



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ & ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

## **Διπλωματική Εργασία**

**Επίδραση των πυρκαγιών και του καπνού στην ανάπτυξη και εμφάνιση  
βραχυκυκλωμάτων και δευτερογενών πυρκαγιών σε δίκτυα μεταφοράς και  
διανομής ηλεκτρικής ενέργειας**



**Φοιτητής: Κωνσταντίνος Τάτος**  
**ΑΜ: 18387150**

**Επιβλέπων Καθηγητής**

**Δρ. Κ. Σ. Ψωμόπουλος, Καθηγητής**  
**Διευθυντής Ερευνητικού Εργαστηρίου**  
**Υψηλών Τάσεων & Ενεργειακών Συστημάτων**

**ΑΘΗΝΑ-ΑΙΓΑΛΕΩ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2024**



**UNIVERSITY OF WEST ATTICA**  
**FACULTY OF ENGINEERING**  
**DEPARTMENT OF ELECTRICAL & ELECTRONICS ENGINEERING**

## **Diploma Thesis**

### **Impact of fires and smoke on the development and occurrence of short circuits and secondary fires in electricity transmission and distribution networks**



**Student: Konstantinos Tatos**  
**Registration Number: 18387150**

#### **Supervisor**

**Constantinos S. Psomopoulos, Ph.D, MIET**  
**Professor, University of West Attica**  
**Dept. of Electrical and Electronics Engineering**  
**Director High Voltage and Energy Systems Research Lab**  
**EU Climate Pact Ambassador**

**ATHENS-EGALEO, MARCH 2024**

Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

Κωνσταντίνος Ψωμόπουλος, Καθηγητής ΤΗΗΜ	Νικόλαος Μανουσάκης, Αν. Καθηγητής ΤΗΗΜ	Κωνσταντίνος Καλκάνης, Επ. Καθηγητής ΤΗΗΜ
(Υπογραφή)	(Υπογραφή)	(Υπογραφή)

Copyright © Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ και ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΤΑΤΟΣ,  
Φεβρουάριος, 2024**

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον/την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

**ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος .....**ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΤΑΤΟΣ**.... του ...**ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΥ**....., με αριθμό μητρώου ...**18387150**..... φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ του Τμήματος ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ,

**δηλώνω υπεύθυνα ότι:**

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου.

Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι ...**ΕΠ'ΑΟΡΙΣΤΟΝ**..... και έπειτα από αίτησή μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντος καθηγητή.»

Ο Δηλών  
**ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΤΑΤΟΣ**



*Επίδραση των πυρκαγιών και του καπνού στην ανάπτυξη και εμφάνιση βραχυκυκλωμάτων και δευτερογενών πυρκαγιών σε δίκτυα μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας*

*Στην οικογένεια μου και στο κορίτσι μου,  
που δεν είναι απλώς κάτι σπουδαίο,  
είναι το πιο υπέροχο καταφύγιό μου!*

*«Στη μνήμη του αγαπημένου μου  
Παππού ΣΑΡΑΝΤΟΥ..!»  
31/03/1937 ~ 26/06/2023*

*Επίδραση των πυρκαγιών και του καπνού στην ανάπτυξη και εμφάνιση βραχυκυκλωμάτων και δευτερογενών πυρκαγιών σε δίκτυα μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας*

*Ευχαριστώ θερμά τον καθηγητή  
κ. Ψωμόπουλο Κωνσταντίνο  
για τη βοήθειά του,  
σε πάσης φύσεως απορίες και  
στην εμβάθυνση του θέματος!*

## **Περίληψη**

Στη σύγχρονη εποχή, παρατηρείται σημαντική αύξηση των πυρκαγιών που προκαλούνται σε ένα δίκτυο μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας παγκοσμίως. Οι συγκεκριμένες πυρκαγιές οφείλονται κυρίως στην ύπαρξη βραχυκυκλωμάτων και δευτερογενών παραγόντων, εξαιτίας του καπνού που αναπτύσσεται πάνω από το έδαφος. Αυτό έχει ως συνέπεια, η φωτιά να θερμαίνει συνεχώς τον αέρα με αποτέλεσμα να αυξάνει την πιθανότητα διάσπασης. Ο καπνός, που αποτελείται από σωματίδια άνθρακα, δημιουργεί αγωγίμους δρόμους μεταξύ των γραμμών μεταφοράς καθώς και των γραμμών με του εδάφους. Ο καπνός σε συνδυασμό με την θερμότητα που δημιουργείται, μειώνουν τη διηλεκτρική αντοχή, αυξάνουν ολοένα και περισσότερο το βέλος γραμμής κάμψης και διασπάται το κενό αέρα. Στη συγκεκριμένη εργασία, αναλύονται αρχικά οι αιτίες, οι επιπτώσεις των πυρκαγιών και ο τρόπος πρόληψης και αντιμετώπισής τους με τη βοήθεια επιστημονικών ερευνών που εξειδικεύονται στα προαναφερόμενα ζητήματα. Επίσης, γίνεται αναφορά στην έννοια του βραχυκυκλώματος, του δικτύου μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας και την πρόκληση φωτιάς από σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Η ανάλυση αυτή έχει ως στόχο την επεξήγηση και την περαιτέρω ένταξή τους στο κύριο θέμα της εργασίας. Ακόμη, εξάγονται συμπεράσματα για τον τρόπο εμφάνισης βραχυκυκλωμάτων σε αυτά τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας και παρουσιάζονται οι επιπτώσεις των πυρκαγιών στις γραμμές μεταφοράς. Επιπρόσθετα, εξετάζεται ο τρόπος με τον οποίο η φωτιά θερμαίνει τον αέρα, τα συστατικά του καπνού που δημιουργείται και πώς αυτός καταστρέφει τα στρώματα μόνωσης και το πώς επιδρά η πυρκαγιά στον πυλώνα μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης, προσδιορίζονται διαδοχικά και επιπλέον παράγοντες που συμβάλλουν στην ύπαρξη πυρκαγιών και καπνού και αναφέρονται οι συνέπειες που δημιουργούνται. Παράλληλα με την θεωρητική ανάλυση του φαινομένου, ακολουθεί η πειραματική διαδικασία – μοντελοποίηση, που μας οδηγεί στην εξαγωγή πολύ χρήσιμων συμπερασμάτων για μελλοντικές διαδικασίες και έρευνα. ]

## **Λέξεις – κλειδιά**

**FIRES EFFECTS-PREVENTION MEASURES, OCCURRENCE OF SHORT CIRCUITS, IMPACT OF FIRES ON TRANSMISSION LINES, FIRE HEATS THE AIR, COMPONENTS OF FIRE SMOKE, THERMAL STRESS ON POWER TRANSMISSION LINES, FIRE ON POWER TRANSMISSION AND DISTRIBUTION PYLON, FIRE SMOKE REDUCE INSULATION, MECHANICAL STRESS CAUSED BY THE FIRE**

## **Abstract**

[ In modern times, there is a significant increase in fires caused in an electricity transmission and distribution network worldwide. These fires are mainly due to the existence of short circuits and secondary factors, due to smoke growing above the ground. As a result, the fire continuously heats the air, increasing the possibility of decomposition. Smoke, composed of carbon particles, creates conductive paths between transmission lines as well as ground lines. The smoke combined with the heat generated, reduces the dielectric strength, increasingly increases the bend line arrow and the air gap breaks down. In this work, the causes, the effects of fires and the way to prevent and deal with them are first analyzed with the help of scientific research that specializes in the aforementioned issues. Also, reference is made to the concept of short-circuiting, the transmission and distribution network of electricity and the cause of fire by an electricity system. This analysis aims to explain and further integrate them into the main topic of the work. Furthermore, conclusions are drawn on how short circuits occur in these power systems and the effects of fires on transmission lines are presented. In addition, it examines how the fire heats the air, the components of the generated smoke and how it destroys the layers of insulation, and how the fire affects the transmission and distribution pylon of electricity. Also, additional factors that contribute to the existence of fires and smoke are successively identified and the consequences created are mentioned. In parallel to the theoretical analysis of the phenomenon, follows the experimental process - modeling, this leads us to draw very useful conclusions for future processes and research.

## **Keywords**

**FIRES EFFECTS-PREVENTION MEASURES, OCCURRENCE OF SHORT CIRCUITS, IMPACT OF FIRES ON TRANSMISSION LINES, FIRE HEATS THE AIR, COMPONENTS OF FIRE SMOKE, THERMAL STRESS ON POWER TRANSMISSION LINES, FIRE ON POWER TRANSMISSION AND DISTRIBUTION PYLON, FIRE SMOKE REDUCE INSULATION, MECHANICAL STRESS CAUSED BY THE FIRE**



## Περιεχόμενα

Κατάλογος Πινάκων.....	12
Κατάλογος Διαγραμμάτων .....	14
Κατάλογος Εικόνων .....	15
Αλφαβητικό Ευρετήριο.....	19
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>21</b>
Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας .....	23
Σκοπός και στόχοι .....	23
Μεθοδολογία.....	23
Καινοτομία.....	23
Δομή.....	24
<b>1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> : Το φαινόμενο των πυρκαγιών παγκοσμίως και η μελέτη του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας .....</b>	<b>25</b>
<b>1.1 Οι ιδιότητες και η χρησιμότητα της φωτιάς .....</b>	<b>26</b>
<b>1.2 Η έννοια της πυρκαγιάς και η σημασία της στη φύση .....</b>	<b>26</b>
1.2.1 Ο ορισμός της πυρκαγιάς.....	27
1.2.2 Τα είδη ανάπτυξης των πυρκαγιών στην ύπαιθρο .....	27
1.2.3 Ο τρόπος εξάπλωσης της πυρκαγιάς.....	29
1.2.4 Τα προτερήματα της πυρκαγιάς.....	30
<b>1.3 Το ζήτημα των δασικών πυρκαγιών .....</b>	<b>30</b>
1.3.1 Η διασπορά των δασικών πυρκαγιών παγκοσμίως.....	31
1.3.2 Οι παράγοντες που επηρεάζουν τις δασικές πυρκαγιές .....	32
<b>1.4 Οι επιπτώσεις των δασικών πυρκαγιών .....</b>	<b>33</b>
1.4.1 Οι επιπτώσεις στον τομέα της ανθρώπινης υγείας .....	33
1.4.2 Οι επιπτώσεις στον τομέα της χλωρίδας και της πανίδας.....	34
1.4.3 Οι επιπτώσεις στον τομέα του εδάφους.....	34
1.4.4 Οι επιπτώσεις στον τομέα της ατμόσφαιρας.....	34
1.4.5 Οι επιπτώσεις στον τομέα της οικονομίας.....	35
<b>1.5 Οι τρόποι αντιμετώπισης και η φυσική κατάληξη ύστερα από μια δασική πυρκαγιά.....</b>	<b>36</b>
<b>1.6 Η ανάλυση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.....</b>	<b>39</b>
1.6.1 Αποσαφηνίζοντας συνολικά την ηλεκτρική ενέργεια.....	39
1.6.2 Ο ορισμός του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας .....	40
<b>1.7 Η σύγκριση μεταξύ μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας .....</b>	<b>41</b>
<b>1.8 Η περιγραφή των γραμμών μεταφοράς ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας .....</b>	<b>42</b>
<b>1.9 Τα χαρακτηριστικά των γραμμών μεταφοράς.....</b>	<b>43</b>
1.9.1 Τα είδη των γραμμών μεταφοράς.....	44
1.9.1.1 Οι μικρού μήκους γραμμές μεταφοράς.....	44
1.9.1.2 Οι μεσαίου μήκους γραμμές μεταφοράς.....	45
1.9.1.3 Οι μεγάλου μήκους γραμμές μεταφοράς .....	45
1.9.2 Ο μηχανικός σχεδιασμός των γραμμών μεταφοράς .....	46
<b>2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> : Η έννοια του βραχυκυκλώματος και η πρόκληση ηλεκτρικής πυρκαγιάς...48</b>	<b>48</b>
<b>2.1 Το νόημα του ηλεκτρικού βραχυκυκλώματος.....</b>	<b>49</b>
<b>2.2 Τα είδη του βραχυκυκλώματος.....</b>	<b>50</b>
<b>2.3 Οι αιτίες προέλευσης του βραχυκυκλώματος.....</b>	<b>52</b>
<b>2.4 Οι συνέπειες και η αρνητική επίδραση του βραχυκυκλώματος .....</b>	<b>54</b>
<b>2.5 Οι μέθοδοι πρόληψης του βραχυκυκλώματος.....</b>	<b>55</b>
<b>2.6 Ο συσχετισμός μεταξύ πυρκαγιάς και ενός ηλεκτρικού συστήματος.....</b>	<b>56</b>
2.6.1 Η ανάλυση της ηλεκτρικής πυρκαγιάς .....	56
2.6.2 Ο τρόπος επέκτασης της ηλεκτρικής πυρκαγιάς.....	57
<b>2.7 Τα αίτια των ηλεκτρολογικών πυρκαγιών .....</b>	<b>58</b>

2.7.1	Η λανθασμένη συντήρηση.....	58
2.7.2	Ο μακροχρόνιος και φθαρμένος εξοπλισμός.....	58
2.7.3	Η μη τήρηση των κωδίκων ασφαλείας.....	59
2.7.4	Οι ηλεκτρικοί πίνακες και οι διακόπτες του κυκλώματος.....	59
2.7.5	Η ελαττωματική καλωδίωση.....	59
2.8	Ο τρόπος αντιμετώπισης της ηλεκτρικής πυρκαγιάς.....	60
2.9	Η αποτίμηση των γραμμών μεταφοράς στις αξίες των ακινήτων.....	60
3	<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> : Η ανάπτυξη πυρκαγιάς εξαιτίας της εμφάνισης βραχυκυκλώματος σε σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας.....</b>	<b>62</b>
3.1	Η προσέγγιση της θέσης βραχυκυκλώματος σε γραμμές μεταφοράς.....	62
3.1.1	Τα κριτήρια εντοπισμού ενός βραχυκυκλώματος σε γραμμές μεταφοράς.....	64
3.2	Ο διασκορπισμός σωματιδίων αλουμινίου από εναέριες γραμμές χαμηλής τάσης και ο προσδιορισμός της θερμοκρασίας τους εξαιτίας βραχυκυκλώματος.....	66
3.3	Η προστασία του ανθρώπου και του περιβάλλοντος από βραχυκύκλωμα σε δίκτυο διανομής χαμηλής τάσης.....	70
3.4	Ο έλεγχος των θερμικών τάσεων και των διηλεκτρικών φαινομένων σε πυρκαγιές δικτύων διανομής από βραχυκύκλωμα.....	75
3.4.1	Η θερμική καταπόνηση του αγωγού λόγω πυρκαγιάς.....	76
3.4.2	Ο υπολογισμός της θερμικής καταπόνησης αγωγών υπό βραχυκύκλωμα.....	77
3.5	Τα θερμικά χαρακτηριστικά των αγωγών σε συνθήκες βραχυκυκλώματος.....	79
3.6	Η άνοδος θερμοκρασίας ενός αγωγού εναέριας γραμμής σε περιβάλλον πυρκαγιάς εξαιτίας βραχυκυκλώματος.....	84
3.7	Η επίδραση των θερμικών φαινομένων εξαιτίας βραχυκυκλώματος σε ηλεκτρική πυρκαγιά.....	89
3.8	Τα παραγόμενα σωματίδια που οφείλονται στη σύγκρουση των αγωγών μιας εναέριας γραμμής υπό βραχυκύκλωμα.....	91
4	<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> : Οι επιπτώσεις μιας πυρκαγιάς στους πυλώνες των γραμμών μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.....</b>	<b>95</b>
4.1	Η πρόκληση πυρκαγιάς εξαιτίας ηλεκτρικών τόξων σε γραμμές μεταφοράς.....	96
4.1.1	Το θεώρημα της μειωμένης πυκνότητας αέρα.....	96
4.1.2	Ο συνδυασμός θερμοκρασίας και αγωγιμότητας σε πυρκαγιά.....	97
4.2	Οι γραμμές υψηλής τάσης σε περιβάλλον πυρκαγιάς.....	100
4.3	Η ανίχνευση πυρκαγιάς εξαιτίας μεταλλικών σωματιδίων που αναπτύσσονται σε ηλεκτρικές γραμμές από έντονους ανέμους.....	103
4.4	Η πιθανότητα γήρανσης μιας γραμμής μεταφοράς και η ευπάθεια του δικτύου εξαιτίας της ύπαρξης δασικής πυρκαγιάς.....	108
4.5	Η διάβρωση της μόνωσης εναέριων γραμμών εξαιτίας της επαφής καλωδίων σε περιβάλλον πυρκαγιάς και η αξιολόγηση του κινδύνου.....	114
4.6	Η διέλευση μιας πυρκαγιάς κοντά σε γραμμές μεταφοράς υψηλής τάσης εξαιτίας του Φαινομένου Corona.....	116
4.7	Οι συνέπειες του ειδικού φορτίου μιας πυρκαγιάς σε κάθετα εξαρτήματα εφαρμοσμένα στο πεδίο της γραμμής μεταφοράς.....	119
4.8	Η εμφάνιση αστοχίας σε μια γραμμή μεταφοράς εξαιτίας πυρκαγιάς που προήλθε από διαρροή αερίου υψηλής πίεσης.....	123
5	<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup> : Η πρόληψη των γραμμών μεταφοράς και διανομής σε συνθήκες πυρκαγιάς και η ελάττωση της διηλεκτρικής αντοχής στο διάκενο αέρα τους.....</b>	<b>127</b>
5.1	Οι τεχνολογίες εποπτείας θερμικής καταπόνησης για εναέριες γραμμές μεταφοράς.....	127
5.2	Η οικονομική κατανομή των θερμικών ορίων σε γραμμές μεταφοράς.....	130
5.3	Η ερμηνεία των πυρκαγιών μεγάλης έκτασης κοντά σε γραμμές μεταφοράς.....	132
5.4	Η διηλεκτρική συμπεριφορά και τα μέσα προστασίας σε γραμμές μεταφοράς και διανομής.....	136
5.5	Η εκτίμηση του πιθανού σφάλματος και της μεταβολής της θερμοκρασίας σε μια εναέρια γραμμή μεταφοράς.....	139

5.6	Η ελαχιστοποίηση των Φαινομένων Corona και η διάσπαση διακένων αέρα ράβδου – πλάκας από επαναλαμβανόμενες τάσεις.....	141
5.7	Η διηλεκτρική αντοχή σε μεγάλα διάκενα και η μόνωση του αέρα σε κοντινές εναέρια γραμμές μεταφοράς.....	143
6	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 <sup>ο</sup> : Η εξαγωγή αποτελεσμάτων μέσω ενός Κώδικα Matlab – Δοκιμή πειραματικών μετρήσεων.....	146
6.1	Η επιλογή μαθηματικών μοντέλων για την κατασκευή του Κώδικα Matlab.....	146
6.2	Ο συνδυασμός μαθηματικών μοντέλων για την εξαγωγή αποτελεσμάτων από τον Κώδικα Matlab.....	148
6.3	Η παρουσίαση των διαγραμμάτων ροής επεξηγώντας κάθε χαρακτηριστικό του Κώδικα Matlab.....	165
6.4	Η ανάλυση των συνθηκών για ξεχωριστές περιπτώσεις με την απόδοση τιμών στον Κώδικα Matlab.....	167
6.4.1	Ο υπολογισμός των σχέσεων για την 1 <sup>η</sup> περίπτωση.....	168
6.4.2	Ο υπολογισμός των σχέσεων για την 2 <sup>η</sup> περίπτωση.....	174
6.4.3	Ο υπολογισμός των σχέσεων για την 3 <sup>η</sup> περίπτωση.....	178
6.4.4	Ο υπολογισμός των σχέσεων για την 4 <sup>η</sup> περίπτωση.....	180
7	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	181
7.1	Οι γραφικές απεικονίσεις με γνώμονα τις 2 συνθήκες.....	181
7.2	Η συνολική αποτίμηση και ο σχολιασμός των ερευνών.....	187
	Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές.....	189
	Παράρτημα Α.....	196
	Παράρτημα Β.....	204

## Κατάλογος Πινάκων

- **Πίνακας 3.1:** Αναπαράσταση μέγιστων γραμμών διανομής χαμηλής τάσης, ανάλογα με την ισχύ του μετασχηματιστή (50– 400kVA), τη διατομή των αγωγών και το ονομαστικό ρεύμα της ασφάλειας. (§3.3, Σελίδα 72)
- **Πίνακας 3.2:** Αναπαράσταση αντίστασης  $r_L$  και  $x_L$  ανά km γυμνών αγωγών γραμμής χαμηλής τάσης που απέχουν μεταξύ τους 30cm. (§3.3, Σελίδα 72)
- **Πίνακας 3.3:** Αναπαράσταση αντίστασης  $R_T$  και  $X_T$  των μετασχηματιστών διανομής σύμφωνα με την ονομαστική φαινόμενη ισχύ τους  $S_N$ . (§3.3, Σελίδα 73)
- **Πίνακας 3.4:** Αναπαράσταση των τιμών του συντελεστή με βάση την απόσταση που λαμβάνει η θέση βραχυκυκλώματος. (§3.5, Σελίδα 83)
- **Πίνακας 5.1:** Αναπαράσταση αποστάσεων μόνωσης και προστασίας σε γραμμές μέσης και υψηλής τάσης. (§5.4, Σελίδα 137)
- **Πίνακας 5.2:** Αναπαράσταση καταπόνησης των αγωγών χαλκού και αλουμινίου διανομής ενέργειας. (§5.4, Σελίδα 137)
- **Πίνακας 6.1:** Επεξήγηση παραμέτρων για την εισαγωγή επιθυμητών τιμών στον κώδικα Matlab. (§6.2, Σελίδα 148)
- **Πίνακας 6.2:** Επεξήγηση παραμέτρου για την εισαγωγή επιθυμητών τιμών στον κώδικα Matlab. (§6.2, Σελίδα 149)
- **Πίνακας 6.3:** Επεξήγηση παραμέτρου για την εισαγωγή επιθυμητών τιμών στον κώδικα Matlab. (§6.2, Σελίδα 150)
- **Πίνακας 6.4:** Επεξήγηση παραμέτρων για την εισαγωγή επιθυμητών τιμών στον κώδικα Matlab. (§6.2, Σελίδα 152)
- **Πίνακας 6.5:** Επεξήγηση παραμέτρων για την εισαγωγή επιθυμητών τιμών στον κώδικα Matlab. (§6.2, Σελίδα 152)
- **Πίνακας 6.6:** Επεξήγηση παραμέτρου για την εισαγωγή επιθυμητών τιμών στον κώδικα Matlab. (§6.2, Σελίδα 152)
- **Πίνακας 6.7:** Επεξήγηση παραμέτρου για την εισαγωγή επιθυμητών τιμών στον κώδικα Matlab. (§6.2, Σελίδα 153)
- **Πίνακας 6.8:** Επεξήγηση παραμέτρων για την εισαγωγή επιθυμητών τιμών στον κώδικα Matlab. (§6.2, Σελίδα 153)
- **Πίνακας 6.9:** Επεξήγηση παραμέτρου για την εισαγωγή επιθυμητών τιμών στον κώδικα Matlab. (§6.2, Σελίδα 154)
- **Πίνακας 6.10:** Επεξήγηση παραμέτρου για την εισαγωγή επιθυμητών τιμών στον κώδικα Matlab. (§6.2, Σελίδα 154)
- **Πίνακας 6.11:** Επεξήγηση παραμέτρου για την εισαγωγή επιθυμητών τιμών στον κώδικα Matlab. (§6.2, Σελίδα 155)
- **Πίνακας 6.12:** Επεξήγηση παραμέτρων για την εισαγωγή επιθυμητών τιμών στον κώδικα Matlab. (§6.2, Σελίδα 155)
- **Πίνακας 6.13:** Επεξήγηση παραμέτρων για την εισαγωγή επιθυμητών τιμών στον κώδικα Matlab. (§6.2, Σελίδα 156)

- **Πίνακας 6.14:** Επεξήγηση παραμέτρων για την εισαγωγή επιθυμητών τιμών στον κώδικα Matlab. (§6.2, Σελίδα 157)
- **Πίνακας 6.15:** Επεξήγηση παραμέτρων για την εισαγωγή επιθυμητών τιμών στον κώδικα Matlab. (§6.2, Σελίδα 159)
- **Πίνακας 6.16:** Επεξήγηση παραμέτρων για την εισαγωγή επιθυμητών τιμών στον κώδικα Matlab. (§6.2, Σελίδα 159)
- **Πίνακας 6.17:** Επεξήγηση παραμέτρων για την εισαγωγή επιθυμητών τιμών στον κώδικα Matlab. (§6.2, Σελίδα 160)
- **Πίνακας 6.18:** Επεξήγηση παραμέτρων για την εισαγωγή επιθυμητών τιμών στον κώδικα Matlab. (§6.2, Σελίδα 160)
- **Πίνακας 6.19:** Επεξήγηση παραμέτρου για την εισαγωγή επιθυμητών τιμών στον κώδικα Matlab. (§6.2, Σελίδα 160)
- **Πίνακας 6.20:** Επεξήγηση παραμέτρων για την εισαγωγή επιθυμητών τιμών στον κώδικα Matlab. (§6.2, Σελίδα 161)
- **Πίνακας 6.21:** Επεξήγηση παραμέτρου για την εισαγωγή επιθυμητών τιμών στον κώδικα Matlab. (§6.2, Σελίδα 161)
- **Πίνακας 6.22:** Επεξήγηση παραμέτρων για την εισαγωγή επιθυμητών τιμών στον κώδικα Matlab. (§6.2, Σελίδα 162)
- **Πίνακας 6.23:** Επεξήγηση παραμέτρων για την εισαγωγή επιθυμητών τιμών στον κώδικα Matlab. (§6.2, Σελίδα 162)
- **Πίνακας 6.24:** Επεξήγηση παραμέτρου για την εισαγωγή επιθυμητών τιμών στον κώδικα Matlab. (§6.2, Σελίδα 162)
- **Πίνακας 6.25:** Επεξήγηση παραμέτρων για την εισαγωγή επιθυμητών τιμών στον κώδικα Matlab. (§6.2, Σελίδα 163)
- **Πίνακας 6.26:** Επεξήγηση παραμέτρου για την εισαγωγή επιθυμητών τιμών στον κώδικα Matlab. (§6.2, Σελίδα 163)
- **Πίνακας 6.27:** Επεξήγηση παραμέτρου για την εισαγωγή επιθυμητών τιμών στον κώδικα Matlab. (§6.2, Σελίδα 163)

## Κατάλογος Διαγραμμάτων

- **Διάγραμμα 1.1:** Σύγκριση της έκτασης πυρκαγιάς ενός πυκνού δάσους με την προβλεπόμενη έκταση της πυρκαγιάς. (§1.5, Σελίδα 36)
- **Διάγραμμα 3.1:** Αναπαράσταση ταχυτήτων  $u_x[t]$  και  $u_y[t]$  σε σχέση με το χρόνο. (§3.2, Σελίδα 69)
- **Διάγραμμα 3.2:** Αναπαράσταση σχετικών ταχυτήτων  $u_{xs}[t]$  και  $u_{ys}[t]$  σε σχέση με το χρόνο  $t$ . (§3.2, Σελίδα 69)
- **Διάγραμμα 3.3:** Αναπαράσταση της θερμοκρασίας  $\theta$  του λιωμένου σωματιδίου αλουμινίου σε σχέση με τη διάρκεια της πτώσης του. (§3.2, Σελίδα 69)
- **Διάγραμμα 3.4:** Σχηματικός προσδιορισμός συντελεστών  $m$  &  $n$  της dc & ac συνιστώσας του ρεύματος βραχυκύκλωσης και  $T_k$  ο χρόνος σφάλματος. (§35, Σελίδα 81)
- **Διάγραμμα 4.1:** Γραφική απεικόνιση της τάσης διάσπασης διαφόρων ηλεκτροδίων τύπου στους 24°C και σε συνθήκες πυρκαγιάς. (§4.1.2, Σελίδα 98)
- **Διάγραμμα 5.1:** Αναπαράσταση της εκτιμώμενης ενεργειακής ζήτησης στον βιομηχανικό τομέα. (§5.1, Σελίδα 128)
- **Διάγραμμα 5.2:** Αναπαράσταση της αύξησης της ζήτησης ενέργειας και ηλεκτρικής ενέργειας, εξαιτίας του πληθυσμού. (§5.1, Σελίδα 128)
- **Διάγραμμα 5.3:** Κατανομή των πιθανοτήτων για συγκεκριμένη θερμοκρασία στον αγωγό. (§5.2, Σελίδα 132)
- **Διάγραμμα 6.1:** Απεικόνιση θεωρητικού διαγράμματος ροής σύμφωνα με τον κώδικα. (§6.3, Σελίδα 165)
- **Διάγραμμα 6.2:** Απεικόνιση υπολογιστικού διαγράμματος ροής σύμφωνα με τον κώδικα. (§6.3, Σελίδα 166)
- **Διάγραμμα 7.1:** Γραφική απεικόνιση της σχέσης (3-9) για τη συνθήκη ύπαρξης ή μη βραχυκυκλώματος. (§7.1, Σελίδα 182)
- **Διάγραμμα 7.2:** Γραφική απεικόνιση της σχέσης (3-24) για τη συνθήκη ύπαρξης ή μη βραχυκυκλώματος. (§7.1, Σελίδα 183)
- **Διάγραμμα 7.3:** Γραφική απεικόνιση της σχέσης (3-44) για τη συνθήκη ύπαρξης ή μη βραχυκυκλώματος. (§7.1, Σελίδα 184)
- **Διάγραμμα 7.4:** Γραφική απεικόνιση της σχέσης (3-79) για τη συνθήκη πρόκλησης ή μη πυρκαγιάς. (§7.1, Σελίδα 185)
- **Διάγραμμα 7.5:** Γραφική απεικόνιση της σχέσης (5-15) για τη συνθήκη πρόκλησης ή μη πυρκαγιάς. (§7.1, Σελίδα 186)

## Κατάλογος Εικόνων

- **Εικόνα 0.1:** Απεικόνιση δασικής πυρκαγιάς – ανεξέλεγκτη φωτιά. (ΕΙΣΑΓΩΓΗ, Σελίδα 21)
- **Εικόνα 0.2:** Απεικόνιση δασικής πυρκαγιάς κοντά σε γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. (ΕΙΣΑΓΩΓΗ, Σελίδα 22)
- **Εικόνα 1.1:** Περιγραφή του « Τριγώνου της Φωτιάς ». (§1, Σελίδα 25)
- **Εικόνα 1.2:** Αναπαράσταση μιας πυρκαγιάς εδάφους ή υπόγειας πυρκαγιάς. (§1.2.2, Σελίδα 27)
- **Εικόνα 1.3:** Αναπαράσταση μιας πυρκαγιάς επιφανείας. (§1.2.2, Σελίδα 28)
- **Εικόνα 1.4:** Αναπαράσταση μιας πυρκαγιάς κόμης. (§1.2.2, Σελίδα 28)
- **Εικόνα 1.5:** Εξάπλωση πυρκαγιάς σε δασική έκταση. (§1.2.3, Σελίδα 29)
- **Εικόνα 1.6:** Απεικόνιση δασικής πυρκαγιάς στον Αμαζόνιο Βραζιλίας. (§1.3.1, Σελίδα 31)
- **Εικόνα 1.7:** Συνοπτική παρουσίαση της έρευνας του συγγραφέα «John Hall». (§1.5, Σελίδα 38)
- **Εικόνα 1.8:** Η φυσική διαδοχή μιας πυρκαγιάς στο σύνολο της κοινωνίας. (§1.5, Σελίδα 38)
- **Εικόνα 1.9:** Απεικόνιση συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, κατάλληλα συνδεδεμένων με γραμμές μεταφοράς. (§1.6.1, Σελίδα 39)
- **Εικόνα 1.10:** Σχηματική απεικόνιση μιας γραμμής μεταφοράς μικρού μήκους. (§1.9.1.1, Σελίδα 44)
- **Εικόνα 1.11:** Σχηματική απεικόνιση μιας γραμμής μεταφοράς μεσαίου μήκους. (§1.9.1.2, Σελίδα 45)
- **Εικόνα 1.12:** Σχηματική απεικόνιση μιας γραμμής μεταφοράς μεγάλου μήκους. (§1.9.1.3, Σελίδα 45)
- **Εικόνα 1.13:** Σχηματική απεικόνιση ενός σωληνωμένου χαλύβδινου πόλου. (§1.9.2, Σελίδα 46)
- **Εικόνα 1.14:** Σχηματική απεικόνιση ενός πόλου RCC. (§1.9.2, Σελίδα 47)
- **Εικόνα 1.15:** Σχηματική απεικόνιση ενός χαλύβδινου πύργου. (§1.9.2, Σελίδα 47)
- **Εικόνα 2.1:** Αποτύπωση ενός συστήματος ενέργειας, με πιθανή εμφάνιση βραχυκυκλώματος και υπερφόρτισης. (§2, Σελίδα 48)
- **Εικόνα 2.2:** Παρουσίαση ενός κυκλώματος με φάση-φάση βραχυκύκλωμα. (§2.2, Σελίδα 50)
- **Εικόνα 2.3:** Παρουσίαση ενός κυκλώματος με φάση-ουδέτερο βραχυκύκλωμα. (§2.2, Σελίδα 50)
- **Εικόνα 2.4:** Παρουσίαση ενός κυκλώματος με φάση-γείωση βραχυκύκλωμα. (§2.2, Σελίδα 50)
- **Εικόνα 2.5:** Ανάλυση ενός κυκλώματος με σφάλμα ενός αγωγού προς γείωση. (§2.2, Σελίδα 51)
- **Εικόνα 2.6:** Ανάλυση ενός κυκλώματος με σφάλμα ενός αγωγού προς αγωγό ή φάσης προς φάση. (§2.2, Σελίδα 51)

- **Εικόνα 2.7:** Ανάλυση ενός κυκλώματος με σφάλμα διπλής φάσης ή διπλού αγωγού προς γείωση. (§2.2, Σελίδα 51)
- **Εικόνα 2.8:** Ανάλυση ενός κυκλώματος με σφάλμα τριφασικών ή τριών αγωγών σε μια γείωση. (§2.2, Σελίδα 52)
- **Εικόνα 2.9:** Εμφάνιση ηλεκτρικής πυρκαγιάς σε ηλεκτρικό κύκλωμα με αλλοιωμένη μόνωση. (§2.3, Σελίδα 53)
- **Εικόνα 2.10:** Αναπαράσταση ηλεκτρικής πυρκαγιάς εξαιτίας σπινθήρων. (§2.6.2, Σελίδα 57)
- **Εικόνα 2.11:** Αναπαράσταση ηλεκτρικής πυρκαγιάς εξαιτίας υπερθέρμανσης. (§2.6.2, Σελίδα 57)
- **Εικόνα 2.12:** Απεικόνιση πυρκαγιάς σε ηλεκτρολογικό εξοπλισμό. (§2.7, Σελίδα 57)
- **Εικόνα 2.13:** Αναπαράσταση πρόκλησης πυρκαγιάς σε γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. (§2.9, Σελίδα 61)
- **Εικόνα 3.1:** Απεικόνιση μελέτης για τον προσδιορισμό της θέσης σφάλματος της γραμμής μεταφοράς. (§3.1, Σελίδα 63)
- **Εικόνα 3.2:** Αναπαράσταση υπολογισμού βραχυκυκλώματος σε γραμμή L. (§3.1.1, Σελίδα 64)
- **Εικόνα 3.3:** Απεικόνιση ενός εναέριου δικτύου διανομής χαμηλής τάσης. (§3.3, Σελίδα 70)
- **Εικόνα 3.4:** Αναπαράσταση απλοποιημένου σχεδίου πολλαπλών γραμμών ενός υποσταθμού διανομής χαμηλής τάσης. (§3.3, Σελίδα 71)
- **Εικόνα 3.5:** Απεικόνιση της διακοπής στον αγωγό φάσης. (§3.3, Σελίδα 73)
- **Εικόνα 3.6:** Αποτύπωση δικτύου διανομής μέσης και χαμηλής τάσης. (§3.4, Σελίδα 75)
- **Εικόνα 3.7:** Αποτύπωση μίας γραμμής μέσης τάσης, απόστασης AB και με ασφαλειοαποζεύκτες 30A. (§3.5, Σελίδα 79)
- **Εικόνα 3.8:** Αναπαράσταση των συνιστωσών που αποτελείται το ρεύμα βραχυκύκλωσης. (§3.5, Σελίδα 80)
- **Εικόνα 3.9:** Αναπαράσταση πυρκαγιάς σε γραμμή διανομής εξαιτίας βραχυκυκλώματος. (§3.6, Σελίδα 86)
- **Εικόνα 4.1:** Παρουσίαση εκρηγνόμενων σωματιδίων κατά τη διεξαγωγή πυρκαγιάς. (§4, Σελίδα 95)
- **Εικόνα 4.2:** Πρόκληση πυρκαγιάς σε εδαφική έκταση κοντά σε γραμμές μεταφοράς. (§4.1, Σελίδα 96)
- **Εικόνα 4.3:** Παρουσίαση γεωμετρίας μοντέλου ενός αγωγού GMR μονής (στα αριστερά) και διπλής (στα δεξιά) δέσμης. (§4.1.2, Σελίδα 98)
- **Εικόνα 4.4:** Αναπαράσταση κατακόρυφης ευθυγράμμισης της γραμμής για τον υπολογισμό της γραμμής που κάμπτεται πριν από την πυρκαγιά. (§4.2, Σελίδα 101)



- **Εικόνα 4.5:** Αποτύπωση της διαδικασίας πτώσης ενός εκρηγνόμενου σωματιδίου προς την επιφάνεια εδάφους. (§4.3, Σελίδα 104)
- **Εικόνα 4.6:** Αναπαράσταση της γραμμής μεταφοράς και της ισοδύναμης ακτινοβολίας. (§4.4, Σελίδα 109)
- **Εικόνα 4.7:** Αναπαράσταση διαγράμματος γεωμετρίας πυρκαγιάς. (§4.4, Σελίδα 112)
- **Εικόνα 4.8:** Προσδιορισμός μελέτης μιας γραμμής μεταφοράς σε κάθετο επίπεδο πρόσκρουσης πυρκαγιάς. (§4.7, Σελίδα 120)
- **Εικόνα 4.9:** Αναπαράσταση διαρροής αερίου υψηλής πίεσης από αγωγούς και πρόκληση πυρκαγιάς. (§4.8, Σελίδα 123)
- **Εικόνα 4.10:** Αναπαράσταση της μεταφοράς ακτινοβολούμενης θερμότητας από μια πυρκαγιά εκτόξευσης σε έναν αγωγό εναέριας γραμμής. (§4.8, Σελίδα 125)
- **Εικόνα 5.1:** Απεικόνιση των σταδίων θέρμανσης και ψύξης ενός εναέριου αγωγού. (§5.1, Σελίδα 128)
- **Εικόνα 5.2:** Σχηματική απεικόνιση των 3 μεθόδων πρόληψης μιας πυρκαγιάς σε γραμμές μεταφοράς. (§5.3, Σελίδα 133)
- **Εικόνα 5.3:** Περιγραφή εξάπλωσης της πυρκαγιάς κοντά σε γραμμή μεταφοράς. (§5.3, Σελίδα 133)
- **Εικόνα 5.4:** Περιγραφή διαγράμματος μονάδας γεωγραφικής περιοχής για μετρήσεις πυρκαγιών. (§5.3, Σελίδα 134)
- **Εικόνα 5.5:** Ανάλυση διαγράμματος του συστήματος παρακολούθησης και προειδοποίησης πυρκαγιάς. (§5.3, Σελίδα 135)
- **Εικόνα 5.6:** Αναπαράσταση διαγράμματος ηλεκτροπληξίας κατά την κατάσβεση πυρκαγιάς κάτω από γραμμή υψηλής τάσης. (§5.3, Σελίδα 136)
- **Εικόνα 5.7:** Απεικόνιση (a) της εισχώρησης της φωτιάς εντός των γραμμών και (b) της τοποθέτησης της φωτιάς κάτω από τις γραμμές. (§5.5, Σελίδα 139)
- **Εικόνα 5.8:** Αναπαράσταση μιας διάσπασης σε διάκενο αέρα ράβδου-ράβδου θετικής πολικότητας. (§5.7, Σελίδα 144)
- **Εικόνα 6.1:** Απεικόνιση βασικών εντολών στο περιβάλλον του Matlab. (§6.4, Σελίδα 166)
- **Εικόνα 6.2:** Απόδοση τιμών έως και την 1<sup>η</sup> συνθήκη στο περιβάλλον του Matlab. (§6.4.1, Σελίδα 168)
- **Εικόνα 6.3:** Απόδοση τιμών και εκτέλεση της 1<sup>ης</sup> συνθήκης στο περιβάλλον του Matlab. (§6.4.1, Σελίδα 169)
- **Εικόνα 6.4:** Απόδοση τιμών έως και την 2<sup>η</sup> συνθήκη στο περιβάλλον του Matlab. (§6.4.1, Σελίδα 169)

- **Εικόνα 6.5:** Απόδοση τιμών και εκτέλεση της 2<sup>ης</sup> συνθήκης στο περιβάλλον του Matlab. (§6.4.1, Σελίδα 170)
- **Εικόνα 6.6:** Απόδοση τιμών και ο τελικός υπολογισμός μεγεθών για την πρόκληση πυρκαγιάς στο περιβάλλον του Matlab. (§6.4.1, Σελίδα 169)
- **Εικόνα 6.7:** Εξαγωγή αποτελεσμάτων που πληρούν και τις 2 συνθήκες (1/3). (§6.4.1, Σελίδα 171)
- **Εικόνα 6.8:** Εξαγωγή αποτελεσμάτων που πληρούν και τις 2 συνθήκες (2/3). (§6.4.1, Σελίδα 172)
- **Εικόνα 6.9:** Εξαγωγή αποτελεσμάτων που πληρούν και τις 2 συνθήκες (3/3). (§6.4.1, Σελίδα 173)
- **Εικόνα 6.10:** Απόδοση διαφορετικών τιμών έως και την 1<sup>η</sup> συνθήκη στο περιβάλλον του Matlab. (§6.4.2, Σελίδα 174)
- **Εικόνα 6.11:** Απόδοση τιμών και εκτέλεση της 1<sup>ης</sup> συνθήκης στο περιβάλλον του Matlab. (§6.4.2, Σελίδα 174)
- **Εικόνα 6.12:** Απόδοση τιμών έως και την 2<sup>η</sup> συνθήκη στο περιβάλλον του Matlab. (§6.4.2, Σελίδα 175)
- **Εικόνα 6.13:** Απόδοση τιμών και μη τήρησης της 2<sup>ης</sup> συνθήκης στο περιβάλλον του Matlab. (§6.4.2, Σελίδα 175)
- **Εικόνα 6.14:** Εξαγωγή αποτελεσμάτων που πληρούν μόνο την 1<sup>η</sup> συνθήκη (1/2). (§6.4.2, Σελίδα 176)
- **Εικόνα 6.15:** Εξαγωγή αποτελεσμάτων που πληρούν μόνο την 1<sup>η</sup> συνθήκη (2/2). (§6.4.2, Σελίδα 177)
- **Εικόνα 6.16:** Απόδοση ειδικών τιμών έως και την 1<sup>η</sup> συνθήκη στο περιβάλλον του Matlab. (§6.4.3, Σελίδα 178)
- **Εικόνα 6.17:** Απόδοση τιμών και μη τήρησης της 1<sup>ης</sup> συνθήκης στο περιβάλλον του Matlab. (§6.4.3, Σελίδα 178)
- **Εικόνα 6.18:** Εξαγωγή αποτελεσμάτων που πληρούν μόνο την 1<sup>η</sup> συνθήκη (2/2). (§6.4.3, Σελίδα 179)
- **Εικόνα 6.19:** Απόδοση αρνητικών τιμών στο περιβάλλον του Matlab (1/2). (§6.4.4, Σελίδα 180)
- **Εικόνα 6.20:** Απόδοση «λατινικών χαρακτήρων» στο περιβάλλον του Matlab (2/2). (§6.4.4, Σελίδα 180)

## Αλφαβητικό Ευρετήριο

<u>ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ</u>	<u>ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ</u>
<b>(ACSR):</b>	Καλώδιο Αλουμινίου ενισχυμένο με Χάλυβα Αγωγών
<b>(Al):</b>	Αγωγός αλουμινίου
<b>(C):</b>	Χωρητικότητα
<b>(CFL):</b>	Λαμπτήρες Φθορισμού
<b>(Cl):</b>	Χλώριο (χημικό στοιχείο)
<b>(Cu):</b>	Αγωγός χαλκού
<b>(DTR):</b>	Δυναμική Θερμική Βαθμολογία
<b>(DNI):</b>	Άμεση Ηλιακή Ακτινοβολία
<b>(EQ):</b>	Εκθέσεις Δοκιμών Περιβαλλοντικής Πιστοποίησης
<b>(FHA):</b>	Αναφορές Ανάλυσης Κινδύνων Πυρκαγιάς
<b>(G):</b>	Αγωγιμότητα
<b>(GA):</b>	Γενετικός Αλγόριθμος
<b>(GCM):</b>	Παγκόσμια Κλιματικά Μοντέλα
<b>(GFI):</b>	Διακοπή Σφάλματος Γείωσης
<b>(HCLV):</b>	Υψηλό Ρεύμα Χαμηλής Τάσης
<b>(HFLPF):</b>	Φίλτρο Χαμηλής Διέλευσης Υψηλής Συχνότητας
<b>(HFTL):</b>	Γραμμή Μεταφοράς Υψηλής Συχνότητας
<b>(HSD):</b>	Ψηφιακή Υψηλή Ταχύτητα
<b>(HV / YT):</b>	Υψηλή Τάση
<b>(HVDC):</b>	Γραμμές Μεταφοράς Συνεχούς Ρεύματος
<b>(HVLC):</b>	Χαμηλό Ρεύμα Υψηλής Τάσης
<b>(HVOETL):</b>	Εναέρια Γραμμή Μεταφοράς Υψηλής Τάσης
<b>(IPCC):</b>	Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή
<b>(MV / MT):</b>	Μέση Τάση
<b>(L):</b>	Επαγωγή
<b>(LED):</b>	Ενεργειακά Αποδοτικοί Λαμπτήρες
<b>(LLDI):</b>	Δείκτης Ζημιών Απώλειας Φορτίου

<b>(OCPD):</b>	Προστατευτικές Συσκευές Υπερέντασης
<b>(OHL):</b>	Αγωγός Εναέριας Γραμμής
<b>(OPF):</b>	πρόγραμμα Βέλτιστης Ροής Ισχύος
<b>(PVC ή XLPE):</b>	Κατηγορίες Μόνωσης (πολυβινυλοχλωριδίο)
<b>(pr):</b>	Μαζεμένη Βροχόπτωση
<b>(R):</b>	Αντίσταση
<b>(rh<sub>Smin</sub>):</b>	Ελάχιστη Υγρασία
<b>(SCR):</b>	Λόγος Βραχυκυκλώματος
<b>(SEF):</b>	Προστασία Ευαίσθητου Σφάλματος Γείωσης
<b>(SI):</b>	Τυπική Μονάδα Υπολογισμού
<b>(SVM):</b>	Διάνυσμα Υποστήριξης
<b>(ta<sub>Smax</sub>):</b>	Μέγιστη Θερμοκρασία
<b>(TL):</b>	Εναέριες Γραμμές Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας
<b>(TP):</b>	Αγωγός Συνεστραμμένου Ζεύγους
<b>(TFM):</b>	Μοντέλο Θερμικής Αστοχίας
<b>(TN):</b>	Σύστημα Γείωσης

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως είναι γνωστό στις μέρες μας, οι πυρκαγιές αποτελούν ένα σημαντικό πρόβλημα που ολοένα και πολλαπλασιάζεται στις σύγχρονες κοινωνίες παγκοσμίως. Οι πυρκαγιές επεκτείνονται συνεχώς εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής που οφείλεται στην αυξημένη ξηρασία των τελευταίων ετών, της χαμηλής υγρασίας στα αστικά κέντρα, των υψηλών θερμοκρασιών του αέρα και της αύξησης των κεραυνών και των ισχυρών ανεμών στις ορεινές περιοχές. Το φαινόμενο αυτό, επηρεάζει αρνητικά το κοινωνικό σύνολο, καταστρέφοντας κατοικίες και επιχειρήσεις, συρρικνώνοντας το φυτικό και ζωικό πλούτο και αλλοιώνοντας την επίδραση του τουρισμού σε μια χώρα. Παράλληλα, λόγω της επιδείνωσης της κλιματικής αλλαγής, καταστρέφονται τα οικοσυστήματα που είναι πλούσια σε άνθρακα. Άλλωστε, η κλιματική κρίση μελλοντικά θα δημιουργήσει σοβαρές επιπτώσεις και στην οικονομία των χωρών, κάτι που δεν αντιμετωπίζεται με εύκολο τρόπο. Μια πυρκαγιά, συνδυάζει την ανεξέλεγκτη φωτιά, που μπορεί να προέλθει από καύση που δεν μπορεί να ελεγχθεί με το οξυγόνο και εξάγει μεγάλα ποσά θερμότητας και φωτός. Για να εμφανιστεί μια πυρκαγιά, θα πρέπει να συνυπάρχει η φωτιά, το οξυγόνο και μια καύσιμη ύλη στο χώρο. Με βάση το είδος της καύσιμης ύλης, οι πυρκαγιές χωρίζονται σε αστικές και δασικές. Και στα 2 είδη πυρκαγιών το βασικό μέσο κατάσβεσης είναι το νερό.



**Εικόνα 0.1:** Απεικόνιση δασικής πυρκαγιάς – ανεξέλεγκτη φωτιά. [1]

Από τις δασικές εκτάσεις πηγάζει το μεγαλύτερο ποσοστό οξυγόνου που υπάρχει στη Γη και στον ίδιο τον άνθρωπο. Επιπλέον, μας προστατεύουν από φυσικές καταστροφές όπως πλημμύρες και διαβρώσεις του εδάφους. Στις περισσότερες χώρες με μεσογειακό κλίμα, δεν μπορούν να αποτραπούν πλήρως οι δασικές πυρκαγιές επειδή αποτελούν κομμάτι ενός φυσικού κύκλου διαδοχής ή συντήρησης κάποιων τύπων βλάστησης. Δεδομένου της εγκατάλειψης της κτηνοτροφίας και της γεωργίας από τον άνθρωπο καθώς και της αστικοποίησης, οι πυρκαγιές αυξάνονται προκαλώντας μεγάλες επιπτώσεις στο ευρύτερο σύνολο.

Στη συνέχεια, θα αναλυθεί διεξοδικά το φαινόμενων των πυρκαγιών, οι επιπτώσεις τους αλλά και οι τρόποι αντιμετώπισής τους με στόχο την πρόληψη και την ευαισθητοποίηση της κοινωνίας. Από την άλλη, πυρκαγιές μπορούν να εμφανιστούν και σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας και πιο συγκεκριμένα στις γραμμές μεταφοράς ενός δικτύου μεταφοράς και διανομής.



**Εικόνα 0.2:** Απεικόνιση δασικής πυρκαγιάς κοντά σε γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. [1]

Ιδιαίτερα σημαντικό κίνδυνο για την ασφάλεια μιας κοινότητας, δημιουργούν οι πυρκαγιές που εμφανίζονται κάτω ή κοντά σε γραμμές μεταφοράς επειδή μπορούν να διακόψουν την παροχή ρεύματος. Σε περίπτωση που προκύψει πυρκαγιά με φλόγα ύψους μεγαλύτερου του ενός μέτρου κάτω από γραμμές μεταφοράς, υπάρχει σοβαρός κίνδυνος δημιουργίας ηλεκτρικών τόξων, απώλειας ανθρώπινων ζωών και καταστροφής καλωδίων, μονωτών και στηρίξεων των γραμμών μεταφοράς. Η ηλεκτρική ενέργεια, υπό την επιρροή υψηλών τάσεων, μπορεί να μεταφερθεί σε αρκετά μέτρα κενού αέρα, με αποτέλεσμα να μην απαιτείται άμεση επαφή με τον αγωγό ή το καλώδιο μεταφοράς για την εμφάνιση ενός θανατηφόρου συμβάντος. Σε υψηλές θερμοκρασίες, τα καλώδια των γραμμών μεταφοράς πέφτουν σε χαμηλότερο ύψος με αποτέλεσμα να μειώνουν την απόστασή τους από το έδαφος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την έλλειψη αποτελεσματικής μεθόδου κατάσβεσης μιας πυρκαγιάς κοντά σε μια γραμμή μεταφοράς υψηλής τάσης.

Όπως θα αναλυθεί και στα πλαίσια της εργασίας, οι πυρκαγιές κοντά στις γραμμές μεταφοράς καταλαμβάνουν μεγάλης έκτασης γεωγραφική περιοχή, οπότε και η πυροσβεστική διάσωση κρίνεται αναγκαία. Σε μια περιοχή προκαλείται υψηλή πυρκαγιά λόγω πυκνής βλάστησης και με εύκολο τρόπο μπορεί να διαπεράσει μέσα από γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Ταυτόχρονα, μειώνεται και η μόνωση αερίου των γραμμών μεταφοράς με αποτέλεσμα να προκύψει βραχυκύκλωμα φάσης – εδάφους ή φάσης – φάσης. Εξαιτίας της παραγόμενης θερμότητας και της σταδιακής καύσης, πολλές διαδρομές της γραμμής μεταφοράς είναι αδύνατον να κλείσουν ξανά με ορθό τρόπο. [1]

## **Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας**

Το κομμάτι που επεξεργάζεται η παρούσα εργασία, εκτός από την ευαισθητοποίηση του κοινωνικού συνόλου για το φαινόμενο των πυρκαγιών, είναι η παρουσίαση σε θεωρητικό και πειραματικό μέρος του φαινομένου μιας πυρκαγιάς στις γραμμές μεταφοράς ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, περιγράφεται η συμπεριφορά των γραμμών μεταφοράς και τα αποτελέσματα που δημιουργούνται μέσα από την καύση τους. Ακόμη, επεξηγείται η έννοια του βραχυκυκλώματος, πώς εμφανίζεται μέσω του καπνού σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας και με ποιον τρόπο συντελεί για την δημιουργία πυρκαγιάς στον εκάστοτε χώρο.

## **Σκοπός και στόχοι**

Ο σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας, είναι η αντιμετώπιση και η εξάλειψη τυχόν βραχυκυκλωμάτων και δευτερογενών πυρκαγιών σε ένα δίκτυο μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης τίθεται σαν στόχος η πρόληψη τέτοιων καταστάσεων με τη βοήθεια μελέτης και υποδομών που αποσκοπούν στην αποτροπή πυρκαγιών σε τέτοιες εγκαταστάσεις. Με βάση την μοντελοποίηση και τις πειραματικές μετρήσεις της εργασίας, εκτός από την μελέτη του φαινομένου, επεξεργάζεται και ο τρόπος χειρισμού αυτών των καταστάσεων.

## **Μεθοδολογία**

Κατά την εκπόνηση της εργασίας, προβάλλεται με την βοήθεια ερευνών και επιστημονικών άρθρων το πρόβλημα που δημιουργείται σε μια γραμμή μεταφοράς η εμφάνιση καπνού από μια πυρκαγιά. Επιτυγχάνεται η εμβάθυνση του φαινομένου αυτού μέσα από τις συνέπειες και τον τρόπο αντιμετώπισής του συγκρίνοντας και σχολιάζοντας το θεωρητικό υπόβαθρο που έχει αναζητηθεί.

## **Καινοτομία**

Ύστερα από την αναλυτική προσέγγιση τόσο σε θεωρητικό περιεχόμενο, με στόχο την ανάλυση του φαινομένου όσο και σε μαθηματικό περιεχόμενο, με εξισώσεις που προσδιορίζουν τα φυσικά μεγέθη και τα στοιχεία του συστήματος ενέργειας, καλούμαστε να τα συμπτύξουμε με την πειραματική διαδικασία του 6<sup>ου</sup> κεφαλαίου. Αναλυτικότερα, με τη χρήση ενός κώδικα στο πρόγραμμα Matlab συνδυάζονται οι μαθηματικοί υπολογισμοί, συγκρίνονται όλα τα μεγέθη και εξάγονται συμπεράσματα μέσω γραφικών παραστάσεων.

