



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ  
ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

## Ξύλινος Στύλος Του Δικτύου Διανομής Υπό Την Επίδραση Πυρκαγιάς

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

**ΝΙΚΟΛΑΟΥ Σ. ΠΙΣΠΑ**

**Επιβλέπων :** Κωνσταντίνος Γ. Καραγιαννόπουλος  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2013





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ  
ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

## Εύλινος Στύλος Του Δικτύου Διανομής Υπό Την Επίδραση Πυρκαγιάς

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

**ΝΙΚΟΛΑΟΥ Σ. ΠΙΣΠΑ**

**Επιβλέπων :** Κωνσταντίνος Γ. Καραγιαννόπουλος  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 11<sup>η</sup> Μαρτίου 2013

.....  
Κωνσταντίνος Γ. Καραγιαννόπουλος  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Νικόλαος Ι. Θεοδώρου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Περικλής Δ. Μπούρκας  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2013

.....  
ΝΙΚΟΛΑΟΣ Σ. ΠΙΣΠΑΣ

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Νικόλαος Σ. Πίσπας, 2013

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 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 Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου

## Περίληψη

Σε περίπτωση εκδήλωσης πυρκαγιάς πλησίον γραμμής ηλεκτρικής ενέργειας γεννάται το ερώτημα αν η γραμμή υπήρξε αιτία ή θύμα της πυρκαγιάς. Από την εικόνα π.χ. μίας καμένης τραβέρσας ή ενός καμένου ξύλινου στύλου είναι εύλογο να τίθεται το προαναφερθέν ερώτημα. Επίσης, είναι λογικό να διερωτάται κανείς, αν ένας κομμένος αγωγός στο χώρο της πυρκαγιάς ήταν η αιτία της ή αν υπήρξε θύμα της. Σκοπός της εργασίας αυτής είναι αφενός η βιβλιογραφική ανασκόπηση για την συγκέντρωση στοιχείων, που να διευκολύνουν στην απάντηση του ανωτέρω ερωτήματος και αφετέρου μία προσπάθεια πειραματικής διερεύνησης για την επέκταση της φωτιάς από την βάση του στύλου (λόγω της υπάρχουσας βλάστησης) μέχρι την κορυφή του. Όπως προκύπτει από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση που έγινε δεν μπορεί να γίνει διάκριση αν η εικόνα τήξης ενός αγωγού οφείλεται σε εκδήλωση ηλεκτρικού τόξου ή αν προκλήθηκε από πυρκαγιά. Επίσης, τόσο από τα πειράματα που έγιναν, όσο και από τις παρατηρήσεις του έμπειρου προσωπικού του ΔΕΔΔΗΕ Τρικάλων φαίνεται ότι δεν μπορεί να γίνει διάκριση αν η εικόνα καψίματος ενός αγωγού οφείλεται σε ηλεκτρικό φαινόμενο προερχόμενο από το δίκτυο ή αν προκλήθηκε από πυρκαγιά.

## Λέξεις κλειδιά

**Σπινθηρισμοί, συνθήκη βραχυκύκλωσης, ξύλινος στύλος, εμποτισμός ξύλινων στύλων.**

## **Abstract**

In case of fire near electricity line may well be asked whether the line was the cause or the victim of the fire. In the sight of a scorched cross member or a burning wooden pole is reasonable to place the abovementioned question. It is also sensible for someone to wonder, whether a cut-off line in the area of the fire was the cause or the victim of the fire. Purpose of this thesis is on first hand the collection of data through biographical review, in order to make it easier to answer this question and, and on the other hand an experimental investigation into the expansion of a fire from the base of a pole (because of existing vegetation) up to the top. As can be seen from the collected data it is not possible to distinguish whether the image of a melted conductor is due to an electric arc or if it was caused by fire. Also, both from the experiments, as well as from the comments of the experienced staff of 'ΔΕΔΔΗΕ Τρικόλων' (public distributor of electricity) looks like it is not possible to differentiate if the image of a burned electric line is due to an electric phenomenon derived from the network or if it was caused by fire.

## **Keywords**

**photon emission, short-circuit terms, wooden pole, impregnation of wooden poles**

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Καραγιαννόπουλο για την δυνατότητα που μου έδωσε να εκπονήσω την παρούσα διπλωματική εργασία.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον ομότιμο καθηγητή κ. Περικλή Μπούρκα, το διδακτικό έργο του οποίου αποτελεί πηγή έμπνευσης, για την ουσιαστική υποστήριξη, τις πολύτιμες γνώσεις και το χρόνο που διέθεσε οποτεδήποτε χρειάστηκε.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες στους γονείς μου για την αγάπη και την υποστήριξη όλα αυτά τα χρόνια και ειδικά στον πατέρα μου Σ. Πίσπα, Ηλεκτρολόγο Μηχανολόγο Μηχανικό με πολυετή εμπειρία, για τις πολύτιμες γνώσεις και βοήθεια που μου παρείχε κατά τη συγγραφή αυτής της εργασίας.

Τέλος, ευχαριστώ τη διεύθυνση και το προσωπικό του ΔΕΔΔΗΕ Τρικάλων για την βοήθεια στην διεξαγωγή των πειραμάτων και την παροχή πολύτιμων στοιχείων.





## Περιεχόμενα

- 1. Εισαγωγή** **σελ. 13**
  
- 2. Το φαινόμενο των σπινθηρισμών** **σελ. 13**
  - 2.1 Γενικά περί σπινθηρισμών
  - 2.2 Η εκδήλωση σπινθηρισμών σε γυμνούς αγωγούς μέσης τάσης
  - 2.3 Η αδυναμία εκδήλωσης σπινθηρισμών σε γυμνούς αγωγούς χαμηλής τάσης
  - 2.4 Τάξη μεγέθους της ελάχιστης απαιτούμενης έντασης του ηλεκτρικού πεδίου για την εκδήλωση σπινθηρισμών συγκριτικά με την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου μεταξύ αγωγών σε συνήθεις γραμμές διανομής
  
- 3. Η δημιουργία των αλλοιώσεων επί των αγωγών αλουμινίου** **σελ. 21**
  - 3.1 Μετάδοση θερμότητας στους αγωγούς λόγω πυρκαγιάς
    - 3.1.1 Μετάδοση της θερμότητας με αγωγή (από φλεγόμενα δένδρα και θάμνους)
    - 3.1.2 Μετάδοση της θερμότητας στους αγωγούς με ακτινοβολία από το φλεγόμενο περιβάλλον
    - 3.1.3 Μετάδοση της θερμότητας στους αγωγούς με μεταφορά από το φλεγόμενο περιβάλλον
  - 3.2 Αλλοιώσεις των αγωγών λόγω "ηλεκτρικής διάβρωσης"
    - 3.2.1 Αύξηση της ηλεκτρικής διάβρωσης των αγωγών λόγω υπερθέρμανσης τους κατά την εκδήλωση παροδικών σφαλμάτων
  - 3.3 Αλλοιώσεις των αγωγών οφειλόμενες σε μηχανική καταπόνηση κατά την εγκατάσταση
  - 3.4 Αλλοιώσεις επί των αγωγών λόγω καταπόνησής τους από σκάγια κυνηγητικών όπλων
  - 3.5 Διορθωτικές επεμβάσεις σε πληγέντα αγωγό
- Βιβλιογραφία

#### **4. Τα μέσα προστασίας σε γραμμές διανομής** **σελ. 30**

4.1 Τα μέσα προστασίας σε υπαίθρια γραμμές διανομής μέσης τάσης

4.2 Η συνθήκη βραχυκύκλωσης (ή ουδετέρωσης) στις γραμμές διανομής χαμηλής τάσης

Βιβλιογραφία

4.2.1 Πειραματικές εργαστηριακές διερευνήσεις σε γραμμές χαμηλής τάσης

1) Σκοπός των πειραμάτων

2) Αποτελέσματα των μετρήσεων και των οπτικών παρατηρήσεων

3) Συμπεράσματα

Βιβλιογραφία

4.3 Η υποθετική δημιουργία τηγμάτων αλουμινίου από τους αγωγούς διανομής και η θερμοκρασία τους κατά την πρόσκρουση στο έδαφος

Βιβλιογραφία

#### **5. Η δυνατότητα εκδήλωσης πυρκαγιάς λόγω αποκοπής αγωγού του δικτύου** **σελ. 44**

5.1 Αποκοπή του ουδετέρου σε γραμμή διανομής χαμηλής τάσης

5.2 Πιθανές συνέπειες για τον άνθρωπο και το περιβάλλον από την αποκοπή αγωγού του δικτύου διανομής χαμηλής τάσης

Βιβλιογραφία

5.3 Μέσα προστασίας στην εγκατάσταση του καταναλωτή από την αποκοπή του αγωγού του ουδετέρου ή αποκοπή αγωγού (ή αγωγών) φάσεως στη γραμμή διανομής χαμηλής τάσης

Βιβλιογραφία

**6. Βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετικά με την εικόνα που παρουσιάζει ένας ρευματοφόρος αγωγός λόγω τήξης του από ηλεκτρικό τόξο ως προς την εικόνα του λόγω τήξης από την φωτιά.** **σελ.52**

Βιβλιογραφία

**7. Το κάψιμο (καρβούνιασμα) σε ξύλινες τραβέρσες επί ξύλινων  
στύλων μέσης τάσης. σελ. 57**

Βιβλιογραφία

**8. Στύλοι, τραβέρσες και αντηρίδες από ξύλο σε γραμμές  
διανομής σελ. 60**

- 8.1 Γενικά περί των ξύλινων στύλων γραμμών διανομής
  - 8.2 Προδιαγραφές των στύλων Μέσης και Χαμηλής Τάσης
  - 8.3 Ξύλινοι βραχίονες-τραβέρσες
  - 8.4 Μονωτήρες
- Βιβλιογραφία

**9. Συντήρηση εναέριων δικτύων Μέσης και Χαμηλής Τάσης και  
εγκατεστημένων στύλων 20 kV (400V/230V) σελ.66**

- 9.1 Γενικά περί συντήρησης
- 9.2 Συντηρητικά και Εμποτισμός στύλων
  - 9.2.1 Τα συντηρητικά που χρησιμοποιούνται
  - 9.2.2 Εμποτισμός
    - 1) Συγκράτηση συντηρητικού
    - 2) Διείσδυση συντηρητικού μέσα στο ξύλο
    - 3) Επανεμποτισμός
    - 4) Σήμανση στύλων
- 9.3 Εκροή Κρεόζωτου από ξύλινους στύλους
- 9.4 Μέτρα προστασίας των εργαζόμενων για την πρόληψη επαγγελματικών κινδύνων

Βιβλιογραφία

**10. Πειραματική διερεύνηση διάδοσης πυρκαγιάς σε ξύλινο στύλο  
Χαμηλής Τάσης σελ.75**

- 10.1 Σκοπός του πειράματος
  - 10.2 Συνθήκες τέλεσης του πειράματος
  - 10.3 Επιθεώρηση στύλων
  - 10.4 Συμπεράσματα από τα πειράματα ανάφλεξης δύο στύλων
- Βιβλιογραφία



## **1.Εισαγωγή**

Σε περίπτωση εκδήλωσης πυρκαγιάς πλησίον γραμμής ηλεκτρικής ενέργειας γεννάται το ερώτημα αν η γραμμή υπήρξε αιτία ή θύμα της πυρκαγιάς. Από την εικόνα π.χ. μίας καμένης τραβέρσας ή ενός καμένου ξύλινου στύλου είναι εύλογο να τίθεται το προαναφερθέν ερώτημα. Επίσης, είναι λογικό να διερωτάται κανείς, αν ένας κομμένος αγωγός στο χώρο της πυρκαγιάς ήταν η αιτία της ή αν υπήρξε θύμα της. Σκοπός της εργασίας αυτής είναι αφενός η βιβλιογραφική ανασκόπηση για την συγκέντρωση στοιχείων, που να διευκολύνουν στην απάντηση του ανωτέρω ερωτήματος και αφετέρου μία προσπάθεια πειραματικής διερεύνησης για την επέκταση της φωτιάς από την βάση του στύλου (λόγω της υπάρχουσας βλάστησης) μέχρι την κορυφή του. Η βιβλιογραφική ανασκόπηση βασίζεται κυρίως σε συγγράμματα και επιστημονικές εργασίες των καθηγητών μου Π. Μπούρκα και Κ. Καραγιαννόπουλου, καθώς και στην συγκέντρωση στοιχείων από διπλωματικές εργασίες που έχουν γίνει υπό την επίβλεψή τους. Τα βασικά θέματα που εξετάζονται βιβλιογραφικά είναι:

- Οι σπινθηρισμοί σε γραμμές , μονωτήρες και ηλεκτρικούς σύνδεσμούς,
- Η δημιουργία αλλοιώσεων επί των αγωγών.
- Η προστασία των γραμμών διανομής,
- Η αποκοπή αγωγών ως αιτία πυρκαγιάς
- Η αιτία της εικόνας που παρουσιάζει ένας κομμένος γυμνός αγωγός διανομής σε περιβάλλον πυρκαγιάς,

## **2. Το φαινόμενο των σπινθηρισμών**

### **2.1 Γενικά περί σπινθηρισμών**

Ως σπινθηρισμούς επί των μονωτήρων εννοεί κανείς φωτεινές μερικές εκκενώσεις (δηλαδή εκκενώσεις περιορισμένης διαδρομής επί της επιφάνειας των μονωτήρων) συνοδευόμενες από θόρυβο. Ως σπινθηρισμοί συνηθίζεται να αποκαλούνται επίσης στην πράξη και οι φωτεινές μερικές εκκενώσεις περί τους αγωγούς, που συνοδεύονται με θόρυβο (φαινόμενο Korona). Οι σπινθηρισμοί είναι ένα ηλεκτρικό φαινόμενο στις γραμμές υψηλής τάσης (π.χ. στα 150 kV) και στις γραμμές μέσης τάσης (π.χ. στα 20 kV). Οι σπινθηρισμοί περί τους γυμνούς αγωγούς αποτελούν ένα θεαματικό φαινόμενο αλλά ακίνδυνο για το περιβάλλον, γιατί πρόκειται για φωτεινή ακτινοβολία και ήχο, που εκδηλώνονται λόγω ιονισμού του αέρα. Σπινθηρισμοί δεν εκδηλώνονται στα

καλώδια γιατί μεταξύ αγωγού και αέρα παρεμβάλεται η μόνωσή τους και δεν ιονίζεται ο αέρας

Οι σπινθηρισμοί παρουσιάζονται επί των μονωτήρων λόγω ξένων επικαθίσεων. Οι μερικές αυτές εκκενώσεις εξελίσσονται ενίοτε (λόγω πάρα πολύ μεγάλου ποσοστού ρύπων και υγρασίας) και σε έρπουσες διαρροές επί των μονωτήρων, που μπορεί να προκαλέσουν επιφανειακή διάσπαση ή υπερπήδηση, με αποτέλεσμα τη διακοπή της τάσης από το μέσο προστασίας της γραμμής (από τις ασφάλειες ή από τον διακόπτη προστασίας της γραμμής). Οι σπινθηρισμοί και η εξέλιξή τους σε έρπουσες εκκενώσεις επί των μονωτήρων οφείλονται κατά κανόνα σε ταυτόχρονη επίδραση υγρασίας της ατμόσφαιρας (που επικάθεται στην επιφάνεια των μονωτήρων υπό μορφή δρόσου) και ρύπανσης στην επιφάνεια των μονωτήρων από καθαλατώσεις, σκόνη, καπναιθάλη, κλπ.. Είναι απαραίτητο να συνυπάρχουν και οι δύο αυτές συνθήκες για να δημιουργηθούν οι προϋποθέσεις σπινθηρισμών μετά ερπουσών ηλεκτρικών εκκενώσεων, επιφανειακής διάσπασης ή υπερπήδησης. Για το λόγο αυτό, τέτοια φαινόμενα παρουσιάζονται ενίοτε κατά τους φθινοπωρινούς μήνες (Οκτώβριο και Νοέμβριο), όταν υπάρχει παρατεταμένη ανομβρία (πριν η πρώτη βροχή πλύνει τους μονωτήρες) και έντονη υγρασία κατά τις πρώτες μεταμεσονύκτιες και πρωινές ώρες της ημέρας, σε γραμμές υψηλής και μέσης τάσης (όπως προαναφέρθηκε) και σε περιοχές όπου υπάρχουν επικαθίσεις ρύπων στις επιφάνειες των μονωτήρων. Αυτό συμβαίνει σε γραμμές παραθαλάσσιες, ή σε γραμμές που βρίσκονται πολύ κοντά σε ρυπογόνες βιομηχανίες, όπου στη μεν πρώτη περίπτωση είναι ενδεχόμενο να υπάρχουν καθαλατώσεις, στη δε δεύτερη έντονη βιομηχανική ρύπανση στους μονωτήρες. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, έχουν διαπιστωθεί σπινθηρισμοί καθώς και διακοπές ρεύματος σε δίκτυα μέχρι 500 kV, που προήλθαν από περιπτώματα πουλιών στους μονωτήρες, διότι έχουν μεγάλη περιεκτικότητα σε αλάτι (βλ. τεύχος της διεθνούς Cigre: Αύγουστου 1998, Polluted Insulators).

Σε περιπτώσεις στατικών ηλεκτρικών επαφών με μεγάλη αντίσταση διάβασης (λόγω π.χ. δημιουργίας μεγάλου ποσοστού οξειδίων σε μία επαφή διακόπτη, χαλάρωση της σύνδεσης σε σφικτήρες, κ.λ.π.) αυξάνει η πτώση τάσης στην επαφή και μπορεί να δημιουργηθούν σπινθηρισμοί και τήγματα μετάλλου από τα υλικά του λυόμενου συνδέσμου. Η μέτρηση με θερμοκάμαρα της θερμοκρασίας στις επαφές αυτές, που στην Ελλάδα γίνεται (σύμφωνα με τον Κανονισμό ο οποίος είναι νόμος του κράτους) σε ετήσια βάση στις γραμμές μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας, έχει δείξει στην πράξη ότι είναι επαρκής για τον εντοπισμό θερμών σημείων.

## 2.2 Η εκδήλωση σπινθηρισμών σε γυμνούς αγωγούς μέσης τάσης

Οι σπινθηρισμοί γύρω από τους αγωγούς οφείλονται επίσης στη συνύπαρξη των δύο παραγόντων, που προαναφέρθηκαν (υγρασία και ρυπογόνο περιβάλλον) ενίοτε κατά τους φθινοπωρινούς μήνες. Για την εκδήλωση σπινθηρισμών μεταξύ των αγωγών, πολύ δε περισσότερο για τη διάσπαση μεταξύ αυτών, απαιτείται δραστική μείωση της μονωτικής ικανότητας (ή διηλεκτρικής αντοχής) του αέρα από αγωγίμους ρύπους, όπως αυτό συμβαίνει π.χ. της καπναιθάλης. Πράγματι, η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου για τη εκδήλωση σπινθηρισμών (μερικών εκκενώσεων) στους αγωγούς μίας γραμμής π.χ. μέσης τάσης των 20 kV υπό ατμοσφαιρικό αέρα δίνεται από την σχέση:

$$E = m_1 \cdot m_2 \cdot \delta \cdot 30 [1 + (0,3)/(\delta \cdot R)^{1/2}] \quad \text{kV/cm} \quad (2.2-1)$$

Όπου  $r$  η ακτίνα του αγωγού σε mm (π.χ.  $R = 8,62$  mm για αγωγό τύπου ACSR ισοδύναμης διατομής χαλκού  $95 \text{ mm}^2$ ),  $m_1 = 0,98-0,83$  (ανάλογα με την κατάσταση των αγωγών),  $m_2 = 1$  για ξηρασία,  $m_2 = 0,8$  για υγρασία και  $\delta$  ένας συντελεστής ( $\delta \approx 0,91$ ) για τον ακρυβή υπολογισμό του οποίου ισχύει:

$$\delta = 293 p / \{1013 \Theta\} \quad (2.2-2)$$

όπου  $p$  η πίεση σε mbar και  $\Theta$  η θερμοκρασία σε  $^{\circ}\text{K}$ .  
Για τον ανωτέρω αγωγό ισχύει :

$$E = 0,83 \cdot 0,91 \cdot 30 [1 + (0,3/2,8)] = 25,15 \text{ kV/cm}$$

Για να συμβούν επομένως σπινθηρισμοί (μερικές εκκενώσεις) απαιτείται τουλάχιστον η ανωτέρω τιμή  $E$ .

Η γεωμετρική σταθερά ( $p$ ) του πεδίου μεταξύ δύο αγωγών με ακτίνα  $R$  (που απέχουν μεταξύ τους κατά  $d$ ) υπολογίζεται από την σχέση;

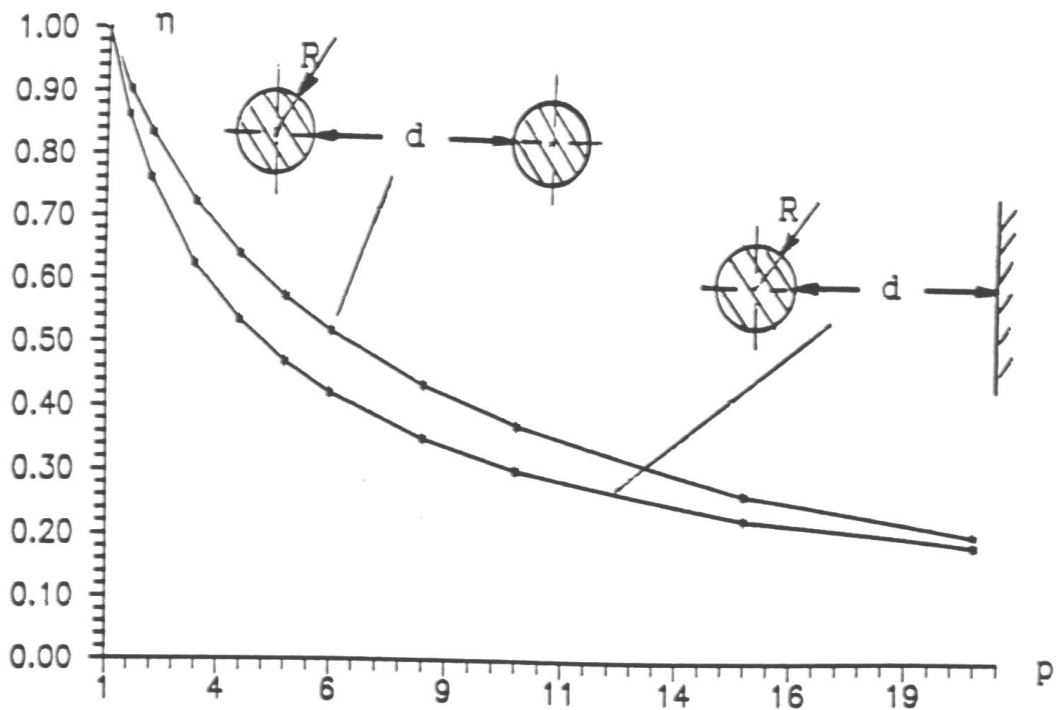
$$p = (R+d)/r$$

Για μία απόσταση μεταξύ των αγωγών π.χ.  $d = 1000$  mm είναι:  $p > 19,6$ .

Ο συντελεστής χρησιμοποίησης του πεδίου ( $\eta$ ) είναι με βάση την ανωτέρω τιμή  $p$  (βλ σχήμα 2.2-1):

$$\eta = [2 \cdot r \cdot \ln \{2 + (d/R)\}] / d = [2 \cdot 8,62 \cdot \ln \{2 + (1000/8,62)\}] / 1000 \approx 0,08$$

και η πεδιακή ένταση  $E_1$  για τάση  $U = 20$  kV είναι:



Σχήμα 2.2-1 :  $\eta=f(p)$  για κύλινδρο-κύλινδρο ( $R = R$ ) και κύλινδρο-πλάκα.

Σημείωση: για τη διάταξη κύλινδρος-κύλινδρος και  $p > 19,6$  ισχύει περίπου:

$$\eta \approx \frac{2R \ln[2 + (d/R)]}{d}$$

$$E_1 = U/(\eta \cdot d) = 20/(0,08 \cdot 100) = 2,5 \text{ kV/cm}$$

Η τιμή  $E_1$  είναι περίπου 10 φορές μικρότερη από την τιμή  $E$  ανωτέρω και συνεπώς αποκλείεται η εκδήλωση σπινθηρισμών, πολύ δε περισσότερο αποκλείεται η διάσπαση μεταξύ των αγωγών. Για να συμβούν σπινθηρισμοί απαιτείται να συνυπάρχουν υγρασία και ρυπασμένο περιβάλλον, ώστε να μειωθεί δραστικά η διηλεκτρική αντοχή του αέρα, όπως αυτό συμβαίνει π.χ. από την καπναιθάλη. Η ειδική αγωγιμότητα του άνθρακα είναι  $\rho_{av} = 0,083$  έως  $33,3 \mu\Omega \cdot m$  και του ατμοσφαιρικού αέρα  $\rho > 1000 T\Omega \cdot m$ . Για αυτό, η καπναιθάλη δημιουργεί αγωγίμες διαδρομές στον αέρα, προκαλώντας έτσι την εκδήλωση



σπινθηρισμών, ή ακόμα και τη διάσπαση. Πράγματι, η αντίσταση μόνωσης θεωρείται γενικά ως κατάλληλη όταν είναι τουλάχιστον 1000 Ω/V. Μία κυλινδρική π.χ. στήλη ατμοσφαιρικού αέρα διατομής 1 mm<sup>2</sup> μεταξύ των αγωγών έχει αντίσταση μόνωσης:

$$R_1 = \rho \cdot l / A = 1 \cdot 10^{15} / 10^{-6} = 10 \cdot 10^{20} \Omega$$

Επειδή η ανωτέρω τιμή υπερπληρεί την προαναφερθείσα ανισότητα, η εν λόγω στήλη είναι καταλληλότερη ως μόνωση. Η τιμή του ρεύματος (I) κατά την εκδήλωση σπινθηρισμών είναι μερικά mA (π.χ. I=10mA). Έτσι, αν θεωρηθεί ότι η προηγούμενη στήλη έγινε μείγμα αέρος και καπναιθάλης, τότε η τιμή R<sub>2</sub> της αντίστασης του μείγματος αυτού θα είναι:

$$R_2 = U/I = 20000/10 \cdot 10^{-3} = 2000000 \Omega$$

Η τιμή όμως αυτή δεν παρέχει πλέον την απαιτούμενη μονωτική ικανότητα, γιατί σύμφωνα με την προαναφερθείσα ανισότητα θα έπρεπε να είναι τουλάχιστον 10 φορές μεγαλύτερη (δηλαδή R ≥ 20000000 Ω). Η ειδική αντίσταση ρ<sub>2</sub> του εν λόγω μείγματος αέρα καπναιθάλης είναι:

$$\rho_2 = R_2 \cdot A/l = 20 \Omega \cdot m$$

Από την ανωτέρω τιμή R<sub>2</sub> (ή την ρ<sub>2</sub>) συμπεραίνεται, ότι δεν υπάρχει πλέον σωστή μόνωση, γιατί έχει δημιουργηθεί μία αγωγίμη διαδρομή μεταξύ των δύο αγωγών, με αποτέλεσμα την εκδήλωση σπινθηρισμών.

### **2.3. Η αδυναμία εκδήλωσης σπινθηρισμών σε γυμνούς αγωγούς χαμηλής τάσης**

Στις γραμμές χαμηλής τάσης (400 V/230 V) με γυμνούς αγωγούς ισχύει d = 30 cm. Αν υποθεθεί για λόγους σύγκρισης των αποτελεσμάτων, ότι πρόκειται για τους γυμνούς αγωγούς, που προαναφέρθηκαν, τότε είναι:

$$E = m_1 \cdot m_2 \cdot \delta \cdot 30 [1 + (0,3) / (\delta \cdot R)^{1/2}] \approx 0,83 \cdot 0,91 \cdot 30 [1 + (0,34)] \approx 30,55 \text{ kV/cm.}$$

Επίσης επειδή p > 19,6 προκύπτει ότι είναι η ≈ 0,21 και επομένως:

$$E_1 = U / (\eta \cdot d) = 0,38 / (0,31 \cdot 30) \approx 0,06 \text{ kV/cm}$$

Δηλαδή ισχύει ότι: E ≈ 509 E<sub>1</sub>

Είναι φανερό ότι για να συμβούν σπινθηρισμοί σε γυμνούς αγωγούς χαμηλής τάσης απαιτείται πάρα πολύ ρυπασμένο περιβάλλον συγκριτικά προς τις

εναέριες γραμμές μέσης τάσης, που συνήθως δεν συναντάται στην πράξη. Αυτός είναι ο λόγος ,που οι σπινθηρισμοί είναι ένα αρκετά σύνηθες ηλεκτρικό φαινόμενο στις γραμμές υψηλής τάσης και στις γραμμές μέσης τάσης (όταν βεβαίως συνυπάρχουν ρύπανση και υγρασία υπό μορφή δρόσου) και όχι στους γυμνούς αγωγούς των γραμμών χαμηλής τάσης.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι, παρά τα ανωτέρω, επειδή στο περιβάλλον διαφόρων γραμμών χαμηλής τάσης έχουν εκδηλωθεί κατά καιρούς πυρκαγιές, έχει διατυπωθεί αρκετές φορές ο λανθασμένος ισχυρισμός ότι η φωτιά οφείλετο σε σπινθηρισμούς στους γυμνούς αγωγούς.

