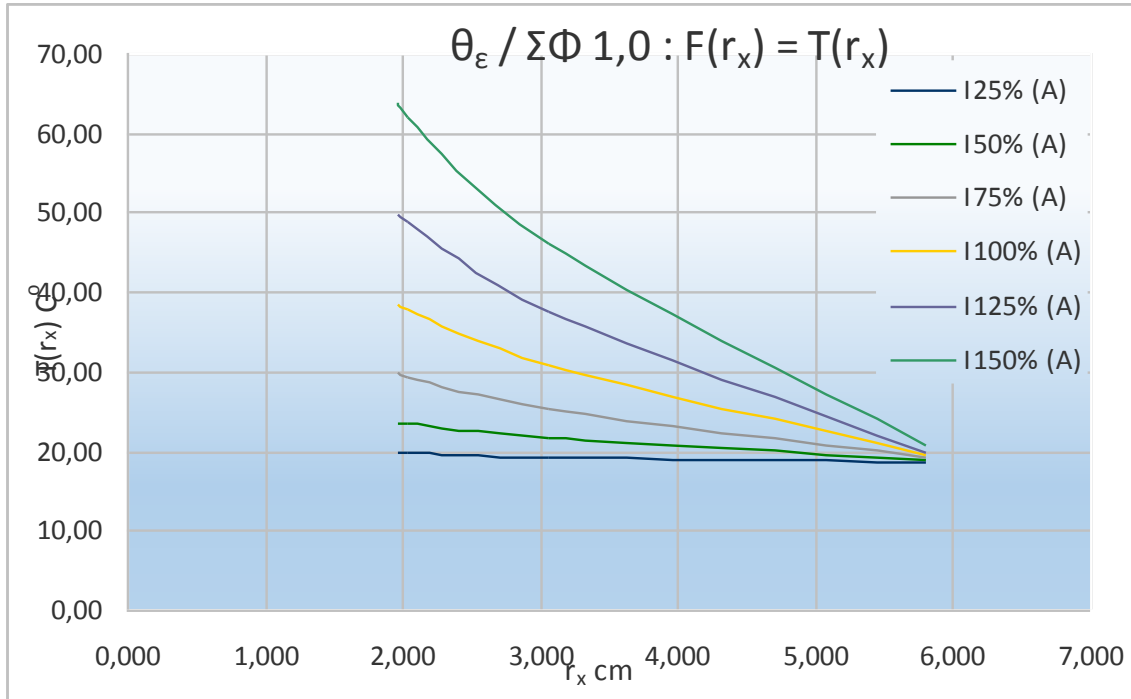
Διάγραμμα 4.22 Διάγραμμα θερμότητας συναρτήσει του χρόνου για συντελεστή φόρτισης 0,7 και 1,0. Διατομή 1200mm²



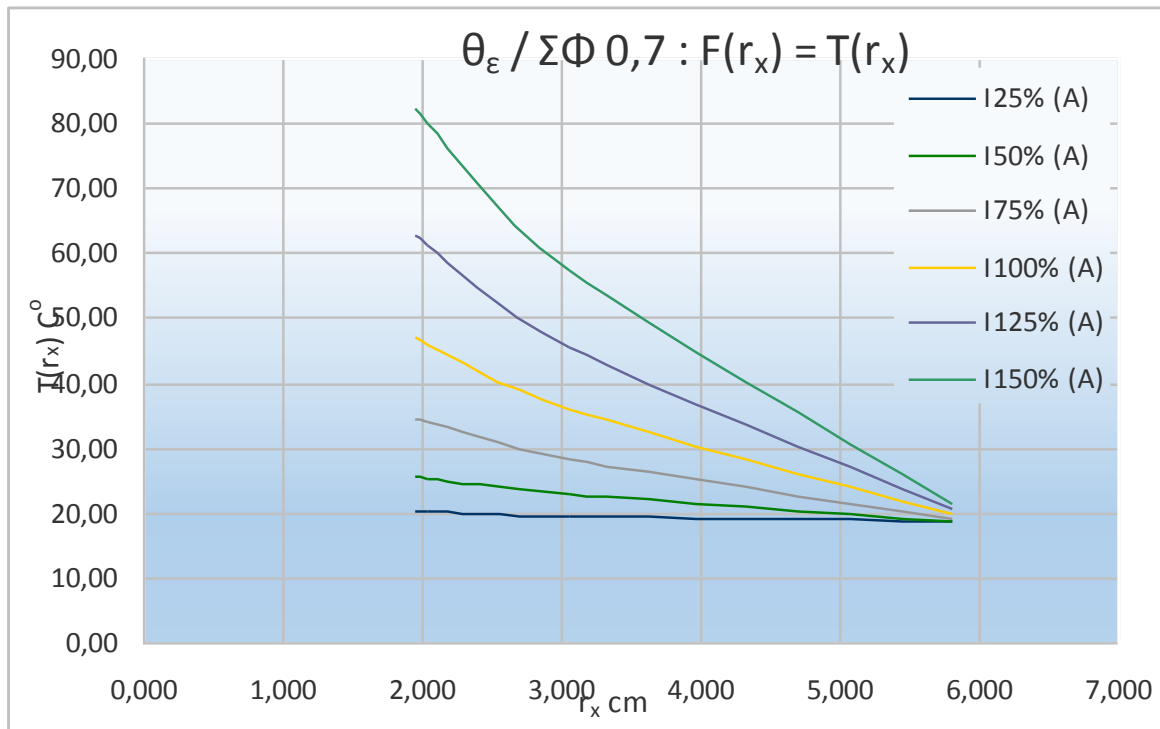
Διάγραμμα 4.23 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στο έδαφος στο 1m βάθος για συντελεστές φόρτισης 0,7 και 1,0. Διατομή 1200mm²



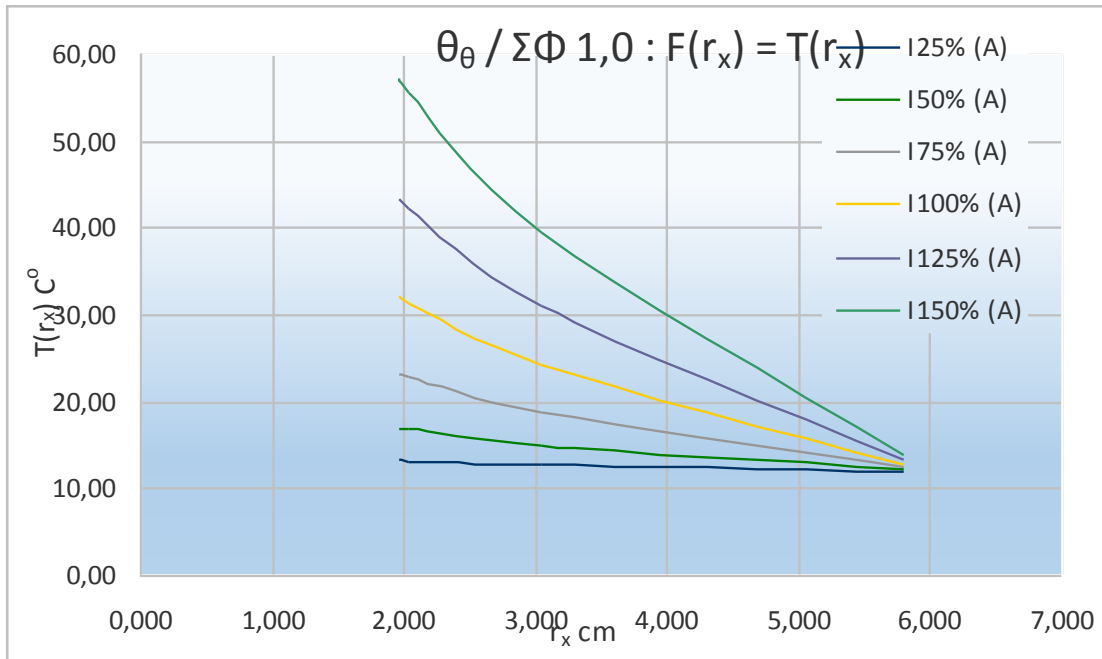
Διάγραμμα 4.24 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στην θάλασσα για τους συντελεστές φόρτισης 0,7 και 1,0. Διατομή 1200mm²



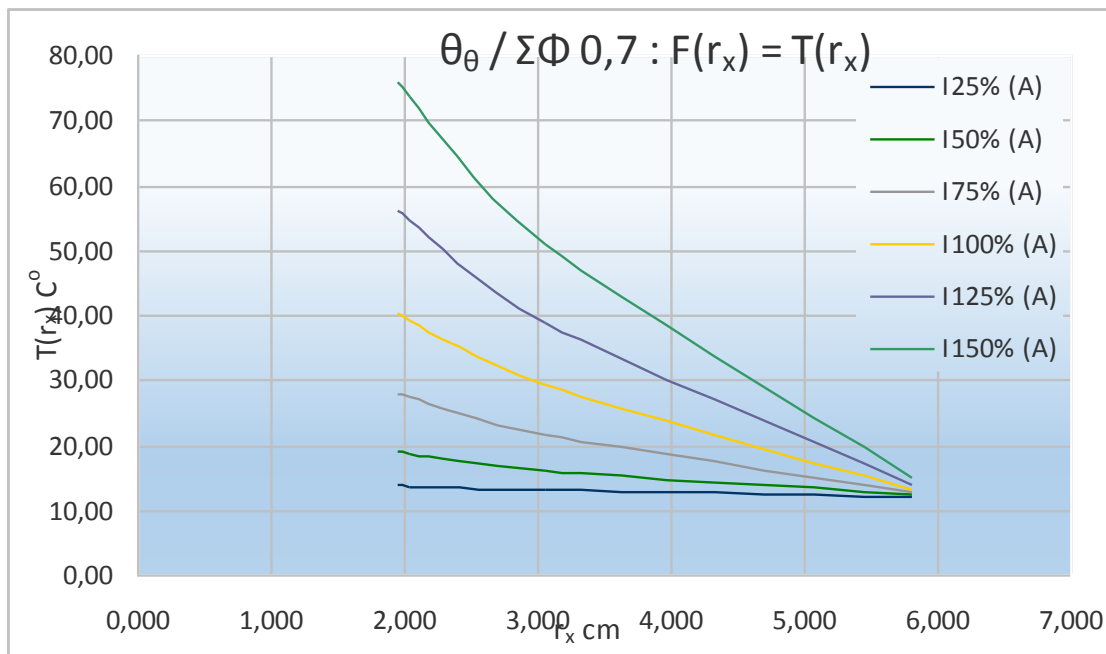
Διάγραμμα 4.25 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στο έδαφος στο 1m βάθος για έξι διαφορετικές τιμές έντασης με συντελεστή φόρτισης 1,0. Διατομή 12600mm²



Διάγραμμα 4.26 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στο έδαφος στο 1m βάθος για έξι διαφορετικές τιμές έντασης με συντελεστή φόρτισης 0,7. Διατομή 1200mm²



Διάγραμμα 4.27 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στη θάλασσα για έξι διαφορετικές τιμές έντασης με συντελεστή φόρτισης 1,0. Διατομή 1200mm²



Διάγραμμα 4.28 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στη θάλασσα για έξι διαφορετικές τιμές έντασης με συντελεστή φόρτισης 0,7. Διατομή 1200mm²

4.2.3 Αγωγός τάσης 345 / 200 kV με μόνωση XLPE

Σύμφωνα με τον κατασκευαστή του αγωγού η χαρακτηριστικές τιμές της έντασης σύμφωνα για διάφορες διατομές είναι :

Copper conductor cross-section		Outer diameter approx. mm	Buried in soil 0.7 A	Buried in soil 1.0 A
mm ²	kcmil		0.7 A	1.0 A
500	1000	113	918	793
630	1250	114	1056	906
800	1600	115	1208	1027
1000	2000	118	1427	1205
1200	2400	122	1547	1301
1400	2750	123	1680	1407
1600	3200	128	1783	1491
2000	4000	135	1975	1643
2500	5000	136	2214	1825

Πίνακας 4.7 Χαρακτηριστικά αγωγού τάσης 345 / 200 kV με μόνωση XLPE

Υπολογίζομαι αναπτυσσόμενης θερμότητας του αγωγού σε διάφορα στάδια φόρτισης.

Πρώτα ορίζονται τα βασικά μου μεγέθη

A Διατομή (mm ²)=	1000	Εξωτ. Διαμ.(mm)=	118	Θ _ε (C°) =	18,6	Θ _θ (C°) =	12
A Διατομή (cm ²) =	10	r _a (cm) =	1,784	r ₂ (cm) =	5,9		
U Περίμετ. (cm)=	11,210	Σταθ. Μετάδ. α =	10	W/(m ² *K)			
		Σταθ. Μετάδ. α =	0,001	W/(cm ² *K)			
		Συν/στής φόρτισης	1	0,7			
Υπολογίζεται η θερμοκρασία υπερθέρμανσης συναρτήσει του χρόνου		I (A) =	1205	1427			

$$\Delta\theta = \frac{\rho \cdot A}{\sigma \cdot U} \cdot (I/A)^2 \cdot (1 - e^{-1/t})$$

t (s)	ΔΘdt		1/t	(1-e ^{-1/t})	ΔΘ C°	
	ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7			ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7
5,00	4,18	5,86	0,2	0,181	20,90	29,31
10,00	2,19	3,08	0,1	0,095	21,94	30,77
50,00	0,46	0,64	0,02	0,020	22,83	32,01
250,00	0,09	0,13	0,004	0,004	23,01	32,27

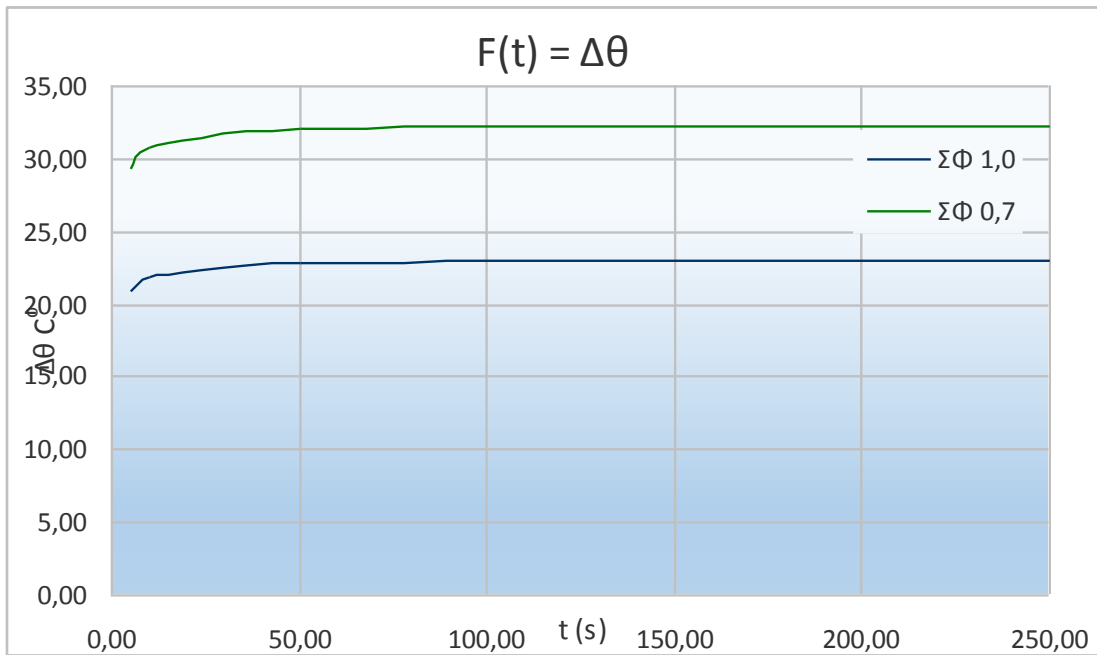
Η θερμοκρασία μετάδοσης που αναπτύσσεται

$$T(r_x) = \frac{\Delta\theta}{\ln(r_a / r_2)} \cdot \ln(r_x / r_2) + \theta_{\epsilon/\theta}$$

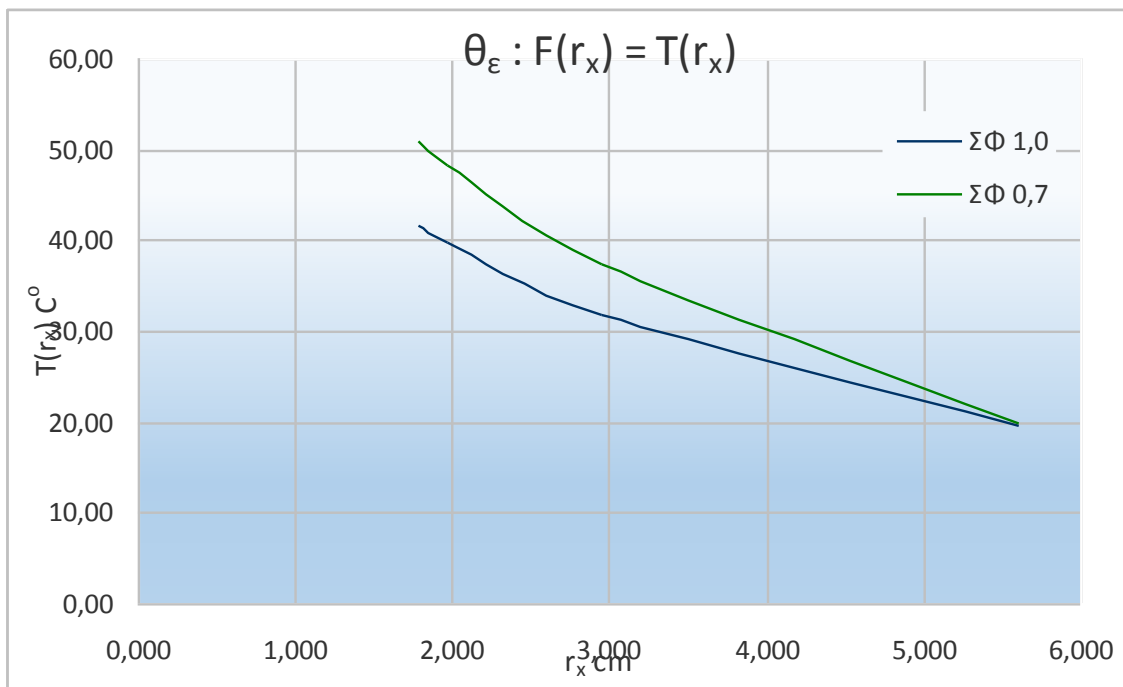
ln(r_a / r₂) = -1,196

r _x (cm)	ln(r _x / r ₂)	Θ _ε (C°)		Θ _θ (C°)	
		ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7	ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7
1,784	-1,196	41,61	50,87	35,01	44,27
1,967	-1,099	39,74	48,24	33,14	41,64
2,950	-0,693	31,94	37,30	25,34	30,70
5,605	-0,051	19,59	19,98	12,99	13,38

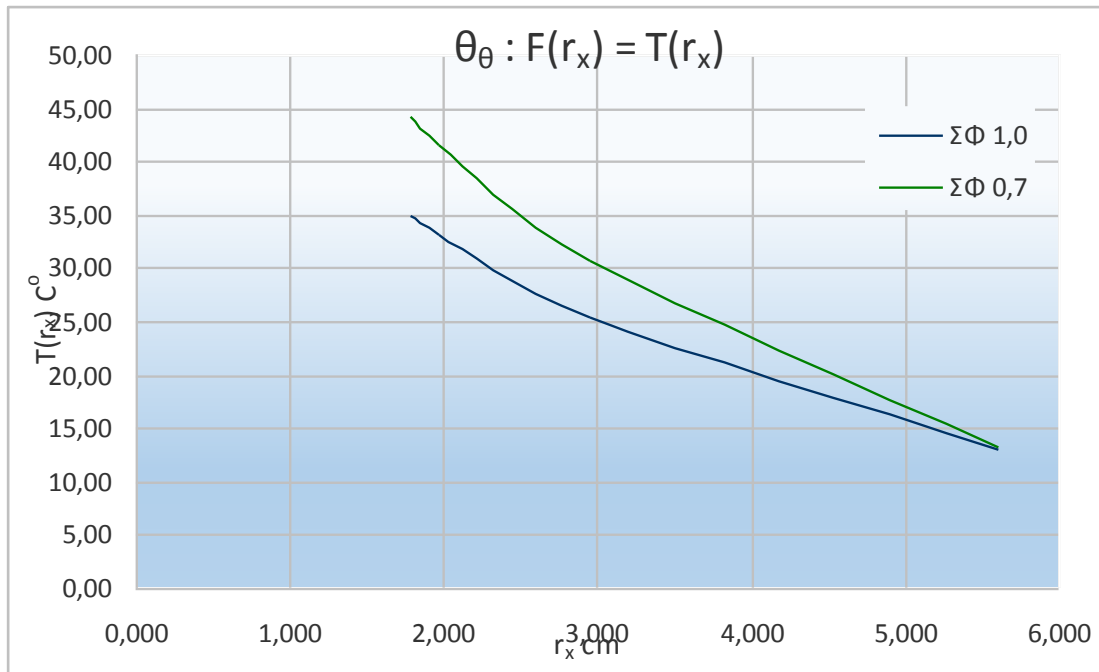
Πίνακας 4.8 Υπολογισμός αναπτυσσόμενης θερμότητας αγωγού τάσης 345 / 200 kV για διατομή 1000mm²



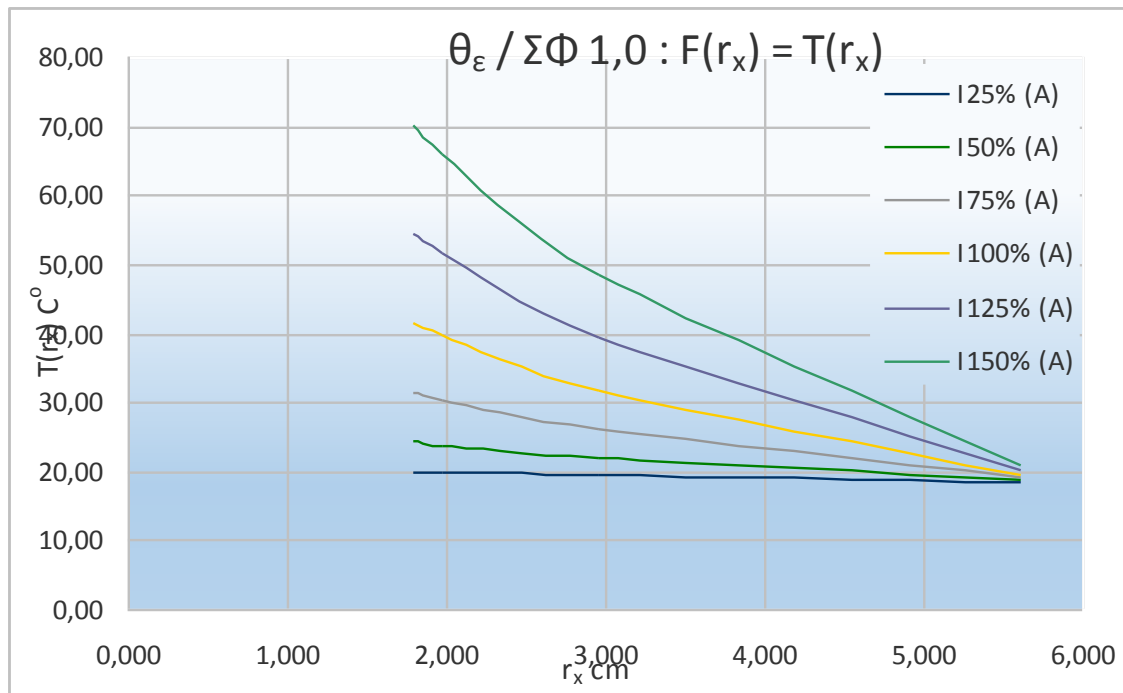
Διάγραμμα 4.29 Διάγραμμα θερμότητας συναρτήσει του χρόνου για συντελεστή φόρτισης 0,7 και 1,0. Διατομή 1000mm²