## **Δομή**

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το υλικό της εργασίας που ακολουθεί βασίζεται στην μελέτη των πυρκαγιών που εμφανίζει βραχυκυκλώματα και δευτερογενείς πυρκαγιές σε δίκτυα μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας και πιο συγκεκριμένα στις γραμμές μεταφοράς του. Αρχικά, παρουσιάζεται σε μορφή ενοτήτων το θεωρητικό μέρος που επεξηγεί το φαινόμενο και ύστερα το πειραματικός μέρος με βάση τις μελέτες που θα περιγραφούν.

Όσον αφορά το θεωρητικό μέρος, το 1<sup>ο</sup> κεφάλαιο βασίζεται στην αναφορά των πυρκαγιών, τις συνέπειες και τον τρόπο αντιμετώπισής τους. Επεκτείνεται στην έννοια του δικτύου μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας και πώς σε αυτό μπορεί να προκληθεί πυρκαγιά. Το 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο, αποσκοπεί στην ανάλυση της έννοιας του βραχυκυκλώματος και τότε αυτό συγχέεται με την καθημερινότητά μας. Ακόμη, εξετάζονται ο τρόπος ύπαρξης και ανάπτυξης του βραχυκυκλώματος και οι δυσκολίες που δημιουργεί στις γραμμές μεταφοράς του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.

Εφόσον έχουν επισημανθεί οι βασικές έννοιες της διπλωματικής εργασίας, το 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο πραγματεύεται τον τρόπο ανάπτυξης και εισχώρησης ενός βραχυκυκλώματος στο πεδίο ενός συστήματος ενέργειας σε περιβάλλον πυρκαγιάς και περιγράφεται η συμπεριφορά των αγωγών κατά τη διάρκεια του φαινομένου αυτού. Έχοντας προσδιορίσει όλο το εύρος των συνθηκών, το 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο ασχολείται με τις επιπτώσεις που απορρέονται στις γραμμές μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας σχολιάζοντας διαφορετικές περιπτώσεις κάθε φορά πρόκλησης πυρκαγιάς. Ακόμη, το 5<sup>ο</sup> κεφάλαιο θέτει κάποιους περιορισμούς με απώτερο σκοπό την πρόληψη και την μείωση των πυρκαγιών σε συστήματα μεταφοράς και ηλεκτρικής ενέργειας και προσεγγίζει τα χαρακτηριστικά μείωσης της διηλεκτρικής αντοχής στο διάκενο του αέρα.

Τέλος το 6<sup>ο</sup> κεφάλαιο με την προσθήκη του προγράμματος Matlab, εξάγει συμπεράσματα και συγκρίνει τα όσα αναλύθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια, αποτελώντας ένα χρήσιμο εργαλείο για όποιον θελήσει να ασχοληθεί με μια σχετική έρευνα. Άλλωστε, είναι επιθυμητό από τους περισσότερους να αντιλαμβάνονται το πόσο καίριο ζήτημα αποτελεί η συγκεκριμένη μελέτη!



## 1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> : Το φαινόμενο των πυρκαγιών παγκοσμίως και η μελέτη του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας

Είναι ευρέως διαδεδομένο σε μια ανεπτυγμένη κοινωνία, ότι η φωτιά εμφανίζεται στην καθημερινότητα των ανθρώπων και σε αρκετές περιπτώσεις μπορεί να εξαπλωθεί, δημιουργώντας μια σειρά προβλημάτων. Πιο συγκεκριμένα, η φωτιά συγκροτεί την εμφανή έκβαση της διαδικασίας της καύσης, που συμπεριλαμβάνεται σε μια πληθώρα χημικών αντιδράσεων. Γίνεται συνεχώς πιο έντονη όταν βρίσκεται μεταξύ οποιουδήποτε είδους καυσίμου και του οξυγόνου στον αέρα, απελευθερώνοντας θερμική ενέργεια. Για να επιτευχθεί η καύση μεταξύ αέριων σωμάτων, θα πρέπει το κάθε καύσιμο να προσεγγίσει την θερμοκρασία ανάφλεξης του για να συνδυαστεί με την ποσότητα οξυγόνου. Η καύση μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε αργά είτε γρήγορα ανάλογα με το διαθέσιμο οξυγόνο. Οπότε, για να προκύψει φωτιά θα πρέπει να συνδυαστούν το οξυγόνο, το καύσιμο και η θερμότητα. [1]

Το καύσιμο έχει την ικανότητα να πάρει στερεή, υγρή ή αέρια μορφή, ενώ στις περιπτώσεις που δεν είναι αέριο, με την κατάλληλη θέρμανσή του, εκκρίνει αέριο από την επιφάνειά του. Τα αέρια αντιπροσωπεύονται από ομάδες ατόμων, γνωστές και ως μόρια, τα οποία κατά την καύση διασπώνται και ενώνονται με οξυγόνο από τον αέρα για την δημιουργία νερού και διοξειδίου του άνθρακα. Από την άλλη πλευρά, η θερμότητα συμβάλλει στην διαρκή αναζωπύρωση της φωτιάς. Ο καπνός εκπέμπει αέρια και όσο υπάρχει διαθέσιμη ποσότητα οξυγόνου και καυσίμου η φωτιά αναπτύσσεται. Στην περίπτωση που κατά την χημική αντίδραση το οξυγόνο εξασθενεί και παράγεται άνθρακας, μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του άνθρακα και νερό η καύση ονομάζεται ατελής. Η φλόγα που παράγεται είναι συνήθως κίτρινη ή πορτοκαλί, υπάρχει καπνός και απελευθερώνεται ελάχιστη θερμική ενέργεια.

Επομένως ο συνδυασμός του οξυγόνου, του καυσίμου και της θερμότητας αποτελούν το « Τρίγωνο της Φωτιάς », που αποτελεί τον κύριο παράγοντα ύπαρξης μιας πυρκαγιάς. Σε κάθε πλευρά του εμφανίζεται καθένα από τα 3 προαναφερόμενα στοιχεία που συνεισφέρουν στην ανάπτυξη της πυρκαγιάς. Οποιοδήποτε στοιχείο περιοριστεί, ελαττωθεί ή εξαλειφτεί πλήρως καταρρέει μια πλευρά του τριγώνου και συνεπώς θα πραγματοποιηθεί η καταστολή της πυρκαγιάς.[2]



Εικόνα 1.1: Περιγραφή του « Τριγώνου της Φωτιάς ». [2]

## **1.1 Οι ιδιότητες και η χρησιμότητα της φωτιάς**

Βάσει όσων αναφέρθηκαν προτύτερα, η φωτιά εντός ελάχιστου χρονικού διαστήματος μπορεί να αποδειχτεί πλήρως καταστροφική είτε για τις ανθρώπινες ανακαλύψεις είτε για τα δημιουργήματα της φύσης. Εκτός από αυτό, η φωτιά μπορεί να αφαιρέσει μια ανθρώπινη ζωή και να περιορίσει σημαντικά την εξάπλωση της πανίδας καθώς αντιπροσωπεύει έναν από τους μεγαλύτερους κινδύνους για την σύγχρονη κοινωνία.

Όμως πέρα από τους κινδύνους που προξενεί η φωτιά, υπάρχουν αρκετές περιπτώσεις που είναι ιδιαίτερα χρήσιμη. *Με την ορθή χρήση και επεξεργασία της, οι άνθρωποι ανακάλυψαν το φωτισμό χώρου, τη θέρμανση, το μαγείρεμα φαγητού, την επισκευή εργαλείων και κατέληξαν στη δημιουργία σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.* Οι άνθρωποι αρχικά έκαιγαν το ξύλο με στόχο να συντηρούν και να αυξάνουν τη δύναμη της φωτιάς και να υλοποιούν αρκετές από τις δραστηριότητες που προαναφέρθηκαν.

Επιπλέον, η ποσότητα του καυσίμου καθορίζει την ύπαρξη φωτιάς. Άλλωστε, το ποσό παραγόμενης θερμότητας ενός καυσίμου επηρεάζεται από την ταχύτητα καύσης του καυσίμου και από την ενέργεια που απελευθερώνουν τα αέρια κατά τη διάρκεια της καύσης. Το σχήμα και η μορφή του καυσίμου, μεταβάλλουν την ταχύτητα καύσης με αποτέλεσμα τα λεπτά στρώματα καυσίμου να καίγονται ευκολότερα από τα πιο χοντρά επειδή ένα μεγάλο μέρος της μάζας τους έρχεται σε επαφή με το οξυγόνο.

Το καύσιμο με το μεγαλύτερο μέγεθος, έχει την ικανότητα να απορροφήσει μεγαλύτερο ποσό θερμότητας και συνεπώς περισσότερη ενέργεια για να δημιουργήσει την επιθυμητή θερμότητα ανάφλεξης σε σχέση με ένα μικρότερου μεγέθους καύσιμο. Οπότε σε μια πυρκαγιά ταχείας καύσης δημιουργείται αρκετά μεγαλύτερη θερμότητα από μια πυρκαγιά αργής καύσης. [3]

## **1.2 Η έννοια της πυρκαγιάς και η σημασία της στη φύση**

Με βάση τις έρευνες του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Διαστήματος, *η έκταση των πυρκαγιών κάθε χρόνο προσεγγίζει περίπου 4 εκατομμύρια τετραγωνικά χιλιόμετρα της γης επηρεάζοντας σε σημαντικό βαθμό την εξέλιξη τόσο των ανθρώπων όσο και της ίδιας της φύσης.* Οι πυρκαγιές εξαπλώνονται σε όλον τον κόσμο, ιδιαίτερα τους ξηρούς και θερινούς μήνες.

Επεκτείνονται σε δασικές και αστικές περιοχές, σε βιότοπους και σε θαμνώδεις εκτάσεις ειδικά όταν η περιοχή περιλαμβάνει ξηρή βλάστηση και διακατέχεται από υψηλή θερμοκρασία. Ενδεικτικά παραδείγματα τέτοιων περιοχών είναι οι Ηνωμένες Πολιτείες, ο Καναδάς, η Αυστραλία, η μεγαλύτερη έκταση της Αφρικής και η νότια Ευρώπη. Εκτός από τα δάση και τα δέντρα τους όπως, ο σφένδαμος, η οξιά, οι ξηροί θάμνοι και τα χόρτα, τα ξηρά καλοκαίρια και η απουσία κατάλληλης πυροπροστασίας καθιστούν τις περιοχές πιο ευάλωτες και επιρρεπείς σε ανεξέλεγκτες πυρκαγιές. Μια ανεξέλεγκτη πυρκαγιά μπορεί να προκαλέσει απώλειες ζωών και μεγάλες υλικές ζημιές. Ωστόσο, η ελεγχόμενη φωτιά είναι μια από τις πιο χρήσιμες ανακαλύψεις του ανθρώπου. [4]

### 1.2.1 Ο ορισμός της πυρκαγιάς

Δεν είναι ακόμα γνωστό στις μέρες μας πότε η κοινωνία ανακάλυψε τη φωτιά και τον τρόπο διαχείρισής της. Εικάζεται ότι στις αρχές του 18<sup>ου</sup> αιώνα, οι άνθρωποι κατάλαβαν από τις πυρκαγιές που προέκυπταν τη σημασία της φωτιάς και πώς αυτή αλληλεπιδρά στην καθημερινότητά τους. Ο Γάλλος επιστήμονας Antoine Laurent Lavoisier ισχυρίστηκε για πρώτη φορά ότι η φωτιά εμφανίζεται από την ένωση μιας ουσίας που καίγεται και του οξυγόνου σχηματίζοντας μια χημική αντίδραση.

Μια πυρκαγιά και γενικότερα μια φωτιά, προκαλείται εξαιτίας της οξείδωσης των χημικών ουσιών που συνδυάζονται τη συγκεκριμένη στιγμή. Δηλαδή, οξείδωση καλείται η χημική αντίδραση που συνδέει μια χημική ουσία με το οξυγόνο είτε με αργή (αργή οξείδωση) είτε με γρήγορη διαδικασία (ταχεία οξείδωση). Στην ταχεία οξείδωση παράγονται τα ίδια ποσά θερμότητας και φωτός, ενώ στην αργή οξείδωση δεν παράγεται φως και η θερμότητα εκπέμπεται πολύ αργά στον αέρα.

Επομένως, ως πυρκαγιά ορίζεται η οποιαδήποτε ξαφνική και ανεξέλεγκτη φωτιά που καίει σε μια φυσική περιοχή, όπως ένα δάσος ή ένας βιότοπος (ή λιβάδι). Συνηθέστερα, οι πυρκαγιές εμφανίζονται σε φυσικές ή αγροτικές περιοχές αλλά έχουν τη δυνατότητα να εξαπλωθούν σε μεγάλη έκταση φτάνοντας και σε κατοικημένες περιοχές, προξενώντας καταστροφές σε σπίτια και αφαιρώντας την ανθρώπινη ζωή. [4]

### 1.2.2 Τα είδη ανάπτυξης των πυρκαγιών στην ύπαιθρο

Εμφανίζονται 3 τύποι πυρκαγιών σε μια δασική πυρκαγιά και ανακατατάσσονται με βάση την εξάπλωσή τους στον χώρο σε έναν βιότοπο. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχουν οι πυρκαγιές εδάφους ή υπόγειες, οι πυρκαγιές επιφανείας και οι πυρκαγιές κόμης:

- i. Οι πυρκαγιές εδάφους ή υπόγειες πυρκαγιές, αναπτύσσονται στο οργανικό υλικό του επάνω μέρους του εδάφους (σε στάδιο αποσύνθεσης) λίγα εκατοστά πιο κάτω από την επιφάνεια της γης, εξαπλώνονται σε βαθιά οργανικά αποθέματα και δεν είναι ορατές από το ανθρώπινο μάτι.



**Εικόνα 1.2:** Αναπαράσταση μιας πυρκαγιάς εδάφους ή υπόγειας πυρκαγιάς. [4]

- ii. Οι πυρκαγιές επιφανείας ή έρπουσες πυρκαγιές, βρίσκουν τη θέση τους ακριβώς στην επιφάνεια του εδάφους και ίσως λίγο πιο κάτω από αυτό, κυρίως σε θάμνους και λιβάδια με μέτρια σχετικά βλάστηση. Αυτή η κατηγορία πυρκαγιάς, απορροφά την καύσιμη ύλη που διοχετεύεται στην επιφάνεια, δηλαδή τα νεκρά κλαδιά δέντρων ή τα φύλλα τους και τις βελόνες. Στη συγκεκριμένη κατηγορία, η φωτιά μεταφέρεται ευκολότερα επειδή υπάρχει περίσσεια αέρα, οξυγόνου και καύσιμης ύλης και αναπτύσσεται σε κατάλληλη θερμοκρασία.



**Εικόνα 1.3:** Αναπαράσταση μιας πυρκαγιάς επιφανείας. [4]

- iii. Οι πυρκαγιές κόμης ή επικόρυφες πυρκαγιές, χαρακτηρίζονται ως οι πυρκαγιές με τον μεγαλύτερο κίνδυνο καθώς έχουν την ικανότητα να αναπτύσσονται με ταχύτατους ρυθμούς. Σε αυτές καίγονται μεμονωμένα δένδρα ή ολόκληρες συστοιχίες υψηλών δασών καθώς διαθέτουν κυρίως κωνοφόρα δένδρα.



**Εικόνα 1.4:** Αναπαράσταση μιας πυρκαγιάς κόμης. [4]

### 1.2.3 Ο τρόπος εξάπλωσης της πυρκαγιάς

Ανάλογα τις συνθήκες και τον χώρο που μελετάται, οι πυρκαγιές ποικίλουν στους τρόπους εξάπλωσής τους. Οι πυρκαγιές μπορούν προκληθούν από φυσικά φαινόμενα, δηλαδή από κεραυνούς ή ηφαίστεια, που ανά πάσα στιγμή μπορούν να ενεργοποιηθούν. Στην πραγματικότητα όμως, η κυριότερη αιτία δημιουργίας μιας πυρκαγιάς προκύπτει εξαιτίας της ανθρώπινης δραστηριότητας. Πιο συγκεκριμένα, τα πεταμένα τσιγάρα, οι μη ελεγχόμενες φωτιές και οι δυσλειτουργίες σε εξοπλισμό ή σε οχήματα είναι ενέργειες που μπορούν να αποδειχτούν καταστροφικές για το σύνολο της κοινωνίας.

Αξιοσημείωτο να ειπωθεί είναι και το γεγονός ότι τόσο οι καιρικές συνθήκες όσο και το ίδιο το περιβάλλον μπορούν να συντελέσουν και να επεκτείνουν την έκταση μιας πυρκαγιάς. Όπως έχει ήδη αναφερθεί μια πυρκαγιά για να ενισχυθεί απαιτεί καύσιμα μεγάλης ποσότητας. Στο φυσικό περιβάλλον, ως καύσιμο μπορεί να λειτουργήσει η ξηρή βλάστηση και τα κατάφυτα δάση, αναπτύσσοντας με ταχύτατο τρόπο μια πυρκαγιά. Επιπρόσθετα με τις καιρικές συνθήκες, δηλαδή την ξηρασία, την ταχύτητα του ανέμου και τις υψηλές θερμοκρασίες, επιτυγχάνεται η μεγέθυνση και η εύκολη εξάπλωση της πυρκαγιάς. Από την άλλη, οι καιρικές συνθήκες έχουν τη δυνατότητα να συμβάλλουν και στον περιορισμό μιας πυρκαγιάς. Η βροχή ή το χιόνι επιτυγχάνουν την υγραποίηση του εδάφους και της γης και πιθανότατα την μείωση της θερμοκρασίας με αποτέλεσμα να δυσχεραίνουν την δημιουργία μιας πυρκαγιάς.

Τέλος, η τοπογραφία επηρεάζει σημαντικά την εξέλιξη μιας πυρκαγιάς. Στην περίπτωση αυτή, υπονοείται ότι μια πυρκαγιά είναι πιο εύκολο να επεκταθεί σε κατηφορικό έδαφος παρά σε ανηφορικό, επειδή όταν η πυρκαγιά οδηγείται σε ανηφόρα θα στεγνώσει και θα προθερμάνει τη βλάστηση που εμφανίζεται μπροστά της. [4]



Εικόνα 1.5: Εξάπλωση πυρκαγιάς σε δασική έκταση. [4]

#### 1.2.4 Τα προτερήματα της πυρκαγιάς

Μολονότι οι πυρκαγιές αποδεικνύονται επικίνδυνες για την εξέλιξη του ανθρώπινου είδους καθώς και για τη φύση, είναι πιθανόν σε μερικές περιπτώσεις μια πυρκαγιά να παρουσιάζεται με ιδιαίτερο τρόπο χρήσιμη στην κοινωνία.

Πρωτίστως, ένας αριθμός ειδών βλάστησης και δένδρων εξαρτώνται από τις πυρκαγιές για την εξασφάλιση της επιβίωσής τους, επειδή πρέπει να θερμανθούν για να απελευθερωθούν οι σπόροι τους. Ένα σχετικό παράδειγμα τέτοιου δένδρου είναι η βελανιδιά που χρειάζεται τη θέρμανση με στόχο την βλάστηση των σπόρων της, τα παθητικά πυρόφυτα που δεν καίγονται λόγω του φλοιού τους και τα ενεργητικά πυρόφυτα (όπως το πουρνάρι και ο σχίνος) που καίγονται και φυτρώνουν εξίσου εύκολα.

Για την άνθηση καινούργιας φυτικής ζωής, απαιτείται αρκετές φορές η επέκταση μιας δασικής πυρκαγιάς. Με το φαινόμενο αυτό, διατηρούνται τα οικοσυστήματα καθαρά και υγιή καθώς απομακρύνονται από αυτά κάθε είδους εντόμων και ασθενειών, που βλάπτουν την ζωή των φυτών. Ακόμη, οι πυρκαγιές χαμηλής έντασης συνεισφέρουν στην παρουσία του ηλιακού φωτός να διαχέεται σε όλα τα σημεία μιας δασικής έκτασης στην προσθήκη θρεπτικών συστατικών στο έδαφος. Έχει παρατηρηθεί ότι οι πυρκαγιές εμφανίζονται ιστορικά κυρίως μεταξύ Μαΐου και Οκτωβρίου. Πρόσφατες έρευνες έχουν δείξει ότι η εποχή επιμηκύνεται, με τις πυρκαγιές να διαρκούν περισσότερο τους φθινοπωρινούς και χειμερινούς μήνες. [4]

### 1.3 Το ζήτημα των δασικών πυρκαγιών

Τα τελευταία χρόνια, η κλιματική αλλαγή σε συνδυασμό με τις πυρκαγιές ενισχύονται ολοένα και περισσότερο καθώς είναι πιο έντονες και διαρκούν περισσότερο σε σχέση με τα παλαιότερα χρόνια. Αν εξαπλωθεί περαιτέρω η προαναφερόμενη συνθήκη, οι συνέπειες θα είναι μακροπρόθεσμες και μοιραίες για την εξέλιξη της κοινωνίας και του ανθρώπινου είδους. Οι δασικές κυρίως πυρκαγιές, εκκρίνουν τόνους άνθρακα, εξασθενούν τη βιοποικιλότητα, εξαφανίζουν ζωτικά οικοσυστήματα, επηρεάζουν την οικονομία και προκαλούν χρόνια προβλήματα υγείας στους ανθρώπους.

Οι δασικές πυρκαγιές ή οι πυρκαγιές της υπαίθρου, εμφανίζονται σε φυσικά ή τεχνητά δάση, σε γεωργικές καλλιέργειες και σε θάμνους ή αγρούς. Η αύξησή τους οφείλεται στην ξαφνική εγκατάλειψη της καλλιεργήσιμης γης από τον άνθρωπο και στην μετακόμισή του στα μεγάλα αστικά κέντρα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μαζεύεται μεγάλη ποσότητα καύσιμης ύλης και οι άνθρωποι να χρησιμοποιούν λιγότερη βιόμαζα για την παροχή των αναγκών τους, γεγονός που οδηγεί τις καλλιεργήσιμες εκτάσεις να γίνονται πιο εύφλεκτες. Τις τελευταίες δεκαετίες, είναι εμφανής η αύξηση της θερμοκρασίας που δημιουργεί ξηρασία και ευνοεί τις πυρκαγιές.

Ερευνάται ότι ο ανθρώπινος πληθυσμός ευθύνεται για το 75% όλων των πυρκαγιών και των αιτιών αύξησής τους, γεγονός που μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι είναι στην ευχέρεια του ανθρώπου ο περιορισμός τους. Η πρόληψη και η προορατικότητα οφείλουν να προωθούνται με απώτερο σκοπό την παγκόσμια καταστολή των πυρκαγιών και τη συνεχή λήψη αποφάσεων για την αλλαγή σε συμπεριφορές του παρελθόντος από κάθε άνθρωπο. [5]

### 1.3.1 Η διασπορά των δασικών πυρκαγιών παγκοσμίως

Σύμφωνα με τις τελευταίες αναλύσεις για την 20ετία που μας διαδέχτηκε, οι δασικές πυρκαγιές καταλαμβάνουν το ¼ των συνολικών εκπομπών από πυρκαγιές. Αναλυτικότερα, το 85% της καμένης επιφάνειας ετησίως σε παγκόσμια κλίμακα προέρχεται από τροπικές σαβάνες, μολονότι τα δάση συμπληρώνουν το 10% της συνολικής καμένης έκτασης. Αντίθετα, τα τροπικά δάση παρουσιάζονται λιγότερο ευάλωτα στις πυρκαγιές και αποθηκεύουν μεγάλες ποσότητες άνθρακα για επείγουσες προληπτικές δράσεις.

Οι δασικές πυρκαγιές που προκαλούνται από φυσικά αίτια, όπως οι κεραυνοί, αποσκοπούν κυρίως στην αναγέννηση των δασών. Δηλαδή, αναζωογονούν την παλιά βλάστηση, επιστρέφουν θρεπτικά συστατικά στο έδαφος και ταυτόχρονα συμβάλλουν στην ανάπτυξη νέων σπόρων και περιορίζουν τα πιθανά φορτία καυσίμου καθώς ο ήλιος φτάνει έως το έδαφος. Οπότε ορισμένες πυρκαγιές δεν θα πρέπει να περιορίζονται επειδή αποτελούν μέρος του φυσικού κύκλου αλλά θα πρέπει να ελέγχονται σε μεγάλο βαθμό. Άλλωστε, η επαναλαμβανόμενη κατάργηση όλων των πυρκαγιών, δημιουργεί σοβαρές επιπτώσεις στα ζωικά και φυτικά είδη που προσαρμόζονται στα καθεστώτα της πυρκαγιάς.

Στο Βόρειο Ημισφαίριο αρκετές πυρκαγιές εμφανίζονται από ανθρώπινη αμέλεια, με την Βόρεια Ευρώπη να ξεπερνά το 95% των πυρκαγιών και την Αμερική το 84% των πυρκαγιών. Από την άλλη πλευρά, στον Καναδά μόνο το 40% των πυρκαγιών εντοπίζονται από την ανθρώπινη προέλευση. Στη νοτιοανατολική Ασία και στην Αφρική, εφαρμόζεται η μέθοδος «Slash and burn» όπου τα δέντρα κόβονται και ύστερα καίγονται για την ανάπτυξη της καλλιεργήσιμης γης, εμπλουτίζοντας το έδαφος με στάχτες και θρεπτικά συστατικά. Τέλος στην Ινδονησία και στον Αμαζόνιο της Βραζιλίας, οι πυρκαγιές χρησιμοποιούνται ευρέως στην εμπορική γεωργία, για τον καθαρισμό του εδάφους για φυτείες φοινικέλαιου και για την ενίσχυση των αγροκτημάτων βοοειδών. [6]



**Εικόνα 1.6:** Απεικόνιση δασικής πυρκαγιάς στον Αμαζόνιο Βραζιλίας. [6]

### 1.3.2 Οι παράγοντες που επηρεάζουν τις δασικές πυρκαγιές

Οι δασικές πυρκαγιές εξαρτώνται από μια πληθώρα παραγόντων που εμφανίζονται κατά την διάρκεια της εξάπλωσής τους με στόχο να τις επεκτείνουν και να δημιουργήσουν σοβαρές καταστροφές. Στη συνέχεια, αναλύονται μερικοί από τους παράγοντες που εντείνουν την ενίσχυση των δασικών πυρκαγιών στις σύγχρονες κοινωνίες.

Με άλλα λόγια η έκταση καμένης γης προσεγγίζει το 2% της συνολικής γης σε παγκόσμιο επίπεδο κάθε χρόνο, με το ποσοστό να διαφοροποιείται σε κάθε άκρη του πλανήτη. Το σύνολο των καταστροφών ανέρχεται σε ποσοστό της τάξεως του 5,3% στον Καναδά και του 4,1% στις περιοχές της Βόρειας Αμερικής. Έχοντας ως βάση τις πρόσφατες επιστημονικές έρευνες, είναι γεγονός ότι με την συντέλεση της ανερχόμενης κλιματικής αλλαγής η ετήσια καμένη έκταση θα επεκταθεί σε μεγαλύτερα ποσοστά.

Η συχνότητα εμφάνισης μιας δασικής πυρκαγιάς αυξάνεται εκθετικά ανά δεκαετία, καθώς από το 1973 έως το 2013 η διάρκεια περιόδου μιας πυρκαγιάς αυξήθηκε κατά 19% παγκοσμίως. Για παράδειγμα σε χώρες όπως η Βραζιλία, η Ανατολική Αφρική και η Νότια Αμερική εμφανίζουν αύξηση περισσότερη του ενός μήνα στις δασικές πυρκαγιές. Επιπρόσθετα, από την πλευρά της χλωρίδας, καθυστερεί η ανάπτυξη της βλάστησης και συνεπώς η δέσμευση του άνθρακα και από την μεριά της πανίδας, εξαφανίζονται ολοένα και περισσότερο τα είδη ζώων και η τροφή τους σε οποιοδήποτε καμένο δάσος.

Είναι διαδεδομένο ότι φαινόμενα όπως η αύξηση της θερμοκρασίας, οι ήπιες φωτιές και η έλλειψη βροχής για μεγάλες χρονικές περιόδους, περιορίζουν την υγρασία από το έδαφος έως τα υψηλότερα σημεία των δέντρων με αποτέλεσμα όταν δημιουργούνται πυρκαγιές να επιδεινώνονται εύκολα και με μεγάλη ένταση. Στις βόρειες δασικές εκτάσεις του Καναδά, τα πεύκα εξελίσσονται με ευκολία ελαχιστοποιώντας τη βιοποικιλότητα των οικοσυστημάτων.

Οι δασικές πυρκαγιές υποκινούνται από φυσικά αίτια εξαιτίας των κεραυνών και της κλιματικής αλλαγής. Επιπλέον, οι ισχυροί άνεμοι παίζουν καθοριστικό ρόλο, έχοντας ως παράδειγμα τις πυρκαγιές στην Ιβηρική Χερσόνησο το έτος 2017, όπου οι φωτιές ήταν ανεξέλεγκτες επειδή ξεπερνούσαν τα 6 χιλιόμετρα ανά ώρα. Από την άλλη, η κλιματική αλλαγή ενισχύει την ξηρασία της χλωρίδας, αυξάνει τα παράσιτα και τις ασθένειες και καταστρέφει την παραγωγή νέας βλάστησης. [6]



## **1.4 Οι επιπτώσεις των δασικών πυρκαγιών**

Εκτός από τον τρόπο εξάπλωσης των δασικών πυρκαγιών, οι συνέπειες που δημιουργούνται από το φαινόμενο αυτό χαρακτηρίζονται ως καταστροφικές και περιλαμβάνουν κάθε τομέα του κοινωνικού συνόλου. Πιο αναλυτικά, μια πυρκαγιά αποδίδει στο περιβάλλον μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα, επηρεάζοντας ολοένα και περισσότερο την ανθρώπινη υγεία και ευεξία, τη γλωρίδα και την πανίδα, το έδαφος, την ατμόσφαιρα και την κλιματική κρίση και την οικονομία σε παγκόσμιο επίπεδο. [7]

### **1.4.1 Οι επιπτώσεις στον τομέα της ανθρώπινης υγείας**

Όσον αφορά το άμεσο θέμα της ανθρώπινης υγείας και ευεξίας, *οι ετήσιες ανθρώπινες απώλειες από πυρκαγιά προσεγγίζουν το 0,2%, δηλαδή σκοτώνονται 100 με 400 άτομα κάθε χρόνο*. Μολονότι οι απώλειες αυτές χαρακτηρίζονται ως μηδαμινές, οι πυρκαγιές προξενούν βραχυπρόθεσμα προβλήματα στις ανθρώπινες κοινωνίες. Εξαιτίας μιας ανεξέλεγκτης πυρκαγιάς, απαιτείται η εκκένωση των σπιτιών και των ιδιωτικών περιουσιών κάθε ανθρώπου με αποτέλεσμα να δυσχεραίνεται η εξασφάλιση των βασικών αναγκών επιβίωσής του, καταστρέφοντας τις πηγές τροφής και νερού.

Μετά το πέρας μιας πυρκαγιάς, *υπολογίζονται περίπου 340.000 θάνατοι από αναπνευστικά και καρδιαγγειακά προβλήματα εξαιτίας της παραγωγής καπνού από την πυρκαγιά κάθε έτος*. Ο καπνός που παράγεται κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς περιέχει συστατικά όπως μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του θείου και διοξείδιο του αζώτου, που δημιουργούν το όζον. Αυτό έχει ως συνέπεια να δημιουργηθούν αναπνευστικές παθήσεις και ερεθισμός στα μάτια των παιδιών και των ηλικιωμένων καθώς και μειωμένη αντίληψη ικανοτήτων και ερεθισμάτων. Οι λεπτές στρώσεις άνθρακα που εκλύονται, οδηγούνται στους πνεύμονες και αυξάνουν τις πιθανότητες για εμφάνιση καρκίνου μελλοντικά.

Επιπλέον, με την καταστροφή δασικών εκτάσεων σε περιπτώσεις ισχυρών βροχοπτώσεων δημιουργούνται πλημμύρες και συντρίμια στο έδαφος. Ο κίνδυνος πλημμύρας και η συγκέντρωση συντριμμίων εμφανίζεται λόγω του καμένου εδάφους και της βλάστησης, συντελώντας και στην ψυχική υγεία των ανθρώπων, δημιουργώντας τους μετατραυματικό άγχος.[7]

#### **1.4.2 Οι επιπτώσεις στον τομέα της χλωρίδας και της πανίδας**

Η διάρκεια και η ένταση των πυρκαγιών επηρεάζουν σημαντικά τη βιοποικιλότητα σε παγκόσμιο επίπεδο. *Επτά δισεκατομμύρια φυτά καταστρέφονται σταδιακά από τις συχνές πυρκαγιές, σε θερμοκρασίες που ξεπερνούν τους 60 °C. Σε πιο χαμηλές θερμοκρασίες, χρειάζεται μεγαλύτερο διάστημα για την πλήρη καύση των φυτικών ιστών. Αυτό έχει ως συνέπεια να τίθεται σε περιορισμό η επιβίωση της άγριας ζωής και να καταστρέφονται αρκετοί οικοτόποι. Οι έντονες ξηρασίες εμφανίζουν πιο πολλές πυρκαγιές στα τροπικά δάση με αποτέλεσμα να καταστρέφονται οι σπόροι και τα νέα δέντρα.*

Αντίθετα, οι πυρκαγιές επηρεάζουν είτε με θετικό είτε έμμεσα με αρνητικό τρόπο την εξέλιξη της άγριας πανίδας ανάλογα τη συχνότητα, την έκταση και την καταστροφή της πυρκαγιάς. Επιπρόσθετα, *ελαχιστοποιείται η διαθέσιμη τροφή και η πυκνή περιοχή του βιότοπου, δημιουργώντας κενά και ανοιχτούς χώρους που διευκολύνουν την εύρεση ευκολότερης τροφής για ορισμένα είδη ζώων, όπως τα θηλαστικά και τα αρπακτικά.* [8]

#### **1.4.3 Οι επιπτώσεις στον τομέα του εδάφους**

Αξίζει να σημειωθεί ότι η επιρροή των πυρκαγιών αγγίζει τόσο τις φυσικές όσο και τις χημικές και τις βιολογικές ιδιότητες του εδάφους. Ακόμη, η ένταση της φωτιάς, η αναπτυσσόμενη θερμοκρασία, η υγρασία και η βλάστηση καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τα αποτελέσματα μιας πυρκαγιάς στην επιφάνεια του εδάφους. Εξαιτίας της συνεχόμενης κατανάλωσης της οργανικής ύλης στο έδαφος, *επιτυγχάνεται η αύξηση των πλημμύρων, η διάβρωση του εδάφους και η απορροή των επιφανειών.* [9]

#### **1.4.4 Οι επιπτώσεις στον τομέα της ατμόσφαιρας**

Σε διαχρονικό επίπεδο, η αύξηση των πυρκαγιών έχει δημιουργήσει σημαντικά προβλήματα και στα οικοσυστήματα των περιοχών. Με την ανάπτυξη διοξειδίου του άνθρακα από την εμφάνιση πυρκαγιάς, η ατμόσφαιρα και η βλάστηση συσσωρεύει μεγάλες ποσότητες του με αποτέλεσμα να ενισχύεται ολοένα και περισσότερο *το φαινόμενο του θερμοκηπίου*. Χαρακτηριστικά παραδείγματα του παραπάνω ισχυρισμού είναι πρωτίστως η αλλαγή των φυσικών οικοσυστημάτων σε βοσκότοπους που διαθέτουν χαμηλές ποσότητες άνθρακα. Δεύτερον, *η αποξήρανση* εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής, της τούνδρας στο βόρειο γεωγραφικό ημισφαίριο που οδηγεί στην πλήρη καταστροφή των οικοσυστημάτων τους. Οπότε, ο άνθρακας που εκπέμπεται διατηρείται στην ατμόσφαιρα, δημιουργώντας σοβαρά προβλήματα στον περιβάλλον.

Τέλος οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις μετά από μια πυρκαγιά, είναι σημαντικό να αναλυθούν και να τονιστεί η σημασία τους. Μερικές από τις πιο ακραίες συνέπειες που προκαλούνται είναι *η μαζική μετακίνηση, η ρύπανση των υδάτινων σωμάτων και η διάβρωση του εδάφους*. Επιπρόσθετα, η κοινωνία μαστίζεται από παρεμβολές και διαταραχές στον τρόπο λειτουργίας της, σταματούν οι επιχειρήσεις, αλλοιώνεται το οδικό δίκτυο και η εναέρια κυκλοφορία και μακροπρόθεσμα περιορίζεται δραστικά ο τουρισμός και οι αισθητικές αξίες ενός τόπου. [9]

#### **1.4.5 Οι επιπτώσεις στον τομέα της οικονομίας**

Με την αύξηση της συχνότητας των δασικών πυρκαγιών, μεταβάλλεται το οικονομικό κόστος σε κάθε κοινωνία με ξεχωριστό τρόπο περιορίζοντας τις συνθήκες συμβίωσης. Το μεγαλύτερο κόστος από την πρόκληση μιας πυρκαγιάς αναλαμβάνεται από τους δημόσιους φορείς. Δηλαδή είναι υπεύθυνοι για την κατάσβεση πυρκαγιών και το κόστος καταστολής τους με εκκενώσεις επείγουσας ανάγκης. Στον δεύτερο παράγοντα συμβάλλει και η κυβέρνηση, χωρίς όμως την επίτευξη μακροπρόθεσμων λύσεων.

Με βάση την τελευταία αναφορά, εκτός από την ανθρώπινη ζωή, την υγεία και το οικονομικό κόστος, καταλυτικός παράγοντας σε μια πυρκαγιά είναι το κόστος και ο εξοπλισμός πυρόσβεσης. Για παράδειγμα, οι δυτικές χώρες της Ευρώπης, όπως η Ελλάδα, η Ιταλία, η Ισπανία και η Πορτογαλία αξιοποιούν περίπου 2500 εκατομμύρια ετησίως στη μελέτη των πυρκαγιών και στον τρόπο κατάσβεσής τους, ενώ ο Καναδάς επένδυσε κοντά στα 531 εκατομμύρια από το 2000 έως το 2010. Οπότε σε συνδυασμό με τους δημόσιους φορείς της κοινωνίας, η συμπεριφορά και η πρόληψη μιας πυρκαγιάς λειτουργεί με θετικό τρόπο στην καταπολέμηση των επιπτώσεων που δημιουργεί.

Η ενασχόληση των ερευνητών με τις επιπτώσεις των πυρκαγιών σε μια ανεπτυγμένη κοινωνία, συνδέει και επηρεάζει και άλλους παράγοντες όπως η πολιτική και η κοινή αντίληψη, το κλίμα και η προστασία των φυσικών πόρων. Τα μέσα ενημέρωσης θέτουν ως στόχο τη δημοσιοποίηση των χαμένων ζώων, τις καταστροφές των κατοικιών και των υποδομών της πολιτείας. Θα πρέπει να αναλογιστεί ότι σε μια ακραία μορφή πυρκαγιάς, ο αριθμός των θανάτων είναι μηδαμινός σε σχέση με άλλες περιπτώσεις καταστροφών, όπως η παγκόσμια βλάστηση που συρρικνώνεται ολοένα και περισσότερο. Οι πυροσβέστες ηγούνται σε κάθε κατάσβεση πυρκαγιάς θέτοντας τις ζωές τους σε κίνδυνο ειδικά σε περιοχές όπου η πυρκαγιά τοποθετείται σε πολύπλοκο τοπογραφικά έδαφος και είναι δύσκολος ο περιορισμός της. [10]

## **1.5 Οι τρόποι αντιμετώπισης και η φυσική κατάληξη ύστερα από μια δασική πυρκαγιά**

Με το φαινόμενο των πυρκαγιών της υπαίθρου να ακμάζει σταδιακά στις σύγχρονες κοινωνίες και τα αίτια εμφάνισής του να ποικίλουν κυρίως από την ανθρώπινη δραστηριότητα, κρίνεται αναγκαία η ευαισθητοποίηση όλων για την πρόληψη και τον περιορισμό του ζητήματος αυτού. Οι εμπρησμοί λόγω προσωπικών ωφελειών, η αμέλεια και η απερισκεψία, η καύση των αγρών εξαιτίας αγροτικών εργασιών και καθαρισμών και η δημιουργία βοσκοτόπων είναι μερικές συνήθειες των ανθρώπων που εντείνουν τις πυρκαγιές και δημιουργούν τις περιπτώσεις επιπτώσεων που εξετάστηκαν ωρρίτερα.

Με τη βοήθεια ειδικών συστημάτων πρόβλεψης και ελέγχου μιας πυρκαγιάς, κρίνεται εφικτή η αποτροπή έναρξης μιας πυρκαγιάς σε ένα δάσος ή στην ύπαιθρο. Τα συστήματα αυτά έχουν εφευρεθεί για να βοηθήσουν περιοχές με υψηλό κίνδυνο πυρκαγιάς και συμμετέχουν ενεργά στις εκτιμήσεις για πιθανές περιπτώσεις πυρκαγιάς και στην έγκαιρη προειδοποίηση των πολιτών. Επιπλέον τα συστήματα αυτά, διαθέτουν πληροφορίες για τις συνθήκες του καιρού, τα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά του εδάφους και τις ιδιότητες της καύσιμης ύλης. Στην ανίχνευση μιας πυρκαγιάς, σημαντικό ρόλο έχουν οι δορυφόροι, τα ραντάρ και γενικότερα η τεχνολογία που σε συνεργασία με την μετεωρολογία, αντιμετωπίζουν αποτελεσματικά την εξάλειψη μιας πυρκαγιάς. [11]

Το κυριότερο έργο για την πρόληψη των πυρκαγιών, είναι η ενημέρωση και η επαγρύπνηση των πολιτών σχετικά με αυτό το φλέγον ζήτημα, περιλαμβάνοντας μια σειρά από επιμέρους δράσεις. Τα μέσα μαζικής ενημέρωσης, είτε από την τηλεόραση είτε από το ραδιόφωνο, οφείλουν να τονίζουν τους κινδύνους μιας πυρκαγιάς και να απωθούν τους πολίτες από τα αίτια που οδηγούν στην ανάπτυξή της. Τα παιδιά, από νεαρή ηλικία στο σχολείο, πρέπει να εκπαιδεύονται κατάλληλα μέσα από τα μαθήματα και τις δραστηριότητες που υλοποιούν για το φαινόμενο αυτό. [12]

Ένας επιπλέον παράγοντας που ενισχύει την προτροπή μιας πυρκαγιάς, είναι η επεξεργασία και η διαχείριση της καύσιμης ύλης που μειώνει την επέκτασή της και καθιστά ευκολότερο τον έλεγχό της από τους πυροσβέστες. Για τον λόγο αυτό, επινοήθηκαν οι αντιπυρικές ζώνες που είναι φυσικές ή τεχνητές λωρίδες, περιορίζουν σχεδόν ολοκληρωτικά την καύσιμη ύλη και οριοθετούν την πυρκαγιά. Οι αντιπυρικές ζώνες, περιορίζουν σημαντικά τη διάβρωση, κάνοντας ευκολότερη τη δουλειά των πυροσβεστών. Σε αρκετές χώρες, η επεξεργασία της καύσιμης ύλης πραγματοποιείται από αγροτικά συστήματα στα οποία η φυτική κάλυψη γίνεται με καλλιέργεια. [13]

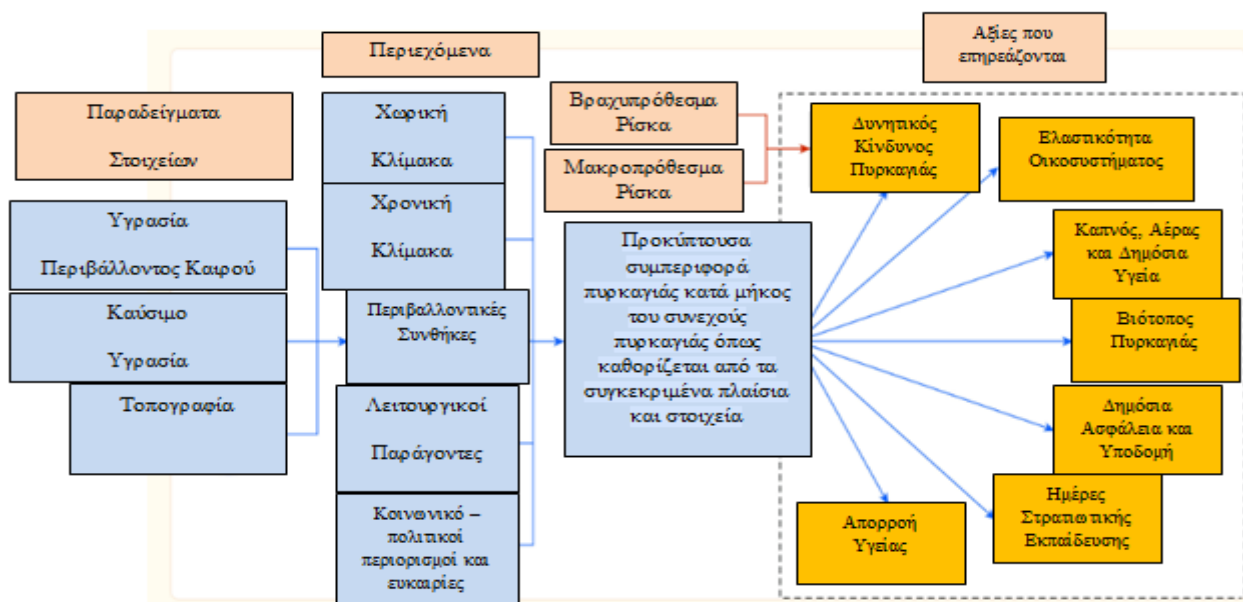
Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η ζωή και η εξέλιξη δεν σταματούν να υπάρχουν μετά από μια δασική πυρκαγιά, παρόλο που διαφοροποιείται σε μεγάλο βαθμό η σύνθεση της φύσης και η συνολική αποτίμηση της ζωής. Η βλάστηση σταδιακά θα επανέλθει σε φυσιολογικά πλαίσια με το πέρασμα των δεκαετιών, χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση. Όσο πιο καλλιεργημένη ήταν η βλάστηση πριν τη φωτιά, τόσο πιο αργά θα γυρίσει στην πρόιμη μορφή της.

Σε περιοχές με αραιή βλάστηση, μετά την πυρκαγιά επανέρχονται αρκετά νωρίτερα στην αρχική τους κατάσταση σε αντίθεση με την καμένη περιοχή ενός σύνθετου δάσους όπου σε ταχύτατο χρονικό διάστημα επανεμφανίζονται τα φυτά που κράτησαν τα αναπαραγωγικά μέρη τους κοντά στο έδαφος. Στα πρωταρχικά στάδια της καινούργιας βλάστησης εμφανίζονται είδη από ποώδους και θαμνώδους τύπους βλάστησης που γίνονται με τον καιρό πιο πυκνά. Από το κλίμα, το έδαφος, τις κατηγορίες φυτών και την ανθρώπινη δραστηριότητα εξαρτάται το πότε ένα δάσος θα ξαναγίνει υγιές. [14]



**Διάγραμμα 1.1:** Σύγκριση της έκτασης πυρκαγιάς ενός πυκνού δάσους με την προβλεπόμενη έκταση της πυρκαγιάς. [14]

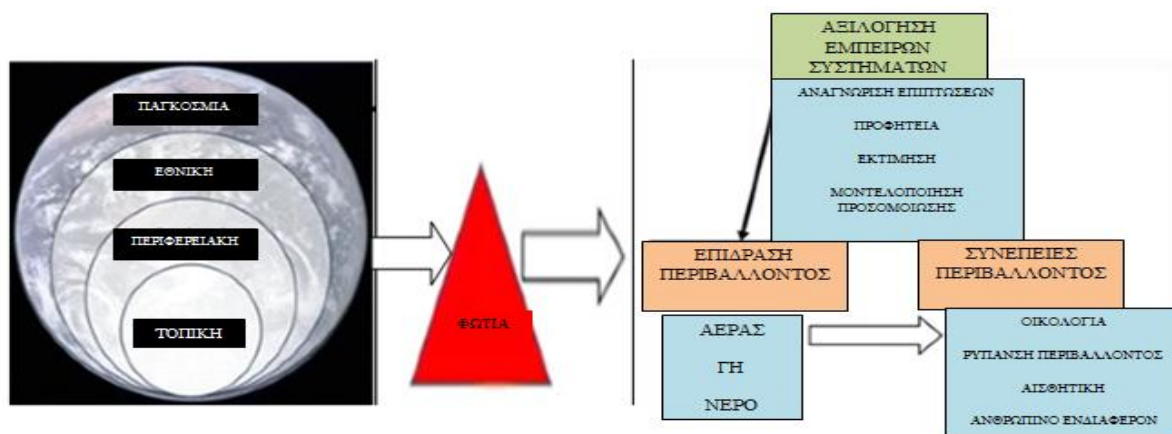
Ξεκινώντας ως αφετηρία από τις καιρικές συνθήκες και την υγρασία, την υγρασία του καυσίμου και την τοπογραφία εμφανίζεται η κλίμακα του χώρου και του χρόνου, οι περιβαλλοντικές συνθήκες, οι λειτουργικοί παράγοντες και οι κοινωνικοί και πολιτικοί περιορισμοί. Επιπλέον, τα αποτελέσματα της συμπεριφοράς της πυρκαγιάς εξαρτώνται από την ένταση και την αυστηρότητα της φωτιάς, από την καμένη περιοχή και την ευθύνη του οικοσυστήματος. Τέλος με τον κίνδυνο μιας πυρκαγιάς, επηρεάζονται σημαντικά οι αξίες της ανθεκτικότητας ενός οικοσυστήματος, του βιότοπου άγριας ζωής, της ατμόσφαιρας και της δημόσιας υγείας και η συνολική ευημερία της κοινωνίας.



**Εικόνα 1.7:** Συνοπτική παρουσίαση της έρευνας του συγγραφέα «John Hall». [15]

Σε μια πρόσφατη έρευνα της IPCC, της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή, εκτιμάται ότι οι δασικές πυρκαγιές θα γίνουν πιο επικίνδυνες και θα εμφανίζονται με ταχύτερους ρυθμούς, εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής στον πλανήτη. Με τον τρόπο αυτό, αναπτύσσονται υψηλότερες θερμοκρασίες και συνεπώς εμφανίζονται περισσότεροι κερανοί, που ωθούν την δημιουργία πυρκαγιών από φυσικά αίτια. Έως και το 2019, οι πυρκαγιές θα καταλαμβάνουν το ποσοστό των 37,8% παγκοσμίως με αύξηση κατά 1,2°C, ενώ έως και το 2100 οι πυρκαγιές θα καταλαμβάνουν το ποσοστό των 61,9% παγκοσμίως με αύξηση κατά 3,5°C.

Η Μεσόγειος αποτελεί μια περιοχή με αυξημένη κλιματική αλλαγή, με ήπιους χειμώνες και ζεστά ή τελείως ξηρά καλοκαίρια, κάτι που θα διαφοροποιηθεί καθώς θα αντικατασταθούν από ξηρασίες, καύσωνες, πυρκαγιές και πλημμύρες σε συνδυασμό με την ελάττωση των βροχοπτώσεων. Η Ελλάδα, η Ιταλία, η Γαλλία, η Ισπανία και η Πορτογαλία πλήττονται ήδη από τα παραπάνω φυσικά φαινόμενα, εφόσον έχουν ήδη καταστραφεί μεγάλες εκτάσεις δάσους, σε κάθε χώρα ξεχωριστά.[15]



**Εικόνα 1.8:** Η φυσική διαδοχή μιας πυρκαγιές στο σύνολο της κοινωνίας. [15]

## 1.6 Η ανάλυση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας

Όπως είδαμε και προηγουμένως, μια πυρκαγιά μπορεί να εμφανιστεί ακαριαία είτε από φυσικά αίτια είτε εξαιτίας της ανθρώπινης δραστηριότητας δημιουργώντας μια πληθώρα σοβαρών προβλημάτων. Τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, έχουν επέλθει τις τελευταίες δεκαετίες με στόχο την εξέλιξη αλλά και τη διευκόλυνση της καθημερινότητας της κοινωνίας. Έχουν τη δυνατότητα να αποδίδουν μεγάλα ποσά ηλεκτρικής ενέργειας, που συγκροτούν ένα σύνολο παραγόντων για την κίνηση και την αλληλεπίδραση των θετικών και αρνητικών ηλεκτρικών φορτίων και αναπτύσσονται από την έλξη ή την απώθηση μεταξύ των σωματιδίων. [16]

### 1.6.1 Αποσαφηνίζοντας συνολικά την ηλεκτρική ενέργεια

Η ηλεκτρική ενέργεια τοποθετείται στις επονομαζόμενες πρωτογενείς ενέργειες και ταυτόχρονα στις δευτερεύουσες πηγές ενέργειας. Αποτελείται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως ο ήλιος, το νερό και ο άνεμος και από μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως τα στοιχεία του άνθρακα, το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο. Ένα σημαντικό πλεονέκτημά της, είναι η τροποποίηση της για άλλες χρήσεις όπως η παραγωγή φωτισμού και θερμότητας των κτιρίων, η κίνηση, η εκπομπή σημάτων και η λειτουργία μηχανημάτων. Ακόμη, μπορεί να γίνει εφικτή η διεργασία της στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για την μετατροπή της σε άλλη μορφή ενέργειας, όπως η θερμική, η μηχανική, η χημική και η κινητική με τη βοήθεια κατάλληλων στροβίλων.

Η σχηματιζόμενη ηλεκτρική ενέργεια, διαδίδεται μέσω μετασχηματιστών που προωθούν τη διανομή ηλεκτρικής ενέργειας στα δίκτυα μεταφοράς ή απλούστερα σε μια γραμμή ισχύος. Η τελική διαδρομή που ακολουθεί η ηλεκτρική ενέργεια είναι η είσοδός της στον τομέα της αγοράς και της ζήτησης. Άλλωστε, οι σύγχρονοι πληθυσμοί χρειάζονται την ενέργεια αυτή και για την επιβίωσή τους, καθώς η πλειοψηφία των συσκευών λειτουργεί συνήθως με ηλεκτρικό ρεύμα. Μπορεί να παρουσιάζει δυσκολία στον τρόπο αποθήκευσής της, αλλά διαθέτει τον πλέον μελλοντικό τρόπο καύσης για τη χρησιμοποίηση των οχημάτων.



**Εικόνα 1.9:** Απεικόνιση συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, κατάλληλα συνδεδεμένων με γραμμές μεταφοράς. [16]

## 1.6.2 Ο ορισμός του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας

Μελετώντας αρχικά τα χαρακτηριστικά και τις λειτουργίες της ηλεκτρικής ενέργειας, κρίνεται απαραίτητη η περαιτέρω επεξήγηση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, του συστήματος δηλαδή που παράγεται και μεταφέρεται η ενέργεια αυτή. Πιο συγκεκριμένα, ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας αποτελείται από την παραγωγή, τη μεταφορά, τη διανομή και την μεταπόληση ενέργειας. Σε αυτό υπάρχει ένα σύνολο υποδομών που περιλαμβάνει εγκαταστάσεις παραγωγής, δίκτυα μεταφοράς και διανομής και αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Δηλαδή, το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας λαμβάνει μια μορφή ενέργειας (όπως ο άνθρακας) και τη μετατρέπει σε ηλεκτρική ενέργεια. Το συνολικό σύστημα ισχύος, βρίσκεται διασυνδεδεμένο είτε με γεννήτρια ή κινητήρα είτε με διακόπτη κυκλώματος. [17]

Σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας εμφανίζονται κάποιοι υποσταθμοί, οι οποίοι κρίνονται απαραίτητοι για την ομαλή λειτουργία του. Διαθέτει τον Υποσταθμό Παραγωγής, Μεταφοράς, Υπομεταφοράς και Διανομής. Αναλυτικότερα:

- i.** Ο Υποσταθμός Παραγωγής, περιλαμβάνει τον θερμοηλεκτρικό, τον υδροηλεκτρικό και τον πυρηνικό σταθμό, το καύσιμο τροποποιείται σε ηλεκτρική ενέργεια και η ηλεκτρική ισχύς δημιουργείται από 11kV έως 25kV.
- ii.** Ο Υποσταθμός Μεταφοράς, ασχολείται με τα καλώδια που τοποθετούνται στον αέρα και μεταδίδουν την ηλεκτρική ενέργεια στους σταθμούς παραγωγής και ειδικότερα σε μεγάλους καταναλωτές. Τα καλώδια μεταφοράς ενώνουν δύο ή πιο πολλές εγκαταστάσεις στις οποίες παράγονται ηλεκτρική ενέργεια και μεταφέρουν την ενέργεια από τους σταθμούς παραγωγής σε ειδικούς χώρους λήψης της.
- iii.** Ο Υποσταθμός Υπομεταφοράς, λειτουργεί με παρόμοιο τρόπο όπως ένα σύστημα διανομής και ενώνει τους υποσταθμούς υψηλής τάσης με τους υποσταθμούς διανομής μέσω του μετασχηματιστή υποβάθμισης. Όμως το μέγεθος της τάσης του είναι ελαφρώς μεγαλύτερο από ένα σύστημα διανομής.
- iv.** Ο Υποσταθμός Διανομής, συνδέει κάθε καταναλωτή του συστήματος με τις πηγές ενέργειας καθώς και τους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με τους υποσταθμούς παραγωγής. Επιπλέον, προσδίδουν ηλεκτρικό ρεύμα σε συγκεκριμένους υποσταθμούς, που τοποθετούνται κοντά σε κέντρα φόρτωσης. Τόσο οι οικιακοί όσο και οι εμπορικοί καταναλωτές, εξυπηρετούνται συνεχώς από τους συγκεκριμένους υποσταθμούς.