#### **2.4. Τάξη μεγέθους της ελάχιστης απαιτούμενης ένταση του ηλεκτρικού πεδίου για την εκδήλωση σπινθηρισμών συγκριτικά με την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου μεταξύ αγωγών σε συνήθεις γραμμές διανομής**

Στους παρακάτω πίνακες έχει υπολογιστεί για συνήθεις γραμμές διανομής η τιμή περίπου της ελάχιστης απαιτούμενης έντασης του ηλεκτρικού πεδίου για την εκδήλωση σπινθηρισμών καθώς και η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου μεταξύ αγωγών ανάλογα με την απόστασή τους .

Σημειώνεται ότι στον πίνακα 2.4-1 οι αποστάσεις μόνωσης 1000 mm έως 800 mm σε γραμμές διανομής μέσης τάσης (20 kV) αφορούν στην οριζόντια διάταξη αγωγών, ενώ η απόσταση μόνωσης των 600 mm είναι η συνήθης τάξη μεγέθους της ελάχιστης απόστασης μεταξύ των αγωγών κατά την κατακόρυφη διάταξή τους.

Αν και οι αποστάσεις μόνωσης μεταξύ γυμνών αγωγών σε γραμμές διανομής χαμηλής τάσης (400 V) είναι 30 cm στον πίνακα 7.4.5-2 έχουν υπολογιστεί οι τιμές έντασης του ηλεκτρικού πεδίου μεταξύ δύο αγωγών και για αποστάσεις 15 cm και 5 cm, για να καταδειχτεί ότι δεν μπορεί να υπάρξει κατά μείζονα λόγω πρόβλημα μόνωσης στα 30 cm.

### 1. Αγωγός ACSR 16 mm<sup>2</sup>

Ελάχιστη απαιτούμενη ένταση του ηλεκτρικού πεδίου για την εκδήλωση σπινθηρισμών, υπό τάση δικτύου 20 kV και θερμοκρασία περιβάλλοντος 40 °C: $E_{\sigma\pi} = 21,77$ σε kV/cm		
Απόσταση μεταξύ των αγωγών (d) σε [cm]	Ένταση του ηλεκτρικού πεδίου μεταξύ των αγωγών (E) σε [kV/cm]	$E_{\sigma\pi}/E$
1000	5,07	4,29
950	5,11	4,26
900	5,16	4,21
850	5,21	4,17
800	5,27	4,13
600	5,56	3,91

### 2. Αγωγός ACSR 35 mm<sup>2</sup>

Ελάχιστη απαιτούμενη ένταση του ηλεκτρικού πεδίου για την εκδήλωση σπινθηρισμών, υπό τάση δικτύου 20 kV και θερμοκρασία περιβάλλοντος 40 °C: $E_{\sigma\pi} = 21,21$ σε kV/cm		
Απόσταση μεταξύ των αγωγών (d) σε [cm]	Ένταση του ηλεκτρικού πεδίου μεταξύ των αγωγών (E) σε [kV/cm]	$E_{\sigma\pi}/E$
1000	3,67	5,77
950	3,70	5,73
900	3,74	5,67
850	3,78	5,61
800	3,83	5,53
600	4,06	5,22

### 3. Αγωγός ACSR 95 mm<sup>2</sup>

Ελάχιστη απαιτούμενη ένταση του ηλεκτρικού πεδίου για την εκδήλωση σπινθηρισμών, υπό τάση δικτύου 20 kV και θερμοκρασία περιβάλλοντος 40 °C: $E_{\sigma\pi} = 28,81$ σε kV/cm		
Απόσταση μεταξύ των αγωγών (d) σε [cm]	Ένταση του ηλεκτρικού πεδίου μεταξύ των αγωγών (E) σε [kV/cm]	$E_{\sigma\pi}/E$
1000	2,43	11,85
950	2,45	11,76
900	2,48	11,61
850	2,51	11,47
800	2,54	11,34
600	2,71	10,63

Πίνακας 2.4-1: Τιμή περίπου σε γραμμές διανομής 20 kV: α) της ελάχιστης απαιτούμενης έντασης του ηλεκτρικού πεδίου για την εκδήλωση σπινθηρισμών και β) της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου μεταξύ δύο αγωγών.

600 cm: συνήθης τάξη μεγέθους της απόστασης μόνωσης στην κατακόρυφη διάταξη των αγωγών.

### 1. Αγωγός αλουμινίου 16 mm<sup>2</sup>

Ελάχιστη απαιτούμενη ένταση του ηλεκτρικού πεδίου για την εκδήλωση σπινθηρισμών, υπό τάση δικτύου 400 V και θερμοκρασία περιβάλλοντος 40 °C: $E_{στ} = 21,925$ σε kV/cm		
Απόσταση μεταξύ των αγωγών (d) σε [cm]	Ένταση του ηλεκτρικού πεδίου μεταξύ των αγωγών (E) σε [kV/cm]	$E_{στ}/E$
30	0,138	158,8
15	0,162	135,3
5	0,219	100,1

### 2. Αγωγός αλουμινίου 35 mm<sup>2</sup>

Ελάχιστη απαιτούμενη ένταση του ηλεκτρικού πεδίου για την εκδήλωση σπινθηρισμών, υπό τάση δικτύου 400 V και θερμοκρασία περιβάλλοντος 40 °C: $E_{στ} = 21,298$ σε kV/cm		
Απόσταση μεταξύ των αγωγών (d) σε [cm]	Ένταση του ηλεκτρικού πεδίου μεταξύ των αγωγών (E) σε [kV/cm]	$E_{στ}/E$
30	0,099	215,1
15	0,118	180,4
5	0,164	129,8

### 3. Αγωγός αλουμινίου 50 mm<sup>2</sup>

Ελάχιστη απαιτούμενη ένταση του ηλεκτρικού πεδίου για την εκδήλωση σπινθηρισμών, υπό τάση δικτύου 400 V και θερμοκρασία περιβάλλοντος 40 °C: $E_{στ} = 21,058$ σε kV/cm		
Απόσταση μεταξύ των αγωγών (d) σε [cm]	Ένταση του ηλεκτρικού πεδίου μεταξύ των αγωγών (E) σε [kV/cm]	$E_{στ}/E$
30	0,086	244,8
15	0,102	206,4
5	0,145	145,2

### 4. Αγωγός αλουμινίου 70 mm<sup>2</sup>

Ελάχιστη απαιτούμενη ένταση του ηλεκτρικού πεδίου για την εκδήλωση σπινθηρισμών, υπό τάση δικτύου 400 V και θερμοκρασία περιβάλλοντος 40 °C: $E_{στ} = 20,851$ σε kV/cm		
Απόσταση μεταξύ των αγωγών (d) σε [cm]	Ένταση του ηλεκτρικού πεδίου μεταξύ των αγωγών (E) σε [kV/cm]	$E_{στ}/E$
30	0,075	278,0
15	0,090	231,6
5	0,129	161,6

Πίνακας 2.4.-2: Τιμή περίπου σε γραμμές διανομής 400 V: α) της ελάχιστης απαιτούμενη ένταση του ηλεκτρικού πεδίου για την εκδήλωση σπινθηρισμών και β) της ένταση του ηλεκτρικού πεδίου μεταξύ δύο αγωγών.

### 3. Η δημιουργία των αλλοιώσεων επί των αγωγών αλουμινίου

#### 3.1. Μετάδοση θερμότητας στους αγωγούς λόγω πυρκαγιάς

Σύμφωνα με τους κανόνες της Φυσικής η μετάδοση θερμότητας στους αγωγούς από φλεγόμενα δένδρα και θάμνους μπορεί να γίνει με τρεις τρόπους:

- με αγωγή,
- με ακτινοβολία, και
- με μεταφορά μέσω του αέρα.

##### 3.1.1. Μετάδοση της θερμότητας με αγωγή (από φλεγόμενα δένδρα και θάμνους)

Για το ρυθμό έκλυσης ενέργειας (Q) π.χ. ενός δένδρου διαστάσεων περίπου  $1,5 \times 1,5 \times 6 \text{ m}^3$ ) ισχύει η σχέση [1]:

$$Q = P \cdot S \cdot q = 11 \{5 \cdot (1,5 \cdot 1,5)\} \cdot 15 = 1856 \text{ kW} \quad (3.1.1-1)$$

όπου P η απώλεια μάζας (για το ξύλο  $11 \text{ gr/m}^2 \text{ s}$ ), S η επιφάνεια και q η ενεργός θερμότητα καύσης (η οποία για το ξύλο είναι  $13 \div 15 \text{ kJ/gr}$ ). Στην επιφάνεια  $1,5 \cdot 1,5 = 2,25 \text{ m}^2$  αντιστοιχεί επιφάνεια διαμέτρου:  $D \approx 1,7 \text{ m}$ .

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία [1, 2, 3, 4, 5] υπάρχουν διάφοροι τρόποι υπολογισμού του ύψους της φλόγας (H), όπως:

- Η μέθοδος κατά Heskestad, όπου το ύψος της φλόγας υπολογίζεται από την σχέση:

$$H = 0,23 Q^{0,4} - 1,02 D \quad (3.1.1-2)$$

- Ο υπολογισμός κατά Zukofski:

$$H = 3,3 D Q / [1,2(273 + \theta) (gD)^{0,5} D^2]^{0,66} \quad (3.1.1-3)$$

όπου  $\theta$  η θερμοκρασία περιβάλλοντος.

- Ο υπολογισμός κατά Thomas:

$$H = 42 \cdot D \cdot \{P / (\rho [g \cdot D]^{1/2})\}^{0,61} \quad (3.1.1-4)$$

όπου P η ροή καύσης, ρ η πυκνότητα του αέρα, και  $g=9,81 \text{ m/sec}^2$ .

- Η μέθοδος Cox&Chitty.
- Η μέθοδος Steward.
- Από πειραματικά αποτελέσματα.
- Το πρόγραμμα στο διαδίκτυο για τον υπολογισμό του ύψους της φλόγας κατά τις ανωτέρω μεθόδους (Flame Height Correlation Calculator).
- Τα δύο προγράμματα στην διδακτορική διατριβή του Ε. Ψαρρού στο ΕΜΠ για τον υπολογισμό του ύψους της φλόγας κατά τις ανωτέρω μεθόδους, αλλά και με βάση της μορφή (το σχήμα) του δένδρου ή του θάμνου

Για την υπό εξέταση περίπτωση προκύπτει από τον υπολογισμό του ύψους της φλόγας (κατά τα δύο προαναφερθέντα πρόγραμμα), ότι αυτό είναι περίπου:

α) κατά το πρόγραμμα του διαδικτύου:

$$H \approx (3,26+2,41+2,81)/3 \approx 2,83 \text{ m}$$

β) κατά το πρόγραμμα Ε. Ψαρρού:

$$H=2,79 \text{ m}$$

Διαπιστώνεται ότι, με ένα ύψος δένδρου της τάξεως των 6 μέτρων, οι αγωγοί βρέθηκαν υπό την άμεση επίδραση της φλόγας.

### **3.1.2. Μετάδοση της θερμότητας στους αγωγούς με ακτινοβολία από το φλεγόμενο περιβάλλον**

Η μετάδοση θερμότητας προς τους αγωγούς με ακτινοβολία είναι σημαντική λόγω κυρίως του υπέρθερμου περιβάλλοντος των καιγόμενων δένδρων και θάμνων. Πράγματι, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, αλλά και ως αναφέρει σε σύγγραμμά του ο τέως Αρχηγός Πυροσβεστικού Σώματος Γ.Χ. Αντωνόπουλος [6] «η ποσότητα της θερμότητας την οποία δέχεται ένα σώμα, που βρίσκεται μακριά από τη θερμαντική πηγή είναι αντιστρόφως ανάλογη προς το τετράγωνο της απόστασης». Έτσι, σύμφωνα με το παράδειγμα στο άνω σύγγραμμα [6] σε απόσταση  $x=1 \text{ m}$  από μία θερμαντική πηγή  $Q=900 \text{ cal}$  (π.χ. από ένα καιγόμενο κλαδί δένδρου) η ακτινοβολούμενη θερμότητα θα ήταν:

$$Q/x^2 = Q/1^2 = Q = 900 \text{ cal},$$

για  $x=2$  m:  $Q/x^2 = Q/2^2 = Q/4 = 900/4 = 225$  cal,

και για  $x=3$  m:  $Q/x^2 = Q/3^2 = Q/9 = 900/9 = 100$  cal

Συνεπώς, σε συνάρτηση με την απόσταση των διαφόρων σημείων των αγωγών από τις επιμέρους πηγές θερμότητας, στη δι' αγωγής θερμότητα κατά μήκος των αγωγών προστίθεται και η κατά περίπτωση θερμότητα δι' ακτινοβολίας.

Η θερμική ροή με ακτινοβολία από φλόγα υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση [1, 13]:

$$Q_{\text{ακ}} = \varepsilon \sigma F_{12} (\theta + 273)^4 \quad \text{σε kW/m}^2 \quad (3.1.2-1)$$

όπου:  $\varepsilon = 1 - e^{-0,8D}$  (όπου  $D$  σε m)

$F_{12}$  συντελεστής (με  $x=H/C$  και  $y=D/C$  βρίσκεται από το διάγραμμα του σχήματος 3.1.2-2)

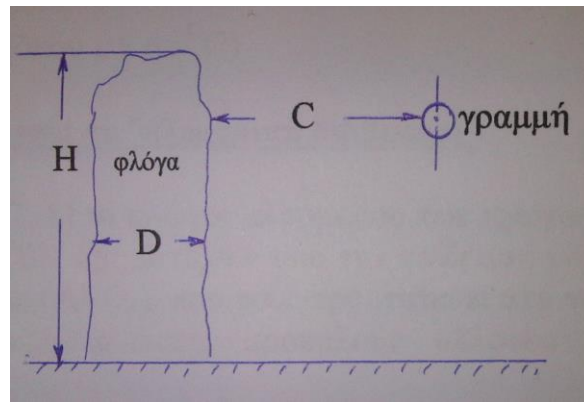
$\sigma$  η σταθερά Boltzmann ( $\sigma = 5,59 \cdot 10^{-11}$  W/m<sup>2</sup>°K)

$\theta$  η θερμοκρασία της φλόγας επιλέγεται ( $\theta = 870 \div 1020$  °C),

Για  $C > 2D$  ισχύει η εμπειρική σχέση:

$$Q_{\text{ακ}} = (0,2 \div 0,4) Q/4\pi C^2 \quad \text{σε kW/m}^2 \quad (3.1.2-2)$$

(όπου  $Q$  ο ρυθμός απελευθέρωσης της ενέργειας σε kW και  $C$  σε m)



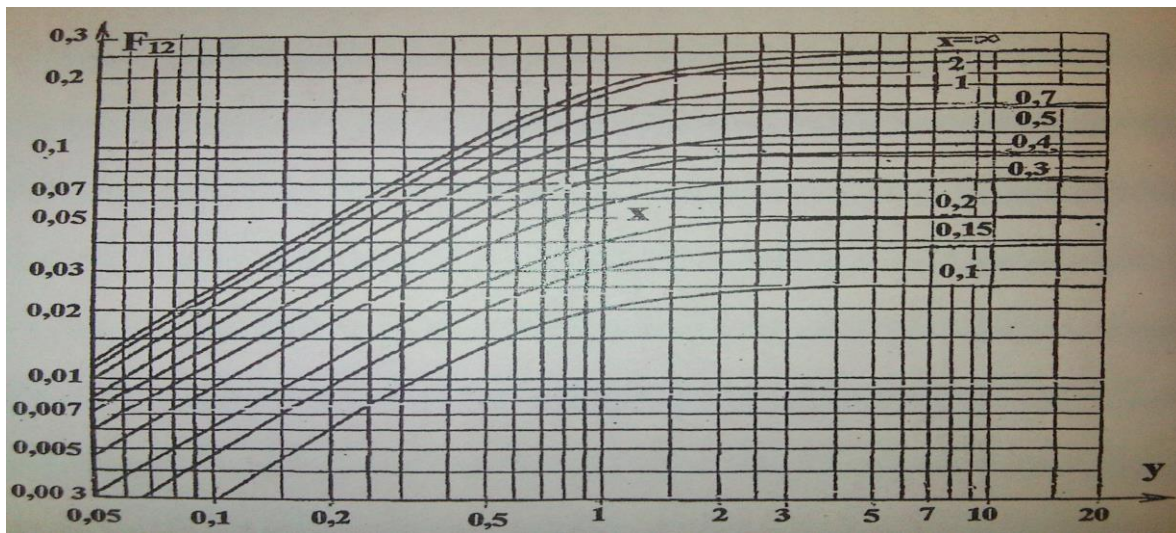
Σχήμα 3.1.2-1:

Φλόγα που μεταδίδει

θερμότητα με ακτινοβολία

( $H$ : ύψος φλόγας,  $D$ : διάμετρος φλόγας

και  $C$ : απόσταση από την φλόγα)



Σχήμα 3.1.2-2: Συντελεστής F12, αναλόγως των τιμών x και y

### 3.1.3. Μετάδοση της θερμότητας στους αγωγούς με μεταφορά από το φλεγόμενο περιβάλλον

Η μετάδοση θερμότητας δια μεταφοράς είναι ιδιότητα των αερίων και των υγρών. Στην υπό εξέταση περίπτωση ως μετάδοση της θερμότητας δια μεταφοράς νοείται η θερμότητα μέσω ρευμάτων αέρος από το υπέρθερμο περιβάλλον των φλεγόμενων δένδρων και θάμνων. Η θερμότητα αυτή συμβάλλει επίσης στην αύξηση της θερμοκρασίας των αγωγών μέσω της επιφάνειάς τους.

Η θερμική ροή με μεταφορά από φωτιά χαμηλής βλάστησης υπολογίζεται από την σχέση [13]:

$$Q_{\text{μετ}} = h \Delta\theta \quad \text{σε } \text{W}/\text{m}^2 \quad (h = 108,5 \text{ W}/\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{K} \text{ και } \Delta\theta \text{ σε } \text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}) \quad (3.1.3-1)$$

ή:

$$Q_{\text{μετ}} = 0,1085 \Delta\theta \quad \text{σε } \text{kW}/\text{m}^2 \quad (\text{όπου } \Delta\theta \text{ σε } ^\circ\text{C}) \quad (3.1.3-2)$$

### 3.2. Αλλοιώσεις των αγωγών λόγω "ηλεκτρικής διάβρωσης"

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία [7, 8] οι κλώνοι αλουμινίου των αγωγών αλουμινίου και των αγωγών τύπου ACSR σχηματίζουν υπό την επίδραση του



ατμοσφαιρικού αέρα οξείδιο αλουμινίου ( $Al_2O_3$ ), που τους προστατεύει από τη διάβρωση. Είναι γνωστό ότι οι καθαλατώσεις προκαλούν αλλοιώσεις (διαβρώσεις) στους κλώνους αλουμινίου [7, 8], γιατί σχηματίζονται χλωρίδια του αλουμινίου τα οποία εξατμίζονται, ενώ το οξείδιο του αλουμινίου δεν καταστρέφεται αλλά παραμερίζεται στις θέσεις εξάτμισης [8].

Υπάρχει γενικά πρόβλημα διάβρωσης του αλουμινίου υπό την επίδραση της ηλεκτρικής τάσης, που κατά την βιβλιογραφία ονομάζεται "ηλεκτρική διάβρωση" [8] και η οποία γίνεται μεγαλύτερη όσο αυξάνει η θερμοκρασία και η τιμή της τάσης, γιατί ευνοούνται γενικά οι κινήσεις των ελεύθερων ηλεκτρικών φορέων. Επομένως, για την ίδια θερμοκρασία περιβάλλοντος η διάβρωση των εναέριων γραμμών υψηλών τάσεων (π.χ. 150 kV) είναι μεγαλύτερη από εκείνη στους αγωγούς μέσης τάσης (π.χ. 20 kV), ενώ οι γυμνοί αγωγοί αλουμινίου χαμηλής τάσης έχουν την μικρότερη διάβρωση.

Μία φυσική ερμηνεία της ηλεκτρικής διάβρωσης μπορεί να αποδοθεί στις ξένες επικαθήσεις επί των αγωγών, οι οποίες προκαλούν κατανομή του πεδίου στην επιφάνεια, με επακόλουθο την ενεργοποίηση γνωστών μηχανισμών παραγωγής ελεύθερων ηλεκτρικών φορέων, όπως η δημιουργία ελεύθερων ηλεκτρονίων λόγω εκδήλωση των φαινομένων Zenner και Tunell σε επιφανειακές δομές «μέταλλο-μονωτής-μέταλλο» και «μέταλλο-οξείδιο-μέταλλο», που συνήθως σχηματίζουν οι ξένες επικαθήσεις (κυρίως οξείδια και σκόνη).

Θα πρέπει να σημειωθεί, ότι σε περίπτωση ακραίων καιρικών φαινομένων (που δεν έχουν εκδηλωθεί σε βάθος χρόνου σε μία περιοχή και ως εκ τούτου δεν έχουν ληφθεί υπόψη στη μηχανική αντοχή της γραμμής) η ύπαρξη πολύ μεγάλου ποσοστού οξειδίου του αλουμινίου επί των αγωγών ενδέχεται να προκαλέσει σε περίπτωση επαφής τους σπινθήρες και τριγμούς, οι οποίοι μπορούν να αποδοθούν στο διακοπτικό φαινόμενο λόγω της αντίστασης του οξειδίου του αλουμινίου.

### **3.2.1. Αύξηση της ηλεκτρικής διάβρωσης των αγωγών λόγω υπερθέρμανσης τους κατά την εκδήλωση παροδικών σφαλμάτων**

Όπως είναι γνωστό, στις γραμμές μέσης τάσης του δικτύου διανομής της ΔΕΗ μπορεί να συμβεί επαναληπτική ηλεκτροδότησή τους επί τρεις φορές, γιατί σε περίπτωση παροδικού σφάλματος (λ.χ. πτώση ενός κλαδιού δένδρου στους αγωγούς) γίνεται αυτομάτως προσπάθεια επί τρεις φορές (σε κλάσμα δευτερολέπτου κάθε φορά), από διακόπτες αυτόματης επαναφοράς (ΔΑΕ) ή από ελαιοδιακόπτες, για να αποκατασταθεί η ηλεκτροδότηση αμέσως, και συνεπώς να αποφευχθεί η οριστική διακοπή ρεύματος και η χρονοβόρα κατ' ανάγκη επέμβαση συνεργείου. Η επαναληπτική όμως αυτή αυτόματα

ηλεκτροδότηση και ακολούθως οι εκούσιες χειροκίνητες επαναληπτικές ηλεκτροδοτήσεις από το συνεργείο προς εντοπισμό της θέσης σφάλματος, σημαίνουν στην πράξη αύξηση της θερμοκρασίας των αγωγών σε πολλαπλάσια τιμή από την θερμοκρασία τους έναντι του ενός και μοναδικού βραχυκυκλώματος. Συνεπώς, επειδή κατά την βιβλιογραφία η αύξηση της θερμοκρασίας του αλουμινίου σε τιμές περίπου άνω των 100 °C συνεπάγεται σημαντική μείωση της μηχανικής αντοχής του, προκαλείται χαλάρωση των κλώνων αλουμινίου λόγω διαστολής και συνεπώς ενοείται η ηλεκτρική διάβρωση, πολύ δε περισσότερο όταν το περιβάλλον είναι υπέρθερμο.

### **3.3. Αλλοιώσεις των αγωγών οφειλόμενες σε μηχανική καταπόνηση κατά την εγκατάσταση**

Η μηχανική καταπόνηση των αγωγών επί του εδάφους, κατά την κατασκευή των γραμμών είναι οπωσδήποτε αιτία πρόκλησης φθορών στην επιφάνειά τους.

### **3.4. Αλλοιώσεις επί των αγωγών λόγω καταπόνησής τους από σκάγια κυνηγητικών όπλων**

#### **Παράδειγμα:**

- Απόσταση βολής 35 m
- Αγωγός ACSR 16 mm<sup>2</sup>, διάμετρος κλώνου Al: d=2,32 mm
- v=200 m/s και E<sub>κ</sub> = 0,1948 kg m [9].
- Σκάγια No 7 έως No 9: D=2,54 mm έως 2,03 mm [10]
- Για ένα σφαιρίδιο με διάμετρο D=2,54 mm ο όγκος του είναι:  
$$V=0,524D^3= 8,6 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3$$
- Με  $\gamma=11,34 \text{ kg/dm}^3$  η μάζα του σφαιριδίου είναι:  
$$m=V \cdot \gamma =97,5 \cdot 10^{-6} \text{ kg}$$
- Κινητική ενέργεια: E<sub>κ</sub> =0,5.m.v<sup>2</sup> = 1,948 kg.m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>= 1,948 N m = 0,1948 kg m.

- Δύναμης πρόσκρουσης:  $F=E/d = 0,1948/0,00232 \approx 84 \text{ kg}$
- Ελάχιστη δύναμη  $F_{\min}$  για την αποκοπή του κλώνου:  $F_{\min} = \sigma \cdot A \approx 18 \text{ kg}$   
( $\sigma=2,5-4 \text{ kg/mm}^2$  η μηχανική τάση κοπής του αλουμινίου και  $A=4,225 \text{ mm}^2$  η διατομή του κλώνου)
- Συνεπώς, επειδή  $F > F_{\min}$  είναι βέβαιο ότι θα κοπεί ο κλώνος

Στον πίνακα 3.4-1 δίνονται συγκεντρωτικά αποτελέσματα για τους αγωγούς διανομής του δικτύου στην Ελλάδα (αλουμινίου και ACSR), από όπου προκύπτει ότι σε όλους μπορεί να συμβεί αποκοπή κλώνων από σκάγια κυνηγετικών όπλων.

Είδος αγωγού	A [mm <sup>2</sup> ]	d [mm]	F [kg]	F <sub>min</sub> [kg]
ACSR	16	2,32	84,0	10,6
ACSR	35	3.44	56,6	23,2
ACSR	50	4.11	47,4	33,1
ACSR	70	2,33	83,6	10,6
ACSR	95	2.72	71,6	14,5
Al	16	2,21	88,1	9,6
Al	35	3,22	60,5	20,4
Al	50	2,35	82,9	10,8
Al	70	2,78	70,0	15.2

Πίνακας 3.4-1: Μηχανική καταπόνηση κλώνων αλουμινίου των αγωγών διανομής ηλεκτρικής ενέργειας από σκάγια κυνηγετικών όπλων.

A: διατομή αγωγού (ισοδύναμη χαλκού)

d: διάμετρος κλώνου.

F: Δύναμης πρόσκρουσης σε κλώνο αλουμινίου από σφαιρίδιο διαμέτρου 2,03-2,54 mm με ταχύτητα 200 m/s.

F<sub>min</sub>: ελάχιστη δύναμης αποκοπής κλώνου αλουμινίου.

### Σημείωση:

- Η αποκοπή κλώνου αλουμινίου συμβαίνει όταν η δύναμη  $F$  εξασκείται κατά μήκος της διαμέτρου του. Σε διαφορετική περίπτωση προκαλείται παραμόρφωση του κλώνου ή αφαίρεση υλικού από αυτόν αναλόγως προς τη διεύθυνση της δύναμης πρόσκρουσης.
- Ο χαλύβδινος κλώνος (ψυχή) του γυμνού αγωγού δεν μπορεί να αποκοπεί από πρόσκρουση σφαιριδίου (σκάγι), γιατί η μηχανική τάση κοπής λόγω κρούσης (διάτμηση) του χάλυβα είναι  $\sigma = 40-100 \text{ kg/mm}^2$  (δηλαδή πολύ μεγαλύτερη από αυτή του αλουμινίου). Πράγματι, λόγω αυτού είναι  $F_{\min} = 169-422 \text{ kg}$  και συνεπώς η εξασκούμενη από το σφαιρίδιο δύναμη  $F=84 \text{ kg}$  επί του χαλύβδινου κλώνου (ψυχής) δεν επαρκεί για την αποκοπή του.