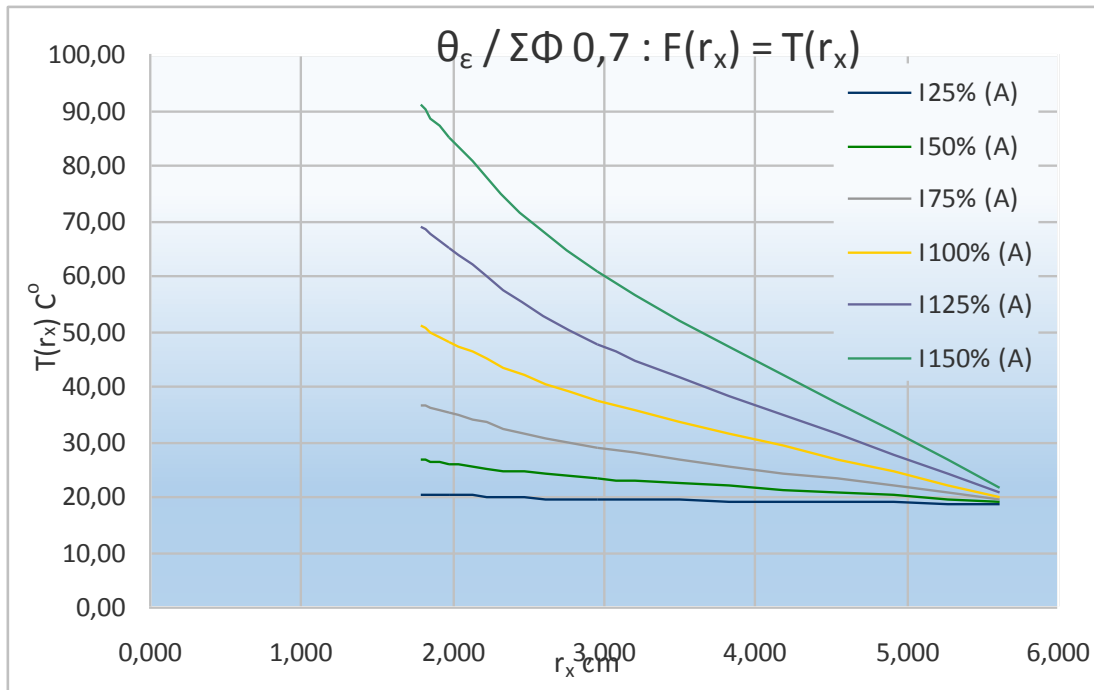
Διάγραμμα 4.30 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στο έδαφος στο 1m βάθος για συντελεστές φόρτισης 0,7 και 1,0. Διατομή 1000mm²



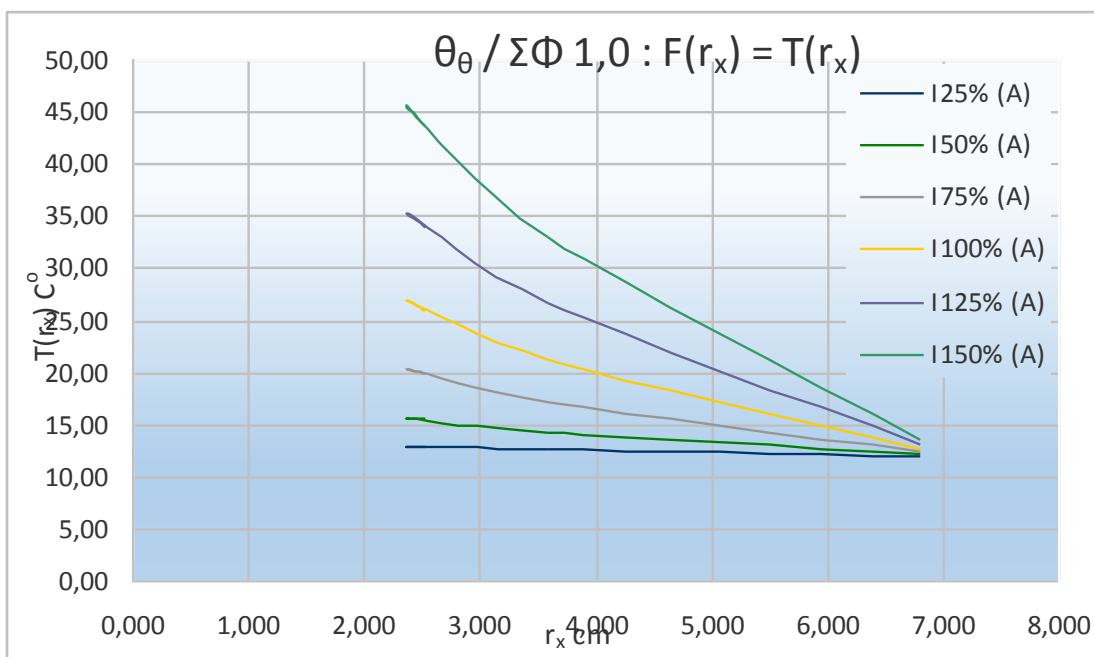
Διάγραμμα 4.31 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στην θάλασσα για τους συντελεστές φόρτισης 0,7 και 1,0. Διατομή 1000mm²



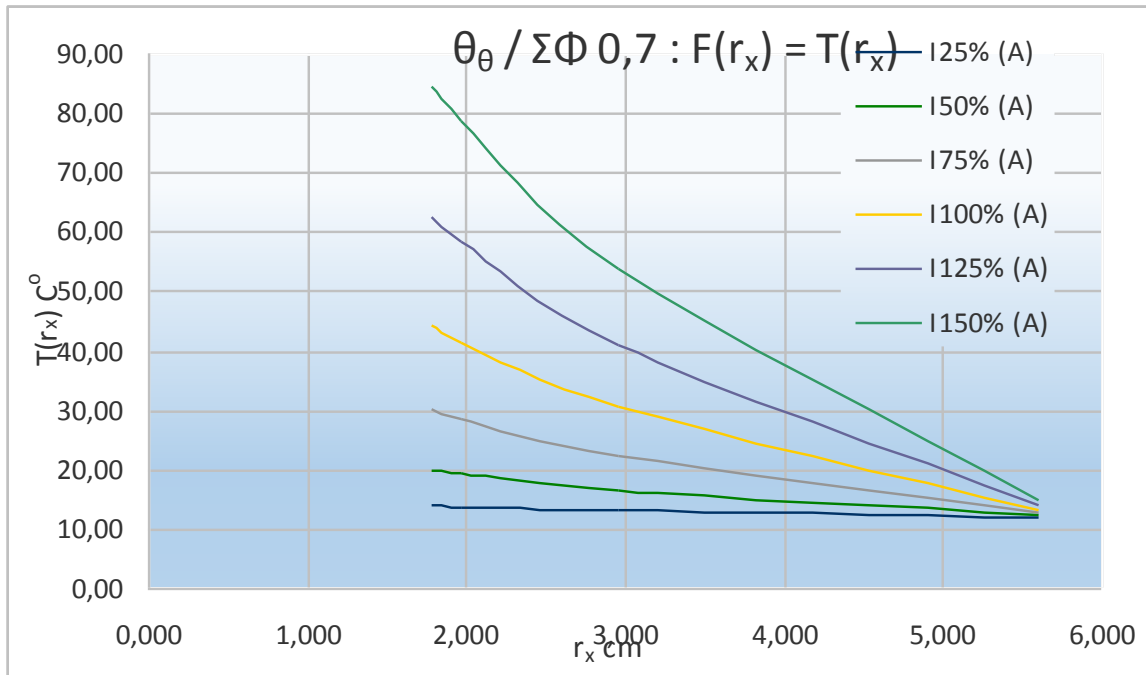
Διάγραμμα 4.32 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στο έδαφος στο 1m βάθος για έξι διαφορετικές τιμές έντασης με συντελεστή φόρτισης 1,0. Διατομή 1000mm²



Διάγραμμα 4.33 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στο έδαφος στο 1m βάθος για έξι διαφορετικές τιμές έντασης με συντελεστή φόρτισης 0,7. Διατομή 1000mm²



Διάγραμμα 4.34 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στη θάλασσα για έξι διαφορετικές τιμές έντασης με συντελεστή φόρτισης 1,0. Διατομή 1000mm²



Διάγραμμα 4.35 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στη θάλασσα για έξι διαφορετικές τιμές έντασης με συντελεστή φόρτισης 0,7. Διατομή 1000mm^2

Πίνακας 4.9 Υπολογισμός αναπτυσσόμενης θερμότητας για διατομή 800mm²

Υπολογίζω αναπτυσσόμενης θερμότητας του αγωγού σε διάφορα στάδια φόρτισης.

Πρώτα ορίζονται τα βασικά μου μεγέθη

A Διατομή (mm ²)=	800	Εξωτ. Διαμ. (mm)=	115	Θ _ε (C°)=	18,6	Θ _θ (C°)=	12
A Διατομή (cm ²)=	8	r _a (cm)=	1,596	r ₂ (cm)=	5,75		
U Περίμετ. (cm)=	10,026	Σταθ. Μετάδ. α =	10	W/(m ² *K)			
		Σταθ. Μετάδ. α =	0,001	W/(cm ² *K)			
		Συν/στής φόρτισης	1	0,7			

Υπολογίζεται η θερμοκρασία υπερθέρμανσης συναρτήσει του χρόνου

$$\Delta\theta = \frac{\rho \cdot A}{\alpha \cdot U} \cdot (I/A)^2 \cdot (1 - e^{-1/t})$$

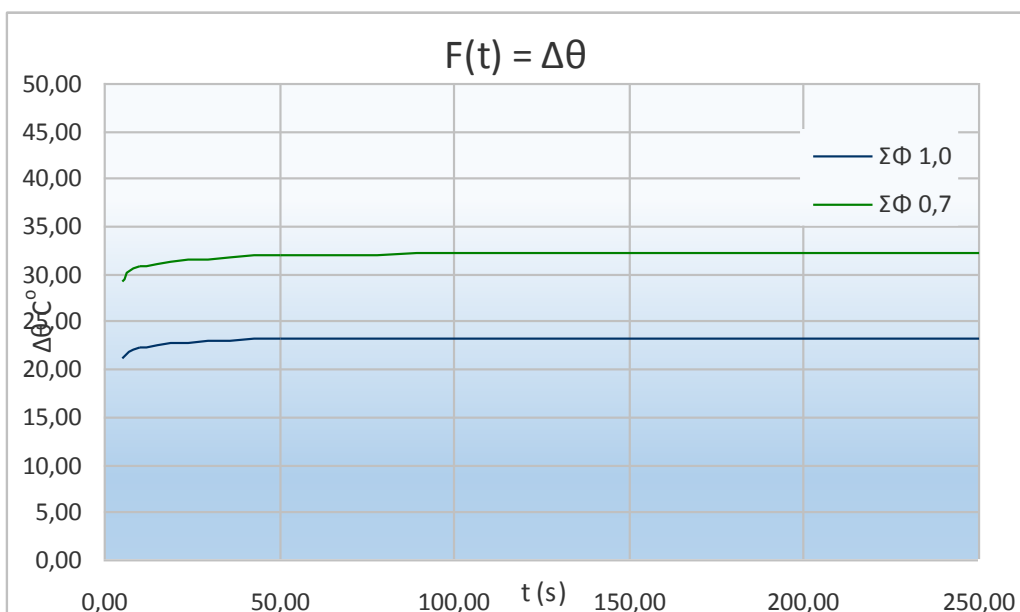
Δθdt					Δθ C°	
t (s)	ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7	1/t	(1-e ^{-1/t})	ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7
5,00	4,24	5,87	0,2	0,181	21,21	29,35
10,00	2,23	3,08	0,1	0,095	22,27	30,82
50,00	0,46	0,64	0,02	0,020	23,17	32,06
250,00	0,09	0,13	0,004	0,004	23,36	32,32

Η θερμοκρασία μετάδοσης που αναπτύσσεται

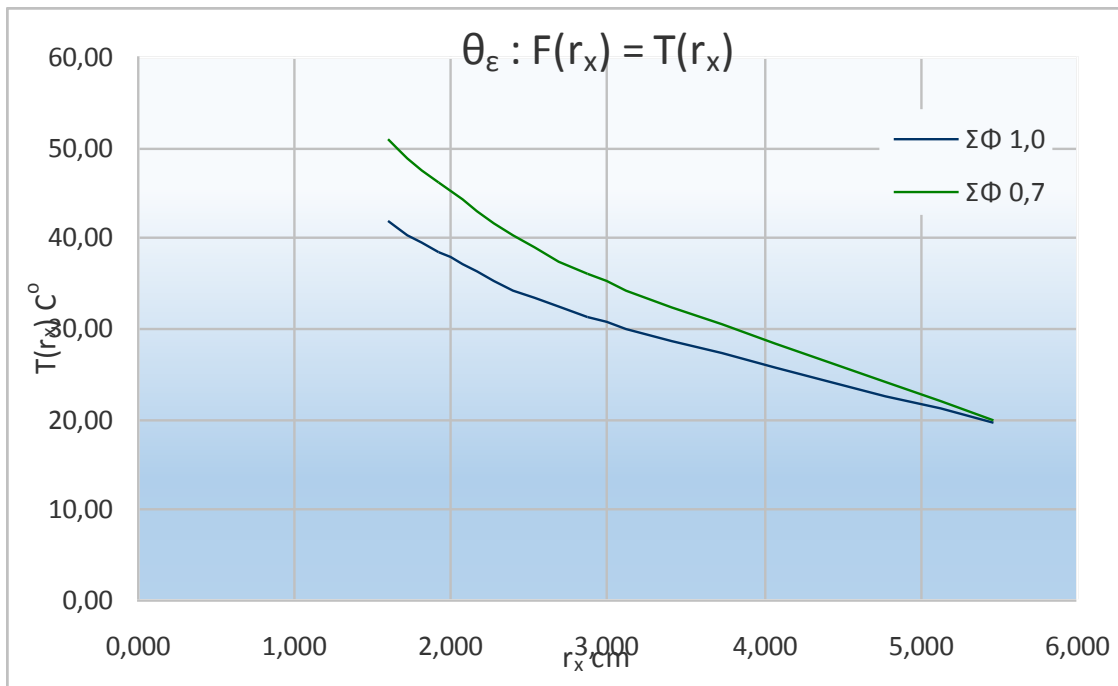
$$T_{(rx)} = \frac{\Delta\theta}{\ln(r_a / r_2)} \cdot \ln(r_x / r_2) + \theta_{\epsilon/\theta}$$

$\ln(r_a / r_2) = -1,282$

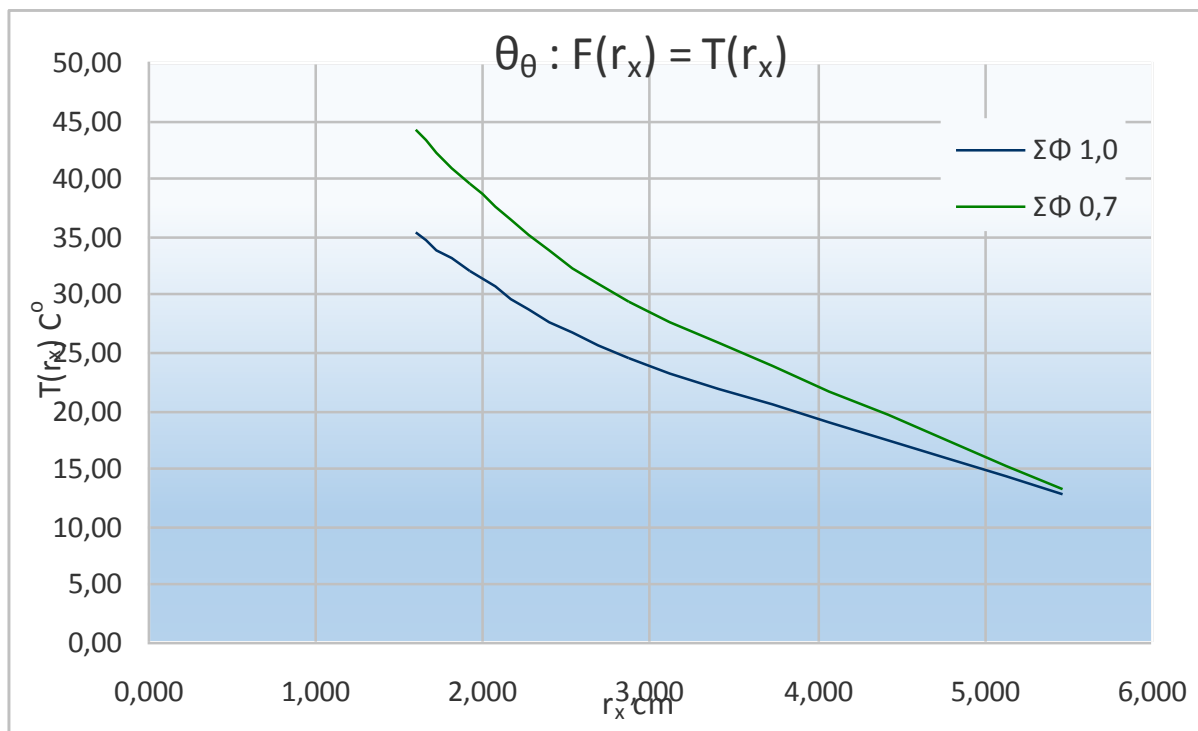
r _x (cm)	ln(r _x / r ₂)	Θ _ε (C°)		Θ _θ (C°)	
		ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7	ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7
		T(rx) C°			
1,596	-1,282	41,96	50,92	35,36	44,32
1,917	-1,099	38,62	46,30	32,02	39,70
2,875	-0,693	31,23	36,08	24,63	29,48
5,463	-0,051	19,53	19,89	12,93	13,29



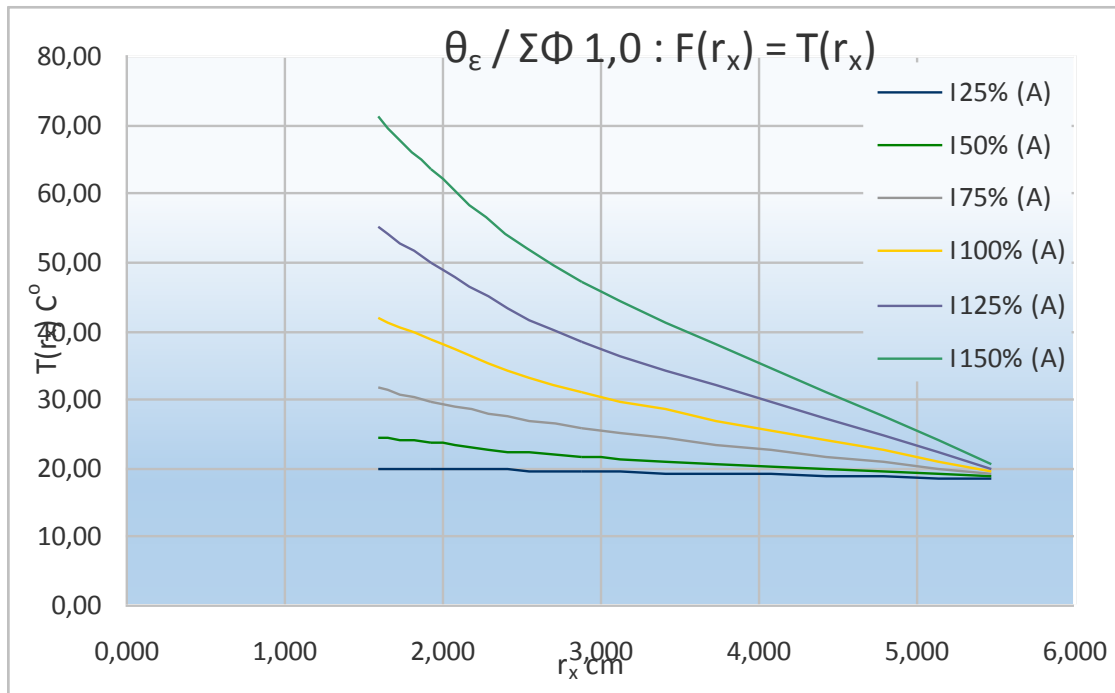
Διάγραμμα 4.36 Διάγραμμα θερμότητας συναρτήσει του χρόνου για συντελεστή φόρτισης 0,7 και 1,0. Διατομή 800mm²



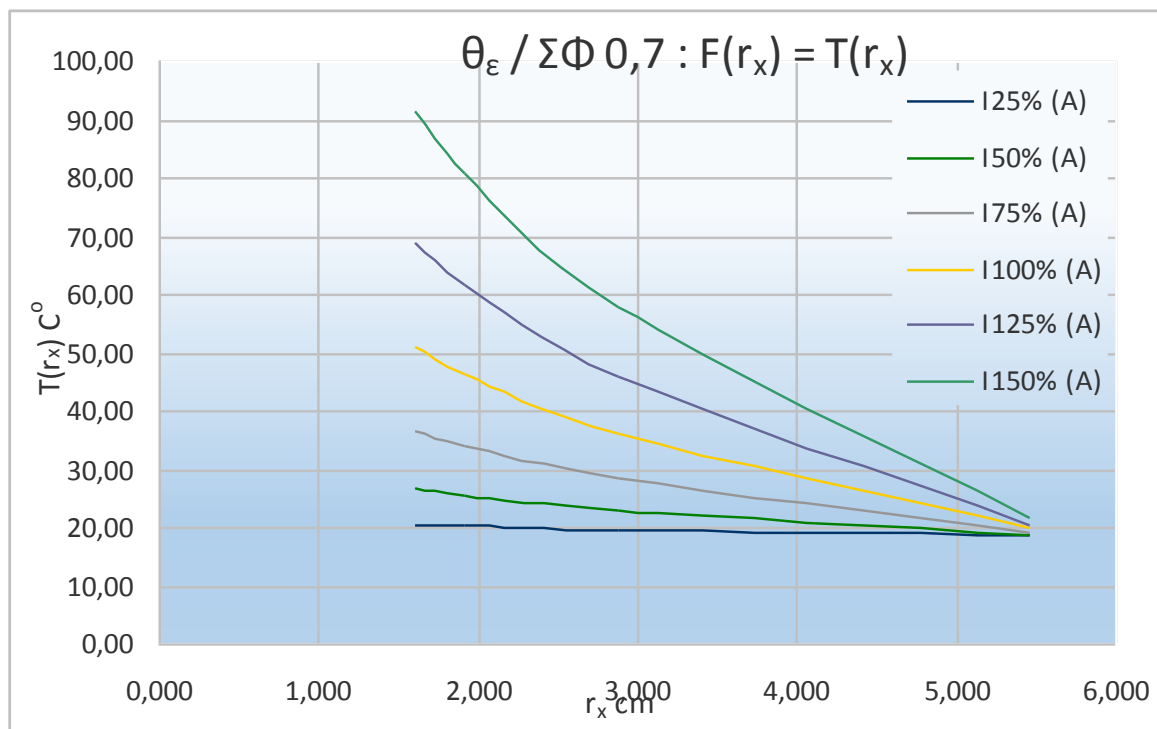
Διάγραμμα 4.37 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στο έδαφος στο 1m βάθος για συντελεστές φόρτισης 0,7 και 1,0. Διατομή 800mm²



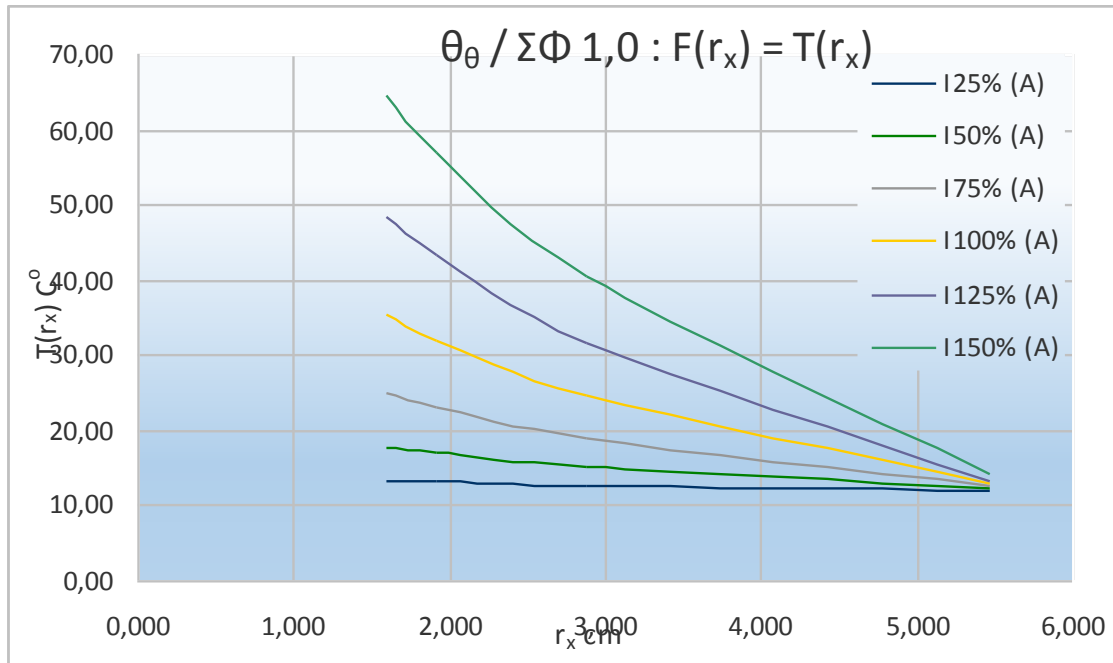
Διάγραμμα 4.38 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στην θάλασσα για τους συντελεστές φόρτισης 0,7 και 1,0. Διατομή 800mm²