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα δίκτυα μεταφοράς εμφανίζονται στους αυτοκινητόδρομους, που μετακινούνται διάφορα οχήματα καθημερινά και συγκροτούν ένα δίκτυο πολλαπλών πυλώνων και εναέριων γραμμών. Από την άλλη, τα δίκτυα διανομής εμφανίζονται στους επαρχιακούς δρόμους, που αποτελούνται από μικρότερους πυλώνες που διαθέτουν γραμμές χαμηλότερης τάσης και υπόγεια καλώδια. [18]



## 1.7 Η σύγκριση μεταξύ μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας

Στις μέρες μας είναι επιστημονικά αποδεδειγμένο το γεγονός ότι η μεταφορά και η διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας, συγκροτούν τους βασικότερους πυλώνες για την ομαλή λειτουργία ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. *Η βασικότερη διαφοροποίηση μεταξύ των 2 μορφών ενέργειας, είναι το μέγεθος της τάσης στο οποίο μεταφέρεται η ηλεκτρική ενέργεια σε κάθε επίπεδο.* Η ηλεκτρική ενέργεια αποδίδεται μέσω ενός συστήματος ηλεκτρικών καλωδίων για την παροχή κάθε ανάγκης της κοινωνίας. Τα συστήματα αυτά, τοποθετούνται κατάλληλα πάνω στο έδαφος ή ακόμη υψηλότερα αποτελώντας ένα ολοκληρωμένο ηλεκτρικό δίκτυο. [19]

Οπότε η μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας, συγκεντρώνει τη συνολική μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας από ένα σημείο παραγωγής σε έναν ηλεκτρικό υποσταθμό. Η επιτάχυνση της μεταφοράς αυτής, γίνεται με τη βοήθεια των διασυνδεδεμένων γραμμών, οι οποίες συνήθως παρουσιάζουν διαφοροποιήσεις μεταξύ υποσταθμών υψηλής τάσης και καταναλωτών. Άλλωστε, μια επιτυχής μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας μεγάλου μεγέθους και απόστασης, για να ικανοποιηθεί χρειάζεται αρκετά υψηλές τάσεις με αποτέλεσμα να περιορίζονται ολοένα και περισσότερο οι απώλειες εξαιτίας των ισχυρών ρευμάτων. Για την υλοποίηση της διαδικασίας αυτής, συμπεριλαμβάνονται μετασχηματιστές για την αύξηση της τάσης με στόχο να μεταδοθούν σε μεγάλες αποστάσεις. [20]

Από την άλλη η διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας, αντιπροσωπεύει την τελική και ολοκληρωμένη κατάληξη για την παράδοση της ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς προσδίδει την ηλεκτρική ενέργεια από τον υποσταθμό μεταφοράς σε συγκεκριμένους καταναλωτές. Όταν οι υποσταθμοί διανομής ηλεκτρικής ενέργειας συνδέονται με το σύστημα μεταφοράς, με στόχο τον περιορισμό της τάσης σε επίπεδα μεταξύ των 2kV και 35kV, με τη συμβολή των μετασχηματιστών. Επιπρόσθετα, οι κύριες γραμμές διανομής μεταβιβάζουν την ισχύ μέσης τάσης σε μετασχηματιστές διανομής, για την ελάττωση της τάσης χρήσης (όπως ο φωτισμός και η λειτουργία οικιακών συσκευών). Για την πραγματοποίησή της, η ηλεκτρική ενέργεια ξεκινάει από τις γεννήτριες και τους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με τη βοήθεια καλωδίων στον αέρα κατάλληλα μονωμένων και καταλήγουν στην ένωση μεγάλων αποστάσεων έως και την τελευταία κατανάλωση. Με την μόνωση των καλωδίων, κρίνεται εφικτή η μείωση των ηλεκτρολογικών ατυχημάτων, έχοντας παράλληλα μικρό κόστος απωλειών. Οι βασικότερες κατηγορίες συστημάτων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας είναι το συμβατικό, συμπαγές και απομονωμένο εναέριο και το υπόγειο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα:

- i.** Το Συμβατικό εναέριο δίκτυο διανομής, δεν διαθέτει μονωμένους αγωγούς με αποτέλεσμα να εμφανίζει συχνά βραχυκυκλώματα.
- ii.** Το Συμπαγές εναέριο δίκτυο διανομής, διαθέτει μονωμένους αγωγούς, χωρίς να χρειάζεται πολύ χώρο με ελάχιστες διαταραχές και αποτελεί μια ασφαλή επιλογή.
- iii.** Το Απομονωμένο εναέριο δίκτυο διανομής, διαθέτει αγωγούς με μόνωση για συστροφή κάνοντάς το πιο προστατευμένο αλλά ταυτόχρονα και πιο ακριβό.
- iv.** Το Υπόγειο δίκτυο διανομής, κρίνεται περισσότερο αξιόπιστο, με καλύτερα αποτελέσματα αλλά είναι το πιο ακριβό από τις κατηγορίες όλων των δικτύων διανομής. [21]

## 1.8 Η περιγραφή των γραμμών μεταφοράς ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας

Τις τελευταίες δεκαετίες σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας εμφανίζονται ολοένα και περισσότερες γραμμές μεταφοράς, βελτιστοποιώντας τη λειτουργία του. Κάνοντας μια μικρή ιστορική αναδρομή, οι γραμμές μεταφοράς και διανομής εφευρέθηκαν από την ίδια εταιρία τη δεκαετία του 1990. Όμως με το πέρασμα των χρόνων η ζήτηση και η αγορά της ηλεκτρικής ενέργειας, οδήγησε στον διαχωρισμό των εταιριών που ασχολιόντουσαν με τη μεταφορά και τη διανομή της ενέργειας. Με τη διαφοροποίηση αυτή, οι γραμμές μεταφοράς ξεκίνησαν να λειτουργούν και στο συνεχές αλλά και στο εναλλασσόμενο ρεύμα. [22]

*Οι γραμμές μεταφοράς ή αλλιώς οι ηλεκτρικές γραμμές μεταδίδουν την ηλεκτρική ενέργεια από περιοχή σε περιοχή, συνηθέστερα με εναλλασσόμενο ρεύμα με αποτέλεσμα να αυξάνονται τα επίπεδα τάσης από τους μετασχηματιστές ανύψωσης. Εμφανίζονται 3 κατηγορίες γραμμών μεταφοράς σε ένα ηλεκτρικό σύστημα, οι εναέριας, οι υπόγειες και οι γραμμές υπομεταφοράς. Δηλαδή:*

- i.** Οι εναέριας γραμμές, υποστηρίζουν υψηλά επίπεδα τάσεων μεταξύ 100kV και 800kV, με στόχο τον περιορισμό των απωλειών ισχύος προς την αντίσταση.
- ii.** Οι υπόγειες γραμμές, μεταφέρουν την ηλεκτρική ενέργεια στις κατοικίες και γενικότερα σε κάθε περιοχή που κρίνεται αδύνατη η κατασκευή εναέριας γραμμών. Επιπλέον, είναι λιγότερο συνηθισμένες σε σχέση με τις εναέριας γραμμές επειδή εκπέμπουν μεγάλα ποσά θερμότητας και κοστίζουν αρκετά περισσότερο.
- iii.** Οι γραμμές υπομεταφοράς, έχουν την ικανότητα να πάρουν υπόγεια ή εναέρια μορφή και υποστηρίζουν χαμηλότερες τάσεις μεταξύ 26kV και 69kV. [23]

*Κατά τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας, οι γραμμές μεταφοράς αντιπροσωπεύουν ψηλούς στύλους και πύργους, που αποτελούνται από ένα μεγάλο σύνολο καλωδίων που μεταφέρουν υψηλές ποσότητες ισχύος και συνεπώς τάσης σε μεγάλες αποστάσεις. Αντίθετα, κατά τη διανομή ηλεκτρικής ενέργειας, η ισχύς που αποδίδεται στις γραμμές μεταφοράς μειώνεται σε τάση από τους μετασχηματιστές και ύστερα καταλήγει στις γραμμές διανομής. Οι γραμμές διανομής φτάνουν σε κατοικίες ή επιχειρήσεις και τα ποσά ενέργειας και τάσης που αποδίδουν είναι εμφανώς μικρότερα σε σχέση με τα αντίστοιχα της μεταφοράς ενέργειας.*

Χαρακτηριστικό των γραμμών μεταφοράς, είναι ότι προσαρμόζονται από υποσταθμούς μετασχηματισμού, οι οποίοι αντιπροσωπεύονται από μετασχηματιστές, εξοπλισμό ελέγχου και προστασίας. Για τη διανομή ενέργειας, απαιτούνται γραμμές υψηλής, μέσης και χαμηλής τάσης καθώς αποτελούνται από το ονομαζόμενο βασικό δίκτυο, με τιμή τάσης ίση ή μεγαλύτερη από 230kV. Τα δίκτυα με γραμμές μεταφοράς χαμηλής και μέσης τάσης συγκροτούν τα πρωτεύοντα και δευτερεύοντα δίκτυα, έχοντας τάση μεταξύ 2,3kV και 44kV. Τέλος, τα εναέρια δίκτυα παρέχουν κυρίως χαμηλή τάση μεταξύ 110V και 400V και τα καλώδιά τους βρίσκονται σε σχετικά χαμηλό ύψος. [24]

## 1.9 Τα χαρακτηριστικά των γραμμών μεταφοράς

Οι εναέριες γραμμές μεταφοράς, συγκροτούνται από ένα σύνολο αγωγών που συνδυάζονται ταυτόχρονα μεταξύ τους, δημιουργώντας υποστηρικτική βοήθεια στη λειτουργία των γραμμών. Οι αγωγοί αποτελούνται με τη σειρά τους από μία αντίσταση (R), μία επαγωγή (L) και έναν συνδυασμό διακλάδωσης χωρητικότητας (C) και αγωγιμότητας (G) και εκφράζονται τις περισσότερες φορές ανά χιλιόμετρο. Και οι 4 παράμετροι των αγωγών τοποθετούνται ομοιόμορφα διανεμημένα σε όλη την έκταση της γραμμής, οι πρώτες 3 κατηγορίες εξαρτώνται από το υλικό που εφαρμόζεται και τις φυσικές διαστάσεις του, ενώ η τελευταία κατηγορία από τη διαρροή πάνω από τους μονωτές. Οι απώλειες διαρροής στις περιπτώσεις των εναέριων γραμμών μεταφοράς, περιορίζονται στο κομμάτι της μόνωσης και υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας παραμελούνται. [25]

Ένας υπάρχων αγωγός μιας γραμμής μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, διαθέτει τα εξής χαρακτηριστικά:

- i. Χαμηλή ειδική αντίσταση και υψηλή αγωγιμότητα
- ii. Υψηλή αντοχή σε εφελκυσμό και σε μηχανικές καταπονήσεις
- iii. Χαμηλό ειδικό βάρος και κόστος για χρήση σε μεγάλες αποστάσεις.

Επιπρόσθετα, οι αγωγοί διακρίνονται σε 2 κατηγορίες, με στόχο την αποδοτικότερη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας. Τα κριτήρια ασφαλέστερης επιλογής αγωγού είναι η κοστολόγηση και οι προαπαιτήσεις του εξοπλισμού. Οι αγωγοί χαλκού, παρουσιάζουν υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα και μεγαλύτερη αντοχή σε εφελκυσμό. Από την άλλη, οι αγωγοί αλουμινίου, εξαιτίας της μη διαθεσιμότητας και του αυξημένου κόστους του χαλκού, είναι φθηνότεροι και με πολύ μικρότερο βάρος. Άλλωστε, σε συνθήκες μεταφοράς υψηλής τάσης, προτιμάται αλουμίνιο με πυρήνα χάλυβα. Το κάδμιο, ο φώσφορος και ο γαλβανισμένος χάλυβας συνεισφέρουν κατά την αγωγή μεταφοράς.

Κατά τη μεταφορά των αγωγών εναέριας γραμμής, πραγματοποιείται η ανακατάταξη των θέσεων των αγωγών ισχύος κατά μήκος της γραμμής με στόχο ο κάθε αγωγός να παίρνει την πρωτότερη θέση του προηγούμενου αγωγού, χωρίς να διατηρεί απαραίτητα παρόμοια απόσταση. Με τον τρόπο αυτό, οι επαγωγές και οι χωρητικότητες του παρουσιάζουν ανομοιομορφίες στην εναλλαγή των φάσεων, όμως η ποσότητα ισχύος μεταξύ των φάσεων μεταβάλλεται δραστικά. Οι εκσυγχρονισμένες γραμμές μεταφοράς, δεν μετακινούνται σε συνεχή και άμεσα χρονικά διαστήματα και ανταλλάσσουν τις θέσεις των αγωγών στους σταθμούς μεταγωγής για την καλύτερη διακύμανση της επαγωγής ή της χωρητικότητας των φάσεων. [26]

Οι γραμμές μεταφοράς κατά την είσοδό τους στην επιφάνεια της γης, μεταβάλλουν τη χωρητικότητα τους καθώς και το ηλεκτρικό πεδίο ολόκληρης της γραμμής. Η επιφάνεια της γης καταλαμβάνει μια ισοδυναμική επιφάνεια, με αποτέλεσμα οι γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας να αποκόπτουν τη γη σε ορθογώνια μορφή. Με την απουσία της επιφάνειας της γης αποτυπώνεται παρόμοια κατανομή πεδίου με τη συμπλήρωση ενός επιπρόσθετου φορτίου. Για τον προσδιορισμό της χωρητικότητας, η γη παραδίδει τη θέση της σε έναν αγωγό φορτισμένο με βλέψη προς τα κάτω από την επιφάνεια της γης έχοντας απόσταση παρόμοια με το ύψος του πραγματικού αγωγού πάνω από τη γη. Ο αγωγός αυτός έχει φορτίο, ίσου μεγέθους αλλά αντίθετου πρόσημου από αυτό του αρχικού αγωγού. [27]

### 1.9.1 Τα είδη των γραμμών μεταφοράς

Έως την παρούσα κατάσταση, η ισχύς αναπτύσσεται σε σταθμούς παραγωγής και ύστερα διανέμεται σε κάθε καταναλωτή από τις γραμμές μεταφοράς. Οι γραμμές μεταφοράς διαθέτουν μεγέθη τόσο αποστολής όσο και λήψης, σε συνδυασμό με την αντίσταση σειράς, την αυτεπαγωγή, τη χωρητικότητα και την αγωγιμότητα διακλάδωσης. Η ποιότητα και η κατασκευή μιας γραμμής μεταφοράς μεταβάλλονται από κάθε παράμετρό της με ξεχωριστό τρόπο, καθώς κατανέμονται με ομοιομορφία σε ολόκληρη την έκτασή της. Άλλωστε, η απόδοση μιας γραμμής που μεταδίδει ηλεκτρική ενέργεια διασφαλίζει την ομαλή ρύθμιση των ροών ισχύος της και περιγράφεται από τον λόγο της ισχύος του άκρου λήψης προς την ισχύ του άκρου αποστολής. Σε περιπτώσεις που κυκλοφορεί ηλεκτρικό ρεύμα διαμέσου μιας ηλεκτρικής γραμμής, προκύπτει πτώση τάσης στο περίβλημά της εξαιτίας της αντίστασης και της επαγωγής της γραμμής. Αυτό έχει ως συνέπεια, να περιορίζεται η τάση στο άκρο λήψης σε σύγκριση με την τάση του άκρου αποστολής.

#### 1.9.1.1 Οι μικρού μήκους γραμμές μεταφοράς

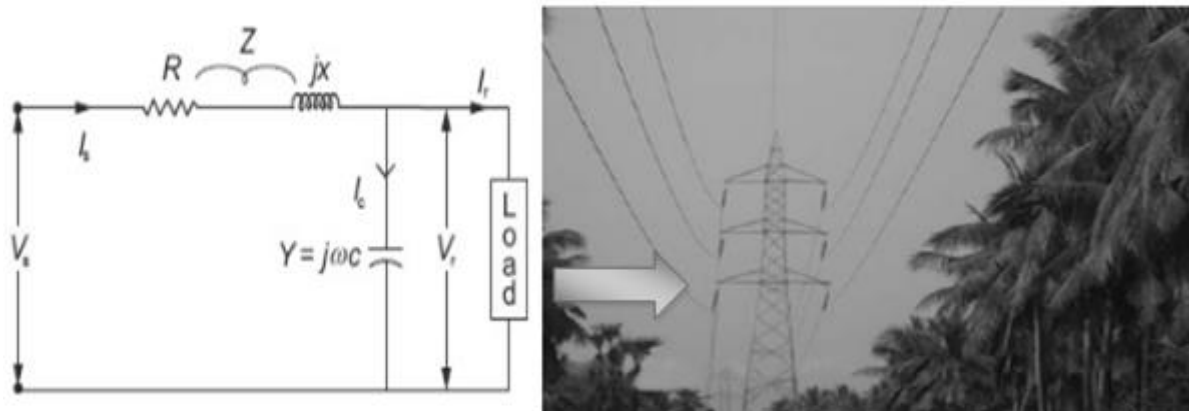
Σε ηλεκτρικές εγκαταστάσεις όπου το μήκος των εναέριων γραμμών μεταφοράς είναι μικρότερο από 80km με τάση λειτουργίας έως 20kV, η συγκεκριμένη γραμμή καλείται ως βραχεία γραμμή μεταφοράς. Εξαιτίας των προαναφερόμενων χαρακτηριστικών, το ρεύμα φόρτισης παρουσιάζεται ιδιαίτερα χαμηλό. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, να μην επηρεάζει η χωρητικότητα την απόδοση του συγκεκριμένου είδους γραμμών και μπορεί να μην καταλογιστεί κατά τη σύνδεση των γραμμών από τους υποσταθμούς διανομής στο σημείο κατανάλωσης.



Εικόνα 1.10: Σχηματική απεικόνιση μιας γραμμής μεταφοράς μικρού μήκους. [28]

### 1.9.1.2 Οι μεσαίου μήκους γραμμές μεταφοράς

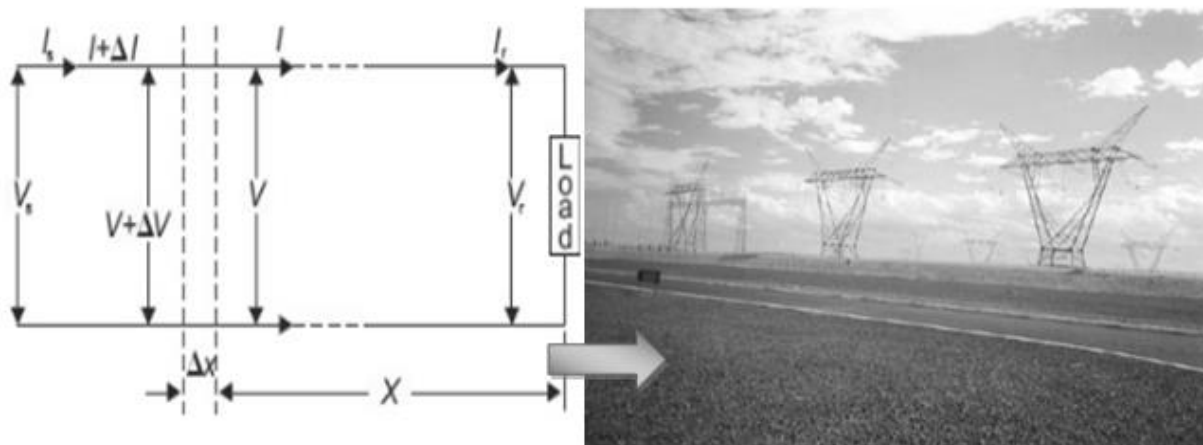
Σε ηλεκτρικές εγκαταστάσεις όπου το μήκος των εναέριων γραμμών μεταφοράς προσεγγίζεται μεταξύ 100km και 250km με τάση λειτουργίας από 20kV έως 100kV, καλείται ως μεσαία γραμμή μεταφοράς. Η αναπτυσσόμενη σύνθετη αντίσταση και η είσοδος διακλάδωσης (χωρητικότητα), διαθέτουν μια υπολογίσιμη ποσότητα μέσα στη γραμμή μεταφοράς. Παραδείγματα γραμμών μεταφοράς μέσου μήκους, είναι οι γραμμές υπομεταφοράς που ενώνονται με τον υποσταθμό μεταφοράς και διανομής.



Εικόνα 1.11: Σχηματική απεικόνιση μιας γραμμής μεταφοράς μεσαίου μήκους. [29]

### 1.9.1.3 Οι μεγάλου μήκους γραμμές μεταφοράς

Σε ηλεκτρικές εγκαταστάσεις όπου το μήκος των εναέριων γραμμών, για μεγαλύτερες τιμές μήκους και αναπτυσσόμενης τάσης που περιγράφονται στις γραμμές, καλείται ως μεγάλη γραμμή μεταφοράς. Η αντίσταση ( $R$ ), η αυτεπαγωγή ( $L$ ), η χωρητικότητα ( $C$ ) και η αγωγιμότητα ( $G$ ) είναι οι παράμετροι των εναέριων γραμμών μεταφοράς που εμφανίζονται σε μια εναέρια και ομοιόμορφη γραμμή μεταφοράς μεγάλου μήκους. Οι διαδικασίες για τον εντοπισμό της χωρητικότητας σε μεγάλες γραμμές μεταφοράς θα προξενήσει ως συμπέρασμα ένα ελάχιστο σχετικό σφάλμα. Η απόδοση μιας μεγάλης γραμμής, προσδιορίζεται ομοιόμορφα με κατανεμημένες παραμέτρους σε όλη την γραμμή για την ορθότερη αντίληψη των αποτελεσμάτων.



Εικόνα 1.12: Σχηματική απεικόνιση μιας γραμμής μεταφοράς μεγάλου μήκους. [29]

### 1.9.2 Ο μηχανικός σχεδιασμός των γραμμών μεταφοράς

Η συνηθέστερη επιλογή για την κατασκευή μιας γραμμής μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, υλοποιείται έχοντας ως βάση κάποιες ηλεκτρικές και μηχανικές εκτιμήσεις. Οι αγωγοί, τα στηρίγματα, οι μονώσεις και οι πόλοι της γραμμής μεταφοράς οφείλουν να είναι εξοπλισμένοι αντικρούοντας τυχούσες εξωτερικές παρεμβάσεις που θα τα θέσουν εκτός λειτουργίας. Για τον λόγο αυτό, κρίνονται απαραίτητοι οι μηχανικοί συντελεστές ασφαλείας για την ομαλή λειτουργία οποιασδήποτε γραμμής. Οι παράγοντες που μεταβάλλουν τον μηχανικό εξοπλισμό της εναέριας γραμμής μεταφοράς είναι οι εξής:

- ✓ Η προβλεπόμενη διαδρομή, που επηρεάζεται από την απόσταση, τις γεωγραφικές συνθήκες και τις μεταφορικές διευκολύνσεις.
- ✓ Η αναζήτηση του είδους πόλων, που μεταβάλλεται από την έκταση της γραμμής. Άλλωστε, το βάρος του αγωγού, η τάση και το κόστος λειτουργίας της γραμμής, οι συνθήκες του εδάφους επιδρούν στην επιλογή των πόλων.
- ✓ Το διάκενο των αγωγών, περιλαμβάνει την ηλεκτρική αποσαφήνιση της τάσης λειτουργίας, το μήκος των αγωγών και τη διεύθυνση ανέμου.
- ✓ Η μηχανική φόρτιση, αποτελείται από το μήκος του ανοίγματος, τον τύπο των υλικών του αγωγού, την περιοχή διατομής των αγωγών και τη διαφορά επιπέδου βύθισης μεταξύ παρακείμενων πύργων. [30]

Τέλος, τα στηρίγματα των γραμμών μεταφοράς αντιπροσωπεύουν τους πόλους μιας εναέριας γραμμής μεταφοράς και είναι ενισχυμένα με το φορτίο των αγωγών. Οι διάφορες κατηγορίες στηριγμάτων γραμμής παρατίθενται στη συνέχεια:

- ✓ Η χρήση ξύλινων στύλων ως στηρίγματα γραμμών, με προβλεπόμενη διάρκεια από 25 έως και 30 χρόνια ζωής. Οι ξύλινοι στύλοι, επεκτείνονται έως περίπου 60m διατηρώντας χαμηλή τάση, έχουν ελαστικότητα και προστατεύονται από μεταλλικό καπάκι στην κορυφή ελαχιστοποιώντας τα φαινόμενα φθοράς. Έχουν τη δυνατότητα να τοποθετούνται με ευκολία και φθηνά, ενώ παράλληλα διαβρώνονται στο επίπεδο του εδάφους.
- ✓ Οι σωληνωμένοι χαλύβδινοι πόλοι, διατίθενται σε τάσεις έως 33kV και είναι πιο ακριβοί από τους ξύλινους στύλους. Έχουν μικρό βάρος, αυξημένη διάρκεια ζωής έως και 30 χρόνια επειδή είναι γαλβανισμένα και μεγάλη αντοχή σε πιθανούς κραδασμούς. Επιπλέον, χρησιμοποιούνται για μεγάλα ανοίγματα, δηλαδή από 50 έως 80m και είναι κατάλληλα για το φωτισμό των δρόμων σε πόλεις.



**Εικόνα 1.13:** Σχηματική απεικόνιση ενός σωληνωμένου χαλύβδινου πόλου. [31]

- ✓ Οι πόλοι RCC, διατίθενται σε τάσεις έως 33kV και έχουν ορθογώνιο σχήμα στο κάτω μέρος και τετράγωνο στο πάνω μέρος. Είναι πιο ισχυροί και ανθεκτικοί και χρησιμοποιούνται για ακόμη μεγάλα ανοίγματα, δηλαδή από 80 έως 200m. Εξασφαλίζουν μεγάλη διάρκεια ζωής και μια ήπια μορφή συντήρησης, όμως είναι δύσκαμπτοι, ζυγίζουν και κοστίζουν αρκετά.[32]



**Εικόνα 1.14:** Σχηματική απεικόνιση ενός πόλου RCC. [31]

- ✓ Οι χαλύβδινοι πύργοι, είναι ανθεκτικοί ως προς την κατασκευή τους, χρησιμοποιούνται για ανοίγματα της τάξεως των 300m και διατίθενται σε τάσεις άνω των 66kV. Είναι κατάλληλοι για κοιλάδες, σιδηροδρομικές γραμμές, ποτάμια και έχουν αρκετά μεγάλη διάρκεια ζωής. Επίσης, δεν αλλοιώνονται τα χαρακτηριστικά τους σε σοβαρές κλιματολογικές συνθήκες και δεν καταστρέφονται από δασικές πυρκαγιές. Με ένα επιπλέον κόστος, οι γραμμές μεταφοράς διπλού κυκλώματος τοποθετούνται στον ίδιο πύργο, ενώ σε συνθήκες βλάβης ενός κυκλώματος, καθίσταται εφικτή η μεταφορά της ισχύος μέσω του άλλου. Αυτή η κατηγορία πύργων είναι υπεύθυνη για επίπεδα τάσης περίπου 132kV, 220kV, 400kV και 765kV.



**Εικόνα 1.15:** Σχηματική απεικόνιση ενός χαλύβδινου πύργου. [31]

## 2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> : Η έννοια του βραχυκυκλώματος και η πρόκληση ηλεκτρικής πυρκαγιάς

Έως το παρόν κεφάλαιο έχει αποσαφηνιστεί πλήρως το φαινόμενο των πυρκαγιών. Επίσης, έγινε αναφορά στην έννοια του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, των παράπλευρων συστημάτων που το τροφοδοτούν και των γραμμών μεταφοράς του, που καθορίζουν τη μεταφορά και τη διανομή ηλεκτρικής ενέργειας σε κάθε καταναλωτή για την κάλυψη των αναγκών του. Στην παρούσα κατάσταση, θα καθοριστεί η ύπαρξη των βραχυκυκλωμάτων, η οποία είναι απόρροια μιας δυσλειτουργίας του συστήματος ενέργειας και μπορούν να προκληθούν από μια ηλεκτρική πυρκαγιά. [32]

Απαραίτητη προϋπόθεση για την εμφάνιση ενός βραχυκυκλώματος, είναι η υπερφόρτιση του ηλεκτρικού κυκλώματος από ένα σύνολο συσκευών συνδεδεμένο σε αυτό. Δηλαδή, η υπερβολική χρήση ηλεκτρικής ενέργειας από τους καταναλωτές οδηγεί στο φαινόμενο αυτό. Με άλλα λόγια, με μια υπερφόρτιση σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα επιτυγχάνεται ακόμα μεγαλύτερη ηλεκτρική ενέργεια με στόχο την πλήρη διασφάλιση του κυκλώματος. Τα ηλεκτρικά κυκλώματα έχουν κατασκευαστεί για να διαχειρίζονται συγκεκριμένο μέγεθος ηλεκτρικής ενέργειας. Συμπληρώνονται από καλωδιώσεις, διακόπτες ή ασφάλειες και ηλεκτρικές συσκευές (όπως φωτιστικά, κουζίνα, ψυγείο). Η κατανάλωση κάθε συσκευής συνυπολογίζεται στο συνολικό φορτίο του ηλεκτρικού κυκλώματος, με αποτέλεσμα η αύξηση του φορτίου αυτού να δημιουργεί τη διακοπή λειτουργίας του διακόπτη κυκλώματος, σταματώντας την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος στο κύκλωμα.

Εάν το κύκλωμα δεν διαθέτει διακόπτη ασφαλείας, μια πιθανή υπερφόρτωση θα οδηγούσε σε υπερθέρμανση των καλωδίων, με αποτέλεσμα να καταστραφεί η μόνωση των καλωδίων, να δημιουργηθεί βραχυκύκλωμα και στη συνέχεια ηλεκτρική πυρκαγιά. Τα συστήματα ενέργειας που τοποθετούνται σε κατοικίες και εργοστάσια, έχουν σχεδιαστεί με κατάλληλο τρόπο καλωδίωσης και προστασίας, για να συνδέεται μια πληθώρα συσκευών χωρίς υπερφορτίσεις. [33]



**Εικόνα 2.1:** Αποτύπωση ενός συστήματος ενέργειας, με πιθανή εμφάνιση βραχυκυκλώματος και υπερφόρτισης. [33]



Οι ενδείξεις υπερφόρτισης ενός καλωδίου σε μια εγκατάσταση ποικίλουν ανάλογα με τις συνθήκες σύνδεσης του καλωδίου. Η προφανέστερη ένδειξη είναι η ξαφνική διακοπή της τροφοδοσίας του κυκλώματος. Επιπρόσθετα, θερμαίνονται τα καλύμματα εξόδου και οι πρίζες, περιορίζεται ο φωτισμός κατά την ταυτόχρονη λειτουργία πολλών συσκευών και μυρίζουν καύση οι συσκευές εξαιτίας πιθανού βραχυκυκλώματος. Για την αποφυγή υπερφόρτισης, κρίνεται αναγκαία η χαρτογράφηση των κυκλωμάτων για την ορθή τοποθέτηση μιας σειράς συσκευών και καλωδίων. Ο υπολογισμός της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται σε κάθε συσκευή μετριέται σε Watt:

$$1 \text{ Watt} = 1 \text{ Volt} \times 1 \text{ Ampere} \quad (2-1)$$

Για τον υπολογισμό του συνολικού φορτίου σε κάθε κύκλωμα, απαιτείται η πρόσθεση των συνολικών ισχύων κάθε συσκευής, όπου η τιμή τους αναγράφεται στην ετικέτα της πίσω όψης κάθε συσκευής. Δεν αποτελεί κριτήριο ασφαλείας η απόδοση μέγιστου φορτίου σε ένα κύκλωμα, αλλά η διακύμανσή του μέχρι και του 80% του ονομαστικού του φορτίου. Τέλος, η μείωση του φορτίου για την αποτροπή υπερφόρτισης (και συνεπώς βραχυκυκλώματος) προϋποθέτει τη μετακίνηση των βυσματοποιημένων συσκευών σε ένα κύκλωμα που δεν λειτουργεί συχνά, την αντικατάσταση των φορτίων φωτισμού με λαμπτήρες πυρακτώσεως ή αλογόνου με ενεργειακά αποδοτικούς λαμπτήρες LED ή CFL (φθορισμού) και τη χρήση συσκευών υψηλής ζήτησης. [34]

## **2.1 Το νόημα του ηλεκτρικού βραχυκυκλώματος**

Όπως αναφέρθηκε και στο εισαγωγικό μέρος του κεφαλαίου αυτού, η έννοια του βραχυκυκλώματος εισχωρεί σε ένα κύκλωμα, με βαθύτερη αποτίμηση σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, προξενώντας αναταραχές στη λειτουργία όλου του συνόλου. Το βραχυκύκλωμα είναι απόρροια βλαβών και ολικών καταστροφών του εξοπλισμού, προκαλώντας ηλεκτρικές πυρκαγιές, ηλεκτροπληξία ακόμα και την απώλεια ανθρώπινων ζώων. Επιπλέον, αξιολογείται ως μια βλαβερή επίδραση σε ηλεκτρικές γεννήτριες και κινητήρες και αρκετές φορές αναπτύσσει σε αυτά πυρκαγιά που οδηγεί στην ολοκληρωτική καταστροφή τους.

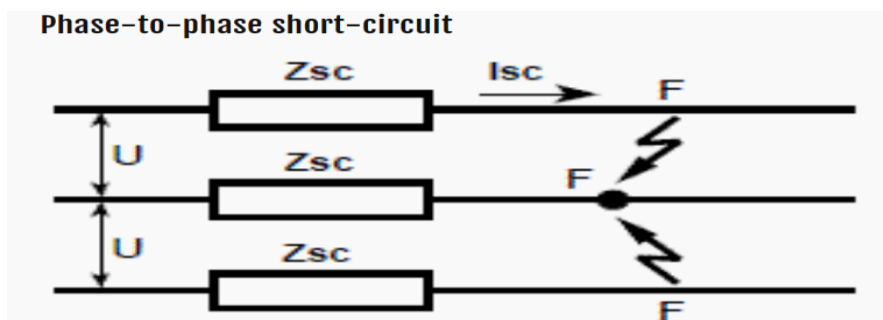
Γενικά με τον όρο βραχυκύκλωμα, θεωρείται μια ανεξέλεγκτη και απρόβλεπτη θερμική και ηλεκτρική ισχύς που αναπτύσσεται όταν 2 φάσεις έρχονται σε επαφή μεταξύ τους ή όταν μια φάση επικοινωνεί με τον ουδέτερο ή τη γείωση. Συσσωρεύουν μεγάλες ποσότητες ενέργειας και θερμότητας, οι οποίες αλλοιώνουν το πλαστικό, τον χαλκό, το αλουμίνιο και το σίδηρο και προξενούν βλάβες στον εξοπλισμό και ηλεκτρικές πυρκαγιές. Σε μια κατοικία ή μια εγκατάσταση, καλύπτοντας τις ανάγκες της με την ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να δημιουργηθεί βραχυκύκλωμα με αποτέλεσμα να διακοπεί η παροχή ισχύος και να πραγματοποιηθούν σημαντικές ζημιές.

Κατά τον προσδιορισμό του βραχυκυκλώματος, το ηλεκτρικό ρεύμα προσανατολίζεται σε έναν καινούργιο προορισμό, προκαλώντας την υπερχείλιση του σε μια λανθασμένη τοποθεσία. Όταν το ηλεκτρικό ρεύμα επικοινωνεί με την νέα του διαδρομή θερμαίνει κάποιο καλώδιο που έρχεται σε επαφή με ένα ουδέτερο καλώδιο και ακολουθεί την ύπαρξη μιας χαμηλής αντίστασης, έχοντας ως συνέπεια να σταματήσει η τροφοδοσία όλων των ηλεκτρικών συσκευών. Το βραχυκύκλωμα επιφέρει κατά το πέρασμά του κατεστραμμένες ασφάλειες και καμένους διακόπτες. Παρατηρούνται συχνά σπινθήρες και τρίξιμο στους ηλεκτρολογικούς εξοπλισμούς. [35]

## 2.2 Τα είδη του βραχυκυκλώματος

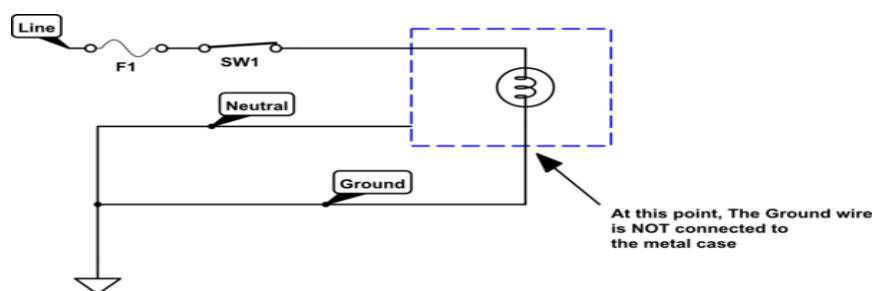
Έχοντας ως αφετηρία τη βαθύτερη μορφή του βραχυκυκλώματος, ένα ηλεκτρικό βραχυκύκλωμα μπορεί να αναπαρασταθεί από 3 τύπους: το φάση σε φάση βραχυκύκλωμα, το φάση προς ουδέτερο βραχυκύκλωμα και το φάση με γείωση βραχυκύκλωμα. Αξίζει να σημειωθεί ότι το βραχυκύκλωμα φάσης σε φάση είναι το περισσότερο επιβλαβές από τα 3 είδη βραχυκυκλώματος. Πιο συγκεκριμένα:

- i. Φάση σε φάση, όταν δύο φάσεις με ενέργεια έρχονται σε επαφή.



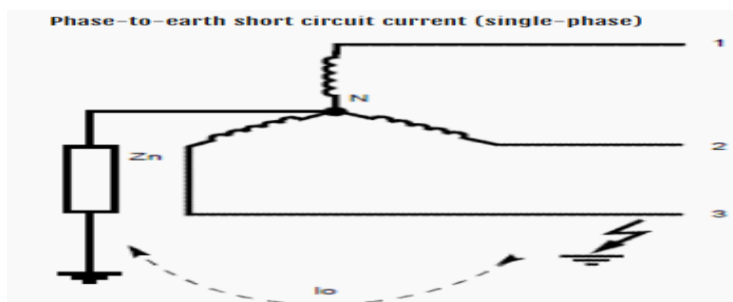
Εικόνα 2.2: Παρουσίαση ενός κυκλώματος με φάση-φάση βραχυκύκλωμα. [36]

- ii. Φάση προς ουδέτερο, όταν μια φάση αγγίζει την ουδέτερη γραμμή.



Εικόνα 2.3: Παρουσίαση ενός κυκλώματος με φάση-ουδέτερο βραχυκύκλωμα. [36]

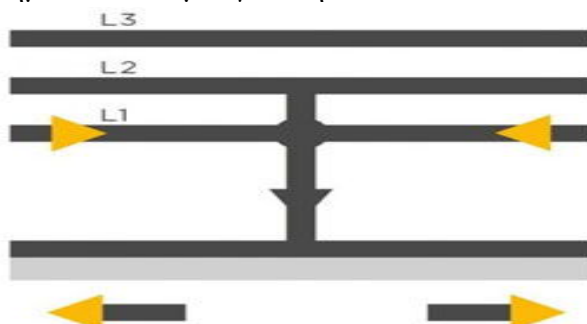
- iii. Φάση με γείωση, όταν μια φάση έρχεται σε επαφή με ένα γειωμένο εξάρτημα.



Εικόνα 2.4: Παρουσίαση ενός κυκλώματος με φάση-γείωση βραχυκύκλωμα. [36]

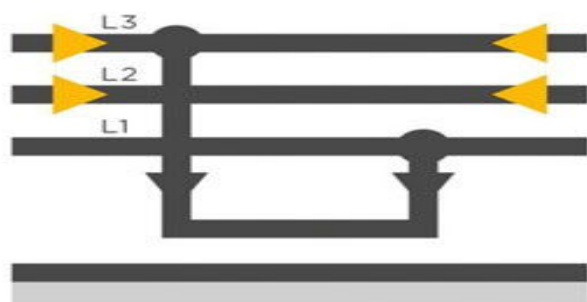
Επιπρόσθετα, υπάρχουν 4 περιπτώσεις βραχυκυκλωμάτων σε ένα σύγχρονο κύκλωμα που προσδιορίζονται για την κατανομή ισχύος και την πρόβλεψή τους για την αποφυγή σφαλμάτων ή βλαβών. Δηλαδή:

- iv. Η δημοφιλέστερη περίπτωση ενός βραχυκυκλώματος σε ένα τριφασικό σύστημα, συγκροτεί ένα σφάλμα ενός αγωγού προς γείωση. Αυτό επιτυγχάνεται όταν ένας από τους αγωγούς σε ένα ηλεκτρικό σύστημα συναντά μια γείωση.



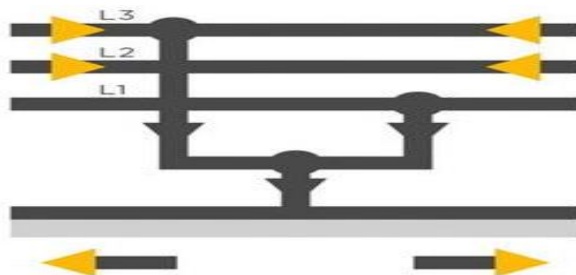
Εικόνα 2.5: Ανάλυση ενός κυκλώματος με σφάλμα ενός αγωγού προς γείωση. [36]

- v. Ο δεύτερος πιο διαδεδομένος τύπος βραχυκυκλώματος, εμφανίζει ένα σφάλμα φάσης προς φάση ή αγωγού προς αγωγό. Αυτό δημιουργείται όταν δύο από τους αγωγούς σε μια εγκατάσταση επικοινωνούν μεταξύ τους.



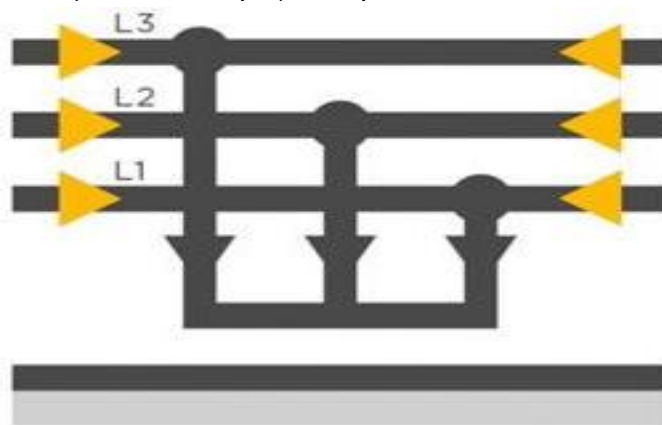
Εικόνα 2.6: Ανάλυση ενός κυκλώματος με σφάλμα ενός αγωγού προς αγωγό ή φάσης προς φάση. [36]

- vi. Ο τρίτος πιο συνηθισμένος τύπος βραχυκυκλώματος είναι ένα σφάλμα διπλής φάσης ή διπλού αγωγού προς γείωση. Αυτό διεξάγεται στις περιπτώσεις που δύο από τους αγωγούς σε ένα κύκλωμα (ο καθένας ταυτόχρονα) έρχονται σε επαφή με μια γείωση.



Εικόνα 2.7: Ανάλυση ενός κυκλώματος με σφάλμα διπλής φάσης ή διπλού αγωγού προς γείωση. [36]

- vii.** Το τελευταίο είδος βραχυκυκλώματος αποτελείται από ένα σφάλμα τριφασικών ή τριών αγωγών, δηλαδή οι τρεις αγωγοί καταλήγουν σε μια γείωση. Όπως και στις προηγούμενες κατηγορίες, ο προορισμός της ελάχιστης αντίστασης πραγματοποιείται μέσω σφάλματος και όχι μέσω του εξοπλισμού που θα τροφοδοτηθεί.



**Εικόνα 2.8:** Ανάλυση ενός κυκλώματος με σφάλμα τριφασικών ή τριών αγωγών σε μια γείωση. [36]

### 2.3 Οι αιτίες προέλευσης του βραχυκυκλώματος

Οι βασικότερες αιτίες των βραχυκυκλωμάτων παρουσιάζονται σε όλα τα επίπεδα μιας ηλεκτρικής εγκατάστασης και τα καλώδια που μεταφέρουν ηλεκτρική ενέργεια καθώς και οι αγωγοί διανομής ηλεκτρικού ρεύματος, αποτυπώνονται απομονωμένοι και ανεξάρτητοι από το υπόλοιπο σύνολο. Στην περίπτωση που οι 3 φάσεις του κυκλώματος επικοινωνούν μεταξύ τους ή αλληλεπιδρούν με τη γείωση, αναπτύσσεται το φαινόμενο του βραχυκυκλώματος. Άλλωστε το κυριότερο χαρακτηριστικό ενός ηλεκτρικού βραχυκυκλώματος, είναι η αστοχία μόνωσης μεταξύ φάσεων ή μεταξύ φάσεων και ουδέτερου. Για την περαιτέρω αποσαφήνιση της αστοχίας μόνωσης, η μόνωση σε κάθε ηλεκτρική συσκευή αποτελεί μία στρώση ή περαιτέρω στρώσεις στον αγωγό και κατασκευάζεται από PVC ή XLPE με τα αντίστοιχα αυξημένα όρια θερμοκρασίας.

Η περιβάλλουσα θερμότητα αλλοιώνει το μονωτικό στρώμα και προξενεί μηχανικές βλάβες και ζητήματα κατασκευής που καταστρέφουν τη μόνωση και ενισχύουν τις ηλεκτρικές πυρκαγιές. Το παραπάνω ηλεκτρικό ρεύμα και τα ανθρώπινα σφάλματα ενισχύουν τη δημιουργία βραχυκυκλώματος, καθώς ενώνουν διαφορετικές φάσεις μεταξύ τους ή με τον ουδέτερο. [37]

Επομένως, οι πιο διαδεδομένες αιτίες βραχυκυκλώματος αναλύονται στη συνέχεια με κάθε λεπτομέρεια και είναι η ελαττωματική μόνωση κυκλώματος ή καλωδίου, η ελαττωματική συσκευή και τα ανθρώπινα σφάλματα. Αναλυτικότερα:

- i.** Στην ελαττωματική μόνωση του κυκλώματος ή του καλωδίου, αρκετές φορές παρατηρείται η αλλοίωση και η πλήρης καταστροφή στον πυρήνα του καλωδίου με το πέρασμα του καιρού και τη συνεχή λειτουργία του. Η εσωτερική επιφάνεια του καλωδίου διαβρώνεται συνεχώς εξαιτίας της επαφής του ζεστού με του ουδέτερου καλωδίου, προκαλώντας μια κατάσταση βραχυκυκλώματος. Η εκτιμήτρια διάρκεια ζωής ενός καλωδίου είναι έως και περίπου 40 χρόνια. Ύστερα από τη συγκεκριμένη περίοδο το κύκλωμα εμφανίζει σφάλμα και αν δεν αντικατασταθεί η βλάβη θα προκληθεί ηλεκτρική πυρκαγιά στον εξοπλισμό.
- ii.** Στην ελαττωματική συσκευή, εμφανίζεται κάποιο σφάλμα σε μια συσκευή κατά τη διάρκεια ροής του ηλεκτρικού ρεύματος με αποτέλεσμα να αναπτύσσεται βραχυκύκλωμα. Συνηθέστερη αιτία πρόκλησης βραχυκυκλώματος για αυτήν την περίπτωση είναι μια υγρή συσκευή στην οποία διαπερνάται ηλεκτρική ενέργεια.
- iii.** Σε ένα ανθρώπινο λάθος, συνδυάζονται οι προαναφερόμενες αιτίες που αναλύθηκαν διεξοδικά συνδυαστικά με τα σφάλματα από εξειδικευμένο προσωπικό κατά την εργασία τους σε καλώδια ηλεκτρισμού και ρεύματος. Αυτό συμβαίνει επειδή κάποιες φορές δεν τηρούνται οι απαραίτητες διαδικασίες ηλεκτρικής ασφάλειας και ηλεκτρικής απομόνωσης. Οι λανθασμένοι χειρισμοί πραγματοποιούν ηλεκτρική σύνδεση μεταξύ δύο διαφορετικών φάσεων και η χρήση μη απομονωμένων εργαλείων χειρός εντείνουν το φαινόμενο των βραχυκυκλωμάτων.

Επιπλέον, *ορισμένες αιτίες δημιουργίας βραχυκυκλώματος προέρχονται από φθαρμένους αγωγούς και από μη ομαλή λειτουργία ενός διακόπτη σε μία ή περισσότερες φάσεις.* Η υπερύψωση των τάσεων εκτός των κανονικών συνθηκών σε ορισμένες περιοχές της εγκατάστασης προξενεί αστοχίες μόνωσης και ανάπτυξη σφαλμάτων βραχυκυκλώματος.

*Όλα τα αίτια βραχυκύκλωσης που περιγράφηκαν, οδηγούν σε ένα σύνολο επιπτώσεων είτε στο εσωτερικό είτε στο εξωτερικό ενός εξοπλισμού.* Δηλαδή, οι εσωτερικές συνέπειες αποτελούνται από βλάβες στις γραμμές ή στους εξοπλισμούς μεταφοράς, παλαίωση της μόνωσης και αλλοίωση της μόνωσης σε γεννήτρια και σε μετασχηματιστή. Αντίθετα, οι εξωτερικές συνέπειες εναποθέτουν υπερφόρτωση στον εξοπλισμό και αστοχία μόνωσης λόγω υπερτάσεων και μηχανικών βλαβών από την ανθρώπινη παρέμβαση. [38]



**Εικόνα 2.9:** Εμφάνιση ηλεκτρικής πυρκαγιάς σε ηλεκτρικό κύκλωμα με αλλοιωμένη μόνωση. [38]

## 2.4 Οι συνέπειες και η αρνητική επίδραση του βραχυκυκλώματος

Είναι σημαντικό να αποσαφηνιστεί ότι ένα βραχυκύκλωμα καθίσταται άκρως επικίνδυνο επειδή η ύπαρξή του καταλήγει σε ηλεκτρική πυρκαγιά, σε βλάβες ηλεκτρικών εγκαταστάσεων και σε ανθρώπινο τραυματισμό ή θάνατο. Συνήθως περιβάλλεται από θερμικά και μηχανικά αποτελέσματα, εξάγοντας μια υπολογίσιμη ποσότητα θερμικής ισχύος. Κατά τη διεξαγωγή ενός βραχυκυκλώματος, επιτυγχάνεται μια άμεση μεταβολή στο ηλεκτρικό κύκλωμα και ένα μέγεθος ηλεκτρικού ρεύματος αρχίζει από τη γεννήτρια που διέρχεται μέσα από καλώδια καταλήγει στη θέση σφάλματος. Αυτή η τιμή ρεύματος είναι άκρως μεγαλύτερη από το κανονικό ρεύμα. Επιπλέον, παράγεται υψηλή θερμοκρασία με στόχο την πλήρη καταστροφή των συσκευών και το λιώσιμο των χάλκινων αγωγών που επικοινωνούν με τον διακόπτη κυκλώματος.

Τα βραχυκυκλώματα έχουν τη δυνατότητα να συμμετέχουν στην ανάπτυξη της υπερθέρμανσης, της πυρκαγιάς και διαφόρων άλλων εκρήξεων εντείνοντας την πιθανότητα βλάβης σε ολόκληρο το σύστημα. Τα παραπάνω οδηγούν στη συνεχή αύξηση του ρεύματος, οξύνοντας το φαινόμενο του βραχυκυκλώματος. Πέρα από τον σχηματισμό μιας ηλεκτρικής πυρκαγιάς, τα βραχυκυκλώματα συχνά εκφράζονται και με τη μορφή ηλεκτρικού τόξου που είναι μια ηπιότερη μορφή φωτιάς. Λόγου χάρη, εάν ένα τόξο σε μια γραμμή μεταφοράς έχει αλλοιωμένη μορφή λόγω απουσίας καθαρισμού του, θα βλάψει αρκετά τον αγωγό εξαιτίας της θραύσης του και η γραμμή μεταφοράς θα τεθεί εκτός λειτουργίας για αρκετό χρόνο. [39]

Οι επιδράσεις ενός βραχυκυκλώματος χωρίζονται σε 2 μεγάλες κατηγορίες: στη μηχανική και στη θερμική επίδραση του βραχυκυκλώματος. Παρακάτω, παρουσιάζονται και οι 2 αυτές κατηγορίες διεξοδικά:

Κατά τη μηχανική επίδραση του βραχυκυκλώματος, η ροή ρεύματος ακολουθεί διαδρομή αντίθετη από την κανονική κατεύθυνση ροής εξαιτίας της ύπαρξης σφάλματος στη γραμμή διαύλου. Αυτό έχει ως συνέπεια την ανάπτυξη μιας εσφαλμένης ράβδου διαύλου σε σχέση με την κανονική φάση και για τον λόγο αυτό παραγκωνίζονται τα εξαρτήματα του εξοπλισμού στην αέρια κατάσταση.

Κατά τη θερμική επίδραση του βραχυκυκλώματος, το ηλεκτρικό ρεύμα διαπερνά έναν ηλεκτρικό αγωγό κάτι που ανυψώνει ραγδαία τη θερμοκρασία. Η επικείμενη αύξηση εξαρτάται από την αντίσταση του αγωγού και την ποσότητα ρεύματος. Η τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος εξελίσσεται σε ανάλογη τιμή με την διακύμανση της θερμοκρασίας. Αν δεν περιοριστεί η ισχύς ενός ελαττωματικού φορτίου το ρεύμα του βραχυκυκλώματος και η θερμοκρασία αυξάνονται ραγδαία με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί πυρκαγιά.

Τέλος, οι συνέπειες ενός βραχυκυκλώματος οφείλονται από τη συσσώρευση του ηλεκτρικού ρεύματος κατά τη φάση του βραχυκυκλώματος και από τη χρονική διάρκεια της επιτρεπόμενης ροής του ρεύματος. Για αυτό, σε όλα τα κυκλώματα υπάρχουν ορισμένες μελέτες προστασίας έναντι των ρευμάτων βραχυκυκλώματος. Σε πραγματικές συνθήκες, η σύνθετη αντίσταση δεν είναι μηδενική, οπότε οι υπολογισμοί αποδίδουν την υψηλότερη επιθυμητή τιμή της. [40]

## 2.5 Οι μέθοδοι πρόληψης του βραχυκυκλώματος

Τα βραχυκυκλώματα συγκροτούν ένα μεγάλο μέρος των ηλεκτρικών ατυχημάτων που διεξάγονται καθημερινά και αναπτύσσουν σημαντικές ζημιές στο ηλεκτρικό κύκλωμα. Όταν μια μικρής τιμής αντίσταση αδυνατεί να μεταδώσει ηλεκτρική ενέργεια, ενώ λαμβάνει ηλεκτρικό ρεύμα μεγάλης έντασης εντείνεται όλο και πιο πολύ το φαινόμενο αυτό. Για τον περιορισμό των βραχυκυκλωμάτων και κατά συνέπεια την έλλειψη ηλεκτροπληξίας και πυρκαγιάς, απαιτούνται ειδικά μέτρα για την πρόληψή τους. Στη συνέχεια, παρατίθενται μερικοί τρόποι και διαδικασίες πρόληψης για την ελάττωση του φαινομένου των βραχυκυκλωμάτων:

Ο έλεγχος μιας πρίζας πριν έρθει σε κατάσταση λειτουργίας, στην οποία υπάρχει ένα κουτί με συνδεδεμένα καλώδια. Μολονότι κρίνεται δύσκολη η προσπάθεια αντίληψης ενός τέτοιου προβλήματος, είναι απαραίτητος ο έλεγχος της εξόδου για τυχόν σημάδια εγκαύματος ή μυρωδιάς καμένου και σπινθήρων που εξάγονται από την πρίζα. Η ελαττωματική σύνδεση και καλωδίωση αλλά και η γήρανση της πρίζας αποτελούν βασικές ενδείξεις για μια πιθανή εμφάνιση βραχυκυκλώματος.