### **3.5. Διορθωτικές επεμβάσεις σε πληγέντα αγωγό**

Η διορθωτική παρέμβαση σε πληγέντα αγωγό (από σκάγια π.χ. κυνηγητικών όπλων ή άλλη εξωγενή αιτία, όπως π.χ. λοιώσιμο κλώνων αλουμινίου λόγω πυραγιάς στο περιβάλλον της γραμμής, κ.λ.π.) γίνεται μέσω παράλληλου τμήματος αγωγού ή προσχηματισμένης ελικοειδούς ράβδου. Πρόκειται για την αποκλειστική μέθοδος που εφαρμόζεται στα δίκτυα για τη μείωση του κόστους (διαφορετικά θα έπρεπε να γίνεται αλλαγή όλου του αγωγού). Αν μάλιστα ανατρέξει κανείς για πληροφορίες περί αυτού στην στοιχειώδη ηλεκτρολογία, θα διαπιστώσει ότι η επισκευή αυτή, ενώ υπερπληρεί την λειτουργία υπό ονομαστικό ρεύμα (βλ. Νόμο του  $\Omega\mu$  και 1<sup>ο</sup> Νόμο του Kirchhoff), ικανοποιεί πλήρως και τις απαιτήσεις της διηλεκτρικής αντοχής μεταξύ των αγωγών (βλ παρ.7.4.1). Παρά τα ανωτέρω, έχει συμβεί να θεωρηθεί ως κακοτεχνία η διορθωτή επέμβαση σε αγωγού (που συνέβαλλε μάλιστα στην πρόκληση πυρκαγιάς !!).

### **Βιβλιογραφία**

- [1] Quintiere J.G., Principles of Fire Behaviour, Delmar Publishers, 1998.
- [2] Quantitative Fire Hazard Analysis Methods for U.S. Nuclear Regulatory Commission Fire protection Programme, Final Report, Division of System Safety and Analysis Office of Nuclear Reactor Regulation U.S. Nuclear Regulatory Commission Washington, DC 20555-0001, 2004.
- [3] Thomas P.H., The Size of Flames from Nature Fires, Nine Symposium (International) on Combustion, The Combustion Institute, Pittsburgh, Pennsylvania, p.p. 844-859, 1962.

- [4] Heskestad G., Flame Heights of Fuel Arrays With Combustion in Depth, Proceedings of the Fifth International Symposium of Fire Safety Science, International Association of Fire Safety Science, p.p. 427-438, 1997.
- [5] Heskestad G., Fire Plumes, Section 2, Chapter 2-2, SEPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2<sup>nd</sup> Edition, P.J. DiNenno, Editor-in-Chief, National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts, 1995.
- [6] Αντωνόπουλος Γ.Χ. (τέως Αρχηγός Πυροσβεστικού Σώματος), Μαθήματα Πυροσβεστικής Τέχνης, Εκδόσεις Αρχηγείου Πυροσβεστικού Σώματος, Αθήνα 1994.
- [7] Philippow E., Taschenbuch Elektrotechnik, Band I, Grundlagen, VEB Verlag Technik, Berlin 1968.
- [8] Lupfert H., Metallische Werkstoffe, C.F. Winter'sche Verlagshandlung Prien, 1958.
- [9] Τριβέλλας Π., Μυστικά για το σωστό φυσίγγι, Τύπος Κυνήγι και Ψάρεμα,
- [10] Κυνήγι στην Ελλάδα-Hunter.Gr, <http://www.hunter.gr/>, 1-6-2005.
- [11] Taschenbuch Electrotechnik, Europa Lehrmittel p250-256, Europa Nr 30103..
- [12] Hutte Band II, Berlin 1954, p635.
- [13] Ψαρρός, Υπαίθριες γραμμές διανομής χαμηλής τάσης σε περιβάλλον πυρκαγιών, Διδακτορική Διατριβή στη Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Ε. Μ. Πολυτεχνείου, Αθήνα 2009.

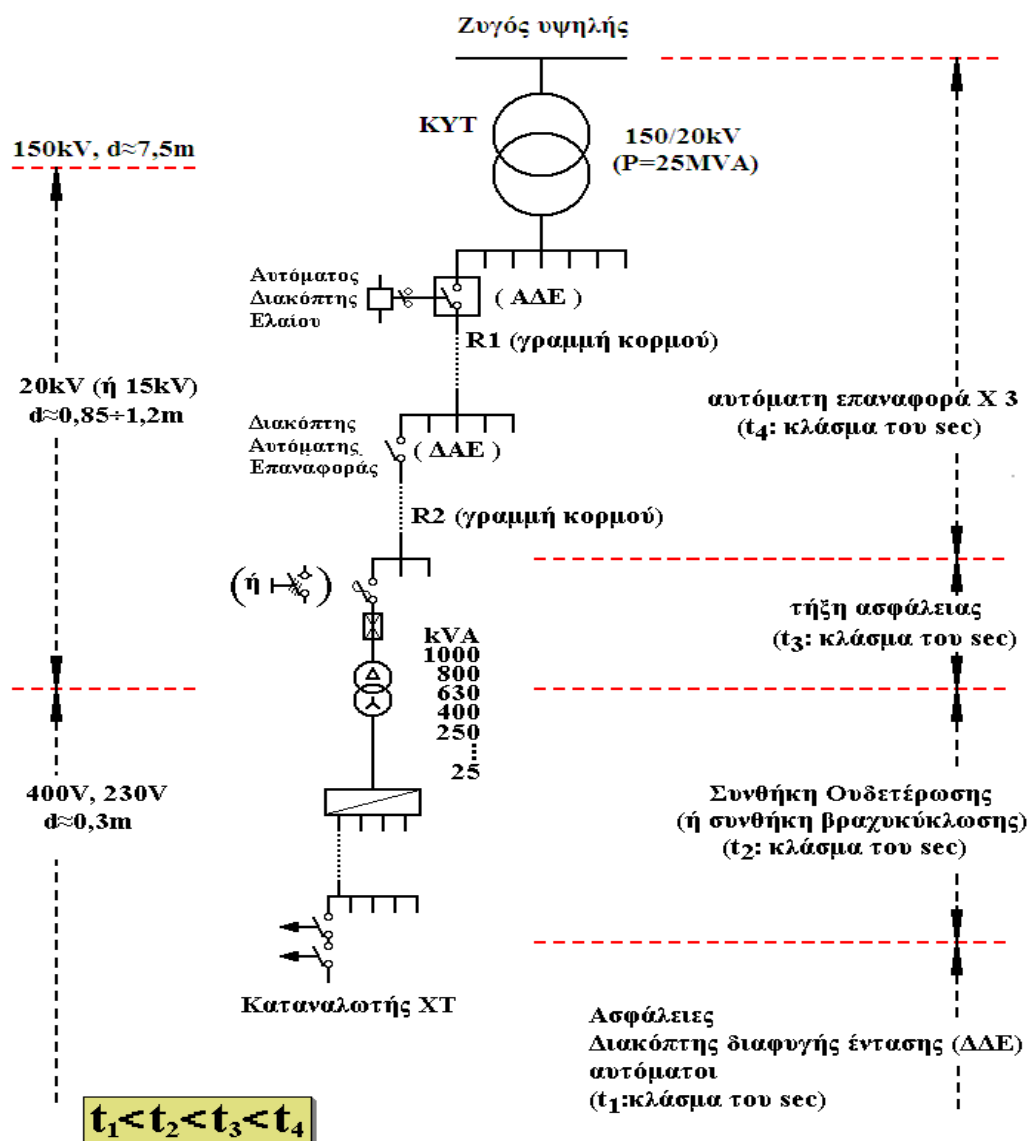
## 4. Τα μέσα προστασίας σε γραμμές διανομής

### 4. 1. Τα μέσα προστασίας σε υπαίθριες γραμμές διανομής μέσης τάσης

Στο σχήμα 4.1-1 δίνεται ένα απλοποιημένο παράδειγμα διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα μέσω υπαίθριων γραμμών. Σύμφωνα με αυτό, από το μετασχηματιστή υψηλής τάσης (π.χ. 150 kV/20 kV, 25 MVA) του Κέντρου Υψηλής Τάσης (ΚΥΤ) αναχωρούν μέσω αυτόματων διακοπών ελαίου (ΑΔΕ) διάφορες υπαίθριες γραμμές μέσης τάσης (15 ή 20 kV), που η καθεμία αφορά τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας σε μία ευρύτερη περιοχή. Οι γραμμές αυτές ονομάζονται «γραμμές κορμού» και συμβολίζονται στα σχέδια με το γράμμα R και ένα αριθμό (π.χ. R 1).

Καθεμία από τις παραπάνω γραμμές διακλαδίζεται σε ορισμένες γραμμές, που αφορούν την ηλεκτροδότηση τμημάτων της ευρύτερης περιοχής μέσω διακοπών αυτόματης επαναφοράς (ΔΑΕ), οι οποίες ονομάζονται επίσης γραμμές κορμού (π.χ. R2).

Όταν συμβεί ένα σφάλμα σε μία γραμμή κορμού (π.χ. βραχυκύκλωμα λόγω πτώσης ενός κλαδιού στη γραμμή), τότε ο διακόπτης προστασίας (ΑΔΕ ή ο ΔΑΕ) θα διακόψει αυτομάτως την ηλεκτροδότηση της συγκεκριμένης γραμμής και θα τεθεί αμέσως αυτομάτως στη θέση εντός για να ηλεκτροδοτηθεί η γραμμή και αν υπάρχει ακόμα το σφάλμα θα γίνει και πάλι αυτόματη διακοπή και ακολούθως αυτόματη εκ νέου ηλεκτροδότηση. Αν και κατά την δεύτερη αυτή αυτόματη προσπάθεια του διακόπτη συνεχίζει να υπάρχει το σφάλμα, θα γίνει και μία τρίτη "αυτόματη διακοπή - εκ νέου ηλεκτροδότηση" και μόνο αν εξακολουθεί να υπάρχει το σφάλμα θα συμβεί πλέον οριστική διακοπή ρεύματος της εν λόγω γραμμής κορμού. Είναι προφανές ότι η προαναφερθείσα σε "τρεις κύκλους λειτουργία" των ΑΔΕ και των ΔΑΕ αποσκοπεί, σε περιπτώσεις εμφάνισης παροδικών σφαλμάτων, τόσο στην προσπάθεια για απρόσκοπτη ηλεκτροδότηση μίας μεγάλης περιοχής, όσο και στην αποφυγή άσκοπων μετακινήσεων συνεργείων.



Σχήμα 4.1-1: Απλοποιημένο παράδειγμα δικτύου διανομής μέσης και χαμηλής τάσης [1]

Σημειώσεις: 1. Μετασχηματιστές άνω των 630 kVA

- ηλεκτροδοτούνται από συγκροτήματα πινάκων.  
 2. Μετασχηματιστές 630 kVA ηλεκτροδοτούνται από συγκροτήματα πινάκων αλλά εγκαθίστανται και σε υπαίθριους υποσταθμούς.  
 3. Μετασχηματιστές 25÷400 kVA είναι σε υπαίθριους υποσταθμούς

Όπως φαίνεται στο σχήμα 4.1-1, οι γραμμές κορμού μέσω των ΔΑΕ διακλαδίζονται με την σειρά τους σε διάφορες δευτερεύουσες γραμμές που καταλήγουν σε υποσταθμούς υποβιβασμού της μέσης τάσης σε χαμηλή τάση (20 kV/400V, 230 V). Οι υπαίθριοι υποσταθμοί μέσης τάσης εγκαθίστανται συνήθως επί στύλων (και σπανίως σε μεταλλικούς ημιυπόγειους οικίσκους σε πλατείες ή άλλους ελεύθερους κοινόχρηστους χώρους) και η ισχύς των μετασχηματιστών τους είναι συνήθως μέχρι 400 kVA (μετασχηματιστές μεγαλύτερης ισχύος που δίνονται στο σχήμα αφορούν εγκαταστάσεις εντός κτιρίων). Στους υπαίθριους υποσταθμούς η γραμμή μέσης τάσης ηλεκτροδοτεί τον μετασχηματιστή μέσω μονοπολικών ασφαλειοαποξευκτών (βλ. σχήμα 4.1-1), ενώ στους υποσταθμούς εσωτερικού χώρου η ηλεκτροδότηση του μετασχηματιστή (η ισχύς του οποίου είναι πάνω από 400 kVA) γίνεται μέσω συγκροτήματος πινάκων. Σημειώνεται ότι για λόγους διασύνδεσης ή απομόνωσης υπαίθριων γραμμών μέσης τάσης (σε περιπτώσεις π.χ. πυρκαγιών, εργασιών συντήρησης και εργασιών αποκατάστασης βλαβών) υπάρχουν στις γραμμές μέσης τάσης μονοπολικοί ασφαλειοαποξευκτές και τριπολικοί αποξευκτές μη εντασσόμενοι σε υπαίθριους υποσταθμούς (ο τριπολικός π.χ. αποξευκτης που δίχνηται εντός παρενθέσεως στο σχήμα υποτίθεται ότι είναι εγκατεστημένος προ του ασφαλειοαποξευκτη για λόγους απομόνωσης της γραμμής).

Η παροχή χαμηλής τάσης (400 V, 230 V) σε καταναλωτές χαμηλής τάσης γίνεται μέσω γραμμών χαμηλής τάσης (από γυμνούς αγωγούς ή συνεστραμμένα καλώδια) που ξεκινούν από τον πίνακα χαμηλής τάσης (ασφαλειοκιβώτιο) του υποσταθμού (σχήμα 4.1-1).

Η παροχή μέσης τάσης σε καταναλωτές αφορά απορροφημένες εντάσεις ρεύματος άνω των 200 A ανά φάση, όπως συμβαίνει συνήθως σε βιομηχανίες, νοσοκομεία άνω των 100 κλινών, μεγάλα ξενοδοχεία, κτίρια ΑΕΙ, κτίρια εταιριών, υπουργεία, κλπ. Είναι προφανές, ότι για τους χρόνους προστασίας στα επιμέρους κυκλώματα του παραδείγματος του σχήματος 1 πρέπει να ισχύει:

$$t_1 < t_2 < t_3 < t_4 \quad (4.1-1)$$

Αυτό σημαίνει, ότι σε περίπτωση π.χ. βραχυκυκλώματος σε δευτερεύουσα γραμμή μέσης τάσης (γραμμή από τον ασφαλειοαποξευκτη στην αρχή της γραμμής μέχρι τον υποσταθμό) η διακοπή ρεύματος θα πρέπει να γίνει από τον ασφαλειοαποξευκτη, σε περίπτωση αστοχίας του οποίου θα πρέπει να συμβεί η διακοπή ρεύματος από τον ΔΑΕ.



## 4.2. Η συνθήκη βραχυκύκλωσης (ή ουδετέρωσης) στις γραμμές διανομής χαμηλής τάσης

Στους παρακάτω πίνακες δίνονται (κατά τον κανονισμό ΟΔ-22/ΔΕΔ-ΤΤΕ Δ-4/ 4-7-88 της ΔΕΗ και την βιβλιογραφία [1, 2, 3, 4] γενικότερα) οι τιμές των

Ισχύς kVA	Ασ- φά- λεια A	Γυμνοί αγωγοί	Γυμνοί αγωγοί	Γυμνοί αγωγοί	Γυμνοί αγωγοί	Συνεστραμ- μένο καλώδιο 3x35+54,6 mm <sup>2</sup>	Συνεστραμ- μένο Καλώδιο 3x70+54,6 mm <sup>2</sup>
		16 mm <sup>2</sup>	35 mm <sup>2</sup>	50 mm <sup>2</sup>	70 mm <sup>2</sup>	Μήκος γραμμής σε m	
15	25	1030 950					
	32	760 690					
25	32	850 770					
	40	660 580				1000	
50	50	560 480	1070 930			840 720	1130 1010
	63	440 360	830 690	1090 920		660 540	920 750
	80	330 250	630 490	830 660	1010 820	500 380	700 530
75	63	450 370	870 730	1140 970		680 560	950 780
	80	350 270	670 530	880 710	1080 880	530 410	740 570
	100	280 200	530 380	690 510	840 640	420 300	580 410
	125	220 140	410 270	530 360	650 450	330 210	450 290
100	63	460 380	890 750	1160 990		690 570	970 800
	80	360 280	690 550	900 730	1110 910	540 420	760 580
	100	280 210	540 400	710 530	870 670	430 310	600 430
	125	220 150	420 270	550 380	680 480	340 220	470 300
	160	170 90	320 180	420 240	510 310	260 140	360 190
150- 160- 200	80	370 290	710 570	940 760	1150 950	550 430	770 600
	100	300 210	570 420	740 560	910 710	440 320	610 440
	125	230 150	450 300	590 410	720 510	350 230	480 320
	160	180 100	350 200	450 270	560 340	270 150	370 210
	200		270 130	360 170	440 220	210 90	300 130
	250		210 70	280 90	340 110		230 70

Πίνακας 4.2-1: Τιμές ασφαλειών σε πίνακες χαμηλής τάσης του δικτύου διανομής (400 V/230 V) για μετασχηματιστές 15÷200 kVA

Ισχύς kVA	Ασ- φά- λεια A	Γυμνοί αγωγοί	Γυμνοί αγωγοί	Γυμνοί αγωγοί	Γυμνοί αγωγοί	Συνεστραμ- μένο καλώδιο 3x35+54,6 mm <sup>2</sup>	Συνεστραμ- μένο Καλώδιο 3x70+54,6 mm <sup>2</sup>
		16 mm <sup>2</sup>	35 mm <sup>2</sup>	50 mm <sup>2</sup>	70 mm <sup>2</sup>	Μήκος γραμμής σε m	
250- 400	80	370 290	720 580	960 770	1170 970	560 440	780 610
	100	300 220	580 480	760 580	940 730	450 330	620 460
	125	240 160	460 310	600 420	740 540	360 240	500 330
500- 630	160	180 110	360 210	470 280	580 360	280 160	400 220
	200		280 140	370 180	460 240	220 100	310 140
750- 1000	250		230 80	300 100	360 140		250 80
	315			230 40	280 50		
	400				220		
	500						

Πίνακας 4.2-2: Τιμές ασφαλειών σε πίνακες χαμηλής τάσης του δικτύου διανομής (400 V/230 V) για μετασχηματιστές 250÷1000 kVA

Διατομή γυμνού αγωγού Cu ή ισοδύναμου Al	16 mm <sup>2</sup> (Z <sub>β</sub> =2,570 Ω/km)	35 mm <sup>2</sup> (Z <sub>β</sub> =1,310 Ω/km)	50 mm <sup>2</sup> (Z <sub>β</sub> =0,967 Ω/km)	70 mm <sup>2</sup> (Z <sub>β</sub> =0,797 Ω/km)
16 mm <sup>2</sup> (Z <sub>α</sub> =2,570 Ω/km)	Z <sub>α</sub> /Z <sub>β</sub> = 1,000	Z <sub>α</sub> /Z <sub>β</sub> = 1,962	Z <sub>α</sub> /Z <sub>β</sub> = 2,658	Z <sub>α</sub> /Z <sub>β</sub> = 3,224
35 mm <sup>2</sup> (Z <sub>α</sub> =1,310 Ω/km)	Z <sub>α</sub> /Z <sub>β</sub> = 0,509	Z <sub>α</sub> /Z <sub>β</sub> = 1,000	Z <sub>α</sub> /Z <sub>β</sub> = 1,355	Z <sub>α</sub> /Z <sub>β</sub> = 1,644
50 mm <sup>2</sup> (Z <sub>α</sub> =0,967 Ω/km)	Z <sub>α</sub> /Z <sub>β</sub> = 0,376	Z <sub>α</sub> /Z <sub>β</sub> = 0,738	Z <sub>α</sub> /Z <sub>β</sub> = 1,000	Z <sub>α</sub> /Z <sub>β</sub> = 1,213
70 mm <sup>2</sup> (Z <sub>α</sub> =0,797 Ω/km)	Z <sub>α</sub> /Z <sub>β</sub> = 0,310	Z <sub>α</sub> /Z <sub>β</sub> = 0,608	Z <sub>α</sub> /Z <sub>β</sub> = 0,824	Z <sub>α</sub> /Z <sub>β</sub> = 1,000
Διατομή συγκεντρικού καλωδίου Cu				
6 mm <sup>2</sup> (Z <sub>α</sub> =7,754 Ω/km)	Z <sub>α</sub> /Z <sub>β</sub> = 3,017	Z <sub>α</sub> /Z <sub>β</sub> = 5,917	Z <sub>α</sub> /Z <sub>β</sub> = 8,020	Z <sub>α</sub> /Z <sub>β</sub> = 9,730
10 mm <sup>2</sup> (Z <sub>α</sub> =4,334 Ω/km)	Z <sub>α</sub> /Z <sub>β</sub> = 1,685	Z <sub>α</sub> /Z <sub>β</sub> = 3,307	Z <sub>α</sub> /Z <sub>β</sub> = 4,482	Z <sub>α</sub> /Z <sub>β</sub> = 5,438
16 mm <sup>2</sup> (Z <sub>α</sub> =2,804 Ω/km)	Z <sub>α</sub> /Z <sub>β</sub> = 1,091	Z <sub>α</sub> /Z <sub>β</sub> = 2,140	Z <sub>α</sub> /Z <sub>β</sub> = 2,900	Z <sub>α</sub> /Z <sub>β</sub> = 3,518
25 mm <sup>2</sup> (Z <sub>α</sub> =1,788 Ω/km)	Z <sub>α</sub> /Z <sub>β</sub> = 0,695	Z <sub>α</sub> /Z <sub>β</sub> = 1,364	Z <sub>α</sub> /Z <sub>β</sub> = 1,850	Z <sub>α</sub> /Z <sub>β</sub> = 2,243

Πίνακας 4.2-3: Τιμές Z<sub>α</sub>/Z<sub>β</sub> για γυμνούς αγωγούς Cu ή ισοδύναμου Al και συγκεντρικά καλώδια

ασφαλειών σε πίνακες χαμηλής τάσης του δικτύου διανομής, ανάλογα με τον μετασχηματιστή και το μήκος της γραμμής. Το μικρότερο μήκος αφορά την γραμμή χωρίς το καλώδιο παροχής (συγκεντρικό καλώδιο 2x6 mm<sup>2</sup> μήκους 30 m) και το μεγαλύτερο μήκος τη γραμμή με το καλώδιο παροχής.

Σε περίπτωση που μία γραμμή αποτελείται από γυμνούς αγωγούς διαφορετικών διατομών, τότε το ισοδύναμο μήκος της γραμμής βρίσκεται με μετατροπή των επιμέρους αγωγών σε ένα είδος αγωγού σταθερής διατομής. Για

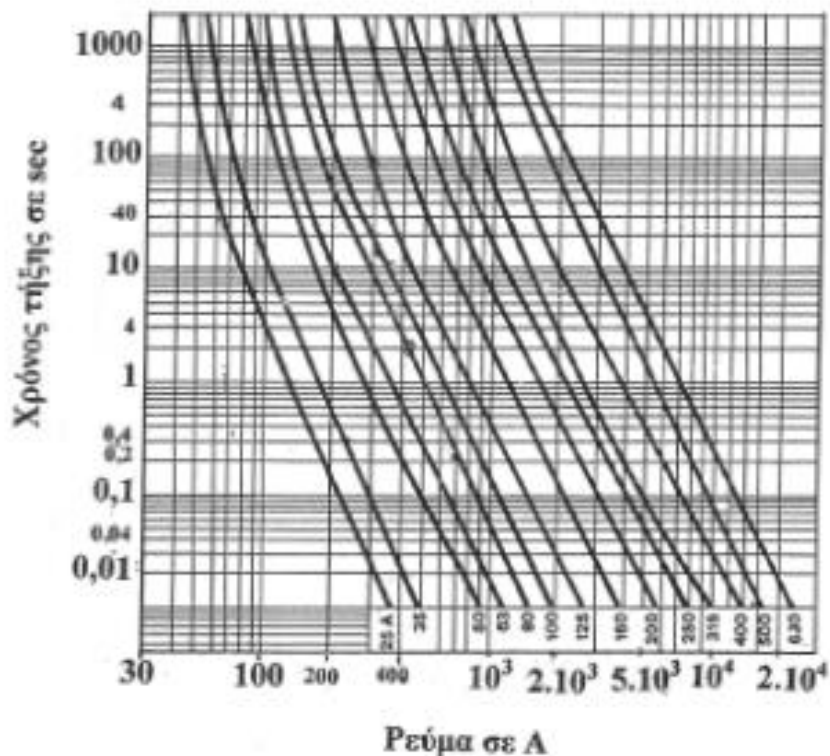
τη μετατροπή  $\alpha$  μέτρων αγωγού αντίστασης  $Z_\alpha$  (σε  $\Omega/\text{km}$ ) σε αντίσταση  $Z_\beta$  (σε  $\Omega/\text{km}$ ) ισχύει η σχέση:

$$\beta = \alpha (Z_\alpha/Z_\beta) \quad (4.2-1)$$

Στον πίνακα 4.2-3 δίνεται το πηλίκο  $Z_\alpha/Z_\beta$  για γυμνούς αγωγούς και συγκεντρικά καλώδια.

Όταν ικανοποιούνται οι απαιτήσεις κατά τους ανωτέρω πίνακες, τότε ισχύει η συνθήκη ουδετέρωσης (ή βραχυκύκλωσης), που σημαίνει ότι κατά το βραχυκύκλωμα συμβαίνει ακαριαία (σε κλάσμα του δευτερολέπτου) τήξη της ασφάλειας, με αποτέλεσμα να θερμαίνονται οι αγωγοί μόνο μερικούς βαθμούς Κελσίου και συνεπώς να μη δημιουργούνται τήγματα αλουμινίου από αυτούς [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11]. Σημειώνεται ότι, ακόμα και αν υποθεθεί ότι δημιουργήθηκαν (άγνωστο πως) τήγματα αλουμινίου, κατά την πρόσκρουσή τους στο έδαφος έχουν ήδη αποπυρακτωθεί [1, 2, 3, 4, 12, 13].

Στο σχήμα 4.2-1 δίνονται χαρακτηριστικές ρεύματος-χρόνου τήξης ασφαλειών σε πίνακες διανομής χαμηλής τάσης.



Σχήμα 4.2-1: Χαρακτηριστικές « ρεύματος - χρόνου τήξεις » ασφαλειών σε πίνακες διανομής χαμηλής τάσης

## Βιβλιογραφία

- [1] Μπούρκας Π.Δ., Καραγιαννόπουλος Κ.Γ., Βιομηχανικές ηλεκτρικές διατάξεις και υλικά, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 2003.
- [2] P.D. Bourkas, C.G. Karagiannopoulos, P.T. Tsarabaris, Experimental Investigation of Short Circuit Condition in Low Voltage Distribution Networks, Proceedings of the Eighth International Conference POWER AND ENERGY SYSTEMS (EuroPES 2008) June 23-25, 2008 Corfu, Greece, p.p. 297-302.
- [3] Halevidis C.D., Anagnostatos S.D., Polykrati A.D., Koufakis E.I., Bourkas P.D., Proposal of a protection method against probable consequences to humans and the environment from short-circuit or abruption, IET, Generation, Transmission & Distribution, accept for publication 23-2-2010, in press.
- [4] Μπούρκας Π. Δ., Ασκήσεις Βιομηχανικών και Κτιριακών Εγκαταστάσεων, ΕΜΠ, Αθήνα 2008
- [5] Το υπ' αριθ, 1245/2007/ΕΑΘ Πιστοποιητικό Δοκιμών του Κέντρου Δοκιμών της ΔΕΗ (ΚΔΕΠ) με θέμα: Διερεύνηση της συμπεριφοράς αγωγίμης γεφύρωσης δύο αγωγών  $50 \text{ mm}^2$  από αλουμίνιο, για ρεύμα βραχυκύκλωσης 880 A, όταν ισχύει η συνθήκη βραχυκύκλωσης.
- [6] Το υπ' αριθ, 1244/2007/ΕΑΘ Πιστοποιητικό Δοκιμών του Κέντρου Δοκιμών της ΔΕΗ (ΚΔΕΠ) με θέμα: Διερεύνηση της συμπεριφοράς αγωγίμης γεφύρωσης δύο αγωγών  $50 \text{ mm}^2$  από αλουμίνιο, για ρεύμα βραχυκύκλωσης 2850A, όταν ισχύει η συνθήκη βραχυκύκλωσης
- [7] Το υπ' αριθ, 1244/2007/ΕΑΘ Πιστοποιητικό Δοκιμών του Κέντρου Δοκιμών της ΔΕΗ (ΚΔΕΠ) με θέμα: Διερεύνηση της συμπεριφοράς αγωγίμης γεφύρωσης δύο αγωγών  $50 \text{ mm}^2$  από αλουμίνιο, για ρεύμα βραχυκύκλωσης 240 A, όταν ισχύει η συνθήκη βραχυκύκλωσης
- [8] Το υπ' αριθ, 1244/2007/ΕΑΘ Πιστοποιητικό Δοκιμών του Κέντρου Δοκιμών της ΔΕΗ (ΚΔΕΠ) με θέμα: Διερεύνηση της συμπεριφοράς αγωγίμης γεφύρωσης δύο αγωγών  $35 \text{ mm}^2$  από αλουμίνιο, για ρεύμα βραχυκύκλωσης 240 A, όταν ισχύει η συνθήκη βραχυκύκλωσης
- [9] Το υπ' αριθ. 123/3-7-1999 Πιστοποιητικό Δοκιμών του Κέντρου Δοκιμών της ΔΕΗ (ΚΔΕΠ) με θέμα: Διαλείποντα βραχυκυκλώματα
- [10] Σμιτζής Α., Προσδιορισμός της θερμικής καταπόνησης των γυμνών αγωγών και των συνεστραμμένων καλωδίων του δικτύου χαμηλής τάσης κατά το βραχυκύκλωμα, Διπλωματική Εργασία στη Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Ε.Μ. Πολυτεχνείου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2008.