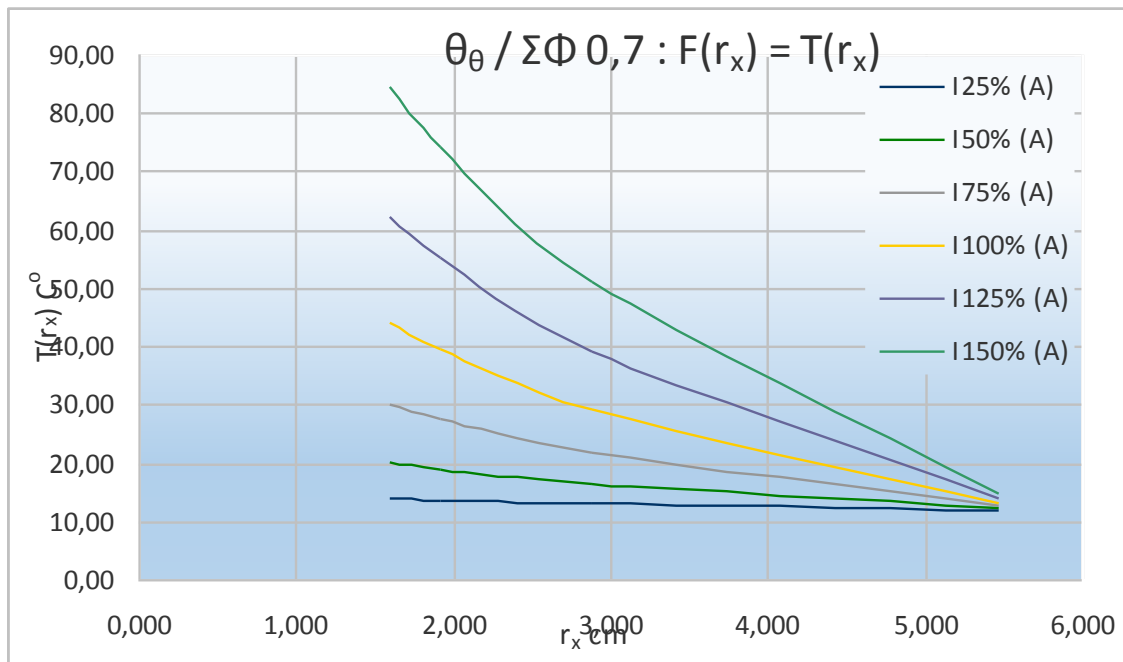
Διάγραμμα 4.39 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στο έδαφος στο 1m βάθος για έξι διαφορετικές τιμές έντασης με συντελεστή φόρτισης 1,0. Διατομή 800mm²



Διάγραμμα 4.40 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στο έδαφος στο 1m βάθος για έξι διαφορετικές τιμές έντασης με συντελεστή φόρτισης 0,7. Διατομή 800mm²



Διάγραμμα 4.41 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στη θάλασσα, για έξι διαφορετικές τιμές έντασης με συντελεστή φόρτισης 1,0. Διατομή 800mm²



Διάγραμμα 4.42 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στη θάλασσα, για έξι διαφορετικές τιμές έντασης με συντελεστή φόρτισης 0,7. Διατομή 800mm²

4.2.4 Αγωγός τάσης 220 / 127 kV με μόνωση XLPE

Σύμφωνα με τον κατασκευαστή του αγωγού η χαρακτηριστικές τιμές της έντασης σύμφωνα για διάφορες διατομές είναι :

Copper conductor cross-section		Outer diameter approx. mm	Buried in soil ύύύ	Buried in soil ύύύ
mm ²	kcmil		0.7 A	1.0 A
300	600	99	714	621
500	1000	99	945	813
630	1250	100	1090	930
800	1600	105	1241	1051
1000	2000	111	1462	1231
1200	2400	112	1595	1336
1400	2750	115	1725	1440
1600	3200	116	1847	1536
2000	4000	119	2060	1703
2500	5000	129	2282	1876

Πίνακας 4.10 Χαρακτηριστικά αγωγού τάσης 220 / 127 kV με μόνωση XLPE

Υπολογίζιμος αναπτυσσόμενης θερμότητας του αγωγού σε διάφορα στάδια φόρτισης.

Πρώτα ορίζονται τα βασικά μου μεγέθη

A Διατομή (mm ²)=	630	Εξωτ. Διαμ. (mm)=	100	Θ _ε (C°) =	18,6	Θ _θ (C°) =	12
A Διατομή (cm ²) =	6,3	r _a (cm) =	1,416	r ₂ (cm) =	5		
U Περιμετ. (cm)=	8,898	Σταθ. Μετάδ. α =	10	W/(m ² *K)			
		Σταθ. Μετάδ. α =	0,001	W/(cm ² *K)			
		Συν/στής φόρτισης	1	0,7			
Υπολογίζεται η θερμοκρασία υπερθέρμανσης συναρτήσει του χρόνου		I (A) =	930	1090			

$$\Delta\theta = \frac{\rho \cdot A}{\alpha \cdot U} \cdot (I/A)^2 \cdot (1 - e^{-1/t})$$

Δθdt					Δθ C°	
t (s)	ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7	1/t	(1-e ^{-1/t})	ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7
5,00	4,98	6,84	0,2	0,181	24,89	34,19
10,00	2,61	3,59	0,1	0,095	26,14	35,90
50,00	0,54	0,75	0,02	0,020	27,19	37,35
250,00	0,11	0,15	0,004	0,004	27,41	37,65

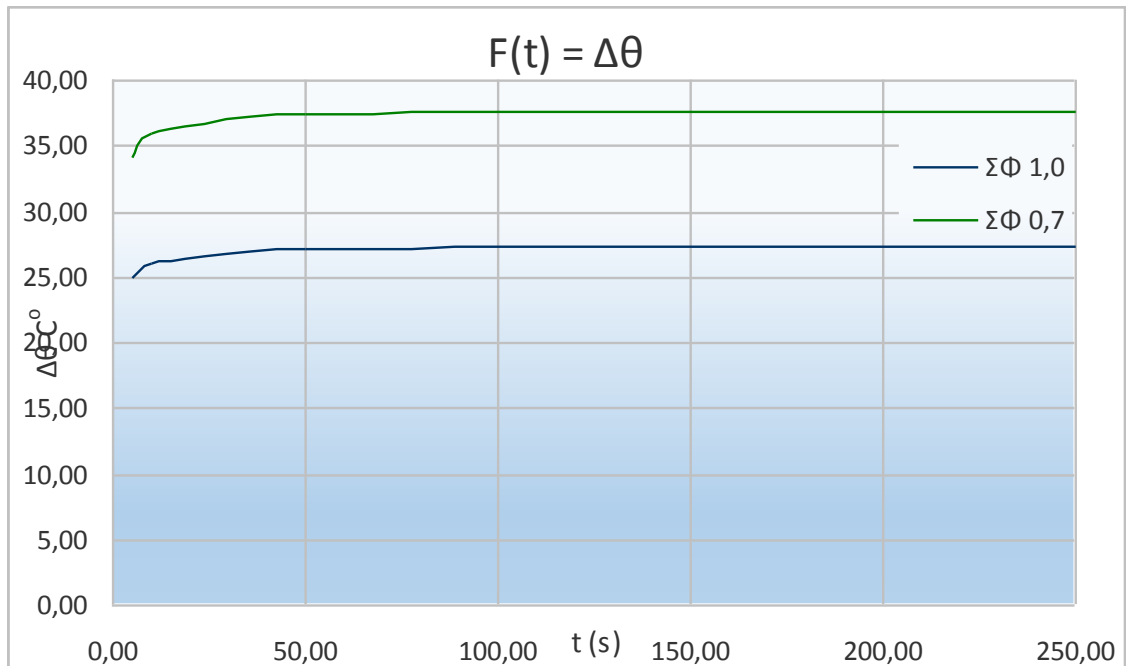
Η θερμοκρασία μετάδωσης που αναπτύσσεται

$$T_{(rx)} = \frac{\Delta\theta}{\ln(r_x / r_2)} \cdot \ln(r_x / r_2) + \theta_{\epsilon/\theta}$$

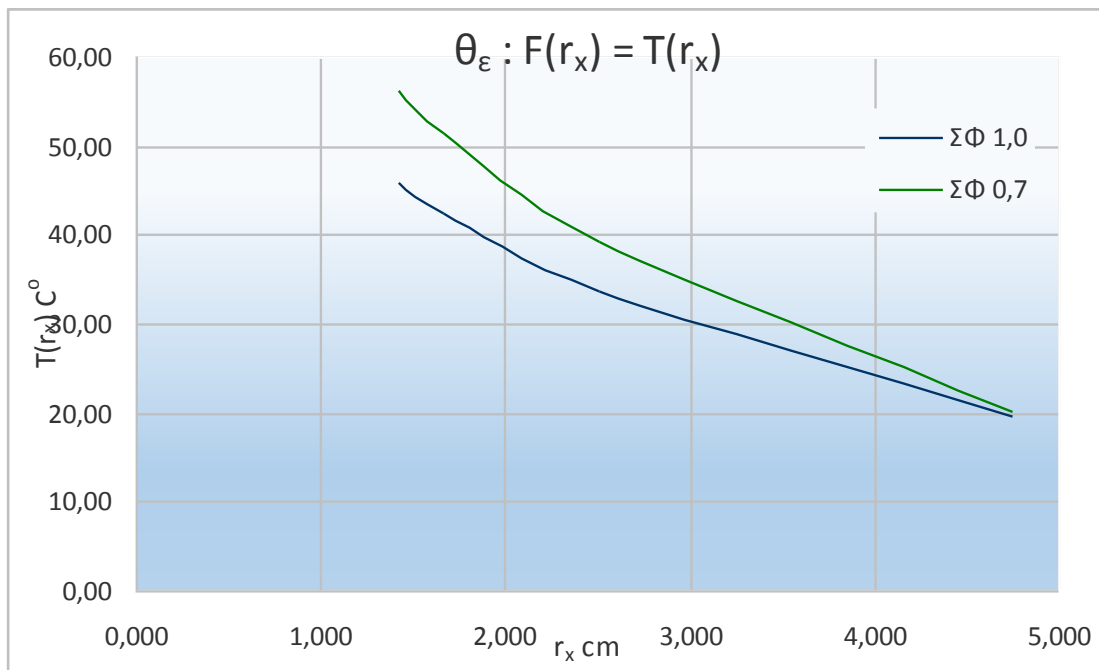
ln(r_a / r₂)= -1,262

r _x (cm)	ln(r _x / r ₂)	Θ _ε (C°)		Θ _θ (C°)	
		ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7	ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7
1,416	-1,262	46,01	56,25	39,41	49,65
1,667	-1,099	42,47	51,39	35,87	44,79
2,500	-0,693	33,66	39,29	27,06	32,69
4,750	-0,051	19,71	20,13	13,11	13,53

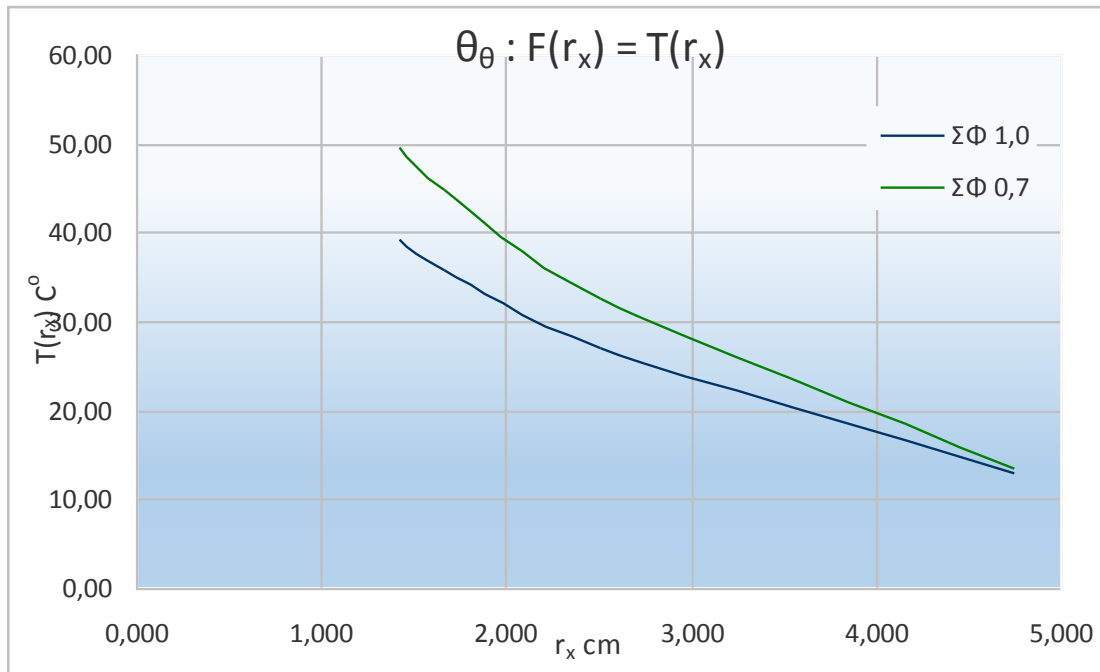
Πίνακας 4.11 Υπολογισμός αναπτυσσόμενης θερμότητας αγωγού τάσης 220 / 127 kV για διατομή 630mm²



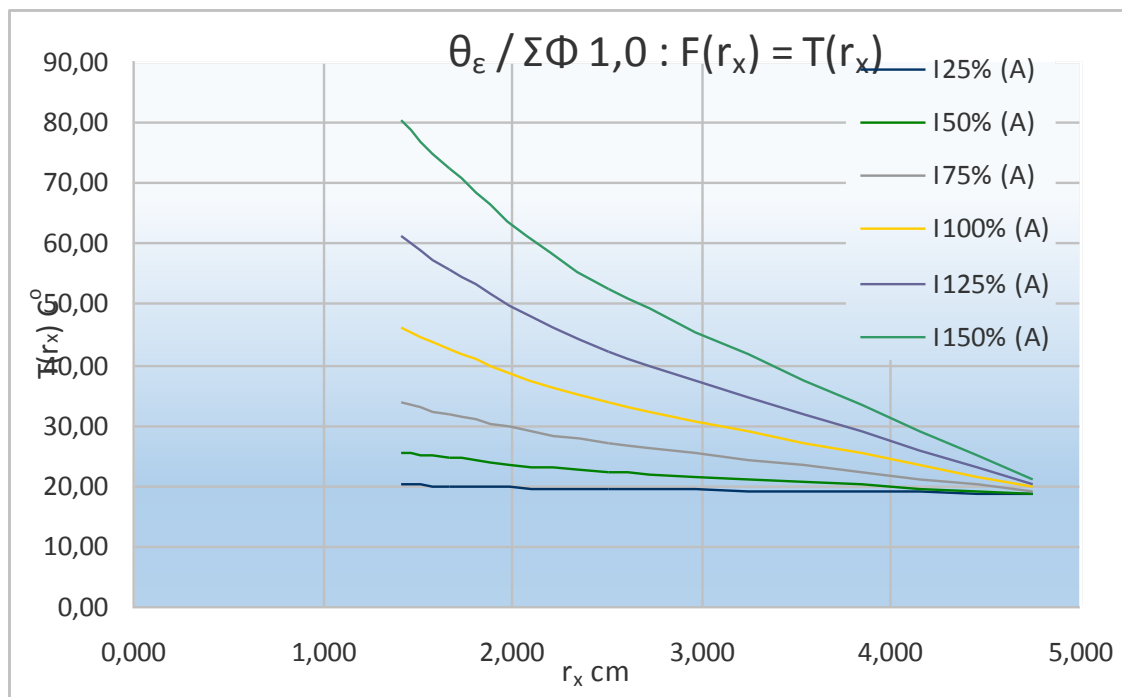
Διάγραμμα 4.43 Διάγραμμα θερμότητας συναρτήσει του χρόνου για συντελεστή φόρτισης 0,7 και 1,0. Διατομή 630mm²



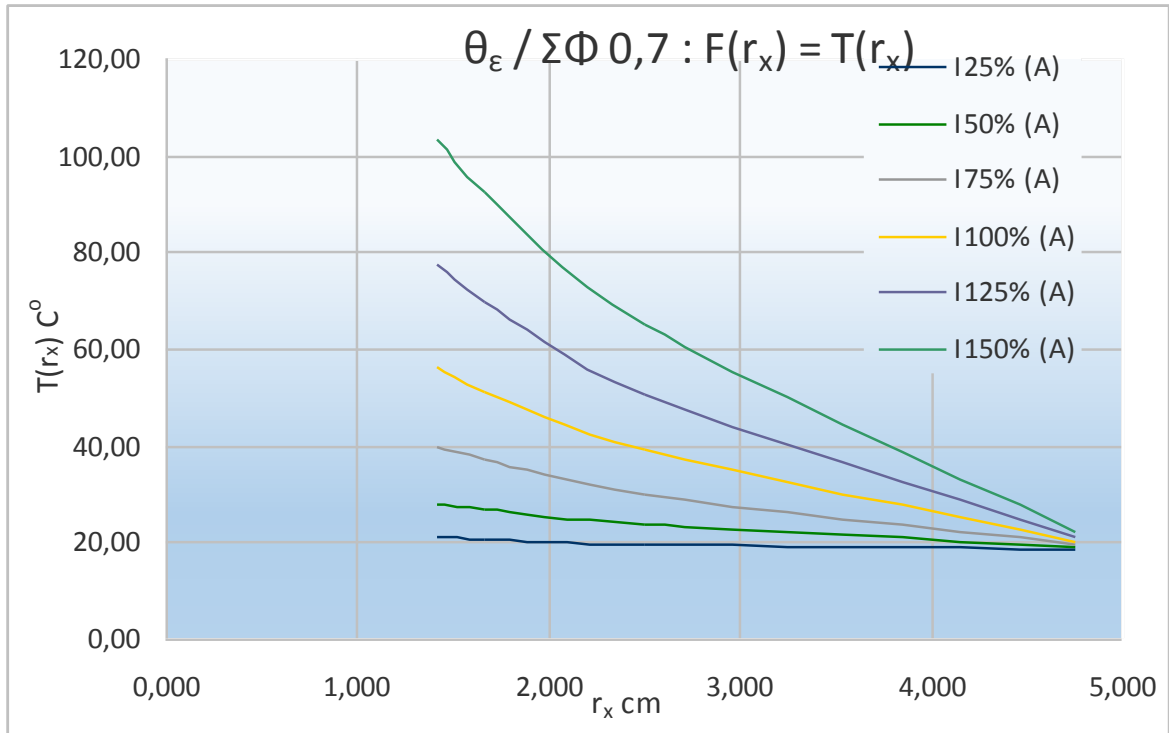
Διάγραμμα 4.44 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στο έδαφος στο 1m βάθος για συντελεστές φόρτισης 0,7 και 1,0. Διατομή 630mm²



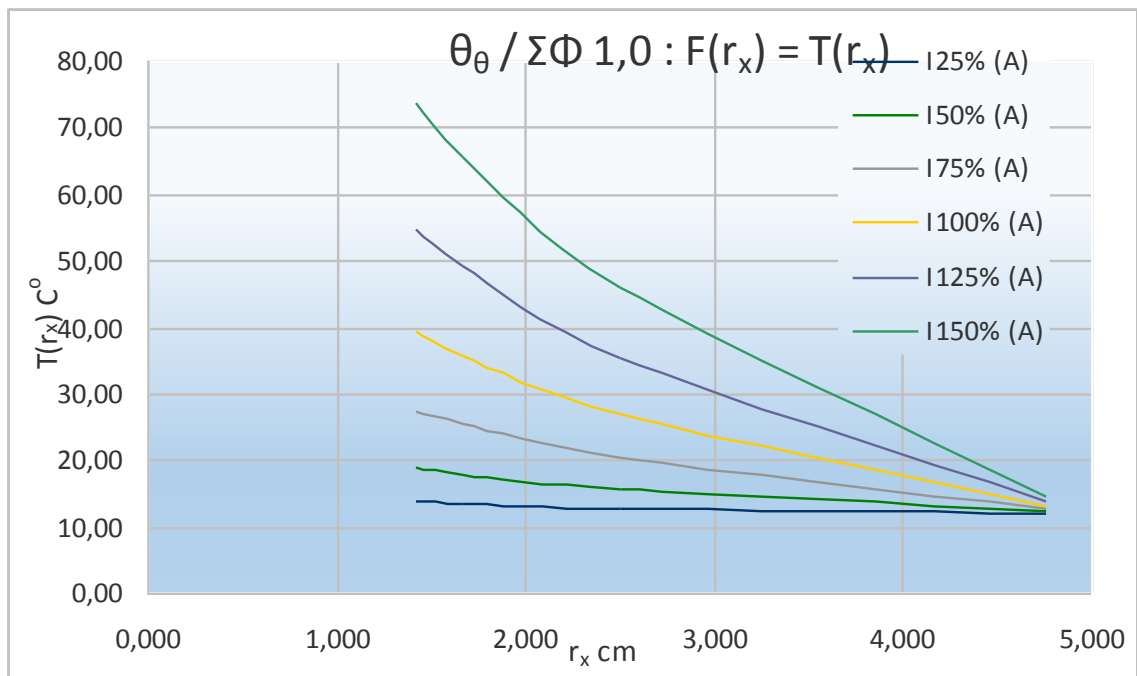
Διάγραμμα 4.45 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στην θάλασσα για τους συντελεστές φόρτισης 0,7 και 1,0. Διατομή 630mm²



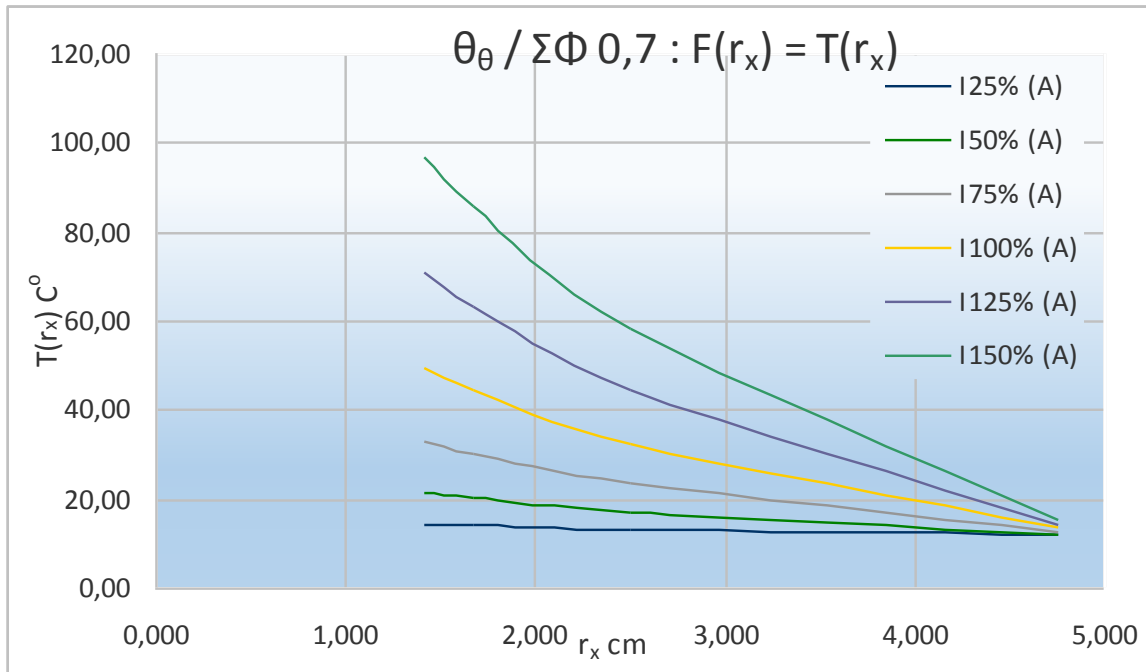
Διάγραμμα 4.46 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στο έδαφος στο 1m βάθος για έξι διαφορετικές τιμές έντασης με συντελεστή φόρτισης 1,0. Διατομή 630mm²



Διάγραμμα 4.47 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στο έδαφος στο 1m βάθος για έξι διαφορετικές τιμές έντασης με συντελεστή φόρτισης 0,7. Διατομή 630mm²



Διάγραμμα 4.48 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στη θάλασσα για έξι διαφορετικές τιμές έντασης με συντελεστή φόρτισης 1,0. Διατομή 630mm²



Διάγραμμα 4.49 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στη θάλασσα για έξι διαφορετικές τιμές έντασης με συντελεστή φόρτισης 0,7. Διατομή 630mm²

Πίνακας 4.12 Υπολογισμός αναπτυσσόμενης θερμότητας για διατομή 500mm²

Υπολογίζω αναπτυσσόμενη θερμότητα του αγωγού σε διάφορα στάδια φόρτισης.