Ο έλεγχος μιας συσκευής πριν έρθει σε κατάσταση λειτουργίας, επιτυγχάνεται με στόχο τη μείωση των εσφαλμένων καλωδίων. Μια συσκευή αξιολογείται ως κατεστραμμένη όταν εξάγεται από αυτήν καπνός ή κάποια στοιχεία τήξης. Επιπλέον απαιτείται ένας ενδελεχής έλεγχος για τυχόν διαβρωμένα καλώδια, για ρωγμές στη συσκευή και για οποιοδήποτε εκτεθειμένο κύκλωμα υπάρχει σε αυτήν.

Κατά τη διάρκεια έντονης βροχόπτωσης, υφίσταται η μείωση οποιασδήποτε σπατάλης στη χρήση του ηλεκτρικού ρεύματος επειδή μπορεί να προκληθεί ένας κεραυνός και ο αυξημένος όγκος ηλεκτρικής ενέργειας που θα έχει συσσωρευτεί να δημιουργήσει σοβαρούς κινδύνους. Τα βραχυκυκλώματα περιορίζονται με την ελάττωση του φωτισμού μειώνοντας ταυτόχρονα τις πιθανότητες αύξησης της ισχύος στον εξεταζόμενο χώρο.

Η πραγματοποίηση μιας τυπικής ετήσιας συντήρησης του διακόπτη κυκλώματος, για την προστασία από κάθε είδους βραχυκύκλωμα. Οι διακόπτες κυκλώματος, είναι υπεύθυνοι για την απομάκρυνση φαινομένων υπερθέρμανσης. Ο εξοπλισμός αυτός, που υποστηρίζεται από ένα σύνολο κυκλωμάτων, χαρακτηρίζεται ασταθής με αποτέλεσμα να κρίνεται απαραίτητη η συντήρηση των κυκλωμάτων αυτών. Αναλυτικότερα, είναι σημαντική η εξέταση κάθε διακόπτη κυκλώματος για τυχόν ζημιές ή για χαλάρωση των εξαρτημάτων του. Επιπλέον, θεσπίζεται η πληροφόρηση του κάθε είδους κυκλώματος που ελέγχει ο διακόπτης και ο καθαρισμός του από τυχούσες βρωμιές ή σκόνες. [41]

Η επιδιόρθωση ελαττωματικής μόνωσης καλωδίων, χρίζει άξια της προσοχής των ηλεκτρικών συστημάτων και τον έλεγχο των ηλεκτρικών ρευμάτων. Στην περίπτωση που τα καλώδια δεν είναι μονωμένα, το ηλεκτρικό ρεύμα ρέει ανεξέλεγκτα. Η μόνωση καλωδίων επιφέρει ηλεκτρική και μηχανική καταπόνηση, υπερβολική ζέστη ή κρύο και βρωμιά ή υγρασία.

Συνοπτικά, η προστασία από ένα ηλεκτρικό βραχυκύκλωμα κρίνεται αναγκαία για την ομαλή λειτουργία μιας εγκατάστασης. Οι ηλεκτρικές ζημιές εντείνουν όλο και πιο πολύ τις ηλεκτρικές πυρκαγιές που μπορούν να προξενήσουν ανθρώπινες απώλειες και καταστροφές κατοικιών. [42]

## 2.6 Ο συσχετισμός μεταξύ πυρκαγιάς και ενός ηλεκτρικού συστήματος

Μέχρι στιγμής έχει αναλυθεί διεξοδικά το φαινόμενο του βραχυκυκλώματος μαζί με τις επιπτώσεις και τους τρόπους αντιμετώπισής του. Στη συνέχεια θα επιτευχθεί η σύμπτυξη όλων των προαναφερόμενων ορολογιών και η περαιτέρω επεξήγηση τους, με στόχο την παρουσίαση καινοτόμων βασικών εννοιών που θα μελετηθούν στη συνέχεια. Με τον τρόπο αυτό, γίνεται λόγος για την διατύπωση του ζητήματος της ηλεκτρικής πυρκαγιάς, μιας πυρκαγιάς δηλαδή που αναπτύσσεται σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας ή γενικότερα σε μια σύνθετη εγκατάσταση.

Αξιοσημείωτο να ειπωθεί είναι ότι οι ηλεκτρικές πυρκαγιές αποτυπώνονται με παρόμοια μορφή τόσο σε επαγγελματικούς χώρους όσο και σε κατοικίες. Βάσει αρκετών ερευνών έχει διαπιστωθεί ότι πιο πολλές από 50.000 ηλεκτρικές πυρκαγιές συμβαίνουν κάθε χρόνο, με αποτέλεσμα να χάνονται περίπου 500 ανθρώπινες ζωές και να προκύπτουν περισσότεροι από 1.400 τραυματισμοί. Ταυτόχρονα, οι ζημιές των κατοικιών και η φθορά των υποδομών προσεγγίζει πάνω από 1 δισεκατομμύριο ευρώ. Επομένως, κρίνεται απαραίτητη η λήψη δραστικών μέτρων από την πολιτεία με στόχο τον περιορισμό των πυρκαγιών εξαιτίας του ηλεκτρικού ρεύματος, που αυξάνονται ολοένα και περισσότερο. [43]

### 2.6.1 Η ανάλυση της ηλεκτρικής πυρκαγιάς

Με τον όρο ηλεκτρική πυρκαγιά, που αναφέρθηκε πρωτύτερα, θεωρείται η λανθασμένη εντολή ή η δυσλειτουργία των ηλεκτρικών εξαρτημάτων, που συγκροτούν το σύνολο του εξοπλισμού και τα οποία έχουν την ικανότητα να δημιουργήσουν μια πυρκαγιά. Η έννοια αυτή, αντιπροσωπεύει έναν γενικό ορισμό που υλοποιείται εξαιτίας ενός ηλεκτρολογικού προβλήματος και εμφανίζεται σε μια συσκευή ηλεκτρικού ρεύματος, σε καλωδιώσεις και σε ηλεκτρικά κυκλώματα.

Μια ηλεκτρική πυρκαγιά μπορεί να εμφανιστεί κατά τη διάρκεια λειτουργίας ενός ηλεκτρικού πίνακα εξαιτίας της παλαιότητάς του και της τοποθέτησης υπερφορτωμένων κυκλωμάτων σε αυτόν ή μέσα σε ηλεκτρικά εξαρτήματα, σε διακόπτες κυκλώματος και σε ηλεκτρικά καλώδια. Στις περιπτώσεις που η διανομή ηλεκτρικής ενέργειας κρίνεται ανεπαρκής, ο πίνακας και τα καλώδια που τον τροφοδοτούν υπερφορτώνονται και αναθερμαίνονται σε μικρά χρονικά διαστήματα. Ακόμη, τα όργανα φωτισμού λειτουργούν ως φορείς θερμότητας και τοποθετούνται σε κοντινή απόσταση από εύφλεκτα υλικά. Όλες οι παραπάνω παράμετροι οδηγούν στην εμφάνιση της ηλεκτρικής πυρκαγιάς, οπότε είναι σκόπιμο να γίνει αναφορά στην συντήρηση των εξοπλισμών και στην πρόληψη των ανθρώπων σε προσωπικό επίπεδο. [44]



### 2.6.2 Ο τρόπος επέκτασης της ηλεκτρικής πυρκαγιάς

Μια ηλεκτρική πυρκαγιά, έχει την προοπτική να εξαπλωθεί σε τακτά χρονικά διαστήματα εξαιτίας κυρίως της ανθρώπινης αμέλειας αλλά και του περάσματος του χρόνου που αλλοιώνει τα ηλεκτρολογικά και μονωτικά χαρακτηριστικά των εξοπλισμών. Για τη διεξαγωγή μιας ηλεκτρικής πυρκαγιάς, εμφανίζονται 2 γενικοί τρόποι που συντελούν στην ύπαρξή της: με μια σπίθα και με μια υπερθέρμανση.

Είναι γεγονός ότι μια σπίθα παρουσιάζεται όταν η ηλεκτρική ενέργεια δεν έχει έναν σταθερό προορισμό, από την αρχή έως την τελική διαδρομή. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι μια πρίζα ή μια ολόκληρη ηλεκτρική συσκευή. Η ηλεκτρική ενέργεια παράγει αυτόνομα σπινθήρες κατά τη μεταφορά ή τη διανομής της. Οι πηγές που είναι ευνοϊκές στην ύπαρξη σπινθήρων και συνεπώς πυρκαγιάς είναι το ξύλο, η σκόνη, το χαρτί και οτιδήποτε εύφλεκτο συναντήσει στην πορεία της.



**Εικόνα 2.10:** Αναπαράσταση ηλεκτρικής πυρκαγιάς εξαιτίας σπινθήρων. [45]

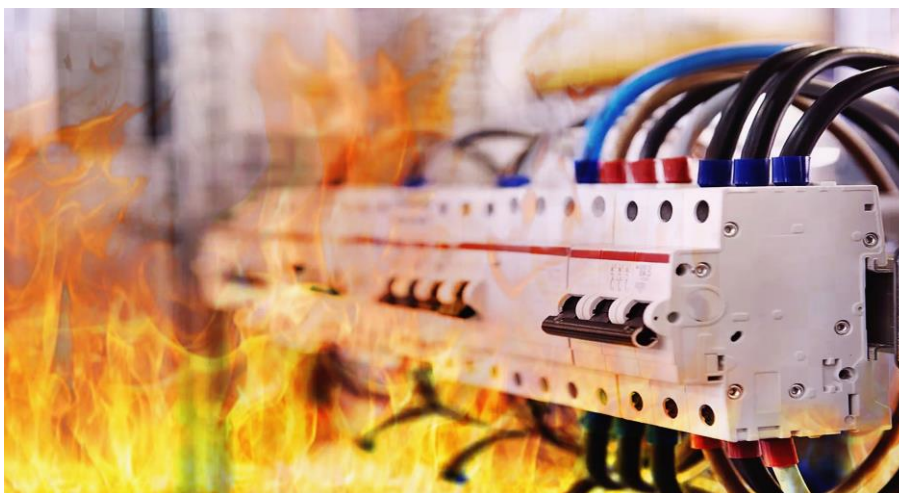
Επίσης, η υπερθέρμανση εμφανίζεται όταν σε ένα καλώδιο ή σε μια ηλεκτρική συσκευή αυξάνεται σε μεγάλα επίπεδα η θερμοκρασία του. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αρχίζουν να λιώνουν και να αλλοιώνονται τα χαρακτηριστικά τους και ταυτόχρονα τα καλώδια να βρίσκονται εκτεθειμένα. Στις περιπτώσεις δε που η θερμοκρασία ξεπερνάει κατά πολύ τα όρια, δημιουργείται πυρκαγιά όταν έρθει σε επαφή με εύφλεκτα υλικά, όπως τα μέταλλα, προξενώντας μια σειρά προβλημάτων στον περιβάλλοντα χώρο.



**Εικόνα 2.11:** Αναπαράσταση ηλεκτρικής πυρκαγιάς εξαιτίας υπερθέρμανσης. [45]

## 2.7 Τα αίτια των ηλεκτρολογικών πυρκαγιών

Τα τελευταία χρόνια, η ανθρώπινη δραστηριότητα βασίζεται αρκετά στην απόδοση της ηλεκτρικής ενέργειας με στόχο την παροχή υπηρεσιών της στις επιχειρήσεις, στις κατοικίες ακόμα και στην οικονομία. Η παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας από τον άνθρωπο προσεγγίζεται στα 62kWh δισεκατομμύρια καθημερινά. Όμως όπως ένα ηλεκτρικό σύστημα προσφέρει ένα σύνολο υπηρεσιών, είναι πιθανό αρκετές να μην λειτουργεί σωστά δημιουργώντας τον κίνδυνο εμφάνισης μιας ηλεκτρικής πυρκαγιάς. Άλλωστε με την κατανόηση και την λήψη προληπτικών αποφάσεων για τη συντήρηση των ηλεκτρικών συστημάτων, αποτρέπεται σημαντικά η εξάπλωση των ηλεκτρικών πυρκαγιών.



Εικόνα 2.12: Απεικόνιση πυρκαγιάς σε ηλεκτρολογικό εξοπλισμό. [46]

### 2.7.1 Η λανθασμένη συντήρηση

Μια από τις βασικότερες αιτίες πρόκλησης ηλεκτρικής πυρκαγιάς, είναι αυτή της λανθασμένης συντήρησης στον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό της εγκατάστασης, καθώς η προγραμματιζόμενη συντήρηση μειώνει σχεδόν εξολοκλήρου τη δημιουργία πυρκαγιάς. Με την ορθή συντήρηση, επιτυγχάνεται η αφαίρεση της βρωμιάς και της σκόνης και η αντικατάσταση των διακοπών που παρουσιάζουν σφάλμα. Επιπλέον, οι συστροφές μέσα σε μια καλωδίωση εμφανίζουν μια ηλεκτρική αντίσταση αυξάνοντας τη θερμότητα του καλωδίου και αναπτύσσονται ηλεκτρικά τόξα σε ηλεκτρικούς πίνακες, σε φθαρμένα καλώδια και σε καλώδια επέκτασης. [46]

### 2.7.2 Ο μακροχρόνιος και φθαρμένος εξοπλισμός

Σε κάθε κατοικία, είναι γνωστό ότι ο παλαιός εξοπλισμός οδηγεί στην συνεχή αύξηση των ηλεκτρικών πυρκαγιών που προξενεύεται στις συσκευές του. Για αυτόν τον λόγο, απαιτείται η αντικατάσταση των ελαττωματικών κυκλωμάτων με ηλεκτρικούς και σύγχρονους πίνακες και ασφαλέστερο εξοπλισμό, που θα μειώνει σημαντικά την επέκταση των ηλεκτρικών πυρκαγιών. Στην Αμερική, το 19% των πυρκαγιών αποδίδεται σε μη κατοικήσιμα κτίρια, ενώ το 13% σε κατοικίες που διαθέτουν φθαρμένο και παλαιωμένο εξοπλισμό. [46]

### **2.7.3 Η μη τήρηση των κωδίκων ασφαλείας**

Είναι γεγονός ότι με την ραγδαία εξέλιξη της ηλεκτρικής ενέργειας, αυξάνεται ταυτόχρονα και η ζήτησή της από το κοινωνικό σύνολο αφηφώντας σε αρκετές περιπτώσεις τους κανόνες ασφαλείας. Ο αναχρονισμένος εξοπλισμός σε συνδυασμό με τις καλωδιώσεις του, δεν αντιπροσωπεύει την υπάρχουσα ζήτηση καθώς συνηθίζεται στην εξυπηρέτηση παλαιών εγκαταστάσεων και κατοικιών. Οπότε όταν η καλωδίωση έχει υποστεί αλλοιωμένη επίστρωση, τα καλώδια δημιουργούν ηλεκτρικά τόξα καθώς δεν συμβαδίζουν με την ένταση ρεύματος του κυκλώματος με αποτέλεσμα να προκαλείται πυρκαγιά. Όσο μεγαλύτερη είναι η ένταση του κυκλώματος, τόσο ισχυρότερα πρέπει να είναι ενισχυμένες οι καλωδιώσεις για να ελαττωθεί η ποσότητα θερμότητας που αλλοιώνει τα χαρακτηριστικά τους και συντελεί στην αύξηση της ηλεκτρικής πυρκαγιάς. Για να πραγματοποιηθεί λάμψη του τόξου, απαιτούνται θερμοκρασίες έως και 1000°C καθώς η κατασκευή του σύρματος αντέχει έως και 200 μοίρες. [47]

### **2.7.4 Οι ηλεκτρικοί πίνακες και οι διακόπτες του κυκλώματος**

Οι διακόπτες προστασίας ενός κυκλώματος, περιορίζουν την εισαγωγή ηλεκτρικού ρεύματος στο κύκλωμα προστατεύοντας το κύκλωμα από την υπερφόρτωση και τη φθορά. Ακόμη, έχουν την ικανότητα να μειώνουν τις υπερτάσεις ή τις αιχμές ισχύος, τα βραχυκυκλώματα και τα σφάλματα γείωσης στο ηλεκτρικό κύκλωμα. Έχοντας επίγνωση των συνολικών παροχών που προσφέρουν στο κύκλωμα, καθίσταται αναγκαία η ενημέρωση του ηλεκτρικού πίνακα και των αυτόματων διακοπών του για να αποφευχθούν φαινόμενα ηλεκτρικής πυρκαγιάς. [48]

### **2.7.5 Η ελαττωματική καλωδίωση**

Τα καλώδια υπεισέρχονται στο ηλεκτρικό κύκλωμα με στόχο να παρέχουν ασφάλεια κατά τη μεταφορά του ηλεκτρικού ρεύματος στις συσκευές και στον ηλεκτρικό εξοπλισμό. Δημιουργείται σοβαρό πρόβλημα όταν κάποιο καλώδιο ή μια πρίζα είναι ελαττωματικά με αποτέλεσμα όταν αυτά θερμανθούν, να παράγουν σπινθήρες ή ηλεκτρικά τόξα, αναφλέγοντας οποιοδήποτε υλικό συναντήσουν. Οι πρίζες και τα καλώδια διοχετεύουν συγκεκριμένη ποσότητα ηλεκτρικού ρεύματος, αποδίδοντας στις συσκευές μια σταθερή τιμή ισχύος. Σε περίπτωση που επιδιωχθεί η συσσώρευση περισσότερης ηλεκτρικής ενέργειας σε αυτά, τότε ο εξοπλισμός ξεκινά να θερμαίνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα. Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, για την αποφυγή ενός τέτοιου περιστατικού απαιτείται μεγαλύτερο φάρδος καλωδίου, που να αποδέχεται τα συγκεκριμένα ποσά ενέργειας και παράλληλα να μην θερμαίνεται. [49]

## 2.8 Ο τρόπος αντιμετώπισης της ηλεκτρικής πυρκαγιάς

Αξίζει να αναφερθεί ότι το συγκεκριμένο είδος πυρκαγιάς που εξετάζεται, δηλαδή οι ηλεκτρικές πυρκαγιές, ανήκουν στην κατηγορία Γ' των βασικότερων πυρκαγιών. Όταν εμφανίζεται πυρκαγιά σε έναν ηλεκτρικό εξοπλισμό πρέπει να αποφεύγεται η προσπάθεια κατάσβεσής της με νερό, επειδή θα χειροτερέψει την κατάσταση και θα θέσει σε κίνδυνο την ανθρώπινη ζωή. Αυτό δικαιολογείται από το γεγονός ότι το νερό μεταφέρει το ηλεκτρικό ρεύμα σε οποιαδήποτε υγρή περιοχή και μπορεί να προκαλέσει ηλεκτροπληξία στον ανθρώπινο οργανισμό, επιδεινώνοντας ακόμη περισσότερο τα επίπεδα της αναπτυσσόμενης φωτιάς. [50]

Για την πλήρη καταστολή μιας ηλεκτρικής πυρκαγιάς, είναι απαραίτητος ένας πυροσβεστήρας χειρός, ο οποίος με τον ειδικό αφρό που διαθέτει είναι κατάλληλος για την αντιμετώπιση πυρκαγιών κατηγορίας Γ'. Επιπλέον ένα αυτόματο σύστημα πυρόσβεσης που τοποθετούν οι εγκαταστάτες στις σύγχρονες κατοικίες και επιχειρήσεις, βοηθά στον άμεσο περιορισμό της πυρκαγιάς με τη βοήθεια ειδικών αισθητήρων κατάλληλα τοποθετημένων στους χώρους. Το μοναδικό μειονέκτημα του πυροσβεστήρα χειρός σε σχέση με το συνολικό σύστημα, είναι ότι κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς θα πρέπει να παραβρίσκεται ένα άτομο που να χειριστεί με ορθό τρόπο τον πυροσβεστήρα, θέτοντας σε κίνδυνο τη ζωή του. [51]

## 2.9 Η αποτίμηση των γραμμών μεταφοράς στις αξίες των ακινήτων

Είναι βέβαιο ότι εξαιτίας της μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, οι γραμμές μεταφοράς επιφέρουν σημαντικό κίνδυνο αξιοπιστίας, επειδή τοποθετούνται σε περιοχές με υψηλό κίνδυνο πυρκαγιάς και περικλείονται από κεραυνούς. Για τον λόγο αυτό, επιτυγχάνεται η ξαφνική διακοπή μεταφοράς της ροής της ηλεκτρικής ενέργειας σε οποιοδήποτε μήκος γραμμής μεταφοράς. Ο πυκνός καπνός που περιβάλλεται σε μια δασική πυρκαγιά, διακόπτει την τροφοδοσία του κυκλώματος με άμεση συνέπεια την υποτίμηση της γραμμής μεταφοράς ή τη διακοπή λειτουργίας του κυκλώματος σε μιας κοντινής απόστασης πυρκαγιά, με στόχο να αποτραπεί η θερμική ζημιά στη γραμμή που δημιουργείται από συσσωρευμένα στρώματα καπνού. [52]

Κατά την εξάπλωση μιας πυρκαγιάς που αναπτύσσεται σε κοντινή γραμμή μεταφοράς, οι ξύλινοι στύλοι καίγονται ολοσχερώς και επηρεάζονται σημαντικά από τη θερμότητα οι χαλύβδινοι πύργοι. Οι αγωγοί με αυτές τις συνθήκες, παρουσιάζουν εύκολα φυσική ζημιά από τη θερμότητα μιας πυρκαγιάς, η βλάβη αυτή δεν επισκευάζεται και οι αγωγοί χρειάζονται αντικατάσταση. Η πυρκαγιά αποκόπτει την τροφοδοσία του κυκλώματος και ενισχύει τη θερμοκρασία περιβάλλοντος του αέρα γύρω από τους αγωγούς. Ο καπνός που αναπαράγεται κατά τη διάρκεια εξέλιξης μιας πυρκαγιάς, έχει την ικανότητα να μολύνει το μονωτικό μέσο μιας γραμμής μεταφοράς, που είναι ο αέρας που περιβάλλει τον αγωγό. Άλλωστε, ο καπνός δημιουργεί σφάλματα φάσης-φάσης ή φάσης-εδάφους, γιατί ο αέρας του καπνού είναι αγωγός ηλεκτρισμού έτσι ώστε να δημιουργείται τόξο μεταξύ των γραμμών σε ένα κύκλωμα ή μεταξύ μιας γραμμής και του εδάφους. [53]

Σχετικά με την επίδραση της κατασκευής των γραμμών μεταφοράς στην αξία ορισμένων ακινήτων, θα σχολιαστούν παρακάτω κάποιες μελέτες που περιγράφουν το ζήτημα αυτό για τα δεδομένα διαφορετικών κοινωνιών και χρονικών περιόδων κάθε φορά. Αναλυτικότερα:

Ο Kinnard το 1967, γνωστοποίησε ότι αρκετοί πολίτες όταν ερωτήθηκαν διαφώνησαν με την προοπτική διαβίωσης κοντά σε γραμμές μεταφοράς. Μάλιστα, κρίνεται ενδιαφέρουσα και η αντίδραση των μεσιτών, οι οποίοι και αυτοί με τη σειρά τους διαφωνούσαν κατηγορηματικά με τις συνθήκες ζωής κοντά σε μια γραμμή μεταφοράς,

Ο Solum το 1985, περιέγραψε μέσω συγκεκριμένων μελετών τις συνέπειες των γραμμών μεταφοράς σε αγροτική περιοχή του βορειοδυτικού Ουισκόνσιν. Με την επινόηση ενός ερωτηματολογίου σε ιδιοκτήτες γης των οποίων οι εκτάσεις τους είχαν φορτωθεί με γραμμή μεταφοράς από 69kV έως 161kV, η πλειονότητα των ιδιοκτητών αγροτικών ακινήτων ανέφερε ότι η γραμμή δεν παρουσίασε καμία επίδραση στην περιουσία τους.

Οι Delaney και Timmons το 1992, θεώρησαν ότι η αξία ενός ακινήτου τοποθετημένου σε κοντινή απόσταση από μια εναέρια γραμμή μεταφοράς υψηλής τάσης (HVOETL) είναι περίπου 10% χαμηλότερη από την αγοραία αξία για συγκρίσιμα ακίνητα που δεν υπόκεινται σε επιρροή αυτών των γραμμών. Έως και το 84% των συμμετεχόντων, κοινοποίησε ότι η αγοραία αξία κατοικιών κοντά σε HVOETL επιδρά με αρνητικό τρόπο και η μέση εκτίμηση της μείωσης της αξίας ήταν 10%.

Τέλος οι Priestley και Evans το 1996, εξέτασαν μια μεγάλη μάζα ατόμων που διαβίωναν κοντά σε μια γραμμή ηλεκτρικού ρεύματος περίπου 28 μίλια βόρεια του Σαν Φρανσίσκο, με τη χρήση ψυχομετρικών ανεπτυγμένων κλιμάκων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το 87% των κατοίκων, υποστήριξε ότι η γραμμή μεταφοράς συμπληρώνει ένα αρνητικό στοιχείο στην υγεία και την ασφάλεια, τις αξίες ιδιοκτησίας και την αισθητική της περιοχής.

Αξίζει να παρατηρηθεί ότι οι γραμμές μεταφοράς δεν κατέστρεψαν την αξία της γης και ούτε περιόρισαν την αγοραία αξία στο σύνολό των κατοικιών. Οποιοδήποτε οικοδόμημα εφάπτεται με μια ηλεκτρική γραμμή μεταφοράς, έχει την τάση να παρουσιάζει τιμή πώλησης αρκετά υψηλή και η ίδια αυξάνεται ολοένα και περισσότερο, όσο μεγαλώνει η απόσταση από τη γραμμή μεταφοράς. Ούτε το ύψος των γραμμών ούτε η τάση δεν αποτελούν σημαντικό αντίκτυπο στις αξίες των ακινήτων. Επομένως, οι ιδιοκτησίες κοντά σε μια γραμμή χάνουν το 6,3% της αξίας λόγω εγγύτητας και οπτικής επίδρασης. Οι περιουσίες που τοποθετούνται πιο μακριά από μια γραμμή χάνουν κατά μέσο όρο μόνο το 1% της αξίας τους. [54]



**Εικόνα 2.13:** Αναπαράσταση πρόκλησης πυρκαγιάς σε γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

[54]

### **3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> : Η ανάπτυξη πυρκαγιάς εξαιτίας της εμφάνισης βραχυκυκλώματος σε σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας**

Μετά το πέρας της θεωρητικής ανάλυσης των κυριότερων ορολογιών που αντιπροσωπεύουν το αντικείμενο μελέτης της εργασίας, κρίνεται αναγκαία η περαιτέρω μαθηματική ανάλυση, με τη βοήθεια μοντέλων, των φαινομένων που έχουν προαναφερθεί. Το κεφάλαιο αυτό, επεξεργάζεται τη διαδικασία εξάπλωσης μιας ηλεκτρικής πυρκαγιάς, η οποία έχει δημιουργηθεί από βραχυκύκλωμα στους πυλώνες μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Στις περισσότερες περιπτώσεις, ένα βραχυκύκλωμα αντιπροσωπεύει την απόρροια μιας πυρκαγιάς και όχι τον τρόπο προέλευσής της με αποτέλεσμα η τοποθέτηση του στο περιβάλλον της πυρκαγιάς, να επιδρά στην εύρεση των ακριβών συνθηκών ανάπτυξής της.

Υστερα από την εκδήλωση της ηλεκτρικής πυρκαγιάς, η καλωδίωση που αποτελείται από χαλκό έχει υποστεί μικρές διαβρώσεις και αν ήταν υπό λειτουργία κατά τη διεξαγωγή της πυρκαγιάς, θα είχε εμφανίσει βλάβη από τα σχηματιζόμενα ηλεκτρικά τόξα. Οι περισσότερες κατηγορίες καλωδίων ηλεκτρισμού, διαθέτουν οργανική (ή αλλιώς πλαστική) μόνωση που καταστρέφεται σε σύντομο χρονικό διάστημα. Στη συνέχεια, όταν η φωτιά εισχωρήσει στα κυκλώματα του συστήματος θα προκύψουν επαναλαμβανόμενα βραχυκυκλώματα, τα οποία διαδέχονται τα ηλεκτρικά τόξα και δημιουργούν μόνιμες καταστροφές στις καλωδιώσεις. Τα βραχυκυκλώματα εντοπίζονται μετά την ολοκληρωτική καταστροφή του καλωδίου και εντοπίζονται περισσότερο από ένα ίχνη ηλεκτρικού τόξου στο κύκλωμα ύστερα από μια πυρκαγιά. Δηλαδή, το 1<sup>ο</sup> ηλεκτρικό τόξο προσεγγίζεται στο πιο απομακρυσμένο σημείο της τροφοδοτούμενης πηγής, ενώ τα υπόλοιπα κατευθύνονται στο σημείο που η φωτιά εξελίσσεται προς την πηγή ρεύματος. Αναλυτικότερα, το ηλεκτρικό τόξο τοποθετείται ανάμεσα σε 2 αγωγούς που διαθέτουν διαφορετικό δυναμικό και ταυτόχρονα επικοινωνούν. Το βραχυκύκλωμα καταστρέφει ένα καλώδιο έως το σημείο που πραγματοποιείται ο διαχωρισμός του από το υπόλοιπο κύκλωμα. [55]

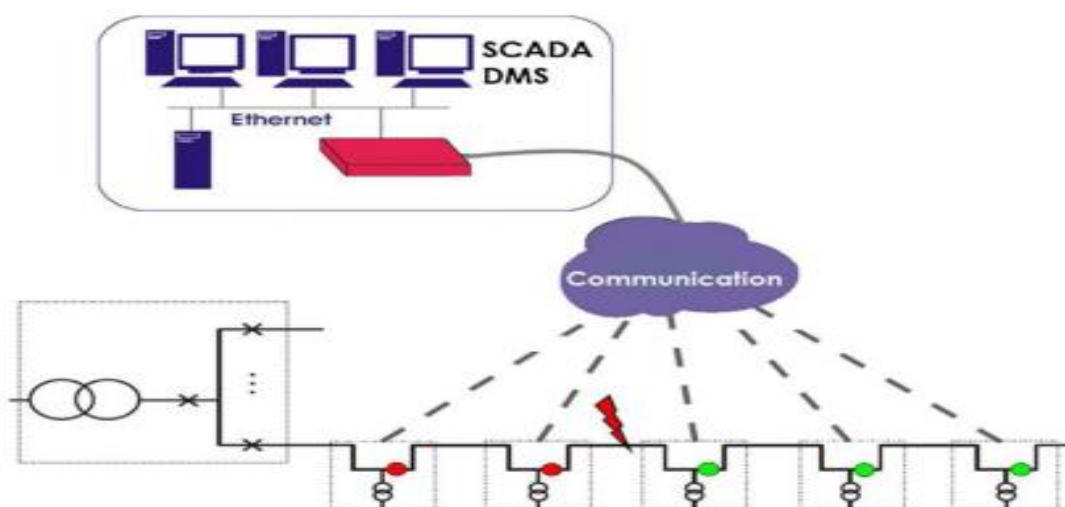
#### **3.1 Η προσέγγιση της θέσης βραχυκυκλώματος σε γραμμές μεταφοράς**

Ένα από τα κυριότερα ζητήματα που καλούνται να αντιμετωπίσουν τα ενεργειακά συστήματα κατά τη λειτουργία τους, είναι οι διακυμάνσεις της απόδοσης των εναέριων και καλωδιακών γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας εξαιτίας πολλών παραγόντων. Τα δίκτυα διανομής, είναι περισσότερο επιρρεπή σε διακοπές ηλεκτρικού ρεύματος και σε επικίνδυνα βραχυκυκλώματα που εμφανίζονται από απρόσμενες φυσικές καταστροφές. Για να περιοριστούν σε σημαντικό βαθμό τα παραπάνω φαινόμενα, κρίνεται σημαντικός ο εντοπισμός και η ελάττωση των δυσλειτουργιών του συστήματος σε εύλογο χρόνο προκειμένου να μην εμφανίζονται σε τακτά διαστήματα βλάβες. Οπότε, προτάθηκε μια γρήγορη και αποτελεσματική διαδικασία για τον προσδιορισμό της θέσης ενός βραχυκυκλώματος στις γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας. Η συγκεκριμένη μέθοδος, αποσκοπεί στη συρρίκνωση του χρόνου αναζήτησης και στην ενίσχυση της ακρίβειας στον προσδιορισμό της θέσης του σφάλματος.

Συνηθεστέρα, όταν δημιουργείται ένα βραχυκύκλωμα στις γραμμές μεταφοράς, ενεργοποιείται η προστασία ρελέ. Όμως ύστερα από την κατάσταση αυτή, κρίνεται σκόπιμη η προσέγγιση της θέσης σφάλματος του βραχυκυκλώματος. Με τον τρόπο αυτό, πετυχαίνεται η γρήγορη αποκατάσταση της γραμμής και η ελαχιστοποίηση των πιθανοτήτων καταστροφής των εξαρτημάτων της. Επομένως, τόσο η ελάττωση του συνολικού χρόνου ανίχνευσης όσο και η προσέγγιση της θέσης ανίχνευσης σφάλματος είναι αναγκαίες ενέργειες για την ολοκληρωτική προστασία του ηλεκτρικού συστήματος.

Έχουν εφευρεθεί αρκετοί τρόποι που επάγονται στον εντοπισμό και την εξάλειψη βλαβών στα δίκτυα διανομής. Η κυριότερη κατηγοριοποίησή τους επιτυγχάνεται μεταξύ κεντρικών και αποκεντρωμένων μεθόδων. Οι κεντρικές μέθοδοι, αποτελούνται από τη μέθοδο σύνθετης αντίστασης, τη μέθοδο κυμάτων και τις μεθόδους τεχνητής νοημοσύνης, ενώ οι αποκεντρωμένες μέθοδοι, φημίζονται για την ανάπτυξη της επικοινωνίας και τον αυξανόμενο αριθμό ηλεκτρονικών συσκευών και συσκευών στον εντοπισμό σφαλμάτων γραμμής. Με τη μέθοδο αυτή, φανερώνεται ο εσφαλμένος κλάδος και το τμήμα της γραμμής μεταξύ των δύο δεικτών, όμως κύριο μειονέκτημά της είναι ότι εξακριβώνει μόνο το τμήμα ανίχνευσης σφάλματος της γραμμής μεταφοράς και όχι την ακριβή θέση του σφάλματος. Για τον προσδιορισμό της θέσης σφάλματος, απαιτείται η μέθοδος των κυμάτων.

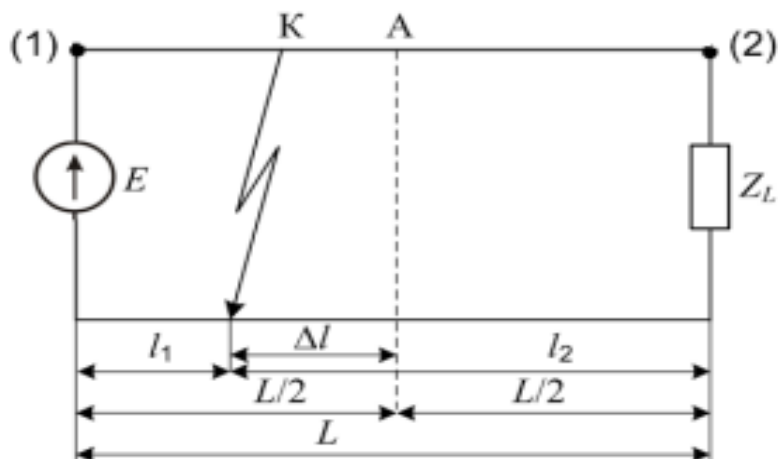
Από την άλλη, η διαδικασία ανίχνευσης ενός βραχυκυκλώματος χωρίζεται σε 3 βασικές ομάδες: τη μέθοδο κυμάτων, μεθόδους τεχνητής νοημοσύνης και μεθόδους που στοχεύουν στις συνιστώσες της θεμελιώδους συχνότητας. Οι κεντρικές μέθοδοι, με τη σειρά τους, αναφέρονται σε 2 κατηγορίες: τις παραδοσιακές και τις μεθόδους τεχνητής νοημοσύνης. Οι παραδοσιακές μέθοδοι περιλαμβάνουν τη μέθοδο σύνθετης αντίστασης (μέθοδος αντίστασης κυμάτων) και τη μέθοδο που βασίζεται στο άμεσο και ανακλώμενο κύμα μεταξύ της εισόδου γραμμής και της θέσης σφάλματος γραμμής (μέθοδος κύματος). Αντίθετα, οι μέθοδοι τεχνητής νοημοσύνης περιλαμβάνουν υποστήριξη διανυσματική μηχανή (SVM), ασαφή λογική, γενετικό αλγόριθμο (GA) και την προσέγγιση αντιστοίχισης. Ο προσδιορισμός της θέσης σφάλματος με αυτή την κατηγορία, απαιτεί αρκετό χρόνο και εμφανίζει δυσκολίες στην προετοιμασία δεδομένων. [55]



**Εικόνα 3.1:** Απεικόνιση μελέτης για τον προσδιορισμό της θέσης σφάλματος της γραμμής μεταφοράς. [55]

### 3.1.1 Τα κριτήρια εντοπισμού ενός βραχυκυκλώματος σε γραμμές μεταφοράς

Για τον προσδιορισμό μιας πιθανής θέσης βραχυκυκλώματος, συμμετέχουν παράμετροι όπως η τελική ταχύτητα ( $V_{\Phi}$ ) και η μεταφορά ισχύος (ηλεκτρικό σήμα), επάνω στη γραμμή μεταφοράς τις στιγμές άφιξης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, στο σημείο ανίχνευσης σφάλματος κατά την αρχή και το τέλος της γραμμής μεταφοράς. Η απόκριση αποδίδεται και στις 2 κατευθύνσεις κατά μήκος της γραμμής με τη μορφή ανόδου ή πτώσης τάσης ή ρεύματος με μεγάλη προσέγγιση.



**Εικόνα 3.2:** Αναπαράσταση υπολογισμού βραχυκυκλώματος σε γραμμή  $L$  (με  $A$  γεωμετρικό κέντρο της γραμμή, με  $\Delta l$  απόσταση από το κέντρο της Γραμμής  $A$  έως το σημείο βραχυκυκλώματος  $K$ ) και  $l_1, l_2$  οι αποστάσεις από το σημείο βραχυκυκλώματος έως την πηγή και τα άκρα φορτίου της γραμμής,  $i_1, i_2, u_1, u_2$  το ρεύμα και η τάση του 1<sup>ου</sup> και του 2<sup>ου</sup> τμήματος της γραμμής, αντίστοιχα. [55]

Έχοντας ως πρότυπο σχεδιασμού τον προσδιορισμό του σημείου βραχυκυκλώματος (SCP) συμπεριλαμβάνοντας τον χρόνο άφιξης του σήματος στην πηγή και τα άκρα του φορτίου της γραμμής μεταφοράς, το βραχυκύκλωμα ξεκινά τη στιγμή  $t_{sc}$  στο σημείο  $K$  με μηδενική τάση στο σημείο  $K$  και το μήκος της εξεταζόμενης γραμμής είναι πολύ μικρότερο από το μήκος του προσπίπτοντος κύματος ρεύματος  $\lambda$  ( $\lambda \approx 5000\text{km}$  στη συχνότητα των  $50\text{Hz}$ ). Επιπλέον, οι στιγμιαίες τιμές της τάσης και του ρεύματος στη σταθερή κατάσταση είναι σταθερές κατά μήκος της γραμμής μεταφοράς.

Δηλαδή, ένα μέτωπο κύματος θετικού ρεύματος και ένα μέτωπο κύματος αρνητικής τάσης ταξιδεύουν με ταχύτητα  $V_{\Phi}$  προς την κατεύθυνση από το σημείο  $K$  προς το άκρο της πηγής της γραμμής μεταφοράς (καθώς η θετική κατεύθυνση του ανακλώμενου ρεύματος λαμβάνεται αντίθετη από τη θετική κατεύθυνση του προσπίπτοντος ρεύματος).



Για την χρονική στιγμή  $t_{sc}$  προκύπτει ότι:

$$\begin{aligned} i_{r1} &= i_{d1} \\ u_{r1} &= -u_{d1} \end{aligned} \quad (3-1)$$

Οι μετώπες μπορούν να αποτυπωθούν με τη βοήθεια αισθητήρων ρεύματος και τάσης. Η ώρα  $t_1$  της άφιξης τους στο τέλος της πηγής της γραμμής μπορεί να καταγραφεί με υψηλή ακρίβεια. Στο 2ο τμήμα της γραμμής υπάρχει επίσης μια παροδική διαδικασία. Τη στιγμή  $t_{sc}$  ρεύμα  $i_2$  και τάση  $u_2$  απαλείφονται οπότε:

$$\begin{aligned} i_{r1} &= i_{d1} \\ u_{r1} &= -u_{d1} \end{aligned} \quad (3-2)$$

Από το σημείο Κ τα αρνητικά μέτωπα του ρεύματος και της τάσης ακολουθούν το άκρο φορτίου της γραμμής. Ο χρόνος  $t_2$  όταν αυτά τα μέτωπα φτάνουν στο άκρο φορτίου της γραμμής μπορεί να καταγραφεί με τη βοήθεια αισθητήρων ρεύματος και τάσης.

Περιγράφοντας το SCP, αρκεί να αποσαφηνιστεί η θέση ενός SCP στη γραμμή εάν γνωρίζουμε τα  $t_1$  και  $t_2$ . Οπότε, θα κατασκευαστεί ένα σχέδιο για την γραμμή βραχυκυκλώματος. Οι χρόνοι διάδοσης του κύματος από το SCP στο άκρο της πηγής της γραμμής είναι:

$$\Delta t_1 = \frac{l_1}{V_\Phi} \quad t_1 = t_{sc} + \Delta t_1 \quad (3-3)$$

ο χρόνος διάδοσης  $\Delta t$  του κύματος από το SCP στο τέλος του φορτίου της γραμμής, σε συνδυασμό με την άφιξη του σήματος (απόκρισης) στο τέλος της πηγής της γραμμής μέσω του χρόνου βραχυκυκλώματος. Αντίστοιχα, για την χρονική στιγμή  $t_2$  έχουμε ότι:

$$\Delta t_2 = \frac{l_2}{V_\Phi} \quad t_2 = t_{sc} + \Delta t_2 \quad (3-4)$$

$$t_1 - t_2 = \Delta t_1 - \Delta t_2 = \frac{l_1}{V_\Phi} - \frac{l_2}{V_\Phi} = \frac{-2\Delta l}{V_\Phi} \quad (3-5)$$

$$\Delta l = -\frac{(t_1 - t_2)V_\Phi}{2} \quad (3-6)$$

$$l_1 = \frac{l}{2} - \Delta l$$

$$l_2 = \frac{l}{2} - \Delta l$$

(3-7)

Όταν το σημείο Κ είναι πιο κοντά στο άκρο της πηγής της γραμμής μεταφοράς (στα αριστερά του σημείου Α), τότε  $\Delta l > 0$ . Εάν το σημείο Κ είναι πιο κοντά στο άκρο φορτίου της γραμμής, τότε  $\Delta l < 0$ .

[55]

### 3.2 Ο διασκορπισμός σωματιδίων αλουμινίου από εναέριες γραμμές χαμηλής τάσης και ο προσδιορισμός της θερμοκρασίας τους εξαιτίας βραχυκυκλώματος

Σε περιπτώσεις όπου οι πυρκαγιές λαμβάνουν χώρο σε κοντινή απόσταση από τις γραμμές διανομής ηλεκτρικού ρεύματος, αξιολογείται η πιθανότητα πρόκλησης πυρκαγιάς εξαιτίας της εκπεμπόμενης θερμότητας των σωματιδίων τετηγμένου μετάλλου που αναπαράγονται σε ορατούς αγωγούς κυκλωμάτων χαμηλής τάσης, με άμεση συνέπεια την εμφάνιση σφαλμάτων βραχυκυκλώματος. Για το φαινόμενο αυτό, περιγράφεται μια έρευνα σχετικά με την προσδοκώμενη ανύψωση της θερμοκρασίας των προαναφερόμενων σωματιδίων από εκτιθέμενους αγωγούς εναέριων γραμμών χαμηλής, μέσης και υψηλής τάσης. Στην ακόλουθη έρευνα, συμπεριλαμβάνονται οι περιβαλλοντικές συνθήκες και η μεγαλύτερη επιθυμητή άνω στάθμη των σωματιδίων πάνω από το έδαφος, όπου τα ξερά φύλλα ή τα ξύλα αδυνατούν να αρπάξουν φωτιά.

Για την αφετηρία ενός τέτοιου είδους πυρκαγιάς, εξαιτίας της τροφοδοσίας με χαμηλή τάση, χρειάζονται θερμικά φαινόμενα τα οποία προκύπτουν από βραχυκυκλώματα. Κατά τη θερμική καταπόνηση μεταξύ 2 αγωγών που τίθενται υπό βραχυκύκλωμα, σημειώνεται ραγδαία αύξηση της θερμοκρασίας που οφείλεται στο ρεύμα βραχυκυκλώματος σταθερής φάσης ( $I_d$ ) και στη διάρκεια μέχρι τον τερματισμό από τις συσκευές προστασίας. Για την αυξανόμενη μεταβολή της θερμοκρασίας προκύπτει ότι:

$$\Delta\theta = \frac{k_m I_d^2}{A^2} \left( t + T \left[ \frac{I_{sw}}{I_d} \right]^2 \right) \quad \text{σε } ^\circ\text{C}. \quad (3-8)$$

Όπου:  $I_d$ , το ρεύμα βραχυκυκλώματος,

$I_{sw}$ , το αρχικό συμμετρικό ρεύμα βραχυκυκλώματος στο (A),

$k_m$ , μια σταθερά υλικού ( $k_m = 0,0135$  για αλουμίνιο),

$A$ , είναι η διατομή των ράβδων ή των αγωγών (σε  $mm^2$ ),

$T$ , ο συντελεστής χρόνου με εύρος τιμών από 0,3 έως 0,15 για ένα τριφασικό βραχυκύκλωμα και με εύρος τιμών από 0,6 έως 0,25 για βραχυκύκλωμα 2 φάσεων,

$t$ , η διάρκεια του βραχυκυκλώματος (μέχρι να διακοπεί από τα συστήματα προστασίας).

Ο χρονικός συντελεστής  $T$ , περιορίζεται με την αύξηση της απόστασης από το βραχυκύκλωμα, η οριακή θερμοκρασία για τους εκτεθειμένους αγωγούς αλουμινίου αντιστοιχεί στους  $180^\circ\text{C}$ , η διάρκεια βραχυκυκλώματος είναι λιγότερη από 1 δευτερόλεπτο. Από την άλλη, οι ασφάλειες κατά τη διανομή χαμηλής τάσης σταματούν τα βραχυκυκλώματα ακαριαία (συνθήκη εξουδετέρωσης). Με βάση τη συνθήκη εξουδετέρωσης κάθε κομμάτι της γραμμής, ανάλογα με την ισχύ του μετασχηματιστή, προσεγγίζει μια ασφάλεια. Το μήκος της γραμμής περιγράφεται παρακάτω:

$$l \leq \sqrt{\left( \frac{220}{3Z_l I_N} \right)^2 - \left( \frac{R_l X_l - X_l R_l}{Z_l^2} \right)^2} - \left( \frac{R_l R_l + X_l X_l}{Z_l^2} \right) \quad (3-9)$$

Όπου:  $l$ , το μήκος της γραμμής (σε  $km$ ),

$I_N$ , το ονομαστικό ρεύμα της ασφάλειας (A),

$Z_l$ , η σύνθετη αντίσταση της γραμμής (σε  $\Omega km^{-1}$ ),

- R<sub>i</sub>**, η ωμική αντίσταση της γραμμής (σε  $\Omega km^{-1}$ ),
- X<sub>i</sub>**, η επαγωγική ηλεκτρική αντίσταση της γραμμής (σε  $\Omega km^{-1}$ ),
- R<sub>t</sub>**, η ωμική αντίσταση του μετασχηματιστή (σε  $\Omega$ ),
- X<sub>t</sub>**, η επαγωγική ηλεκτρική αντίδραση του μετασχηματιστή (σε  $\Omega$ ).

Όταν πληρούνται οι προϋποθέσεις για την συνθήκη εξουδετέρωσης δεν υπάρχουν φλεγόμενα σωματίδια γιατί τα συστήματα προστασίας σταματούν τη τροφοδοσία του κυκλώματος σε περίπτωση βραχυκυκλώματος. Σε περίπτωση που δημιουργηθεί σφάλμα στα συστήματα προστασίας ή δεν εφαρμοστεί η συνθήκη εξουδετέρωσης το βραχυκύκλωμα εξελίσσεται για περισσότερο από 1 δευτερόλεπτο.

Το σχήμα του μεταλλικού σωματιδίου χαρακτηρίζεται ως ελλειψοειδές με διάμετρο 0,5 mm. Πρωτίστως, ονομάζεται Η το αρχικό ύψος πτώσης ενός σωματιδίου λιωμένου μετάλλου και ταυτόχρονα η ταχύτητά του, σε κάθετη (y) και οριζόντια (x) κλίμακα διαμορφώνεται ως εξής:

$$\begin{aligned} u'_x[t] - \frac{z}{m}(u_a - u_x[t])^2 &= 0 \\ u'_y[t] + \frac{z_1}{m}u_y^2[t] - g &= 0 \end{aligned} \tag{3-10}$$

Όπου: **u<sub>x</sub>[t]**, η ταχύτητα στον οριζόντιο άξονα τη χρονική στιγμή t,  
**u'<sub>x</sub>[t]**, η επιτάχυνση στον οριζόντιο άξονα τη χρονική στιγμή t,  
**u<sub>y</sub>[t]**, η ταχύτητα στον κατακόρυφο άξονα τη χρονική στιγμή t,  
**u'<sub>y</sub>[t]**, η επιτάχυνση στον κατακόρυφο άξονα τη χρονική στιγμή t,  
**u<sub>a</sub>**, η ταχύτητα του ανέμου,  
**m**, είναι η μάζα του σωματιδίου,  
**g**, η επιτάχυνση της βαρύτητας,  
**z, z<sub>1</sub>** οι συντελεστές που εξαρτώνται από την μετωπική επιφάνεια του σωματιδίου και το σχήμα του.

Έχοντας ως οριακές συνθήκες  $t = 0$ ,  $u_y[0] = 0$  και  $u_x[0] = 0$  οι διαφορικές εξισώσεις απλοποιούνται:

$$\begin{aligned} u_y[t] &= \sqrt{\frac{gm}{z_1}} \tanh \left[ \sqrt{\frac{gz_1}{m}} t \right] \\ u_x[t] &= u_a \left( 1 - \frac{m}{m + u_a z t} \right) \end{aligned} \tag{3-11}$$

Η σχετική ταχύτητα του μεταλλικού σωματιδίου συγκριτικά με την ταχύτητα του αέρα στον οριζόντιο άξονα είναι:

$$u_{xs} = u_a - u_x \tag{3-12}$$

$$u = \sqrt{u_{xs}^2 + u_y^2} \quad (3-13)$$

Επομένως, από (3-11), (3-12) & (3-13) προκύπτει για την ταχύτητα ότι:

$$u = \sqrt{\frac{gm}{z_l} \left( \tanh \left[ \sqrt{\frac{gz_l}{m}} t \right] \right)^2 + u_a^2 \left( \frac{m}{m + u_a z_l} \right)^2} \quad (3-14)$$

Το ύψος και η χρονική διάρκεια πτώσης αναλύονται ως εξής:

$$H = \frac{m}{z_l} \log \left( \cosh \left[ t_\pi \sqrt{\frac{gz_l}{m}} \right] \right) \quad (3-15)$$

$$t_\pi = \sqrt{\frac{m}{gz_l}} \operatorname{arccosh} \left( \exp \left[ \frac{Hz_l}{m} \right] \right) \quad (3-16)$$

Η εύρεση του συντελεστή μεταφοράς θερμότητας είναι προσεγγιστική. Η μεταβλητή  $h$  προσεγγίζεται με τη βοήθεια του αριθμού Nusselt (Nu):

$$h = \text{Nu} \frac{k}{L} \quad (3-17)$$

Όπου:  $k$ , η αγωγιμότητα του ρευστού και  $L$  η χαρακτηριστική διάσταση

$$\text{Nu} = 0.37(\text{Re})^{0.6} \quad \text{Re} = u \frac{L}{\nu} = \rho u \frac{L}{\mu} \quad (3-18)$$

Όπου:  $u$ , η ταχύτητα του αέρα μακριά από το σωματίδιο

$\rho$ , η πυκνότητα του σωματιδίου

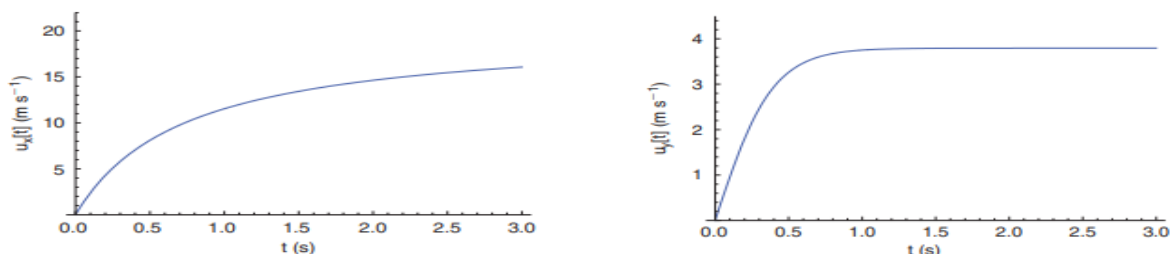
$\mu$ , το κινηματικό ιξώδες του αέρα.

Επομένως, με τις οριακές συνθήκες  $t = 0$  και  $\Delta\theta = \Delta\theta_\tau$ , όπου  $\Delta\theta_\tau$  η διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας του σημείου τήξης του μετάλλου και της θερμοκρασίας του αέρα του περιβάλλοντος  $\theta$ , η θερμοκρασία του μεταλλικού σωματιδίου συναρτήσει του ύψους  $H$  από το οποίο πέφτει το σωματίδιο είναι:

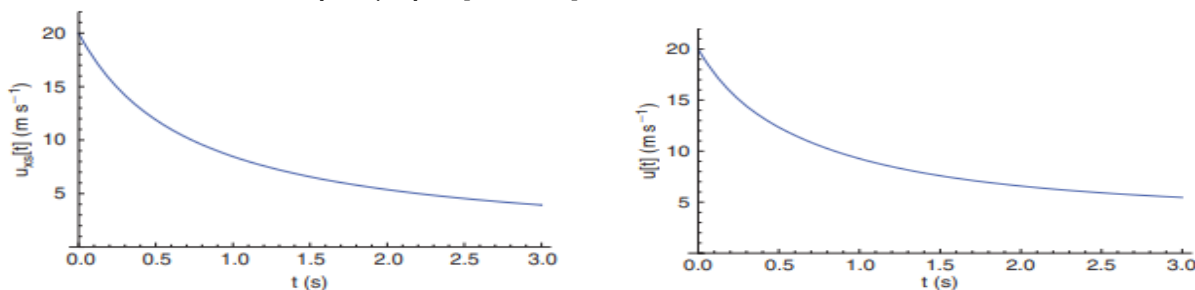
$$\Delta\theta = \Delta\theta_\tau \exp \left( \frac{0.37 \left( \frac{\rho L}{\mu} \right)^{0.6} kA}{m c L} \int_0^{\sqrt{\frac{m}{gz_l} \operatorname{arccosh} \left( \exp \left[ \frac{Hz_l}{m} \right] \right)}} \{u(t)\}^{0.6} dt \right)$$

$$\theta = \Delta\theta_\tau \exp \left( \frac{0.37 \left( \frac{\rho L}{\mu} \right)^{0.6} kA}{m c L} \int_0^{\sqrt{\frac{m}{gz_l} \operatorname{arccosh} \left( \exp \left[ \frac{Hz_l}{m} \right] \right)}} \{u(t)\}^{0.6} dt \right) + \theta_\pi \quad (3-19)$$

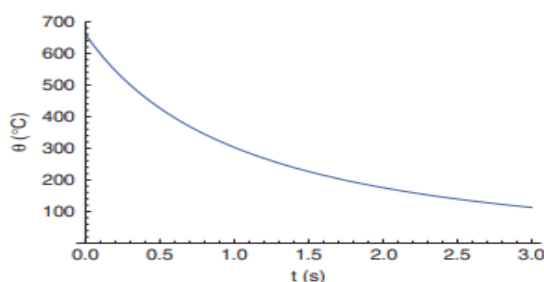
Γίνεται γνωστό ότι το αναπτυσσόμενο σφάλμα βραχυκυκλώματος εντός των 2 αγωγών τοποθετήθηκε 10 μέτρα επάνω από το έδαφος με την ταχύτητα του αέρα να υπολογίζεται στα 20m/s. Το σημείο τήξης των σωματιδίων αλουμινίου σε επίπεδα χαμηλής τάσης, διαδέχεται μια αρχική θερμοκρασία 660°C.