- [11] Ψαρρός Ε. Γ., Υπαίθριες γραμμές διανομής χαμηλής τάσης σε περιβάλλον πυρκαγιών, Διδακτορική Διατριβή, ΕΜΠ, Αθήνα 2009
- [12] Psarros E.G., Polykrati A.D., Karagiannopoulos C.G., Bourkas P.D., A model for calculating the temperature of aluminium particles ejected from overhead voltage lines due to short-circuit, International Journal of Wildland Fire, 2009, 18, 722-726.
- [13] Πείραμα ΕΜΠ για τήγματα αλουμινίου διαμέτρου 0,5mm και 1mm, 2008.

#### 4.2.1. Πειραματικές εργαστηριακές διερευνήσεις σε γραμμές χαμηλής τάσης

Τα πειραματικά αποτελέσματα που ακολουθούν βασίζονται σε εργαστηριακές μετρήσεις τόσο του Κέντρου δοκιμών της ΔΕΗ (ΚΔΕΠ), όσο και του Εργαστηρίου Υψηλών Τάσεων και Ηλεκτρικών Μετρήσεων του ΕΜΠ.

##### 1) Σκοπός των πειραμάτων

###### α). Πειραματική διερεύνηση της συνθήκης βραχυκύκλωσης

- Χρόνος τήξης των ασφαλειών.
- θερμοκρασία των αγωγών κατά τον χρόνο βραχυκύκλωσης.
- Πρόκληση ή μη σπινθηρισμών.
- Δημιουργία ή μη τηγμάτων μετάλλου από τους αγωγούς.
- Δυνατότητα ή μη πρόκλησης επαναλαμβανόμενου βραχυκυκλώματος.

###### β) Οι συνέπειες ή μη περιπεπλεγμένων με τους αγωγούς κλαδιών δένδρων από ελιά και πεύκο (στεγνών ή βρεγμένων)

- βραχυκύκλωμα ή μη,
- σπινθηρισμοί ή μη,
- ανάφλεξη ή μη κλαδιών,
- πυράκτωση ή μη αγωγών, και
- δημιουργία ή μη τήγματα μετάλλου από τους αγωγούς .

###### γ) Αποτελέσματα της αγωγίμης επαφής (ή των επαναλαμβανόμενων αγωγίμων επαφών) μεταξύ αγωγού του δημοτικού φωτισμού (αγωγός αλουμινίου 16 mm<sup>2</sup>) και του συνδεδεμένου με αυτόν υπερκείμενού του αγωγού φάσεως (εν προκειμένω αγωγός αλουμινίου 50 mm<sup>2</sup>)

- κατά τη λειτουργία του δημοτικού φωτισμού,
- όταν ο δημοτικός φωτισμός είναι εκτός λειτουργίας

## 2) Αποτελέσματα των μετρήσεων και των οπτικών παρατηρήσεων

α). Αποτελέσματα των μετρήσεων και των οπτικών παρατηρήσεων κατά την πειραματική διερεύνηση της συνθήκης ουδετέρωσης

Είδος αγωγού	Ασφάλεια [A]	I <sub>β</sub> [A]	t [sec]	θ <sub>x</sub> [°C]	θ [°C]	Δθ [°C]	Παρατηρήσεις
Al 16 mm <sup>2</sup>	63	189	5,00	25	33,7	8,7	1. Δεν δημιουργήθηκαν τήγματα
		880	0,08		25,8	0,8	1. Δεν δημιουργήθηκαν τήγματα και δεν παρατηρήθηκαν σπινθηρισμοί.
		2850	0,00		25,0	0,0	2. Κατά τις επαναλαμβανόμενες αγωγίμες γεφυρώσεις προκλήθηκε ένα και μοναδικό βραχυκύκλωμα.
Al 35 mm <sup>2</sup>	80	240	5,00	25	28,0	3,0	1. Δεν δημιουργήθηκαν τήγματα
		880	0,08		25,6	0,6	1. Δεν δημιουργήθηκαν τήγματα και δεν παρατηρήθηκαν σπινθηρισμοί.
		2850	0,00		25,0	0,0	2. Κατά τις επαναλαμβανόμενες αγωγίμες γεφυρώσεις προκλήθηκε ένα και μοναδικό βραχυκύκλωμα
Al 50 mm <sup>2</sup>	80	240	5,00	25	26,5	1,5	1. Δεν δημιουργήθηκαν τήγματα
		880	0,08		25,3	0,3	1. Δεν δημιουργήθηκαν τήγματα και δεν παρατηρήθηκαν σπινθηρισμοί.
		2850	0,08		25,0	0,0	2. Κατά τις επαναλαμβανόμενες αγωγίμες γεφυρώσεις προκλήθηκε ένα και μοναδικό βραχυκύκλωμα

Πίνακας 4.2.1-1: Αποτελέσματα των μετρήσεων και των οπτικών παρατηρήσεων κατά την πειραματική διερεύνηση της συνθήκης ουδετέρωσης (ή βραχυκύκλωσης).

### Υπολογισμός της Δθ

$$W_{\theta} = V \cdot c \cdot \Delta\theta = A \cdot L \cdot c \cdot \Delta\theta \quad (4.2.1-1)$$

όπου V ο όγκος, c η ειδική θερμότητα, A η διατομή του αγωγού και L το μήκος του. Για την ηλεκτρική ενέργεια W<sub>η</sub> στην αντίσταση R του αγωγού λόγω του ρεύματος βραχυκύκλωσης ενεργού τιμής I<sub>β</sub> ισχύει:

$$W_{\eta} = I_{\beta}^2 \cdot R \cdot t = I_{\beta}^2 \cdot \rho(L/A) \cdot t \quad (4.2.1-2)$$

όπου  $\rho$  η ειδική αντίσταση και  $t$  ο χρόνος βραχυκύκλωσης.  
Από τις δύο ανωτέρω σχέσεις έπεται ότι:

$$\Delta\theta = \kappa I_{\beta}^2 t / A^2 \quad (4.2.1-3)$$

όπου  $\kappa = \rho/c$ . Για τον χαλκό είναι  $\rho = 1/50 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$  και  $c = 3,44 \text{ Ws} / ^\circ\text{C cm}^3$  και επομένως είναι  $\kappa=0,0058$ . Για το αλουμίνιο ισχύει  $\kappa=0,0135$ .

Μεταξύ των μετρούμενων τιμών  $\Delta\theta$  (πίνακας 4.2.1-1) και των υπολογιζόμενων (πίνακας 4.2.1-2) παρατηρείται ικανοποιητική ταύτιση αποτελεσμάτων.

Είδος αγωγού	Ασφάλεια [A]	$I_{\beta}$ [A]	t [sec]	$\Delta\theta$ [°C]
Al, 16 mm <sup>2</sup>	63	189	5,00	9,41
		880	0,08	3,27
		2850	0,00	0,00
Al, 35 mm <sup>2</sup>	80	240	5,00	3,17
		880	0,08	0,68
		2850	0,00	0,00
Al, 50 mm <sup>2</sup>	80	240	5,00	0,60
		880	0,08	0,33
		2850	0,00	0,00

Πίνακας 4.2.1-2: Υπολογιζόμενες τιμές της αύξησης της θερμοκρασίας των αγωγών κατά το βραχυκύκλωμα.

β) Αποτελέσματα των μετρήσεων και των οπτικών παρατηρήσεων κατά την πειραματική διερεύνηση των συνεπειών ή μη περιπεπλεγμένων με τους αγωγούς κλαδιών δένδρων (στεγνών ή βρεγμένων)

Ως φορτίο ανά φάση χρησιμοποιήθηκε λαμπτήρας 60 W. Σε σειρά με τις λάμπες είχαν τοποθετηθεί αμπερόμετρα. Τα κλαδιά ήταν στεγνά και κατόπιν βράχθηκαν με νερό. Η τιμή του ρεύματος ήταν σε όλες της περιπτώσεις περίπου 260 mA (όση ήταν δηλαδή η απορροφημένη ένταση ανά φάση). Συνεπώς, δεν υπήρξε διαρροή ρεύματος (αν υπήρχε ρεύμα διαρροής θα προέκυπτε ως διαφορά των δύο ρευμάτων (τιμή ρεύματος χωρίς κλαδιά και τιμή ρεύματος με κλαδιά). Επίσης, δεν παρατηρήθηκε αύξηση της θερμοκρασίας των αγωγών και των κλαδιών, ούτε συνέβη ανάφλεξη των κλαδιών.

γ) Αποτελέσματα των μετρήσεων και των οπτικών παρατηρήσεων κατά την πειραματική διερεύνηση επαναλαμβανόμενων αγωγίμων επαφών μεταξύ αγωγού του δημοτικού φωτισμού και του υπερκείμενου του αγωγού φάσεως

Κατά τις επαναλαμβανόμενες αγώγιμες γεφυρώσεις μεταξύ αγωγού του δημοτικού φωτισμού (Al 16 mm<sup>2</sup>) και του υπερκείμενου του αγωγού φάσης (Al 50 mm<sup>2</sup>), με τον δημοτικό φωτισμό εντός λειτουργίας (φορτίο 1000 W) ή εκτός λειτουργίας (άνευ φορτίου), διαπιστώθηκαν τα εξής:

1. Παρατηρήθηκαν σπινθηρισμοί, που μπορούν να αποδοθούν στο διακοπτικό φαινόμενο λόγω της διαφοράς δυναμικού μεταξύ των δύο αγωγών.
2. Δεν αυξήθηκε η θερμοκρασία των αγωγών
3. Δεν δημιουργήθηκαν τήγματα αλουμινίου.

### **3) Συμπεράσματα**

- 1) Στις γραμμές χαμηλής τάσης του δικτύου διανομής η εκδήλωση βραχυκυκλώματος συνεπάγεται (λόγω της συνθήκης ουδετέρωσης ή βραχυκύκλωσης) την πρακτικά ακαριαία (σε κλάσμα του δευτερολέπτου) τήξη της ασφάλειας, με αποτέλεσμα να προστατεύονται οι αγωγοί από υπερθέρμανση και να μην δημιουργούνται τήγματα μετάλλων από αυτούς.
- 2) Τα ρεύματα διαρροής διαμέσου περιπεπλεγμένων κλαδιών με τους γυμνούς αγωγούς χαμηλής τάσης του δικτύου διανομής είναι ασήμαντα και δεν προκαλούν βραχυκύκλωμα ή αύξηση της θερμοκρασίας των αγωγών ή ανάφλεξη στα κλαδιά. Επίσης, δεν δημιουργούνται σπινθηρισμοί ή τήγματα.
- 3) Κατά τις επαναλαμβανόμενες αγώγιμες γεφυρώσεις μεταξύ του γυμνού αγωγού του δημοτικού φωτισμού και του υπερκείμενου του γυμνού αγωγού φάσης (με το δημοτικό φωτισμό εντός η εκτός λειτουργίας) μπορεί να εκδηλωθούν σπινθηρισμοί άνευ υλικής υφής (δεν αυξάνει η θερμοκρασία των αγωγών και δεν δημιουργούνται τήγματα αλουμινίου από αυτούς)
- 4) Από τα πειραματικά αποτελέσματα προέκυψε ότι στις γραμμές χαμηλής τάσης του δικτύου διανομής δεν μπορούν να συμβούν αλληπάλληλα βραχυκυκλώματα γιατί με το πρώτο βραχυκύκλωμα τήκεται σχεδόν ακαριαίως η ασφάλεια. Αλληπάλληλα βραχυκυκλώματα στο δίκτυο διανομής χωρίς άμεση οριστική διακοπή του ηλεκτρικού ρεύματος μπορεί να υπάρξουν μόνο σε μεγάλες γραμμές (κορμούς) μέσης τάσης (15000 V - 20000 V), που αφορούν την ηλεκτροδότηση μίας ευρύτερης περιοχής, και τούτο διότι γίνεται αυτομάτως προσπάθεια επί τρεις φορές (σε κλάσμα δευτερολέπτου κάθε φορά), από διακόπτες αυτομάτου επαναφοράς (ΔΑΕ) ή από ελαιοδιακόπτες, για να διακοπεί το βραχυκύκλωμα και να ηλεκτροδοτηθεί αμέσως η γραμμή, ώστε, όταν δεν πρόκειται για μόνιμο αλλά παροδικό βραχυκύκλωμα (λ.χ. πτώση ενός κλαδιού δένδρου στους



αγωγούς), να αποφευχθεί η οριστική διακοπή ρεύματος και η χρονοβόρα κατ' ανάγκη επέμβαση συνεργείου.

## Βιβλιογραφία

- [1] Το υπ' αριθ, 1245/2007/ΕΑΘ Πιστοποιητικό Δοκιμών του Κέντρου Δοκιμών της ΔΕΗ (ΚΔΕΠ) με θέμα: Διερεύνηση της συμπεριφοράς αγωγίμης γεφύρωσης δύο αγωγών  $50 \text{ mm}^2$  από αλουμίνιο, για ρεύμα βραχυκύκλωσης 880 Α, όταν ισχύει η συνθήκη βραχυκύκλωσης.
- [2] Το υπ' αριθ, 1244/2007/ΕΑΘ Πιστοποιητικό Δοκιμών του Κέντρου Δοκιμών της ΔΕΗ (ΚΔΕΠ) με θέμα: Διερεύνηση της συμπεριφοράς αγωγίμης γεφύρωσης δύο αγωγών  $50 \text{ mm}^2$  από αλουμίνιο, για ρεύμα βραχυκύκλωσης 2850Α, όταν ισχύει η συνθήκη βραχυκύκλωσης
- [3] Το υπ' αριθ, 1244/2007/ΕΑΘ Πιστοποιητικό Δοκιμών του Κέντρου Δοκιμών της ΔΕΗ (ΚΔΕΠ) με θέμα: Διερεύνηση της συμπεριφοράς αγωγίμης γεφύρωσης δύο αγωγών  $50 \text{ mm}^2$  από αλουμίνιο, για ρεύμα βραχυκύκλωσης 240 Α, όταν ισχύει η συνθήκη βραχυκύκλωσης
- [4] Το υπ' αριθ, 1244/2007/ΕΑΘ Πιστοποιητικό Δοκιμών του Κέντρου Δοκιμών της ΔΕΗ (ΚΔΕΠ) με θέμα: Διερεύνηση της συμπεριφοράς αγωγίμης γεφύρωσης δύο αγωγών  $35 \text{ mm}^2$  από αλουμίνιο, για ρεύμα βραχυκύκλωσης 240 Α, όταν ισχύει η συνθήκη βραχυκύκλωσης
- [5] Το υπ' αριθ. 123/3-7-1999 Πιστοποιητικό Δοκιμών του Κέντρο Δοκιμών της ΔΕΗ (ΚΔΕΠ) με θέμα: Διαλείποντα βραχυκυκλώματα
- [6] Μπούρκας Π.Δ., Καραγιαννόπουλος Κ.Γ., Βιομηχανικές ηλεκτρικές διατάξεις και υλικά, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 2003.
- [7] P.D. Bourkas, C.G. Karagiannopoulos, P.T. Tsarabaris, Experimental Investigation of Short Circuit Condition in Low Voltage Distribution Networks, Proceedings of the Eighth International Conference POWER AND ENERGY SYSTEMS (EuroPES 2008) June 23-25, 2008 Corfu, Greece, p.p. 297-302.
- [8] Ψαρρός Ε. Γ., Υπαίθριες γραμμές διανομής χαμηλής τάσης σε περιβάλλον πυρκαγιών, Διδακτορική Διατριβή, ΕΜΠ, Αθήνα 2009

### 4.3. Η υποθετική δημιουργία τηγμάτων αλουμινίου από τους αγωγούς διανομής και η θερμοκρασία τους κατά την πρόσκρουση στο έδαφος

Όπως αναφέρθηκε, κατά το χρονικό διάστημα που διαρκεί το βραχυκύκλωμα δεν αναπτύσσονται θερμοκρασίες, που να δικαιολογούν τη δημιουργία τηγμάτων από τους αγωγούς. Επισημαίνεται, ότι η δημιουργία τηγμάτων από τους αγωγούς δεν έχει καμία σχέση με την εκδήλωση σπινθηρισμών γιατί τα τήγματα σχετίζονται με υπερθέρμανση των αγωγών (όταν δεν επενεργήσει η προτεταγμένη της θέσης βραχυκύκλωσης προστασία, που όμως είναι σχεδόν απίθανο να συμβεί αυτό), ενώ οι σπινθηρισμοί με τη μείωση της διηλεκτρική αντοχή της μόνωσης, λόγω π.χ. σκόνης επί των μονωτήρων 20 kV. Αν θεωρηθεί ότι δημιουργήθηκαν τήγματα από έναν γυμνό αγωγό αλουμινίου (π.χ. μίας γραμμής μέσης ή χαμηλής τάσης, τότε για τη θερμοδυναμική κατάσταση ενός τήγματος ισχύει η σχέση:

$$m \cdot c \cdot (d\Delta\theta/dt) + K \cdot A \cdot \Delta\theta = 0 \quad (4.3-1)$$

όπου m η μάζα του τήγματος,  $\Delta\theta$  η διαφορά θερμοκρασίας,  $c = 0,22 \text{ kcal}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ , A η επιφάνεια του τήγματος, K ένας συντελεστής που αφορά την απαγωγή θερμότητας και t ο χρόνος.

Από την παραπάνω σχέση προκύπτει:

$$\int_{\Delta\theta_1}^{\Delta\theta_2} d\Delta\theta/\Delta\theta = - \int_0^t (KA/mc) dt$$

Για θερμοκρασία περιβάλλοντος π.χ.  $\theta_a = 40 \text{ }^\circ\text{C}$  (καύσωνας) και θερμοκρασία τήξης του αλουμινίου  $660 \text{ }^\circ\text{C}$  είναι:

$$\Delta\theta_1 = 660 - 40 = 620 \text{ }^\circ\text{C}$$

και:

$$\ln \Delta\theta_2 = \ln 620 - (t K A)/mc$$

ή:

$$\Delta\theta_2 = \exp\{6,43 - (t K A)/mc\}$$

Με D τη διάμετρο του τήγματος και γ το ειδικό βάρος είναι:

$$\Delta\theta_2 = \exp\{6,43 - (6 t.K)/(D.\gamma.c)\} \quad (4.3-2)$$

Για τον συντελεστή K ισχύει κατά Holm [1] η σχέση:

$$K = 7 + 400 v \quad W/(m^2 \text{ } ^\circ C) \quad (4.3-3)$$

όπου v η ταχύτητα του τήγματος σε m/sec και t ο χρόνος πτήσης κατά την θεωρία της ελεύθερης βολής:

$$t = (2H/g)^{0,5} \quad (4.3-4)$$

όπου H το ύψος πτώσης (π.χ. H=9 m) και g=9,81 m/sec<sup>2</sup>.

Με D = 0,005 m (που είναι συνήθως η διάμετρος των τηγμάτων), γ = 2700 kg/m<sup>3</sup> και ανέμους π.χ. 6 μποφόρ (v=13,8 m/s), από τις σχέσεις 2 και 3 υπολογίζονται αντίστοιχα οι τιμές K και Δθ<sub>2</sub>:

$$K = 7 + 400 \cdot 13,6 = 5447 \quad W/(m^2 \text{ } ^\circ C) = 5447 \cdot 0,000239 = 1,30 \quad kcal/(m^2 \text{ } ^\circ C \text{ } s)$$

και

$$\Delta\theta_2 = \exp\{6,43 - (6 \cdot 1,354 \cdot 1,30)/(5 \cdot 2,7 \cdot 0,22)\} = 18 \text{ } ^\circ C$$

Επομένως, υπό συνθήκες υψηλού καύσωνα (θ<sub>α</sub>=40 °C) η θερμοκρασία θ<sub>2</sub> είναι περίπου:

$$\theta_2 = \theta_a + \Delta\theta_2 = 40 + 18 = 58 \text{ } ^\circ C$$

Συνεπώς, η θερμοκρασία των υποθετικών τηγμάτων κατά την πρόσκρουσή τους στο έδαφος θα ήταν 58 °C περίπου, θερμοκρασία καλώς ανεκτή σε επαφή με το χέρι, που δεν είναι δυνατό να προκαλέσει ανάφλεξη σε ξερά χόρτα, κλαδιά κ.λ.π. τα οποία αναφλέγονται σε κατά πολύ υψηλότερες θερμοκρασίες. Στα ίδια συμπεράσματα καταλήγει κανείς και μέσω της θεωρίας της ρευστομηχανικής, στην οποία λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς, τόσο η οριακή ταχύτητα των σφαιριδίων αλουμινίου κατά την πτώση τους, όσο και η οριζόντια μετατόπισή τους λόγω του πνέοντος ανέμου [2,3].

Σημειώνεται ότι, σε περιπτώσεις πυρκαγιών στο περιβάλλον γραμμών ηλεκτρικής ενέργειας είναι συνήθως απαραίτητο να υπολογιστεί τόσο το ύψος της φλόγας (από δέντρα και θάμνους πλησίον της γραμμής), όσο και η θερμοκρασία υποθετικών τηγμάτων κατά την πρόσκρουσή τους στο έδαφος. Στη βιβλιογραφία υπάρχουν προγράμματα που διευκολύνουν [3].

## **Βιβλιογραφία**

- [1] Holm R, Electric Contacts Theory and Applications, Springer Verlag 4<sup>th</sup> Edition, Berlin 1979.
- [2] Μπούρκας Π.Δ., Καραγιαννόπουλος Κ.Γ., Βιομηχανικές ηλεκτρικές διατάξεις και υλικά, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 2003.
- [3] Ψαρρός Ε. Γ., Υπαίθριες γραμμές διανομής χαμηλής τάσης σε περιβάλλον πυρκαγιών, Διδακτορική Διατριβή, ΕΜΠ, Αθήνα 2009

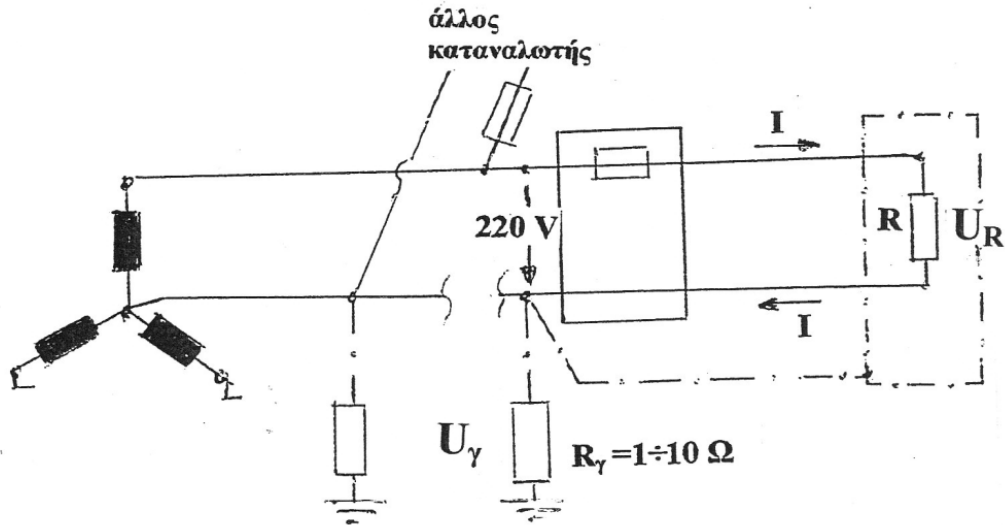
## **5. Η δυνατότητα εκδήλωσης πυρκαγιάς λόγω αποκοπής αγωγού του δικτύου**

### **5.1. Αποκοπή του ουδετέρου σε γραμμή διανομής χαμηλής τάσης**

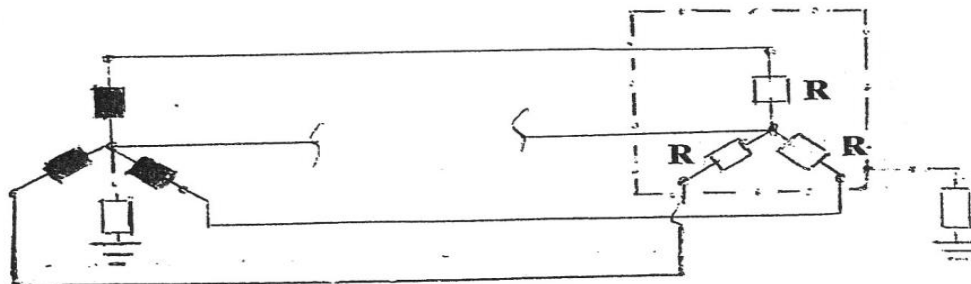
Σύμφωνα με το ΦΕΚ 470/β/5-3-2004 (που επικυρώνει το πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384/2002) ο καταναλωτής πρέπει να προστατεύει την ηλεκτρική εγκατάστασή του με δικά του μέσα. Στα απαιτούμενα μέσα περιλαμβάνονται οπωσδήποτε: τα σωστά μεγέθη ασφαλειών ανά γραμμή, ο διακόπτης διαφυγής έντασης (ΔΔΕ), οι ισοδυναμικές συνδέσεις, η πολύ μικρή αντίσταση γείωσης, η αντικεραυνική προστασία και η προστασία από διακυμάνσεις της τάσης και την αποκοπή αγωγού. Επειδή ο καταναλωτής δεν μπορεί να έχει τις εξειδικευμένες γνώσεις για να προβλέψει τα ανωτέρω στην εγκατάστασή του, είναι αποκλειστική ευθύνη του εγκαταστάτη ηλεκτρολόγου, ο οποίος υποβάλλει στη ΔΕΔΔΗΕ την κατά το νόμο απαιτούμενη «ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ» να έχει εγκαταστήσει ότι απαιτείται για την προστασία της ηλεκτρικής εγκατάστασης. Θα πρέπει να σημειωθεί, ότι η διαδικασία αυτή μέσω της προαναφερθείσης υπευθύνου δηλώσεως, κάθε άλλο παρά τυπική πρέπει να θεωρείται, γιατί δεν προβλέπεται άλλη διαδικασία εξασφάλισης του καταναλωτή (κάποτε γινόταν έλεγχος από την ΔΕΗ, ο οποίος όμως έχει καταργηθεί εδώ και αρκετά χρόνια).

Ακολούθως εξετάζονται οι συνέπειες από την αποκοπή του ουδετέρου του δικτύου, όπου υπάρχουν δύο περιπτώσεις: α) Αποκοπή του ουδετέρου όταν

γειώνεται προ του μετρητή (σχήμα 5.1-1) και β) Αποκοπή του ουδέτερου όταν γειώνεται στον μετασχηματιστή (σχήμα 5.1-2)



Σχήμα 5.1-1: Αποκοπή του ουδέτερου του δικτύου όταν ο ουδέτερος γειώνεται προ του μετρητή



Σχήμα 5.1-2: Αποκοπή του ουδέτερου του δικτύου όταν ο ουδέτερος γειώνεται στον μετασχηματιστή

Στην περίπτωση του σχήματος 5.1-1 συμβαίνει καταμερισμός της τάσης μεταξύ της αντίστασης του φορτίου  $R$  και της αντίστασης γείωσης  $R_\gamma$  και τα μεταλλικά μέρη των ηλεκτρικών συσκευών είναι υπό επικίνδυνη τάση ( $I = 230 / (R + R_\gamma)$ , οπότε είναι  $U_R = I R$  και  $U_\gamma = I R_\gamma$ )

Στην περίπτωση του σχήματος 5.1-2 συνδέονται σε σειρά φορτία υπό φασική τάση με επικίνδυνες συνέπειες λόγω υπερθερμάνσεων.