Πρώτα ορίζονται τα βασικά μου μεγέθη

A Διατομή (mm ²)=	500	Εξωτ.Διαμ.(mm)=	99	Θ _ε (C°)=	18,6	Θ _θ (C°)=	12
A Διατομή (cm ²)=	5	r _a (cm)=	1,262	r ₂ (cm)=	4,95		
U Περίμετ. (cm)=	7,927	Σταθ. Μετάδ. α =	10	W/(m ² *K)			
		Σταθ. Μετάδ. α =	0,001	W/(cm ² *K)			
		Συν/στής φόρτισης		1		0,7	
Υπολογίζεται η θερμοκρασία υπερθέρμανσης συναρτήσει του χρόνου		I (A) =		813		945	

$$\Delta\theta = \frac{\rho \cdot A}{\alpha \cdot U} \cdot (I/A)^2 \cdot (1 - e^{-1/t})$$

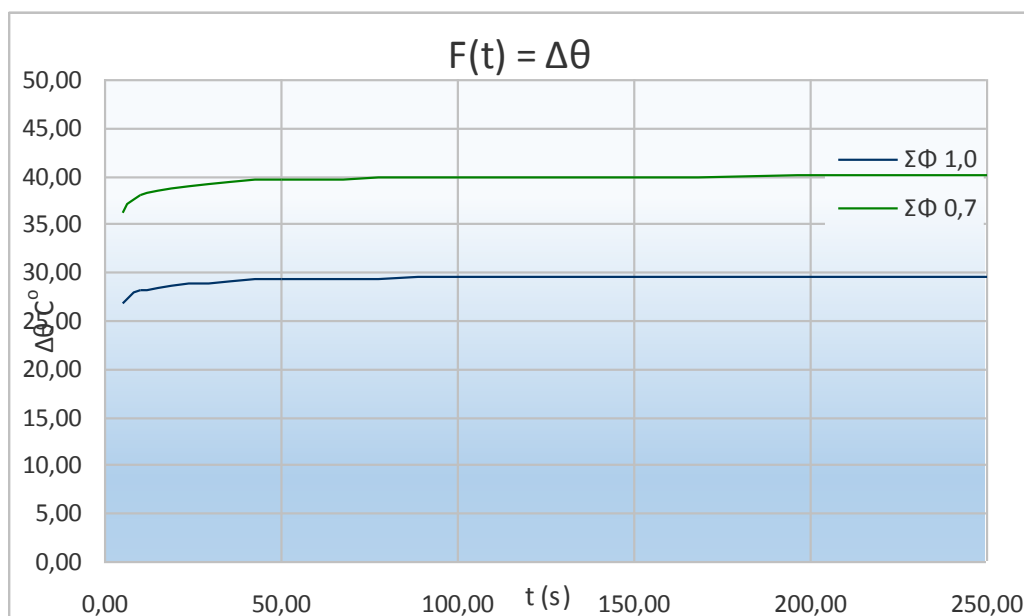
Δθdt					Δθ C°	
t (s)	ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7	1/t	(1-e ^{-1/t})	ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7
5,00	5,38	7,27	0,2	0,181	26,91	36,35
10,00	2,82	3,82	0,1	0,095	28,25	38,17
50,00	0,59	0,79	0,02	0,020	29,39	39,71
250,00	0,12	0,16	0,004	0,004	29,63	40,03

Η θερμοκρασία μετάδοσης που αναπτύσσεται

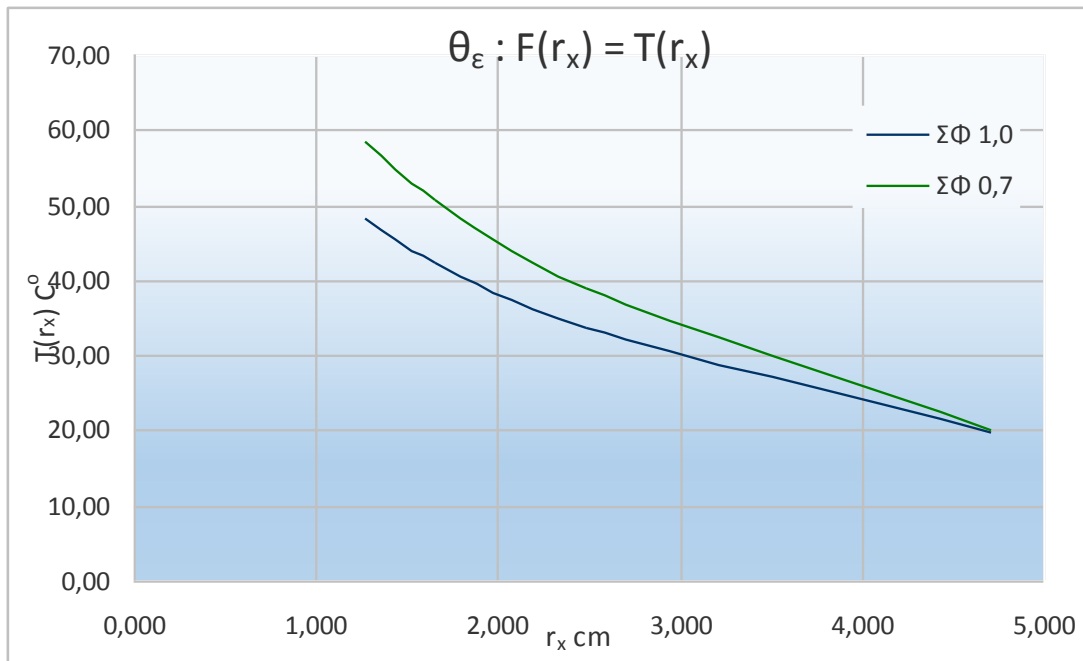
$$T_{(rx)} = \frac{\Delta\theta}{\ln(r_a / r_2)} \cdot \ln(r_x / r_2) + \theta_{\epsilon/\theta}$$

ln(r_a / r₂)= -1,367

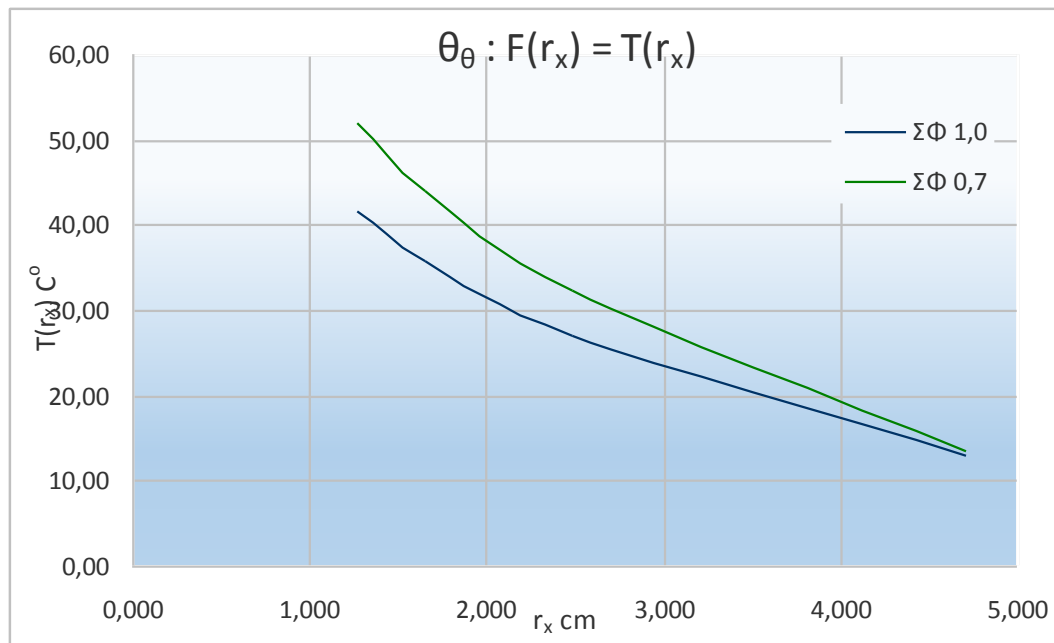
r _x (cm)	ln(r _x / r ₂)	Θ _ε (C°)		Θ _θ (C°)	
		ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7	ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7
1,262	-1,367	48,23	58,63	41,63	52,03
1,650	-1,099	42,41	50,77	35,81	44,17
2,475	-0,693	33,62	38,90	27,02	32,30
4,703	-0,051	19,71	20,10	13,11	13,50



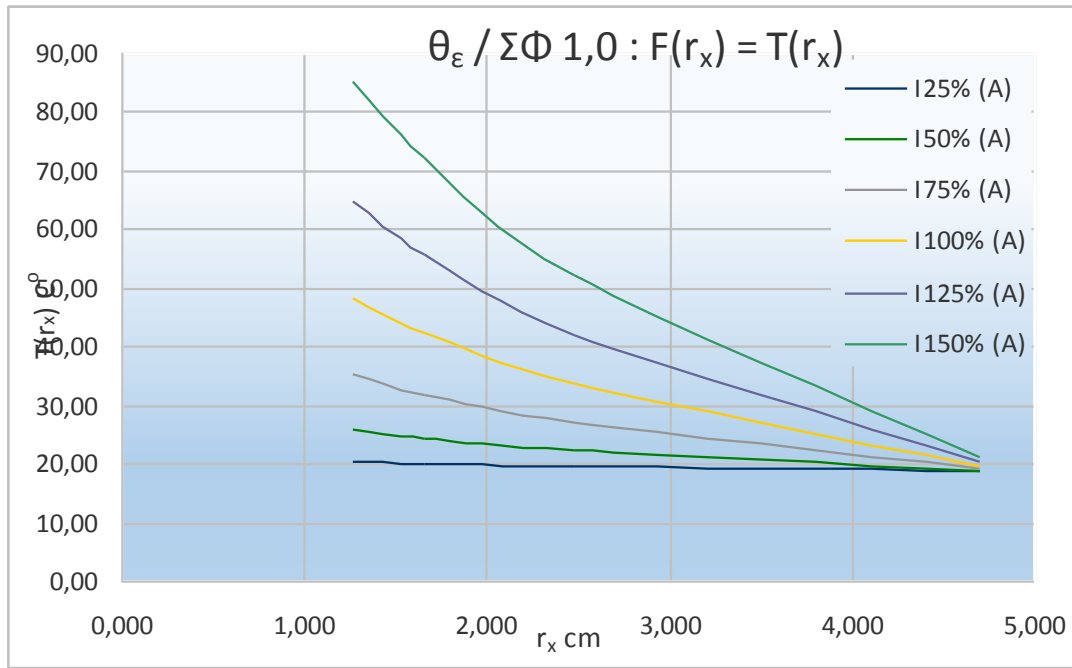
Διάγραμμα 4.50 Διάγραμμα θερμότητας συναρτήσει του χρόνου για συντελεστή φόρτισης 0,7 και 1,0. Διατομή 500mm²



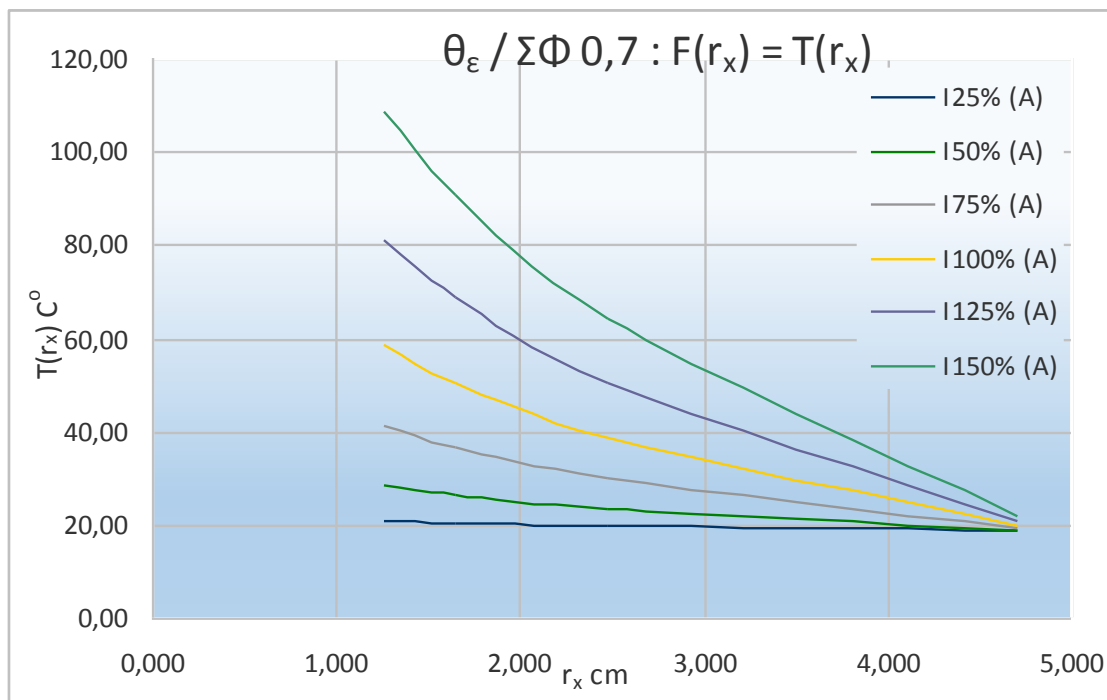
Διάγραμμα 4.51 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στο έδαφος στο 1m βάθος για συντελεστές φόρτισης 0,7 και 1,0. Διατομή 500mm²



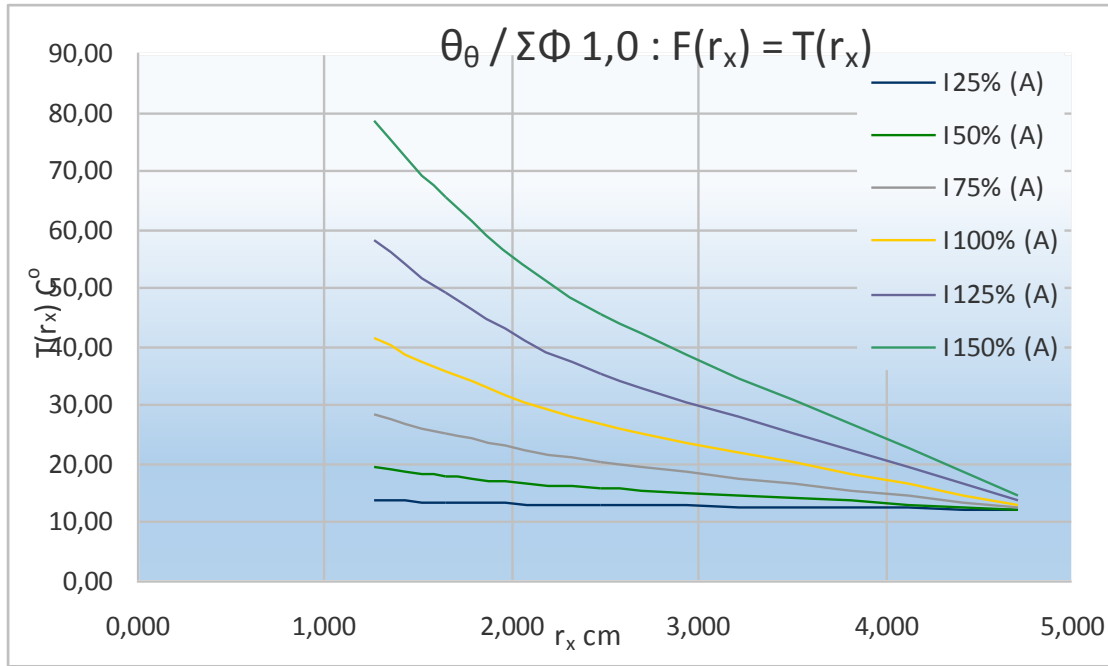
Διάγραμμα 4.52 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στην θάλασσα για τους συντελεστές φόρτισης 0,7 και 1,0. Διατομή 500mm²



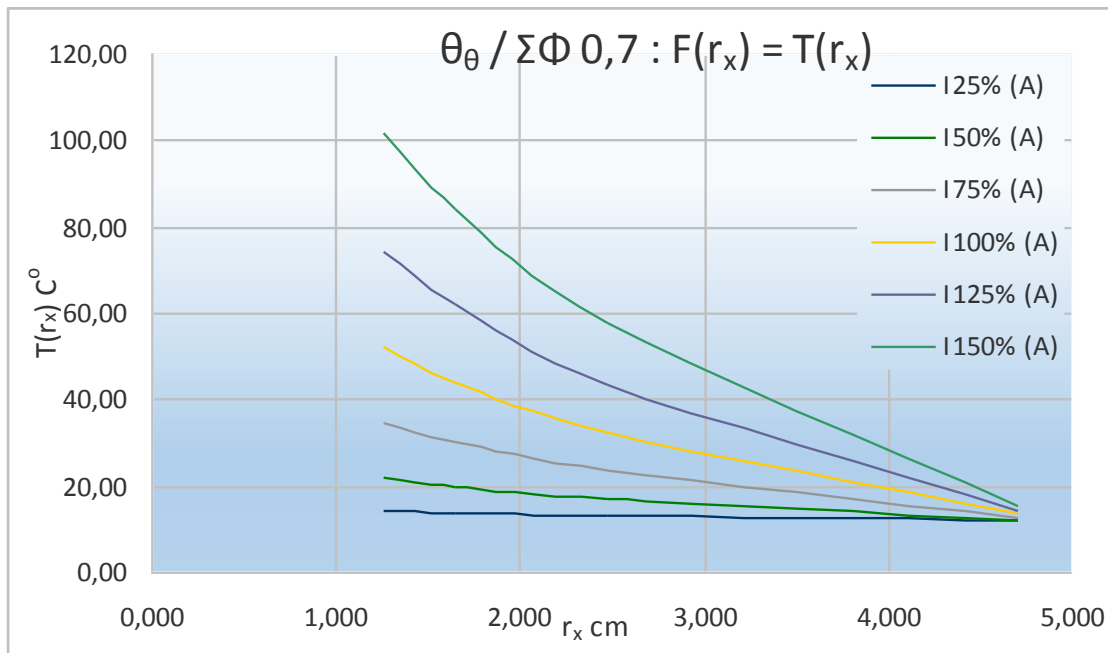
Διάγραμμα 4.53 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στο έδαφος στο 1m βάθος για έξι διαφορετικές τιμές έντασης με συντελεστή φόρτισης 1,0. Διατομή 500mm²



Διάγραμμα 4.54 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στο έδαφος στο 1m βάθος για έξι διαφορετικές τιμές έντασης με συντελεστή φόρτισης 0,7. Διατομή 500mm²



Διάγραμμα 4.55 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στη θάλασσα για έξι διαφορετικές τιμές έντασης με συντελεστή φόρτισης 1,0. Διατομή 500mm²



Διάγραμμα 4.56 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στη θάλασσα για έξι διαφορετικές τιμές έντασης με συντελεστή φόρτισης 0,7. Διατομή 500mm²

4.2.5 Αγωγός τάσης 132 / 76 kV με μόνωση XLPE

Σύμφωνα με τον κατασκευαστή του αγωγού η χαρακτηριστικές τιμές της έντασης σύμφωνα για διάφορες διατομές είναι :

Copper conductor cross-section		Outer diameter approx. mm	Buried in soil	Buried in soil
mm ²	kcmil		0.7 A	1.0 A
240	500	73	657	569
300	600	76	745	642
400	800	77	861	737
500	1000	83	979	836
630	1250	86	1123	953
800	1600	87	1292	1086
1000	2000	91	1530	1276
1200	2400	95	1661	1380
1400	2750	96	1810	1497
1600	3200	99	1925	1589
2000	4000	104	2147	1763
2500	5000	111	2396	1954

Πίνακας 4.13 Χαρακτηριστικά αγωγού τάσης 132 / 76 kV με μόνωση XLPE

Υπολογίζμος αναπτυσσόμενης θερμότητας του αγωγού σε διάφορα στάδια φόρτισης.

Πρώτα ορίζονται τα βασικά μου μεγέθη

A Διατομή (mm ²)=	400	Εξωτ. Διαμ. (mm)=	77	Θ _ε (C°) =	18,6	Θ _θ (C°) =	12
A Διατομή (cm ²) =	4	r _a (cm) =	1,128	r ₂ (cm) =	3,85		
U Περιμέτ. (cm)=	7,090	Σταθ. Μετάδ. α =	10	W/(m ² *K)			
		Σταθ. Μετάδ. α =	0,001	W/(cm ² *K)			
		Συν/στής φόρτισης	1	0,7			
Υπολογίζεται η θερμοκρασία υπερθέρμανσης συναρτήσει του χρόνου		I (A) =	737	861			

$$\Delta\theta = \frac{\rho^2 A}{\alpha^2 U} * (I/A)^2 * (1 - e^{-1/t})$$

t (s)	Δθdt		1/t	(1-e ^{-1/t})	Δθ C°	
	ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7			ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7
5,00	6,18	8,43	0,2	0,181	30,90	42,17
10,00	3,24	4,43	0,1	0,095	32,44	44,28
50,00	0,68	0,92	0,02	0,020	33,75	46,07
250,00	0,14	0,19	0,004	0,004	34,03	46,44

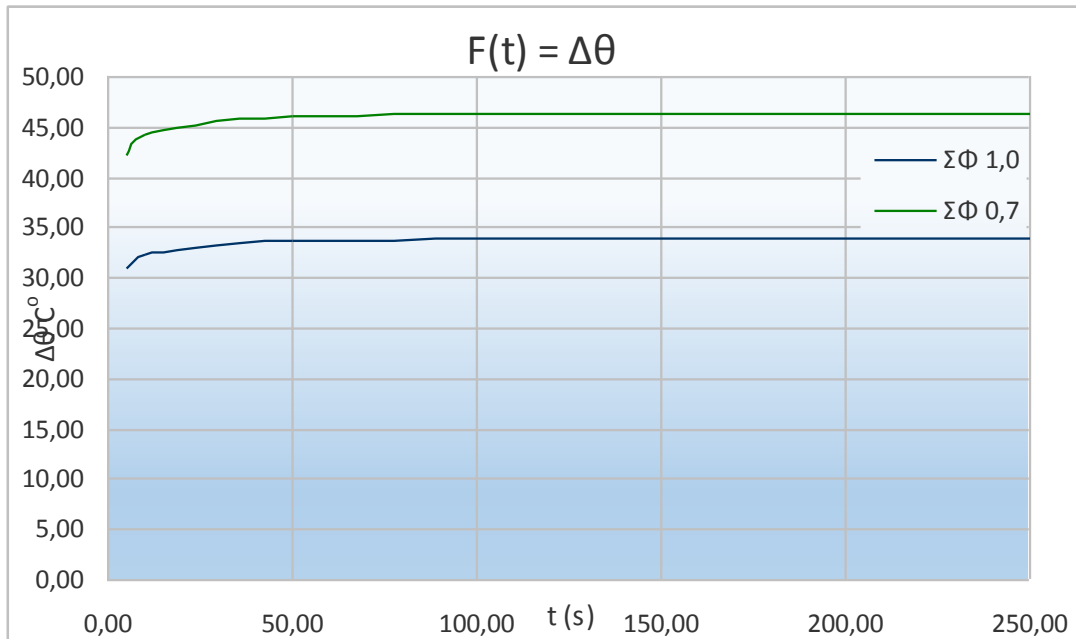
Η θερμοκρασία μετάδοσης που αναπτύσσεται

$$T(r_x) = \frac{\Delta\theta}{\ln(r_a / r_2)} * \ln(r_x / r_2) + \theta_{ε/θ}$$

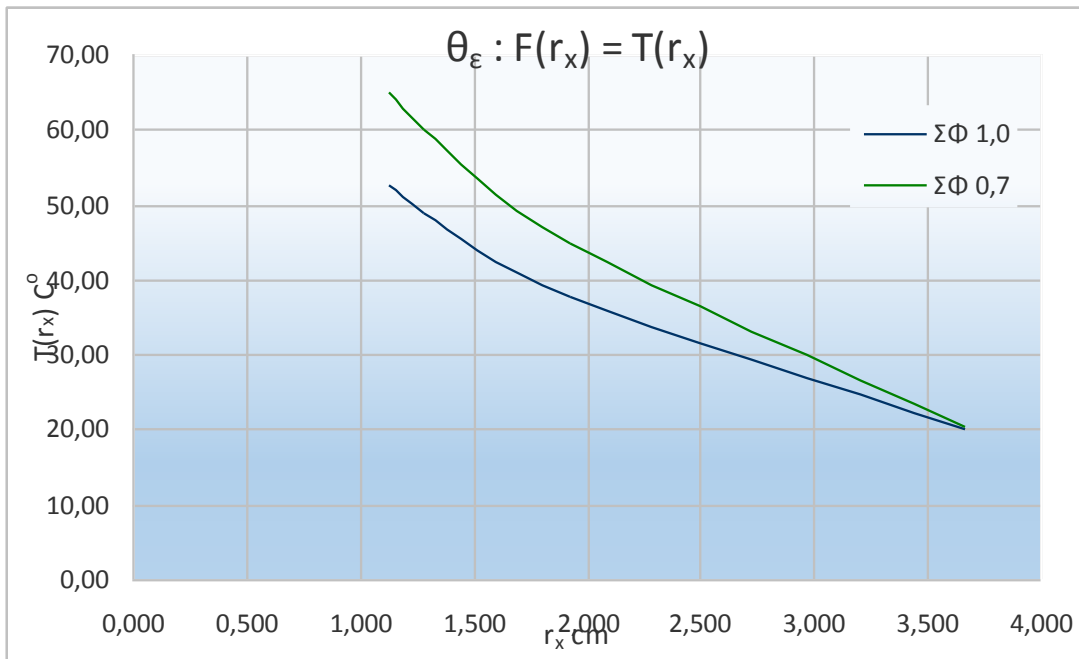
ln(r_a / r₂) = -1,227

r _x (cm)	ln(r _x / r ₂)	Θ _ε (C°)		Θ _θ (C°)	
		ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7	ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7
1,128	-1,227	52,63	65,04	46,03	58,44
1,283	-1,099	49,06	60,17	42,46	53,57
1,925	-0,693	37,82	44,83	31,22	38,23
3,658	-0,051	20,02	20,54	13,42	13,94