**Διάγραμμα 3.1:** Αναπαράσταση ταχυτήτων  $u_x[t]$  και  $u_y[t]$  σε σχέση με το χρόνο  $t$ .  
(Παραπομπή: <https://www.publish.csiro.au/WF/WF08128>)



**Διάγραμμα 3.2:** Αναπαράσταση σχετικών ταχυτήτων  $u_{xr}[t]$  και  $u_{yr}[t]$  σε σχέση με το χρόνο  $t$ .  
(Παραπομπή: <https://www.publish.csiro.au/WF/WF08128>)



**Διάγραμμα 3.3:** Αναπαράσταση της θερμοκρασίας  $\theta$  του λιωμένου σωματιδίου αλουμινίου σε σχέση με τη διάρκεια της πτώσης του.  
(Παραπομπή: <https://www.publish.csiro.au/WF/WF08128>)

### 3.3 Η προστασία του ανθρώπου και του περιβάλλοντος από βραχυκύκλωμα σε δίκτυο διανομής χαμηλής τάσης

Όπως αναφέρθηκε και προωύτερα, το μέγιστο επιτρεπτό μήκος μιας γραμμής διανομής χαμηλής τάσης (έως 400V) εξαρτάται από την ισχύ του μετασχηματιστή, τη διατομή των αγωγών και το καθορισμένο ρεύμα της ασφάλειας, για να ικανοποιείται η συνθήκη εξουδετέρωσης ή η κατάσταση βραχυκυκλώματος. Δηλαδή, με την απομάκρυνση ενός αγωγού τέτοιων προδιαγραφών, υπάρχει η πιθανότητα πρόκλησης πυρκαγιάς. Οπότε, για την αποφυγή μιας πυρκαγιάς εξαιτίας κάποιου βραχυκυκλώματος, αναλύεται μια μέθοδος που τοποθετείται στο τελευταίο άκρο της γραμμής και αποσκοπεί στην τροφοδοσία του δικτύου μέσω ενός αυτόματου διακόπτη κυκλώματος και ταυτόχρονα θέτει εκτός λειτουργίας τη γραμμή διανομής. Προσδιορίζεται το μέγιστο μήκος της γραμμής διανομής που τίθεται υπό βραχυκύκλωμα και επεξεργάζονται οι συνέπειες που δημιουργούνται στον άνθρωπο και το περιβάλλον.

Έστω το εναέριο δίκτυο διανομής χαμηλής τάσης (400V, 230V), το οποίο λειτουργεί με τη συνύπαρξη υποσταθμών μέσης έως χαμηλής τάσης μέσω πινάκων χαμηλής τάσης:

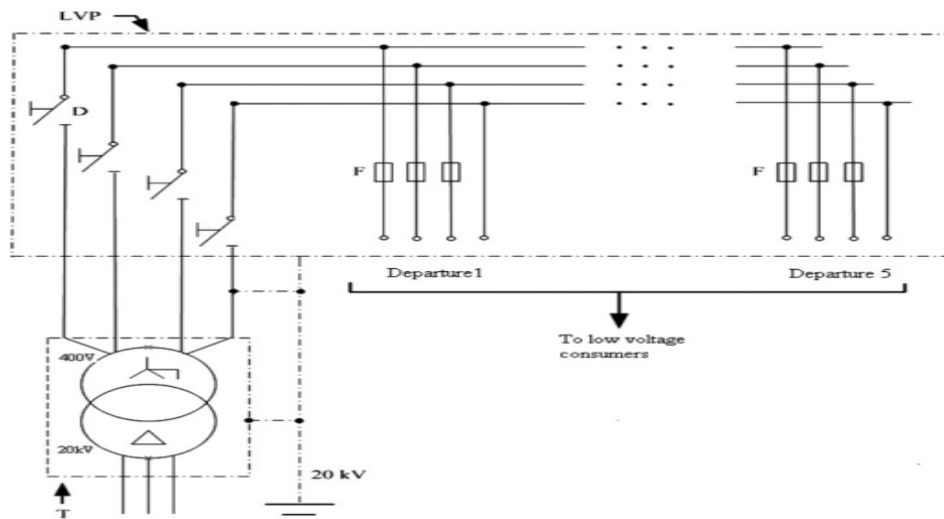


**Εικόνα 3.3:** Απεικόνιση ενός εναέριου δικτύου διανομής χαμηλής τάσης, όπου: [57]

- (1): Καθολικό αλεξικέρανο, για την πρόληψη του υποσταθμού,
- (2): Μονοπολικό αποζεύκτης διακόπτη ασφαλείων, για την πρόληψη του μετασχηματιστή,
- (3): Περιοχή σφαλμάτων, που προέρχονται από την μέση τάση,
- (4): Πίνακας διανομής χαμηλής τάσης,
- (5): Ασφάλειες, για την πρόληψη των γραμμών διανομής.

Σε συνθήκες βραχυκυκλώματος που εισέρχεται σε μια εναέρια ή επίγεια γραμμή διανομής χαμηλής τάσης, η ασφάλεια καταστρέφεται αμέσως και αυτό έχει ως συνέπεια την υπερθέρμανση των αγωγών με ελάχιστους βαθμούς Κελσίου και την απομάκρυνση των σωματιδίων μετάλλου. Η διάσπαση των αγωγών, οφείλεται στην απομάκρυνση των νημάτων του σύρματος είτε από σφαιρίδια, είτε από την πρόσκρουση κάποιου δέντρου πάνω στη γραμμή. Οι ασφάλειες κυμαίνονται στα 80Α ονομαστικής τιμής και ο μετασχηματιστής στα 100kVA, 20 kV/400V αντίστοιχα.

Στη συνέχεια, αποτυπώνεται μια απλοποιημένη μορφή του συνόλου γραμμών ενός υποσταθμού διανομής χαμηλής τάσης. Πιο συγκεκριμένα, αντιπροσωπεύεται από 1 μετασχηματιστή με τυλίγματα wye και γείωση δέλτα (δίκτυο TN), 1 πίνακα διανομής εξωτερικά τοποθετημένο με τριφασική είσοδο μέσω μονοπολικών αποζεύξεων διακόπτη και 5 τριφασικές αναχωρήσεις από τις οποίες τροφοδοτούνται 5 γραμμές διανομής χαμηλής τάσης.



**Εικόνα 3.4:** Αναπαράσταση απλοποιημένου σχεδίου πολλαπλών γραμμών ενός υποσταθμού διανομής χαμηλής τάσης. [57]

Για την ομαλή λειτουργία του δικτύου χαμηλής τάσης θα πρέπει να ισχύει ότι:

$$I_{SC} \geq 3I_F \quad (3-20)$$

Όπου:  $I_{SC}$ , το ρεύμα βραχυκυκλώματος,

$I_F$ , το ονομαστικό ρεύμα της ασφάλειας.

Με τη συνθήκη ότι πραγματοποιείται στη γραμμή διανομής χαμηλής τάσης ένα μονοφασικό βραχυκύκλωμα με έναν αγωγό φάσης και έναν ουδέτερο αγωγό τοποθετημένο στον αέρα ή στο έδαφος απομακρυσμένο κατά απόσταση  $d$  από τον μετασχηματιστή διανομής, η σύνθετη αντίσταση του δικτύου χαρακτηρίζεται από τη σχέση:

$$Z = \sqrt{(R_T + R_L)^2 + (X_T + X_L)^2} \quad (3-21)$$

Όπου:  $R_T$ , η ωμική αντίσταση του μετασχηματιστή,

$X_T$ , η αντίδραση του μετασχηματιστή,

$R_L$ , η ωμική αντίσταση του αγωγού,

$X_L$ , η αντίδραση του αγωγού μέχρι το σημείο του βραχυκυκλώματος.

[57]

Αντικαθιστώντας το ρεύμα βραχυκυκλώματος σύμφωνα με τον νόμο του Ohm με τάση  $U = 230V$  (για μονοφασικό βραχυκύκλωμα) και αντικαθιστώντας τις αντιστάσεις ( $R_L$ ) και ( $X_L$ ) με τις ισοδύναμες ( $r_L$ ) και ( $x_L$ ) ανά μονάδα μήκους γυμνών αγωγών χαμηλής τάσης προκύπτει ότι:

$$I_{SC} = \frac{U}{Z} = \frac{230}{Z} \quad (3-22)$$

$$\frac{230}{3I_F} \geq \sqrt{(R_T + r_L \times d)^2 + (X_T + x_L \times d)^2} \quad \Rightarrow \quad d^2 + 2d \frac{R_T r_L + X_T x_L}{r_L^2 + x_L^2} - \left( \frac{230}{3I_F Z_L} \right)^2 + \frac{Z_T^2}{Z_L^2} \leq 0 \quad (3-23)$$

Επομένως, η μέγιστη τιμή  $L$  για την απόσταση  $d$  καθορίζεται ως εξής:

$$L = \frac{R_T r_L + X_T x_L}{Z_L^2} + \sqrt{\left( \frac{230}{3I_F Z_L} \right)^2 - \left( \frac{r_L X_T + x_L R_T}{Z_L^2} \right)^2} \quad (3-24)$$

Για τα μέγιστα μήκη ( $L$ ) των γραμμών διανομής χαμηλής τάσης, οι τιμές των αντιστάσεων ( $R_L$ ) και ( $X_L$ ) των γυμνών αγωγών χαμηλής τάσης και οι τιμές για  $R_T$  και  $X_T$ , με  $I_{SC} \geq 3I_F$ :

Maximum lengths of LV lines (m) as calculated from (4)					
$S_N$ , kVA	Fuse, A	Equivalent cross-section Cu (mm <sup>2</sup> )			
		16	35	50	70
50	50	571	1089		
	63	444	842	1069	
	80	339	641	811	978
75	63	463	882	1120	
	80	358	680	863	1041
	100	281	531	672	809
	125	218	411	519	624
100	63	470	899	1143	
	80	366	697	886	1070
	100	288	548	695	839
	125	226	429	543	654
	160	172	324	409	492
150-160	80	373	714	908	1098
	100	295	565	718	867
	125	234	445	565	682
	160	179	341	432	520
	200		266	336	405
	250		206	260	312
250	100	301	578	736	890
	125	239	458	583	705
	160	185	354	450	544
	200		279	354	428
	250		219	278	335
	315			215	259
	400				197
400	125	242	466	593	718
	160	188	361	460	557
	200		287	365	441
	250		227	289	349
	315			226	272
	400				210

**Πίνακας 3.2:** Αναπαράσταση αντίστασης  $r_L$  και  $x_L$  ανά km γυμνών αγωγών γραμμής χαμηλής τάσης που απέχουν μεταξύ τους 30cm. [58]

Type of low-voltage line	$r_L$ , mΩ/km	$x_L$ , mΩ/km
bare aluminium conductor 16 mm <sup>2</sup>	1140	330
bare aluminium conductor 35 mm <sup>2</sup>	533	306
bare aluminium conductor 50 mm <sup>2</sup>	381	294
bare aluminium conductor 70 mm <sup>2</sup>	277	284

**Πίνακας 3.1:** Αναπαράσταση μέγιστων γραμμών διανομής χαμηλής τάσης, ανάλογα με την ισχύ του μετασχηματιστή (50– 400kVA), τη διατομή των αγωγών και το ονομαστικό ρεύμα της ασφάλειας. [58]

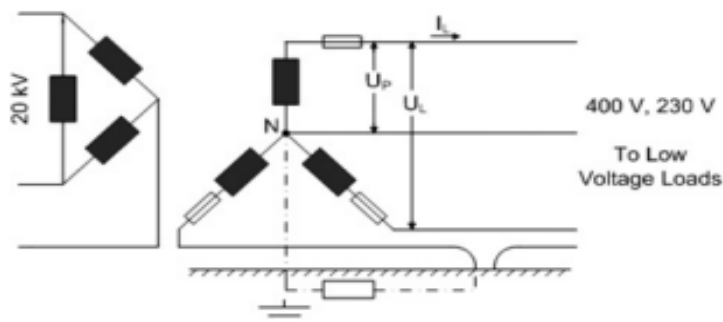


$S_N$ , kVA	15	25	50	75	100	150	200	250	400	500	630	750	1000
$R_T$ , mΩ	356	175	75	40	29	18.3	13.4	10.5	5.7	4.5	3.6	3.0	2.2
$X_T$ , mΩ	320	228	122	86.8	65.5	44.5	33.5	26.8	17	13.7	10.8	9.1	6.9

**Πίνακας 3.3:** Αναπαράσταση αντίστασης  $R_T$  και  $X_T$  των μετασχηματιστών διανομής σύμφωνα με την ονομαστική φαινόμενη ισχύ τους  $S_N$ . [58]

Για να μπορεί να εφαρμοστεί η κατάσταση βραχυκύκλωσης, η τιμή του μετασχηματιστή, το ρεύμα που διαρρέεται από την ασφάλεια και το μέγιστο μήκος της γραμμής θα πρέπει να λαμβάνουν τιμές με βάση τους Πίνακες 3.1, 3.2 και 3.3. Οπότε, η σύνθετη αντίσταση δέχεται τιμές μικρότερες από  $1\Omega$  και το ρεύμα βραχυκυκλώματος να ξεπερνά το ρεύμα  $3I_F$ , καταστρέφοντας την ασφάλεια σε χρονική διάρκεια μικρότερης του ενός δευτερολέπτου.

Στην εικόνα 3.5 αναλύεται σε απλουστευμένη μορφή, ένα δίκτυο διανομής χαμηλής τάσης με έναν αγωγό φάσης τοποθετημένο στην επιφάνεια της γης και σε αρκετά κοντινή απόσταση από τον μετασχηματιστή. Με τη συνθήκη αυτή, το ηλεκτρικό ρεύμα έχει την ικανότητα να κυκλοφορεί επίγεια.



**Εικόνα 3.5:** Απεικόνιση της διακοπής στον αγωγό φάσης. [58]

Το ενεργό ρεύμα προς τη γη, υπολογίζεται ως εξής:

$$I = \frac{U}{\sqrt{(R_L + R_T + R_C)^2 + (X_L + X_T)^2}} \quad (3-25)$$

Όπου:  $U$ , η τάση φάσης (230 V),

$R_L$ , η ωμική αντίσταση του αγωγού,

$X_L$ , η αντίδραση του αγωγού μέχρι το σημείο του βραχυκυκλώματος,

$R_T$ , η ωμική αντίσταση του μετασχηματιστή,

$X_T$ , η αντίδραση του μετασχηματιστή,

$R_C$ , η αντίσταση επαφής μεταξύ αγωγού και γείωσης.

Η αντίσταση επαφής μεταξύ αγωγού και γείωσης έλαβε τιμές  $R_C = 1, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000, 2000$  και  $3000 \Omega$  ώστε να υπάρχει μια πιο αποδοτική μεταλλική επαφή ( $R_C = 1 \Omega$ ) αλλά και μεγάλες αντιστάσεις της γης συγκριτικά με το έδαφος ( $R_C = 3000 \Omega$ ).

Επιπλέον, από την αντίσταση  $R_C$  αναπτύσσεται μια θερμική ισχύς  $P$  στο έδαφος, που αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την εξέλιξη των φαινομένων.

$$P \simeq I^2 R_C \quad (3-26)$$

Λαμβάνοντας υπόψιν τη θερμική ισορροπία στον αγωγό, έχουμε ότι:

$$I^2 R_C = P_a \quad (3-27)$$

Όπου  $P_a$  είναι η θερμική ισχύς που αντιπροσωπεύει όλο το εύρος της παράπλευρης περιοχής και εκφράζεται από την σχέση:

$$P_a = K B \Delta\theta \quad (3-28)$$

Όπου:  $K$ ,  $7 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$  σε συνθήκες μηδενικού ανέμου

$B$ , η επιφάνεια απαγωγής θερμότητας

$\Delta\theta$ , η αύξηση της θερμοκρασίας σε σύγκριση με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

Ο πόλος στον οποίο υπάγεται η γραμμή καταλαμβάνει ένα ύψος με αποτέλεσμα το μήκος του αγωγού στο έδαφος να είναι  $l_p = 10 \text{ m}$  (όπου  $l_p$  είναι η απόσταση μεταξύ του σημείου της αποκοπής και του προηγούμενου πόλου). Η μέγιστη τιμή μεταξύ δύο διαδοχικών πόλων  $l_p$  υπολογίζεται στα  $50 \text{ m}$ . Άρα, η επιφάνεια απαγωγής θερμότητας  $B$  ισούται με:

$$B \simeq \pi D_c (l_p - 10) = \pi \sqrt{4A/\pi} (l_p - 10) \quad (3-29)$$

Όπου:  $D_c$ , η διάμετρος του αγωγού

$A$ , η διατομή του αγωγού.

Επομένως, για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας  $\Delta\theta$  στο έδαφος εξαιτίας ενός απότομου γυμνού αγωγού αλουμινίου ισχύει ότι:

$$\Delta\theta = \frac{I^2 R_C}{24.8 (l_p - 10) \sqrt{A}} \quad (3-30)$$

Τα συμπεράσματα που εξάγονται για τη συγκεκριμένη θερμοκρασία καταλήγουν στο ότι η πρόσκρουση ενός αγωγού φάσης με την επιφάνεια της γης προξενεί πυρκαγιά σε περιπτώσεις εντοπισμού εύφλεκτων υλικών στην περιοχή και επιτυγχάνεται η ανύψωση της θερμοκρασίας όταν ένα μικρό μέρος του αγωγού (αντίστασης μικρότερης από  $200\Omega$ ) έρθει σε επαφή με το έδαφος.

[58]

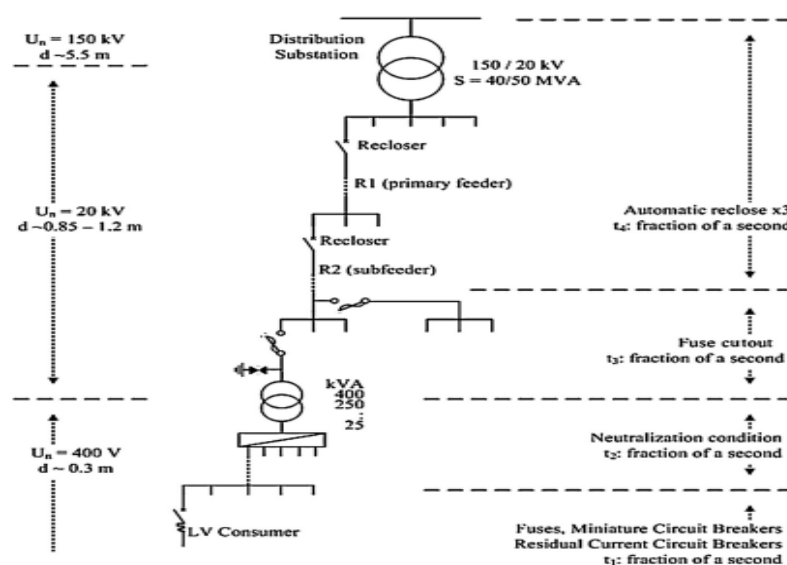
### 3.40 έλεγχος των θερμικών τάσεων και των διηλεκτρικών φαινομένων σε πυρκαγιές δικτύων διανομής από βραχυκύκλωμα

Ένα σύνηθες φαινόμενο για τη διεξαγωγή αρκετών πυρκαγιών είναι τα φλεγόμενα σωματίδια μετάλλων, τα οποία αναπαράγονται από υπερφορτωμένες γραμμές διανομής εξαιτίας σπινθηρισμών ή βραχυκυκλωμάτων ανάμεσα στους αγωγούς. Παράλληλα οι γραμμές του συστήματος ενέργειας που αναφλέγεται τοποθετούνται στο εσωτερικό της περιοχής που καίγεται. Σε τέτοιες περιπτώσεις, το ζήτημα είναι αν η πυρκαγιά ξεκίνησε από κάποιο καλώδιο με τη βοήθεια βραχυκυκλώματος ή αν το καλώδιο αυτό κάηκε εξαιτίας της αλληλεπίδρασής του με την πυρκαγιά. Η αποκοπή των αγωγών διανομής προκαλεί και εκείνη πυρκαγιά, ενώ οι αγωγοί που έχουν ως κύριο συστατικό τους το αλουμίνιο, χαρακτηρίζονται από θερμοκρασίες άνω των 500°C. Σε αυτήν την έρευνα, αξιολογούνται οι θερμικές τάσεις και τα διηλεκτρικά φαινόμενα μιας γραμμής διανομής ηλεκτρικής ενέργειας και συμπεριλαμβάνονται οι θερμικές καταπονήσεις σε εναέριες γραμμές διανομής εξαιτίας βραχυκυκλωμάτων ή πυρκαγιών. Για την περαιτέρω ανάλυση των προαναφερόμενων ζητημάτων, παρουσιάζεται μια μελέτη για την εκτίμηση της θερμικής τάσης του αγωγού λόγω βραχυκυκλώματος.

Σε ένα σύστημα διανομής χαμηλής τάσης, οι εναέριες γραμμές μέσης τάσης ξεκινούν από τον μετασχηματιστή HV/MV του υποσταθμού ΥΤ, τροφοδοτώντας διαφορετικές περιοχές διαδοχικά. Η χρήση των reclosers ως μέσα προστασίας για γραμμές MV. Το εναέριο δίκτυο διανομής MT είναι από μονοπολικούς και τριπολικούς διακόπτες διακοπής φορτίου για την απομόνωση τμημάτων του δικτύου. Οι κύριοι τροφοδότες αποτελούνται από δευτερεύοντες τροφοδότες, που καταλήγουν σε υποσταθμούς MV/LV. Για την προστασία του ηλεκτρικού συστήματος θα πρέπει να ισχύει ότι:

$$t_1 < t_2 < t_3 < t_4$$

Η παραπάνω ανισότητα εξασφαλίζει ότι σε περίπτωση βραχυκυκλώματος σε δευτερεύοντα τροφοδότη, το βραχυκύκλωμα θα αντικατασταθεί από την αρχή αμέσως ανάντη του σφάλματος. Όταν ο επανακλειστής δεν λειτουργήσει, το ρεύμα βραχυκυκλώματος είναι επαρκές και το σφάλμα θα εξαλειφθεί από το προστατευτικό μέσο.



Εικόνα 3.6: Αποτύπωση δικτύου διανομής μέσης και χαμηλής τάσης. [59]

### 3.4.1 Η θερμική καταπόνηση του αγωγού λόγω πυρκαγιάς

Κατά την περίοδο της καύσης, οι εναέριοι αγωγοί παρουσιάζουν μια θερμική καταπόνηση επειδή μεταφέρονται μεγάλα ποσά θερμότητας με την υπάρχουσα ακτινοβολία. Επειδή δεν είναι γνώριμα τα χαρακτηριστικά των καυσίμων, δεν είναι εφικτός ο προσδιορισμός του ποσού αύξησης της θερμοκρασίας. Το μέγεθος της θερμότητας που δέχεται ένα σώμα που είναι απομακρυσμένο από την πηγή θερμότητας είναι αντιστρόφως ανάλογο με το τετράγωνο της απόστασης. Δηλαδή, ο προσδιορισμός της προσπίπτουσας ροής ακτινοβολίας θερμότητας που δέχεται ένα αντικείμενο σε μια πυρκαγιά περιγράφεται από την εξίσωση:

$$Q_{rf} = \frac{X_r \cdot Q}{4 \cdot \pi \cdot R_o^2} \quad (3-31)$$

Όπου:  $Q_{rf}$ , η προσπίπτουσα ροή ακτινοβολίας (σε  $kW/m^2$ ),

$R_o$ , η απόσταση από την απαιτούμενη επιφάνεια,

$X_r$ , το κλάσμα ακτινοβολίας που εκφράζει το ποσοστό της θερμότητας που απελευθερώνεται από την πηγή ως ακτινοβολούμενη θερμότητα ίσο με 0,15,

$Q$ , ο συνολικός ρυθμός απελευθέρωσης θερμότητας (συμπεριλαμβανομένης της ροής θερμότητας ακτινοβολίας) της πηγής (σε  $kW$ ).

Η παραπάνω εξίσωση έχει νόημα όταν η απόσταση  $R_o$  είναι μεγαλύτερη από 2 φορές το βάθος  $l$  της επιφάνειας της πυρκαγιάς. Σε αντίθετη περίπτωση ισχύει η σχέση:

$$Q_{rf} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_2^4 F_{12} \quad (3-32)$$

Όπου:  $\varepsilon$ , η ικανότητα εκπομπής φλόγας,

$\sigma$ , η σταθερά Boltzmann,

$T_2$ , η θερμοκρασία της φλόγας (ίση με  $1200K$ ),

$F_{12}$ , ο συντελεστής προβολής.

Η φλόγα που εξάγεται από την ανύψωση της πυρκαγιάς εκφράζεται ως:

$$\varepsilon = 1 - e^{-kl} \quad (3-33)$$

Όπου  $k$  είναι η απορροφητικότητα φλόγας. ( $\sim 0,1$  έως  $1,0 m^{-1}$  για τυρβώδεις πυρκαγιές)

Τέλος, για την διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στους αγωγούς και τα ρεύματα αέρα, με  $T_1=293K$ :

$$\Delta T = 22 \frac{Q^{2/3}}{z^{5/3}} \quad (3-34)$$

Όπου  $z$  το ύψος.

### 3.4.2 Ο υπολογισμός της θερμικής καταπόνησης αγωγών υπό βραχυκύκλωμα

Για την μέτρηση του ρεύματος βραχυκυκλώματος, ακολουθείται το πρότυπο IEC 60909 και εφαρμόζονται αρκετά ασφαλή μέτρα σε συνθήκες πυρκαγιάς. Η επεξεργασία του βραχυκυκλώματος αναφέρεται κυρίως στον αυξημένο βαθμό επικινδυνότητας που υποβάλλει η πυρκαγιά το δίκτυο διανομής. Στο φαινόμενο αυτό, επάγονται η θέση και η αντίσταση σφάλματος (δηλαδή η αντίσταση τόξου), ο τύπος σφάλματος, ο χρόνος εκκαθάρισης, η θερμοκρασία περιβάλλοντος και η ταχύτητα ανέμου. Ύστερα από τη διεξαγωγή της πυρκαγιάς, προσδιορίζεται το σημείο ανάφλεξης στην συνολική καμένη έκταση καθώς και οι ρυθμίσεις προστασίας.

Η αντίσταση σφάλματος τόξου αποτυπώνεται ως εξής:

σε συνθήκες που το ρεύμα  $I$  δέχεται μεγάλες τιμές:

$$R = (1080.4 - 1350.5) \frac{L}{I} \quad (3-35)$$

σε συνθήκες που το ρεύμα  $I$  δέχεται μεγάλες τιμές:

$$R = \left( \frac{855.3}{I} + \frac{4501.6}{I^2} \right) L \quad (3-36)$$

Το ρεύμα τόξου συμπίπτει με το ρεύμα σφάλματος όταν η τάση ξεπερνά τα 15kV, οπότε η μοναδική άγνωστη μεταβλητή είναι ο τύπος σφάλματος. Η ένταξη της Κατανεμημένης Παραγωγής (DG) στο δίκτυο διανομής συντελεί στην αύξηση του επιπέδου βραχυκυκλώματος. Οπότε με τη συνθήκη αυτή, απαγορεύεται η στάθμη βραχυκυκλώματος να υπερβαίνει κάποιο όριο και ο κίνδυνος της πυρκαγιάς να ανιχνεύεται ευκολότερα.

Για την ανίχνευση της ανύψωσης της θερμοκρασίας  $\Delta\theta$  ύστερα από την επίδραση του βραχυκυκλώματος με βάση το πρότυπο IEC 60865-1 ισχύει ότι:

$$\Delta\theta = \frac{1}{a} \left( \exp \left( \frac{S_{th}^2 \cdot t \cdot a}{\sigma \cdot \gamma \cdot c} \right) - 1 \right) \quad (3-37)$$

Όπου:  $S_{th}$ , η πυκνότητα ρεύματος βραχυκυκλώματος,

$a$ , ο θερμικός συντελεστής του αγωγού, η αγωγιμότητα του αγωγού,

$\gamma$ , η πυκνότητα του αγωγού,

$c$ , η ειδική θερμότητα του αγωγού.

(Η σχέση (3-48), θα αναλυθεί διεξοδικά στην παράγραφο 3.6, όπου θα αποτυπωθεί πλήρης περιγραφή του φαινομένου και των εννοιών του).

Ένας διαφορετικός τρόπος προσέγγισης για την αυξανόμενη θερμοκρασία περιγράφεται στη συνέχεια:

$$\Delta\theta = k \cdot I_k^2 \cdot \left[ \frac{t + T \cdot (I_k''/I_k)^2}{A^2} \right] \quad (3-38)$$

Όπου:  $I_k$ , το ρεύμα βραχυκυκλώματος σταθερής κατάστασης,

$k$ , μια σταθερά υλικού ( $k = 0,0058$  για τον χαλκό και  $k = 0,0135$  για το αλουμίνιο),

$t$ , η διάρκεια του βραχυκυκλώματος (σε  $s$ ),

$T$ , ένας συντελεστής (από  $0,3$  έως  $0,15$  για τριφασικό βραχυκύκλωμα και από  $0,6$  έως  $0,25$  για βραχυκύκλωμα δύο φάσεων).

Για το ισοδύναμο θερμικό ρεύμα βραχυκυκλώματος  $I_{th,e}$  και την ισοδύναμη διάρκεια  $t_{k,e}$  των απενεργοποιημένων βραχυκυκλωμάτων γνωρίζουμε ότι:

$$I_{th,e} = \sqrt{\frac{1}{t_k} \sum_{i=1}^n I_{thi}^2 t_{ki}}$$

$$t_{k,e} = \sum_{i=1}^n t_{ki} \quad (3-39)$$

Συμπεραίνεται ότι για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας  $\Delta\theta$ , προσεγγίζεται αρχικά το συμμετρικό ρεύμα βραχυκυκλώματος. Όταν η τιμή της αυξανόμενης θερμοκρασίας είναι πιο μικρή από το σημείο αποσκλήρυνσης του αλουμινίου, για τον υπολογισμό του ρεύματος βραχυκυκλώματος απαιτείται η γνωστοποίηση της σύνθετης αντίστασης σφάλματος έως τον μετασχηματιστή. Σε περιπτώσεις που η θερμοκρασία δεν πλησιάζει το σημείο μαλάκυνσης του αλουμινίου ή του χαλκού, η πραγματική αύξηση της θερμοκρασίας δεν θα καταφέρει να αναπτύξει την απόπτηση ή την καύση του αγωγού.

Ακόμη, για τον περιορισμό της υπολειπόμενης αντοχής ενός αγωγού αλουμινίου  $RS_{1350}$  και  $ACSR$   $RS_{COM}$  εξαιτίας της αθροιστικής θερμικής τάσης είναι γνωστό ότι:

$$RS_{1350} = (-0.24T + 134)t^{-(0.001T - 0.095)(2.54/d)}$$

(if  $-0.24T + 134 > 100$ , use 100 for this term)

$$RS_{COM} = RS_{1350} \left( \frac{STR_{1350}}{STR_T} \right) + 109 \left( \frac{STR_{ST}}{STR_T} \right) \quad (3-40)$$

Όπου:  $d$ , η διάμετρος κλώνου (σε  $mm$ ),

$T$ , η θερμοκρασία,

$t$ , ο χρόνος και

$STR_{1350}$ ,  $STR_{ST}$  και  $STR_T$ , οι υπολογισμένες αρχικές αντοχές του αλουμινίου, του χάλυβα και ολόκληρου του αγωγού αντίστοιχα. [59]

### 3.5 Τα θερμικά χαρακτηριστικά των αγωγών σε συνθήκες βραχυκυκλώματος

Η ανύψωση της θερμοκρασίας, συγκριτικά με την αντίστοιχη θερμοκρασία στον περιβάλλον, για μέγιστο ρεύμα λειτουργίας  $I_L$  εκφράζεται ως:

$$\Delta\theta_L = \Delta\theta_N (I_L / I_N)^k \quad (3-41)$$

Όπου:  $\Delta\theta_N$ , η ανύψωση της θερμοκρασίας (σε σχέση με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος),

$I_N$ , το ονομαστικό ρεύμα,

$k$ , ένας συντελεστής (από 1,5 έως και 2).

Για ένα σύνθητες άνοιγμα της γραμμής με ρεύμα λειτουργίας  $I_L$  μεταξύ των δύο στύλων A και B και αντίστασης αγωγού R ισχύει η συνθήκη:

$$I_L^2 R = \kappa A \Delta\theta + c d\theta/dt \quad (3-42)$$

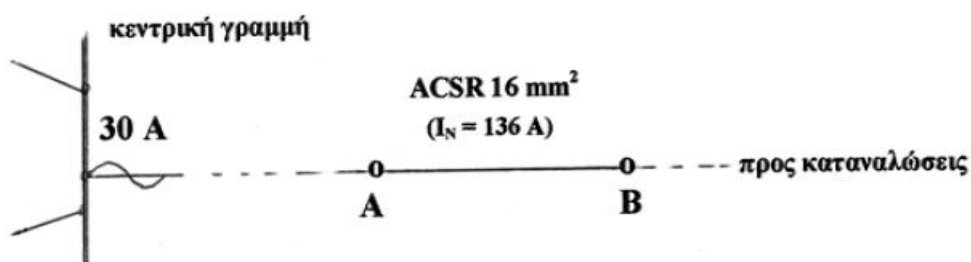
Συνηθέστερα, ισχύει η εκδοχή ότι  $\kappa A \Delta\theta \gg c d\theta/dt$ , οπότε ο όρος  $c d\theta/dt$  αναιρείται από την σχέση (3-55):

Όπου:  $\kappa$ , ένας θερμικός συντελεστής,

$A$ , η επιφάνεια του αγωγού,

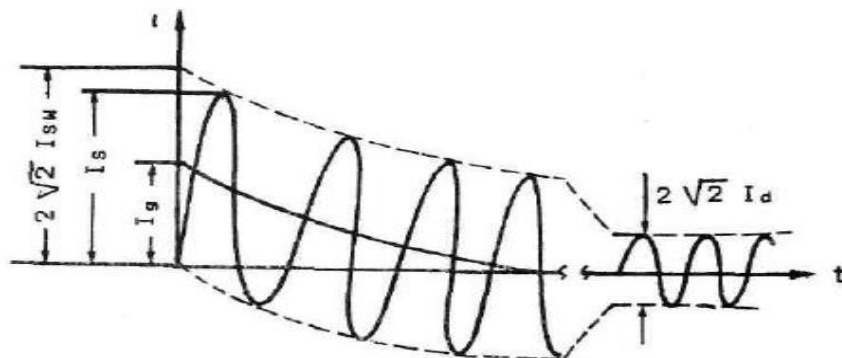
$\Delta\theta$ , η μεταβολή της θερμοκρασίας,

$c d\theta/dt$ , η αύξηση της θερμοχωρητικότητάς του συναρτήσει του χρόνου.



**Εικόνα 3.7:** Αποτύπωση μίας γραμμής μέσης τάσης, απόστασης AB και με ασφαλειοαποζεύκτες 30A. [60]

Είναι γνωστό ότι το ρεύμα βραχυκύκλωσης αποτελείται από το ασύμμετρο και το συμμετρικό βραχυκύκλωμα. Το ασύμμετρο με τη σειρά του, αντιπροσωπεύει το εναλλασσόμενο ρεύμα βραχυκύκλωσης  $I_{sw}$  και το συνεχές ρεύμα βραχυκύκλωσης  $I_g$ . Αναλυτικότερα αποτυπώνονται στο ακόλουθο σχήμα:



**Εικόνα 3.8:** Αναπαράσταση των συνιστωσών που αποτελείται το ρεύμα βραχυκύκλωσης. [60]

$I_s$  : Κρουστικό ρεύμα βραχυκύκλωσης

$I_{SW}$  : Εναλλασσόμενο ρεύμα βραχυκύκλωσης

$I_g$  : Συνεχές ρεύμα βραχυκύκλωσης

$I_d$  : Διαρκές ρεύμα βραχυκύκλωσης

Για το εναλλασσόμενο ρεύμα βραχυκύκλωσης  $I_{SW}$  γνωρίζουμε ότι:

$$I_{SW} = \frac{1,1U_N}{\sqrt{3}\sqrt{R_{ολ}^2 + X_{ολ}^2}} \quad (3-43)$$

Όπου:  $U_N$ , η ονομαστική τάση,

$R_{ολ}$  και  $X_{ολ}$ , η συνολική ωμική και επαγωγική αντίσταση μέχρι τη θέση βραχυκύκλωσης.

Το εναλλασσόμενο ρεύμα βραχυκύκλωσης  $I_{SW}$ , πληροί την παρακάτω συνθήκη:

$$I_{SW} \leq \frac{100 \cdot I_N}{u_K}, \quad I_N = \frac{S_N}{\sqrt{3} \cdot U_N} \quad (3-44)$$

Όπου:  $u_K$ , η τάση βραχυκύκλωσης του μετασχηματιστή,

$I_N$ , το ονομαστικό ρεύμα του μετασχηματιστή που έρχεται πρώτο από το σημείο βραχυκύκλωσης,

$S_N$ , η ονομαστική ισχύς του μετασχηματιστή (σε MVA),

$U_N$ , η ονομαστική τάση στο σημείο βραχυκύκλωσης (σε KV).

Το συμμετρικό τμήμα βραχυκύκλωσης αποτελείται από το διαρκές ρεύμα βραχυκύκλωσης  $I_d$ :

$$I_d = \mu_d I_{SW}, \quad \mu_d = f(I_{SW} / I_g) \quad (3-45)$$



Η μέγιστη τιμή του ρεύματος βραχυκύκλωσης  $I_s$  ονομάζεται κρουστικό ρεύμα βραχυκύκλωσης:

$$I_s = \kappa_1 \sqrt{2} I_{SW} \quad , \quad \kappa_1 = f(R_{ol}, X_{ol}) \quad (3-46)$$

Για τον προσδιορισμό του εφελκυσμού σε ένα τριφασικό βραχυκύκλωμα προκύπτει το εναλλασσόμενο τμήμα του ρεύματος βραχυκύκλωσης  $I_a$ :

$$I_a = \mu I_{SW} \text{ σε kA} \quad (3-47)$$

Όπου:  $\mu$ , ένας γνωστός συντελεστής.

Έχοντας ως βάση επίκεντρο το πρότυπο IEC 60865-1, η αύξηση της θερμοκρασίας στο βραχυκύκλωμα προσεγγίζεται ως:

$$\Delta\theta = \frac{\frac{S_{th}^2 t \alpha}{\sigma \rho c} - 1}{\alpha} \quad (3-48)$$

Όπου:  $t$ , ο χρόνος μέχρι τη διακοπή του βραχυκυκλώματος από το διακοπτικό μέσο,

$\alpha$ , ο θερμικός συντελεστής της αντίστασης,

$\sigma$ , η αγωγιμότητα του αγωγού,

$\rho$ , η πυκνότητα του αγωγού,

$c$ , η θερμοχωρητικότητα του αγωγού,

$S_{th}$ , η πυκνότητα του ρεύματος βραχυκύκλωσης,

$$S_{th} = \frac{I_d}{A} \quad (3-49)$$

Όπου:  $A$ , η διατομή του αγωγού,

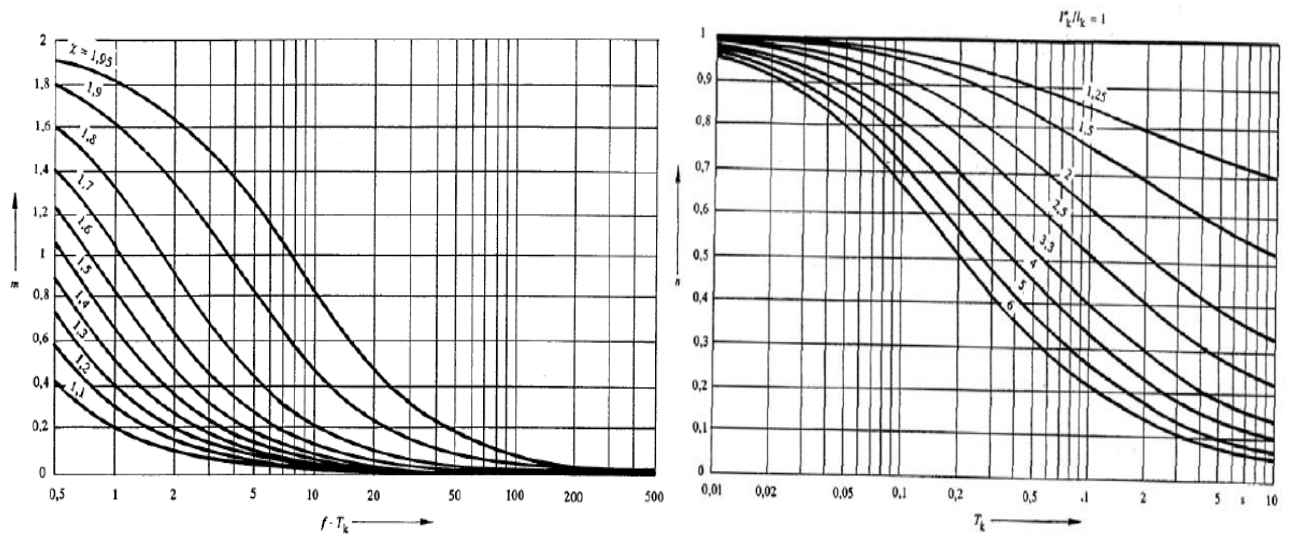
$I_d$ , το ισοδύναμο θερμικό ρεύμα βραχυκύκλωσης,

$$I_d = I_{SW} \sqrt{m+n} \quad (3-50)$$

Όπου:  $I_{sw}$ , το συμμετρικό ρεύμα βραχυκύκλωσης κατά την υπομεταβατική περίοδο,

$m$ , ο συντελεστής της dc συνιστώσας του ρεύματος βραχυκύκλωσης,

$n$ , ο συντελεστής της ac συνιστώσας του ρεύματος βραχυκύκλωσης.



**Διάγραμμα 3.4:** Σχηματικός προσδιορισμός συντελεστών  $m$  &  $n$  της dc & ac συνιστώσας του ρεύματος βραχυκύκλωσης και  $T_k$  ο χρόνος σφάλματος. [60]

Για τον συντελεστή  $\chi$  ισχύει ότι:

$$\chi = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-R_{OL}/X_{OL}} \quad (3-51)$$

Όπου:  $R_{OL}$  και  $X_{OL}$ , η ωμική και επαγωγική αντίσταση μέχρι τη θέση του σφάλματος.

$$R_{OL} = u_r \cdot \frac{U_N^2}{S_N}, \quad X_{OL} = \sqrt{u_k^2 - u_r^2} \cdot \frac{U_N^2}{S_N} \quad (3-52)$$

Εναλλακτικά, ο συντελεστής  $m$  υπολογίζεται από τον τύπο:

$$m = \frac{\exp(4ft \ln[0,02 + 0,98 \exp(-3R_{OL} / X_{OL})]) - 1}{2ft \ln[0,02 + 0,98 \exp(-3R_{OL} / X_{OL})]} \quad (3-53)$$

Όπου  $f$ , η θεμελιώδης συχνότητα.

Τέλος, για τον καθορισμό της τιμής για τον **συντελεστή  $m$**  και  **$k$**  έχοντας ως πρότυπο την σχέση (3-45) και (3-46), παρουσιάζονται οι ακόλουθες τιμές:

$R_{oλ}/X_{oλ}$	$\kappa$	$I_{sw}/I_G$	$\mu_d$
0,00	1,800	0,1	1
0,05	1,680	0,2	0,97
0,10	1,590	0,3	0,96
0,15	1,500	0,4	0,93
0,20	1,440	0,5	0,9
0,25	1,380	0,6	0,89
0,30	1,330	0,7	0,87
0,35	1,290	0,8	0,85
0,40	1,250	0,9	0,82
0,45	1,220	1	0,8
0,50	1,190	1,6	0,7
0,55	1,170	2	0,67
0,60	1,140	3	0,58
0,65	1,120	4	0,52
0,70	1,110	5	0,49
0,75	1,100	6	0,44
0,80	1,095	7	0,41
0,85	1,090	8	0,4
0,90	1,080	9	0,39
0,95	1,075	10	0,35
1,00	1,070		
1,05	1,065		
1,10	1,060		
1,15	1,055		
1,20	1,050		

**Πίνακας 3.4:** Αναπαράσταση των τιμών του συντελεστή με βάση την απόσταση που λαμβάνει η θέση βραχυκυκλώματος. [60]

Σε συνθήκες βραχυκυκλώματος κοντά στην γεννήτρια ο συντελεστής  $\mu_d$  είναι 0,35, ενώ στην πιο μακρινή απόσταση ισούται με τη μονάδα. Αν δεν έχουμε πληροφορίες για τους συντελεστές  $m$  και  $n$ , η σχέση (3-45) γίνεται  $I_d = I_{sw}$  και αποδίδεται μέγιστη τιμή στην αύξηση της θερμοκρασίας  $\Delta\theta$ .

[60]

### 3.6 Η άνοδος θερμοκρασίας ενός αγωγού εναέριας γραμμής σε περιβάλλον πυρκαγιάς εξαιτίας βραχυκυκλώματος

Κατά την εξέλιξη μιας πυρκαγιάς, οι εναέριοι αγωγοί που συνδέονται σε μια γραμμή διανομής δέχονται θερμική καταπόνηση που διαβάλλει τα μηχανικά χαρακτηριστικά τους. Είναι ήδη γνωστό ότι μια γραμμή διανομής αποτελείται από τους στύλους (σε ξύλινη μορφή), τους αγωγούς και τους μονωτές. Μετά το πέρας της πυρκαγιάς, η γραμμή οδηγείται σε συντρίμια και θα πρέπει να κατασκευαστεί εκ νέου. Οι παράγοντες που καθορίζουν το μέγεθος της αύξησης της θερμοκρασίας σε μια τέτοιου είδους γραμμή είναι η απόσταση από το έδαφος, η χαμένη δύναμη από τον αγωγό και η ικανότητα λειτουργίας των εξαρτημάτων. Η μείωση της αντοχής του αγωγού σε υψηλές θερμοκρασίες είναι προσθετική και περιλαμβάνει 2 στάδια. Κατά την ανάκτηση, μεταβάλλονται οι μη μηχανικές ιδιότητες του μετάλλου και κατά την ανακρυστάλλωση, μειώνεται η αντοχή σε εφελκυσμό με αποτέλεσμα να εντείνεται ο ρυθμός θέρμανσης της περιοχής. Στη συγκεκριμένη μελέτη, αποτυπώνεται η θερμική καταπόνηση, εξαιτίας μιας πυρκαγιάς προερχόμενης από βραχυκύκλωμα, των αγωγών μιας εναέριας γραμμής διανομής και η ραγδαία αύξηση της θερμοκρασία στον περιβάλλοντα χώρο. Η αύξηση της θερμοκρασίας, επιδρά στην αναγνώριση των επιπτώσεων στους αγωγούς εναέριας γραμμής.

Με βάση τις ηλεκτρικές προδιαγραφές, ο αγωγός χαλκός (Cu) έχει ως υλικό την μεγαλύτερη αγωγιμότητα αλλά κοστίζει αρκετά. Από την άλλη, ο αγωγός αλουμινίου (Al) διαθέτει υψηλή μηχανική αντοχή. Για τη μεταφορά θερμότητας, χρειάζεται η αγωγή, η συναγωγή και η ακτινοβολία. Κατά τη θέρμανση ενός αγωγού, αυξάνεται η θερμοκρασία και η θερμότητα αντικαθίσταται από τη μεταφορά και την ακτινοβολία. Σε χαμηλές θερμοκρασίες επικρατεί η μεταφορά, ενώ από 400°C κυριαρχεί η ακτινοβολία.

Για το μέγεθος της περίσσειας θερμοκρασίας  $\Delta T_0$  σε σχέση με το περιβάλλον στον άξονα σε ύψος  $z$  και σε βαθμούς K ισχύει ότι:

$$\Delta T_0 = 22 \frac{Q^{2/3}}{z^{5/3}} \quad (3-54)$$

Όπου  $Q$ , ο συνολικός ρυθμός απελευθέρωσης θερμότητας της πηγής (σε kilowatts).

Οπότε, για τη μεταφορά θερμότητας με συναγωγή έχουμε ότι:

$$Q_{cf} = f \cdot (T_2 - T_1) = f \cdot \Delta T \quad (3-55)$$

Όπου:  $Q_{cf}$ , η συναγωγική ροή θερμότητας (σε  $kW/m^2$ ),

$f$ , ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας (σε  $kW/m^2 \times ^\circ K$ ),

$\Delta T = T_2 - T_1$ , η διαφορά θερμοκρασίας του υλικού.

Έναν σημαντικό παράγοντα για την εξέλιξη της πυρκαγιάς αντιπροσωπεύει η ροή θερμότητας, δηλαδή αποτυπώνεται το μέγεθος της θερμότητας που η θερμότητα πέφτει ή διέρχεται σε μια επιφάνεια διαμέσου μιας άλλης επιφάνειας σε  $\text{kW/m}^2$ . Πιο συγκεκριμένα:

$$Q_{cf} = (k/l) (T_2 - T_1) \quad (3-56)$$

Όπου: **k**, η θερμική αγωγιμότητα,

**l**, η απόσταση μεταξύ των θερμοκρασιών  $T_2$  και  $T_1$ .

Αξίζει να ειπωθεί ότι, το κλάσμα (**k / l**) εκφράζει τον διαμοιρασμό θερμότητας μεταξύ των 2 υλικών, ενώ ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας **f** μεταβάλλεται βάσει των χαρακτηριστικών του δικτύων, τη γεωμετρία του στερεού και τις ιδιότητες του ρευστού.

Η ακτινοβολία, συμπληρώνει τον διαμοιρασμό θερμικής ενέργειας με τη βοήθεια ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων από μια θερμότερη σε μια πιο ψυχρή επιφάνεια. Το κύριο κομμάτι της, επάγεται στη ροή θερμότητας φαινομένων πυρκαγιών σε άγρια δάση.

Για τον προσδιορισμό της προσπίπτουσας ροής ακτινοβολίας θερμότητας σε μια επιφάνεια ισχύει ότι:

$$Q_{rf} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_2^4 \cdot F_{1-2} \quad (3-57)$$

Όπου: **ε**, η εκπομπής φλόγας (συνήθως  $\varepsilon = 1$ ),

**σ**, η σταθερά Stefan – Boltzmann ( $\sigma = 5,67 \times 10^{-11} \text{ kWm}^{-2} \text{ K}^{-4}$ ),

**F<sub>1-2</sub>**, η φλόγα θερμοκρασία του μετώπου πυρκαγιάς.

Η τιμή του συντελεστή προβολής **F<sub>1-2</sub>**, εξαρτάται από τη σχετική θέση και των δύο επιφανειών.

Για μικρότερης εμβέλειας πυρκαγιές, η προσπίπτουσα ροή ακτινοβολίας θερμότητας που δέχεται ένας αγωγός σε μια πυρκαγιά είναι:

$$Q_{rf} = \frac{X_r \cdot Q}{4 \cdot \pi \cdot R_0^2} \quad (3-58)$$

Όπου: **Q<sub>rf</sub>**, η προσπίπτουσα ροή ακτινοβολίας,

**R<sub>0</sub>**, η απόσταση από την αξιολογούμενη επιφάνεια,

**X<sub>r</sub>**, το κλάσμα ακτινοβολίας, της θερμότητας που απελευθερώνεται από την πηγή ως προς την ακτινοβολούμενη θερμότητα,

(από 0,60 - 0,20 για υλικά καύσης χαμηλής περιεκτικότητας αιθάλης ή 0,15 σε πυρκαγιές με μαύρο καπνό)

**Q**, ο συνολικός ρυθμός απελευθέρωσης θερμότητας της πηγής (σε kilowatts).

Για την ταχύτητα  $\nu$  σε  $m/s$  που εξελίσσεται η πυρκαγιά στην επιφάνεια του εδάφους άγριας έκτασης ισχύει ότι:

$$\nu = \frac{k \cdot (1 + \nu_w)}{\rho_b} \quad (3-59)$$

Όπου:  $\nu_w$ , η ταχύτητα του ανέμου (σε  $m/s$ ),

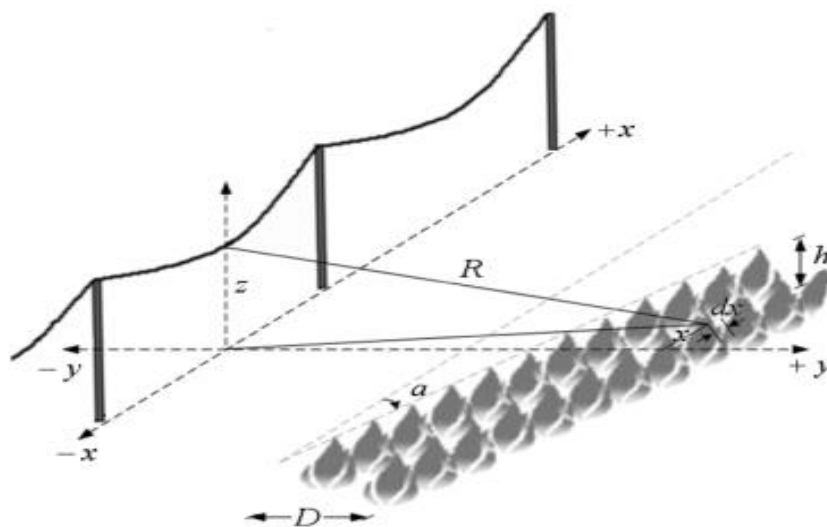
$\rho_b$ , η πυκνότητα του καυσίμου (σε  $kg/m^3$ ),

$k$ , ισούται με 0,07 για άγρια έκταση ή 0,05 για ξύλινη έκταση (σε  $kg/m^3$ ).

Η θερμική ένταση μιας πυρκαγιάς μετρείται σε  $kW/m$  και είναι συνάρτηση του ύψους  $h$  που λαμβάνει τιμές έως και 7m:

$$I = 273 \cdot (h)^{2,17} \quad (3-60)$$

Υστερα, περιγράφεται μια τυχαία πυρκαγιά που προκλήθηκε από βραχυκύκλωμα με βάθος  $D$  και ύψος φλόγας  $h$  και κινείται υπό γωνία ( $\alpha$ ) προς μια γραμμική διανομή με αγωγούς στο ύψος  $z$ . Η μελέτη πραγματοποιείται σε παράλληλο άξονα σχετικά με την γραμμή.