## **5.2 Πιθανές συνέπειες για τον άνθρωπο και το περιβάλλον από την αποκοπή αγωγού του δικτύου διανομής χαμηλής τάσης**

Το μέγιστο μήκος μίας γραμμής διανομής χαμηλής τάσης (400 V) καθορίζεται από την ισχύ του μετασχηματιστή διανομής, το είδος και τη διατομή των αγωγών καθώς και το ονομαστικό ρεύμα της ασφάλειας (βλ. παρ. 4.2). Όμως, όπως προκύπτει από την παρ. 5.1 η αποκοπή του ουδετέρου στο δίκτυο μπορεί να προκαλέσει θανατηφόρο ηλεκτροπληξία σε άνθρωπο, που θα ακουμπήσει το τμήμα του κομμένου αγωγού που εξακολουθεί να είναι υπό τάση (αυτό μπορεί π.χ. να συμβεί αν δεν καεί η ασφάλεια στο ασφαλειοκιβώτιο του υποσταθμού, λόγω πτώσης του αγωγού σε βραχόδες έδαφος ή και να είναι αιτία πυρκαγιάς). Επίσης, προβλήματα μπορούν να παρουσιαστούν γενικότερα από την αποκοπή οποιουδήποτε αγωγού του δικτύου διανομής χαμηλής τάσης. Επομένως, χρειάζεται να προβλέπονται διατάξεις, ώστε να αποκλείονται οι προαναφερθείσες δυσμενείς επιπτώσεις για τον άνθρωπο και το περιβάλλον.

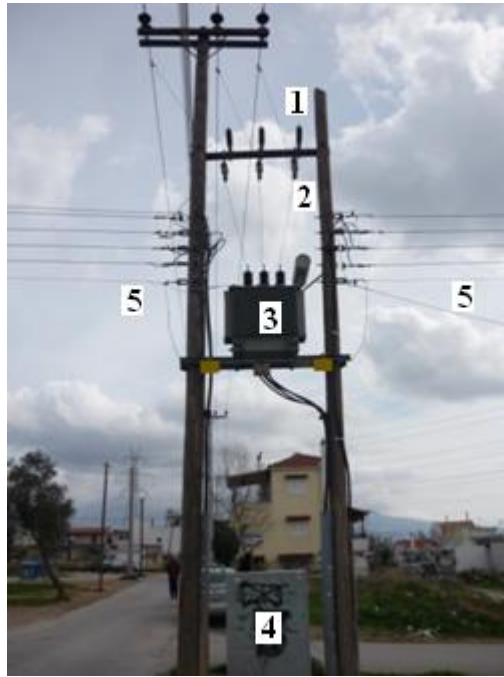
Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία [1, 2] μία μέθοδος προστασίας θα μπορούσε να είναι η ενεργοποίηση κατά την αποκοπή αγωγού ενός εγκατεστημένου στον τελευταίο στύλο κάθε γραμμής συστήματος GSM, που θα θέτει εκτός λειτουργίας έναν αυτόματο γενικό διακόπτη παροχής τάσης προς τον πίνακα χαμηλής τάσης του υποσταθμού. Η εν λόγω μέθοδος προστασίας επεξηγείται ακολούθως περιληπτικά.

### **1) Η διάταξη ενός υπαίθριου υποσταθμού και η συνθήκη ουδετέρωσης**

Τα εναέρια δίκτυα διανομής χαμηλής τάσης (400 V, 230 V) του συστήματος διανομής ηλεκτρικής ενέργειας ηλεκτροδοτούνται κυρίως από υπαίθριους υποσταθμούς μέσης προς χαμηλή τάση (στην Ελλάδα 20 kV/400 V ή 15 kV/400 V) μέσω πινάκων (ασφαλειοκιβωτίων) χαμηλής τάσης (σχήμα 5.2-1). Σύμφωνα με το παράδειγμα του εν λόγω σχήματος, η προστασία των γραμμών διανομής χαμηλής τάσης (5) επιτυγχάνεται μέσω κατάλληλων ασφαλειών, που είναι εγκατεστημένες στον πίνακα χαμηλής τάσης (4). Οι μονοπολικοί ασφαλειοαποζεύκτες (2) στη μέση τάση αποτελούν την προστασία του μετασχηματιστή (3) για σφάλματα προερχόμενα από τη μέση τάση και η προστασία του υποσταθμού από κεραυνούς επιτυγχάνεται με τα καθοδικά αλεξικέραυνα (1).

Όπως έχει προαναφερθεί, όταν ικανοποιούνται οι απαιτήσεις για το μέγεθος του μετασχηματιστή, το μέγεθος της ασφάλειας και το μήκος της γραμμής κατά τους πίνακες της παρ. 4.2 τότε ισχύει η συνθήκη

βραχυκύκλωσης, σύμφωνα με την οποία κατά το βραχυκύκλωμα μεταξύ των αγωγών στον αέρα (ή στο έδαφος) συμβαίνει ακαριαία (σε κλάσμα του δευτερολέπτου) τήξη της ασφάλειας, με αποτέλεσμα να θερμαίνονται οι αγωγοί μόνο μερικούς βαθμούς Κελσίου και συνεπώς να μη δημιουργούνται τήγματα μετάλλου από αυτούς. Αυτό αιτιολογείται από το γεγονός, ότι σε όλες τις περιπτώσεις η συνολική



Σχήμα 5.2-1: Παράδειγμα υπαίθριου υποσταθμού μέσης προς χαμηλή τάση (20 kV/400 V).

1. Καθοδικά αλεξικέραυνα,
2. Μονοπολικοί ασφαλειοαποζεύκτες,
3. Μετασχηματιστής 20 kV/400 V,
4. Πίνακας χαμηλής τάσης (ασφαλειοκιβώτιο)
5. Γραμμές διανομής χαμηλής τάσης

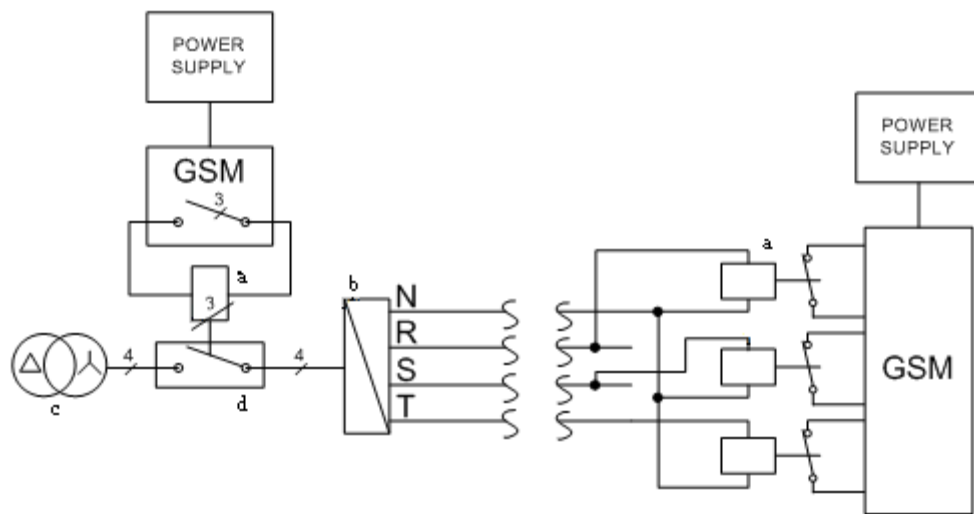
αντίσταση της διαδρομής βραχυκύκλωσης είναι πάντοτε το πολύ  $1 \Omega$  με αποτέλεσμα το ρεύμα βραχυκύκλωσης να έχει στην πράξη πολύ μεγαλύτερη τιμή από το τριπλάσιο ονομαστικό ρεύμα της ασφάλειας ( $I_N$ ), που προκαλεί λόγω αυτού τήξη της ασφάλειας σε χρόνο μικρότερο του 1 sec. Η χειρότερη περίπτωση είναι όταν το ρεύμα είναι ίσο προς  $3I_N$  και η ασφάλεια τήκεται σε 5 δευτερόλεπτα.

Παρά την προαναφερθείσα αποτελεσματική προστασία των στοιχείων του δικτύου κατά το βραχυκύκλωμα μεταξύ των αγωγών στον αέρα (ή στο έδαφος), έχουν συμβεί θανατηφόρες ηλεκτροπληξίες και πυρκαγιές κατά την αποκοπή αγωγών και πτώση τους στο έδαφος, που οφείλεται κυρίως σε αποκοπή κλώνων τους από σκάγια κυνηγητικών όπλων ή σε πτώση ενός δένδρου στη γραμμή.

## **2) Μία μέθοδος προστασίας για του ανθρώπου και του περιβάλλοντος κατά την αποκοπή αγωγού του δικτύου διανομής χαμηλής τάσης [1]**

Όταν πρόκειται για γραμμή διανομής χαμηλής τάσης, η προστασία βασίζεται σε ένα ηλεκτρονόμο 230 V ανά φάση, που διαθέτει μία κλειστή επαφή (σχήμα 5.2-2). Όπως φαίνεται στο σχήμα οι ηλεκτρονόμοι συνδέονται σε διαφορετική φάση ο καθένας και στον ουδέτερο. Οι συνδέσεις αυτές πρέπει να γίνουν στον τελευταίο στύλο της γραμμής. Έτσι, σε περίπτωση αποκοπής ενός αγωγού (σε οποιοδήποτε σημείο του) ο αντίστοιχος ηλεκτρονόμος δεν θα έχει τάση και γι' αυτό θα κλείσει η επαφή του, με αποτέλεσμα την ενεργοποίηση ενός συστήματος GSM, που θέτει εκτός λειτουργίας έναν αυτόματο γενικό διακόπτη παροχής τάσης προς τον πίνακα χαμηλής τάσης και ειδοποιεί τους τεχνικούς υπηρεσίας μέσω άμεσης κλήσης στο κέντρο ελέγχου. Η τοποθεσία του σφάλματος μπορεί να καθοριστεί μέσω του αριθμού της κάρτας SIM που αντιστοιχίζεται σε κάθε σύστημα. Το σύστημα GSM τροφοδοτείται από μπαταρία επαναφορτιζόμενη από το δίκτυο. Συνεπώς, απαιτείται περιοδική συντήρηση και αντικατάσταση της μπαταρίας. Ο προαναφερθείς διακόπτης μπορεί να εγκατασταθεί σε μεταλλικό κιβώτιο συναρμολογημένο πάνω στην οροφή του πίνακα ή στον στύλο. Σημειώνεται ότι συστήματα GSM είναι διαθέσιμα στο εμπόριο, τα οποία βρίσκουν ήδη εφαρμογές σε άλλες ηλεκτρικές εγκαταστάσεις. Εννοείται ότι το σύστημα GSM, που θα χρησιμοποιηθεί, πρέπει να παρέχει δυνατότητα απενεργοποίησής του σε εργασίες συντήρησης, σε αποκαταστάσεις βλαβών και εργασίες σύνδεσης νέων παροχών.





Σχήμα 5.2-2: Ενεργοποίηση συστήματος GSM σε περίπτωση αποκοπής αγωγού  
 a: Ηλεκτρονόμος,  
 b: Πίνακας διανομής χαμηλής τάσης,  
 c: Μετασχηματιστής 20 kV/400 V,  
 d: Αυτόματος διακόπτης

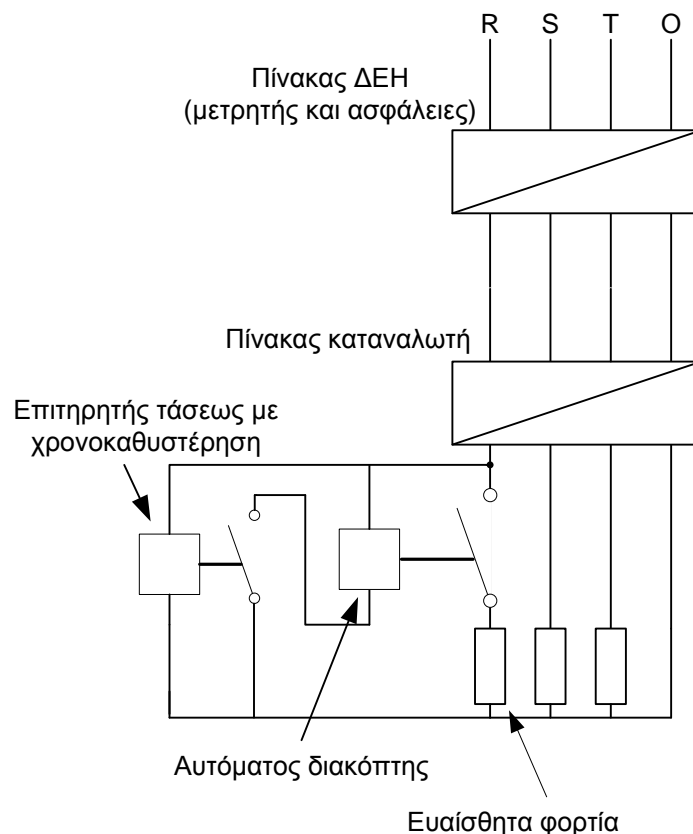
Η παραπάνω μέθοδος φαίνεται ότι μπορεί να έχει εφαρμογή και σε γραμμές διανομής μέσης τάσης (αλλά και σε γραμμές μεταφοράς), μέσω υποβιβασμού της τάσης σε χαμηλή τάση στον τελευταίο στύλο (ή πηλώνα σε περίπτωση γραμμής μεταφοράς), που είναι απαραίτητη για την ενεργοποίηση του συστήματος. Επίσης, η μέθοδος θα μπορούσε να εφαρμοστεί και σε γραμμές μεταφοράς με υποβιβασμό της υψηλής τάσης σε χαμηλή τάση στον τελευταίο πυλώνα κάθε γραμμής.

## Βιβλιογραφία

- [1] Halevidis C.D., Anagnostatos S.D., Polykrati A.D., Koufakis E.I., Bourkas P.D., Proposal of a protection method against probable consequences to humans and the environment from short-circuit or abruption, IET, Generation, Transmission & Distribution, IET, 4 (2010) 793-800.
- [2] Χαλεβίδης Κ.Δ., Κουφάκης Ε.Ι., Μπούρκας Π.Δ., Συστήματα προστασίας έναντι διακυμάνσεων της τάσεως και αποκοπής αγωγού (φάσεως ή ουδετέρου) σε γραμμές χαμηλής τάσης, Ελληνική Επιτροπή Cigre, Σύνοδος "Αθήνα 2011", 15 & 16 Δεκεμβρίου 2011, σελ. 1-12

### 5.3 Μέσα προστασίας στην εγκατάσταση του καταναλωτή από την αποκοπή του αγωγού του ουδετέρου ή αποκοπή αγωγού (ή αγωγών) φάσεως στη γραμμή διανομής χαμηλής τάσης

Τα αναφερόμενα στην παρ. 5.2 αφορούν την προστασία που μπορεί να γίνει σε περίπτωση αποκοπής αγωγού του δικτύου. Η προστασία όμως στην εγκατάσταση του καταναλωτή από αποκοπή του αγωγού του ουδετέρου ή αποκοπή αγωγού (ή αγωγών) φάσεως στη γραμμή διανομής χαμηλής τάσης, μπορεί και πρέπει να γίνεται και με δικά του μέσα, όπως εξ άλλου προβλέπεται από τον Νόμο (βλ. ΦΕΚ 470/β/5-3-2004 (που επικυρώνει το πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384/2002)). Ακολουθώς εξετάζεται το θέμα αυτό..



Σχήμα 5.3-1: Κύκλωμα ηλεκτρονόμου επιτήρησης τάσης με χρονοκαθυστέρηση για προστασία των ευαίσθητων μηχανημάτων του καταναλωτή από την αποκοπή του αγωγού του ουδετέρου της γραμμής της ΔΕΗ ή από την αποκοπή αγωγού (ή αγωγών) φάσεως

Στο σχήμα 5.3-1 δίνεται ένα κύκλωμα που προστατεύει τα ευαίσθητα φορτία του

καταναλωτή (όπως κλιματιστικά, ηλεκτρονικές συσκευές κτλ.) τόσο από την αποκοπή του ουδέτερου της γραμμής της ΔΕΗ, όσο και από την αποκοπή αγωγού (ή αγωγών) φάσεως. Αυτό επιτυγχάνεται πάλι με έναν ηλεκτρονόμο επιτήρησης τάσης, ο οποίος διαθέτει χρονική καθυστέρηση. Ο εν λόγω εξοπλισμός πρέπει να εγκαθίσταται (ή να συνδέεται) στον πίνακα του καταναλωτή μετά την ασφάλεια της γραμμής προς τον ευαίσθητο εξοπλισμό

Είναι φανερό ότι με τον ηλεκτρονόμο επιτήρησης τάσης επιτυγχάνεται και προστασία του ηλεκτροτεχνικού εξοπλισμού του καταναλωτή και από διακυμάνσεις της τάσης. Επίσης, η προστασία των επιμέρους συσκευών του καταναλωτή από διακυμάνσεις της τάσης μπορεί να γίνει τοπικά μέσω σταθεροποιητών, όπου απαιτείται.

Στο σχήμα 5.3-2 φαίνεται μία πειραματική διάταξη προστασίας μέσω επιτηρητή τάσης (που έχει γίνει στο Ε.Μ. Πολυτεχνείο στα πλαίσια των παραδόσεων του μαθήματος των κτιριακών και βιομηχανικών ηλεκτρικών εγκαταστάσεων), η οποία ανταποκρίνεται στην προστασία της εγκατάστασης του καταναλωτή από αποκοπή αγωγού και από διακυμάνσεις τάσης[1].



Σχήμα 5.3-2: Πειραματική διάταξη προστασίας μέσω επιτηρητή τάσης

## **Βιβλιογραφία**

- [1] Χαλεβίδης Κ.Δ., Κουφάκης Ε.Ι., Μπούρκας Π.Δ., Συστήματα προστασίας έναντι διακυμάνσεων της τάσεως και αποκοπής αγωγού (φάσεως ή ουδετέρου) σε γραμμές χαμηλής τάσης, Ελληνική Επιτροπή Cigre, Σύνοδος "Αθήνα 2011", 15 & 16 Δεκεμβρίου 2011, σελ. 1-12

### **6. Βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετικά με την εικόνα που παρουσιάζει ένας ρευματοφόρος αγωγός λόγω τήξης του από ηλεκτρικό τόξο ως προς την εικόνα του λόγω τήξης από την φωτιά.**

Ο Ερευνητής V. Babrauskas μελέτησε ένα μεγάλο αριθμό επιστημονικών εργασιών [2 έως 45], που αφορούν μεθόδους γνωμάτευσης για το αν η εικόνα που παρουσιάζει ένας ρευματοφόρος αγωγός στη θέση τήξης του οφείλεται σε ηλεκτρικό τόξο ή σε εκδήλωση πυρκαγιάς. Τα αποτελέσματα της πολυσέλιδης αυτής έρευνας [1], που μεταφράστηκαν ελεύθερα στα πλαίσια μίας Διπλωματικής Εργασίας στο Ε.Μ. Πολυτεχνείο, είναι περιληπτικά το παρακάτω [46]:

*«Μία μεγάλη ποικιλία φυσικών ή χημικών μεθόδων εξέτασης έχει προταθεί για τη διαφοροποίηση μεταξύ ενός τήγματος οφειλόμενου σε ηλεκτρικό τόξο που προκάλεσε μία φωτιά έναντι ενός που προκλήθηκε από φωτιά. Όλες οι μέθοδοι θεωρούν ανεπιφύλακτα ότι υπάρχει κάποια κατηγορηματική διαφορά ανάμεσα στα 2 αυτά είδη τήγματος. Μία εξάπλωση της φωτιάς στο χώρο οδηγεί στο συμπέρασμα ότι δεν μπορούμε να ισχυριστούμε κατηγορηματικά ότι είναι διαφορετικές οι θερμικές ή χημικές διεργασίες σε αυτές τις 2 περιπτώσεις. Επιπλέον, οι περισσότερες προτεινόμενες μέθοδοι μελέτης του θέματος βασίζονται σε υποκειμενικά ποιοτικά κριτήρια για τη διάκριση των τηγμάτων που προκάλεσαν ή όχι μία φωτιά. Σημειώνεται ότι οι μελέτες αυτές έχουν βασιστεί σε μικρό αριθμό δειγμάτων και ότι καμία από τις μεθόδους που εφαρμόστηκαν δεν έχει αναπαραχθεί επιτυχώς σε εργαστήρια πέραν αυτών των υποστηρικτών τους, ενώ αρκετές έχει αποδειχθεί ρητά ότι δεν είναι δυνατόν να αναπαραχθούν. Κατά συνέπεια, παρά τη βοήθεια στη διερεύνηση μίας φωτιάς που πιθανόν να δινόταν, πρέπει να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι καμία από τις προτεινόμενες μεθόδους δεν είναι ελπιδοφόρα».*

**Συνεπώς, δεν μπορεί να γίνει διάκριση αν η εικόνα τήξης ενός αγωγού οφείλεται σε εκδήλωση ηλεκτρικού τόξου ή αν προκλήθηκε από πυρκαγιά.**

## Βιβλιογραφία

- [1] Babrauskas, V., 'Fires due to Electric Arcing: Can "Cause" Beads Be Distinguished from "Victim" Beads by Physical or Chemical Testing' pp. 189-201, Fire and Materials, Interscience Communications Ltd., London, 2003
- [2] Shaw, C. E., 'Fire Marshals on Duty', NFPA J. 59, 1965, pp. 26-27, pp. 96-97
- [3] Takaki, A., 'On the effect of Thermal Histories upon the Metallographic Structure of Electric Wires', Reports of the National Research Institute of Police Science-Research on Forensic Science 24:2, 1971, pp. 48-56
- [4] Levinson, D. W., 'Copper Metallurgy as a Diagnostic Tool for Analysis of the Origin of Building Fires', Fire Technology 13, 1977, pp. 211-222
- [5] Ettling, B. V., 'Electrical Wiring in Building Fires', Fire Technology 14, 1978, pp. 317-325
- [6] 'Did the Short Cause the Fire or Did the Fire Cause the Short?' Fire & Arson Investigator 30:1, 1979, pp. 57-58
- [7] MacCleary, R. C., and Thaman, R. N., 'Method for Use in Fire Investigation', US Patent 4,182,959, 1980
- [8] Oba, K., 'Identification of Melting Marks of Electric Wires (unpublished report)', Yamagata Prefecture Police Headquarters, Criminal Scientific Laboratory, Japan, 1980
- [9] Gray, D. A., Drysdale, D. D., and Lewis, F. A. S., 'Identification of Electrical Sources of Ignition in Fires', Fire Safety J. 6, 1983, pp. 147-150
- [10] Erlandsson, R., and Strand, G., 'An Investigation of Physical Characteristics Indicating Primary or Secondary Electrical Damage', Fire Safety J. 8, 1984/85, pp. 97-103
- [11] Singh, R. P. 'Scanning Electron Microscopy of Burnt Electric Wires', Scanning Microscopy 1:4, 1987, pp. 1539-1544
- [12] Robertsson, A., Karlsson, S. E., Strand, G., and Nilsson, G., 'Smaltskador pa elektriska ledare [Melt Damages on Electric Wires] (Rapport 20)', Centrum for Forensisk Vetenskap, Linkoping, Sweden, 1988
- [13] Anderson, R. N., 'Surface Analysis of Electrical Arc Residues in Fire', Investigation, J. Forensic Sciences 34, 1989, pp. 633-637
- [14] Ishibashi, Y., and Kishida, J., 'Research on First and Second Fused Mark Discrimination of Electric Wires' Annual Mtg. Japan Assn. for Fire Science and Engrg., 1990, pp. 83-90
- [15] Massalski, T. B., ed., 'Binary Alloy Phase Diagrams', 2nd ed., ASM International, Materials Park OH, 1990

- [16] Anderson, R. N., 'Scientific Examination of Electrical Arc Residues to Determinate Fire Cause', *Fire and Arson Investigator* 42:3, 1992, pp. 58-59
- [17] Masui, M., 'Possibility of Carbon Inclusion in the Molten Mark of Polyvinyl Chloride Insulated Cords due to a Fire', *Trans. IEE Japan* 112A:1, 1992, pp. 78-79
- [18] Anderson, R. N., Brosz, H. G., Posey, E., and Schefelbein, B., 'Recent Advances in Auger Analysis of Electrical Arc Residues', in 13th Meeting, Intl. Assn. of Forensic Sciences, 1993, pp. 162-166
- [19] Anderson, R. N., 'Letter to the Editor', *Fire and Arson Investigator* 45:2, 44-45, 1994
- [20] Beland, B., 'Examination of Arc Beads', *Fire and Arson Investigator* 44:4, 1994, pp. 20-22
- [21] Metson, J. B., and Hobbis, C. M., 'The Use of Auger Electron Spectroscopy in Fire Investigations', *Chemistry in New Zealand* 1994, pp. 7-9
- [22] Mitsuhashi, N., 'Discrimination between Primary and Secondary Arc Marks on Electric Wires by Microvoid Distribution', *Reports of the National Research Institute of Police Science* 48:1, 1995, pp. 20-26
- [23] Anderson, R. N., 'Which Came First...The Arcing or the Fire? Review of Auger Analysis of Electrical Arc Residues', *Fire and Arson Investigator* 46:3, 1996, pp. 38-40
- [24] Satoh, K., Sugisaki, M., Kakizaki, S., Itoh, C., Saitoh, K., and Iwaki, M., 'Secondary Ion Mass Spectroscopy (SIMS) and Auger Electron Spectroscopy (AES) Applied to the Fire Investigation for Short Circuit', in *Proc. 1996 Annual Mtg. of Japan Assn. for Fire Science and Engrg.*, 1996, pp. 282-285
- [25] Beland, B., 'Further Comments on Arc Bead Examination', *The Fire Place [Washington State IAAI Chapter newsletter]*, 1997, pp. 24-28
- [26] Ettl, B. V., 'Problems with Surface Analysis of Copper Beads Applied to the Time of Arcing', *The Fire Place [Washington State IAAI Chapter newsletter]*, 1997, pp. 21-24
- [27] Howitt, D. G., 'The Surface Analysis of Copper Arc Beads-A Critical Review', *J Forensic Science* 42, 1997, pp. 608-609
- [28] Henderson, R., Manning, C., and Barnhill, S., 'Questions Concerning the Use of Carbon Content to Identify "Cause" vs. "Result" Beads in Fire Investigations', *Fire and Arson Investigator* 48:3, 1998, pp. 26-27
- [29] Hirt, D., 'Letter to the Editor: At Best "Junk Science" and at Worst Deliberately Misleading', *Fire and Arson Investigator* 48: 4, 5, 63, 1998

- [30] Howitt, D. G., 'The Chemical Composition of Copper Arc Beads-A Red Herring for the Fire Investigator', *Fire and Arson Investigator* 48:3, 1998, pp. 34-39
- [31] Reese, N. D., 'Letter to the Editor: Arc Beads, *Fire and Arson Investigator*' 48:4, 1998, pp. 63-64
- [32] Satoh, K., Fukusima, H., Sigeru, S., and Iwaki, M., 'Verification SIMS Applied to the Fire Investigation for Short Circuit', in *Proc.1998 Annual Mtg. of Japan Assn. for Fire Science and Engrg.*, 1998, pp. 336-336
- [33] Lee, E.-P., et al., 'Discrimination between Primary and Secondary on Electric Wires by DAS', *J. Applied Fire Science* 9, 1999/2000, pp. 361-379
- [34] Lee, E., Ohtani, H., Marsubara, Y., Seki, T., Hasegawa, H., and Imada, S., 'Study on Primary and Secondary Molten Marks', in *Proc. 1st Conf. Assn. Korean Japanese Safety Engineering Society, Korean Institute for Industrial Safety*, 1999, pp. 209-212
- [35] Miyoshi, S., 'Internal Cavity Analysis of Electrical Arc Beads', presented at 15th Mtg. Intl. Assn. of Forensic Sciences, Los Angeles, 1999
- [36] *VFW Posts & Commercial Union Insurance vs. Western States Construction, Inc.*, Case No. 95L15808, 12th Judicial Circuit, Will County, Illinois, 1999
- [37] Miyoshi, S., 'Internal Cavity Analysis of Electrical Arc Beads', in *Proc. 4th Asia-Oceania Symp. on Fire Science & Technology, Asia-Oceania Assn. for Fire Science and Technology/Japan Assn. for Fire Science & Engineering*, Tokyo, 2000, pp. 653-656
- [38] Seki, T., Hasegawa, H., Imada, S., and Isao, Y., 'Determination between Primary and Secondary Molten Marks on Electric Wires by DAS', National Institute of Testing and Evaluation, Kiryu, Gunma, Japan, 2000
- [39] Anderson R. N., 'What Came First? The Arc Bead or the Fire?', *EC&N* 100, 2001, pp.20-21
- [40] Fitz, M.M., MDE Engineers, private communication, 2001
- [41] *Guide for Fire and Explosion Investigations (NFPA 921)*, Natl. Fire Protection Assn., Quincy MA, 2001
- [42] Kattner, U. R., NIST, private communication, 2001
- [43] Kitamura, Y., and Satoh, K., 'Progress of the Study on Electrical Beads (No. 2)', *Japanese J. Science and Technology for Identification* 6, Suppl., 105, 2001
- [44] Lee, E.-P., Ohtani, H., Marsubara, Y., Seki, T., Hasegawa, H., Imada, S., and Yashiro, I., 'Study on Discrimination between Primary and Secondary Molten Marks Using Carbonized Residue', *Fire Safety J.* 37, 2002, pp. 353-368

- [45] Tokyo Fire Department, 'Investigation Section, Research on First and Second Fused Mark Discrimination of Electric Wires', J. Japan Assn. for Fire Science
- [46] Γρηγοράκης Ι., 'Βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετικά με τη δημιουργία τηγμάτων λόγω ηλεκτρικού τόξου και τηγμάτων λόγω πυρκαγιάς', ΕΜΠ, Αθήνα, 2008

Ειδικότερα, σε ότι αφορά την εικόνα τήξης που παρουσιάζουν αγωγοί του δικτύου σε περιβάλλον πυρκαγιών και οι ηλεκτρικές επαφές (επαφές ασφαλειοαποξευκτών ή αποξευκτών, επαφές σφικτήρων, κ.λ.π.) σε περιβάλλον ή μη πυρκαγιών διευκρινίζονται τα εξής:

1). Αίτια της εικόνας τήξης ενός αγωγού του δικτύου διανομής χαμηλής τάσης όταν ισχύει η συνθήκη ουδετέρωσης

Όταν ισχύει η συνθήκη ουδετέρωσης σε μία γραμμή χαμηλής τάσης, τότε η εικόνα που παρουσιάζει ένας αγωγός του δικτύου διανομής χαμηλής τάσης στη θέση τήξης του είναι αποτέλεσμα πυρκαγιάς πλησίον αυτού, και τούτο διότι αποκλείεται θερμική καταπόνηση του αγωγού κατά την εκδήλωση βραχυκυκλώματος, αφού συμβαίνει πρακτικά ακαριαία (σε κλάσμα του δευτερολέπτου) τήξη της ασφάλειας της γραμμής, με αποτέλεσμα να προστατεύονται οι αγωγοί από υπερθέρμανση και να μη δημιουργούνται σπινθηρισμοί ή τήγματα μετάλλου από αυτούς (βλ. παρ. 4.2, 4.2.1 και 4.3).