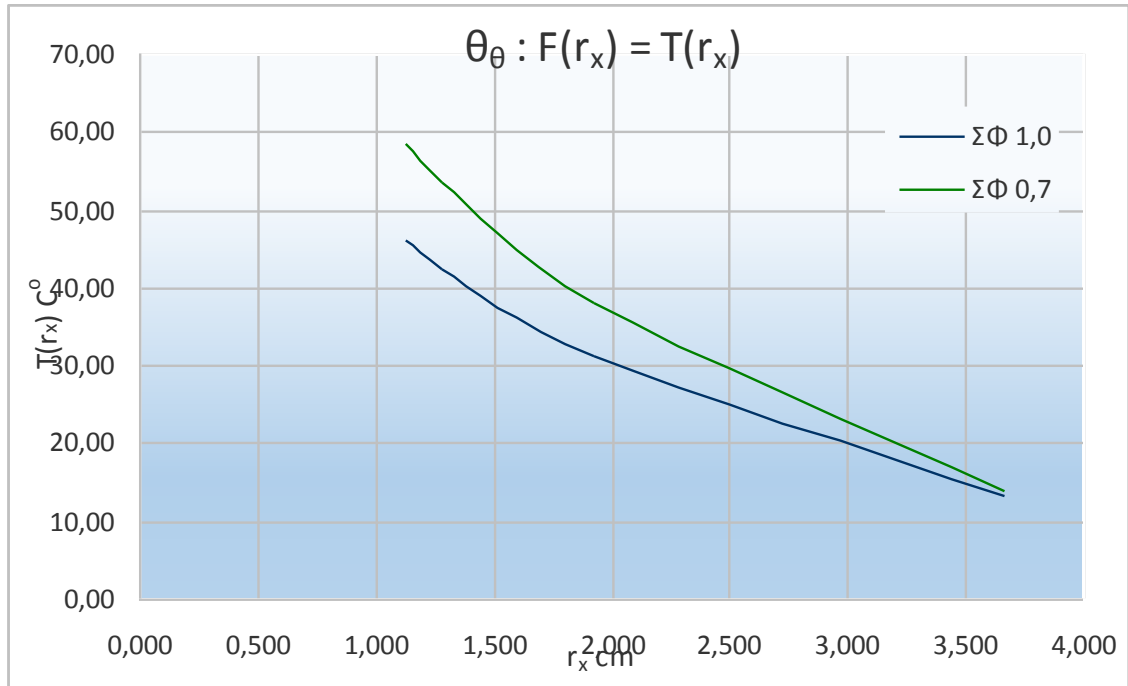
Πίνακας 4.14 Υπολογισμός αναπτυσσόμενης θερμότητας αγωγού τάσης 132 / 76 kV για διατομή 400mm²



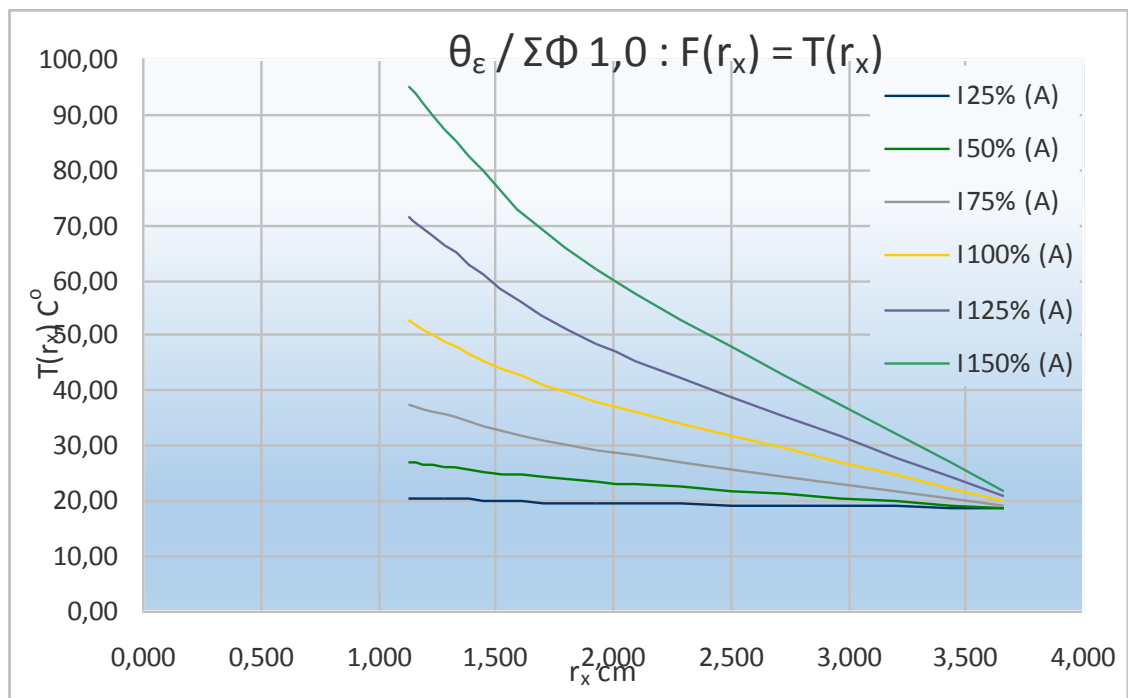
Διάγραμμα 4.57 Διάγραμμα θερμότητας συναρτήσει του χρόνου για συντελεστή φόρτισης 0,7 και 1,0. Διατομή 400mm²



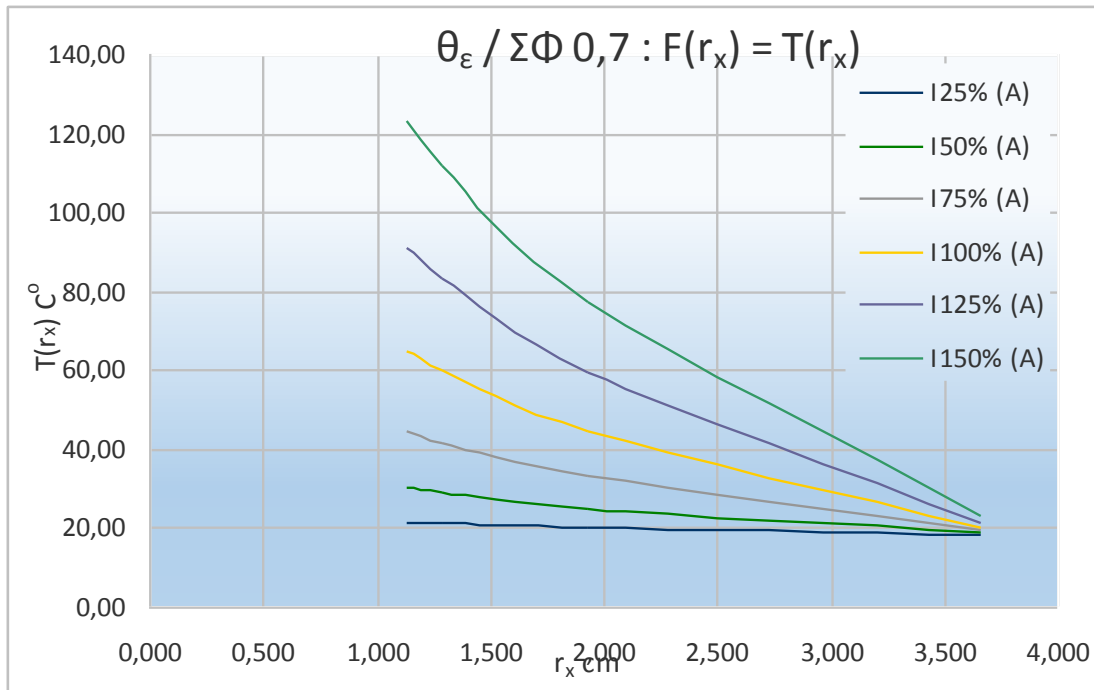
Διάγραμμα 4.58 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στο έδαφος στο 1m βάθος για συντελεστές φόρτισης 0,7 και 1,0. Διατομή 400mm²



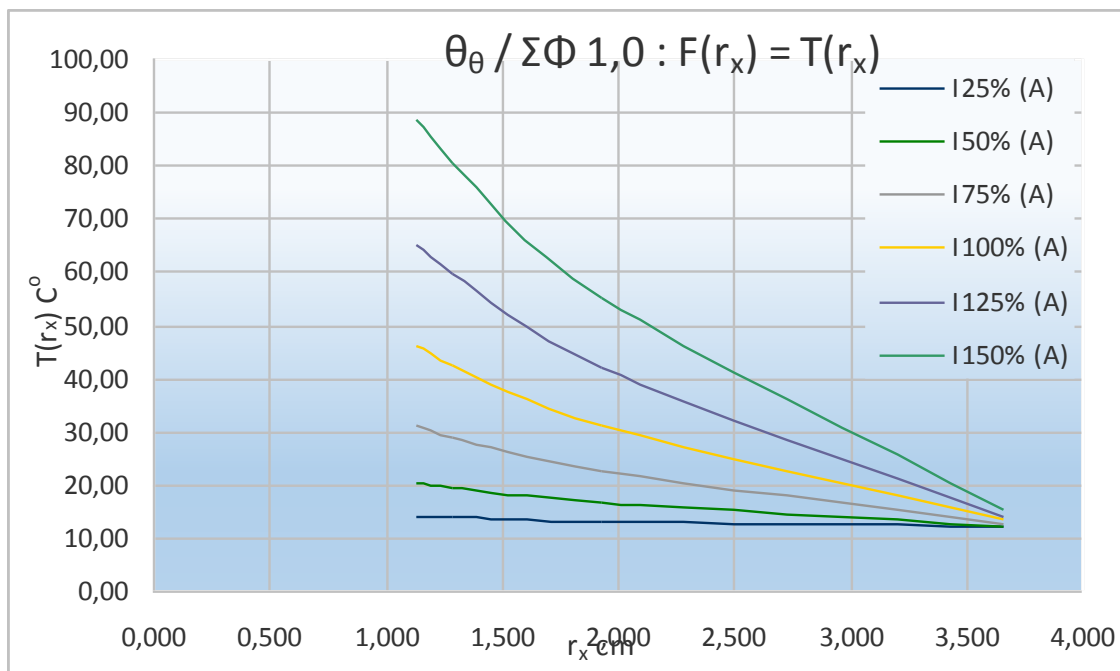
Διάγραμμα 4.59 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στην θάλασσα για τους συντελεστές φόρτισης 0,7 και 1,0. Διατομή 400mm²



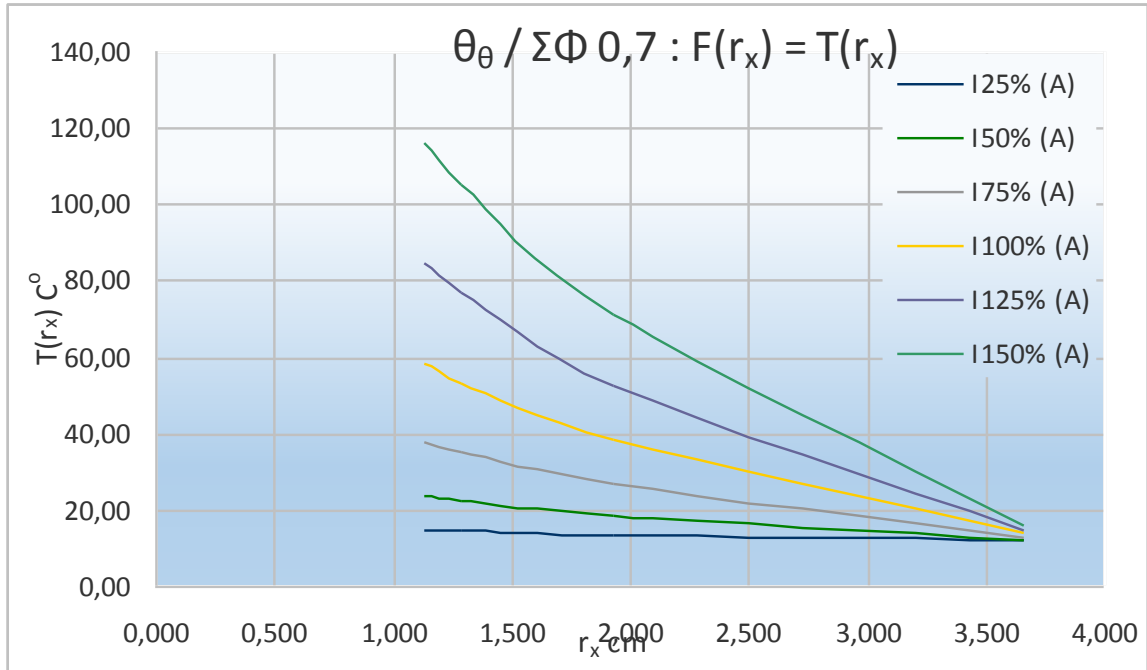
Διάγραμμα 4.60 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στο έδαφος στο 1m βάθος για έξι διαφορετικές τιμές έντασης με συντελεστή φόρτισης 1,0. Διατομή 400mm²



Διάγραμμα 4.61 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στο έδαφος στο 1m βάθος για έξι διαφορετικές τιμές έντασης με συντελεστή φόρτισης 0,7. Διατομή 400mm²



Διάγραμμα 4.62 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στη θάλασσα για έξι διαφορετικές τιμές έντασης με συντελεστή φόρτισης 1,0. Διατομή 400mm²



Διάγραμμα 4.63 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στη θάλασσα για έξι διαφορετικές τιμές έντασης με συντελεστή φόρτισης 0,7. Διατομή 630mm²

Πίνακας 4.15 Υπολογισμός αναπτυσσόμενης θερμότητας για διατομή 300mm²

Υπολογίζιμος αναπτυσσόμενης θερμότητας του αγωγού σε διάφορα στάδια φόρτισης.

Πρώτα ορίζονται τα βασικά μου μεγέθη

A Διατομή (mm ²)=	300	Εξωτ. Διαμ. (mm)=	76	Θ _ε (C°) =	18,6	Θ _θ (C°) =	12
A Διατομή (cm ²) =	3	r _a (cm) =	0,977	r ₂ (cm) =	3,8		
U Περίμετ. (cm)=	6,140	Σταθ. Μετάδ. α =	10	W/(m ² *K)			
		Σταθ. Μετάδ. α =	0,001	W/(cm ² *K)			
		Συν/στής φόρτισης	1	0,7			

Υπολογίζεται η θερμοκρασία υπερθέρμανσης συναρτήσει του χρόνου

I (A) =	642	745
---------	-----	-----

$$\Delta\theta = \frac{\rho^2 A}{\alpha^2 U} * (I/A)^2 * (1 - e^{-1/t})$$

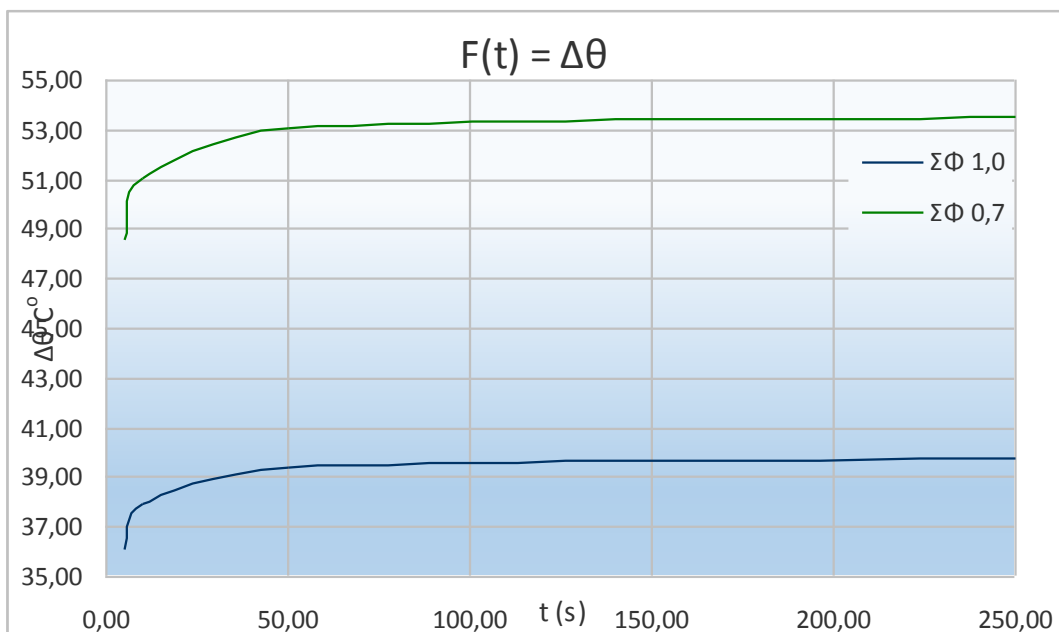
ΔΘdt					ΔΘ C°	
t (s)	ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7	1/t	(1-e ^{-1/t})	ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7
5,00	7,22	9,72	0,2	0,181	36,10	48,61
10,00	3,79	5,10	0,1	0,095	37,90	51,04
50,00	0,79	1,06	0,02	0,020	39,43	53,10
250,00	0,16	0,21	0,004	0,004	39,75	53,53

Η θερμοκρασία μετάδοσης που αναπτύσσεται

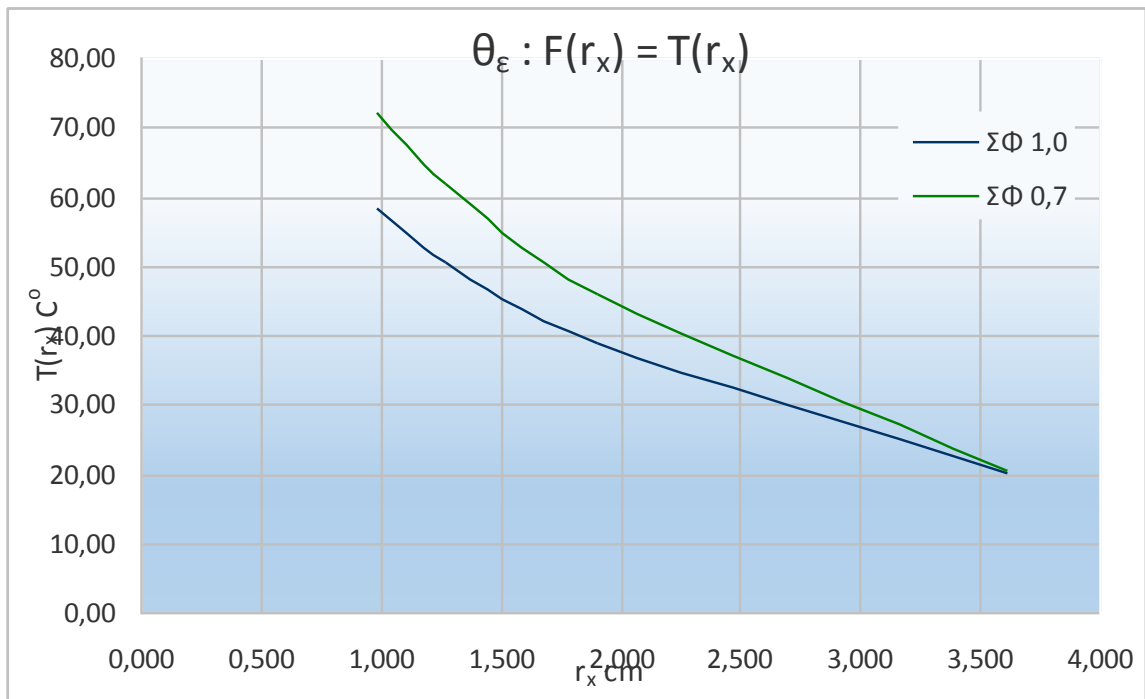
$$T(r_x) = \frac{\Delta\theta}{\ln(r_a / r_2)} * \ln(r_x / r_2) + \theta_{\epsilon/\theta}$$

ln(r_a / r₂) = -1,358

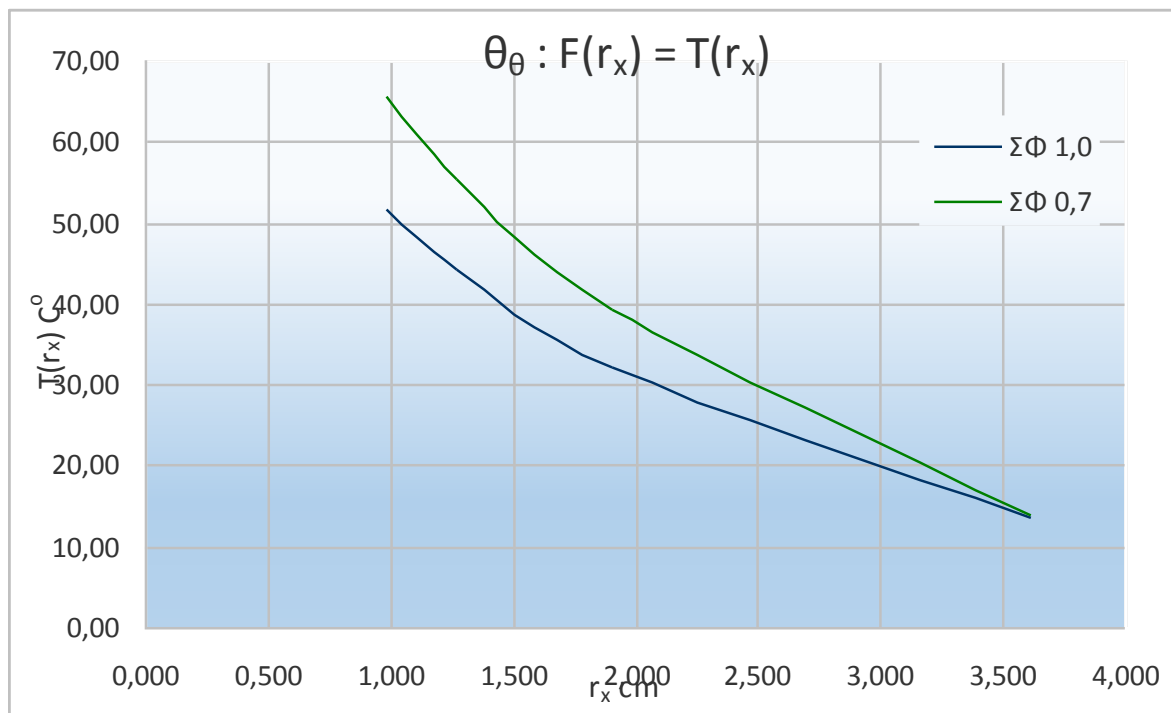
r _x (cm)	ln(r _x / r ₂)	Θ _ε (C°)		Θ _θ (C°)	
		ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7	ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7
0,977	-1,358	58,35	72,13	51,75	65,53
1,267	-1,099	50,76	61,90	44,16	55,30
1,900	-0,693	38,89	45,92	32,29	39,32
3,610	-0,051	20,10	20,62	13,50	14,02