Εικόνα 3.9: Αναπαράσταση πυρκαγιάς σε γραμμή διανομής εξαιτίας βραχυκυκλώματος. [61]

Τοποθετώντας την απόσταση από την αξιολογούμενη επιφάνεια στον τρισδιάστατο χώρο συμπεραίνουμε την παρακάτω σχέση:

$$R^2 = z^2 + y^2 + x^2 \quad (3-61)$$

Επομένως, για την προσπίπτουσα ροή ακτινοβολίας θερμότητας που δέχεται ο αγωγός γνωρίζουμε ότι:

$$Q_{r,f(dx)} = \frac{X_r \cdot Q}{4 \cdot \pi \cdot R^2} = \frac{X_r \cdot I \cdot \cos\alpha \cdot dx}{4 \cdot \pi \cdot R^2} \Rightarrow Q_{r,f(dx)} = \frac{X_r \cdot I \cdot \cos\alpha \cdot dx}{4 \cdot \pi \cdot (z^2 + y^2 + x^2)} \quad (3-62)$$

Υποθέτοντας ότι η πορεία της πυρκαγιάς διανύει απόσταση από -l/2 έως +l/2 (στον άξονα), για την ακτινοβολούμενη ενέργεια (θερμότητα)  $W_r$  (σε kJ/m<sup>2</sup>) ξέρουμε ότι:

$$\begin{aligned} W_r &= \frac{X_r \cdot I \cdot \cos\alpha}{4 \cdot \pi} \cdot \int_0^{\frac{l}{v}} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{dx \cdot dt}{z^2 + (\nu \cdot t)^2 + x^2} \\ &= \frac{X_r \cdot I \cdot \cos\alpha}{4 \cdot \pi} \cdot \int_0^{\frac{l}{v}} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{dx \cdot dt}{R^2(t) + x^2} \quad \text{με} \quad R^2(t) = z^2 + (\nu \cdot t)^2 \end{aligned} \quad (3-63)$$

$$\begin{aligned} W_r &= \frac{X_r \cdot I \cdot \cos\alpha}{4 \cdot \pi} \cdot \int_0^{\frac{l}{v}} \frac{\pi \cdot dt}{R(t)} \\ &= \frac{X_r \cdot I \cdot \cos\alpha}{4} \cdot \int_0^{\frac{l}{v}} \frac{dt}{\sqrt{z^2 + \nu^2 \cdot t^2}} \\ &= \frac{X_r \cdot I \cdot \cos\alpha}{4 \cdot \nu} \cdot \ln \left( t + \sqrt{t^2 + \left(\frac{z}{\nu}\right)^2} \right) \Big|_0^{\frac{l}{v}} \\ &= \frac{X_r \cdot I \cdot \cos\alpha}{4 \cdot \nu} \cdot \left[ \ln \left( \frac{l}{\nu} \right) + \ln \left( 1 + \sqrt{1 + \left(\frac{z}{l}\right)^2} \right) \right] \end{aligned} \quad (3-64)$$

Τελικά:

$$\begin{aligned} W_r &= \frac{X_r \cdot I \cdot \cos\alpha}{4 \cdot \nu} \\ &\cdot \left[ \ln \left( \frac{l}{z} \right) + \ln \left( 1 + \sqrt{1 + \left(\frac{z}{l}\right)^2} \right) \right] \text{ (kJ/m}^2\text{)}. \end{aligned} \quad (3-65)$$

Από την εξίσωση (3-54) και (3-60), προκύπτει ότι για ένα μοναδιαίο μήκος της πυρκαγιάς:

$$\begin{aligned} \Delta T &= 22 \frac{Q^{2/3}}{z^{5/3}} = 22 \frac{I^{2/3}}{z^{5/3}} = 22 \sqrt[3]{\frac{I^2}{z^5}} \\ &= 22 \sqrt[3]{\frac{(273 \cdot h^{2,17})^2}{z^5}} = 926 \sqrt[3]{\frac{h^{4,34}}{z^5}}. \end{aligned} \quad (3-66)$$

Εάν  $D$  είναι το βάθος της φωτιάς και  $D/v$  ο χρόνος διέλευσης της φωτιάς κάτω από τον αγωγό, η θερμότητα θα είναι:

$$W_c = 926 \cdot f \cdot \frac{D}{v} \cdot \sqrt[3]{\frac{h^{4,34}}{z^5}} \quad (\text{kJ/m}^2) \quad (3-67)$$

Η συνολική προσπίπτουσα θερμότητα στον αγωγό γραμμής βάσει των εξισώσεων (3-65) και (3-67) είναι:

$$W = W_T + W_c \quad (3-68)$$

Τέλος, για έναν αγωγό αλουμινίου ACSR 95 ακολουθούν τα εξής τα στοιχεία:

$n_{st}$  : αριθμός κλώνων χάλυβα,

$n_{Al}$  : αριθμός κλώνων του αλουμινίου,

$d_{st}$  : διάμετρος κλώνου από χάλυβα (0,00211 m),

$d_{Al}$  : διάμετρος κλώνου αλουμινίου (0,00272 m),

$\varepsilon_{st}$  : ειδικό βάρος χάλυβα (7800 kg/m<sup>3</sup>),

$\varepsilon_{Al}$  : ειδικό βάρος αλουμινίου (2700 kg/m<sup>3</sup>),

$C_{st}$  : ειδική θερμότητα χάλυβα (0,502 kJ/kg °C),

$C_{Al}$  : ειδική θερμότητα αλουμινίου (1.637 kJ/kg °C),

$d_c$  : εξωτερική διάμετρος αγωγού (0,01724 m).

Η κατάσταση του ισοζυγίου θερμότητας στον αγωγό, κατά την εξέλιξη της πυρκαγιάς:

$$\left( \frac{n_{st} \cdot \varepsilon_{st} \cdot C_{st} \cdot \pi \cdot d_{st}^2}{4} + \frac{n_{Al} \cdot \varepsilon_{Al} \cdot C_{Al} \cdot \pi \cdot d_{Al}^2}{4} \right) \cdot L \cdot \Delta\theta = W \cdot d_c \cdot L \quad (3-69)$$

Η αύξηση της θερμοκρασίας του αγωγού υπό την επίδραση βραχυκυκλώματος:

$$\Delta\theta = \frac{4 \cdot W \cdot d_c}{\pi \cdot (n_{st} \cdot \varepsilon_{st} \cdot C_{st} \cdot d_{st}^2 + n_{Al} \cdot \varepsilon_{Al} \cdot C_{Al} \cdot d_{Al}^2)} \quad (3-70)$$

[61]



### 3.7 Η επίδραση των θερμικών φαινομένων εξαιτίας βραχυκυκλώματος σε ηλεκτρική πυρκαγιά

Για την σύμπτυξη της μικροδομής του λιωμένου σημείου ενός βραχυκυκλώματος σε έναν χαλκό αγωγού και της εξωτερικής θερμότητας στην ηλεκτρική πυρκαγιά, υιοθετούνται οι ποσοτικές περιγραφές του PSM (το πρωτεύον βραχυκύκλωμα) και του SSM (το δευτερεύον βραχυκύκλωμα). Τα 2 είδη βραχυκυκλωμάτων εκπροσωπούνται από διαφορετική τάση με το χρόνο θερμικής επεξεργασίας και τη θερμοκρασία θερμικής επεξεργασίας μεταξύ PSM και SSM να μεταβάλλονται εξίσου. Η ποσότητα οξυγόνου για το PSM είναι περίπου 6%, ενώ για το SSM είναι περίπου 3%, στο λιωμένο υπόστρωμα. Η εξωτερική θερμότητα διαφοροποιεί σημαντικά τη μικροδομή των PSM και SSM.

Για τον υπολογισμό του συντελεστή υψής TC ενός αγωγού ισχύει ότι:

$$TC = \frac{I_i(hk \cdot l) / I_0(hk \cdot l)}{\frac{1}{n} \sum_1^n [I_i(hk \cdot l) / I_0(hk \cdot l)]} \quad (3-71)$$

Το κλάσμα του αριθμητή με βάση την παραπάνω σχέση δηλώνει την ένταση της περιθλασης του δείγματος της κρυσταλλικής επιφάνειας προς την ένταση της τυπικής περιθλασης. Όταν ο συντελεστής υψής ισούται με τη μονάδα δεν εκτιμάται προτιμώμενος προσανατολισμός στο σημάδι δείγματος, ενώ όταν την ξεπερνά ο βαθμός προσανατολισμού είναι μεγαλύτερος για τη διαβρωμένη επιφάνεια. Η τιμή TC του PSM είναι διαφορετική από το SSM. Η μέση τιμή TC για όλες τις συνθήκες διαφοροποιείται λίγο, όμως ο ρυθμός πτώσης της θερμοκρασίας προσδιορίζει το διαφορετικό σημάδι τήξης για τα 2 είδη βραχυκυκλωμάτων.

Όταν 2 χάλκινοι αγωγοί έρχονται σε επαφή και συνεπώς βραχυκυκλώνονται, τα άκρα τους αναζητούν αρκετή θερμότητα για να λιώσουν το τόξο με αποτέλεσμα ο πόλος ανόδου και καθόδου να λαμβάνουν διαφορετικού μεγέθους ενέργεια.

Για την άνοδο, αντλούμε πληροφορίες από το τόξο βραχυκυκλώματος:

$$\begin{aligned} P_A &= P_e + P_{rA} + P_{cA} \approx P_e \\ P_e &= I(U_A + U_{WA} + U_T) \end{aligned} \quad (3-72)$$

Όπου:  $P_e$ , η ενέργεια που φορτώθηκε από τα ηλεκτρόνια,

$P_{rA}$ , η ενέργεια ακτινοβολίας του τόξου βραχυκυκλώματος,

$P_{cA}$ , η ενέργεια που μεταφέρθηκε με βραχυκύκλωμα τόξου

$$(U_T = 5/2 \kappa_B T_E / e, \kappa_B = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/k}, e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C})$$

$P_A$ ,  $I$  και  $J$ , η άνοδος εισόδου θερμότητας, το ρεύμα εκφόρτισης και η πυκνότητα ρεύματος,

$U_A$ ,  $U_{WA}$  και  $U_T$ , η πτώση τάσης της ζώνης ανόδου, η συνάρτηση εργασίας του υλικού ανόδου και η ενέργεια όταν τα ηλεκτρόνια βρίσκονται στην περιοχή τόξου, ίση ως προς την τάση,

$T_E$ , η θερμοκρασία ηλεκτρονίων (k),

$q_{con}$ ,  $q_{rad}$ , η δέσμη ροής θερμότητας που μεταφέρεται από την περιοχή του τόξου ( $W/m^2$ ) και τη δέσμη ροής θερμότητας ακτινοβολίας,

$P_e$ , τα ηλεκτρόνια επιταχύνονται από την περιοχή ανόδου,

$U_A$ ,  $P_{fA}$ , τα ελεύθερα ηλεκτρόνια απελευθερώνουν την ενέργεια όταν τα ελεύθερα ηλεκτρόνια αναρροφούνται

$U_{WA}$ ,  $P_{CA}$ , η κινητική ενέργεια που τα ηλεκτρόνια βρίσκονται στην περιοχή τόξου που αντιστοιχεί στο  $U_T$ .

Για την κάθοδο, τα ιόντα του τόξου αυξάνουν ρυθμούς με την επίδραση της τάσης και ύστερα αποδίδουν ενέργεια στην κάθοδο  $U_c$  (V) και τα ιόντα και τα ηλεκτρόνια της ανόδου εκκρίνουν την ενέργεια ιοντισμού  $U_f$  (V) στην κάθοδο. Αντίθετα, τα ακτινοβολούμενα ηλεκτρόνια της καθόδου λαμβάνουν ενέργεια που ισοδυναμεί με το υλικό καθόδου  $U_{wc}$  (V), δηλαδή η κάθοδος χάνει ενέργεια και ψύχεται.

Η μεταβολή της ενέργειας της καθόδου αναλύεται ως εξής:

$$P_c = I[(1-f)(U_c + U_i - U_{wc}) - fU_{wc} + U_T] + P_{rc} + P_{cc} \quad (3-73)$$

Περιλαμβάνει ένα μέρος με τα ιόντα, ένα άλλο με την ακτινοβολούμενη από την κάθοδο ενέργεια των ηλεκτρονίων και ένα ακόμη με τη μηχανική ενέργεια των ιόντων του τόξου.

Για την πυκνότητα της εισερχόμενης θερμότητας  $q_c$  ( $W/m^2$ ):

$$q_c = I[(1-f)(U_c + U_i - U_{wc}) - fU_{wc} + U_T] + q_{con} + q_{rad}$$

$$U_T = \frac{5}{2} \kappa_B T_i / e \quad (3-74)$$

Όπου:  $P_c$ , η είσοδος θερμότητας της καθόδου,

$I$ ,  $J$ , το βραχυκυκλωμένο ρεύμα και πυκνότητα ρεύματος ( $A/m^2$ )

$U_c$ ,  $U_{wc}$ ,  $U_i$ ,  $U_T$ , η πτώση τάσης καθόδου (σε V), η συνάρτηση εργασίας υλικού καθόδου, η τάση όταν τα ιόντα ιονίζονται και η ενέργεια όταν τα ιόντα βρίσκονται στην περιοχή του τόξου,

$T_i$ , η θερμοκρασία ιόντων (k),

$q_{con}$  και  $q_{rad}$ , η δέσμη ροής θερμότητας που μεταφέρεται από την περιοχή τόξου (σε  $W/m^2$ ).

Τέλος, για τη θερμότητα ακτινοβολίας δέσμη ροής:

$$\begin{aligned} q_A &= J(U_A + U_{WA} + U_T) \\ q_c &= J[(1-f)(U_c + U_i - U_{wc}) - fU_{wc} + U_T] \\ q_c &= J[(1-f)U_c - U_{wc} + (1-f)U_i + U_T] \end{aligned} \quad (3-75)$$

Για 2 όμοιους χάλκινους αγωγούς, το  $U_{wc}$  και το  $U_{wa}$  είναι παρόμοια, το  $U_c$  και το  $U_A$  καθορίζονται από το υλικό πόλου, τον αέρα και το ρεύμα βραχυκυκλώματος, το  $U_i$  από το αέριο πλάσματος και το  $f$  από τον μηχανισμό εκπομπής ηλεκτρονίων καθόδου. [62]

### 3.8 Τα παραγόμενα σωματίδια που οφείλονται στη σύγκρουση των αγωγών μιας εναέριας γραμμής υπό βραχυκύκλωμα

Σε ένα φαινόμενο σύγκρουσης ενός αγωγού, μερικά από τα σταγονίδια είναι πολύ θερμά με αποτέλεσμα να φλέγεται η βιομάζα στην επιφάνεια του εδάφους. Η κρίσιμη διάμετρος κατά τη σύγκρουση ενός αγωγού, αποτελεί την ελάχιστη διάμετρο του σωματιδίου και παρά την ψύξη των σωματιδίων η βιομάζα καίγεται ολοσχερώς. Η μαθηματική διαδικασία που ακολουθείται, αντιπροσωπεύει κάθε τύπο αγωγού και ύψος σύγκρουσης αγωγών με ενέργεια. Πιο συγκεκριμένα, *μελετάται η αξιολόγηση του μεγέθους των σωματιδίων με θερμότητα και η αυξημένη θερμοκρασία από βραχυκύκλωμα με στόχο την ανάφλεξη εύφλεκτου υλικού στο έδαφος. Δηλαδή, προσεγγίζει την εκτίμηση έναρξης πυρκαγιάς λόγω σύγκρουσης του αγωγού και επιδρά στη διασφάλιση των μέτρων πυροπροστασίας.*

Η θερμότητα προξενεί με την σειρά της τήξη και εξάτμιση του μετάλλου και διασκορπίζονται σπινθήρες στην επιφάνεια του εδάφους. Παρόλο που η πίεση του μετάλλου είναι συνεχώς ανοδική, το μέταλλο αποτελείται από μικρούς σπινθήρες. Τα εκτοξευόμενα σωματίδια αλουμινίου διαθέτουν αρχική θερμοκρασία πάνω από την κανονική θερμοκρασία βρασμού των 2730K και σημείο τήξης 930K. Τα σωματίδια αυτά ψύχονται με συναγωγή και ακτινοβολία και κάποια καταστρέφονται ολοσχερώς, ενώ άλλα προσπίπτουν στην επιφάνεια.

Για την προσδοκώμενη θερμότητα λόγω ανύψωσης της θερμοκρασίας της βιομάζας συγκριτικά με τη θερμοκρασία ανάφλεξης προκύπτει ότι:

$$H_{ig} = m_{bm} \left\{ c_{bm} (T_{ig} - T_o) + M_{bm} \left[ c_w (T_{bw} - T_o) + h_v + c_{wv} (T_{ig} - T_{bw}) \right] \right\} \quad (3-76)$$

Όπου:  $m_{bm}$ , η μάζα της βιομάζας σε kg,

$c_{bm}$ , η ειδική θερμότητα (θερμοχωρητικότητα) της βιομάζας σε J/(kg K),

$c_w$ , η ειδική θερμότητα (θερμοχωρητικότητα) του υγρού νερού σε J/(kg K),

$c_{wv}$ , η ειδική θερμότητα (θερμοχωρητικότητα) των υδρατμών σε J/(kg K),

$T_{ig}$ , η θερμοκρασία ανάφλεξης της βιομάζας σε K,

$T_o$ , η θερμοκρασία περιβάλλοντος σε K,

$T_{bw}$ , η θερμοκρασία βρασμού του νερού σε K,

$M_{bm}$ , η σχετική περιεκτικότητα σε υγρασία βιομάζας,

$h_v$ , η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης σε J/kg.

Το υπόλειμμα θερμότητας την περίοδο που το σωματίδιο προσπίπτει στην επιφάνεια περιγράφεται ως εξής:

$$H_p = m_p c_p (T_p - T_o) \quad (3-77)$$

Όπου:  $m_p$ , η μάζα του σωματιδίου σε kg,

$c_p$ , η ειδική θερμότητα (θερμοχωρητικότητα) του σωματιδίου σε J/(kg K),

$T_p$ , η θερμοκρασία του σωματιδίου τη στιγμή της πτώσης στη βιομάζα στο K.

Για την μάζα του σωματιδίου ισχύει η σχέση:

$$m_p = \frac{D_p^3 \rho_p \pi}{6} \quad (3-78)$$

Όπου:  $D_p$ , η διάμετρος του σωματιδίου σε m,

$\rho_p$ , το ειδικό βάρος (πυκνότητα) του σωματιδίου σε kg/m<sup>3</sup>.

Για την πρόκληση πυρκαγιάς θα πρέπει να ικανοποιείται η σχέση:

$$H_p \geq H_{ig} + H_{pig} \quad (3-79)$$

Η ισότητα της σχέσης (3-79), αντιστοιχεί στην ελάχιστη τιμή εκπεμπόμενης θερμότητας που θα δημιουργήσει στο έδαφος πυρκαγιά.

Για τη διερεύνηση της κρίσιμης διαμέτρου ενός αγωγού έχουμε ότι:

$$D_c = \left\{ \frac{6 H_{ig}}{\rho_p \pi c_p (T_{pc} - T_{ig})} \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (3-80)$$

Όπου  $T_{pc}$  είναι η θερμοκρασία του σωματιδίου στο έδαφος σε K.

Η θερμοκρασία του σωματιδίου σε χρόνο πτώσης (t) εκφράζεται ως:

$$\frac{dT_p}{dt} = -\frac{\alpha A_p}{m_p c_p} (T_p - T_o) - \frac{\varepsilon \sigma A_p}{m_p c_p} (T_p^4 - T_o^4)$$

$$0 \leq t \leq t_{pg} \quad (3-81)$$

$$A_p = D_p^2 \pi \quad (3-82)$$

$$\alpha = \frac{k_a}{D_p} \left[ 2 + (0,4 Re^{\frac{1}{2}} + 0,06 Re^{\frac{2}{3}}) \left( \frac{c_a \mu_a}{k_a} \right)^{0,4} \right] \quad (3-83)$$

$$Re = \frac{\rho_a D_p V_{mv}}{\mu_a} \quad (3-84)$$

Όπου:  $t_{pg}$ , ο χρόνος πτώσης του σωματιδίου σε s,

$A_p$ , η επιφάνεια του σωματιδίου σε  $m^2$

$T_p$ , η θερμοκρασία του σωματιδίου τη στιγμή του t σε K,

$\varepsilon$ , η εκπομπή,

$\sigma$ , σταθερά Stefan- Boltzman σε  $W/(m^2 K^4)$ ,

$\alpha$ , ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας τη στιγμή t σε  $W/(m^2 K)$

$Re$ , ο αριθμός Reynolds,

$k_a$ , η θερμική αγωγιμότητα του αέρα σε  $W/(m K)$ ,

$c_a$ , η ειδική θερμοχωρητικότητα του αέρα σε  $J/(kg K)$ ,

$\mu_a$ , το δυναμικό ιξώδες του αέρα σε  $kg/(m s)$ ,

$\rho_a$ , η πυκνότητα του αέρα σε  $kg/m^3$ ,

$v_{mv}$ , η αριθμητική μέση τιμή της σχετικής ταχύτητας μεταξύ του σωματιδίου και του ρεύματος αέρα σε m/s.

Η μέση αριθμητική τιμή της ταχύτητας των σωματιδίων στην κατακόρυφη διεύθυνση είναι:

$$v_{ymv} = \frac{m_p}{t_{pg} \beta} \ln \left[ \cosh \left( t_{pg} \sqrt{\frac{g \beta}{m_p}} \right) \right] \quad (3-85)$$

Η μέση αριθμητική τιμή της ταχύτητας των σωματιδίων στην οριζόντια διεύθυνση είναι:

Επίδραση των πυρκαγιών και του καπνού στην ανάπτυξη και εμφάνιση βραχυκυκλωμάτων και δευτερογενών πυρκαγιών σε δίκτυα μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας

$$v_{xmv} = \frac{m_p}{t_{pg} \beta} \ln \left( 1 + \frac{\beta v_w}{m_p} t_{pg} \right) \quad (3-86)$$

Όπου  $v_w$  είναι η ταχύτητα του ανέμου σε οριζόντια διεύθυνση σε m/s.

Άρα, η συνισταμένη αριθμητική μέση τιμή της ταχύτητας των σωματιδίων είναι:

$$V_{mv} = \sqrt{v_{xmv}^2 + v_{ymv}^2} \quad (3-87)$$

Η χρονική διάρκεια πτώσης από το σημείο σύγκρουσης του αγωγού στην επιφάνεια:

$$t_{pg} = \sqrt{\frac{m_p}{g \beta}} \operatorname{arcosh} \left( e^{\frac{h \beta}{m_p}} \right) \quad (3-88)$$

Όπου:  $g$ , η επιτάχυνση της βαρύτητας σε  $m/s^2$ ,

$h$ , το ύψος του σημείου σύγκρουσης του αγωγού πάνω από το έδαφος σε m,

$\beta$ , ο συντελεστής που εξαρτάται από την μετωπική επιφάνεια του σωματιδίου σε  $kg/m$ .

Ο συντελεστής  $\beta$ :

$$\beta = \frac{\rho_a C_d D_p^2 \pi}{8} \quad C_d = \frac{24}{Re} (1 + 0,15 Re^{0,687}) + \frac{0,42}{(1 + 4,25 \cdot 10^4 Re^{-1,16})} \quad (3-89)$$

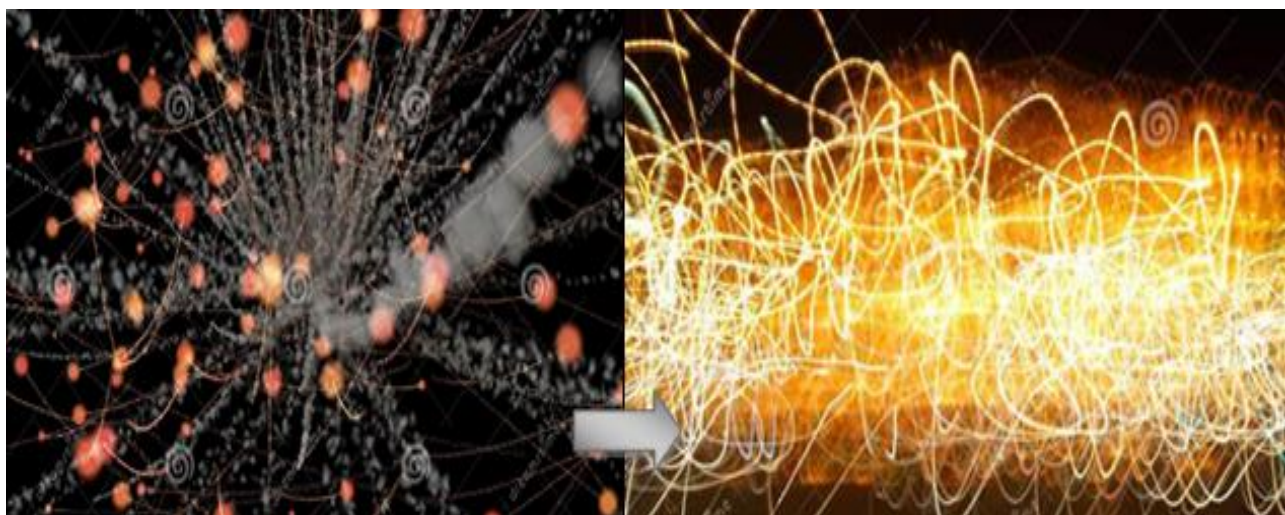
[63]

#### 4. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> : Οι επιπτώσεις μιας πυρκαγιάς στους πυλώνες των γραμμών μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας

Έχοντας προσδιορίσει, με τη βοήθεια καινοτόμων μοντέλων, μια σειρά καταστάσεων θερμικής καταπόνησης των γραμμών διάδοσης και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας από βραχυκυκλώματα, κρίνεται σκόπιμη η περαιτέρω ανάλυση των φαινομένων που διεξάγονται στους πυλώνες του συστήματος ενέργειας εξαιτίας των εκρηγνόμενων σωματιδίων που αναπτύσσονται. Απλούστερα, έχει ήδη εννοηθεί ότι η θερμική καταπόνηση σχετίζεται άμεσα με την ραγδαία άνοδο της θερμοκρασίας. Το γεγονός αυτό, δημιουργεί μεγαλύτερη πίεση εάν η θερμοκρασία λαμβάνει υψηλές τιμές.

Με άλλα λόγια, η θερμική καταπόνηση είναι η αναλογία μεταξύ των δυνάμεων που δρουν στο σώμα ανά μονάδα επιφάνειας, καθώς είναι ο λόγος της δύναμης που εφαρμόζεται σε ένα αντικείμενο και της διατομής του αντικειμένου. Ένα αντικείμενο είτε θερμαίνεται είτε ψύχεται τακτικά, δεν διατηρεί την ίδια συνολική θερμοκρασία σε όλη την επιφάνειά του με αποτέλεσμα η παραγόμενη θερμική καταπόνηση να διαφοροποιείται. Αυτό συμβαίνει επειδή προκύπτει μια καθορισμένη διακύμανση στη θερμοκρασία στο αρχικό στάδιο όπου το αντικείμενο υφίσταται εξωτερική θέρμανση ή ψύξη, γεγονός που οδηγεί το επίστρωμα σε θερμική διαστολή ή συστολή.

Τα συνηθέστερα μειονεκτήματα που εκφράζουν μια γραμμή μεταφοράς υψηλής τάσης, είναι η εξάπλωση του μεγέθους μονωτή, του κόστους αλλαγής ταχυτήτων, του ύψους του πύργου μεταφοράς και των απωλειών Corona. Κατά την έκκριση του φαινομένου Corona, διεξάγονται φαινόμενα όπου το ηλεκτρικό τόξο τοποθετείται κατά μήκος του αγωγού που εμφανίζει μια απώλεια ισχύος, ο θόρυβος του ήχου προκύπτει από την απώλεια ισχύος στον αγωγό και της δόνησης του αγωγού.



**Εικόνα 4.1:** Παρουσίαση εκρηγνόμενων σωματιδίων κατά τη διεξαγωγή πυρκαγιάς. [64]

#### 4.1 Η πρόκληση πυρκαγιάς εξαιτίας ηλεκτρικών τόξων σε γραμμές μεταφοράς

Στην παρούσα ενότητα, θα εξεταστούν οι πυρκαγιές που συντελούν στην αύξηση των σφαλμάτων γείωσης στο σύστημα μεταφοράς. Η συγκεκριμένη μελέτη, αποσκοπεί στην ανάλυση ποικίλων μοντέλων σχηματισμού ηλεκτρικού τόξου, γνωστού και ως *flashovers* και θα περιγραφούν τα αποτελέσματα μιας έρευνας για τη θεωρητική κατανομή ηλεκτρικού πεδίου κοντά στους αγωγούς υπό διάφορες συνθήκες πυρκαγιάς. Συχνό φαινόμενο αποτελούν οι πυρκαγιές ακριβώς κάτω από τις γραμμές μεταφοράς υψηλής τάσης, δημιουργώντας σοβαρές αναταράξεις φάσης σε φάση και φάσης προς γη.

Ο στόχος αυτής της έρευνας, είναι να αποσαφηνιστεί ένα θεώρημα σχετικά με την αγωγιμότητα της φλόγας που παράγεται από τις πυρκαγιές. Η θεωρία αυτή, βασίζεται σε προσομοιώσεις κάτω από διάφορες συνθήκες πυρκαγιάς και είδη γραμμών μεταφοράς. Η έρευνα παραπέμπει στο γεγονός ότι η φλόγα ανυψώνεται αρκετά ψηλά και συχνά διαβρώνει τον αγωγό. Κατά την εξάπλωση της φλόγας σε κοντινή απόσταση από τον αγωγό, αφήνοντας ένα σχετικά μικρό κενό που καλύπτεται από καπνό και σωματίδια.



Εικόνα 4.2: Πρόκληση πυρκαγιάς σε εδαφική έκταση κοντά σε γραμμές μεταφοράς. [65]

##### 4.1.1 Το θεώρημα της μειωμένης πυκνότητας αέρα

Η αντοχή μόνωσης του αέρα περιορίζεται από τη μείωση της πυκνότητας του αέρα λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας που δημιουργείται από την πυρκαγιά. Η τάση του ηλεκτρικού τόξου μεταβάλλεται από τη θερμοκρασία και την υγρασία:

$$V_s = V_t \frac{H}{D} \quad (4-1)$$

όπου  $H$  είναι ο συντελεστής διόρθωσης υγρασίας,  $D$  είναι η σχετική πυκνότητα αέρα,  $V_s$ , είναι η τάση εκτόξευσης υπό κανονικές συνθήκες και  $V_t$ , είναι η τάση ανάφλεξης υπό πραγματικές συνθήκες.

$$D = \frac{p}{p_0} \frac{T_0}{T} \quad (4-2)$$

όπου  $p$  είναι η βαρομετρική πίεση σε kPa, το  $p_0$  ισούται με 101,3kPa, είναι η θερμοκρασία σε βαθμούς Kelvin και  $T_0$  είναι ίσο με 293°K.



Για συνθήκες πυρκαγιάς, ο συντελεστής διόρθωσης υγρασίας είναι αμελητέος:

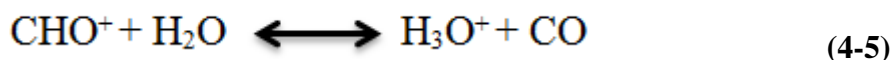
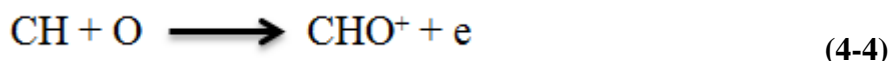
$$V_t = V_s \frac{2,892 p}{T} \quad (4-3)$$

δηλαδή η τάση του ηλεκτρικού τόξου ποικίλλει αντιστρόφως με τη θερμοκρασία και άμεσα με την πίεση.

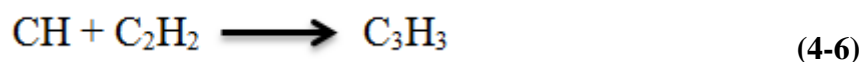
Το μήκος των σωματιδίων ελαττώνει την αντοχή διάσπασης, ανεξάρτητα από το είδος του υλικού που προξενεί ηλεκτρικό τόξο. Εάν κάποιο άκρο του σωματιδίου αλληλεπιδρά με το ηλεκτρόδιο, παρατηρείται μεγαλύτερη μείωση της αντοχής στη διάσπαση. Άλλωστε τα σωματίδια που επιπλέουν στο διάκενο του αέρα, μείωσαν την τάση διάσπασης με την βραχυκύκλωση του διακένου και ως συνέπεια αύξησαν το ηλεκτρικό πεδίο σε όλο το υπόλοιπο διάκενο.

#### 4.1.2 Ο συνδυασμός θερμοκρασίας και αγωγιμότητας σε πυρκαγιά

Οι περισσότερες πυρκαγιές εντάσσονται στην κατηγορία των φλογών διάχυσης, όπου τα ιόντα που βρίσκονται στις φλόγες υδρογονανθράκων οφείλονται στην αντίδραση χημικού ιονισμού:



όπου το  $\text{H}_3\text{O}^+$  είναι το πρωτεύον ιόν και στις φλόγες με άπαχο καύσιμο και σε ελαφρώς πλούσιους υδρογονάνθρακες, το  $\text{CH}_3^+$  είναι το πρωτεύον ιόν στις πολύ πλούσιες και σχεδόν καταπραϊντικές φλόγες.



Αυτά τα είδη θα συνεχίσουν να αντιδρούν και τελικά θα ενσωματωθούν σε τελικά προϊόντα όπως το  $\text{CO}_2$  και το  $\text{H}_2\text{O}$ . Οι μετρούμενες συγκεντρώσεις ιόντων στις φλόγες υδρογονάνθρακα-αέρα είναι τυπικά της τάξης των  $10^{18}$  ιόντων/ml.

Η αγωγιμότητα  $\sigma$  ενός αερίου περιγράφεται από τη σχέση:

$$\sigma = \rho \mu \quad (4-7)$$

όπου  $\rho$  είναι η πυκνότητα φορτίου σε  $\text{C/m}^3$ ,  $\mu$  είναι η κινητικότητα των ιόντων σε  $\text{m}^2/\text{Ns}$  και  $\sigma$  είναι η αγωγιμότητα σε  $\text{mho/m}$ . Η αγωγιμότητα αυξάνεται καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση των ιόντων. Η συγκέντρωση των ιόντων αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Η φλόγα παρουσιάζει αυξημένη αγωγιμότητα εξαιτίας της οξειδωσης του καυσίμου και του θερμικού ιονισμού του αέρα. Ο καπνός δεν εξαρτάται από την εμφάνιση ηλεκτρικών τόξων παρόλο που διαθέτει στο συστατικά του μικρά αιωρούμενα σωματίδια.

Το GMR εφαρμόζεται στη μοντελοποίηση ενός πρακτικού αγωγού ή δέσμης αγωγών ως ένας κυκλικός σωλήνας με απείρως λεία τοιχώματα. Για αγωγούς διπλής δέσμης, το GMR έχει παραμέτρους:

$ds = 0,7735 r$ , για τον αγωγό Dinosaur 400kV,

$ds = 0,772 r$ , για τον αγωγό Zebra 275kV,

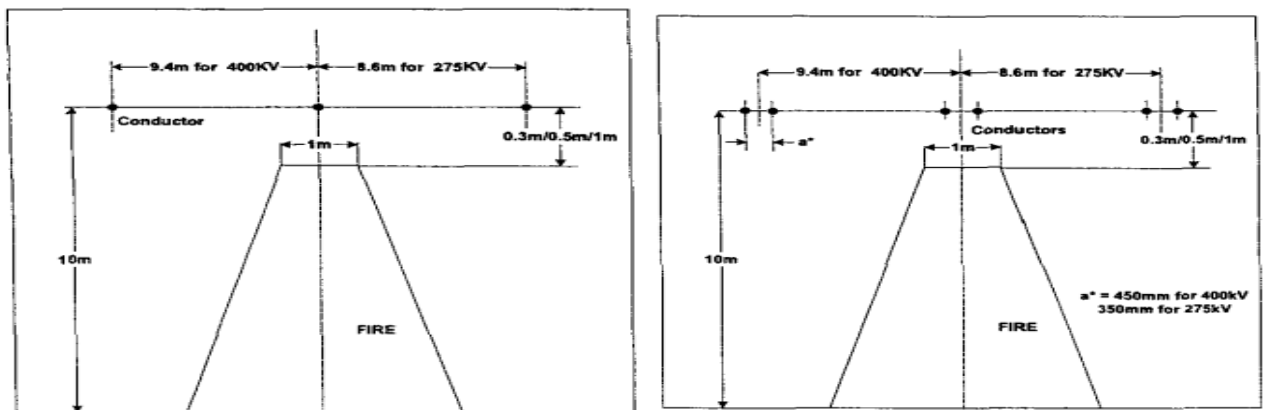
$a$  = απόσταση μεταξύ των υποαγωγών στη δέσμη σε μέτρα και

$r$  = εξωτερική διάμετρος του αγωγού σε μέτρα.

Για αγωγούς διπλής δέσμης, το GMR περιγράφεται από τη σχέση:

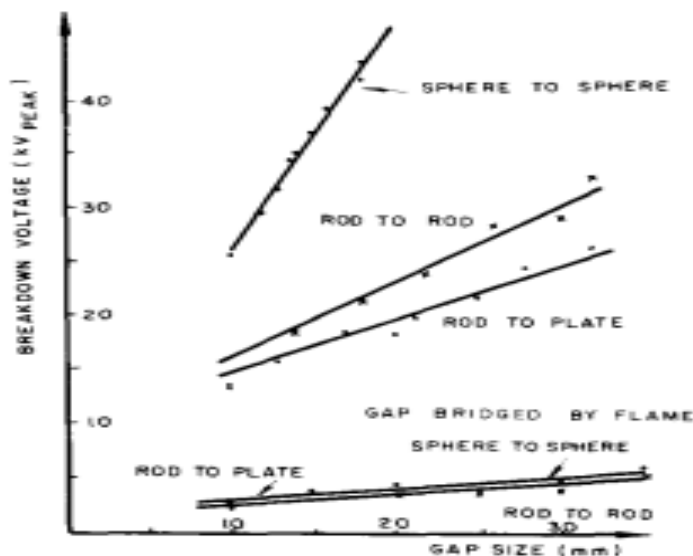
$$GMR = \sqrt{ds \times a} \quad (4-8)$$

Η γεωμετρία του μοντέλου για τη θήκη GMR και η θήκη διπλής δέσμης απεικονίζεται στα ακόλουθα σχήματα. Για καθεμία από τις παραπάνω περιπτώσεις, χρησιμοποιήθηκαν 3 διαφορετικά κενά φλόγας προς αγωγό (0,3m , 0,5m και 1m) και για κάθε μέγεθος διακένου, η αγωγιμότητα της φλόγας ποικίλλει. Η φωτιά τοποθετείται στο μεσοδιάστημα. Το επάνω άκρο της στήλης φλόγας είναι πάντα 10m ευρύ και η βάση είναι ανεξάρτητη από την απόσταση του διακένου.



**Εικόνα 4.3:** Παρουσίαση γεωμετρίας μοντέλου ενός αγωγού GMR μονής (στα αριστερά) και διπλής (στα δεξιά) δέσμης. [65]

Επιπλέον, η τάση ανάφλεξης της μόνωσης αέρα υπό πυρκαγιά μειώνεται συγκριτικά με τις τιμές σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Δηλαδή, η τάση ανάφλεξης είναι μικρή όταν το κενό γεφυρώνεται από φλόγες και πυκνά στρώματα καπνού. Η καταμέτρηση ενός μεγάλου συνόλου αιωρούμενων σωματιδίων μέσα στο διάκενο, συμβάλει στη σταδιακή μείωση της αντοχής. Σε περιπτώσεις κενών στρωμάτων, η τάση αναρρόφησης σε συνθήκες πυρκαγιάς με αρκετά υψηλές θερμοκρασίες, δεν μεταβάλλεται από το σχήμα και τη μορφή του ηλεκτροδίου. Το παρακάτω σχήμα, υποδεικνύει την τάση ανάφλεξης στους 24 °C για μικρά κενά και διάφορα σχήματα ηλεκτροδίων:



**Διάγραμμα 4.1:** Γραφική απεικόνιση της τάσης διάσπασης διαφόρων ηλεκτροδίων τύπου στους 24°C και σε συνθήκες πυρκαγιάς. [65]

(Παραπομπή: <https://ieeexplore.ieee.org/document/53071>)

Τα υψηλά ποσοστά θερμοκρασίας του αέρα εξαιτίας μιας απρόσμενης πυρκαγιάς, αλλοιώνουν τις ιδιότητες της μόνωσης ολόκληρης της γραμμής και πιο συγκεκριμένα τη μόνωση αγωγού προς το έδαφος στο μεσαίο άνοιγμα, τη μόνωση φάσης προς φάση και επίσης την αντοχή της αλυσίδας του μονωτή. Τα υποπροϊόντα πυρκαγιάς (αιθάλη, σκόνη) που μεταφέρονται στον αέρα θα συσσωρευτούν στους μονωτές μειώνοντας την τάση ανάφλεξης της συχνότητας ισχύος υπό συνθήκες ομίχλης ή ελαφριάς βροχής.

Η ελάχιστη απόσταση αγωγού-γείωσης στο μεσαίο άνοιγμα ( $D$ ) μπορεί να προσδιοριστεί από τη σχέση:

$$D = D_{\text{BASIC}} + D_{\text{el}} + D_{\text{SAG}} \quad (4-9)$$

όπου:

$D_{\text{basic}}$ , το βασικό διάκενο,

$D_{\text{el}}$ , η απαιτούμενη ηλεκτρική απόσταση,

$D_{\text{sag}}$ , το πρόσθετο διάκενο για την αντιστάθμιση της πτώσης της αύξησης της πτώσης του αγωγού λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας.

[65]

## 4.2 Οι γραμμές υψηλής τάσης σε περιβάλλον πυρκαγιάς

Στη συγκεκριμένη εργασία, γίνεται λόγος για την μεταβολή στην κάμψη που προκαλείται σε μια γραμμή υψηλής τάσης, όταν τοποθετείται σε περιβάλλον πυρκαγιάς. Σε συνθήκες όπου οι αγωγοί αλουμινίου ενισχυμένοι με χάλυβα, δέχονται θερμοκρασιακές τιμές μεγαλύτερες από 500°C αποτυπώνεται μια ραγδαία μείωση της μηχανικής αντοχής του πυρήνα του χάλυβα, γεγονός που συντελεί στη μόνιμη επιμήκυνση της γραμμής περιορίζοντας ραγδαία το διάκενο από την υποκείμενη βλάστηση.

Έχοντας ως βάση τη φωτιά που προκλήθηκε σε μια περιοχή με πυκνή βλάστηση, υπήρχε γραμμή υψηλής τάσης 66kV. Η συγκεκριμένη γραμμή υψηλής τάσης, τοποθετήθηκε σε υψηλό σημείο και διέθετε 3 οριζόντια τοποθετημένους γυμνούς αγωγούς αλουμινίου ενισχυμένους με χάλυβα (ACSR) αγωγούς ισοδύναμης διατομής χαλκού 50mm. Κατά την εξέλιξη της πυρκαγιάς, η θερμοκρασία περιβάλλοντος προσέγγιζε τους 33,8°C, η σχετική υγρασία ήταν 17% και ο ουρανός καθαρός. Μετά από το φαινόμενο αυτό, οι αρμόδιοι της κοινωνίας ισχυρίστηκαν ότι η πυρκαγιά προκλήθηκε από σπινθηρισμό των αγωγών γραμμής προς ένα υποκείμενο δέντρο ύψους 12,5m το οποίο είχε απόσταση 10 εκατοστών. Το ύψος του πύργου που βρισκόταν ο αγωγός είναι 14m, ενώ η διαφορά ύψους των 2 πύργων ανέρχεται στα 10,5m.

Η ελάχιστη γραμμική θερμική διαστολή των στερεών, περιγράφεται από τη σχέση:

$$\Delta l = \alpha l \Delta \theta \quad (4-10)$$

όπου:  $\alpha = 0,0000124 \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$ , ο συντελεστής γραμμικής διαστολής,

$l$ , το αρχικό μήκος του αγωγού,

$\Delta \theta$ , η διαφορά θερμοκρασίας που αναπτύσσεται στον αγωγό λόγω της πυρκαγιάς.

Ο θερμαινόμενος χάλυβας κυμαίνεται σε θερμοκρασία 500°C και περιορίζεται ο συντελεστής ελαστικότητάς του στο 1/3 της αρχικής του τιμής. Αυτό οφείλεται στο ότι οι αγωγοί δεν επανήλθαν στο αρχικό τους μήκος και εξασφάλισαν περαιτέρω επιμήκυνση εξαιτίας των δυνάμεων θερμικής καταπόνησης. Με βάση το νόμο του Hooke, η τάση εφελκυσμού στη γραμμική περιοχή του πυρήνα από χάλυβα αγωγού αναλύεται από τον τύπο:

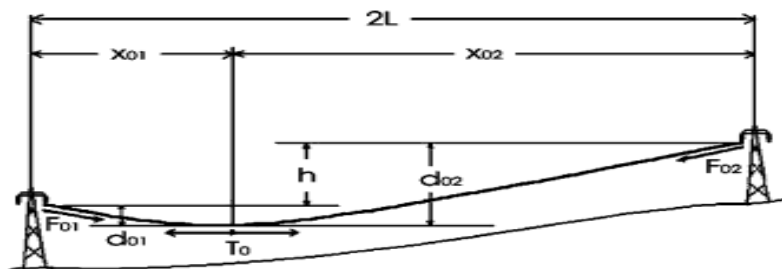
$$\sigma = \epsilon Y \quad (4-11)$$

όπου:  $Y$ , το μέτρο ελαστικότητας,

$\epsilon$ , η τάση εφελκυσμού.

Με άλλα λόγια, η τάση εφελκυσμού παραμένει αμετάβλητη πριν και μετά τη φωτιά, ο συντελεστής ελαστικότητας είναι το 1/3 της αρχικής του τιμής λόγω της θερμικής τάσης, το μη τεντωμένο μήκος του αγωγού παρέμεινε αμετάβλητο και η επιμήκυνση είναι τουλάχιστον 3 φορές μεγαλύτερη.

Ένα μέρος της γραμμής, περίπου 60m, εντός των 2 πυλώνων στην περιοχή πυρκαγιάς τίθεται σε θερμική καταπόνηση με θερμοκρασία 533,8°C. Η απόσταση μεταξύ των 2 πυλώνων ισοδυναμεί με 220m (με την υποκείμενη βλάστηση και το σύνολο των δέντρων), η θερμοκρασία της φλόγας κυμαίνεται από 870 °C έως και 1000°C και η γραμμική θερμική διαστολή του αγωγού αγγίζει τα 372mm. Μετά το πέρας της πυρκαγιάς, οι αγωγοί διαδέχτηκαν μια συστολή επειδή δεν θεωρούνταν θερμικά καταπονημένοι. Η συστολή αυτή είναι ίση με 372mm, με μόνιμη επιμήκυνση περίπου 744mm.



**Εικόνα 4.4:** Αναπαράσταση κατακόρυφης ευθυγράμμισης της γραμμής για τον υπολογισμό της γραμμής που κάμπτεται πριν από την πυρκαγιά. [66]

Για τον καθορισμό της κάμψης γραμμής πριν και μετά τη φωτιά εφαρμόστηκαν οι εξισώσεις της αλυσοειδούς καμπύλης για ανάρτηση σε άνισα υψόμετρα, δηλαδή:

$$\begin{aligned}
 h &= d_{02} - d_{01} \\
 &= \frac{T_0}{W} \left( \cosh \left[ \frac{W}{T_0} x_{02} \right] - \cosh \left[ \frac{W}{T_0} x_{01} \right] \right) \\
 s_0 &= \frac{T_0}{W} \left( \sinh \left[ \frac{W}{T_0} x_{01} \right] + \sinh \left[ \frac{W}{T_0} x_{02} \right] \right) \\
 d_{01} &= \frac{T_0}{W} \left( \cosh \left[ \frac{W}{T_0} x_{01} \right] - 1 \right)
 \end{aligned}
 \tag{4-12}$$

όπου: **h**, η υψομετρική διαφορά μεταξύ των υψών των αγωγών των 2 πυλώνων,

**L**, το ήμισυ της απόστασης μεταξύ των 2 πυλώνων,

**W**, το βάρος ανά μέτρο του αγωγού,

**X<sub>01</sub>** και **X<sub>02</sub>**, οι οριζόντιες αποστάσεις των 2 πυλώνων οι οποίες μεγιστοποιούνται.

Από την επεξεργασία και την επίλυση των εξισώσεων προκύπτει ότι:

$T_0 = 257.5\text{kg}$ ,  $s_0 = 232.66\text{ m}$ ,  $d_{01} = 3.88\text{ m}$  και  $d_{02} = 14.38\text{ m}$ .

Εξαιτίας της πυρκαγιάς ο αγωγός επιμηκύνθηκε κατά 0,744m οπότε:

$$\begin{aligned} s &= \frac{T}{W} \left( \sinh \left[ \frac{W}{T} x_1 \right] + \sinh \left[ \frac{W}{T} (2L - x_1) \right] \right) \\ h &= d_2 - d_1 \\ &\quad - \frac{T}{W} \left( \cosh \left[ \frac{W}{T} (2L - x_1) \right] - \cosh \left[ \frac{W}{T} x_1 \right] \right) \end{aligned} \quad (4-13)$$

όπου: **T**, η τάση εφελκυσμού ίση με 184.5kg,

**d<sub>1</sub>** και **d<sub>2</sub>**, οι κατακόρυφες αποστάσεις από τα ύψη ανάρτησης των 2 πυλώνων,

**x<sub>1</sub>**, η οριζόντια απόσταση από τον 1<sup>ο</sup> πυλώνα για την οποία οι αποστάσεις d<sub>1</sub> και d<sub>2</sub> ίση με 89.70m.

Η μετατόπιση Δd<sub>25</sub> των αγωγών προς το έδαφος μετά τη φωτιά σε σύγκριση με την αρχική τους θέση πριν από τη φωτιά σε απόσταση 25 m από τον 1<sup>ο</sup> πυλώνα, περιγράφεται από τη σχέση:

$$\begin{aligned} \Delta d_{25} &= \frac{T}{W} \left( \cosh \left[ \frac{W}{T} x_{25} \right] - 1 \right) \\ &\quad - \frac{T_0}{W} \left( \cosh \left[ \frac{W}{T_0} x_{25} \right] - 1 \right) \end{aligned} \quad (4-14)$$

με Δd<sub>25</sub> = 1,07m.

Επομένως, ο μειωμένος συντελεστής ελαστικότητας αποσκοπεί σε χαλάρωση των αγωγών του δικτύου και σε δραστική μείωση της απόστασής τους. Η απόσταση μεταξύ των αγωγών και του δέντρου πριν από τη φωτιά ήταν περίπου 1,17 m. Συμπεριλαμβάνεται το διάκενο 10 εκατοστών μετά τη φωτιά.

### 4.3 Η ανάγνωση πυρκαγιάς εξαιτίας μεταλλικών σωματιδίων που αναπτύσσονται σε ηλεκτρικές γραμμές από έντονους ανέμους

Σε περιοχές με έντονη ξηρασία, το φαινόμενο των πυρκαγιών διογκώνεται συνεχώς ειδικότερα σε περιοχές με υψηλή θερμοκρασία και ισχυρούς ανέμους. Οι άνεμοι αυτοί, αναγκάζουν τα καλώδια διάδοσης ηλεκτρικής ενέργειας να έρχονται σε επαφή, δημιουργώντας ηλεκτρικά τόξα ή να προσπίπτουν σε δέντρα αναπτύσσοντας μεταλλικούς σπινθήρες και με τον άνεμο να καταλήγουν στην ξηρή επιφάνεια του εδάφους. Σε αυτήν την έρευνα, αποτυπώνεται ένα μαθηματικό μοντέλο μέτρησης του ρυθμού καύσης καθώς και της τροχιάς και του προσδόκιμου ζωής των μεταλλικών σωματιδίων για ποικίλες περιπτώσεις ύπαρξης ανέμου και εδάφους. Συζητούνται οι συνθήκες θερμών σωματιδίων που εμφανίζονται από καλώδια ηλεκτρισμού με κύριο στοιχείο τον χαλκό, σπινθήρων που εκπέμπονται από αγωγούς αλουμινίου και η διαδικασία καύσης εξαιτίας της πρόσκρουσης των γραμμών υψηλής τάσης με δέντρα. Οι σπινθήρες αλουμινίου μεγάλης διαμέτρου που δεν καίγονται μετατοπίζονται πιο μακριά από τα σωματίδια χαλκού αντίστοιχης διαμέτρου, έχοντας πιο μεγάλη θερμοχωρητικότητα από αυτή του αλουμινίου. Τα μεγαλύτερα σωματίδια αλουμινίου προσγειώνονται και τελικά καίγονται στο έδαφος.

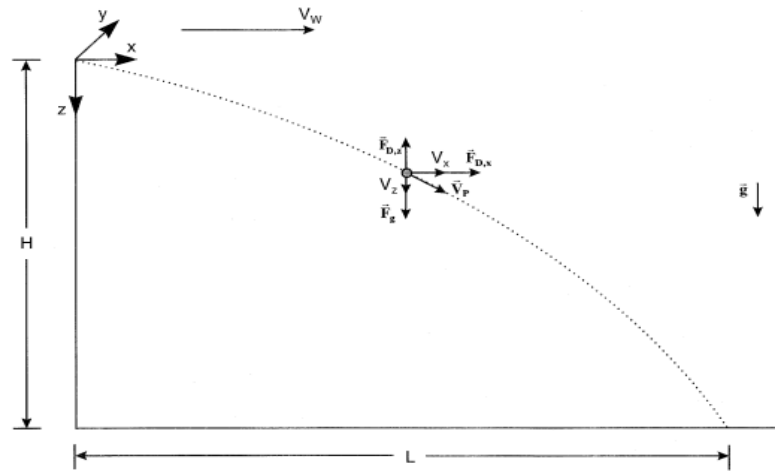
Μια άλλη συνθήκη πυρκαγιάς, συμπεριλαμβάνει καλώδια ηλεκτρισμού που εφάπτονται με δέντρα με στόχο την παραγωγή χόβολης που τοποθετούνται από τον άνεμο στην επιφάνεια. Στην κατηγορία της βλάστησης οφείλεται το γεγονός ότι τα σωματίδια που καταλήγουν σε αυτή μπορούν να την πυροδοτήσουν. Τα σωματίδια μεταβάλλονται από την αρχική κατάσταση σχηματισμού τους, ενώ η βλάστηση από τη θέση προσγείωσης των σωματιδίων. Σε χαμηλή θερμότητα καύσης, ο χαλκός δεν καίγεται στον αέρα, ενώ το αλουμίνιο έχει χαμηλότερες θερμοκρασίες τήξης και βρασμού και συνεπώς καίγεται ευκολότερα στον αέρα.

Έχοντας ως αφετηρία την αρχή των αξόνων για την αρχική θέση του σωματιδίου, η εξίσωση κίνησης για την περιγραφή της πτώσης του σωματιδίου εκφράζεται ως:

$$\begin{aligned} m_P \frac{d\vec{V}_P}{dt} &= \vec{F}_g + \vec{F}_D, \\ \frac{d\vec{r}_P}{dt} &= \vec{V}_P, \end{aligned} \quad (4-15)$$

Όπου:  $\mathbf{V}_P = [V_{P,x}, V_{P,y}, V_{P,z}]$ , η ταχύτητα ενός σωματιδίου σε σχέση με το έδαφος,

$\mathbf{r}_P = [x_P, y_P, z_P]$ , η θέση του σωματιδίου.



**Εικόνα 4.5:** Αποτύπωση της διαδικασίας πτώσης ενός εκρηγνόμενου σωματιδίου προς την επιφάνεια εδάφους. [67]

Η δύναμη άνωσης στο σωματίδιο αγνοείται εξαιτίας της πυκνότητας ενός σωματιδίου είναι αρκετά μεγάλη συγκριτικά με τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Η δύναμη της βαρύτητας είναι:

$$\vec{F}_g = m_p \vec{g}, \text{ όπου } \vec{g} = [0, 0, g] \quad (4-16)$$

Η δύναμη έλξης σε ένα σωματίδιο είναι:

$$\vec{F}_D = \frac{1}{2} C_D \rho_{\text{air}} A_{\text{proj}} |\vec{V}_R|^2 \frac{\vec{V}_R}{|\vec{V}_R|}, \quad (4-17)$$

Όπου:  $\vec{V}_R = \vec{V}_W - \vec{V}_P$ , η σχετική ταχύτητα μεταξύ του σωματιδίου και του αέρα,

$A_{\text{proj}}$ , η διατομή του σωματιδίου.

Ο άνεμος έχει μόνο οριζόντια κατεύθυνση και το μέγεθός του είναι συνάρτηση του ύψους πάνω από το έδαφος:  $\vec{V}_W = [V_{W,x}, V_{W,y}, 0]$ .

Άλλη μια εξίσωση που μπορεί να περιγράψει αριθμό Reynolds αποτυπώνεται στη συνέχεια:

$$Re = |\vec{V}_R| \cdot d_p / \nu_{\text{air}} \quad (4-18)$$

Είναι γεγονός ότι τα σωματίδια που αξιολογούνται διαθέτουν σφαιρική μορφή, επειδή οι ασκούμενες δυνάμεις στην τάση αποδίδουν το μέγιστο αποτέλεσμα για το κλάσμα του όγκου προς την επιφάνεια.