Θα πρέπει να σημειώνεται ότι επειδή η θερμοκρασία της φλόγας είναι συνήθως από 750 °C έως 1020 °C προκαλείται όχι μόνο τήξη κλώνων αλλά αποκοπή αγωγών, γιατί το αλουμίνιο τήκεται στους 660 °C.

2). Αίτια της εικόνας τήξης των κλώνων αλουμινίου σε αγωγούς ACSR (ή αλουμινίου) του δικτύου διανομής μέσης τάσης

Όταν σε περίπτωση βραχυκυκλώματος η προτεταγμένη προστασία μίας γραμμής μέσης τάσης από αγωγούς ACSR (ή αλουμινίου) επενεργεί άμεσα (σε κλάσμα του sec), τότε η εικόνα τήξης που παρουσιάζουν οι κλώνοι αλουμινίου είναι αποτέλεσμα πυρκαγιάς πλησίον αγωγού, και τούτο διότι λόγω του μικρού διαθέσιμου χρόνου αποκλείεται η θερμική καταπόνηση αγωγού. Επίσης, η εκδήλωση σπινθηρισμών στους αγωγούς (δηλαδή η φωτεινή ακτινοβολία και ο ήχος που εκδηλώνονται) είναι αποτέλεσμα της καπναιθάλης λόγω της πυρκαγιάς (βλ. παρ. 2. 2).



Για την αποκοπή αγωγών αλουμινίου ισχύουν τα προαναφερθέντα. Σε ότι αφορά τους αγωγούς ACSR είναι επόμενο να τήκονται οι κλώνοι αλουμινίου, αλλά δεν προκαλείται αποκοπή του αγωγού, γιατί οι χαλύβδινοι κλώνοι τήκονται στους 1530 °C. Συνεπώς, για να συμβεί αποκοπή των αγωγών ACSR δεν αρκεί από μόνη της η θερμική ενέργεια αν δεν συμβάλλουν και παράγοντες μείωσης της μηχανικής αντοχής.

### **3). Η εικόνα τήξης σε ηλεκτρικές επαφές (επαφές με μεγάλη αντίσταση διάβασης)**

Σε περιπτώσεις ηλεκτρικών επαφών με μεγάλη αντίσταση διάβασης (λόγω π.χ. μεγάλου ποσοστού οξειδίων σε μία επαφή διακόπτη ή χαλάρωση της σύσφιγξης ενός σφικτήρα κ.λ.π.) αυξάνει η πτώση τάσης και μπορεί να δημιουργηθούν τήγματα μετάλλου (με θερμοκρασία άνω των 1000 °C) και σπινθηρισμοί. Επειδή τα τήγματα αυτά μπορεί να προκαλέσουν πυρκαγιά στην υποκείμενή τους βλάστηση, πρέπει να γίνεται γενικά ετήσιος έλεγχος των «θερμών σημείων» με θερμοκάμαρα.

## **7. Το κάψιμο (καρβούνιασμα) σε ξύλινες τραβέρσες επί ξύλινων στύλων μέσης τάσης.**

Στην ξύλινη τραβέρσα επί του ξύλινου στύλου διανομής μέσης τάσης εγκαθίστανται οι μονωτήρες στήριξης των αγωγών. Η επιλογή των κεραμικών και γυάλινων μονωτήρων βασίζεται στο πρότυπο IEC 815/1086, στο οποίο καθορίζεται το μήκος ερπυσμού των εν λόγω μονωτήρων ανάλογα με την ονομαστική τάση της γραμμής και το επίπεδο ρύπανσης (βλ. πίνακα 7-1). Για τους μονωτήρες αυτούς ενδιαφέρει δηλαδή στην πράξη να μην εκδηλωθούν ρεύματα διαρροής και να μην προκληθεί μείωση της τάσης επιφανειακής διάσπασης τόσο λόγω υγρασία όσο προ πάντων λόγω ξένων επικαθίσεων (ρύπανση) σε συνδιασμό με υγρασία. Το ρεύμα διαρροής λόγω ξένων επικαθίσεων είναι συνήθως (λόγω των προγραμματισμένων εργασιών συντήρησης) 10 ÷ 100 mA. Για την ενεργό τιμή της τάσης επιφανειακής διάσπαση λόγω ξένων επικαθίσεων και υγρασίας ( $U_{d,\varepsilon,\nu}$ ) και την ενεργό τιμή της τάσης επιφανειακής διάσπασης χωρίς υγρασία ( $U_d$ ) ισχύει περίπου [1]:

$$U_{d,\varepsilon,\nu} = 0,20 \div 0,30 U_d \quad (7-1)$$

Από την ανωτέρω σχέση και από τεχνικά χαρακτηριστικά μονωτήρων του δικτύου διανομής 20 kV στην Ελλάδα, προκύπτουν τιμές της τάσης (βλ. πίνακα

<b>a/a</b>	<b>Επίπεδο Ρύπανσης</b>	<b>Τυπικό παράδειγμα περιβάλλοντος</b>	<b>I<sub>min</sub> σε cm U<sub>N</sub>=20 kV</b>	<b>I<sub>min</sub> σε cm U<sub>N</sub>=15 kV</b>
I	Μικρό (0,006 mg/cm <sup>2</sup> )	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Περιοχές χωρίς βιομηχανίες και με μικρή πυκνότητα σπιτιών με κεντρική θέρμανση.</li> <li>2. Περιοχές με χαμηλή πυκνότητα εργοστασίων ή σπιτιών υπό συνήθεις ανέμους και/ή βροχές.</li> <li>3. Αγροτικές περιοχές (η χρήση λιπασμάτων μπορεί να οδηγήσει σε υψηλότερο επίπεδο ρύπανσης).</li> </ol> <p><u>Σημείωση:</u> Οι προαναφερθείσες περιοχές θα πρέπει να απέχουν τουλάχιστον 10 km έως 20 km από τη θάλασσα και να μην εκτίθενται σε ανέμους που έρχονται από τη θάλασσα.</p>	<b>32</b>	<b>24</b>
II	Μεσαίο (0,20 mg/cm <sup>2</sup> )	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Περιοχές με εργοστάσια που δεν παράγουν ρυπαντικό καπνό και/ή με μέση πυκνότητα σπιτιών εξοπλισμένων με κεντρική θέρμανση.</li> <li>2. Περιοχές με υψηλή πυκνότητα σπιτιών και/ή εργοστάσια, αλλά εκτεθειμένες σε συνήθεις ανέμους και/ή βροχοπτώσεις.</li> <li>3. Περιοχές εκτεθειμένες σε ανέμους προερχόμενους από τη θάλασσα, αλλά όχι τόσο κοντά στην ακτή (το λιγότερο σε απόσταση αρκετών km).</li> </ol>	<b>40</b>	<b>30</b>
III	Υψηλό (0,60 mg/cm <sup>2</sup> )	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Περιοχές με μεγάλη πυκνότητα εργοστασίων και προάστια μεγάλων πόλεων με μεγάλη πυκνότητα εγκαταστάσεων θέρμανσης που παράγουν καπνό.</li> <li>2. Περιοχές κοντά στη θάλασσα ή σε κάθε περίπτωση εκτεθειμένες σε σχετικά ισχυρούς ανέμους προερχόμενους από τη θάλασσα.</li> </ol>	<b>50</b>	<b>37,5</b>
IV	Πολύ Υψηλό (>0,60 mg/cm <sup>2</sup> )	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Περιοχές γενικά μέτριας έκτασης εκτεθειμένες σε αγωγίμες σκόνες και σε βιομηχανικό καπνό ο οποίος παράγει ειδικά λεπτές αγωγίμες επικαθήσεις.</li> <li>2. Περιοχές γενικά μέτριας έκτασης πολύ κοντά στην ακτή ή εκτεθειμένες σε πολύ ισχυρό αέρα προερχόμενο από τη θάλασσα.</li> <li>3. Περιοχές ερήμου, που χαρακτηρίζονται από την απουσία βροχής για μεγάλες χρονικές περιόδους, εκτεθειμένες σε ισχυρούς ανέμους που μεταφέρουν άμμο και αλάτι.</li> </ol>	<b>62</b>	<b>46,6</b>

Πίνακας 7-1: Μήκος ερπυσμού κεραμικών και γυάλινων μονωτήρων

Συμβολισμός σύμφωνα με έντυπα της ΔΕΗ	Τύπος μονωτήρα	Μήκος ερπυσμού [cm]	$U_d$ [kV]	$U_{d,v}$ [kV]	$U_{d,\varepsilon,v}$ [kV]
K26, K31	20 kV κώδωνος	33,0	95	60	19,0÷28,5
K6, K13, K15, K34	20 kV κώδωνος	43,0	110	70	22,0÷33,0
K8, K16	20 kV κώδωνος	43,2	110	70	22,0÷33,0
K5, K14	20 kV κώδωνος για μολυσμένη ατμόσφαιρα	53,0	100	45	20,0÷30,0
K25	20 kV κώδωνος για μολυσμένη ατμόσφαιρα	53,0	125	80	25,0÷37,5
K23	20 kV κώδωνος για πολύ μολυσμένη ατμόσφαιρα	68,0	140	95	28,0÷42,0
K7	20 kV κώδωνος ομίχλης	53,0	110	70	22,0÷33,0
K9	20 kV κώδωνος ομίχλης	>53,0	110	70	22,0÷33,0

Πίνακας 7-2: Τάση επιφανειακής διάσπασης μονωτήρων του δικτύου διανομής μέσης τάσης (20 kV) σε περίπτωση: ξηρασίας, υγρασίας και υγρασίας σε συνδιασμό με ρύπανση

$U_d$  : Τάση επιφανειακής διάσπασης σε περίπτωση ξηρασίας.

$U_{d,v}$  : Τάση επιφανειακής διάσπασης σε περίπτωση υγρασία.

$U_{d,\varepsilon,v}$ : Τάση επιφανειακής διάσπασης σε περίπτωση ξένων επικαθήσεων και υγρασίας.

7-2), που μπορεί να οδηγήσουν στην εκδήλωση σπινθηρισμών ή ακόμη και σε επιφανειακή διάσπαση). Επίσης, από τον πίνακα 7-2 προκύπτει ότι η υγρασία επί των μονωτήρων προκαλεί μείωση της τάσης για την επιφανειακή διάσπαση στην τιμή  $U_{d,v}$  για την οποία ισχύει περίπου:

$$U_{d,v} \approx 0,63 U_d \quad (7-2)$$

Στον πίνακα 7-2 δίνεται επίσης το μήκος ερπυσμού των μονωτήρων, ανάλογα με το οποίο καθορίζεται το περιβάλλον για το οποίο είναι κατάλληλοι.

Έτσι, όπως διαπιστώνεται από τον πίνακα 1 οι μονωτήρες K26 και K31 είναι κατάλληλοι σε περιοχές με μικρό επίπεδο ρύπανσης, οι K6, K13, K15, και K34 σε περιβάλλον με μεσαίο επίπεδο ρύπανσης, οι K7, K8, K9, K16 και K25 σε περιοχές με υψηλό επίπεδο ρύπανσης και ο K23 σε περιβάλλον με πολύ υψηλή ρύπανση.

Εκ των ανωτέρω συμπεραίνεται, ότι η επιλογή μονωτήρων με μικρότερο μήκος ερπυσμού θα έχει ως αποτέλεσμα την εκδήλωση σπινθηρισμών επί των μονωτήρων, που μπορεί να προκαλέσει από τα ρεύματα διαρροής κάψιμο (καρβούνιασμα) της ξύλινης τραβέρσας περί τους μονωτήρες. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε πτώση αγωγού μαζί με τον μονωτήρα του ή να γίνει αιτία πυρκαγιάς, σε περίπτωση που ένα πυρακτωμένο τεμάχιο τραβέρσας πέσει πάνω σε ξερά χόρτα. Επισημαίνεται ότι το ανωτέρω συμπέρασμα είναι θεωρητικό, γιατί οι μονωτήρες μίας γραμμής επιλέγονται μετά από εγκεκριμένη μελέτη και συνεπώς αποκλείεται επιλογή τους με ακατάλληλο μήκος ερπυσμού. Επίσης, τα όποια προβλήματα σπινθηρισμών σε περιοχές με υψηλή ρύπανση επί των μονωτήρων εντοπίζονται με την ετήσια επιθεώρηση των γραμμών, που προβλέπεται στον κανονισμό (ο οποίος είναι νόμος του κράτους) και προγραμματίζεται το πλύσιμο των μονωτήρων με ειδικά οχήματα ή ακόμη και με ελικόπτερα.. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι, από συζητήσεις που έχουν γίνει με έμπειρους τεχνικούς του ΔΕΔΔΗΕ, έχει διαπιστωθεί στην πράξη να καίγεται η κορυφή του στύλου και η τραβέρσα του από πυρκαγιά στη βάση αυτού, σαν να πρόκειται για μετάδοσης θερμότητας προς την κορυφή του στύλου μέσω του όγκου του. Για το θέμα αυτό γίνεται ακολούθως μία προσπάθεια πειραματικής έρευνα.

## **Βιβλιογραφία**

[1] Phillippow E., Taschenbuch Elektrotechnik, Band 2 Starkstromtechni VEB VERLAG TECHNIK BERLIN, 1966

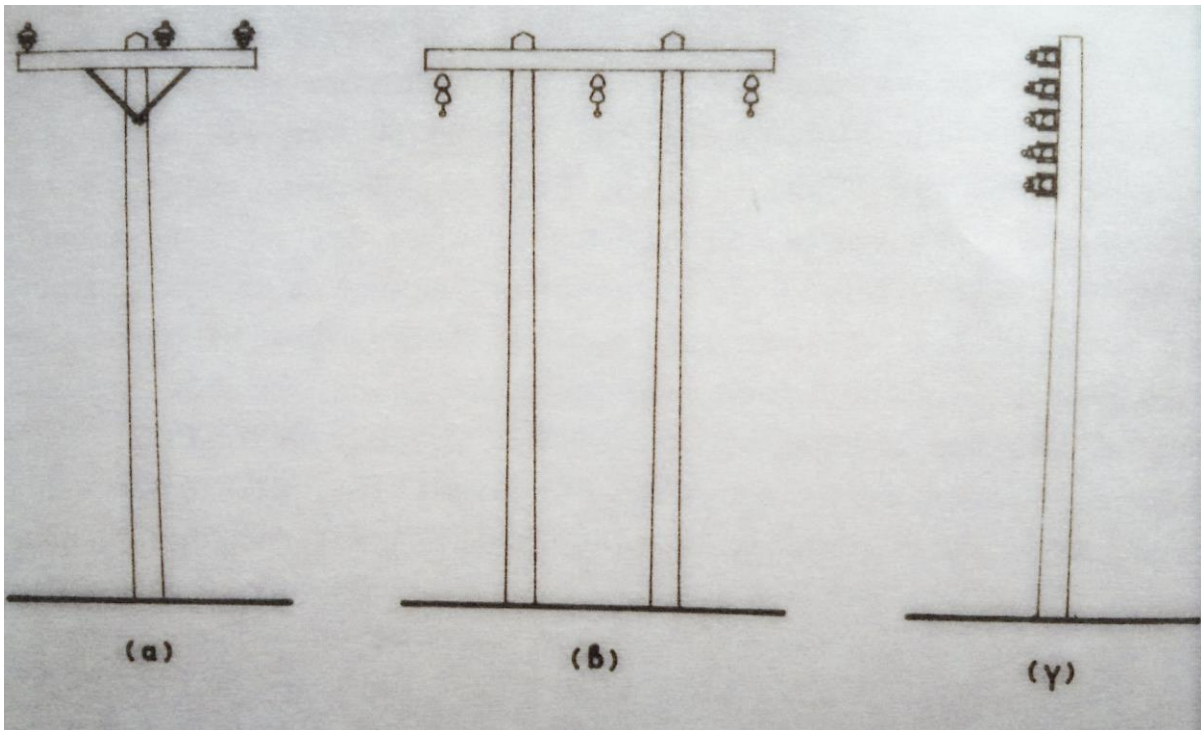
## **8. Στύλοι τραβέσες και αντηρίδες από ξύλο σε γραμμές διανομής**

### **8.1 Γενικά περί των ξύλινων στύλων γραμμών διανομής**

Πολύ σπουδαίο ρολό στην εξέλιξη μιας πυρκαγιάς, που εκδηλώνεται από οποιοδήποτε λόγο παίζουν οι εναέριες γραμμές Μέσης και Χαμηλής Τάσης του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, για αυτό και δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στη χάραξη των δικτύων, στην επιλογή των στοιχείων των εν λόγω

δικτύων και στην συντήρησή τους. Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφεται ο τρόπος που γίνεται η προμήθεια, ο εμποτισμός και η συντήρηση των ξύλινων στοιχείων του δικτύου διανομής στην Ελλάδα ήτοι στύλων-τραβερσών-αντηρίδων καθώς αυτά είναι τα μέρη που πλήττονται περισσότερο σε περίπτωση πυρκαγιάς και τελικά αποτελούν πειστήρια-τεκμήρια. Η πληροφόρηση για την συμπεριφορά αυτών των στοιχείων θα βοηθήσει στην εξαγωγή συμπερασμάτων για τα αίτια εκδήλωσης-διάδοσης μια πυρκαγιάς και θα συμβάλει στην καλύτερη αντιμετώπιση τους, τον περιορισμό τους αλλά και στον καταλογισμό ευθυνών όπου υπάρχουν.

Επισημαίνεται ότι, το 91% του δικτύου διανομής ( Μέσης και Χαμηλής Τάσης) του ΔΕΔΔΗΕ είναι εναέριο. Συνολικά, το μήκος του εναέριου δικτύου διανομής είναι 195.000 km περίπου. Από τους στύλους του εναέριου δικτύου, το 90% είναι ξύλινοι, εμποτισμένοι με κρεόζωτο, ενώ το υπόλοιπο 10% είναι τσιμεντένιοι, εγκατεστημένοι στο σύνολο τους σε θέσεις προσιτές σε βαρέα οχήματα (στα δίκτυα υπάρχουν επίσης και παλαιοί χαλύβδινοι στύλοι, σε μικρές όμως ποσότητες). Το πλήθος των εγκατεστημένων ξύλινων στύλων εκτιμάται σε 4,5 εκατομμύρια, περίπου.



Σχήμα: 8.1-1: Τυποποιημένοι στύλοι γραμμών διανομής του ΔΕΔΔΗΕ.  
α και β: στύλοι γραμμών μέσης τάσης  
γ: στύλοι γραμμών χαμηλής τάσης

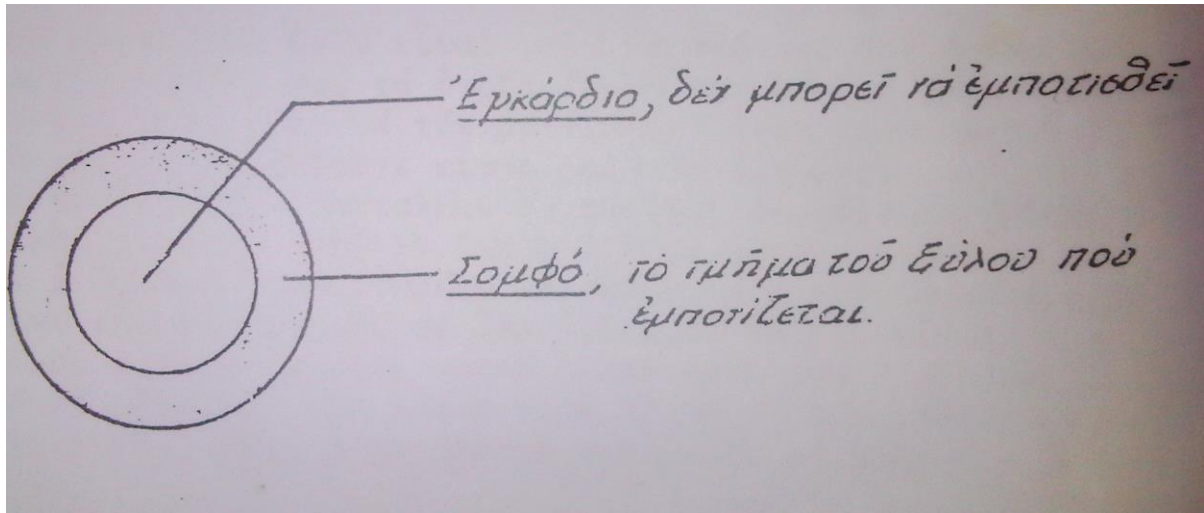
Ο ΔΕΔΔΗΕ ακολουθώντας την επιτυχημένη εμπειρία άλλων ηλεκτρικών εταιριών, πρακτική που ακολουθήται εδώ και δεκαετίες από όλες σχεδόν τις προηγμένες χώρες διεθνώς, εφαρμόζει των εμποτισμό της ξυλείας του με εγκεκριμένα από την Ευρωπαϊκή Ένωση συντηρητικά (κρεόζωτο, πενταχλωροφαινόλη) για τους εγκατεστημένους στα δίκτυα του ξύλινους στύλους, ξυλοδοκούς και βραχίονες με πολλαπλά και σημαντικά οφέλη, όπως είναι τα εξής:

- Επάρκεια παροχής ηλεκτρικής ενεργείας, περιορισμός των αιφνίδιων διακοπών ηλεκτροδότησης αλλά και περιορισμός των ατυχημάτων.
- Αύξηση της διάρκειας ζωής των στύλων από τα 27 έτη στα 60 έως και 80 έτη. Με τη μεγάλη διάρκεια ζωής των εμποτισμένων στύλων μειώνονται οι προμήθειες και περιορίζονται οι αντίστοιχες υλοτομήσεις των δασών στα επίπεδα εκείνα τα όποια δεν διαταράσσουν την ισορροπία του δασικού οικοσυστήματος της χώρας. Υπολογίζεται ότι μέσω του εμποτισμού εξοικονομούνται 20.000 δασικά δένδρα ετησίως, με αυξητική τάση εξοικονόμησης.

## **8.2 Προδιαγραφές των στύλων Μέσης και Χαμηλής Τάσης**

Εάν κόψουμε ένα στύλο κάθετα προς τον άξονα του, στην τομή αυτή διακρίνουμε ένα κεντρικό κυκλικό τμήμα, που ονομάζεται εγκάρδιο (heart wood) και ένα περιφερειακό τμήμα ανοικτότερου χρώματος που ονομάζεται σομφό ξύλο (sap-wood). Το σομφό είναι το ξύλο μέσα στο οποίο οδεύουν οι χυμοί του δένδρου και είναι το τμήμα που μπορεί να εμποτιστεί. Κατά τον εμποτισμό η εσωτερική κοιλότητα των σωληνωτών κυττάρων του ξύλου πληρούται η επαλείφεται με συντηρητικά (κρεόζωτο, πενταχλωροφαινόλη) ανάλογα με τη μέθοδο εμποτισμού που ακολουθούμε (του κενού η του πλήρους κύτταρου). Στο εγκάρδιο η κυτταρική κοιλότητα περιέχει εκχυλίσματα σε στερεά κατάσταση με συνέπεια το εγκάρδιο να μην μπορεί να εμποτιστεί. Η διάκριση του σομφού ξύλου από το εγκάρδιο οποιουδήποτε είδους ξύλου και η εύρεση των συνόρων τους προσδιορίζεται με ένα δείκτη. Τέτοιος δείκτης παρασκευάζεται με την ανάμειξη ίσων όγκων από διαλύματα ανισιδίνης με υδροχλωρικό οξύ και διαλύματα νιτρώδους νάτριου. Το μείγμα των δυο διαλυμάτων τοποθετείται στο ξύλο με βούρτσα ή ψεκαστήρα. Μετά από μερικά

λεπτά το εγκάρδιο ξύλο παίρνει ένα ζωηρό πορτοκαλί χρώμα, ενώ το σομφό ξύλο διατηρείται σε ένα άτονο χρώμα μεταξύ κίτρινου και πορτοκαλί.



Σχήμα 8.2-1: Εγκάρσια τομή στύλου

ΚΟΙΝΗ ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΒΟΤΑΝΙΚΗ ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ
Μαύρη Πεύκη	PINUS NIGRA	ΕΥΡΩΠΗ
Δασική Πεύκη	PINUS SILVESTRIS	ΕΥΡΩΠΗ
Νότια Πεύκη		
Παχυλή	PINUS TAEDA	Β. ΑΜΕΡΙΚΗ
Λιμναία	PINUS PALUSTRIS	Β. ΑΜΕΡΙΚΗ
Βραχύφυλλη	PINUS ECHINATA	Β. ΑΜΕΡΙΚΗ
Ελιότια	PINUS ELLIOTTI	Β. ΑΜΕΡΙΚΗ

Πίναας 8.2-1: Είδη ξυλείας για ατασκευή στύλων, πασσάλων ενίσχυσης και δοκών αγκύρωσης

Στην προδιαγραφή ΔΕΗ GR-49 δίνονται τα ειδή ξυλείας, η προέλευση τους, η αντοχή και η ανάπτυξη καθώς και το πάχος σομφού του ξύλου. Σύμφωνα με την εν λόγω προδιαγραφή, οι στύλοι, οι πάσσαλοι ενισχύσεως και οι δοκοί αγκύρωσης θα πρέπει να αποκοπούν από ζώντα και στερεά κορμόδενδρα, που προέρχονται από τα ειδή ξυλείας που δίνονται στον πίνακα 8.2-1 στον οποίο αναφέρεται και η προέλευση της ξυλείας (Ευρώπη ή Β. Αμερική).

Οι στύλοι που βρίσκονται στα δίκτυα διανομής Μ.Τ. ΚΑΙ Χ.Τ. της ΔΕΔΔΗΕ προέρχονται κατά 90% από δασική Πεύκη (PINUS SILVESTRIS). Τα κορμόδενδρα που επιλέγονται για στύλου ελέγχονται για τον ρυθμό ανάπτυξης τους και για την αντοχή τους σε κάμψη όπως προβλέπεται από τον αμερικανικό κανονισμό ASTM D-1036/1973. Επίσης ελέγχεται το πάχος του σομφού ξύλου, που πρέπει να είναι τόσο όσο είναι απαραίτητο για αν επιτευχτεί το απαιτούμενο βάθος διείσδυσης του συντηρητικού. Απαγορευμένα ελαττώματα και αίτια απόρριψης κατά τον έλεγχο είναι η σήψη, οι κοιλότητες, τα ρήγματα, οι οπές, οι σχισμές και οι ρωγμές.

Οι ξύλινοι στύλοι πρέπει να είναι σύμφωνοι με τις τυποποιημένες ελάχιστες διαστάσεις των διαμετρών τους σε απόσταση 1.80m από το κάτω άκρο (βλ. πίνακα 8.2-2).