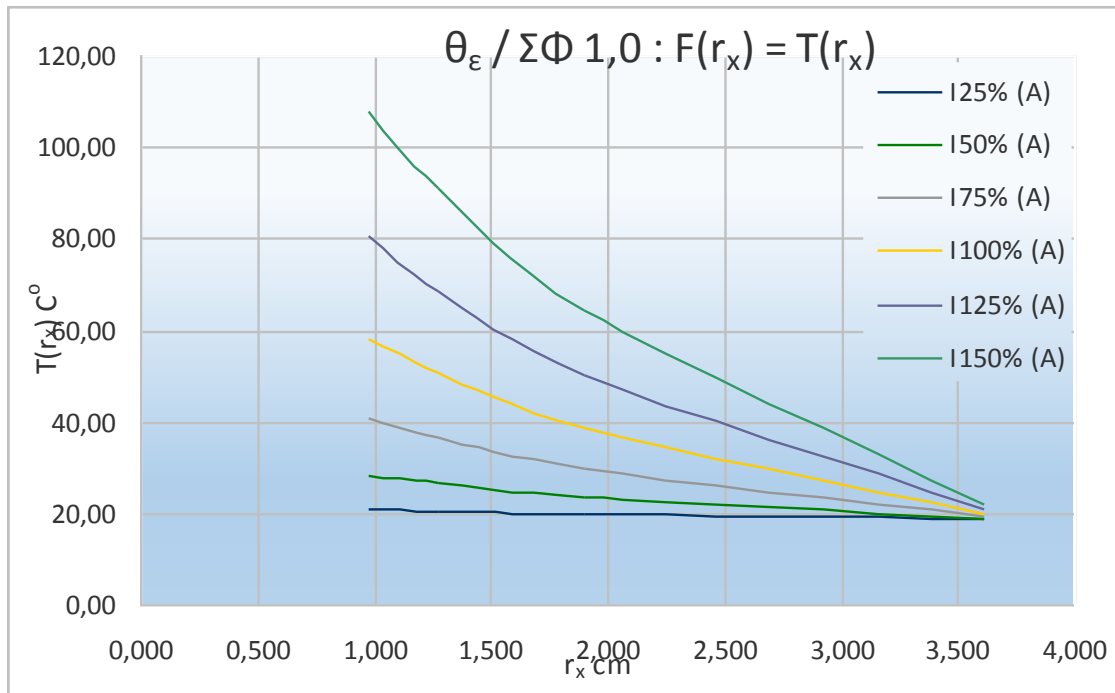
Διάγραμμα 4.64 Διάγραμμα θερμότητας συναρτήσει του χρόνου για συντελεστή φόρτισης 0,7 και 1,0. Διατομή 300mm²



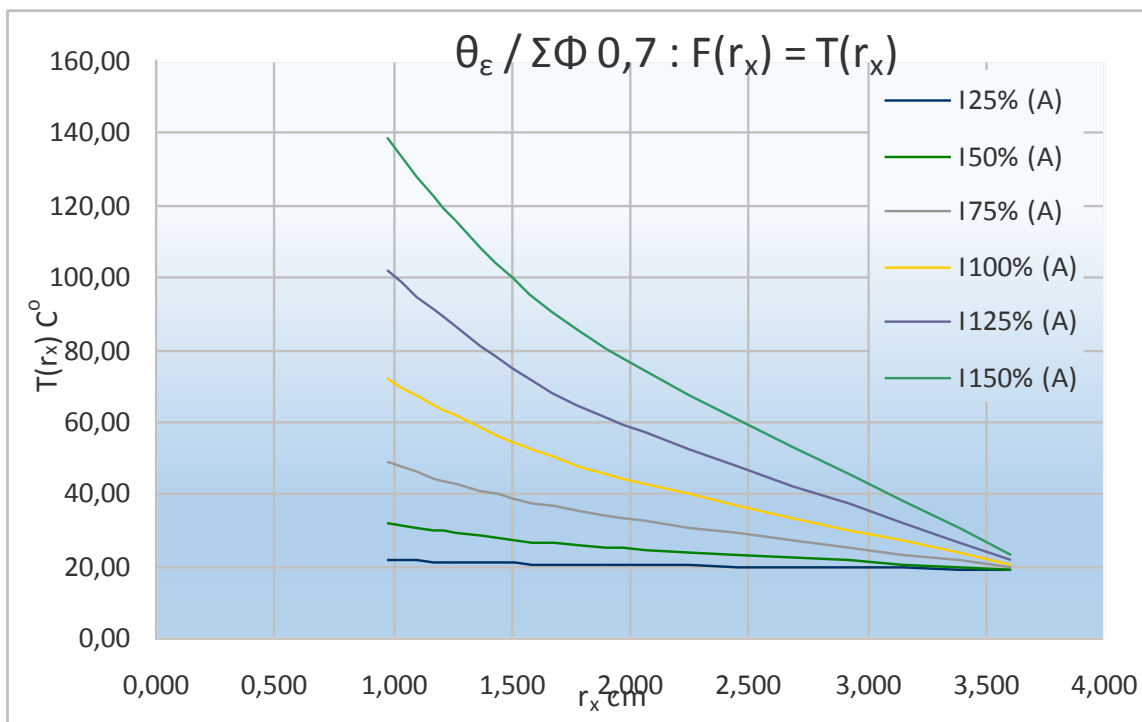
Διάγραμμα 4.65 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στο έδαφος στο 1m βάθος για συντελεστές φόρτισης 0,7 και 1,0. Διατομή 300mm²



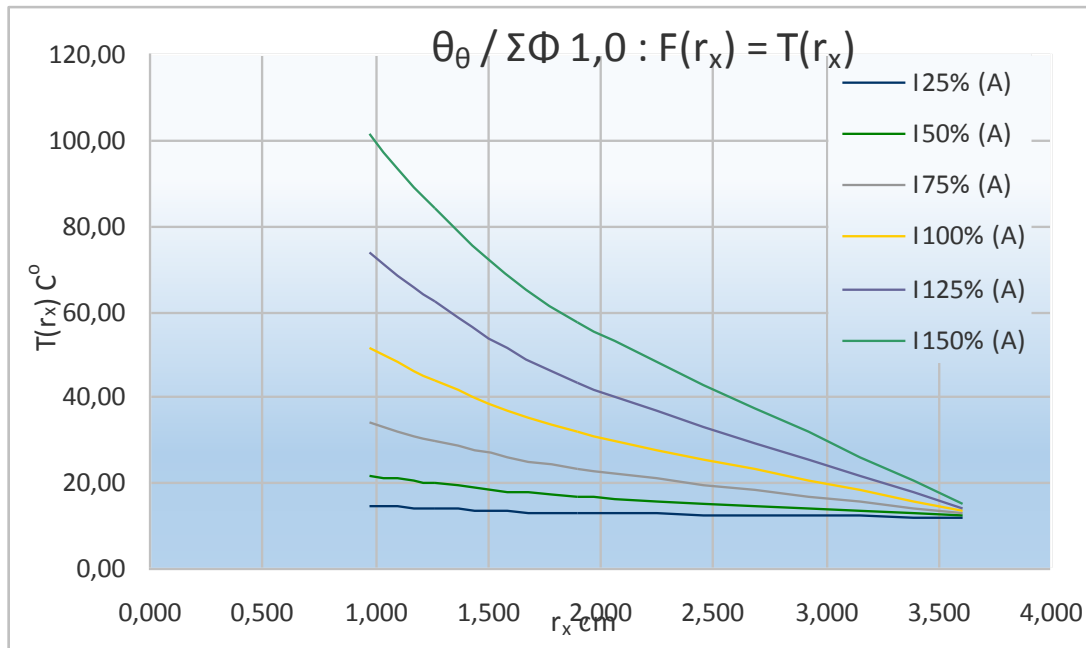
Διάγραμμα 4.66 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στην θάλασσα για τους συντελεστές φόρτισης 0,7 και 1,0. Διατομή 300mm²



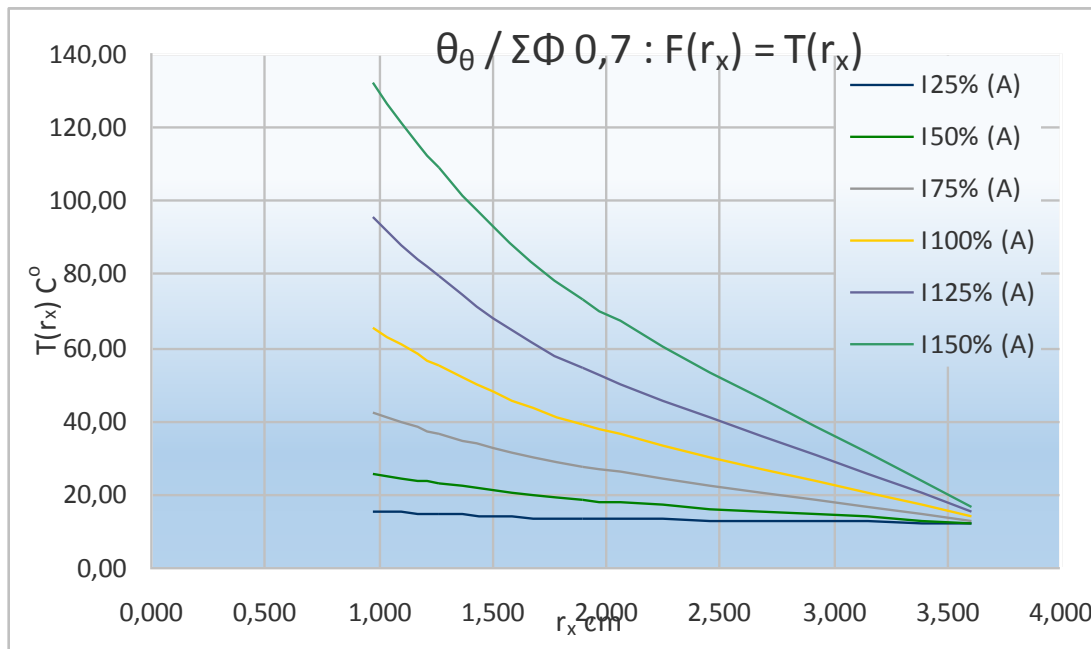
Διάγραμμα 4.67 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στο έδαφος στο 1m βάθος για έξι διαφορετικές τιμές έντασης με συντελεστή φόρτισης 1,0. Διατομή 300mm²



Διάγραμμα 4.68 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στο έδαφος στο 1m βάθος για έξι διαφορετικές τιμές έντασης με συντελεστή φόρτισης 0,7. Διατομή 300mm²



Διάγραμμα 4.69 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στη θάλασσα για έξι διαφορετικές τιμές έντασης με συντελεστή φόρτισης 1,0. Διατομή 500mm²



Διάγραμμα 4.70 Διάγραμμα θερμότητας για αγωγό εγκατεστημένο στη θάλασσα για έξι διαφορετικές τιμές έντασης με συντελεστή φόρτισης 0,7. Διατομή 500mm²

5^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ”

5.1 Σκοπός της εργασίας

Η θεωρητική προσέγγιση αυτή είχε ως σκοπό τον υπολογισμό της αναπτυσσόμενης θερμότητας σε αγωγούς υψηλής τάσης. Ποιό συγκεκριμένα, μελετώντας την ανάπτυξη θερμότητας σε διάφορα σημεία της μόνωσης του αγωγού μπορεί να γίνει σύγκριση με την τιμή θερμοκρασίας που θα μεταφερθεί η οπτική ίνα, η οποία είναι εγκατεστημένη εσωτερικά της μόνωσης, σε ένα παρατηρητή (DTS), δίνοντας έτσι την δυνατότητα για παρατήρηση και γρήγορη αντίληψη τυχών βλαβών.

5.2 Συμπεράσματα

Όλα τα θεωρητικά αποτελέσματα που προέκυψαν ήταν εντός των προδιαγραφών του αγωγού και συνεπώς έγιναν δεκτά. Αυτό που πρέπει να επισημανθεί είναι ότι όλα τα αποτελέσματα είναι υπολογισμένα σύμφωνα με τις συνθήκες που ορίζει ο κατασκευαστής.

Αρχικά αυτό που έχει μεγάλη σημασία να επισημανθεί είναι ότι όλοι οι αγωγοί που εξετάστηκαν είχαν την ίδια συμπεριφορά ως προς την ανάπτυξη της θερμοκρασίας ανεξάρτητα από την τιμή της έντασης που τους διέρρηε. Όπως επίσης η τιμή της θερμοκρασίας της εξωτερικής επιφάνειας είναι κοινή για όλες τις δοκιμές, κάτι που είναι απολύτως αναμενόμενο αφού ο αγωγός θα διοχετεύει την θερμοκρασία στο περιβάλλον μέχρι τη στιγμή που θα έρθει σε θερμική ισορροπία με αυτό. Αυξάνοντας την ένταση λοιπών αυξάνεται και η αναπτυσσόμενη θερμοκρασία συνεπώς ένα μεγαλύτερο ποσό θερμότητας εκπέμπεται στο περιβάλλον που στην περίπτωση αυτή είναι είτε η θάλασσα είτε το έδαφος.

Επίσης αξίζει να σημειωθεί η άμεση επίδραση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και συνεπώς η θερμοκρασία του αγωγού στην εξωτερική του επιφάνεια. Όπως προαναφέρθηκε η θερμοκρασία περιβάλλοντος ορίζεται από τον κατασκευαστή ωστόσο έγιναν δοκιμές για την μέση τιμή θερμοκρασίας του Ελλαδικού χώρου σύμφωνα με τα στοιχεία που έχει συλλέξει η Ελληνική μετεωρολογική υπηρεσία τα τελευταία σαράντα χρόνια από όλους τους σταθμούς μέτρησης σε όλη την χώρα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Ν. Ξ. Κακάτσιος. “Αρχές Μεταφοράς Θερμότητας και Μάζης”. Εκδόσεις Συμμεών. Αθήνα, 2006.
- [2] Β. Χατζηαθανασίου, “Μετάδοση θερμότητας”, Σημειώσεις, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων ΑΠΘ, 2005
- [3] F. P. Incropera, D.P. Dewih “Fundamentals of heat and mass transfer” Fifth edition copy 2002
- [4] Peter H. Sydenham and Richard Thorn ,”Handbook of Measuring System Design”
- [5] ABB Switchgear Manual (11th edition)
- [6] T.A. Short, “Electric Power Distribution Handbook” ,CRC PRESS 2004
- [7] Yunus A. Çengel, “Heat Transfer: A Practical Approach”, McGraw-Hill Companies Inc., 1998
- [8] A.J.Pansini “Guide to Electrical Powe Distribution Systems” sixth Edition
- [9] Σημειώσεις του Μαθήματος Ηλεκτροτεχνικές εφαρμογές

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Παρακάτω παρουσιάζονται οι πινάκες μετρήσεων των αγωγών για διαφορετικές τιμές έντασης

➤ 500 / 290 kV XLPE Cable

Για διατομή 2000mm.

Εξετάζεται η αναπτυξη θερμότητας σε σχέση με την ακτίνα με διάφορες τιμές του I με t μεταβλητό

I_{25%} (A) 396,3 475

ΔΘdt					ΔΘ C°	
t (s)	ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7	1/t	(1-e ^{-1/t})	ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7
5,00	0,16	0,23	0,2	0,181	0,80	1,15
10,00	0,08	0,12	0,1	0,095	0,84	1,21
50,00	0,02	0,03	0,02	0,020	0,87	1,26
250,00	0,00	0,01	0,004	0,004	0,88	1,27

r _x (cm)	ln(r _x / r ₂)	Θ _ε (C°)		Θ _θ (C°)	
		ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7	ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7
2,523	-1,042	19,48	19,87	12,88	13,27
2,383	-1,099	19,53	19,93	12,93	13,33
3,575	-0,693	19,19	19,44	12,59	12,84
6,793	-0,051	18,64	18,66	12,04	12,06

I_{50%} (A) 792,5 951

ΔΘdt					ΔΘ C°	
t (s)	ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7	1/t	(1-e ^{-1/t})	ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7
5,00	0,64	0,92	0,2	0,181	3,20	4,60
10,00	0,34	0,48	0,1	0,095	3,36	4,83
50,00	0,07	0,10	0,02	0,020	3,49	5,02
250,00	0,01	0,02	0,004	0,004	3,52	5,06

r _x (cm)	ln(r _x / r ₂)	Θ _ε (C°)		Θ _θ (C°)	
		ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7	ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7
2,523	-1,042	22,12	23,66	15,52	17,06
2,383	-1,099	22,31	23,94	15,71	17,34
3,575	-0,693	20,94	21,97	14,34	15,37
6,793	-0,051	18,77	18,85	12,17	12,25

I_{75%} (A) 1189 1426

ΔΘdt					ΔΘ C°	
t (s)	ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7	1/t	(1-e ^{-1/t})	ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7
5,00	1,44	2,07	0,2	0,181	7,19	10,34
10,00	0,75	1,09	0,1	0,095	7,55	10,86
50,00	0,16	0,23	0,02	0,020	7,85	11,30
250,00	0,03	0,05	0,004	0,004	7,92	11,39

r _x (cm)	ln(r _x / r ₂)	Θ _ε (C°)		Θ _θ (C°)	
		ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7	ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7
2,523	-1,042	26,52	29,99	19,92	23,39
2,383	-1,099	26,95	30,61	20,35	24,01
3,575	-0,693	23,87	26,18	17,27	19,58
6,793	-0,051	18,99	19,16	12,39	12,56

I_{100%} (A) 1585 1901

$\Delta\Theta dt$					$\Delta\Theta \text{ C}^\circ$	
t (s)	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$	1/t	$(1-e^{-1/t})$	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$
5,00	2,56	3,68	0,2	0,181	12,78	18,39
10,00	1,34	1,93	0,1	0,095	13,42	19,31
50,00	0,28	0,40	0,02	0,020	13,96	20,09
250,00	0,06	0,08	0,004	0,004	14,08	20,25

		$\Theta_\varepsilon \text{ (C}^\circ)$		$\Theta_\theta \text{ (C}^\circ)$	
		$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$
$r_x \text{ (cm)}$	$\ln(r_x / r_2)$	$T(rx) \text{ C}^\circ$			
2,523	-1,042	32,68	38,85	26,08	32,25
2,383	-1,099	33,45	39,96	26,85	33,36
3,575	-0,693	27,97	32,07	21,37	25,47
6,793	-0,051	19,29	19,60	12,69	13,00

I_{125%} (A) 1981 2376

$\Delta\Theta dt$					$\Delta\Theta \text{ C}^\circ$	
t (s)	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$	1/t	$(1-e^{-1/t})$	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$
5,00	3,99	5,75	0,2	0,181	19,97	28,73
10,00	2,10	3,02	0,1	0,095	20,97	30,17
50,00	0,44	0,63	0,02	0,020	21,82	31,39
250,00	0,09	0,13	0,004	0,004	21,99	31,64

		$\Theta_\varepsilon \text{ (C}^\circ)$		$\Theta_\theta \text{ (C}^\circ)$	
		$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$
$r_x \text{ (cm)}$	$\ln(r_x / r_2)$	$T(rx) \text{ C}^\circ$			
2,523	-1,042	40,59	50,24	33,99	43,64
2,383	-1,099	41,80	51,97	35,20	45,37
3,575	-0,693	33,24	39,65	26,64	33,05
6,793	-0,051	19,68	20,16	13,08	13,56

I_{150%} (A) 2378 2852

$\Delta\Theta dt$					$\Delta\Theta \text{ C}^\circ$	
t (s)	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$	1/t	$(1-e^{-1/t})$	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$
5,00	5,75	8,27	0,2	0,181	28,76	41,37
10,00	3,02	4,34	0,1	0,095	30,20	43,44
50,00	0,63	0,90	0,02	0,020	31,42	45,19
250,00	0,13	0,18	0,004	0,004	31,67	45,56

		$\Theta_\varepsilon \text{ (C}^\circ)$		$\Theta_\theta \text{ (C}^\circ)$	
		$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$
$r_x \text{ (cm)}$	$\ln(r_x / r_2)$	$T(rx) \text{ C}^\circ$			
2,523	-1,042	50,27	64,16	43,67	57,56
2,383	-1,099	52,00	66,65	45,40	60,05
3,575	-0,693	39,68	48,92	33,08	42,32
6,793	-0,051	20,16	20,84	13,56	14,24

Για διατομή 1600mm.

Εξετάζεται η αναπτυξη θερμότητας σε σχέση με την ακτίνα με διάφορες τιμές του I με t μεταβλητό

$I_{25\%}$ (A) 360 430

$\Delta\Theta dt$					$\Delta\Theta$ C°	
t (s)	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	1/t	$(1-e^{-1/t})$	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
5,00	0,18	0,26	0,2	0,181	0,92	1,31
10,00	0,10	0,14	0,1	0,095	0,97	1,38
50,00	0,02	0,03	0,02	0,020	1,01	1,43
250,00	0,00	0,01	0,004	0,004	1,01	1,44

		Θ_ϵ (C°)		Θ_θ (C°)	
		$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
r_x (cm)	$\ln(r_x / r_2)$	$T(rx)$ C°			
2,257	-1,096	19,61	20,04	13,01	13,44
2,250	-1,099	19,62	20,05	13,02	13,45
3,375	-0,693	19,24	19,51	12,64	12,91
6,413	-0,051	18,65	18,67	12,05	12,07

$I_{50\%}$ (A) 720 859

$\Delta\Theta dt$					$\Delta\Theta$ C°	
t (s)	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	1/t	$(1-e^{-1/t})$	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
5,00	0,74	1,05	0,2	0,181	3,69	5,25
10,00	0,39	0,55	0,1	0,095	3,87	5,51
50,00	0,08	0,11	0,02	0,020	4,03	5,73
250,00	0,02	0,02	0,004	0,004	4,06	5,78

		Θ_ϵ (C°)		Θ_θ (C°)	
		$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
r_x (cm)	$\ln(r_x / r_2)$	$T(rx)$ C°			
2,257	-1,096	22,66	24,38	16,06	17,78
2,250	-1,099	22,67	24,39	16,07	17,79
3,375	-0,693	21,17	22,26	14,57	15,66
6,413	-0,051	18,79	18,87	12,19	12,27

$I_{75\%}$ (A) 1080 1289

$\Delta\Theta dt$					$\Delta\Theta$ C°	
t (s)	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	1/t	$(1-e^{-1/t})$	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
5,00	1,66	2,36	0,2	0,181	8,29	11,81
10,00	0,87	1,24	0,1	0,095	8,71	12,40
50,00	0,18	0,26	0,02	0,020	9,06	12,90
250,00	0,04	0,05	0,004	0,004	9,13	13,00

		Θ_ϵ (C°)		Θ_θ (C°)	
		$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
r_x (cm)	$\ln(r_x / r_2)$	$T(rx)$ C°			
2,257	-1,096	27,73	31,60	21,13	25,00
2,250	-1,099	27,76	31,64	21,16	25,04
3,375	-0,693	24,38	26,82	17,78	20,22
6,413	-0,051	19,03	19,21	12,43	12,61

I_{100%} (A) 1440 1718

$\Delta\Theta dt$				
t (s)	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	1/t	(1-e ^{-1/t})
5,00	2,95	4,20	0,2	0,181
10,00	1,55	2,20	0,1	0,095
50,00	0,32	0,46	0,02	0,020
250,00	0,06	0,09	0,004	0,004

$\Delta\Theta$ C°	
$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
14,75	20,99
15,48	22,04
16,11	22,93
16,24	23,11

		Θ_ε (C°)		Θ_θ (C°)	
		$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
r_x (cm)	$\ln(r_x / r_2)$	$T(rx)$ C°			
2,257	-1,096	34,84	41,71	28,24	35,11
2,250	-1,099	34,88	41,77	28,28	35,17
3,375	-0,693	28,87	33,22	22,27	26,62
6,413	-0,051	19,36	19,68	12,76	13,08

I_{125%} (A) 1800 2148

$\Delta\Theta dt$				
t (s)	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	1/t	(1-e ^{-1/t})
5,00	4,61	6,56	0,2	0,181
10,00	2,42	3,44	0,1	0,095
50,00	0,50	0,72	0,02	0,020
250,00	0,10	0,14	0,004	0,004

$\Delta\Theta$ C°	
$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
23,04	32,79
24,19	34,43
25,17	35,82
25,37	36,11

		Θ_ε (C°)		Θ_θ (C°)	
		$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
r_x (cm)	$\ln(r_x / r_2)$	$T(rx)$ C°			
2,257	-1,096	43,97	54,71	37,37	48,11
2,250	-1,099	44,04	54,81	37,44	48,21
3,375	-0,693	34,65	41,45	28,05	34,85
6,413	-0,051	19,79	20,29	13,19	13,69

I_{150%} (A) 2160 2577

$\Delta\Theta dt$				
t (s)	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	1/t	(1-e ^{-1/t})
5,00	6,64	9,44	0,2	0,181
10,00	3,48	4,96	0,1	0,095
50,00	0,72	1,03	0,02	0,020
250,00	0,15	0,21	0,004	0,004

$\Delta\Theta$ C°	
$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
33,18	47,22
34,83	49,58
36,24	51,59
36,53	52,00

		Θ_ε (C°)		Θ_θ (C°)	
		$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
r_x (cm)	$\ln(r_x / r_2)$	$T(rx)$ C°			
2,257	-1,096	55,13	70,60	48,53	64,00
2,250	-1,099	55,23	70,74	48,63	64,14
3,375	-0,693	41,71	51,50	35,11	44,90
6,413	-0,051	20,31	21,03	13,71	14,43

➤ 400 / 230 kV XLPE Cable

Για διατομή 1400mm.