Όταν  $Re \leq 680$ , για τον συντελεστή οπισθέλκουσας ισχύει ότι:

$$C_D = \frac{24}{Re} \left( 1 + \frac{3Re}{16} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4-19)$$

Όταν  $680 \leq Re \leq 3 \times 10^5$  για τον συντελεστή οπισθέλκουσας ισχύει ότι:

$$C_D = 0.4 \quad (4-20)$$

Από τη σχέση (4-16) και (4-17) προκύπτει ότι:

$$\begin{aligned} \frac{dV_{P,x}}{dt} &= \frac{1}{2m_p} C_D \rho_{air} A_{proj} |\vec{V}_R| (V_{W,x} - V_{P,x}), \\ \frac{dV_{P,y}}{dt} &= \frac{1}{2m_p} C_D \rho_{air} A_{proj} |\vec{V}_R| (V_{W,y} - V_{P,y}), \\ \frac{dV_{P,z}}{dt} &= \frac{1}{2m_p} C_D \rho_{air} A_{proj} |\vec{V}_R| V_{P,z} - g \\ \frac{dx_P}{dt} &= V_{P,x}, \quad \frac{dy_P}{dt} = V_{P,y}, \quad \frac{dz_P}{dt} = V_{P,z}. \end{aligned} \quad (4-21)$$

Κατά την ανάλυση της κατεύθυνσης των σωματιδίων, η μάζα  $m_p$  του σωματιδίου και η διάμετρος του  $d_p$  εξαρτώνται από τον ρυθμό καύσης και η ταχύτητα του ανέμου από το ανάγλυφο του εδάφους.

Για την προσέγγιση της ταχύτητας του ανέμου στην επιφάνεια του εδάφους έχουμε ότι:

$$|\vec{V}_W| = \frac{V^*}{\kappa} \ln \left( \frac{l}{l_0} \right), \quad \text{για } l \geq l_0 \quad (4-22)$$

Όπου:  $l$ , η απόσταση από το έδαφος, }  
 $l_0$ , το μήκος τραχύτητας, } (για  $l < l_0$ , έχουμε μηδενική ταχύτητα ανέμου)  
 $\kappa$ , η σταθερά του Von Karman συνήθως προσεγγίζεται στο  $0.4$ ,  
 $V^*$ , η ταχύτητα τριβής.

Αξιολογώντας τις χάλκινες ηλεκτρικές γραμμές, τα σωματίδια που εξάγονται κατά πάσα πιθανότητα αναδύονται λιωμένα όμως δεν μπορούν να καούν. Στη συνέχεια, προσανατολίζονται με τη βοήθεια του ανέμου και ψύχονται με μεταφορά και ακτινοβολία.

Για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας  $T_P$ , από την εξίσωση μεταβατικής ενέργειας παίρνουμε ότι:

$$(\rho V c)_P \frac{dT_P}{dt} = - S_P (\dot{q}''_{conv} + \dot{q}''_{rad}), \quad (4-23)$$

Όπου:  $\rho$ , η πυκνότητα του σωματιδίου,

$V$ , ο όγκος του σωματιδίου,

$c$ , η ειδική θερμοχωρητικότητα του σωματιδίου,

$S_P$ , η επιφάνεια του σωματιδίου

$\dot{q}''_{conv}$ , η ροή θερμότητας μεταφοράς

$\dot{q}''_{rad}$ , η ροή θερμότητας ακτινοβολίας

$$\dot{q}''_{conv} = \bar{h} \cdot (T_P - T_\infty), \quad (4-24)$$

Όπου:  $T_P$ , η θερμοκρασία του σωματιδίου,

$T_\infty$ , η θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

Για τον προσδιορισμό του μέσου συντελεστή μεταφοράς θερμότητας  $h$  από τον αριθμό Nusselt γνωρίζουμε ότι:

$$\overline{Nu} = \bar{h} d_P / k_{air} \quad \text{όπου:} \quad (4-25)$$

$$\overline{Nu} = 2 + 0.6 Re^{1/2} Pr^{1/3}. \quad (4-26)$$

$$\dot{q}''_{rad} = \sigma \varepsilon \cdot (T_P^4 - T_\infty^4), \quad (4-27)$$

Επομένως, η τελική μορφή της εξίσωσης (4-23) παίρνει τη μορφή:

$$\frac{dT_P}{dt} = - \frac{6}{(\rho V c)_P d_P} (\bar{h} \cdot (T_P - T_\infty) + \sigma \varepsilon \cdot (T_P^4 - T_\infty^4)) \quad (4-28)$$

Ένα σύνηθες γεγονός όταν επικρατεί πυρκαγιά σε αγωγό αλουμινίου, αυτός αναφλέγεται σε φάση ατμού εξαιτίας του χαμηλού σημείου βρασμού του μετάλλου σε σχέση με το οξείδιό του. Σε περίπτωση που ο σπινθήρας εκτοξευθεί με το οξείδιο του λιωμένο, το στρώμα οξειδίου εκτίθεται σε γυμνό μέταλλο, με αποτέλεσμα να καταστρέφεται ολοσχερώς παίρνοντας τη μορφή σφαιρικής σταγόνας υγρού.

Με βάση τον νόμο d-square της καύσης σταγονιδίων, για την καύση σωματιδίων αλουμινίου έχουμε ότι:

$$d_{1,0}^2 - d_1^2 = K^0(t - t_0), \quad (4-29)$$

Όπου:  $K^0$ , η σταθερά καύσης σε ήπιες συνθήκες,

$t_0$ , ο χρόνος ανάφλεξης.

Ο άνεμος έχει την ικανότητα να ανυψώνει ρυθμό καύσης εξαιτίας της μεταφοράς θερμότητας από τη φλόγα στο σταγονίδιο. Οπότε, η σταθερά καύσης εκφράζεται ως:

$$K = K^0(1 + 0.276Re^{1/2}Pr^{1/3}), \quad (4-30)$$

Όπου  $Pr$ , ο αριθμός Prandtl.

Η διάμετρος του σταγονιδίου καύσης μειώνεται ραγδαία και είναι:

$$\frac{d(d_p^2)}{dt} = -K. \quad (4-31)$$

Τα αποτελέσματα της ακτινοβολίας δεν επηρεάζουν τη μελέτη στα αποδεκτά πλαίσια ανάφλεξης και κατάσβεσης. Γενικότερα η σταθερά καύσης  $K^0$  του αλουμινίου, λαμβάνει τιμές από  $2 \times 4 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$  έως και  $3 \times 2 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$ .

Αρκετές φορές, παρατηρείται η σύγκρουση γραμμών μεταφοράς υψηλής τάσης με κοντινά δέντρα που με τη βοήθεια ισχυρών ανέμων τα εκπεμπόμενα σωματίδια συντελούν στην εμφάνιση πυρκαγιάς. Τα σωματίδια αυτά δέχονται ισχυρή ποσότητα θερμότητας από την καύση του ξύλου των δέντρων και από την ομοιογενή οξείδωση σε αέρια μορφή των πτητικών που διαχέονται λόγω της πυρκαγιάς.

Ο παράγοντας  $d_{\text{eff}}$  αντιπροσωπεύει τον χαρακτήρα της πυρόλυσης και η ενεργή διάμετρος του αναφέρεται στην σχέση:

$$\frac{d(d_{\text{eff}}^2)}{dt} = -\beta, \quad (4-32)$$

Όπου:

$$\beta = \beta^0 (1 + 0.276 Re^{1/2} Sc^{1/3}), \text{ με } \beta^0, \text{ τη σταθερά ταχύτητας καύσης. (4-33)}$$

$$m_p = \frac{\rho_{p,0} \pi d_{eff}^3}{6}. \quad (4-34)$$

Όπου  $m_p$ , η αμετάβλητη σε σύσταση μάζα του σωματιδίου. [67]

#### 4.4 Η πιθανότητα γήρανσης μιας γραμμής μεταφοράς και η ευπάθεια του δικτύου εξαιτίας της ύπαρξης δασικής πυρκαγιάς

Η αξιοπιστία των γραμμών μεταφοράς σε βάθος χρόνου, οφείλει να ελέγχεται επειδή σε ένα φαινόμενο πυρκαγιάς επιτυγχάνεται η γήρανσή τους. Η γήρανση μιας γραμμής εντείνει ολοένα και περισσότερο την πιθανότητα αστοχίας της γραμμής. Οπότε, εξετάζεται αρχικά μια μέθοδος που ερευνά τον τρόπο συντέλεσης της δασικής πυρκαγιάς στο βαθμό γήρανσης της γραμμής με βάση την εξίσωση δυναμικής ισορροπίας θερμότητας και την κατανομή Weibull. Με τον τρόπο αυτό, κατανοείται το μέγεθος ζημιάς των γραμμών μεταφοράς. Τα αποτελέσματα που εξάγονται τονίζουν ότι η δασική πυρκαγιά δημιουργεί μια απειλή για τις γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και τα χαρακτηριστικά της φλόγας και ο λόγος ανέμου προς φορτίου είναι οι παράγοντες που αλλοιώνουν την αξιοπιστία της.

Αρκετές φορές είναι αναπόφευκτη η προέκταση των αγωγών του δικτύου μέσα από δάση, με αντίκτυπο τον κίνδυνο δασικής πυρκαγιάς. Το έτος 2010, πραγματοποιήθηκαν 44 γεγονότα σφάλματος σε ηλεκτρικές γραμμές 220kV και 27 γεγονότα σφάλματος σε ηλεκτρικές γραμμές μεταφοράς 500kV. Η πιθανότητα αστοχίας της γραμμής οφείλεται στην ελάττωση ηλεκτρικής ισχύος του αέρα γύρω από τη γραμμή μεταφοράς εξαιτίας της πυρκαγιάς. Επιπλέον, η θερμοκρασία λειτουργίας μιας γραμμής μεταφοράς είναι 5–15°C υψηλότερη από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, παρόλο που η θερμοκρασία της φλόγας της δασικής πυρκαγιάς είναι έως και 1200°C με αποτέλεσμα να μειώνεται ο εφελκυσμός της και συνεπώς να οδηγείται σε γήρανση.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμοκρασία της γραμμής είναι η παραγωγή θερμότητας, η απορρόφηση θερμότητας από τον περιβάλλοντα χώρο και η εξερχόμενη διάχυση θερμότητας. Για την εξίσωση δυναμικού ισοζυγίου θερμότητας της γραμμής μεταφοράς προκύπτει ότι:

$$\frac{dT_c(t)}{dt} = \frac{1}{mC_p} [q_1(t) + q_s(t) + q_r(t) - q_c(t) - q_r(t)] \quad (4-35)$$

Όπου:

$$q_1(t) = I(t)^2 R_{dc} \{1 + k[T_c(t) - 20]\}$$

$$q_s(t) = \alpha_s Q_s(t) \sin[\eta(t)] D$$

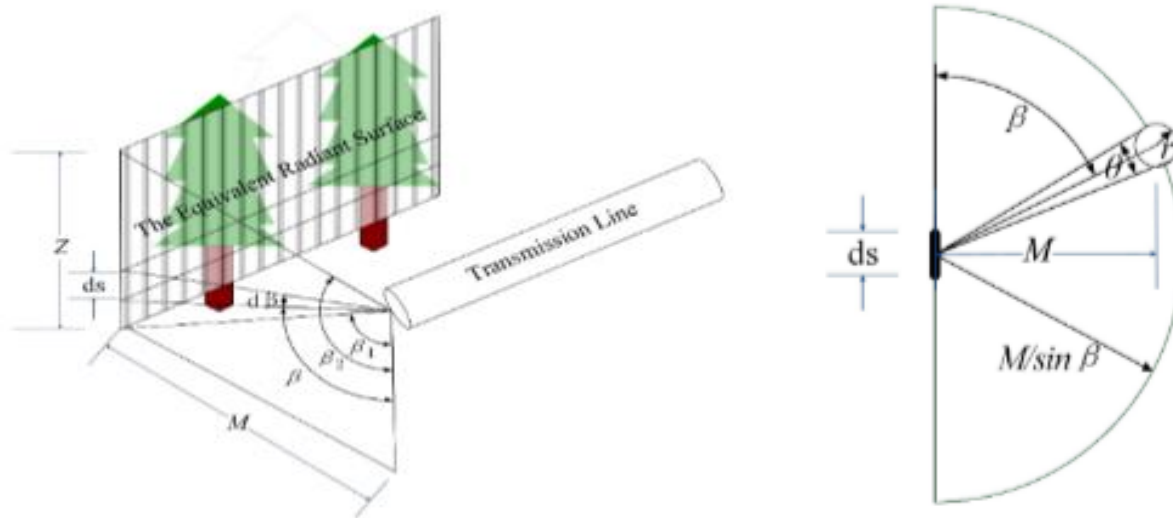
$$q_c(t) = 0.641 \pi \lambda_f K_{\text{angle}}(t) [T_c(t) - T_a(t)] \left[ \frac{D \rho_f V_w(t)}{\mu_f} \right]^{0.471}$$

$$K_{\text{angle}}(t) = 1.194 - \cos[\delta(t)] + 0.194 \cos[2\delta(t)] + 0.368 \sin[2\delta(t)]$$

$$q_r(t) = \pi D \epsilon_r \sigma \{ [T_c(t) + 273]^4 - [T_a(t) + 273]^4 \} \quad (4-36)$$

Η εξάπλωση της φλόγας συμβαδίζει παράλληλα με τη γραμμή μεταφοράς και είναι κάθετη στην επιφάνεια του εδάφους. Το σενάριο επικοινωνίας μεταξύ γραμμής μεταφοράς και πυρκαγιάς και η πορεία θεωρείται αμελητέα. Το πλάτος της φλόγας είναι μικρότερο από 20m, όμως παραμένει αμετάβλητο με την ανύψωση του πλάτους φλόγας που θεωρείται άπειρο στην παρούσα μελέτη.

Με βάση την παρακάτω εικόνα, εξάγουμε γεωμετρικά συμπεράσματα σχετικά με την τοποθεσία της γραμμής μεταφοράς και την εκπεμπόμενη ακτινοβολία της.



**Εικόνα 4.6:** Αναπαράσταση της γραμμής μεταφοράς και της ισοδύναμης ακτινοβολίας. [68]

Γενικά ισχύει ότι:

$$\theta = \frac{2r}{R} \quad (4-37)$$

Η γωνιακή αύξηση  $d\beta$  που αντιπροσωπεύει σε μια αύξηση μήκους  $ds$  στην επιφάνεια ακτινοβολίας θα είναι:

$$ds = \frac{R}{\sin \beta} d\beta \quad (4-38)$$

Έστω  $H$ , η συνολική ενέργεια ακτινοβολίας και η ενέργεια ακτινοβολίας του  $ds$  είναι  $dh$ , τότε ισχύει:

$$dh = \frac{H}{Z} ds \quad (4-39)$$

Η ένταση της ακτινοβολίας  $\rho$  θα μεταβληθεί συναρτήσει της γωνίας  $\beta$ , δηλαδή:

$$\rho = \frac{\sin \beta}{2} \quad (4-40)$$

Η μεταβολή  $dq$  φτάνει στη γραμμή μεταφοράς μεταξύ  $dh$ :

$$dq = dh \rho \theta \quad (4-41)$$

Η συνολική ενέργεια που καταλήγει στη γραμμή μεταφοράς είναι:

$$q = \int_{\beta_1}^{\beta_2} dq = \frac{r}{Z} H (\beta_2 - \beta_1) \quad (4-42)$$

Επομένως, συντελεστή προβολής από γεωμετρικής άποψης θα είναι:

$$\phi = Z \frac{q}{H} = r(\beta_2 - \beta_1)$$

$$\beta_2 = \arctan\left(\frac{M}{Z_1 - Z}\right)$$

$$\beta_1 = \arctan\left(\frac{M}{Z_1}\right)$$

(4-43)

Η ισχυρή θερμοκρασία έχει ως συνέπεια την απόπτηση του αγωγού. Δηλαδή, σε μια πυρκαγιά ο βαθμός γήρανσης της γραμμής μεταφοράς αυξάνεται και ο αγωγός λιώνει στο στάδιο της ανακρυστάλλωσης. Για το προσδόκιμο ζωής της γραμμής μεταφοράς ισχύει ότι:

$$L(T_c) = e^{\left\{ \ln \ln \left( \frac{1}{1 - (W_{\max}/W_a)} \right) - A - BT_c - C \ln(R/80) \right\} / m} \quad (4-44)$$

Όπου A, B, C, R, m είναι οι ιδιότητες του υλικού του αγωγού.

Με επιλεγόμενη κλίμακα  $\eta = L(T_c)$ , η συνάρτηση κατανομής της πιθανότητας αποτυχίας γήρανσης υπολογίζεται ως:

$$F_a(t) = 1 - e^{-\eta L(T_c) t^\beta} \quad (4-45)$$

Όπου  $\beta$  είναι η παράμετρος σχήματος και είναι ανεξάρτητη από το  $T_c$  και ισούται με 5.

Επομένως, η πιθανότητα αστοχίας γήρανσης μιας γραμμής μεταφοράς σε χρονικό διάστημα  $\delta t$  περιγράφεται από τη σχέση:

$$P_A(\delta t) = \frac{F_A(t + \delta t) - F_A(t)}{1 - F_A(t)} = 1 - e^{-\eta L(T_c) t^\beta - (t + \delta t)^\beta} \quad (4-46)$$

Επιπρόσθετα, οι γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας είναι ιδιαίτερα επιρρεπείς σε πυρκαγιές που διεξάγονται σε κοντινή τους απόσταση επειδή αναπτύσσονται αυξημένες θερμοκρασίες στους αγωγούς από την εκλυόμενη θερμότητα της φλόγας. Ο συγκεκριμένος παράγοντας, προξενεί τη μη τήρηση των αποστάσεων ανάμεσα στον αγωγό και τη γείωση. Στη συνέχεια στόχος της παρούσας έρευνας, είναι η εύρεση μιας μεθόδου που προωθεί τη δυναμική μεταβολή των θερμικών χαρακτηριστικών των αγωγών κοντά σε μια πυρκαγιά. Επιπλέον, εντάσσεται η ακτινοβολούμενη και η συναγωγή θερμότητα που εκκρίνεται στην αξιολόγηση της θερμικής συμπεριφοράς του αγωγού. Η αλλαγή συμπεριφοράς των γραμμών μεταφοράς, διαφοροποιεί τη ροή ισχύος μέσω του δικτύου, οδηγώντας το σύστημα προς ένα υποβέλτιστο σημείο λειτουργίας. Η ανάλυση αυτή έχει υπόσταση τόσο σε δίκτυα μεταφοράς όσο και σε διανομής ισχύος με εναέριους αγωγούς.

Για γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας μεγάλου μήκους, το μέγεθος της πτώσης τάσης επηρεάζει αρκετά τη διαθέσιμη χωρητικότητα, ενώ για μικρές γραμμές καθορίζεται από τη θερμική αξιολόγηση. Όταν δεν ξεπερνιέται η επιτρεπόμενη θερμοκρασία, τότε όλο και πιο δύσκολα οι αγωγοί θα υποστούν θερμική καταπόνηση. Για τον λόγο αυτό, η δυναμική θερμική βαθμολογία (DTR) επιδρά στην ξαφνική αύξηση θερμοκρασίας στους αγωγούς λόγω διαφοροποιήσεων στις καιρικές συνθήκες ή ακαριαίας αύξησης της φόρτισης της γραμμής ισχύος και παρέχει τη βέλτιστη μεταφορά και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας στους αγωγούς. Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία των αγωγών μειώνεται η απόσταση ασφαλείας και η αντοχή τους σε εφελκυσμό. Για την αποτροπή της θερμικής καταπόνησης μειώνεται η ροή ισχύος μέσω των εμπλεκόμενων γραμμών.

Έχοντας ως πρότυπο το IEEE Standard 738-1993, επινοήθηκε ένα μοντέλο θερμικής ισορροπίας για DTR εναέριων γραμμών μεταφοράς γυμνού αγωγού. Πιο συγκεκριμένα, αναλύεται η παραγόμενη θερμότητα μέσω του νόμου Joule στην αντίσταση του αγωγού, η θερμότητα από την ηλιακή ακτινοβολία, με τη θερμότητα που αποθηκεύεται στον αγωγό και μέσω της μεταφοράς και της ακτινοβολίας:

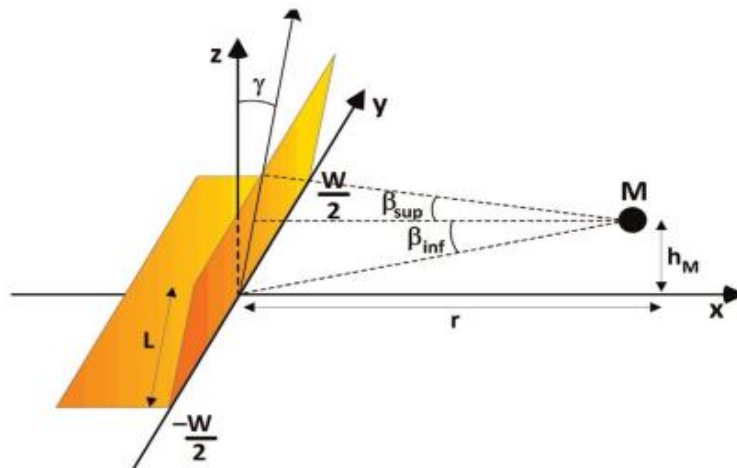
$$RI^2 + Q_s = mc_c \frac{dT_c}{dt} + Q_r + Q_c \quad (4-47)$$

Λαμβάνοντας υπόψιν την ταχύτητα και την κατεύθυνση του ανέμου έχουμε ότι:

$$RI^2 + Q_s = Q_r + Q_c \quad (4-48)$$

Η επίδραση της ταχύτητας και της κατεύθυνσης του ανέμου υπολογίζονται με βάση τα  $Q_c$  και  $Q_r$ .

Αργότερα, περιγράφεται ένα μοντέλο που εναποθέτει τη συμπεριφορά της πυρκαγιάς με την αύξηση της θερμοκρασίας του αγωγού:



**Εικόνα 4.7:** Αναπαράσταση διαγράμματος γεωμετρίας πυρκαγιάς. [68]

Με γνώμονα το μοντέλο συμπαγούς φλόγας για μήκος φλόγας  $L$ , πλάτος φλόγας  $W$ , γωνία κλίσης  $\gamma$  και ρυθμό εξάπλωσης  $V_f$  προς το σημείο  $M$  που βρίσκεται σε ύψος  $h_M$  πάνω από το έδαφος, η ροή ακτινοβολίας θερμότητας περιγράφεται ως:

$$\Phi_r = \tau \epsilon_{FZ} \sigma T_f^4 \left[ \alpha_{vf} (r_{inf}, \beta_{inf}) + \alpha_{vf} (r_{sup}, \beta_{sup}) \right] \quad (4-49)$$



Όπου:

$$\begin{aligned}\beta_{inf} &= \tan^{-1}\left(\frac{h_M}{r_{inf}}\right) \\ \beta_{sup} &= \tan^{-1}\left(\frac{L \cos(\gamma) - h_M}{r_{sup} - (L \sin(\gamma))}\right) \\ r_{inf} &= r \\ r_{sup} &= r + h_M \tan \gamma\end{aligned}\quad (4-50)$$

Για τον προσδιορισμό της ροής θερμότητας για ένα ύψος  $h_M$  τοποθετημένο πάνω από την πυρκαγιά και  $h_C$ , ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας [W/m] ισχύει ότι:

$$\Phi_c = 22h_c \left( \frac{I_{FL}^{2/3}}{h_M^{5/3}} \right) \Rightarrow I_{FL} = 300 L^2 \quad (4-51)$$

Η συνολική ροή θερμότητας αμελώντας τη συναγωγή και την ακτινοβολία θερμότητας είναι:

$$\Phi_T = \Phi_r + \Phi_c \quad (4-52)$$

Η μεταβολή της απώλειας θερμότητας με εξαναγκασμένη μεταφορά για αυξημένη ταχύτητα ανέμου και με φυσική μεταφοράς συναρτήσει των ρυθμών μεταφοράς ηλιακής, ακτινοβολίας και συναγωγής θερμότητας,  $Q_s$ ,  $Q_r$  και  $Q_c$  και της υψηλότερης τιμής των  $Q_{c1}$ ,  $Q_{c2}$  και  $Q_{cn}$  για χαμηλή ταχύτητα ανέμου υπολογίζονται ως:

$$\begin{aligned}Q_s &= \alpha Q_{se} \sin(\theta_s) \cdot A \\ Q_r &= 0.0178 \cdot D_c \cdot \epsilon_c \left[ \left( \frac{T_c + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_a + 273}{100} \right)^4 \right] \\ Q_{c1} &= \left[ 1.01 + 0.0372 \left( \frac{D_c \rho_a V_w}{\mu_a} \right)^{0.52} \right] k_a K_{angle} (T_c - T_a) \\ Q_{c2} &= \left[ 0.0119 \left( \frac{D_c \rho_a V_w}{\mu_a} \right)^{0.6} \right] k_a K_{angle} (T_c - T_a) \\ Q_{cn} &= 0.0205 \rho_a^{0.5} D_c^{0.75} (T_c - T_a)^{1.25} \\ Q_c &= \max(Q_{c1}, Q_{c2}, Q_{cn}) \\ K_{angle} &= 1.194 - \cos(\theta_w) + 0.194 \cos(2\theta_w) + 0.368 \sin(2\theta_w)\end{aligned}\quad (4-53)$$

#### 4.5 Η διάβρωση της μόνωσης εναέριων γραμμών εξαιτίας της επαφής καλωδίων σε περιβάλλον πυρκαγιάς και η αξιολόγηση του κινδύνου

Αξίζει να τονιστεί το γεγονός ότι τα καλώδια αναμονής ενός δικτύου χαμηλής και μέσης τάσης έχουν τη μορφή χαλύβδινων συρμάτων και αντιπροσωπεύουν τους διαθέσιμους πόλους. Ένα δίκτυο διανομής δεν παρουσιάζει μια συνεχή ευθεία αλλά μια διακεκομμένη γραμμή με αποτέλεσμα να το διαδέχεται μια πληθώρα συρμάτων στήριξης με στόχο την ομαλή λειτουργία του. Τα καλώδια αναμονής συχνά μετά την πυρκαγιά διαστέλλονται, όμως αντιπροσωπεύουν έναν σημαντικό παράγοντα για τη στατική ισορροπία του δικτύου.

Το ακόλουθο φαινόμενο, πρόκειται για μια μαθηματική προσέγγιση που σχετίζεται με την ελαχιστοποίηση της απόστασης μόνωσης των γραμμών διανομής, σε περίπτωση που ένα καλώδιο αναμονής παρουσιάσει άνοδο θερμοκρασίας από μια πυρκαγιά. Η πυρκαγιά αυτή, συντελεί στην ολική καταστροφή της μηχανικής αντοχής των χαλύβδινων συρμάτων και προξενεί μια σταθερή διαστολή του σύρματος που έχει ως συνέπεια την εξασθένηση των γυμνών αγωγών και τη συρρίκνωση της απόστασης μόνωσης. Οπότε, δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην εξασθένηση της γραμμής μεταφοράς όταν τα καλώδια αναμονής, συμπεριλαμβανομένων και των πόλων του δικτύου, διαστέλλονται εξαιτίας της θερμότητας:

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, κατά την εξέλιξη μιας πυρκαγιάς η θερμότητα μεταφέρεται μέσω αγωγιμότητας (επαφή σωματιδίων με μια θερμική πηγή), ακτινοβολίας (ακτινοβολία σωματιδίων με μια θερμική πηγή) και συναγωγής (μεταφορά θερμότητας από το περιβάλλον στο σύρμα). Η απόσταση του υλικού εκφράζεται ως:

$$\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta T \quad (4-54)$$

Όπου:  $\Delta L$ , η αλλαγή στο μήκος του αντικειμένου (για παράδειγμα 110cm),

$L$ , το αρχικό μήκος του αντικειμένου πριν προστεθεί θερμότητα,

$\alpha$ , ο γραμμικός συντελεστής διαστολής του υλικού ( $\alpha = 1,24 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ),

$\Delta T$ , η μεταβολή θερμοκρασίας ( $> 400 \text{ } ^\circ\text{C}$ , για παράδειγμα  $850 \text{ } ^\circ\text{C}$ ).

Για τον ρυθμό απελευθέρωσης θερμότητας ισχύει ότι:

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot A \cdot \Delta H_c \quad (4-55)$$

Όπου:  $\dot{m}$ , η απώλεια μάζας ανά μονάδα επιφάνειας (για ξύλινη επιφάνεια  $\dot{m} = 11 \text{ gr/m}^2 \text{ - sec}$ ),

$A$ , η επιφάνεια σε  $\text{m}^2$ ,

$\Delta H_c$ , η θερμότητα κατά την καύση (για ξύλινη επιφάνεια  $\Delta H_c = 13 - 15 \text{ kW/gr}$ )

Διαφορετικά για τον αδιάστατο αριθμό:

$$\dot{Q}^* = \frac{\dot{Q}}{\rho \cdot c_p \cdot T \sqrt{g \cdot D \cdot D^2}} \quad (4-56)$$

Όπου:  $\rho$ , η πυκνότητα του αέρα περιβάλλοντος ( $\rho = 1,2 \text{ kg / m}^3$ ),

$c_p$ , η ειδική θερμότητα του αέρα ( $c = 1,0 \text{ kJ / kg K}$ )

$g$ , η επιτάχυνση της βαρύτητας ( $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ),

$D$ , η διάμετρος της πυρκαγιάς,

$T$ , η θερμοκρασία του αέρα ( $T = 293^\circ\text{K}$ ).

Η μηχανική τάση του καλωδίου αναμονής έχοντας δύναμη  $F$  (για παράδειγμα 403 kg) και διάμετρο  $A$  ( για παράδειγμα  $0,383 \text{ cm}^2$ ) είναι:

$$\sigma = F/A \quad (4-57)$$

Με την ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας στον τομέα ανάλυσης εικόνας και υπολογιστών, αναπτύχθηκε ένα σύστημα παρακολούθησης τηλεπισκόπησης μέσω δορυφόρου με στόχο την εποπτεία των δασικών πυρκαγιών και τη συντήρηση των γραμμών μεταφοράς. Αναλυτικότερα, η τοπογραφία, οι περιβαλλοντικές συνθήκες, η χλωρίδα και το ποσοστό ξηρότητας του εδάφους μεταβάλλουν μια πυρκαγιά που εκδηλώνεται σε μια γραμμή μεταφοράς. Το ύψος και η μόνωση της γραμμής, υπάγονται στα τεχνικά χαρακτηριστικά της. Οπότε για την εκτίμηση του κινδύνου της πυρκαγιάς έχουμε ότι:

$$g = \sum_{n=1}^m C_n P_n \quad (4-58)$$

Όπου:  $C_n$ , ο παράγοντας πρόσκρουσης,

$P_n$ , ο συντελεστής στάθμισης,

$m$ , ο αριθμός των συντελεστών πρόσκρουσης.

Από τον δορυφόρο MODIS, λαμβάνουμε τους εξής υπολογισμούς για τον δείκτη θερμοκρασίας βλάστησης ξηρότητας (TVDI), σε διαφορετικούς χρόνους και κλιματικές ζώνες:

$$\begin{aligned} TVDI &= \frac{LST - LST_{NDVI_{i,\min}}}{LST_{NDVI_{i,\max}} - LST_{NDVI_{i,\min}}} \\ LST_{NDVI_{i,\max}} &= a_1 + b_1 \times NDVI_i \\ LST_{NDVI_{i,\min}} &= a_2 + b_2 \times NDVI_i \end{aligned} \quad (4-59)$$

Επιπλέον, για τον δείκτη νερού υποστήριξης βλάστησης (VSWI) έχουμε ότι:

$$VSWI = NDVI / T_s \quad (4-60)$$

Όπου:  $T_s$ , η θερμοκρασία του θόλου

$NDVI$ , ο δείκτης βλάστησης διαφοράς.

Όσο αυξάνεται το VSWI, τόσο περισσότερο εντείνεται η ξηρασία του εδάφους.

Το γραμμικό μικτό μοντέλο αποτυπώνει τη θερμοκρασία του θόλου της βλάστησης:

$$T_{canopy} = [T_{surface} - T_{soil} \times (1 - P_v)] / P_v$$
$$P_v = \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \quad (4-61)$$

Όπου:  $T_{surface}$ , η θερμοκρασία μικτής επιφάνειας,

$T_{soil}$ , η θερμοκρασία θόλου,

$T_{canopy}$ , η θερμοκρασία γυμνού εδάφους,

$P_v$ , η κάλυψη καλλιεργειών,

$NDVI_{min} = 5\%$ ,

$NDVI_{max} = 98\%$ .

[69]

#### 4.6 Η διέλευση μιας πυρκαγιάς κοντά σε γραμμές μεταφοράς υψηλής τάσης εξαιτίας του Φαινομένου Corona

Ένα άλλο κριτήριο ανάπτυξης μιας πυρκαγιάς στην επιφάνεια του εδάφους αποτελεί το αναδυόμενο ηλεκτρικό πεδίο που εμφανίζεται μεταξύ του εδάφους και της γραμμής μεταφοράς. Έχοντας ως πρότυπο κάποιες μελέτες, προκύπτει ότι το ηλεκτρικό πεδίο ενός αγωγού που καίγεται αντιστοιχεί στα 15,86 kV/cm για αγωγούς 2 συρμάτων, ενώ για αγωγούς 4 συρμάτων στα 36,895 kV/cm με 300 kV τάση δικτύου. Με άλλα λόγια, μελετάται η επιρροή του ηλεκτρικού πεδίου και της ταυτόχρονης διάδοσης ρεύματος κατά την διάρκεια της πυρκαγιάς κάτω από καλώδιο ηλεκτρισμού υψηλής τάσης. Σε αυτή τη διερεύνηση, λαμβάνεται υπόψιν και η επίδραση του φαινομένου Corona, με στόχο να αποσαφηνιστεί αν η υψομετρική απόσταση του δικτύου από την επιφάνεια του εδάφους επηρεάζει τον ρυθμό καύσης του εδάφους.

Αναλυτικότερα, το φαινόμενο Corona υπάρχει από την ηλεκτρική διάσπαση ή τον ιονισμό στο περιβάλλον του αέρα σε ένα μέρος του αγωγού όταν δραστηριοποιείται σε συνεχή ή εναλλασσόμενη υψηλή τάση. Συγκροτείται από μια πληθώρα ηλεκτρονίων που ιονίζεται εξαιτίας της σύγκρουσης τους όσο είναι υπό την δράση του ηλεκτρικού πεδίου. Μερικές από τις δυσκολίες που προξενεί το φαινόμενο αυτό στις γραμμές μεταφοράς είναι η έλλειψη ισχύος, ο εκκωφαντικός θόρυβος και οι παρεμβολές RI.

Κατά την ανίχνευση μιας τάσης μεταξύ ενός αγωγού και της γείωσης, πραγματοποιείται ένα δυναμικό το οποίο έχει ως αφετηρία το φαινόμενο Corona. Η προαναφερόμενη τάση, καλείται κρίσιμο οπτικό σημείο στο φαινόμενο Corona και η διάσπαση του αέρα προσεγγίζεται στα 30 kV/cm. Για το απαιτούμενο ηλεκτρικό πεδίο  $E_c$  με το οποίο εμφανίζεται αρχικά το φαινόμενο Corona ισχύει ότι:

$$E_c = 30\left(1 + \frac{0.301}{\sqrt{r}}\right)r \ln \frac{H}{r} \quad (4-62)$$

Όπου:  $r$ , η ακτίνα του αγωγού,

$H$ , το ύψος του αγωγού.

Η πυκνότητα του αέρα διάσπασης συμβολίζεται με  $\delta$  και εξαρτάται από την υγρασία, τη θερμοκρασία και την πίεση:

$$\delta = \frac{3.92b}{273 + T} \quad (4-63)$$

Όπου:  $b$ , η πίεση (σε cm),

$T$ , η θερμοκρασία σε βαθμούς °C.

Εναλλακτικά, για το ηλεκτρικό πεδίο  $E_c$  ισχύει ότι:

$$E_c = 30\delta\left(1 + \frac{0.301}{\sqrt{r\delta}}\right)r \ln \frac{H}{r} \quad (4-64)$$

Επιπρόσθετα, η επιθυμητή τάση για την έναρξη του φαινομένου σε συνθήκες ομαλής λειτουργίας του αγωγού προς το έδαφος είναι:

$$V_o = E_c r \ln(2H/r) \quad (4-65)$$

Αξίζει να τονιστεί ότι το χρονικό διάστημα δεν καθορίζει τον προσανατολισμό του ηλεκτρικού πεδίου για γραμμές υψηλής τάσης με συνέπεια τα ηλεκτρόδια να καταλαμβάνονται από ιόντα

παρόμοιας πολικότητας με αυτήν του αγωγού. Ο αέρας με τη σειρά του, προωθεί τη διέλευση ιοντικού ρεύματος ξεπερνώντας αρκετές φορές και τα επιτρεπτά όρια της γραμμής μεταφοράς.

Για την κινητικότητα των ιόντων προκύπτει ότι:

$$\mu = \frac{V}{E} \quad (4-66)$$

Όπου:  $V$ , η τάση του ηλεκτρικού πεδίου,

$E$ , το ηλεκτρικό πεδίο.

Για την πυκνότητα του ρεύματος ιόντων, με  $\rho$  την πυκνότητα φορτίου προκύπτει ότι:

$$J = \rho\mu E \quad (4-67)$$

Για την συγκέντρωση των ιόντων, με  $e$  το φορτίο ηλεκτρονίων προκύπτει ότι:

$$n = \frac{J}{eE\mu} \quad (4-68)$$

Τέλος, για την εξίσωση πυκνότητας ρεύματος ιόντων συναρτήσει την ταχύτητα αέρα  $w$  προκύπτει ότι:

$$J = \rho(\mu E \pm w) \quad (4-69)$$

Στη συνέχεια, θα αξιολογηθεί η συμβολή των ρευμάτων ιόντων που δημιουργούνται από το φαινόμενο Corona κατά την καύση του ξηρού εδάφους κάτω από τις γραμμές μεταφοράς. Η συνολική ισχύς  $P$  που αναπαράγεται από το ρεύμα μέσω της αντίστασης του επίπεδου εδάφους δημιουργεί θερμότητα και εκφράζεται από τη σχέση:

$$P = I_g^2 R_g \quad (4-70)$$

Όπου:  $I_g$ , το ρεύμα ιόντων,

$R_g$ , η αντίσταση στο έδαφος.

Στην επιφάνεια του εδάφους εμφανίζεται συχνότερα το γρασίδι, που έχει ως κύριο συστατικό του την κυτταρίνη και το διατηρεί υγρό σε υψηλές θερμοκρασίες. Η ιδιότητα αυτή, επιδρά κυρίως στη μόνωση του εδάφους όμως δεν διαρκεί επ' αόριστον. Άλλωστε με βάση την περιβαλλοντική συνθήκη κάτω από μια γραμμή μεταφοράς, τα όρια του ηλεκτρικού πεδίου πληθαίνουν από την ελάχιστη έως τη μέγιστη τιμή του πεδίου στον αγωγό.

Η διηλεκτρική σταθερά για το γρασίδι του εδάφους εκφράζεται ως:

$$\varepsilon'_r = \frac{C_{xm}}{C_a} \quad (4-71)$$

Όπου:  $C_{xm}$ , η χωρητικότητα που αναφέρεται στο γρασίδι,

$C_a$ , η χωρητικότητα για τον αέρα

Το μέγεθος της τάσης διαφοροποιείται με το ρεύμα ιόντων σε ύψος 150 cm κάτω από μια εναέρια γραμμή μεταφοράς υψηλής τάσης. Το ρεύμα μεταβάλλεται με την αύξηση της τάσης της γραμμής μεταφοράς.

Για τη δέσμη τεσσάρων καλωδίων το μέγιστο πεδίο αγωγού ισχύει ότι:

$$E_m = \frac{V \left( 1 + \frac{4\sqrt{3}r}{s} \right)}{4rLn \left( \frac{H}{\sqrt[4]{(\sqrt{2})rs^3}} \right)} \quad (4-72)$$

Η μέγιστη τιμή του ηλεκτρικού πεδίου  $E_m$  όπου η επιφάνεια εδάφους καίγεται με τάση αγωγού 320 kV είναι:  $E_m = 36,895$  kV/cm.

[70]

#### 4.7 Οι συνέπειες του ειδικού φορτίου μιας πυρκαγιάς σε κάθετα εξαρτήματα εφαρμοσμένα στο πεδίο της γραμμής μεταφοράς

Αρκετές είναι οι μελέτες που ασχολούνται με την αύξηση της θερμοκρασίας στο οριζόντιο επίπεδο του δικτύου διανομής ή στο εσωτερικό του νέφους που προκαλεί η φλόγα. Σειρά έχει και η εύρεση στοιχείων για το μέγεθος της θερμότητας που αναπτύσσεται στην κάθετη πλευρά του δικτύου. Οπότε, γίνεται αναφορά για μια έρευνα που προσδιορίζει την ενέργεια ακτινοβολίας κατά την εκκένωσή της σε μια γραμμή μεταφοράς και αποσκοπεί στην ελάττωση της θέρμανσης. Άλλωστε η θερμότητα που οδηγείται στην εστία της πυρκαγιάς ή στο νέφος καπνού, αντιπροσωπεύει την σημαντικότερη αιτία σφαλμάτων και ο τρόπος αντιμετώπισής της είναι ο διαρκής αερισμός της πυρκαγιάς.

Για την θερμική κρούση σε κατακόρυφο επίπεδο, οι πυρκαγιές εμφανίζονται στην αρχική κατάσταση και για την ανίχνευσή της απαιτούνται εξειδικευμένες έρευνες που μελετούν αποκλειστικά και μόνο την παρουσία πυρκαγιάς σε τέτοιο περιβάλλον. Με την υπόθεση ότι η εκπεμπόμενη ακτινοβολία ανυψώνεται στο επίκεντρο της πυρκαγιάς, για την προκύπτουσα ροή ακτινοβολίας θερμότητας σε απόσταση  $S$  (m) από τη σημειακή πηγή προκύπτει ότι:

$$\dot{q}_{rad}'' = \chi_{rad} \frac{\tau \dot{Q}}{4\pi S^2} \cos \theta, \quad (4-73)$$

Όπου:  $\chi_{rad}$ , ο λόγος ακτινοβολίας κατά την απελευθέρωση θερμότητας  $\dot{Q}$ ,

$\theta$ , η γωνία μεταξύ της οριζόντιας όψης και της γραμμής,

$S$ , η ατμοσφαιρική τροφοδοσία στην απόσταση  $S$ .

Για τον συντελεστή προβολής έχουμε ότι:

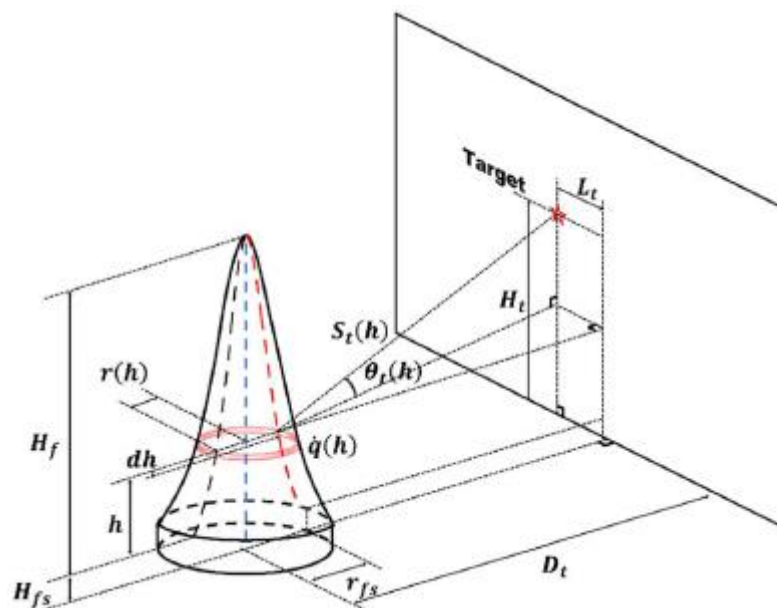
$$F_{1 \rightarrow 2} = \frac{1}{A_1} \int_{A_1} \int_{A_2} \frac{\cos \theta_1 \cos \theta_2}{\pi S^2} dA_2 dA_1, \quad (4-74)$$

Όπου:  $F_{1 \rightarrow 2}$ , ο συντελεστής θέασης μεταξύ των επιφανειών  $A_1$  και  $A_2$ ,

$h_1$ ,  $h_2$ , οι γωνίες των αξόνων και της ακτίνας μεταξύ των 2 διαφορεικών περιοχών (σε  $^\circ$ ),

$S$ , η απόσταση των 2 διαφορεικών περιοχών (σε m).

Έχοντας ως πρότυπο το ακόλουθο σχήμα, η παραγόμενη θερμότητα στο κατακόρυφο επίπεδο προσεγγίζεται ακολουθώντας την έκφραση κατανομής ισχύος ακτινοβολίας:



**Εικόνα 4.8:** Προσδιορισμός μελέτης μιας γραμμής μεταφοράς σε κάθετο επίπεδο πρόσκρουσης πυρκαγιάς. [71]



Η ισχύς της ακτινοβολίας, αποτυπώνεται στον κατακόρυφο άξονα σε συνδυασμό με ένα συμμετρικό περιβλήμα από φλόγες πάνω από την πηγή καυσίμου. Η πυρκαγιά διαχωρίζεται σε πλήθος κυλίνδρων ύψους  $dh$  κατά μήκος του κατακόρυφου άξονα. Οι ιδιότητες της πυρκαγιάς αποτυπώνονται με τη βοήθεια της ακτίνας τομής  $r$  ( $h$ ) και της εκλυόμενης θερμότητας  $q$  ( $h$ ). Με γνώμονα τη σχέση (4-73) η ροή θερμότητας παίρνει τη μορφή:

$$dq_{i,rad}'' = \chi_{rad} \tau \frac{\dot{q}(h)}{4\pi S_i(h)^2} \cos(\theta_i(h)) dh, \quad (4-75)$$

Όπου:  $q$  ( $h$ ), ο ρυθμός απελευθέρωσης θερμότητας της τομής (σε  $kW$ ),

$S_i$  ( $h$ ), η απόσταση από την πυρκαγιά (σε  $m$ ),

$\theta_i$  ( $h$ ), η γωνία ανύψωσης (σε  $^\circ$ ).

Για το ύψος της φλόγας που εκπροσωπεί το κατακόρυφο μήκος της γραμμής μεταφοράς κατά τη διεξαγωγή μιας πυρκαγιάς έχουμε ότι:

$$H_f = 0.235 \dot{Q}^{2/5} + 1.02D, \quad (4-76)$$

Όπου:  $Q$ , ο ρυθμός απελευθέρωσης θερμότητας (σε  $kW$ ),

$D$ , η διάμετρος της πυρκαγιάς (σε  $m$ ).

Για την κατανομή της κανονικοποιημένης ισχύος ακτινοβολίας ισχύει ότι:

$$\dot{q}_{rad}^* = \frac{1}{1 + (h^*/0.625)^{20/3}} \quad (4-77)$$

Για το βάρος της κατανομής της ακτινοβολίας συναρτήσει του ύψους  $h$  ισχύει ότι:

$$w = \frac{1.55}{1 + (h^*/0.625)^{20/3}} = \frac{1.55}{1 + [(h/H_f)/0.625]^{20/3}} \quad (4-78)$$

Επομένως, για την συνολική προσπίπτουσα ακτινοβολία της γραμμής μεταφοράς έχουμε ότι:

$$\dot{Q}_{rad} = \int_0^{H_f} \dot{q}_{rad}(h) dh = \int_0^{H_f} w(h/H_f) \frac{\chi_{rad} \dot{Q}}{H_f} dh. \quad (4-79)$$

Για την διαμόρφωση της ακτίνας  $r$  συναρτήσει του ύψους  $h$  προκύπτει ότι:

$$r^* = \begin{cases} -3(h^*)^3 + 5.5(h^*)^2 - 3.5h^* + 1, & \text{για } 0 \leq h^* \leq 0.625 \\ -2(h^*)^3 + 3.5(h^*)^2 - 2.5h^* + 1, & \text{για } 0.625 < h^* \leq 1 \end{cases} \quad (4-80)$$

Για τον εντοπισμό της θέσης της γραμμής μεταφοράς, προσδιορίζεται η απόσταση  $S_t$  και η γωνία  $h_t$ :

$$S_t = \sqrt{\left(\sqrt{D_t^2 + L_t^2} - r^* r_{fs}\right)^2 + (H_t - H_{fs} - h)^2}$$

$$\cos \theta_t = \frac{\sqrt{D_t^2 + L_t^2} - r^* r_{fs}}{S_t},$$

(4-81)

Όπου:  $D_t$ ,  $L_t$ , οι οριζόντιες αποστάσεις από τον άξονα της φωτιάς (σε  $m$ ),

$H_t$ , το ύψος από το έδαφος (σε  $m$ ),

$H_{fs}$ , το ύψος της επιφάνειας του καυσίμου (σε  $m$ ).

Για τον προσδιορισμό της διαμέτρου  $D$  της πυρκαγιάς:

$$D^* = \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} c_p T_{\infty} \sqrt{g}}\right)^{2/5}$$

(4-82)

Η τιμή του  $D$  κυμαίνεται από 0,75 έως 1,21.

Όπου:  $\dot{Q}$ , ο ρυθμός απελευθέρωσης θερμότητας (σε  $kW$ ),

$\rho_{\infty}$ , η πυκνότητα περιβάλλοντος (σε  $kg/m^3$ ),

$c_p$ , η ειδική θερμότητα του αέρα (σε  $kJ/kg K$ ),

$T_{\infty}$ , η θερμοκρασία περιβάλλοντος (σε  $K$ ),

$g$ , η επιτάχυνση της βαρύτητας (σε  $m/s^2$ ).

Για την ποσοτική καταγραφή των καταστροφών μετά από το πέρας μιας πυρκαγιάς στο δίκτυο ηλεκτρισμού, δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στη χρονική διάρκεια εξάπλωσής της με τον ορισμό του Δείκτη Ζημιών Απώλειας Φορτίου (LLDI) που μετριέται σε KVAh:

$$LLDI = \sum_{i=1}^{T/t} KVA_i * (T - t * i)$$

(4-83)

Όπου:  $KVA_i$ , το συνολικό απορροφημένο φορτίο που καταστρέφεται εξαιτίας των σφαλμάτων της γραμμής (σε  $KVA$ ),

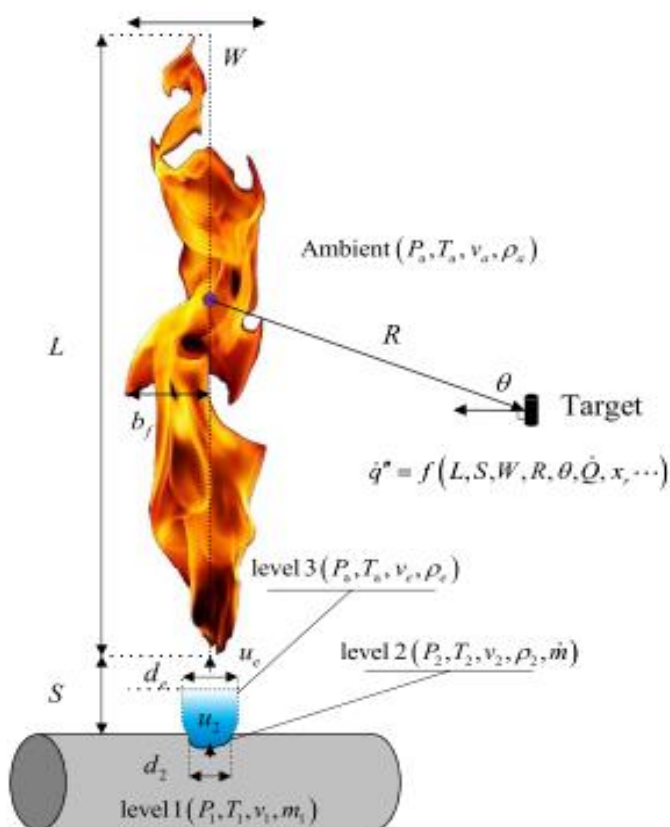
$t = 1/12 h$  &  $T = 12h$ , ο χρόνος ανάπτυξης της πυρκαγιάς (σε ώρες).

$(T - t * i)$ , ο χρόνος έως το πέρας της πυρκαγιάς (σε ώρες).

#### 4.8 Η εμφάνιση αστοχίας σε μια γραμμή μεταφοράς εξαιτίας πυρκαγιάς που προήλθε από διαρροή αερίου υψηλής πίεσης

Κατά την αξιολόγηση ενός δικτύου με κύρια χαρακτηριστικά αγωγούς τύπου αλουμινίου χάλυβα (ACSR), υπάρχει μεγάλη πιθανότητα με το πέρασμα των χρόνων να δημιουργηθεί αστοχία στις γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας και να προκληθεί πυρκαγιά. Η πυρκαγιά αυτή, ενισχύεται από μια ξαφνική διαρροή στα αέρια υψηλής πίεσης. Για την μελέτη και την πρόβλεψη του γεγονότος αυτού, συνιστάται ένα μοντέλο θερμικής αστοχίας (TFM). Οι πιο πολλές περιπτώσεις τέτοιων ζητημάτων, εκπροσωπούν πυρκαγιές κοντά σε εναέρια γραμμές με μήκος φλόγας από 50 έως και 200 μέτρα από το σημείο αστοχίας. Από την άλλη, για μια γραμμή μεταφοράς από 907 A και κάτω το μήκος φλόγας αντιστοιχεί στα 150 m.

Σε μια πυρκαγιά, η διαδικασία μεταφοράς θερμότητας μελετά κυρίως την ακτινοβολούμενη θερμότητα, ενώ αμελεί τη μεταφορά θερμότητας με συναγωγή. Κατά τη διαρροή υψηλής πίεσης, τα αέρια δεν συνάδουν με τον νόμο του ιδανικού αερίου και απαιτείται πραγματικό αέριο EOS. Στη συνέχεια, παρίσταται το σχηματικό διάγραμμα της στιγμιαίας διαρροής αερίων υψηλής πίεσης από αγωγούς και των επακόλουθων πυρκαγιών πίδακα.



**Εικόνα 4.9:** Αναπαράσταση διαρροής αερίου υψηλής πίεσης από αγωγούς και πρόκληση πυρκαγιάς. [72]

Για τη μεταφορά του αερίου υψηλής πίεσης σε μακρινές αποστάσεις, η πίεση του αερίου στον αγωγό είναι πιο μεγάλη από την πίεση περιβάλλοντος. Οπότε, παρουσιάζεται ένα πλασματικό μοντέλο ακροφυσίου για να αποσαφηνιστεί η πραγματική ταχύτητα εξόδου ( $u_e$ ) και η διάμετρος ( $d_e$ ), οπότε:

$$\begin{aligned} u_e &= u_2 - (P_a - P_2) / (\rho_2 u_2) \\ d_e &= d_2 \sqrt{(u_2 \rho_2) / (u_e \rho_e)} \end{aligned} \quad (4-84)$$

Όπου:  $P_2$ , η πίεση εξόδου του πίδακα,

$P_a$ , η πίεση περιβάλλοντος,

$u_2$ , η ταχύτητα εξόδου του πίδακα,

$d_2$ , η διάμετρος εξόδου του πίδακα,

$\rho_2$ ,  $\rho_e$ , οι πυκνότητες στην έξοδο του πίδακα.

Βάσει της μελέτης μήκους φλόγας εκτόξευσης προκύπτει ότι:

$$S/d_e = C_g u_e / d_e \quad (4-85)$$

Όπου:  $S$ , το ύψος ανύψωσης,

$L$ , το ορατό μήκος φλόγας,

$H$ , το συνολικό ύψος φλόγας,

$u_e / d_e$ , ο ρυθμός παραμόρφωσης.