<b>ΜΗΚΟΣ (m)</b>	<b>ΒΑΡΥΣ (cm)</b>	<b>ΜΕΣΟΣ (cm)</b>	<b>ΕΛΑΦΡΟΣ (cm)</b>
9	26	22,5	19
10	27	23,5	20
11	28	24,5	21
12	29	25,5	22
13	30	26,5	23
14	31	27,5	24
15	32	28,5	25

Σχήμα 8.2-2: Τυποποιημένες ελάχιστες διαστάσεις διαμέτρων στύλων (σε απόσταση 1,8 m από το κάτω άκρο τους) ανάλογα με το ύψος τους

Για όλα τα μήκη στύλων (9-15 m) η ελάχιστη διάμετρος κορυφής είναι για τους βαρείς στύλους 18 cm, για τους μέσους 15 cm και για τους ελαφρούς



12 cm. Αντίστοιχες διαστάσεις και προδιαγραφές υπάρχουν για τους δοκούς αγκύρωσης και τους πασσάλους ενίσχυσης, στην προδιαγραφή ΔΕΗ (GR-49) περιγράφονται αναλυτικά ο τρόπος υλοτόμησης, αποφλοιώσης και καθαρισμού των κορμόδενδρων καθώς επίσης και ο τρόπος μεταφοράς, παράδοσης, στοίβασης, αποξήρανσης και ο έλεγχος περιεκτικότητας σε υγρασία.

### **8.3 Ξύλινοι βραχίονες-τραβέρσες**

Τα ίδια αυστηρά κριτήρια με τους στύλους ισχύουν και στην επιλογή των ξύλινων βραχιόνων των στύλων πάνω στους οποίους εγκαθίστανται οι μονωτήρες στήριξης των αγωγών. Σύμφωνα με την προδιαγραφή ΔΕΗ GR-50 οι ξύλινοι βραχίονες πρέπει να αποκόπτονται εκ ζώσης πυκνής ξυλείας, από τα ακόλουθα είδη ξύλου:

DOUGLAS FIR (PSEUDOTSUGA TAXIFOLIA)  
ABIES CEPHALONIKA  
PINUS PALUSTRIS  
PINUS SYLVESTRIS  
PINUS NIGRA  
PINUS ECHINATA  
PINUS TAEDA  
PINUS CARIBEA  
PINUS RIGIDA SEROTINA

Η αντοχή των ινών της ξυλείας πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 520 kg/cm<sup>2</sup> και οι διαστάσεις να είναι σύμφωνες με τις προδιαγραφές (αρ. Α-4010 ή Α-410-2). Επίσης ελέγχεται το κύρτωμα, η συμπίεση του ξύλου, οι ρωγμές, η λοξοδρόμηση των ινών, οι σήψεις και οι κοιλότητες. Επισημαίνεται ότι δίνεται σημασία τόσο στον τρόπο υλοτόμησης και αποφλοιώσης της ξυλείας, όσο και στην αποξήρανση της στον αέρα με ατμό ή με θέρμανση. Τέλος, στον προαναφερθέντα κανονισμό περιγράφεται ο τρόπος μέτρησης της περιεκτικότητας του ξύλου σε υγρασία.

## 8.4 Μονωτήρες

Οι αγωγοί των γραμμών αναρτώνται στους στύλους μέσω μονωτήρων, οι οποίοι παρέχουν και την απαιτούμενη μόνωση των αγωγών έναντι των υπολοίπων μερών των στύλων.

Στις γραμμές Μ.Τ. και Χ.Τ. χρησιμοποιούνται μονωτήρες στηρίξεως κατασκευασμένοι από πορσελάνη ή γυαλί (βλ. πίνακες 7-1 και 7-2). Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται στην μέση τάση συνθετικοί μονωτήρες, γιατί έχουν το πλεονέκτημα (έναντι των μονωτήρων πορσελάνης) ότι δεν εκδηλώνονται σε αυτούς σπινθηρισμοί. Για τον λόγο αυτό οι συνθετικοί μονωτήρες χρησιμοποιούνται ευρήτατα σε παραθαλάσσιες περιοχές.

### Βιβλιογραφία

- [1] Προδιαγραφή ΔΕΗ GR-59 δια μονωτήρας επιτόνων, 12.12.67.
- [2] ΔΕΗ Γενική Διεύθυνση Διανομής, οδηγία διανομής Νο 10 ΔΕΔ/ΤΤΕ Ε-2
- [3] ΔΕΗ Διεύθυνση Ανθρώπινου Δυναμικού Διανομής, Μελέτες δικτύων διανομής
- [4] ΔΕΗ Διεύθυνση Προμηθειών, Σημείωμα ενημερωτικό (παρατηρήσεις επί της προδιαγραφής GR-49 για ξύλινους στύλους), 17.6.1982
- [5] Β. Κ. Παπαδιάς, Γραμμες μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας (μόνιμη κατάσταση λειτουργίας), Αθήνα 1999

## 9. Συντήρηση εναέριων δικτύων Μέσης και Χαμηλής Τάσης και εγκατεστημένων στύλων 20kV(400V/230V)

### 9.1 Γενικά περί συντήρησης

Σε όλο το εγκατεστημένο εναέριο δίκτυο διανομής στην Ελλάδα γίνονται σε ετήσια βάση επιθεώρηση από ειδικά συνεργεία, θερμοσκόπηση με ειδικές θερμοκάμερες επιλεγμένων στοιχείων του δικτύου, όπως αεροδιακοπές, μέσα προστασίας, μέσα ζεύξεως, ασφάλειες, ακροκιβώτια και μονωτήρες. Είναι σε εξέλιξη η χαρτογράφηση (GIS-GPS) και ψηφιακή φωτογράφιση στύλων και εξαρτημάτων καθώς και ηλεκτρονική διαχείριση των στοιχείων επιθεώρησης. Επίσης γίνεται κλάδευση-κοπή δένδρων που βρίσκονται κοντά στα δίκτυα διανομής, ώστε να αποφεύγονται οι διακοπές ρεύματος και ο κίνδυνος πυρκαγιών.

Η μέση διάρκεια ζωής ξύλινου στύλου χωρίς επιθεώρηση- συντήρηση και ενίσχυση βρέθηκε από εκτίμηση στοιχείων, υπολογισμούς και εμπειρία του ΔΕΔΔΕΗ ότι είναι 27,5 έτη, ενώ διπλασιάζεται στα 55 έτη με επιθεώρηση- συντήρηση και ενίσχυση.

Έτσι καθιερώθηκε πρόγραμμα επιθεώρησης-συντήρησης και ενίσχυσης των ξύλινων στύλων ανά οκταετία με χρήση πολτώδους συντηρητικού ‘osmose pole paste’, η χρήση του οποίου σαν συντηρητικό ξύλου επιτρέπεται από την ισχύουσα ευρωπαϊκή νομοθεσία για τα βιοκτόνα προϊόντα στα όποια εντάσσονται τα συντηρητικά ξύλου.

Τελευταία χρησιμοποιείται από τον ΔΕΔΔΕΗ το νέου τύπου συντηρητικό εγκατεστημένων ξύλινων στύλων από τον οίκο protim solignum ltd T/A osmose. Το συντηρητικό αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε κατοικημένες περιοχές και έχει τις απαιτούμενες εγκρίσεις από το υπουργείο αγροτικής ανάπτυξης και τροφίμων.(αρ.πρωτ. 99162, 8-8-11) και 190675, 5-11-10).

Μετά την περιγραφή του τρόπου επιλογής της ξυλείας και της προμηθείας των ξύλινων στύλων, βραχιόνων, ξυλοδοκων αγκύρωσης και πάσσαλων ενίσχυσης είναι απαραίτητο να περιγράψει ο τρόπος εμποτισμού καθώς και η χημική σύσταση του συντηρητικού-προφυλακτικού μέσου που χρησιμοποιείται, ώστε να δοθεί πλήρη εικόνα των στύλων και των άλλων ξύλινων στοιχείων των κατασκευών των δικτύων διανομής Μ.Τ. και Χ.Τ. στην Ελλάδα.

## **9.2 Συντηρητικά και Εμποτισμός στύλων**

### **9.2.1 Τα συντηρητικά που χρησιμοποιούνται**

Τα συντηρητικά που χρησιμοποιούνται είναι το κρεόζωτο και η πενταχλωροφαινόλη. Συγκεκριμένα:

- 1) Το κρεόζωτο χρησιμοποιείται σε μορφή ανόθευτου ελαίου κρεόζωτου σύμφωνα με μια από τις ακόλουθες προδιαγραφές:
  - A) AMERICAN WOOD PRESERVES ASSOCIATION FOR CREOSOTE, P1-65
  - B) BRITISH STANDARD SPECIFICATION No 144 ΤΥΠΟΥ 1 Η 2
- 2) Η πενταχλωροφαινόλη, που πρέπει να χρησιμοποιηθεί σαν διάλυση πενταχλωροφαινόλης σε πετρέλαιο. Η πενταχλωροφαινόλη και το

πετρέλαιο για την διάλυση της πρέπει να είναι σύμφωνα με τις προδιαγραφές AMERICAN WOOD PRESERVES ASSOCIATION STANDARDS P8-74 και P9-74 αντίστοιχα. Η περιεκτικότητα σε πενταχλωροφαινόλη πρέπει να μην είναι μικρότερη από 5% κατά βάρος. Ο διαλύτης πετρελαίου πρέπει να έχει ανοικτό χρώμα και να είναι τύπου που να έχει αρκετή διαλυτικότητα και πλαστική επίδραση για να απόφευχθεί ο σχηματισμός κρυστάλλων πενταχλωροφαινόλης στην επιφάνεια των στύλων. Η διάλυση πενταχλωροφαινόλης πρέπει να είναι απαλλαγμένη από στερεά αιωρήματα έτσι ώστε να εξασφαλίζεται ο κανονικός εμποτισμός.

#### Ειδικά τεχνικά χαρακτηριστικά

- Θερμοκρασία κρυσταλλοποίησης μικρότερη από 23 C.
- Περιεκτικότητα σε βενζο-α-πυρένιο (Bar) μικρότερη από 0,05% κατά μάζα.
- Περιεκτικότητα σε φαινόλες μικρότερη από 3% κατά μάζα.

#### Οι κυριότεροι κανονισμοί είναι:

- WEI/1982 - -Grade A – Specification for Coal – tar impregnating oil (Edition 1989).
- AWWA – P1/P13/1991 – Standard for Coal – tar creosote for land and, fresh water and marine (coastal water) use (Edition 1994).
- AWWA - A4/1993 –Standard methods for sampling Wood Preservatives (Edition 1994).
- AWWA - A1/1991 – Standard methods for analysis of creosote and oil-type preservatives (Edition 1994).
- Οδηγία 94/60/ΕΟΚ/20.12.94 (14<sup>η</sup> τροποποίηση της οδηγίας 76/769/ΕΟΚ).

#### Οι δοκιμές που εφαρμόζονται είναι κυρίως:

- Έλεγχος κλασματικής απόσταξης
- Έλεγχος του ειδικού βάρους
- Έλεγχος περιεκτικότητας νερού στο κρεόζωτο
- Έλεγχος περιεχόμενων αδιάλυτων στερεών
- Έλεγχος θερμοκρασίας κρυσταλλοποίησης
- Έλεγχος περιεκτικότητας σε βενζο-α-πυρένιο (Bar)
- Έλεγχος περιεκτικότητας σε φαινόλες

## 9.2.2 Εμποτισμός

Πριν τον εμποτισμό είναι απαραίτητο να έχει ολοκληρωθεί η επεξεργασία του ξύλου, δηλαδή να έχει συμπληρωθεί οποιαδήποτε κοπή ή διάνοιξη οπών στους στύλους, ξυλοδοκούς και τους πασσάλους ενισχύσεως. Ο εμποτισμός τους πρέπει να γίνει με τη μέθοδο του κενού κύτταρου και ειδικότερα με τη μέθοδο REUPING. Το εμποτιστήριο είναι απαραίτητο να διαθέτει εγκατάσταση για διαρκή θέρμανση των δεξαμενών αποθηκεύσεως του συντηρητικού, ώστε αυτό να διατηρείται μόνιμα σε θερμοκρασία 60 °C. Τέλος είναι απαραίτητο να χρησιμοποιούνται καταγραφικά όργανα για την πίεση και τη θερμοκρασία, ώστε ο χειρίστης να καταγράφει τη διαδικασία εμποτισμού κάθε φορτίου εμποτισμού και να είναι δυνατή η ρύθμιση της μεθόδου κατά τέτοιο τρόπο ώστε να επιτυγχάνεται συγκράτηση και διείσδυση του συντηρητικού ίση ή μεγαλύτερη από την ελάχιστη επιτρεπόμενη. Η συγκράτηση κρεόζωτου και πενταχλωροφαινόλης πρέπει να είναι σύμφωνες με τους κανονισμούς AWP A STANDARD A6-76 και AWP A STANDARD A5-76 αντίστοιχα.

### **1) Συγκράτηση συντηρητικού**

Η ελάχιστη επιτρεπόμενη συγκράτηση συντηρητικού κρεόζωτου ή διαλύματος πενταχλωροφαινόλης στο ξύλο, καθορίζεται είτε με ζύγιση είτε αναλυτικά με δειγματοληψία. Κατά την πρώτη η συγκράτηση υπολογίζεται από τον όγκο κάθε φορτίου εμποτισμού και με ζύγιση του πριν και μετά τον εμποτισμό του. Ενώ κατά την αναλυτική μέθοδο λαμβάνονται δειγματοληπτικά δοκίμιο από κάθε φορτίο εμποτισμού 4 ώρες τουλάχιστον μετά την εξόδο του φορτίου από τον κύλινδρο εμποτισμού. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται δειγματοληπτικά τρυπάνια (INCREMENT BORERS).

### **2) Διείσδυση συντηρητικού μέσα στο ξύλο**

Το ελάχιστο απαραίτητο βάθος διεισδύσεως συντηρητικού στα διάφορα είδη ξυλείας και στη θέση του μέσου μήκους των στύλων, πασσάλων ή ξυλοδοκών καθορίζεται ως εξής:

- Πεύκη η μαύρη (PN), Πεύκη η τραχεία (PB), Πεύκη η χαλεπή (PH) και Πεύκη η δασική (PS) στα 6cm ή 100% του σομφού, οποιοδήποτε από τα δυο είναι μικρότερο, με τον όρο ότι δεν θα είναι μικρότερο από την τιμή α(παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα)

- Πεύκη η νότια (SP) στα 8cm ή 90% του σομφού, οποιοδήποτε από τα δυο μικρότερο, με τον ορό ότι δεν θα είναι μικρότερο από την τιμή α.
- Ελατή η κεφαλληνιακή (AC) στα 2cm ή 100%, οποιοδήποτε από τα δυο είναι μεγαλύτερο.
- Λεύκη δρυς πλήρης εμποτισμός σομφού
- Ερυθρά δρυς 65% των ετησίων δακτυλίων
- Οξύ 85% του σομφού

Το πάχος του σομφού του ξύλου πρέπει να είναι άρκετο, ώστε να μπορούν να επιτευχθέν οι τιμές α ( τιμές διείσδυση του συντηρητικού μέσα στο ξύλο), που δίνονται στον πίνακα 9.2 .2-1.

<b>Είδος ξύλου</b>	<b>Βάθος εμποτισμού α (cm)</b>
Βαρύς στύλος	5
Μέσος στύλος	4
Ελαφρός στύλος	3
Πάσσαλος ενισχύσεως διαμέτρου 26 cm	4
Πάσσαλος ενισχύσεως διαμέτρου 20 cm	3
Ξυλοδοκός αγκυρώσεως	2

Πίνακας 9.2.2-1: Τιμές α (τιμές διείσδυση του συντηρητικού μέσα στο ξύλο)

Η μέτρηση του βάθους εμποτισμού διενεργείται σε δοκίμια που εξάγονται με δειγματοληπτικά τρύπωνα (INCREMENT BORER). Όταν χρησιμοποιείται πενταχλωροφαινόλη σαν συντηρητικό, το βάθος διεισδύσεως της πρέπει να προσδιορίζεται σύμφωνα με τον κανονισμό AWWA STANDARD A3-71.

### **3) Επανεμποτισμός**

Εάν κατά τις δόκιμες μετά τον εμποτισμό οι στύλοι δεν είναι σύμφωνοι με τις καθορισμένες ελάχιστες απαιτήσεις, μπορούν να επανεμποτιστούν, ο επανεμποτισμός όμως θα πρέπει , όσο είναι πρακτικά δυνατόν, να αποφεύγεται. Τα μέγιστα όρια θερμοκρασίας και πίεσης του συντηρητικού, που

εφαρμόζονται κατά τον αρχικό εμποτισμό πρέπει να αποτελούν μέγιστα κατά τη διάρκεια του επανεμποτισμού. Τέλος δεν επιτρέπεται στο ίδιο τεμάχιο να γίνει και δεύτερος επανεμποτισμός, δηλαδή τρίτος εμποτισμός.

#### **4) Σήμανση στύλων**

Μετά τον εμποτισμό οι στύλοι σημαίνονται με πυρογραφία που έχει βάθος πάνω από 5mm (η όποια όμως δεν θα πρέπει να εξασθενεί την αντοχή των ινών του ξύλου). Στην πρώτη σειρά θα πρέπει να φαίνεται το μήκος του στύλου σε μετρά ακολουθούμενη από ένα γράμμα που δηλώνει την κατηγορία του στύλου ( Βαρύς, Μέσος ή Ελαφρός). Επίσης σημειώνεται το είδος του ξύλου. Στην δεύτερη σειρά δηλώνεται με ένα γράμμα το είδος του συντηρητικού που χρησιμοποιήθηκε ακολουθούμενου από τα ψηφία του μήνα και τα δυο τελευταία ψηφία του έτους εμποτισμού, διαχωριζόμενα με παύλα. Στην τρίτη σειρά το σήμα του προμηθευτή και στην τέταρτη το σήμα του εργοστάσιου εμποτισμού.

<b>Είδος ξύλου</b>	<b>Συμβολισμός ξύλου</b>
PINUS NIGRA	PN
PINUS BRUTIA	PB
PINUS HALEPENSIS	PH
PINUS SILVESRTIS	PS
PINUS PALUSTRIS	PP
SOUTHERN PINE	SP
ABIES CEPHALONICA	AC
DOUGLAS FIR	DF
PINUS ECHINATA	PE
PINUS TAEDA	PT
PINUS CARIBEA	PC
PINUS RIGIDA SEROTINA	PR
CREOSOTE PRESERVATIVE	C
PENTACHLOROPHENOL PRESERVATIVE	P

Πίνακας 9.2.2-2: Συμβολισμοί του είδους του ξύλου σε στύλους

### 9.3 Εκροή Κρεόζωτου από ξύλινους στύλους

Πολλές επιστολές ή προφορικές αναφορές παράπονων έχουν αναφερθεί από διαφορές περιοχές της διανομής του ΔΕΔΔΗΕ και από τοπικές επιτροπές υγιεινής και ασφάλειας των εργαζομένων διατυπώνοντας έντονα παράπονα για δερματικές ενοχλήσεις των τεχνιτών κατά τον χειρισμό των εμποτισμένων με κρεόζωτο ξύλινων στύλων ή κατά την αναρρίχηση σε αυτούς κατά τους θερινούς κυρίως μήνες.

Από συστηματικές έρευνες έχει διαπιστωθεί ότι η αυξημένη εκροή κρεόζωτου στην επιφάνεια των εμποτισμένων ξύλινων στύλων είναι φαινόμενο σύνηθες και αναπόφευκτο, τουλάχιστον κατά τον πρώτο μηνά μετά τον εμποτισμό τους.

Η μεγαλύτερη ποσότητα του κρεόζωτου συσσωρεύεται στα εξωτερικά στρώματα των εμποτισμένων στύλων. Εκτός αυτής ο αέρας ο οποίος εγκλωβίζεται στις κυτταρικές κοιλότητες του ξύλου κατά το στάδιο της αρχικής πίεσης της διαδικασίας εμποτισμού(μέθοδος του κενού κύτταρου) εκτονώνεται σταδιακά με αποτέλεσμα να συμπαρασέρνει μαζί του, ιδιαίτερα κατά το πρώτο διάστημα μετά τον εμποτισμό, κάποια ποσότητα κρεόζωτου μέχρις ότου επέλθει εξισορρόπηση των πιέσεων. Έτσι λόγω του παραπάνω φαινομένου οι εμποτισμένοι στύλοι εκρέουν και κατά συνέπεια ο χειρισμός τους λίγες μέρες μετά τον εμποτισμό τους (και ιδιαίτερα κατά τις χρονικές περιόδους υψηλών θερμοκρασιών) γίνεται δυσχερής και προβληματικός τόσο για το προσωπικό της επιχείρησης όσο και για τους εργολάβους.

Από τις μέχρι τώρα πληροφορίες, που προέρχονται από τη διασταύρωση των υποβαλλομένων στοιχείων της κατάστασης των στύλων κάθε περιοχής(έλεγχος της χρονολογίας εμποτισμού μέσω πυρογραφίας), διαπιστώθηκε ότι σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις παράπονων είχαν προηγηθεί παραλαβές φρεσκοεμποτισμένων στύλων στις αποθήκες με έντονα προβλήματα εκρών κροκωτού. Οι στύλοι αυτοί ήταν αναγκαίο (λόγω έλλειψης αποθεμάτων) να χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή των έργων άμεσα, δηλαδή λίγες μόνο μέρες μετά τον εμποτισμό τους.

Για να μειωθεί το φαινόμενο εκροής κρεόζωτου από τους στύλους με παράλληλη βελτίωση του εμποτισμού τους θα πρέπει να τηρούνται πιστά οι απαιτήσεις και τα όρια των προδιαγραφών, η διαδικασία ξήρασης των ανεμπίπτων στύλων και να γίνεται αυστηρώς έλεγχος ποιότητας των



επιτρεπομένων τύπων κρεόζωτου και των περιορισμών σε βενζο-α-πυρείο και φαινόλες που προδιαγράφονται από αυτές.

Επισημαίνεται ότι η τεχνική περιγραφή ΔΜΚΛΔ-181/10-02-95 η όποια προδιαγραφεί το κρεόζωτο, το όποιο χρησιμοποιεί ο ΔΕΔΔΕΗ για τον εμποτισμό των ξύλινων στύλων της είναι απόλυτα εναρμονισμένη με τους ευρωπαϊκούς κανονισμούς και τους περιορισμούς που καθορίζονται στην οδηγία 94/06/ΕΟΚ/20-12-94 και την εναρμονισμένη σε αυτή υπουργική απόφαση 364/1995(ΦΕΚ-1014/11-12-95) οι οποίους ισχύουν μέχρι σήμερα.

Συμφώνα με την παραπάνω αναφερόμενη Ευρωπαϊκή και Ελληνική νομοθεσία, η όποια αφορά ‘τους περιορισμούς της διάθεσης στην αγορά και της χρήσης ορισμένων επικινδύνων ουσιών και παρασκευασμάτων’, η ξυλεία υπόκειται σε εμποτισμό με κρεόζωτο και διατίθεται για πρώτη φορά στην αγορά, επιτρέπεται να χρησιμοποιείται μόνο για επαγγελματική και βιομηχανική χρήση.

Πιο συγκεκριμένα η εμποτισμένη με κροκωτό ξυλεία δεν επιτρέπεται να χρησιμοποιηθεί :

- Στο εσωτερικό κτιρίων για διακοσμητικούς ή μη λογούς ανεξάρτητα από τη χρήση τους (κατοικία, επαγγελματική στέγη, αναψυχή).
- Στην κατασκευή και τυχόν επεξεργασία δοχείων που προορίζονται για την καλλιέργεια φυτών ή συσκευασιών που μπορεί να έρθουν σε επαφή με ακατέργαστα, ημικατερασμένα η και τελικά προϊόντα προοριζόμενα για κατανάλωση από τον άνθρωπο ή και τα ζώα, ή άλλων υλικών που ενδέχεται να μολύνουν τα προϊόντα αυτά.
- Σε παιδικές χαρές και άλλους υπαίθριους χώρους δημόσιας ψυχαγωγίας ή σε άλλες περιπτώσεις κατά τις οποίες υπάρχει κίνδυνος να έλθει σε επαφή με το δέρμα.

#### **9.4 Μέτρα προστασίας των εργαζόμενων για την πρόληψη επαγγελματικών κινδύνων**

Ο χειρισμός των εμποτισμένων με κρεόζωτο ξύλινων στύλων καθίσταται ασφαλής όσο ελαχιστοποιούνται οι επαφές του εμποτισμένου ξύλου με το γυμνό δέρμα. Αυτό επιτυγχάνεται εφαρμόζοντας τα εξής:

- Για μετακίνηση, φορτοεκφόρτωση και μεταφορά των εμποτισμένων με κρεόζωτο στύλων, ξυλάδικων ακυρώσεως και βραχιόνων να γίνεται

χρήση μηχανικών μέσων και εργαλείων έτσι ώστε να μειωθεί ο όγκος των εργασιών με τα χεριά όπου αυτό είναι δυνατό.

- Οι εργαζόμενοι κατά τη διάρκεια της εργασίας να φορούν για την ασφάλεια τους τα απαραίτητα μέσα ατομικής προστασίας (ΜΑΠ) ήτοι: φόρμα εργασίας με τα μανίκια κατεβασμένα και κουμπωμένα, αρβύλα, κράνος και τα ενδεδειγμένα συνθετικά (PVC) γάντια προστασίας από το κρεόζωτο. (Κ.Α.Υ 831000417). Οι εναερίτες, κατά την αναρρίχηση τους σε φρεσκοεμποτισμένους στύλους, όταν απαιτείται, θα κάνουν χρήση των μονωτικών τους γαντιών. Τέλος κατά τους θερινός μήνες οι εργαζόμενοι ενδείκνυται να φορούν τα γυαλιά βιομηχανικής χρήσης( Κ.Α.Υ 831008155).
- Καλό πλύσιμο με νερό και σαπούνι στην περίπτωση που ο εργαζόμενος έρθει σε επαφή με το κρεόζωτο με γυμνό δέρμα(επαφή προσώπου η των χεριών με το κρεόζωτο), πριν από την κάθε λήψη φαγητού ή νερού και μετά το μέρας της εργασίας.
- Σε περίπτωση ερεθισμού του δέρματος οι εργαζόμενοι σε συνεργασία με τον τεχνικό ασφάλειας να απευθύνονται στον ιατρό εργασίας για την χορήγηση ενδεδειγμένων φαρμακευτικών αλοιφών.
- Εάν η φόρμα εργασίας λερωθεί με το κρεόζωτο να αντικαθίσταται με καθαρή και να πλένεται με ζεστό νερό και σαπούνι ξεχωριστά από την υπόλοιπη ένδυση.

Χρειάζεται συνεχής ενημέρωση που πρέπει να συνοδεύεται με ταυτόχρονη παραίτηση των εργαζομένων για αλλαγή νοοτροπίας, ενίσχυση του ενδιαφέροντος για αυτοπροστασία με υιοθέτηση των μέσων ατομικής προστασίας και των κανόνων υγιεινής σε καθημερινή βάση.

### **Βιβλιογραφία**

- [1] Προδιαγραφή ΔΕΗ GR-49, εμποτισμένοι ξύλινοι στύλοι, ξυλοδοκοί αγκυρώσεως και ξύλινοι πάσσαλοι ενισχύσεως, 10.11.81.
- [2] Προδιαγραφή ΔΕΗ GR-59 δια εμποτισμένους ξύλινους βραχίονας, 28.7.66.
- [3] Τεχνική περιγραφή ΔΕΗ, κρεόζωτο εμποτισμού ξύλινων στύλων, ξυλοδοκών και βραχιόνων, 10.02.95

- [4] Διαχείριση εμποτισμένων με κρεόζωτο ξύλινων στύλων, ΔΥΑΑΕ/4823/23.10.08
- [5] WEI/1982 - -Grade A – Specification for Coal – tar impregnating oil (Edition 1989).
- [6] AWWA – P1/P13/1991 – Standard for Coal – tar creosote for land and, fresh water and marine (coastal water) use (Edition 1994) .
- [7] AWWA - A4/1993 –Standard methods for sampling Wood Preservatives (Edition 1994).
- [8] AWWA - A1/1991 – Standard methods for analysis of creosote and oil-type preservatives (Edition 1994).
- [19] Οδηγία 94/60/ΕΟΚ/20.12.94 (14<sup>η</sup> τροποποίηση της οδηγίας 76/769/ΕΟΚ)

## **10. Πειραματική διερεύνηση διάδοσης πυρκαγιάς σε ξύλινο στύλο Χαμηλής Τάσης**

### **10.1 Σκοπός του πειράματος**

Σε όλες σχεδόν τις μεγάλες πυρκαγιές που εκδηλώνονται στην Ελλάδα και κυρίως σε δάση και αγροτικές περιοχές μεγάλες καταστροφές υφίστανται τα δίκτυα Μέσης και Χαμηλής Τάσης με ανυπολόγιστο κόστος για του ΔΕΔΔΗΕ και επομένως για την εθνική οικονομία. Όταν τα αίτια εκδήλωσης των πυρκαγιών δεν είναι απόλυτα εξακριβωμένα, οργανωμένα συμφέροντα ή και μεμονωμένα φυσικά πρόσωπα, προκειμένου να αποποιηθούν των ευθυνών τους ή ακόμα αποβλέποντας σε αποζημιώσεις, προσπαθούν με οποιοδήποτε τρόπο να αποδώσουν την έναρξη των πυρκαγιών στα δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.