Εξετάζεται η αναπτυξη θερμοτητας σε σχέση με την ακτινα με διάφορες τιμές του I με t μεταβλητό

I_{25%} (A) 348,5 416

ΔΘdt					ΔΘ C°	
t (s)	ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7	1/t	(1-e ^{-1/t})	ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7
5,00	0,21	0,30	0,2	0,181	1,06	1,51
10,00	0,11	0,16	0,1	0,095	1,11	1,58
50,00	0,02	0,03	0,02	0,020	1,15	1,64
250,00	0,00	0,01	0,004	0,004	1,16	1,66

		Θ _ε (C°)		Θ _θ (C°)	
		ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7	ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7
r _x (cm)	ln(r _x / r ₂)	T(rx) C°			
2,111	-1,069	19,76	20,26	13,16	13,66
2,050	-1,099	19,79	20,30	13,19	13,70
3,075	-0,693	19,35	19,67	12,75	13,07
5,843	-0,051	18,66	18,68	12,06	12,08

I_{50%} (A) 697 833

ΔΘdt					ΔΘ C°	
t (s)	ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7	1/t	(1-e ^{-1/t})	ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7
5,00	0,84	1,20	0,2	0,181	4,22	6,02
10,00	0,44	0,63	0,1	0,095	4,43	6,32
50,00	0,09	0,13	0,02	0,020	4,61	6,58
250,00	0,02	0,03	0,004	0,004	4,65	6,63

		Θ _ε (C°)		Θ _θ (C°)	
		ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7	ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7
r _x (cm)	ln(r _x / r ₂)	T(rx) C°			
2,111	-1,069	23,25	25,23	16,65	18,63
2,050	-1,099	23,38	25,41	16,78	18,81
3,075	-0,693	21,61	22,90	15,01	16,30
5,843	-0,051	18,82	18,92	12,22	12,32

I_{75%} (A) 1046 1249

ΔΘdt					ΔΘ C°	
t (s)	ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7	1/t	(1-e ^{-1/t})	ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7
5,00	1,90	2,71	0,2	0,181	9,50	13,55
10,00	1,00	1,42	0,1	0,095	9,97	14,22
50,00	0,21	0,30	0,02	0,020	10,37	14,80
250,00	0,04	0,06	0,004	0,004	10,46	14,92

		Θ _ε (C°)		Θ _θ (C°)	
		ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7	ΣΦ 1,0	ΣΦ 0,7
r _x (cm)	ln(r _x / r ₂)	T(rx) C°			
2,111	-1,069	29,06	33,52	22,46	26,92
2,050	-1,099	29,34	33,93	22,74	27,33
3,075	-0,693	25,38	28,27	18,78	21,67
5,843	-0,051	19,10	19,32	12,50	12,72

I_{100%} (A) 1394 1665

$\Delta\Theta dt$				
t (s)	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$	1/t	(1-e ^{-1/t})
5,00	3,38	4,82	0,2	0,181
10,00	1,77	2,53	0,1	0,095
50,00	0,37	0,53	0,02	0,020
250,00	0,07	0,11	0,004	0,004

$\Delta\Theta C^\circ$	
$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$
16,88	24,09
17,73	25,29
18,44	26,31
18,59	26,52

		$\Theta_\varepsilon (C^\circ)$		$\Theta_\theta (C^\circ)$	
		$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$
r_x (cm)	$\ln(r_x / r_2)$	$T(rx) C^\circ$			
2,111	-1,069	37,19	45,12	30,59	38,52
2,050	-1,099	37,70	45,85	31,10	39,25
3,075	-0,693	30,65	35,79	24,05	29,19
5,843	-0,051	19,49	19,87	12,89	13,27

I_{125%} (A) 1743 2081

$\Delta\Theta dt$				
t (s)	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$	1/t	(1-e ^{-1/t})
5,00	5,28	7,53	0,2	0,181
10,00	2,77	3,95	0,1	0,095
50,00	0,58	0,82	0,02	0,020
250,00	0,12	0,17	0,004	0,004

$\Delta\Theta C^\circ$	
$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$
26,38	37,63
27,70	39,51
28,82	41,11
29,05	41,44

		$\Theta_\varepsilon (C^\circ)$		$\Theta_\theta (C^\circ)$	
		$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$
r_x (cm)	$\ln(r_x / r_2)$	$T(rx) C^\circ$			
2,111	-1,069	47,65	60,04	41,05	53,44
2,050	-1,099	48,44	61,18	41,84	54,58
3,075	-0,693	37,43	45,46	30,83	38,86
5,843	-0,051	19,99	20,59	13,39	13,99

I_{150%} (A) 2091 2498

$\Delta\Theta dt$				
t (s)	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$	1/t	(1-e ^{-1/t})
5,00	7,60	10,84	0,2	0,181
10,00	3,99	5,69	0,1	0,095
50,00	0,83	1,18	0,02	0,020
250,00	0,17	0,24	0,004	0,004

$\Delta\Theta C^\circ$	
$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$
37,99	54,19
39,88	56,90
41,50	59,20
41,83	59,67

		$\Theta_\varepsilon (C^\circ)$		$\Theta_\theta (C^\circ)$	
		$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$
r_x (cm)	$\ln(r_x / r_2)$	$T(rx) C^\circ$			
2,111	-1,069	60,43	78,27	53,83	71,67
2,050	-1,099	61,58	79,91	54,98	73,31
3,075	-0,693	45,71	57,28	39,11	50,68
5,843	-0,051	20,61	21,46	14,01	14,86

Για διατομή 1200mm.

Εξετάζεται η αναπτυξη θερμοτητας σε σχέση με την ακτινα με διάφορες τιμές του I με t μεταβλητό

I_{25%} (A) 322,5 384

$\Delta\Theta dt$					$\Delta\Theta C^\circ$	
t (s)	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$	1/t	$(1-e^{-1/t})$	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$
5,00	0,23	0,32	0,2	0,181	1,14	1,61
10,00	0,12	0,17	0,1	0,095	1,20	1,69
50,00	0,02	0,04	0,02	0,020	1,24	1,76
250,00	0,01	0,01	0,004	0,004	1,25	1,77

		$\Theta_\epsilon (C^\circ)$		$\Theta_\theta (C^\circ)$	
		$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$
r_x (cm)	$\ln(r_x / r_2)$	$T(rx) C^\circ$			
1,954	-1,138	19,85	20,37	13,25	13,77
2,033	-1,099	19,81	20,31	13,21	13,71
3,050	-0,693	19,36	19,68	12,76	13,08
5,795	-0,051	18,66	18,68	12,06	12,08

I_{50%} (A) 645 767

$\Delta\Theta dt$					$\Delta\Theta C^\circ$	
t (s)	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$	1/t	$(1-e^{-1/t})$	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$
5,00	0,91	1,29	0,2	0,181	4,55	6,44
10,00	0,48	0,68	0,1	0,095	4,78	6,76
50,00	0,10	0,14	0,02	0,020	4,98	7,04
250,00	0,02	0,03	0,004	0,004	5,02	7,09

		$\Theta_\epsilon (C^\circ)$		$\Theta_\theta (C^\circ)$	
		$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$
r_x (cm)	$\ln(r_x / r_2)$	$T(rx) C^\circ$			
1,954	-1,138	23,62	25,69	17,02	19,09
2,033	-1,099	23,44	25,45	16,84	18,85
3,050	-0,693	21,65	22,92	15,05	16,32
5,795	-0,051	18,83	18,92	12,23	12,32

I_{75%} (A) 967,5 1151

$\Delta\Theta dt$					$\Delta\Theta C^\circ$	
t (s)	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$	1/t	$(1-e^{-1/t})$	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$
5,00	2,05	2,90	0,2	0,181	10,25	14,49
10,00	1,08	1,52	0,1	0,095	10,76	15,22
50,00	0,22	0,32	0,02	0,020	11,19	15,83
250,00	0,05	0,06	0,004	0,004	11,28	15,96

		$\Theta_\epsilon (C^\circ)$		$\Theta_\theta (C^\circ)$	
		$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$
r_x (cm)	$\ln(r_x / r_2)$	$T(rx) C^\circ$			
1,954	-1,138	29,88	34,56	23,28	27,96
2,033	-1,099	29,49	34,00	22,89	27,40
3,050	-0,693	25,47	28,32	18,87	21,72
5,795	-0,051	19,11	19,32	12,51	12,72

I_{100%} (A) 1290 1534

$\Delta\Theta dt$					$\Delta\Theta \text{ C}^\circ$	
t (s)	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$	1/t	$(1-e^{-1/t})$	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$
5,00	3,64	5,15	0,2	0,181	18,22	25,76
10,00	1,91	2,70	0,1	0,095	19,13	27,05
50,00	0,40	0,56	0,02	0,020	19,90	28,14
250,00	0,08	0,11	0,004	0,004	20,06	28,37

		$\Theta_\varepsilon \text{ (C}^\circ)$		$\Theta_\theta \text{ (C}^\circ)$	
		$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$
$r_x \text{ (cm)}$	$\ln(r_x / r_2)$	$T(rx) \text{ C}^\circ$			
1,954	-1,138	38,66	46,97	32,06	40,37
2,033	-1,099	37,96	45,98	31,36	39,38
3,050	-0,693	30,82	35,88	24,22	29,28
5,795	-0,051	19,50	19,88	12,90	13,28

I_{125%} (A) 1613 1918

$\Delta\Theta dt$					$\Delta\Theta \text{ C}^\circ$	
t (s)	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$	1/t	$(1-e^{-1/t})$	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$
5,00	5,69	8,05	0,2	0,181	28,47	40,25
10,00	2,99	4,23	0,1	0,095	29,89	42,27
50,00	0,62	0,88	0,02	0,020	31,10	43,97
250,00	0,13	0,18	0,004	0,004	31,35	44,33

		$\Theta_\varepsilon \text{ (C}^\circ)$		$\Theta_\theta \text{ (C}^\circ)$	
		$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$
$r_x \text{ (cm)}$	$\ln(r_x / r_2)$	$T(rx) \text{ C}^\circ$			
1,954	-1,138	49,95	62,93	43,35	56,33
2,033	-1,099	48,86	61,38	42,26	54,78
3,050	-0,693	37,69	45,59	31,09	38,99
5,795	-0,051	20,01	20,60	13,41	14,00

I_{150%} (A) 1935 2301

$\Delta\Theta dt$					$\Delta\Theta \text{ C}^\circ$	
t (s)	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$	1/t	$(1-e^{-1/t})$	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$
5,00	8,20	11,59	0,2	0,181	40,99	57,97
10,00	4,30	6,09	0,1	0,095	43,04	60,86
50,00	0,90	1,27	0,02	0,020	44,78	63,32
250,00	0,18	0,26	0,004	0,004	45,14	63,83

		$\Theta_\varepsilon \text{ (C}^\circ)$		$\Theta_\theta \text{ (C}^\circ)$	
		$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$
$r_x \text{ (cm)}$	$\ln(r_x / r_2)$	$T(rx) \text{ C}^\circ$			
1,954	-1,138	63,74	82,43	57,14	75,83
2,033	-1,099	62,17	80,21	55,57	73,61
3,050	-0,693	46,09	57,47	39,49	50,87
5,795	-0,051	20,63	21,48	14,03	14,88

➤ 345 / 200 kV XLPE Cable

Για διατομή 1000mm.

Εξετάζεται η αναπτυξη θερμότητας σε σχέση με την ακτίνα με διάφορες τιμές του I με t μεταβλητό

$I_{25\%}$ (A) 301,3 357

$\Delta\Theta dt$					$\Delta\Theta$ C°	
t (s)	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	1/t	$(1-e^{-1/t})$	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
5,00	0,26	0,37	0,2	0,181	1,31	1,83
10,00	0,14	0,19	0,1	0,095	1,37	1,92
50,00	0,03	0,04	0,02	0,020	1,43	2,00
250,00	0,01	0,01	0,004	0,004	1,44	2,02

		Θ_ϵ (C°)		Θ_θ (C°)	
		$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
r_x (cm)	$\ln(r_x / r_2)$	$T(rx)$ C°			
1,784	-1,196	20,04	20,62	13,44	14,02
1,967	-1,099	19,92	20,45	13,32	13,85
2,950	-0,693	19,43	19,77	12,83	13,17
5,605	-0,051	18,66	18,69	12,06	12,09

$I_{50\%}$ (A) 602,5 714

$\Delta\Theta dt$					$\Delta\Theta$ C°	
t (s)	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	1/t	$(1-e^{-1/t})$	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
5,00	1,04	1,47	0,2	0,181	5,22	7,33
10,00	0,55	0,77	0,1	0,095	5,49	7,69
50,00	0,11	0,16	0,02	0,020	5,71	8,00
250,00	0,02	0,03	0,004	0,004	5,75	8,07

		Θ_ϵ (C°)		Θ_θ (C°)	
		$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
r_x (cm)	$\ln(r_x / r_2)$	$T(rx)$ C°			
1,784	-1,196	24,35	26,67	17,75	20,07
1,967	-1,099	23,88	26,01	17,28	19,41
2,950	-0,693	21,93	23,28	15,33	16,68
5,605	-0,051	18,85	18,95	12,25	12,35

$I_{75\%}$ (A) 903,8 1070

$\Delta\Theta dt$					$\Delta\Theta$ C°	
t (s)	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	1/t	$(1-e^{-1/t})$	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
5,00	2,35	3,30	0,2	0,181	11,75	16,48
10,00	1,23	1,73	0,1	0,095	12,34	17,31
50,00	0,26	0,36	0,02	0,020	12,84	18,01
250,00	0,05	0,07	0,004	0,004	12,94	18,15

		Θ_ϵ (C°)		Θ_θ (C°)	
		$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
r_x (cm)	$\ln(r_x / r_2)$	$T(rx)$ C°			
1,784	-1,196	31,54	36,75	24,94	30,15
1,967	-1,099	30,49	35,27	23,89	28,67
2,950	-0,693	26,10	29,12	19,50	22,52
5,605	-0,051	19,16	19,38	12,56	12,78

I_{100%} (A) 1205 1427

$\Delta\Theta dt$				
t (s)	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$	1/t	(1-e ^{-1/t})
5,00	4,18	5,86	0,2	0,181
10,00	2,19	3,08	0,1	0,095
50,00	0,46	0,64	0,02	0,020
250,00	0,09	0,13	0,004	0,004

$\Delta\Theta C^\circ$	
$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$
20,90	29,31
21,94	30,77
22,83	32,01
23,01	32,27

		$\Theta_\varepsilon (C^\circ)$		$\Theta_\theta (C^\circ)$	
		$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$
r_x (cm)	$\ln(r_x / r_2)$	$T(rx) C^\circ$			
1,784	-1,196	41,61	50,87	35,01	44,27
1,967	-1,099	39,74	48,24	33,14	41,64
2,950	-0,693	31,94	37,30	25,34	30,70
5,605	-0,051	19,59	19,98	12,99	13,38

I_{125%} (A) 1506 1784

$\Delta\Theta dt$				
t (s)	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$	1/t	(1-e ^{-1/t})
5,00	6,53	9,16	0,2	0,181
10,00	3,43	4,81	0,1	0,095
50,00	0,71	1,00	0,02	0,020
250,00	0,14	0,20	0,004	0,004

$\Delta\Theta C^\circ$	
$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$
32,65	45,79
34,28	48,08
35,67	50,02
35,95	50,42

		$\Theta_\varepsilon (C^\circ)$		$\Theta_\theta (C^\circ)$	
		$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$
r_x (cm)	$\ln(r_x / r_2)$	$T(rx) C^\circ$			
1,784	-1,196	54,55	69,02	47,95	62,42
1,967	-1,099	51,63	64,92	45,03	58,32
2,950	-0,693	39,44	47,82	32,84	41,22
5,605	-0,051	20,14	20,76	13,54	14,16

I_{150%} (A) 1808 2141

$\Delta\Theta dt$				
t (s)	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$	1/t	(1-e ^{-1/t})
5,00	9,40	13,19	0,2	0,181
10,00	4,94	6,92	0,1	0,095
50,00	1,03	1,44	0,02	0,020
250,00	0,21	0,29	0,004	0,004

$\Delta\Theta C^\circ$	
$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$
47,02	65,94
49,37	69,23
51,36	72,03
51,77	72,61

		$\Theta_\varepsilon (C^\circ)$		$\Theta_\theta (C^\circ)$	
		$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$
r_x (cm)	$\ln(r_x / r_2)$	$T(rx) C^\circ$			
1,784	-1,196	70,37	91,21	63,77	84,61
1,967	-1,099	66,16	85,30	59,56	78,70
2,950	-0,693	48,61	60,68	42,01	54,08
5,605	-0,051	20,82	21,71	14,22	15,11

Για διατομή 800mm.

Εξετάζεται η αναπτυξη θερμότητας σε σχέση με την ακτίνα με διάφορες τιμές του I με t μεταβλητό

$I_{25\%}$ (A) 256,8 302

$\Delta\Theta dt$					$\Delta\Theta$ C°	
t (s)	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	1/t	$(1-e^{-1/t})$	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
5,00	0,27	0,37	0,2	0,181	1,33	1,83
10,00	0,14	0,19	0,1	0,095	1,39	1,93
50,00	0,03	0,04	0,02	0,020	1,45	2,00
250,00	0,01	0,01	0,004	0,004	1,46	2,02

		Θ_ϵ (C°)		Θ_θ (C°)	
		$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
r_x (cm)	$\ln(r_x / r_2)$	$T(rx)$ C°			
1,596	-1,282	20,06	20,62	13,46	14,02
1,917	-1,099	19,85	20,33	13,25	13,73
2,875	-0,693	19,39	19,69	12,79	13,09
5,463	-0,051	18,66	18,68	12,06	12,08

$I_{50\%}$ (A) 513,5 604

$\Delta\Theta dt$					$\Delta\Theta$ C°	
t (s)	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	1/t	$(1-e^{-1/t})$	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
5,00	1,06	1,47	0,2	0,181	5,30	7,34
10,00	0,56	0,77	0,1	0,095	5,57	7,70
50,00	0,12	0,16	0,02	0,020	5,79	8,02
250,00	0,02	0,03	0,004	0,004	5,84	8,08

		Θ_ϵ (C°)		Θ_θ (C°)	
		$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
r_x (cm)	$\ln(r_x / r_2)$	$T(rx)$ C°			
1,596	-1,282	24,44	26,68	17,84	20,08
1,917	-1,099	23,61	25,52	17,01	18,92
2,875	-0,693	21,76	22,97	15,16	16,37
5,463	-0,051	18,83	18,92	12,23	12,32

$I_{75\%}$ (A) 770,3 906

$\Delta\Theta dt$					$\Delta\Theta$ C°	
t (s)	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	1/t	$(1-e^{-1/t})$	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
5,00	2,39	3,30	0,2	0,181	11,93	16,51
10,00	1,25	1,73	0,1	0,095	12,53	17,33
50,00	0,26	0,36	0,02	0,020	13,04	18,03
250,00	0,05	0,07	0,004	0,004	13,14	18,18

		Θ_ϵ (C°)		Θ_θ (C°)	
		$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
r_x (cm)	$\ln(r_x / r_2)$	$T(rx)$ C°			
1,596	-1,282	31,74	36,78	25,14	30,18
1,917	-1,099	29,86	34,18	23,26	27,58
2,875	-0,693	25,71	28,43	19,11	21,83
5,463	-0,051	19,13	19,33	12,53	12,73

I_{100%} (A) 1027 1208

$\Delta\Theta dt$				
t (s)	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	1/t	(1-e ^{-1/t})
5,00	4,24	5,87	0,2	0,181
10,00	2,23	3,08	0,1	0,095
50,00	0,46	0,64	0,02	0,020
250,00	0,09	0,13	0,004	0,004

$\Delta\Theta$ C°	
$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
21,21	29,35
22,27	30,82
23,17	32,06
23,36	32,32

		Θ_ε (C°)		Θ_θ (C°)	
		$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
r_x (cm)	$\ln(r_x / r_2)$	$T(rx)$ C°			
1,596	-1,282	41,96	50,92	35,36	44,32
1,917	-1,099	38,62	46,30	32,02	39,70
2,875	-0,693	31,23	36,08	24,63	29,48
5,463	-0,051	19,53	19,89	12,93	13,29

I_{125%} (A) 1284 1510

$\Delta\Theta dt$				
t (s)	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	1/t	(1-e ^{-1/t})
5,00	6,63	9,17	0,2	0,181
10,00	3,48	4,82	0,1	0,095
50,00	0,72	1,00	0,02	0,020
250,00	0,15	0,20	0,004	0,004

$\Delta\Theta$ C°	
$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
33,15	45,86
34,80	48,15
36,21	50,10
36,50	50,50

		Θ_ε (C°)		Θ_θ (C°)	
		$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
r_x (cm)	$\ln(r_x / r_2)$	$T(rx)$ C°			
1,596	-1,282	55,10	69,10	48,50	62,50
1,917	-1,099	49,88	61,88	43,28	55,28
2,875	-0,693	38,34	45,91	31,74	39,31
5,463	-0,051	20,06	20,62	13,46	14,02

I_{150%} (A) 1541 1812

$\Delta\Theta dt$				
t (s)	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	1/t	(1-e ^{-1/t})
5,00	9,55	13,21	0,2	0,181
10,00	5,01	6,93	0,1	0,095
50,00	1,04	1,44	0,02	0,020
250,00	0,21	0,29	0,004	0,004

$\Delta\Theta$ C°	
$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
47,73	66,04
50,12	69,34
52,14	72,14
52,56	72,72

		Θ_ε (C°)		Θ_θ (C°)	
		$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
r_x (cm)	$\ln(r_x / r_2)$	$T(rx)$ C°			
1,596	-1,282	71,16	91,32	64,56	84,72
1,917	-1,099	63,65	80,92	57,05	74,32
2,875	-0,693	47,02	57,92	40,42	51,32
5,463	-0,051	20,70	21,51	14,10	14,91

➤ 220 / 127 kV XLPE Cable

Για διατομή 630mm.

Εξετάζεται η αναπτύξη θερμότητας σε σχέση με την ακτίνα με διάφορες τιμές του I με t μεταβλητό

$I_{25\%}$ (A) 232,5 273

$\Delta\Theta dt$					$\Delta\Theta$ C°	
t (s)	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	1/t	$(1-e^{-1/t})$	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
5,00	0,31	0,43	0,2	0,181	1,56	2,14
10,00	0,16	0,22	0,1	0,095	1,63	2,24
50,00	0,03	0,05	0,02	0,020	1,70	2,33
250,00	0,01	0,01	0,004	0,004	1,71	2,35

		Θ_ϵ (C°)		Θ_θ (C°)	
		$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
r_x (cm)	$\ln(r_x / r_2)$	$T(rx)$ C°			
1,416	-1,262	20,31	20,95	13,71	14,35
1,667	-1,099	20,09	20,65	13,49	14,05
2,500	-0,693	19,54	19,89	12,94	13,29
4,750	-0,051	18,67	18,70	12,07	12,10

$I_{50\%}$ (A) 465 545

$\Delta\Theta dt$					$\Delta\Theta$ C°	
t (s)	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	1/t	$(1-e^{-1/t})$	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
5,00	1,24	1,71	0,2	0,181	6,22	8,55
10,00	0,65	0,90	0,1	0,095	6,53	8,98
50,00	0,14	0,19	0,02	0,020	6,80	9,34
250,00	0,03	0,04	0,004	0,004	6,85	9,41

		Θ_ϵ (C°)		Θ_θ (C°)	
		$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
r_x (cm)	$\ln(r_x / r_2)$	$T(rx)$ C°			
1,416	-1,262	25,45	28,01	18,85	21,41
1,667	-1,099	24,57	26,80	17,97	20,20
2,500	-0,693	22,37	23,77	15,77	17,17
4,750	-0,051	18,88	18,98	12,28	12,38

$I_{75\%}$ (A) 697,5 818

$\Delta\Theta dt$					$\Delta\Theta$ C°	
t (s)	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	1/t	$(1-e^{-1/t})$	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
5,00	2,80	3,85	0,2	0,181	14,00	19,23
10,00	1,47	2,02	0,1	0,095	14,70	20,20
50,00	0,31	0,42	0,02	0,020	15,30	21,01
250,00	0,06	0,08	0,004	0,004	15,42	21,18

		Θ_ϵ (C°)		Θ_θ (C°)	
		$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
r_x (cm)	$\ln(r_x / r_2)$	$T(rx)$ C°			
1,416	-1,262	34,02	39,78	27,42	33,18
1,667	-1,099	32,03	37,04	25,43	30,44
2,500	-0,693	27,07	30,24	20,47	23,64
4,750	-0,051	19,23	19,46	12,63	12,86

I_{100%} (A) 930 1090

$\Delta\Theta dt$				
t (s)	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	1/t	(1-e ^{-1/t})
5,00	4,98	6,84	0,2	0,181
10,00	2,61	3,59	0,1	0,095
50,00	0,54	0,75	0,02	0,020
250,00	0,11	0,15	0,004	0,004

$\Delta\Theta$ C°	
$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
24,89	34,19
26,14	35,90
27,19	37,35
27,41	37,65

		Θ_ε (C°)		Θ_θ (C°)	
		$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
r_x (cm)	$\ln(r_x / r_2)$	$T(rx)$ C°			
1,416	-1,262	46,01	56,25	39,41	49,65
1,667	-1,099	42,47	51,39	35,87	44,79
2,500	-0,693	33,66	39,29	27,06	32,69
4,750	-0,051	19,71	20,13	13,11	13,53

I_{125%} (A) 1163 1363

$\Delta\Theta dt$				
t (s)	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	1/t	(1-e ^{-1/t})
5,00	7,78	10,69	0,2	0,181
10,00	4,08	5,61	0,1	0,095
50,00	0,85	1,17	0,02	0,020
250,00	0,17	0,24	0,004	0,004

$\Delta\Theta$ C°	
$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
38,89	53,43
40,84	56,10
42,49	58,36
42,83	58,83

		Θ_ε (C°)		Θ_θ (C°)	
		$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
r_x (cm)	$\ln(r_x / r_2)$	$T(rx)$ C°			
1,416	-1,262	61,43	77,43	54,83	70,83
1,667	-1,099	55,90	69,84	49,30	63,24
2,500	-0,693	42,13	50,93	35,53	44,33
4,750	-0,051	20,34	20,99	13,74	14,39

I_{150%} (A) 1395 1635

$\Delta\Theta dt$				
t (s)	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	1/t	(1-e ^{-1/t})
5,00	11,20	15,39	0,2	0,181
10,00	5,88	8,08	0,1	0,095
50,00	1,22	1,68	0,02	0,020
250,00	0,25	0,34	0,004	0,004

$\Delta\Theta$ C°	
$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
56,01	76,94
58,81	80,78
61,18	84,04
61,67	84,72

		Θ_ε (C°)		Θ_θ (C°)	
		$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
r_x (cm)	$\ln(r_x / r_2)$	$T(rx)$ C°			
1,416	-1,262	80,27	103,32	73,67	96,72
1,667	-1,099	72,31	92,38	65,71	85,78
2,500	-0,693	52,49	65,15	45,89	58,55
4,750	-0,051	21,11	22,04	14,51	15,44

Για διατομή 500mm.

Εξετάζεται η αναπτυξη θερμότητας σε σχέση με την ακτίνα με διάφορες τιμές του I με t μεταβλητό

$I_{25\%}$ (A) 203,3 236

$\Delta\Theta dt$					$\Delta\Theta$ C°	
t (s)	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	1/t	$(1-e^{-1/t})$	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
5,00	0,34	0,45	0,2	0,181	1,68	2,27
10,00	0,18	0,24	0,1	0,095	1,77	2,39
50,00	0,04	0,05	0,02	0,020	1,84	2,48
250,00	0,01	0,01	0,004	0,004	1,85	2,50

		Θ_ϵ (C°)		Θ_θ (C°)	
		$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
r_x (cm)	$\ln(r_x / r_2)$	T(rx) C°			
1,262	-1,367	20,45	21,10	13,85	14,50
1,650	-1,099	20,09	20,61	13,49	14,01
2,475	-0,693	19,54	19,87	12,94	13,27
4,703	-0,051	18,67	18,69	12,07	12,09

$I_{50\%}$ (A) 406,5 473

$\Delta\Theta dt$					$\Delta\Theta$ C°	
t (s)	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	1/t	$(1-e^{-1/t})$	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
5,00	1,35	1,82	0,2	0,181	6,73	9,09
10,00	0,71	0,95	0,1	0,095	7,06	9,54
50,00	0,15	0,20	0,02	0,020	7,35	9,93
250,00	0,03	0,04	0,004	0,004	7,41	10,01

		Θ_ϵ (C°)		Θ_θ (C°)	
		$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
r_x (cm)	$\ln(r_x / r_2)$	T(rx) C°			
1,262	-1,367	26,01	28,61	19,41	22,01
1,650	-1,099	24,55	26,64	17,95	20,04
2,475	-0,693	22,36	23,67	15,76	17,07
4,703	-0,051	18,88	18,98	12,28	12,38

$I_{75\%}$ (A) 609,8 709

$\Delta\Theta dt$					$\Delta\Theta$ C°	
t (s)	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	1/t	$(1-e^{-1/t})$	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
5,00	3,03	4,09	0,2	0,181	15,13	20,45
10,00	1,59	2,15	0,1	0,095	15,89	21,47
50,00	0,33	0,45	0,02	0,020	16,53	22,34
250,00	0,07	0,09	0,004	0,004	16,66	22,52

		Θ_ϵ (C°)		Θ_θ (C°)	
		$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
r_x (cm)	$\ln(r_x / r_2)$	T(rx) C°			
1,262	-1,367	35,26	41,12	28,66	34,52
1,650	-1,099	31,99	36,69	25,39	30,09
2,475	-0,693	27,05	30,02	20,45	23,42
4,703	-0,051	19,23	19,44	12,63	12,84

I_{100%} (A) 813 945

$\Delta\Theta dt$				
t (s)	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$	1/t	(1-e ^{-1/t})
5,00	5,38	7,27	0,2	0,181
10,00	2,82	3,82	0,1	0,095
50,00	0,59	0,79	0,02	0,020
250,00	0,12	0,16	0,004	0,004

$\Delta\Theta C^\circ$	
$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$
26,91	36,35
28,25	38,17
29,39	39,71
29,63	40,03

		$\Theta_\varepsilon (C^\circ)$		$\Theta_\theta (C^\circ)$	
		$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$
r_x (cm)	$\ln(r_x / r_2)$	$T(rx) C^\circ$			
1,262	-1,367	48,23	58,63	41,63	52,03
1,650	-1,099	42,41	50,77	35,81	44,17
2,475	-0,693	33,62	38,90	27,02	32,30
4,703	-0,051	19,71	20,10	13,11	13,50

I_{125%} (A) 1016 1181

$\Delta\Theta dt$				
t (s)	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$	1/t	(1-e ^{-1/t})
5,00	8,41	11,36	0,2	0,181
10,00	4,41	5,96	0,1	0,095
50,00	0,92	1,24	0,02	0,020
250,00	0,19	0,25	0,004	0,004

$\Delta\Theta C^\circ$	
$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$
42,04	56,80
44,14	59,64
45,92	62,05
46,29	62,54

		$\Theta_\varepsilon (C^\circ)$		$\Theta_\theta (C^\circ)$	
		$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$
r_x (cm)	$\ln(r_x / r_2)$	$T(rx) C^\circ$			
1,262	-1,367	64,89	81,14	58,29	74,54
1,650	-1,099	55,80	68,86	49,20	62,26
2,475	-0,693	42,07	50,31	35,47	43,71
4,703	-0,051	20,34	20,95	13,74	14,35

I_{150%} (A) 1220 1418

$\Delta\Theta dt$				
t (s)	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$	1/t	(1-e ^{-1/t})
5,00	12,11	16,36	0,2	0,181
10,00	6,36	8,59	0,1	0,095
50,00	1,32	1,79	0,02	0,020
250,00	0,27	0,36	0,004	0,004

$\Delta\Theta C^\circ$	
$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$
60,54	81,79
63,56	85,88
66,13	89,35
66,66	90,06

		$\Theta_\varepsilon (C^\circ)$		$\Theta_\theta (C^\circ)$	
		$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$
r_x (cm)	$\ln(r_x / r_2)$	$T(rx) C^\circ$			
1,262	-1,367	85,26	108,66	78,66	102,06
1,650	-1,099	72,17	90,98	65,57	84,38
2,475	-0,693	52,40	64,27	45,80	57,67
4,703	-0,051	21,10	21,98	14,50	15,38

➤ 132 / 76 kV XLPE Cable

Για διατομή 400mm.

Εξετάζεται η αναπτύξη θερμότητας σε σχέση με την ακτίνα με διάφορες τιμές του I με t μεταβλητό

$I_{25\%}$ (A) 184,3 215

t (s)	$\Delta\Theta dt$		1/t	$(1-e^{-1/t})$	$\Delta\Theta$ C°	
	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7			$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
5,00	0,39	0,53	0,2	0,181	1,93	2,64
10,00	0,20	0,28	0,1	0,095	2,03	2,77
50,00	0,04	0,06	0,02	0,020	2,11	2,88
250,00	0,01	0,01	0,004	0,004	2,13	2,90

r_x (cm)	$\ln(r_x / r_2)$	Θ_ϵ (C°)		Θ_θ (C°)	
		$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
1,128	-1,227	20,73	21,50	14,13	14,90
1,283	-1,099	20,50	21,20	13,90	14,60
1,925	-0,693	19,80	20,24	13,20	13,64
3,658	-0,051	18,69	18,72	12,09	12,12

$I_{50\%}$ (A) 368,5 431

t (s)	$\Delta\Theta dt$		1/t	$(1-e^{-1/t})$	$\Delta\Theta$ C°	
	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7			$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
5,00	1,55	2,11	0,2	0,181	7,73	10,54
10,00	0,81	1,11	0,1	0,095	8,11	11,07
50,00	0,17	0,23	0,02	0,020	8,44	11,52
250,00	0,03	0,05	0,004	0,004	8,51	11,61

r_x (cm)	$\ln(r_x / r_2)$	Θ_ϵ (C°)		Θ_θ (C°)	
		$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
1,128	-1,227	27,11	30,21	20,51	23,61
1,283	-1,099	26,21	28,99	19,61	22,39
1,925	-0,693	23,40	25,16	16,80	18,56
3,658	-0,051	18,96	19,09	12,36	12,49

$I_{75\%}$ (A) 552,8 646

t (s)	$\Delta\Theta dt$		1/t	$(1-e^{-1/t})$	$\Delta\Theta$ C°	
	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7			$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
5,00	3,48	4,74	0,2	0,181	17,38	23,72
10,00	1,82	2,49	0,1	0,095	18,25	24,91
50,00	0,38	0,52	0,02	0,020	18,99	25,91
250,00	0,08	0,10	0,004	0,004	19,14	26,12

r_x (cm)	$\ln(r_x / r_2)$	Θ_ϵ (C°)		Θ_θ (C°)	
		$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
1,128	-1,227	37,74	44,72	31,14	38,12
1,283	-1,099	35,73	41,98	29,13	35,38
1,925	-0,693	29,41	33,35	22,81	26,75
3,658	-0,051	19,40	19,69	12,80	13,09

I_{100%} (A) 737 861

$\Delta\Theta dt$					$\Delta\Theta \text{ C}^\circ$	
t (s)	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$	1/t	(1-e ^{-1/t})	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$
5,00	6,18	8,43	0,2	0,181	30,90	42,17
10,00	3,24	4,43	0,1	0,095	32,44	44,28
50,00	0,68	0,92	0,02	0,020	33,75	46,07
250,00	0,14	0,19	0,004	0,004	34,03	46,44

		$\Theta_\epsilon \text{ (C}^\circ)$		$\Theta_\theta \text{ (C}^\circ)$	
		$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$
$r_x \text{ (cm)}$	$\ln(r_x / r_2)$	$T(rx) \text{ C}^\circ$			
1,128	-1,227	52,63	65,04	46,03	58,44
1,283	-1,099	49,06	60,17	42,46	53,57
1,925	-0,693	37,82	44,83	31,22	38,23
3,658	-0,051	20,02	20,54	13,42	13,94

I_{125%} (A) 921,3 1076

$\Delta\Theta dt$					$\Delta\Theta \text{ C}^\circ$	
t (s)	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$	1/t	(1-e ^{-1/t})	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$
5,00	9,66	13,18	0,2	0,181	48,28	65,89
10,00	5,07	6,92	0,1	0,095	50,69	69,19
50,00	1,05	1,44	0,02	0,020	52,74	71,98
250,00	0,21	0,29	0,004	0,004	53,16	72,56

		$\Theta_\epsilon \text{ (C}^\circ)$		$\Theta_\theta \text{ (C}^\circ)$	
		$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$
$r_x \text{ (cm)}$	$\ln(r_x / r_2)$	$T(rx) \text{ C}^\circ$			
1,128	-1,227	71,76	91,16	65,16	84,56
1,283	-1,099	66,19	83,55	59,59	76,95
1,925	-0,693	48,63	59,58	42,03	52,98
3,658	-0,051	20,82	21,63	14,22	15,03

I_{150%} (A) 1106 1292

$\Delta\Theta dt$					$\Delta\Theta \text{ C}^\circ$	
t (s)	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$	1/t	(1-e ^{-1/t})	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$
5,00	13,91	18,98	0,2	0,181	69,53	94,89
10,00	7,30	9,96	0,1	0,095	73,00	99,63
50,00	1,52	2,07	0,02	0,020	75,95	103,65
250,00	0,31	0,42	0,004	0,004	76,56	104,48

		$\Theta_\epsilon \text{ (C}^\circ)$		$\Theta_\theta \text{ (C}^\circ)$	
		$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$
$r_x \text{ (cm)}$	$\ln(r_x / r_2)$	$T(rx) \text{ C}^\circ$			
1,128	-1,227	95,16	123,08	88,56	116,48
1,283	-1,099	87,13	112,13	80,53	105,53
1,925	-0,693	61,84	77,61	55,24	71,01
3,658	-0,051	21,80	22,97	15,20	16,37

Για διατομή 300mm.

Εξετάζεται η αναπτυξη θερμότητας σε σχέση με την ακτίνα με διάφορες τιμές του I με t μεταβλητό

$I_{25\%}$ (A) 160,5 186

$\Delta\Theta dt$					$\Delta\Theta$ C°	
t (s)	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	1/t	$(1-e^{-1/t})$	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
5,00	0,45	0,61	0,2	0,181	2,26	3,04
10,00	0,24	0,32	0,1	0,095	2,37	3,19
50,00	0,05	0,07	0,02	0,020	2,46	3,32
250,00	0,01	0,01	0,004	0,004	2,48	3,35

		Θ_ϵ (C°)		Θ_θ (C°)	
		$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
r_x (cm)	$\ln(r_x / r_2)$	$T(rx)$ C°			
0,977	-1,358	21,08	21,95	14,48	15,35
1,267	-1,099	20,61	21,31	14,01	14,71
1,900	-0,693	19,87	20,31	13,27	13,71
3,610	-0,051	18,69	18,73	12,09	12,13

$I_{50\%}$ (A) 321 373

$\Delta\Theta dt$					$\Delta\Theta$ C°	
t (s)	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	1/t	$(1-e^{-1/t})$	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
5,00	1,80	2,43	0,2	0,181	9,02	12,15
10,00	0,95	1,28	0,1	0,095	9,48	12,76
50,00	0,20	0,27	0,02	0,020	9,86	13,28
250,00	0,04	0,05	0,004	0,004	9,94	13,38

		Θ_ϵ (C°)		Θ_θ (C°)	
		$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
r_x (cm)	$\ln(r_x / r_2)$	$T(rx)$ C°			
0,977	-1,358	28,54	31,98	21,94	25,38
1,267	-1,099	26,64	29,43	20,04	22,83
1,900	-0,693	23,67	25,43	17,07	18,83
3,610	-0,051	18,98	19,11	12,38	12,51

$I_{75\%}$ (A) 481,5 559

$\Delta\Theta dt$					$\Delta\Theta$ C°	
t (s)	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	1/t	$(1-e^{-1/t})$	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
5,00	4,06	5,47	0,2	0,181	20,31	27,34
10,00	2,13	2,87	0,1	0,095	21,32	28,71
50,00	0,44	0,60	0,02	0,020	22,18	29,87
250,00	0,09	0,12	0,004	0,004	22,36	30,11

		Θ_ϵ (C°)		Θ_θ (C°)	
		$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7	$\Sigma\Phi$ 1,0	$\Sigma\Phi$ 0,7
r_x (cm)	$\ln(r_x / r_2)$	$T(rx)$ C°			
0,977	-1,358	40,96	48,71	34,36	42,11
1,267	-1,099	36,69	42,96	30,09	36,36
1,900	-0,693	30,01	33,97	23,41	27,37
3,610	-0,051	19,44	19,74	12,84	13,14

I_{100%} (A) 642 745

$\Delta\Theta dt$				
t (s)	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$	1/t	(1-e ^{-1/t})
5,00	7,22	9,72	0,2	0,181
10,00	3,79	5,10	0,1	0,095
50,00	0,79	1,06	0,02	0,020
250,00	0,16	0,21	0,004	0,004

$\Delta\Theta C^\circ$	
$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$
36,10	48,61
37,90	51,04
39,43	53,10
39,75	53,53

		$\Theta_\varepsilon (C^\circ)$		$\Theta_\theta (C^\circ)$	
		$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$
r_x (cm)	$\ln(r_x / r_2)$	$T(rx) C^\circ$			
0,977	-1,358	58,35	72,13	51,75	65,53
1,267	-1,099	50,76	61,90	44,16	55,30
1,900	-0,693	38,89	45,92	32,29	39,32
3,610	-0,051	20,10	20,62	13,50	14,02

I_{125%} (A) 802,5 931

$\Delta\Theta dt$				
t (s)	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$	1/t	(1-e ^{-1/t})
5,00	11,28	15,19	0,2	0,181
10,00	5,92	7,98	0,1	0,095
50,00	1,23	1,66	0,02	0,020
250,00	0,25	0,33	0,004	0,004

$\Delta\Theta C^\circ$	
$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$
56,41	75,96
59,22	79,75
61,62	82,97
62,11	83,64

		$\Theta_\varepsilon (C^\circ)$		$\Theta_\theta (C^\circ)$	
		$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$
r_x (cm)	$\ln(r_x / r_2)$	$T(rx) C^\circ$			
0,977	-1,358	80,71	102,24	74,11	95,64
1,267	-1,099	68,84	86,26	62,24	79,66
1,900	-0,693	50,30	61,29	43,70	54,69
3,610	-0,051	20,95	21,76	14,35	15,16

I_{150%} (A) 963 1118

$\Delta\Theta dt$				
t (s)	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$	1/t	(1-e ^{-1/t})
5,00	16,24	21,88	0,2	0,181
10,00	8,53	11,48	0,1	0,095
50,00	1,77	2,39	0,02	0,020
250,00	0,36	0,48	0,004	0,004

$\Delta\Theta C^\circ$	
$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$
81,22	109,38
85,28	114,84
88,73	119,48
89,44	120,44

		$\Theta_\varepsilon (C^\circ)$		$\Theta_\theta (C^\circ)$	
		$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$	$\Sigma\Phi 1,0$	$\Sigma\Phi 0,7$
r_x (cm)	$\ln(r_x / r_2)$	$T(rx) C^\circ$			
0,977	-1,358	108,04	139,04	101,44	132,44
1,267	-1,099	90,95	116,03	84,35	109,43
1,900	-0,693	64,25	80,07	57,65	73,47
3,610	-0,051	21,98	23,15	15,38	16,55

ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΚΑΙ ΕΤΗΣΙΕΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ

Όνομα Σταθμού Μέση Θερμοκρασία σε βάθος 100cm (oC)	ΕΤΟΣ ΜΗΝΕΣ												Περίοδος					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12						
Κωδικός Σταθμού	ΕΤΗΣΙΑ																	
Γεωγ. Μήκος Σταθμού	ΕΤΗΣΙΑ																	
Γεωγ. Πλάτος Σταθμού	ΕΤΗΣΙΑ																	
Ύψος	ΕΤΗΣΙΑ																	
ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗ 16627	9,8	9,13	9,58	12,42	16,2	20,45	23,18	24,25	22,88	20,03	15,64	12,13	16,51	2	1/1/1977	ΕΩΣ	10/8/2013	18,32
Μέση Τιμή	13,02	12,27	13,4	15,68	19,72	24,21	27,63	28,54	26,43	23,65	19,42	15,3	18,32	18,15	13,12	10,14	15,18	
Μέγιστη Τιμή	8,13	7,55	7,46	10,04	13,8	18,52	21,03	21,91	19,2	18,15	13,12	10,14	15,18	18,15	13,12	10,14	15,18	
Ελάχιστη Τιμή																		
ΚΑΛΑΜΑΤΑ 16726	13,1	12,76	13,18	15,1	17,78	21,35	24,18	25,4	24,45	21,92	18,26	14,84	18,56	8	1/1/1977	ΕΩΣ	10/8/2013	19,26
Μέση Τιμή	14,24	13,66	14,68	16,52	20,74	24,39	26,91	27,85	26,54	23,51	19,61	16,36	19,26	20,65	17,32	13,34	17,87	
Μέγιστη Τιμή	12,1	11,14	11,22	13,81	11,1	20,07	21,9	24,35	22,61	20,65	17,32	13,34	17,87	20,65	17,32	13,34	17,87	
Ελάχιστη Τιμή																		
ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ 16756	15,47	15,11	15,45	17,69	21,78	26,16	29,15	30	28,5	25,9	21,75	17,82	22,47	18	1/1/1977	ΕΩΣ	10/8/2013	23,01
Μέση Τιμή	16,57	15,73	18,87	19,58	23,78	27,67	30,23	31,01	30,46	27,53	23,78	19,99	23,01	23,34	19,19	16,61	21,17	
Μέγιστη Τιμή	13,65	13,88	13,63	16,25	19,54	24,32	28,18	28,97	25,93	23,34	19,19	16,61	21,17	23,34	19,19	16,61	21,17	
Ελάχιστη Τιμή																		
ΤΡΙΚΑΛΑ ΗΜΑΘΕΙΑΣ 16619	9,15	8,87	9,77	12,67	16,09	19,78	22,12	23,22	22,13	19,67	15,45	11,61	16,06	6	1/1/1977	ΕΩΣ	10/8/2013	16,96
Μέση Τιμή	10,55	9,99	11,66	15,04	18,4	20,53	23,44	24,29	23,67	21,05	16,93	12,95	16,96	18,57	13,96	8,67	15,71	
Μέγιστη Τιμή	7,21	7,67	7,95	11,05	13,29	18,54	17,14	19,02	19,64	18,57	13,96	8,67	15,71	18,57	13,96	8,67	15,71	
Ελάχιστη Τιμή																		
ΝΕΑ ΦΙΛΑΔΕΛΦΕΙΑ 16701	11,62	11,27	12,15	14,73	18,59	23,32	26,59	27,64	25,24	21,91	17,02	13,57	18,71	136	1/1/1977	ΕΩΣ	10/8/2013	21,95
Μέση Τιμή	14,13	11,88	13,94	16,29	21,64	27,32	28,6	30,01	27,61	24,89	19,88	15,17	19,26	20,12	15,02	12,35	17,87	
Μέγιστη Τιμή	9,97	10,8	10,83	13,49	16,51	20,75	24,87	25,41	21,98	20,12	15,02	12,35	17,87	20,12	15,02	12,35	17,87	
Ελάχιστη Τιμή																		
ΙΩΑΝΝΙΝΑ 16642	7,53	7,82	8,62	11,23	14,83	18,87	22,2	23,65	21,66	18,4	13,92	9,9	15,12	483	1/1/1977	ΕΩΣ	10/8/2013	16,23
Μέση Τιμή	10,47	9,57	10,83	12,77	16,74	21,01	25,13	25,88	23,44	20,55	16,4	12,49	16,23	16,59	11,01	7,68	13,93	
Μέγιστη Τιμή	4,3	6,86	6,69	10,07	13,24	16,61	19,05	21,25	19,34	16,59	11,01	7,68	13,93	16,59	11,01	7,68	13,93	
Ελάχιστη Τιμή																		
ΑΡΤΟΣ(ΠΥΡΓΕΛΑ) 16724	12,6	11,97	12,57	14,5	17,9	21,97	25,29	26,57	25,5	22,9	18,76	14,93	18,79	11	1/1/1977	ΕΩΣ	10/8/2013	19,35
Μέση Τιμή	14,43	13,09	14,85	15,42	19,14	23,11	26,56	29,16	28,54	25,76	20,93	16,32	19,35	21,38	17,62	12,48	18,16	
Μέγιστη Τιμή	11,12	10,78	10,98	13	16,46	20,52	23,78	24,43	22,56	21,38	17,62	12,48	18,16	21,38	17,62	12,48	18,16	
Ελάχιστη Τιμή																		
ΤΥΜΠΑΚΙ 16759	15,66	14,78	15,96	18,15	22,71	27,17	29,79	30,66	29,34	26,14	21,93	17,82	22,51	7	1/1/1977	ΕΩΣ	10/8/2013	22,91
Μέση Τιμή	16,17	15,52	17,1	19,56	23,83	28,14	30,7	31,2	29,9	27,48	23,37	19,21	22,91	25,17	20,49	16,74	21,95	
Μέγιστη Τιμή	14,22	14,25	14,34	16,35	20,74	26,43	28,1	29,92	28,59	25,17	20,49	16,74	21,95	25,17	20,49	16,74	21,95	
Ελάχιστη Τιμή																		

Μέση τιμή Θερμοκρασίας σε βάθος 100cm (oC) για το σύνολο των σταθμών 18,59

Αιγάλεω

Μάιος - 2013