Έτσι λοιπόν μια πυρκαγιά μπορεί να οφείλεται από εκδήλωση ηλεκτρικού τόξου, αναμμένο αποτσίγαρο, κάψιμο καλαμιών, ανάφλεξη παρανομών χωματερών, εξάτμιση αυτοκίνητου, ηλεκτροσυγκολλήσεων και ακόμα παρά πολλών αιτίων ή και εμπρησμών. Ανάμεσα στα ευρήματα φυσικά βρίσκονται και καμένοι στύλοι, ο όποιοι αποτελούν πειστήρια του συμβάντος και σε αρκετές περιπτώσεις λόγω της εντονότερης εικόνας καψίματος στις κορυφές τους εμφανίζονται μαρτυρίες-προφάσεις πως η πυρκαγιά ξεκίνησε από αυτούς.

Στο σημείο αυτό αξίζει να τονιστεί πως ακόμα και σε περιπτώσεις που η αίτια εκδήλωσης της πυρκαγιάς ήταν γνωστή (κάψιμο καλαμιών η ψήσιμο στην έξοχη), μετά την κατάσβεση τα συνεργεία του ΔΕΔΔΗΕ, που έκαναν περισυλλογή των καμμένων στύλων διαπίστωναν μεγαλύτερο κάψιμο-καρβούνιασμα των στύλων και των βραχιόνων στην κορυφή τους, ενώ ήταν εξακριβωμένο πως η φωτιά ξεκίνησε από το έδαφος.

Ακριβώς αυτός ο λόγος αποτέλεσε το κίνητρο, να επιχειρήσουμε πειραματικά να παρακολουθήσουμε την πορεία και εξέλιξη μιας φωτιάς σε στύλο, τοποθετημένο σε χωματερή, αλλά κυρίως μας ενδιέφερε η τελική μορφή καψίματος του στύλου μετά την κατάσβεση της. Επίσης πραγματοποιήθηκε επιθεώρηση σε περισυλλεγμένους και αντικατεστημένους, από τα συνεργεία του ΔΕΔΔΗΕ, στύλους, ώστε να γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων.

## **10.2 Συνθήκες τέλεσης του πειράματος**

### **A) 1<sup>η</sup> απόπειρα καψίματος στύλου:**

Η 1<sup>η</sup> απόπειρα καψίματος στύλου έγινε στις 11/4/2012 10:15 πμ, στην περιοχή Τριάλλων (υπό θερμοκρασία περιβάλλοντος 16 °C, υγρασία 60% και άνεμος 3 μποφόρ).

Το είδος του στύλου ήταν δασική Πεύκης (PINUS SILVESTRIS) μήκους 13 m. Ο στύλος ήταν εμποτισμένος με κρεόζωτο C και τοποθετήθηκε σε περιοχή χωματερής, έτσι ώστε με την ανάφλεξη στην βάση του να πρόκειται ουσιαστικά για αναπαράσταση συνθηκών εκδήλωσης πυρκαγιάς από το έδαφος, όπως συμβαίνει συνήθως (βλ. φωτογραφία 1 ακοιλούθως)

### **B) 2<sup>η</sup> απόπειρα καψίματος στύλου:**

Η 2<sup>η</sup> απόπειρα καψίματος στύλου έγινε στις 20/4/2012 10:15 πμ, στην περιοχή Τριάλλων (υπό θερμοκρασία περιβάλλοντος 12 °C, υγρασία 70% και άνεμος 5 μποφόρ).

Το είδος του στύλου ήταν επίσης δασική Πεύκης (PINUS SILVESTRIS) μήκους 13 m. Ο στύλος ήταν εμποτισμένος με κρεόζωτο C (όπως ο στύλος κατά το προηγούμενο πείραμα) και τοποθετήθηκε πάλι σε περιοχή χωματερής. Η ανάφλεξη έγινε σε πολλά σημεία (προσπάθεια αναπαραστάσεις συνθηκών εκδήλωσης πυρκαγιάς από πολλούς παράγοντες –βλ. φωτογραφία 2 -).



Φωτογραφία 1: ανάφλεξη στύλου από την βάση του

Αξίζει να σημειωθεί εδώ, ότι στην 2<sup>η</sup> απόπειρα ανάφλεξης στύλου έγινε επανεμποτισμός του στύλου με συντηρητικό κρεόζωτο σε μια προσπάθεια μίμησης μεγάλων εκροών. Στην περίπτωση αυτή μας ενδιέφερε η πορεία-εξέλιξη της πυρκαγιάς κυρίως από πάνω προς τα κάτω.



Φωτογραφία 2: ανάφλεξη στύλου σε πολλά σημεία

### 10.3 Επιθεώρηση στύλων

Παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον η εικόνα των περισυλλεγμένων στύλων. Χαρακτηριστικές είναι οι ακόλουθες περιπτώσεις :





Φωτογραφία 3: στύλος με εμφανή σημάδια καψίματος και σήψης λόγω πιθανής διαρροής



Φωτογραφία 4: καμμένη κορυφή στύλου πιθανης βλάβης στον επίτονο με μη διάδοση της φλογας προς τα κάτω

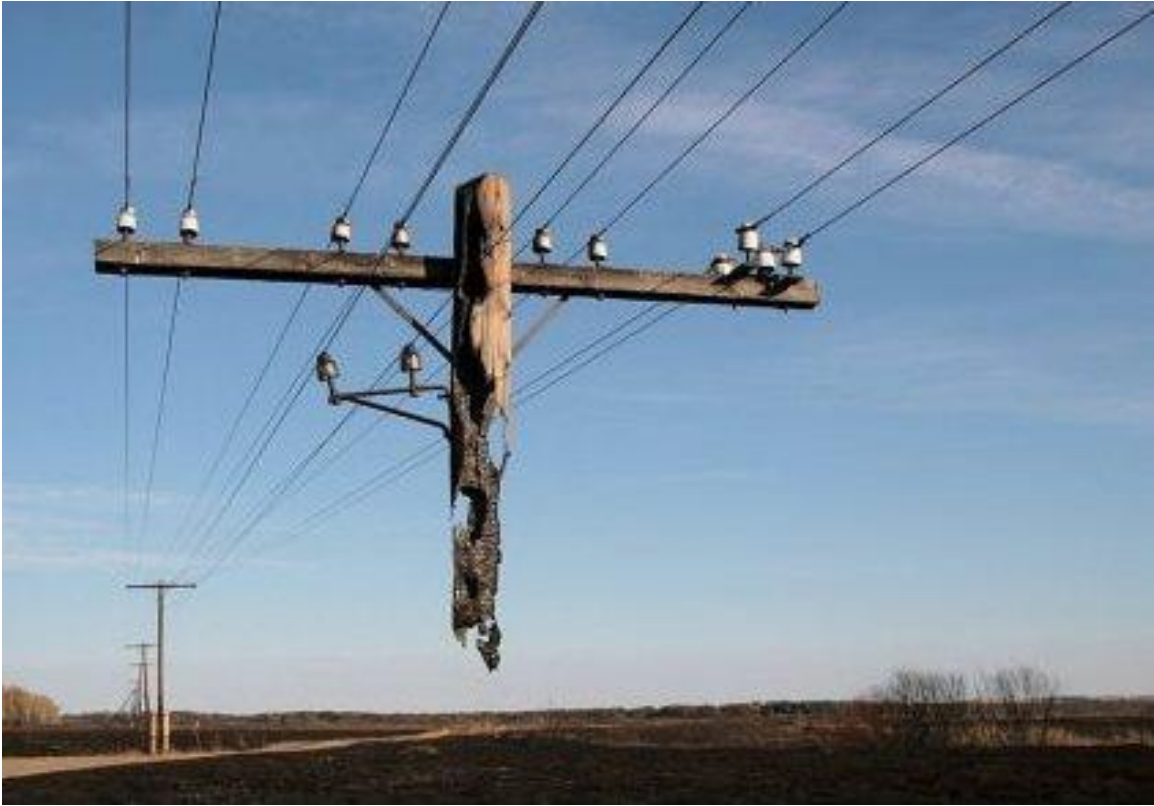


Φωτογραφία 5: στύλος με εμφανή σημάδια καψίματος και σήψης λόγω πιθανής διαρροής



Φωτογραφία 6: διάδοση φλόγας στο εγκάρσιο του στύλου





Φωτογραφία 7: περίπτωση καμμένου στύλου από το έδαφος χωρίς να διαδοθεί πλήρως προς τα πάνω η φωτιά

#### **10.4 Συμπεράσματα από τα πειράματα ανάφλεξης δυο στύλων**

Και στις δυο περιπτώσεις διεξαγωγής του πειράματος οι καιρικές συνθήκες δεν επέτρεψαν την ολοκλήρωση του καψίματος του στύλου, ώστε να εξαχθούν πλήρη και ασφαλή συμπεράσματα. Αυτό αρχικά σημαίνει πως δεν είναι εύκολη η διάδοση μιας πυρκαγιάς σε ένα στύλο (είτε προς τα πάνω είτε προς τα κάτω), όταν αυτός πληρεί όλες τις προδιαγραφές, ιδίως αν δεν υπάρχουν οι ανάλογες καιρικές συνθήκες και συνεχής (αυξημένης θερμοκρασίας) φλόγα. Πάντως παρατηρήθηκε τάση ταχείας πορείας της φλόγας προς την κορυφή του στύλου και όχι το αντίθετο. Αυτό είναι ένα λογικό συμπέρασμα, αν αναλογιστούμε την διάταξη του στύλου, όπως έχει περιγράψει στο προηγούμενο κεφάλαιο (λεπτότερη κορυφή, εμποτισμός), καθώς και την γεωμετρία και φυσική κίνηση της φλόγας προς τα πάνω.

Επισημαίνεται ότι, από την επιθεώρηση που ακλούθησε στους περισυλλεγμένους καμένους στύλους διαπιστώθηκε πως όλοι έφεραν παραπλήσια εικόνα καρβουνιάσματος μετά από πολλές ώρες καψίματος. Αντίθετα στύλοι προερχόμενοι από περιπτώσεις τυχόν σφαλμάτων στη γραμμές μεταφοράς έφεραν οπές και ρωγμές, πράγμα που σημαίνει ότι είχαν ήδη αντικατασταθεί από τα συνεργεία συντήρησης.

**Συμπερασματικά αποδείχθηκε και πειραματικά πως η εικόνα καρβουνιάσματος ενός στύλου δεν μπορεί να αποτελέσει ασφαλές τεκμήριο για τα αίτια εκδήλωσης μια πυρκαγιάς.**

## Βιβλιογραφία

- [1] Μπούρκας Π.Δ., Καραγιαννόπουλος Κ.Γ., Βιομηχανικές ηλεκτρικές διατάξεις και υλικά, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 2003.
- [2] P.D. Bourkas, C.G. Karagiannopoulos, P.T. Tsarabaris, Experimental Investigation of Short Circuit Condition in Low Voltage Distribution Networks, Proceedings of the Eighth International Conference POWER AND ENERGY SYSTEMS (EuroPES 2008) June 23-25, 2008 Corfu, Greece, p.p. 297-302.
- [3] Halevidis C.D., Anagnostatos S.D., Polykrati A.D., Koufakis E.I., Bourkas P.D., Proposal of a protection method against probable consequences to humans and the environment from short-circuit or abruption, , IET, Generation, Transmission & Distribution, IET, 4 (2010) 793-800.
- [4] Μπούρκας Π. Δ., Ασκήσεις Βιομηχανικών και Κτιριακών Εγκαταστάσεων, ΕΜΠ, Αθήνα 2008
- [5] Το υπ' αριθ, 1245/2007/ΕΑΘ Πιστοποιητικό Δοκιμών του Κέντρου Δοκιμών της ΔΕΗ (ΚΔΕΠ) με θέμα: Διερεύνηση της συμπεριφοράς αγώγιμης γεφύρωσης δύο αγωγών 50 mm<sup>2</sup> από αλουμίνιο, για ρεύμα βραχυκύκλωσης 880 Α, όταν ισχύει η συνθήκη βραχυκύκλωσης.
- [6] Το υπ' αριθ, 1244/2007/ΕΑΘ Πιστοποιητικό Δοκιμών του Κέντρου Δοκιμών της ΔΕΗ (ΚΔΕΠ) με θέμα: Διερεύνηση της συμπεριφοράς αγώγιμης γεφύρωσης δύο αγωγών 50 mm<sup>2</sup> από αλουμίνιο, για ρεύμα βραχυκύκλωσης 2850Α, όταν ισχύει η συνθήκη βραχυκύκλωσης
- [7] Το υπ' αριθ, 1244/2007/ΕΑΘ Πιστοποιητικό Δοκιμών του Κέντρου Δοκιμών της ΔΕΗ (ΚΔΕΠ) με θέμα: Διερεύνηση της συμπεριφοράς αγώγιμης γεφύρωσης δύο αγωγών 50 mm<sup>2</sup> από αλουμίνιο, για ρεύμα βραχυκύκλωσης 240 Α, όταν ισχύει η συνθήκη βραχυκύκλωσης
- [8] Το υπ' αριθ, 1244/2007/ΕΑΘ Πιστοποιητικό Δοκιμών του Κέντρου Δοκιμών της ΔΕΗ (ΚΔΕΠ) με θέμα: Διερεύνηση της συμπεριφοράς αγώγιμης γεφύρωσης δύο αγωγών 35 mm<sup>2</sup> από αλουμίνιο, για ρεύμα βραχυκύκλωσης 240 Α, όταν ισχύει η συνθήκη βραχυκύκλωσης
- [9] Το υπ' αριθ. 123/3-7-1999 Πιστοποιητικό Δοκιμών του Κέντρο Δοκιμών της ΔΕΗ (ΚΔΕΠ) με θέμα: Διαλείποντα βραχυκυκλώματα
- [10] Σμιτζής Α., Προσδιορισμός της θερμικής καταπόνησης των γυμνών αγωγών και των συνεστραμμένων καλωδίων του δικτύου χαμηλής τάσης κατά το βραχυκύκλωμα, Διπλωματική Εργασία στη Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Ε.Μ. Πολυτεχνείου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2008.

- [11] Ψαρρός Ε. Γ., Υπαίθριες γραμμές διανομής χαμηλής τάσης σε περιβάλλον πυρκαγιών, Διδακτορική Διατριβή, ΕΜΠ, Αθήνα 2009
- [12] Psarros E.G., Polykrati A.D., Karagiannopoulos C.G., Bourkas P.D., A model for calculating the temperature of aluminium particles ejected from overhead voltage lines due to short-circuit, *International Journal of Wildland Fire*, 2009, 18, 722-726.
- [13] Πείραμα ΕΜΠ για τήγματα αλουμινίου διαμέτρου 0,5mm και 1mm, 2008.
- [14] Quintiere J.G., *Principles of Fire Behaviour*, Delmar Publishers, 1998.
- [15] *Quantitative Fire Hazard Analysis Methods for U.S. Nuclear Regulatory Commission Fire protection Programme, Final Report, Division of System Safety and Analysis Office of Nuclear Reactor Regulation U.S. Nuclear Regulatory Commission Washington, DC 20555-0001, 2004.*
- [16] Thomas P.H., *The Size of Flames from Nature Fires, Nine Symposium (International) on Combustion, The Combustion Institute, Pittsburgh, Pennsylvania, p.p. 844-859, 1962.*
- [17] Heskestad G., *Flame Heights of Fuel Arrays With Combustion in Depth, Proceedings of the Fifth International Symposium of Fire Safety Science, International Association of Fire Safety Science, p.p. 427-438, 1997.*
- [18] Heskestad G., *Fire Plumes, Section 2, Chapter 2-2, SEPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2<sup>nd</sup> Edition, P.J. DiNenno, Editor-in-Chief, National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts, 1995.*
- [19] Αντωνόπουλος Γ.Χ. (τέως Αρχηγός Πυροσβεστικού Σώματος), *Μαθήματα Πυροσβεστικής Τέχνης, Εκδόσεις Αρχηγείου Πυροσβεστικού Σώματος, Αθήνα 1994.*
- [20] Philippow E., *Taschenbuch Elektrotechnik, Band I, Grundlagen, VEB Verlag Technik, Berlin 1968.*
- [21] Phillipow E., *Taschenbuch Elektrotechnik, Band 2 Starkstromtechni VEB VERLAG TECHNIK BERLIN, 1966*
- [22] Lupfert H., *Metallische Werkstoffe, C.F. Winter'sche Verlagshandlung Prien, 1958.*
- [23] Τριβέλλας Π., *Μυστικά για το σωστό φυσίγγι, Τύπος Κυνήγι και Ψάρεμα,*
- [24] *Κυνήγι στην Ελλάδα-Hunter.Gr, <http://www.hunter.gr/>, 1-6-2005.*
- [25] *Taschenbuch Electrotechnik, Europa Lehrmittel p250-256, Europa Nr 30103..*
- [26] *Hutte Band II, Berlin 1954, p635.*
- [27] Holm R, *Electric Contacts Theory and Applications, Springer Verlag 4<sup>th</sup> Edition, Berlin 1979.*
- [28] Χαλεβίδης Κ.Δ., Κουφάκης Ε.Ι., Μπούρκας Π.Δ., *Συστήματα προστασίας έναντι διακυμάνσεων της τάσεως και αποκοπής αγωγού (φάσεως ή ουδετέρου) σε γραμμές χαμηλής τάσης, Ελληνική*

- Επιτροπή Cigre, Σύνοδος "Αθήνα 2011", 15 & 16 Δεκεμβρίου 2011, σελ. 1-12
- [29] Babrauskas, V., 'Fires due to Electric Arcing: Can "Cause" Beads Be Distinguished from "Victim" Beads by Physical or Chemical Testing' pp. 189-201, Fire and Materials, Interscience Communications Ltd., London, 2003
- [30] Shaw, C. E., 'Fire Marshals on Duty', NFPA J. 59, 1965, pp. 26-27, pp. 96-97
- [31] Takaki, A., 'On the effect of Thermal Histories upon the Metallographic Structure of Electric Wires', Reports of the National Research Institute of Police Science-Research on Forensic Science 24:2, 1971, pp. 48-56
- [32] Levinson, D. W., 'Copper Metallurgy as a Diagnostic Tool for Analysis of the Origin of Building Fires', Fire Technology 13, 1977, pp. 211-222
- [33] Ettling, B. V., 'Electrical Wiring in Building Fires', Fire Technology 14, 1978, pp. 317-325
- [34] 'Did the Short Cause the Fire or Did the Fire Cause the Short?' Fire & Arson Investigator 30:1, 1979, pp. 57-58
- [35] MacCleary, R. C., and Thaman, R. N., 'Method for Use in Fire Investigation', US Patent 4,182,959, 1980
- [36] Oba, K., 'Identification of Melting Marks of Electric Wires (unpublished report)', Yamagata Prefecture Police Headquarters, Criminal Scientific Laboratory, Japan, 1980
- [37] Gray, D. A., Drysdale, D. D., and Lewis, F. A. S., 'Identification of Electrical Sources of Ignition in Fires', Fire Safety J. 6, 1983, pp. 147-150
- [38] Erlandsson, R., and Strand, G., 'An Investigation of Physical Characteristics Indicating Primary or Secondary Electrical Damage', Fire Safety J. 8, 1984/85, pp. 97-103
- [39] Singh, R. P. 'Scanning Electron Microscopy of Burnt Electric Wires', Scanning Microscopy 1:4, 1987, pp. 1539-1544
- [40] Robertsson, A., Karlsson, S. E., Strand, G., and Nilsson, G., 'Smaltskador pa elektriska ledare [Melt Damages on Electric Wires] (Rapport 20)', Centrum for Forensisk Vetenskap, Linkoping, Sweden, 1988
- [41] Anderson, R. N., 'Surface Analysis of Electrical Arc Residues in Fire', Investigation, J. Forensic Sciences 34, 1989, pp. 633-637
- [42] Ishibashi, Y., and Kishida, J., 'Research on First and Second Fused Mark Discrimination of Electric Wires' Annual Mtg. Japan Assn. for Fire Science and Engrg., 1990, pp. 83-90
- [43] Massalski, T. B., ed., 'Binary Alloy Phase Diagrams', 2nd ed., ASM International, Materials Park OH, 1990

- [44] Anderson, R. N., 'Scientific Examination of Electrical Arc Residues to Determinate Fire Cause', *Fire and Arson Investigator* 42:3, 1992, pp. 58-59
- [45] Masui, M., 'Possibility of Carbon Inclusion in the Molten Mark of Polyvinyl Chloride Insulated Cords due to a Fire', *Trans. IEE Japan* 112A:1, 1992, pp. 78-79
- [46] Anderson, R. N., Brosz, H. G., Posey, E., and Schefelbein, B., 'Recent Advances in Auger Analysis of Electrical Arc Residues', in 13th Meeting, Intl. Assn. of Forensic Sciences, 1993, pp. 162-166
- [47] Anderson, R. N., 'Letter to the Editor', *Fire and Arson Investigator* 45:2, 44-45, 1994
- [48] Beland, B., 'Examination of Arc Beads', *Fire and Arson Investigator* 44:4, 1994, pp. 20-22
- [49] Metson, J. B., and Hobbis, C. M., 'The Use of Auger Electron Spectroscopy in Fire Investigations', *Chemistry in New Zealand* 1994, pp. 7-9
- [50] Mitsuhashi, N., 'Discrimination between Primary and Secondary Arc Marks on Electric Wires by Microvoid Distribution', *Reports of the National Research Institute of Police Science* 48:1, 1995, pp. 20-26
- [51] Anderson, R. N., 'Which Came First...The Arcing or the Fire? Review of Auger Analysis of Electrical Arc Residues', *Fire and Arson Investigator* 46:3, 1996, pp. 38-40
- [52] Satoh, K., Sugisaki, M., Kakizaki, S., Itoh, C., Saitoh, K., and Iwaki, M., 'Secondary Ion Mass Spectroscopy (SIMS) and Auger Electron Spectroscopy (AES) Applied to the Fire Investigation for Short Circuit', in *Proc. 1996 Annual Mtg. of Japan Assn. for Fire Science and Engrg.*, 1996, pp. 282-285
- [53] Beland, B., 'Further Comments on Arc Bead Examination', *The Fire Place [Washington State IAAI Chapter newsletter]*, 1997, pp. 24-28
- [54] Ettl, B. V., 'Problems with Surface Analysis of Copper Beads Applied to the Time of Arcing', *The Fire Place [Washington State IAAI Chapter newsletter]*, 1997, pp. 21-24
- [55] Howitt, D. G., 'The Surface Analysis of Copper Arc Beads-A Critical Review', *J Forensic Science* 42, 1997, pp. 608-609
- [56] Henderson, R., Manning, C., and Barnhill, S., 'Questions Concerning the Use of Carbon Content to Identify "Cause" vs. "Result" Beads in Fire Investigations', *Fire and Arson Investigator* 48:3, 1998, pp. 26-27
- [57] Hirt, D., 'Letter to the Editor: At Best "Junk Science" and at Worst Deliberately Misleading', *Fire and Arson Investigator* 48: 4, 5, 63, 1998

- [58] Howitt, D. G., 'The Chemical Composition of Copper Arc Beads-A Red Herring for the Fire Investigator', *Fire and Arson Investigator* 48:3, 1998, pp. 34-39
- [59] Reese, N. D., 'Letter to the Editor: Arc Beads, *Fire and Arson Investigator*' 48:4, 1998, pp. 63-64
- [60] Satoh, K., Fukusima, H., Sigeru, S., and Iwaki, M., 'Verification SIMS Applied to the Fire Investigation for Short Circuit', in *Proc.1998 Annual Mtg. of Japan Assn. for Fire Science and Engrg.*, 1998, pp. 336-336
- [61] Lee, E.-P., et al., 'Discrimination between Primary and Secondary on Electric Wires by DAS', *J. Applied Fire Science* 9, 1999/2000, pp. 361-379
- [62] Lee, E., Ohtani, H., Marsubara, Y., Seki, T., Hasegawa, H., and Imada, S., 'Study on Primary and Secondary Molten Marks', in *Proc. 1st Conf. Assn. Korean Japanese Safety Engineering Society, Korean Institute for Industrial Safety*, 1999, pp. 209-212
- [63] Miyoshi, S., 'Internal Cavity Analysis of Electrical Arc Beads', presented at 15th Mtg. Intl. Assn. of Forensic Sciences, Los Angeles, 1999
- [64] *VFW Posts & Commercial Union Insurance vs. Western States Construction, Inc.*, Case No. 95L15808, 12th Judicial Circuit, Will County, Illinois, 1999
- [65] Miyoshi, S., 'Internal Cavity Analysis of Electrical Arc Beads', in *Proc. 4th Asia-Oceania Symp. on Fire Science & Technology, Asia-Oceania Assn. for Fire Science and Technology/Japan Assn. for Fire Science & Engineering*, Tokyo, 2000, pp. 653-656
- [66] Seki, T., Hasegawa, H., Imada, S., and Isao, Y., 'Determination between Primary and Secondary Molten Marks on Electric Wires by DAS', National Institute of Testing and Evaluation, Kiryu, Gunma, Japan, 2000
- [67] Anderson R. N., 'What Came First? The Arc Bead or the Fire?', *EC&N* 100, 2001, pp.20-21
- [68] Fitz, M.M., MDE Engineers, private communication, 2001
- [69] *Guide for Fire and Explosion Investigations (NFPA 921)*, Natl. Fire Protection Assn., Quincy MA, 2001
- [70] Kattner, U. R., NIST, private communication, 2001
- [71] Kitamura, Y., and Satoh, K., 'Progress of the Study on Electrical Beads (No. 2)', *Japanese J. Science and Technology for Identification* 6, Suppl., 105, 2001
- [72] Lee, E.-P., Ohtani, H., Marsubara, Y., Seki, T., Hasegawa, H., Imada, S., and Yashiro, I., 'Study on Discrimination between Primary and Secondary Molten Marks Using Carbonized Residue', *Fire Safety J.* 37, 2002, pp. 353-368

- [73] Tokyo Fire Department, ‘Investigation Section, Research on First and Second Fused Mark Discrimination of Electric Wires’, J. Japan Assn. for Fire Science
- [74] Γρηγοράκης Ι., ‘Βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετικά με τη δημιουργία τηγμάτων λόγω ηλεκτρικού τόξου και τηγμάτων λόγω πυρκαγιάς’, ΕΜΠ, Αθήνα, 2008
- [75] Προδιαγραφή ΔΕΗ GR-59 δια μονωτήρας επιτόνων, 12.12.67.
- [76] ΔΕΗ Γενική Διεύθυνση Διανομής, οδηγία διανομής Νο 10 ΔΕΔ/ΤΤΕ Ε-2
- [77] ΔΕΗ Διεύθυνση Ανθρώπινου Δυναμικού Διανομής, Μελέτες δικτύων διανομής
- [78] ΔΕΗ Διεύθυνση Προμηθειών, Σημείωμα ενημερωτικό (παρατηρησεις επι της προδιαγραφης GR-49 για ξύλινους στύλους), 17.6.1982
- [79] Β. Κ. Παπαδιάς, Γραμμες μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας (μόνιμη κατάσταση λειτουργίας), Αθήνα 1999
- [80] Προδιαγραφή ΔΕΗ GR-49, εμποτισμένοι ξύλινοι στύλοι, ξυλοδοκοί αγκυρώσεως και ξύλινοι πάσσαλοι ενισχύσεως, 10.11.81.
- [81] Προδιαγραφή ΔΕΗ GR-59 δια εμποτισμένους ξύλινους βραχίονας, 28.7.66.
- [82] Τεχνική περιγραφή ΔΕΗ, κρεόζωτο εμποτισμού ξύλινων στύλων, ξυλοδοκών και βραχιόνων, 10.02.95
- [83] Διαχείριση εμποτισμένων με κρεόζωτο ξύλινων στύλων, ΔΥΑΑΕ/4823 23.10.08
- [84] WEI/1982 - -Grade A Specification for Coal – tar impregnating oil (Edition 1989).
- [85] AWWA – P1/P13/1991 – Standard for Coal – tar creosote for land and, fresh water and marine (coastal water) use (Edition 1994) .
- [86] AWWA - A4/1993 –Standard methods for sampling Wood Preservatives (Edition 1994).
- [87] AWWA - A1/1991 – Standard methods for analysis of creosote and oil-type preservatives (Edition 1994).
- [88] Οδηγία 94/60/ΕΟΚ/20.12.94, 14<sup>η</sup> τροποποίηση της οδηγίας 76/769/ΕΟΚ