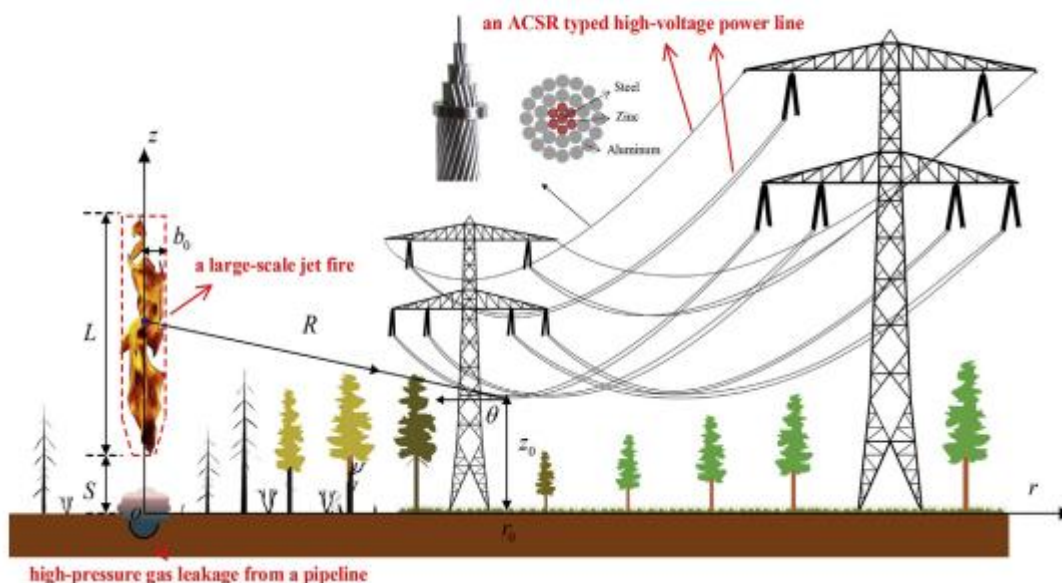
$C_g$ , η χρονική σταθερά ( $3,60 \times 10^{-3} s$  για μεθάνιο &  $2,65 \times 10^{-5} s$  και υδρογόνο).

Για τον προσδιορισμό της διαμέτρου ακροφυσίου ισχύει ότι:

$$d_2 (\rho_2 / \rho_a)^{1/2} \quad (4-86)$$

$$U^* = (u_2 / S_L) Re_L^{-0.4} (P_2 / P_a) \quad (4-87)$$

$$L / d_2 = 190 \left[ (\rho_2 / \rho_a) (u_2 / c)^3 \right]^{0.47}, \text{ for } (\rho_2 / \rho_a) (u_2 / c)^3 > 0.553 \quad (4-88)$$



**Εικόνα 4.10:** Αναπαράσταση της μεταφοράς ακτινοβολούμενης θερμότητας από μια πυρκαγιά εκτόξευσης σε έναν αγωγό εναέριας γραμμής. [72]

Όσο εντείνεται το φαινόμενο της διακοπής μιας γραμμής μεταφοράς, τόσο η τάση αυξάνεται. Κατά τη διεξαγωγή μιας πυρκαγιάς στην γραμμή προστασίας, η εξωτερική της μόνωση και η τάση διάσπασης μειώνονται. Όσο εξαπλώνεται η πυρκαγιά κάτω από την γραμμή μεταφοράς η τάση φάσης και γραμμής δεν μεταβάλλονται, ενώ η πυκνότητα αέρα, η θερμοκρασία, η υγρασία και τα φορτισμένα σωματίδια επηρεάζονται συνεχώς. Αρχικά, η πυρκαγιά θα εμφανίσει άνοδο στη θερμοκρασία του αερίου, η οποία με την σειρά της θα περιορίσει την πυκνότητα του αέρα. Επιπλέον, το σχηματιζόμενο νέφος καπνού θα τοποθετήσει ένα πλήθος σωματιδίων κοντά στις γραμμές, θα αλλοιώσει τα χαρακτηριστικά του ηλεκτρικού πεδίου και θα ελαχιστοποιήσει τα επίπεδα μόνωσης και την τάση διάσπασης.

Για την πιθανότητα αστοχίας της γραμμής κατά την εξέλιξη της πυρκαγιάς προκύπτει ότι:

$$P(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{(u-U)^2}{2\sigma^2}} \quad (4-89)$$

Όπου:  $u$ , η πραγματική τάση λειτουργίας,

$U$ , η τάση διάσπασης στο 50%,

$\sigma$ , το  $zU$  (το  $z$  σε  $zU$  είναι ο συντελεστής διακύμανσης και ισούται με 4% σε συνθήκες πυρκαγιάς κάτω από τις γραμμές μεταφοράς).

Σε καταστάσεις μόνωσης μεγάλου διακένου, η τάση διάσπασης είναι ανάλογη με την πίεση του αέρα και αντιστρόφως ανάλογη με τη θερμοκρασία δηλαδή:

$$U_t = U_s \frac{0.392P}{273+T} \quad (4-90)$$

Όπου:  $U_t$ , η πραγματική τάση διάσπασης,

$U_s$ , η τάση διάσπασης,

$P$ , η ατμοσφαιρική πίεση,

$T$ , η θερμοκρασία (σε °C).

Η συνολική έκφραση της πιθανότητας αστοχίας της γραμμής κατά την εξέλιξη της πυρκαγιάς εκφράζεται από τη σχέση:

$$R(i) = C(i) W(i) G(i)$$

$$P_{ii} = P(A) \cdot P(u) \quad (4-91)$$

Όπου:  $C(i)$ , η ανθρωπογενής πιθανότητα πυρκαγιάς,

$O(i)$ , μια άλλη πιθανότητα πυρκαγιάς,

$W(i)$ , η πρόβλεψη κινδύνου δασικής πυρκαγιάς,

$S(i)$ , η συνειδητοποίηση ασφαλείας

$G(i)$ , το γεωγραφικό περιβάλλον,

$R(i)$ , ο αρχικός κίνδυνος του τμήματος  $i$ ,

$P_{ii}$ , η πιθανότητα σφάλματος της γραμμής μεταφοράς εξαιτίας πυρκαγιάς,

$P(A)$ , η πιθανότητα επέκτασης στη γραμμή.

Το μήκος της γραμμής μεταφοράς έως την εκτίμηση κινδύνου συμβολίζεται με  $L$  και το μήκος του εκπροσωπεί το  $R(i)$  συμβολίζεται με  $l(i)$ :

$$\sum_{i=1}^n l_i = L \quad (4-92)$$

Ο κίνδυνος του τμήματος  $i$  και η πιθανότητα σφάλματος γραμμής της γραμμής  $L$  που οφείλεται στην πυρκαγιά:

$$P_1(i) = K(O(i) + R(i)) \cdot P(u) / S_i$$

$$F = \sum_{i=1}^n KP(u)(O(i) + R(i)) / S_i \quad (4-93)$$

## **5. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup> : Η πρόληψη των γραμμών μεταφοράς και διανομής σε συνθήκες πυρκαγιάς και η ελάττωση της διηλεκτρικής αντοχής στο διάκενο αέρα τους**

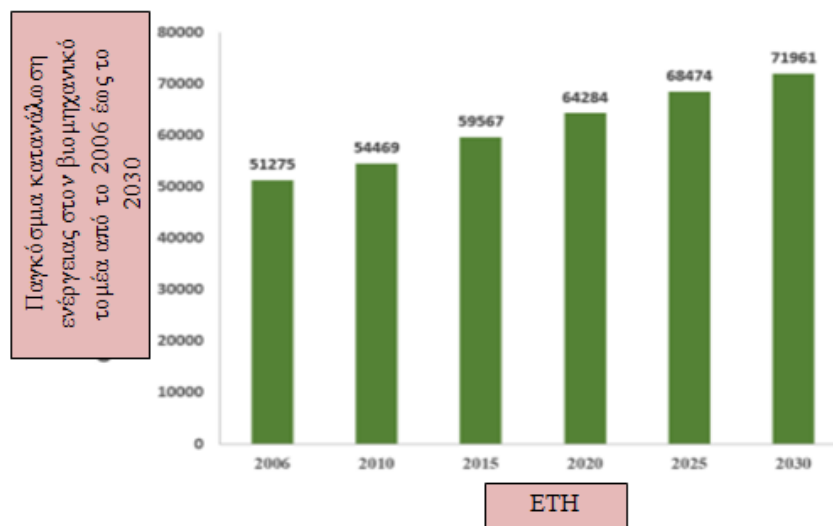
Το σύστημα εναέριας γραμμής μεταφοράς, αποτελεί μία από τις βασικότερες αναλύσεις για τη διανομή ηλεκτρικής ενέργειας σε υψηλή τάση για μεγάλη απόσταση, από ένα αρχικό σε ένα τελικό σημείο. Η ζήτηση από τους καταναλωτές για παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, ενισχύεται ραγδαία λόγω της πληθυσμιακής αύξησης και της τεχνολογίας των μεταφορών με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται η υπερφόρτωση του συστήματος εναέριας γραμμής (OHL). Σε βάθος αρκετών δεκαετιών, η θερμοκρασία των αγωγών τέτοιου είδους γραμμών μεταφοράς ξεπερνά την θερμοκρασία των προδιαγραφών τους, η οποία προσεγγίζει τους 75 °C για συμβατικούς αγωγούς. Η κατάσταση αυτή, οδηγεί σε θερμική καταπόνηση των συγκεκριμένων γραμμών και έχει ως συνέπεια ένα χαμηλό κατακόρυφο διάκενο, απώλεια εφελκυσμού, επιμήκυνση και ερπυσμό και μειωμένη διάρκεια ζωής των αγωγών. Επιπρόσθετα, παράμετροι όπως ο κεραυνός, η πυρκαγιά, η γήρανση και η υποβάθμιση του αγωγού οξύνουν σημαντικά τη θερμική καταπόνηση και ελαττώνουν την απόδοση του αγωγού. [73] [74]

### **5.1 Οι τεχνολογίες εποπτείας θερμικής καταπόνησης για εναέριας γραμμής μεταφοράς**

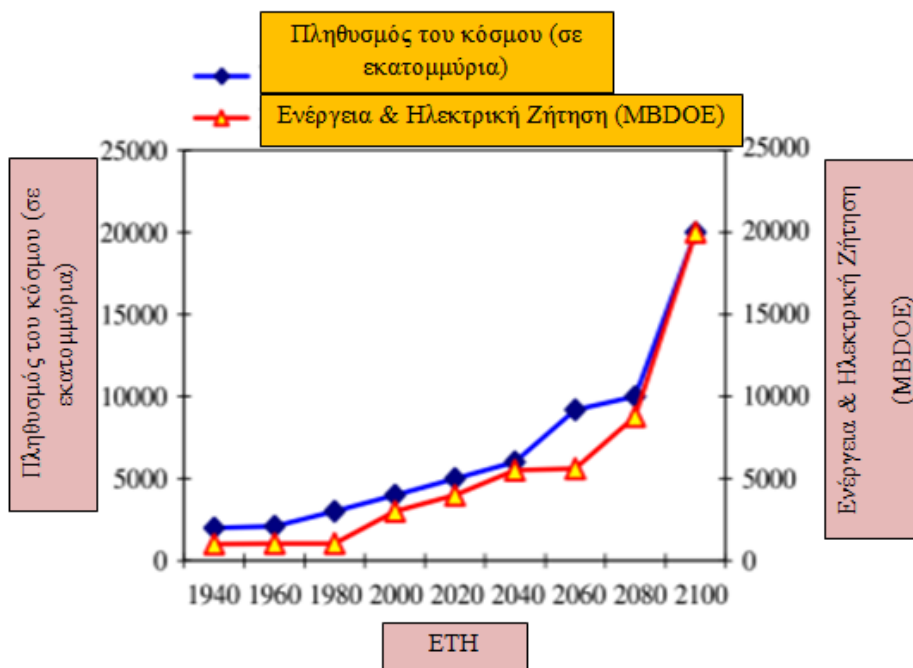
Ο αγωγός εναέριας γραμμής (OHL), τοποθετείται κυρίως σε πύργους μεταφοράς από 33kV έως και 500kV και διαθέτει ανάρτηση τύπου pin και μονωτήρες αέρα, εξασφαλίζοντας υψηλή και σταθερή απόδοση σε περιπτώσεις υπερτάσεων λόγω μεταγωγής και κεραυνού. Η πιο ευρύτερα διαδεδομένη κατηγορία τέτοιων αγωγών για γραμμής μεταφοράς, είναι το καλώδιο αλουμινίου ενισχυμένο με χάλυβα αγωγών (ACSR) λόγω του βάρους και του χαμηλότερου κόστους του. Κρίνεται σημαντικό να υπογραμμιστεί ότι για την κατασκευή μιας νέας γραμμής μεταφοράς, απαιτείται το δικαίωμα διέλευσης, το υψηλό κόστος και η κατανάλωση χρόνου.

Άλλωστε όσο μεγαλύτερη είναι η διαθεσιμότητα της γραμμής, τόσο ευκολότερη είναι η μεταφορά φορτίου από τα άκρα της δηλαδή το ρεύμα που κυκλοφορεί θα ξεπερνά το θερμικό όριο, προκαλώντας υπερφόρτωση και αυξημένη θερμοκρασία λειτουργίας του αγωγού. Οι αγωγοί οφείλουν να μην ξεπερνούν τη μέγιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία για την καλύτερη διασφάλιση και αξιοπιστία της γραμμής μεταφοράς. Η μέγιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία του αγωγού επάγεται στη μέγιστη επιτρεπόμενη πτώση του αγωγού και στο θερμικό όριο του αγωγού με αποτέλεσμα να περιορίζεται η απόδοση της γραμμής. [75] [76]

Στην παρούσα έρευνα, επεξεργάζονται οι παράγοντες βελτίωσης της αξιοπιστίας του συστήματος και βελτίωσης της απόδοσης της γραμμής μεταφοράς. Έχει εφευρεθεί μια πληθώρα μηχανισμών εποπτείας της θερμικής καταπόνησης κατά μήκος των γραμμών μεταφοράς και η ένταξη των αγωγών εναέριας γραμμής θα πρέπει να εξετάζεται υπό διάφορες συνθήκες, όπως κανονικές, παροδικές και καταστάσεις έκτακτης ανάγκης ή σφάλματος με την προϋπόθεση ότι οι αγωγοί διατηρούν καλή απόδοση ελαχιστοποιώντας τους κινδύνους σφάλματος.



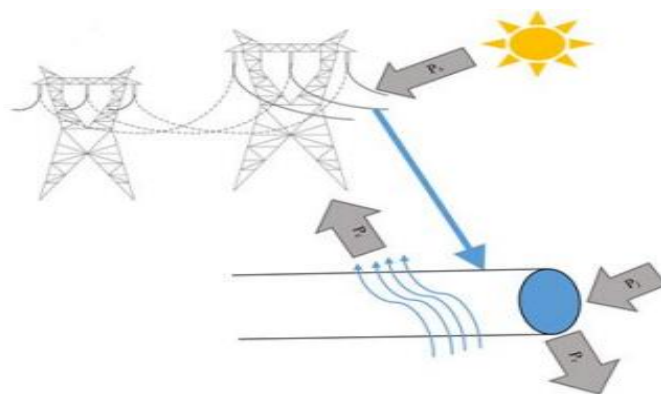
**Διάγραμμα 5.1:** Αναπαράσταση της εκτιμώμενης ενεργειακής ζήτησης στον βιομηχανικό τομέα. [77]



**Διάγραμμα 5.2:** Αναπαράσταση της αύξησης της ζήτησης ενέργειας και ηλεκτρικής ενέργειας, εξαιτίας του πληθυσμού. [77]

Για να πραγματοποιηθεί ένα επιθυμητό κέρδος θερμότητας στον αγωγό, ελέγχονται η ηλιακή θέρμανση ( $P_s$ ) και οι ωμικές απώλειες ( $P_j$ ), ενώ η απώλεια θερμότητας οφείλεται στη μεταφορά ( $P_c$ ) και την ακτινοβολία ( $P_r$ ) από τον αγωγό. Η CIGRE, είναι υπεύθυνη για τις μαγνητικές επιδράσεις στον προσδιορισμό της θέρμανσης λαμβάνοντας υπόψη τα στρώματα αλουμινίου του αγωγού.





**Εικόνα 5.1:** Απεικόνιση των σταδίων θέρμανσης και ψύξης ενός εναέριου αγωγού. [77]

Με την παραγωγή θερμότητας στο εύρος των αγωγών, η ηλιακή ακτινοβολία και οι ωμικές απώλειες ανυψώνουν τη συνολική θερμοκρασία του αγωγού. Με βάση τα πρότυπα IEEE και CIGRE, λαμβάνονται τιμές για το κέρδος της ηλιακής θερμότητας. Στο IEEE η τυπική μονάδα υπολογισμού (SI) είναι σε  $W/ft^2$ , ενώ στο CIGRE η μονάδα υπολογισμού (SI) είναι  $W/m^2$ . Η εμφάνιση θερμότητας στον αγωγό από ωμικές απώλειες, πραγματοποιείται όταν το ρεύμα διέρχεται από τον αγωγό καθώς λειτουργεί πανομοιότυπα με την αντίσταση ενός αγωγού ( $\Omega/m$ ) επί το τετράγωνο του συνολικού συνεχούς ρεύματος σε αμπέρ ( $I^2R_{TC}$ ). Η τιμή της αντίστασης του αγωγού, μεταβάλλεται συγκριτικά με το μέγεθος, το υλικό, τη συχνότητα και το μήκος του αγωγού. Επίσης, η ταχύτητα του ανέμου καθορίζει σε σημαντικό βαθμό τη μεταφορά θερμότητας του αγωγού επειδή οι απώλειες θερμότητας ακτινοβολίας αγγίζουν το 40% της συναγωγής ψύξης σε χαμηλή ταχύτητα ανέμου. Οπότε, η παρεχόμενη ισχύς στη γραμμή μειώνεται για να επιτευχθεί η ασφαλής λειτουργία του (OHL).

Η εξίσωση του ισοζυγίου θερμότητας στο IEEE αποτυπώνεται από τη σχέση:

$$q_c + q_r = q_s + I^2R_{TC}, \quad (5-1)$$

όπου:  $q_c$ , ο ρυθμός απώλειας θερμότητας μεταφοράς, σε  $w/ft$ ,

$q_r$ , ο ρυθμός απώλειας θερμότητας ακτινοβολίας, σε  $w/ft$ ,

$q_s$ , το ηλιακό κέρδος θερμότητας, σε  $w/ft$ ,

$q_j$ , οι απώλειες θέρμανσης Joule, σε  $w/ft$  ( $I$  = ρεύμα αγωγού, A σε DC ή AC στα 50 ή 60Hz

$R_{TC}$ , η αντίσταση του αγωγού κατά τη λειτουργία σε θερμοκρασία  $T_c$ , σε  $\Omega/ft$ ).

Η εξίσωση ισορροπίας θερμότητας CIGRE αποτυπώνεται από τη σχέση:

$$P_j + P_s + P_m + P_i = P_c + P_r + P_w \quad (5-2)$$

όπου:  $P_j$ , η θέρμανση σε Joule,  $P_s$  = η ηλιακή θέρμανση,  $P_m$  = η μαγνητική θέρμανση,

$P_i$ , η θέρμανση Corona,

$P_c$ , η συναγωγική ψύξη,  $P_r$  = η ψύξη με ακτινοβολία και  $P_w$ , η εξατμιστική ψύξη.

Κατά τη μεταβατική σταθερή κατάσταση, το ρεύμα λειτουργίας υπερβαίνει την ονομαστική τιμή, δηλαδή τη μέγιστη επιτρεπόμενη συνεχή ονομαστική τιμή του ρεύματος σε σύντομο χρονικό διάστημα. Το παραπανήσιο ηλεκτρικό ρεύμα, μεταβάλλεται λόγω των κεραυνών, των βραχυκυκλωμάτων σε γραμμές της υπερφόρτωσης και των σφαλμάτων στις συσκευές προστασίας.

Στην περίπτωση αυτή, αυξάνεται η θερμοκρασία του αγωγού και ποικίλλει ανάλογα με την αλλαγή του βήματος του χρόνου, εμφανίζοντας ακόμη μεγαλύτερη θερμοκρασία στο περίβλημα του αγωγού:

$$q_c + q_r + mC_p \left( \frac{dT_c}{dt} \right) = q_s + I^2 R_{T_c} \quad (5-3)$$

όπου:  $m$ , η μάζα αγωγού ανά μονάδα μήκους.

$C_p$ , η ειδική θερμότητα στο υλικό του αγωγού,

$t$ , ο υπολειπόμενος χρόνος,

$I$ , το ρεύμα του αγωγού,

$R_{T_c}$ , η αντίσταση αλλαγής ρεύματος (AC) του αγωγού σε θερμοκρασία λειτουργίας  $T_c$ .

Η θερμοχωρητικότητα συγκροτεί τη συνολική θερμότητα που εξασφαλίζεται σε μια μάζα υλικού και παραμένει σταθερή παρόλο που το μέγεθος του αγωγού διαφοροποιείται. Οπότε στη συγκεκριμένη κατάσταση, εξετάζεται η βαθμολογία γραμμής, οι ιδιότητες υλικού του αγωγού, οι δυναμικές καιρικές συνθήκες και η άμεση μέτρηση των (OHL). [77]

## 5.2 Η οικονομική κατανομή των θερμικών ορίων σε γραμμές μεταφοράς

Η θερμοκρασία του αγωγού, δυσχεραίνει σημαντικά τη μεταφορά και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας και ο υπολογισμός της βασίζεται στο σύστημα μεταφοράς, στις γραμμές του, στα κρίσιμα τμήματα και στο κλίμα της περιοχής, εξασφαλίζοντας παράλληλα την επιθυμητή χωρητικότητα μεταφοράς. Η χωρητικότητα με τη σειρά της, στηρίζεται σε μια πιθανή υπερφόρτωση της γραμμής που θα διαφοροποιούσε τη μεταφορά ρεύματος στις γεννήτριες του συστήματος. Για να υλοποιηθεί η οικονομική αποστολή, γίνεται οικονομία στο κόστος παραγωγής, χωρίς παραβίαση της μέγιστης θερμοκρασίας της γραμμής μεταφοράς.

Στόχος της έρευνας, είναι η μελέτη βελτιστοποίησης της λειτουργίας, όπου περιγράφεται ο αντίκτυπος της αλλαγής των ορίων φόρτισης των (TL) στη λειτουργία του συστήματος, με γνωστά τα χαρακτηριστικά των γραμμών μεταφοράς, τις μετεωρολογικές συνθήκες και τη βέλτιστη ροή ισχύος. Ο υπολογισμός της μέγιστης χωρητικότητας μεταφοράς ρεύματος στους εναέριους αγωγούς, πραγματοποιείται συναρτήσει της θέρμανσης που προκαλείται για τις μετεωρολογικές παραμέτρους. Άλλωστε, η εποπτεία της θερμοκρασίας στα κρίσιμα τμήματα της γραμμής μεταφοράς, επιτρέπει την πρόβλεψη ανά ώρα της χωρητικότητας μεταφοράς.

Η έρευνα αξιολογείται με βάση το μοντέλο οικονομικής αποστολής, που στηρίζεται στη βέλτιστη ροή ισχύος. Η αντικειμενική συνάρτηση αποτελείται από το κόστος παραγωγής ενεργού ισχύος και έχει ως περιορισμούς τις λειτουργικές εξισώσεις ροής φορτίου και όρια του συστήματος. Στη συνέχεια αποτυπώνεται η σχέση:

$$f = \sum_{i \in Ig} c_i P_{gi} \quad (5-4)$$

$$\text{με } P_{gi\min} < P_{gi} < P_{gi\max}$$

$$Q_{gi\min} < Q_{gi} < Q_{gi\max}$$

$$V_{k\min} < V_k < V_{k\max}$$

$$T_{m\min} < T_m < T_{m\max}$$

Όπου: **i,k,m**, οι δείκτες εγκαταστάσεων, λεωφορείων και γραμμών,

**c<sub>i</sub>**, το κόστος παραγωγής ενεργού ισχύος στη γεννήτρια **i**,

**P<sub>gi</sub>**, η παραγωγή ενεργού ισχύος στη γεννήτρια **i**,

**Q<sub>gi</sub>**, η παραγωγή άεργου ισχύος στη μονάδα **i**,

**V<sub>k</sub>**, το μέγεθος τάσης στο δίαυλο **k**,

**T<sub>m</sub>**, η ροή στη γραμμή μεταφοράς **m**,

**g**, το σύνολο (διάνυσμα) των εξισώσεων ροής φορτίου,

**p**, το διάνυσμα εγχύσεων ενεργού ισχύος,

**q**, το διάνυσμα εγχύσεων άεργου ισχύος,

**min e max**, η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή.

Το όριο ροής στη γραμμή μεταφοράς **T<sub>M</sub>** σε (MVA), εξαρτάται από το μέγεθος της τάσης **V<sub>k</sub>** και το μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα **I** σε A. Το επιτρεπόμενο μέγιστο ρεύμα καθορίζεται από τη μέγιστη θερμοκρασία **t<sub>max</sub>** η οποία με τη σειρά της επεξεργάζεται το όριο ύψους ασφαλείας του αγωγού, δηλαδή:

$$T_M = V_k \times I(t_{\max}) \quad (5-5)$$

Η ταχύτητα και ο προσανατολισμός του ανέμου, η θερμοκρασία περιβάλλοντος και η ηλιακή ακτινοβολία ελέγχουν τη θερμική κατάσταση του αγωγού. Έχοντας ως βάση ότι στον αγωγό δεν κατακρατείται θερμική ενέργεια, η εξίσωση του ισοζυγίου θερμότητας περιγράφεται ως:

$$\text{Heat Gain} = \text{Heat Loss}$$

$$G_j + G_s = L_c + L_r \quad (5-6)$$

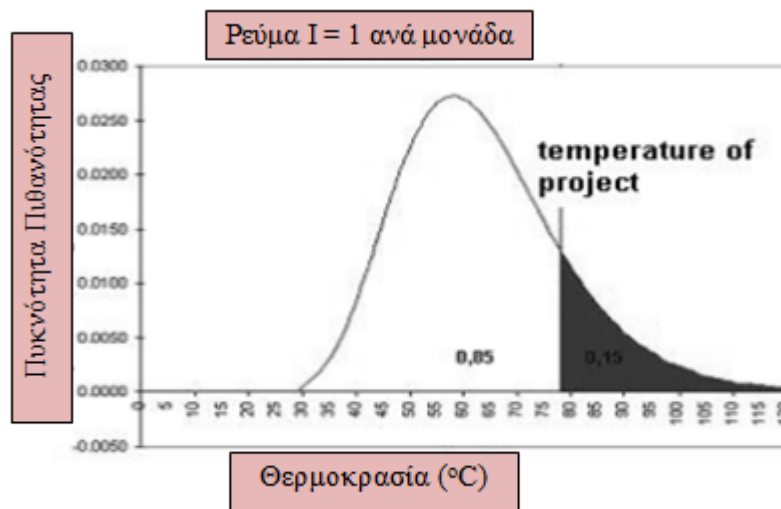
Όπου: **G<sub>j</sub>**, η θέρμανση σε Joule, **G<sub>s</sub>** = η ηλιακή θέρμανση,

**L<sub>c</sub>**, η ψύξη για μεταφορά,

**L<sub>r</sub>**, η ψύξη για ακτινοβολία.

Ο θερμικός κίνδυνος παρουσιάζει την πιθανότητα μιας δεδομένης θερμοκρασίας του αγωγού να κάνει υπέρβαση:

$$P(t \geq t_{ref}) = 1 - \int_{t_{min}}^{t_{ref}} f(t) dt \quad (5-7)$$



**Διάγραμμα 5.3:** Κατανομή των πιθανοτήτων για συγκεκριμένη θερμοκρασία στον αγωγό. [78]

Όπου: **P**, η πιθανότητα σε μια θερμοκρασία  $t$ ,

$t_{ref}$ , η θερμοκρασία αναφοράς,

**F (t)**, η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της ελάχιστης θερμοκρασίας του αγωγού.

Για τις τυπικές συνθήκες χρήσης, η επιφανειακή θερμοκρασία του αγωγού για το ονομαστικό ρεύμα του έργου έχει μέγιστο θερμικό κίνδυνο 15%. Οι μέγιστες τιμές υπερφόρτισης ταξινομούνται σε 2 κατηγορίες με βάση το παραπάνω διάγραμμα:

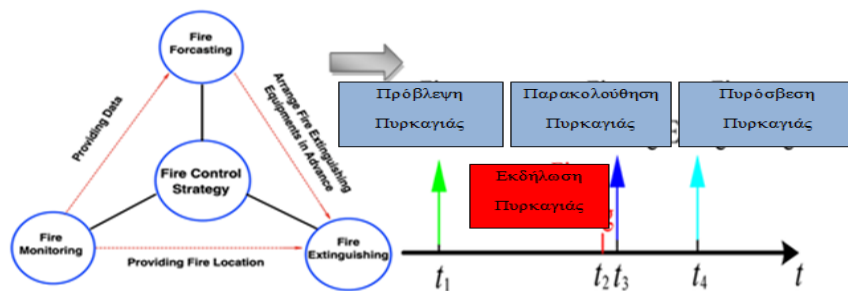
για υπερφόρτωση με χρονική διάρκεια έως 2 ώρες, η θερμοκρασία του αγωγού έχει μέγιστο θερμικό κίνδυνο 7,5% και

για υπερφόρτωση με διάρκεια έως 4 ημέρες ο μέγιστος θερμικός κίνδυνος είναι 5%. [78]

### 5.3 Η ερμηνεία των πυρκαγιών μεγάλης έκτασης κοντά σε γραμμές μεταφοράς

Για την αποδοτικότερη λύση στον περιορισμό εξάπλωσης των πυρκαγιών που προξενούν τη διακοπή λειτουργίας της γραμμής μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, απαιτείται ένας σχεδιασμός που στοχεύει στην επεξεργασία των μεθόδων πρόβλεψης και παρακολούθησης πυρκαγιάς και κατάσβεσης για πυρκαγιές μεγάλης κλίμακας στις γραμμές. Οπότε, *αποτυπώθηκε μια μέθοδος κατάσβεσης πυρκαγιάς με νέφος νερού για γραμμές μεταφοράς με υψηλή τάση για την αντιμετώπιση πάσης φύσεως τέτοιου είδους πυρκαγιών*. Με την προαναφερόμενη έρευνα, αξιολογούνται προληπτικά οι πυρκαγιές με τη συνεχή λειτουργία των γραμμών μεταφοράς, χωρίς να σταματούν μέχρι να καταπολεμηθεί η πυρκαγιά. Επιπλέον, η προστασία του ηλεκτρικού δικτύου από πυρκαγιές αναλύεται στατιστικά και μελετάται η κάθε μορφή πυρκαγιάς κοντά σε γραμμές μεταφοράς.

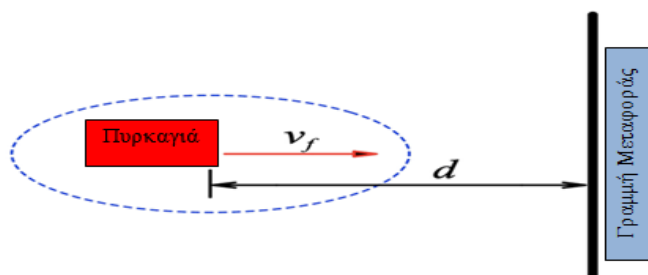
Για τη μείωση των πυρκαγιών κοντά σε γραμμές μεταφοράς κρίνεται σημαντική η λήψη 3 αποφάσεων: η πρόβλεψη πυρκαγιάς, η παρακολούθηση και η κατάσβεση πυρκαγιάς και ο ταυτόχρονος έλεγχος των γραμμών μεταφοράς. Πρώτα από όλα, η ελαχιστοποίηση του κινδύνου της πυρκαγιάς κοντά στις γραμμές μεταφοράς λαμβάνεται με την πρόληψη και εξασφαλίζεται η ομαλή λειτουργία του εξοπλισμού της εγκατάστασης. Ακόμη, επιτυγχάνεται η εποπτεία της πυρκαγιάς σε καθορισμένο χρόνο έτσι ώστε ο πυροσβεστικός εξοπλισμός να καταφτάσει έγκαιρα. Τέλος, ο εξοπλισμός αυτός διευκολύνει τους εργαζόμενους στην κατάσβεση της πυρκαγιάς και αποτρέπει φαινόμενα ηλεκτροπληξίας. Πρακτικά, ο χρόνος εκδήλωσης πυρκαγιάς μέχρι την κατάσβεση δεν θα πρέπει να ξεπερνά τη 1 ώρα.



**Εικόνα 5.2:** Σχηματική απεικόνιση των 3 μεθόδων πρόληψης μιας πυρκαγιάς σε γραμμές μεταφοράς. [79]

Η χρονική διάρκεια αφετηρίας της πυρκαγιάς μέχρι την εξάπλωσή της περιγράφεται από τη σχέση:

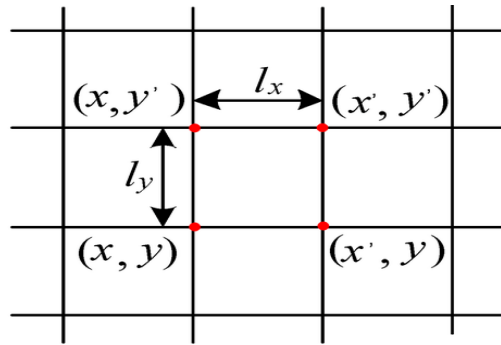
$$t = \frac{d}{v_f} \quad (5-8)$$



**Εικόνα 5.3:** Περιγραφή εξάπλωσης της πυρκαγιάς κοντά σε γραμμή μεταφοράς. [79]

(Παραπομπή:)

Έστω ότι η μονάδα γεωγραφικής περιοχής θεωρείται ως 1 σχεδόν τετράγωνο, οι γεωγραφικές συντεταγμένες 4 κορυφών δηλαδή:



**Εικόνα 5.4:** Περιγραφή διαγράμματος μονάδας γεωγραφικής περιοχής για μετρήσεις πυρκαγιών. [79]

Όπου:  $x$  και  $x'$ , οι τιμές γεωγραφικού μήκους των πυρκαγιών,  
 $y$  και  $y'$ , οι τιμές γεωγραφικού πλάτους των πυρκαγιών,  
 $l_x$  και  $l_y$ , τα 2 μήκη πλευρών του ορθογωνίου,  
 $S$ , η έκταση της μονάδας ορθογωνίου.

$$S = l_x \times l_y \quad (5-9)$$

$$|x - x'| = |y - y'| = \delta \quad (5-10)$$

$$\begin{cases} l_x = \frac{2 \pi R}{360} \times \delta \times \cos\left(\frac{y+y'}{2} \times 2\pi\right) \\ l_y = \frac{2 \pi R}{360} \times \delta \end{cases} \quad (5-11)$$

Δηλαδή, έκταση του ορθογωνίου αποτυπώνεται συνοπτικά από την παραπάνω έκφραση:

$$d_f = \frac{N}{S} \quad (5-12)$$

$$N = \frac{\sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{d_1+d_2+1} n_{ij}}{5(d_1+d_2+1)} \quad (5-13)$$

Όπου:  $i$ , το τελευταίο έτος,

$j$ , ο αριθμός των ημερών,

$n_{ij}$ , ο αριθμός πυρκαγιάς στο  $i$ -ο έτος στη  $j$ -η ημέρα,

$d_1, d_2$ , οι ημέρες πριν και μετά την ημέρα της πρόβλεψης, συνήθως  $d_1 = d_2 = 3$ .

Η μέθοδος εποπτείας μιας πυρκαγιάς με δορυφόρο αποδίδει σε περιστάσεις πυρανίχνευσης πυρκαγιών μεγάλης κλίμακας. Στο σύστημα αυτό, η ανίχνευση σήματος υπέρυθρης τηλεπισκόπησης δορυφορικής σύγχρονης και πολικής τροχιάς εξασφαλίζει τον εντοπισμό πυρκαγιών και τον υπολογισμό της απόστασης μεταξύ του σημείου πυρκαγιάς και της πλησιέστερης γραμμής μεταφοράς και του αντίστοιχου πύργου.

Σύμφωνα με τον τύπο του Planck, δημιουργείται ο τύπος για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας φωτεινότητας:

$$T = \frac{hc}{\lambda k} \log^{-1} \left( \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 \omega_\lambda} + 1 \right) \quad (5-14)$$

Όπου:  $c$ , η ταχύτητα του φωτός στο κενό,

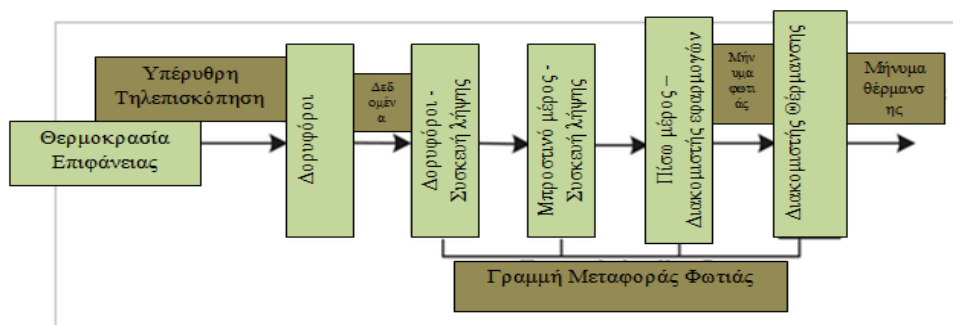
$k$ , η σταθερά του Boltzmann, με  $k = 1,38 \times 10^{-23} \text{J K}^{-1}$ ,

$h$ , η σταθερά του Planck, με  $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{J}\cdot\text{S}$ ,

$\omega_\lambda$ , η εκπομπή ακτινοβολίας.

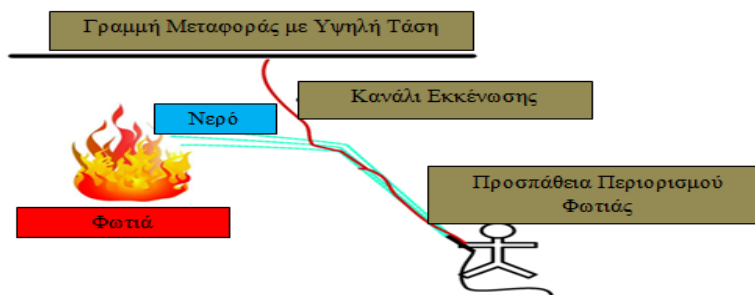
Η καύση πυρκαγιάς εξάγει υψηλή θερμοκρασία φωτεινότητας και υψηλή χωρητικότητα ακτινοβολίας με αποτέλεσμα να είναι φανερή η διαφοροποίηση της φωτεινής θερμοκρασίας μεταξύ του καιόμενου εικονοστοιχείου και του περιβάλλοντος εικονοστοιχείου.

Το υλικό του συστήματος παρακολούθησης πυρκαγιών γραμμής μεταφοράς αποτελείται από συσκευή λήψης δορυφόρων, διακομιστή λήψης front-end, διακομιστή εφαρμογών back-end και διακομιστή προειδοποίησης πυρκαγιάς. Οι δορυφόροι λαμβάνουν δεδομένα θερμοκρασίας εδάφους μέσω αισθητήρων τηλεπισκόπησης υπέρυθρων και τα στέλνουν στον επίγειο δορυφορικό δέκτη. Ο δορυφόρος λαμβάνει συσκευή μεταδίδει δεδομένα στον διακομιστή λήψης μπροστινής πλευράς για προεπεξεργασία εικόνας και, στη συνέχεια, μεταδίδει εικόνες στον διακομιστή εφαρμογών υποστήριξης για κρίση πυρκαγιάς. Ο διακομιστής θέρμανσης πυρκαγιάς υπολογίζει την απόσταση μεταξύ της φωτιάς και του πλησιέστερου πύργου γραμμής μεταφοράς και εξάγει το μήνυμα θέρμανσης της πυρκαγιάς. Τέλος, οι πληροφορίες παρακολούθησης και προειδοποίησης θα δοθούν στις μονάδες λειτουργίας και συντήρησης γραμμής μεταφοράς για την αντιμετώπιση έκτακτης ανάγκης πυρκαγιών.



**Εικόνα 5.5:** Ανάλυση διαγράμματος του συστήματος παρακολούθησης και προειδοποίησης πυρκαγιάς. [79]

Οι γραμμές μεταδίδουν σε υψηλή τάση, κάνοντας το νερό αρκετά αγωγίμο, για αυτό αποφεύγεται η χρήση νερού επειδή μπορεί να προκληθεί στους ανθρώπους ηλεκτροπληξία. Για τον λόγο αυτό, συνιστάται το νέφος νερού για τη βελτίωση της απόδοσης μόνωσης με στόχο οι άνθρωποι που σβήνουν πυρκαγιές να έχουν ασφάλεια κάτω από τις γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας υψηλής τάσης.



Εικόνα 5.6: Αναπαράσταση διαγράμματος ηλεκτροπληξίας κατά την κατάσβεση πυρκαγιάς κάτω από γραμμή υψηλής τάσης. [79]

#### 5.4 Η διηλεκτρική συμπεριφορά και τα μέσα προστασίας σε γραμμές μεταφοράς και διανομής

Για την εξέταση του μονωτικού επιπέδου εντός των αγωγών μιας γραμμής μεταφοράς μέσης ή υψηλής τάσης σε ατμοσφαιρικές συνθήκες, απαιτείται μια ισχυρή μόνωση σε σχηματισμό ηλεκτροδίων «ακίδα - πλάκα», όπως σε έναν διαβρωμένο αγωγό αλουμινίου κάθετα τοποθετημένο προς έναν πλησιέστερο αγωγό. Για την απόσταση της μόνωσης αυτής ισχύει ότι:

$$d \geq (0,935 \div 0,99) U / E_d \quad (5-15)$$

Όπου:  $U$ , η ενεργός τιμή της τάσης,

$E_d$ , η ειδική πεδιακή ένταση: όταν  $d \leq 150$  cm έχουμε  $E_d \approx 3,5$  kV/cm,

όταν  $d = 200$  cm έχουμε  $E_d \approx 2,5$  kV/cm,

όταν  $d = 300$  cm έχουμε  $E_d \approx 3$  kV/cm.

Στη συνέχεια, αποτυπώνονται οι αποστάσεις μόνωσης για 2 περιπτώσεις γραμμών μεταφοράς μέσης και υψηλής τάσης:



Ονομαστική τάση γραμμής	Ελάχιστη απόσταση μόνωσης ( $d_{min}$ )	Απόσταση προστασίας μεταξύ αγωγών σε γραμμές	Σύνηθες ύψος γραμμής από το έδαφος
20 kV	5,34 cm ÷ 5,66 cm	85 cm ÷ 125 cm	≈10 m
150 kV	40 cm ÷ 42,4 cm	150 cm	≈20 m

**Πίνακας 5.1:** Αναπαράσταση αποστάσεων μόνωσης και προστασίας σε γραμμές μέσης και υψηλής τάσης. [80]

Σε περιπτώσεις που η μόνωση εφαρμόζεται σε χαμηλή τάση, η σχέση για τον ιονισμό αποδίδεται ως εξής:

$$\alpha d = \ln[1+(1 / \gamma_1)] \quad (5-16)$$

Όπου:  $\alpha$ , τα ελεύθερα ηλεκτρόνια και τα ισάριθμα θετικά ιόντα,

$d$ , η απόσταση του διακένου (για ιονισμό  $d_{min}=3,71 \text{ mm}$ ),

$\gamma_1$ , ο συντελεστής ιονισμού (για χαλκό  $\gamma_1=0,025$ ).

Παρόλο που τις περισσότερες φορές οι αποστάσεις μόνωσης είναι ιδιαίτερα ικανοποιητικές όσον αφορά τη διηλεκτρική αντοχή, οι γραμμές μεταφοράς δεν πρέπει να εντοπίζονται μέσω αγωγίων αντικειμένων (όπως μεταλλικοί σωλήνες ή ράβδοι). Γενικότερα, η ελάχιστη απόσταση από τις κατοικίες για την ομαλή λειτουργία μιας γραμμής μήκους 45m, είναι τα 2,5m. Αν το μήκος της γραμμής είναι μεγαλύτερο θα πρέπει να ικανοποιείται η σχέση:

$$H_{min} = 2,5 + (L_2 - 45) / 100 \text{ m} \quad (5-17)$$

Όπου  $L_2$ , το προβλεπόμενο μήκος της γραμμής μεταφοράς.

Ακόμη, η κινητική ενέργεια  $E_k$  του εκρηγνόμενου σωματιδίου περιγράφεται από την σχέση:

$$E_k = \frac{2}{3} \pi \rho r_p^3 u^2 \Rightarrow E_k = F d_s \quad (5-18)$$

Όπου:  $\rho$ , η πυκνότητα του σωματιδίου,

$r_p$ , η ακτίνα του σφαιριδίου,

$u$ , η ταχύτητα πρόσκρουσης του σωματιδίου,

$F$ , η μέση ασκούμενη δύναμη του σωματιδίου,

$d_s$ , η διάμετρος του σωματιδίου.

$$F = \frac{2}{3} \pi \rho r_p^3 u^2 / d_s \quad (5-19)$$

Για την ελάχιστη ασκούμενη δύναμη για την αποκόλληση του αγωγού προκύπτει ότι:

$$F_{\min} = \sigma \frac{\pi d_s^2}{4} \quad (5-20)$$

Τέλος, ο ακόλουθος πίνακας καταγράφει τα προαναφερόμενα στοιχεία για αγωγό τύπου χαλκού ή αλουμινίου βάσει των τύπων που αναφέρθηκαν παραπάνω:

Είδος αγωγού	$A(\text{mm}^2)$	$d_s$ (mm)	$F$ (kg-f)	$F_{\min}$ (kg-f)
ACSR	16	2.32	84.0	10.6
	35	3.44	56.6	23.2
	50	4.11	47.4	33.1
	70	2.33	83.6	10.6
	95	2.72	71.6	14.5
Al	16	2.21	88.2	9.6
	35	3.22	60.5	20.4
	50	2.35	82.9	10.8
	70	2.78	70.0	15.2

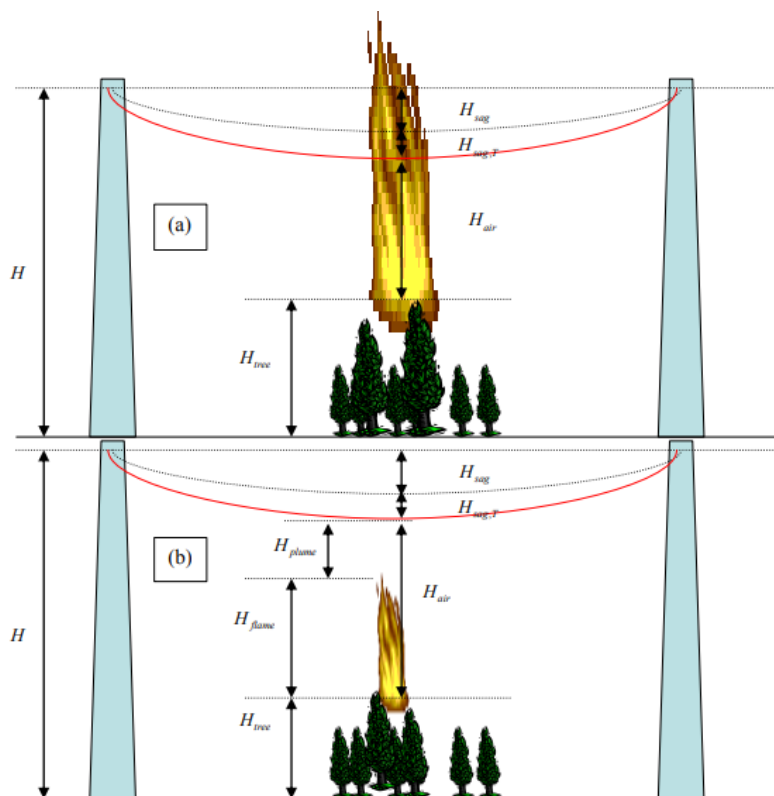
**Πίνακας 5.2:** Αναπαράσταση καταπόνησης των αγωγών χαλκού και αλουμινίου διανομής ενέργειας. [80]

### 5.5 Η εκτίμηση του πιθανού σφάλματος και της μεταβολής της θερμοκρασίας σε μια εναέρια γραμμή μεταφοράς

Όπως έχει ήδη αποσαφηνιστεί, μια πυρκαγιά είναι υπαίτια για τις πιο πολλές βλάβες σε ένα δίκτυο γραμμών μεταφοράς υψηλής τάσης. Η παρακάτω μελέτη αποσκοπεί στην ποσοτικοποίηση και την πρόληψη σφαλμάτων σε γραμμές μεταφοράς, συμπεριλαμβάνοντας την πρόκληση πυρκαγιάς στην επιφάνεια του εδάφους και τη βλάβη στον τρόπο λειτουργίας της. Αρχικά, αξιολογούνται οι παράμετροι της πυρκαγιάς, στη συνέχεια υπολογίζεται η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου της ζημιάς και τέλος εξετάζεται ο κίνδυνος ύπαρξης ενός τέτοιου συμβάντος. Προκύπτουν αρκετές κατηγορίες σφαλμάτων που δυσχεραίνουν την προσπάθεια μεταφοράς και αλλοιώνουν τα χαρακτηριστικά τους.

Ο βασικότερος τρόπος εξάλειψης ενός τέτοιου φαινομένου, είναι η διάσπαση του διακένου αέρα όταν βρίσκεται μια πυρκαγιά στην αφετηρία της. Ο αέρας, απομακρύνει τους υπό τάση αγωγούς και της επιφάνειας του εδάφους, όμως οι συνθήκες του αέρα μπορούν να μεταβληθούν και να προξενήσουν μια ηλεκτρική βλάβη. Επιπρόσθετα, σε κάποιες χώρες έχει επινοηθεί ένα δορυφορικό σύστημα παρακολούθησης για τον προσδιορισμό μιας πυρκαγιάς κοντά στη γραμμή. Με τον τρόπο αυτό, διακόπτεται η λειτουργία της πριν αναπτυχθεί αυξημένη θερμοκρασία και συνεπώς πυρκαγιά.

Η ανάπτυξη μιας πυρκαγιάς πηγάζει από την χωροταξική της θέση και την αντίστοιχη τοποθέτηση των γραμμών παράλληλα με το έδαφος. Όταν η απόσταση των γραμμών είναι μεγαλύτερη από την απόσταση ασφαλείας, οι γραμμές δεν θα εμφανίσουν κάποιο σφάλμα. Στην παρακάτω εικόνα, αποτυπώνεται η θεωρητική απόσταση που οφείλουν να έχουν οι γραμμές από το έδαφος για την ομαλή λειτουργία τους:



Εικόνα 5.7: Απεικόνιση (a) της εισχώρησης της φωτιάς εντός των γραμμών και (b) της τοποθέτησης της φωτιάς κάτω από τις γραμμές. [81]

Το συνολικό ύψος των γραμμών καλείται  $H$ , η κλίση του αγωγού  $H_{sag}$  και το ύψος της φωτιάς  $H_{flame}$  που τοποθετείται στο μεσαίο κομμάτι των γραμμών και η απόσταση μεταξύ αγωγών και γείωσης να είναι πιο μικρή από την πτώση. Εξαιτίας της θερμότητας, η θερμοκρασία συμβολίζεται με  $H_{sag, T}$ . [82]

Με βάση την Εικόνα 5.7 – (a), στο στρώμα αέρα από τον αγωγό έως το δέντρο και εντός των αγωγών έχει εισχωρήσει φωτιά. Για την ένταση ηλεκτρικού πεδίου της διάσπασης στη φωτιά  $E_f$  (kV/m) και τις τάσεις διάσπασης του κενού  $U_{c-t}$  και των αγωγών  $U_{c-c}$  ισχύει ότι:

$$H_{air} > U_{c-t} / E_f, D > U_{c-c} / E_f \quad (5-21)$$

Με βάση την Εικόνα 5.7 – (b), στο στρώμα αέρα από τον αγωγό έως το δέντρο και εντός των αγωγών έχει εισχωρήσει ως ένα βαθμό η φωτιά. Για τη μέση ένταση ηλεκτρικού πεδίου της διάσπασης στη φωτιά  $E_s$  (kV/m) και τις τάσεις διάσπασης του κενού  $U_{c-t}$  και των αγωγών  $U_{c-c}$  ισχύει ότι:

$$H_{air} > H_{flame} + (U_{c-t} - E_f H_{flame}) / E_s, D > U_{c-c} / E_s \quad (5-22)$$

Η ένταση του πεδίου διάσπασης στον αέρα υπολογίζεται από 280 έως 340 kV/m, ενώ από 90 έως 120 kV/m στη φωτιά. Η συγκεκριμένη ένταση περιγράφεται από τη σχέση:

$$E_s = E_a T_a / T_s \quad (5-23)$$

Όπου:  $E_a$ , η ένταση του πεδίου διάσπασης στο διάκενο αέρα ( $E_a = 250$  kV/m όταν ο αέρας είναι 15 °C),

$T_s$ , η θερμοκρασία της πυρκαγιάς στον αγωγό,

$E_f$ , η ένταση του πεδίου διάσπασης.

Η θερμοκρασία κατά την εξέλιξη της πυρκαγιάς περιγράφεται από τη σχέση:

$$\Delta T = B I_L^{2/3} / z \Rightarrow I_L = 273 L_{flame}^{2.17} \quad (5-24)$$

Όπου:  $\Delta T$ , η αύξηση της θερμοκρασίας,

$B$ , ο συντελεστής συσχέτισης ( $B = 4,47 \text{ K} \cdot \text{m}^{5/3} \cdot \text{kW}^{-2/3}$ ),

$z$ , το ύψος πάνω από το έδαφος,

$I_L$ , η ένταση της γραμμής κατά τη φωτιά.

Υστερα, γίνεται λόγος για την πρόληψη των μεταβολών της θερμοκρασίας που δημιουργείται εξαιτίας της θερμικής περιγραφής ενός ηλεκτροθερμικού ζητήματος. Το κύριο κομμάτι του χάλυβα και το αλουμίνιο των εναέριων γραμμών μεταφοράς, διαθέτουν ικανοποιητική ταξινόμηση της θερμοκρασίας στη διατομή τους. [83]

Για τον υπολογισμό της μεταφοράς θερμότητας στο σύνολό τους ισχύει ότι:

$$C_v \pi r_1^2 \frac{dT}{dt} + h2\pi r_1(T - T_\infty) = P(t). \quad (5-25)$$

Όπου:  $C_v$ , η ειδική θερμότητα ανά μονάδα όγκου (σε  $J / m^3 K$ ),

$T_\infty$ , η θερμοκρασία περιβάλλοντος (σε *Kelvin*).

Η μέση τιμή του θερμικού φορτίου υπολογίζεται από τη σχέση:

$$p(t) = I^2(t) \operatorname{Re}\{Z_{AC}\} \text{ [W/m]}. \quad (5-26)$$

Η φασματική συνιστώσα της θερμοκρασίας είναι ανεξάρτητη από την θερμική αντίσταση όσο το σύστημα είναι γραμμικό, οπότε για τον κανονικοποιημένο μετασχηματισμό Fourier (FT) της θερμοκρασίας,  $T(j\omega)$  σε °C έχουμε ότι:

$$T(t) = \Delta t \int_{-\infty}^{+\infty} T(j\omega) e^{+j\omega t} df \quad (5-27)$$

Η επιβράδυνση των πρώτων  $N$  αρμονικών που αντιπροσωπεύουν μια περίοδο 24 ωρών εκφράζεται ως:

$$\omega = \frac{2\pi}{\frac{24 \text{ h}}{n} \times \frac{3600 \text{ s}}{\text{h}}} \text{ [rad/s]}, \quad n = 1, \dots, N. \quad (5-28)$$

Τέλος, για την αρμονική θερμοκρασίας  $x$  προκύπτει ότι:

$$t_{dl}(\omega) = -\frac{\arg\{Z_{th}\}}{\omega} \text{ [s]}. \quad (5-29)$$

[83]

## 5.6 Η ελαχιστοποίηση των Φαινομένων Corona και η διάσπαση διακένων αέρα ράβδου – πλάκας από επαναλαμβανόμενες τάσεις

Έχοντας αναλύσει διεξοδικά στο προηγούμενο κεφάλαιο το σύνολο των επιπτώσεων κατά τη διεξαγωγή του φαινομένου Corona σε περιβάλλον πυρκαγιάς κοντά σε γραμμές μεταφοράς, αποτυπώνονται οι τρόποι αξιολόγησης του φαινομένου και της διάσπασης των διακένων αέρα ράβδου-πλάκας. Για μεγαλύτερη διάμετρο της ράβδου, το μήκος του διακένου είναι αυξανόμενο, το πεδίο της θεωρείται ανομοιογενές και συνεπώς με την έλλειψη του φαινομένου Corona ενισχύεται η τάση διάσπασης. Επιπλέον, σημειώνεται άνοδος της τάσης διάσπασης με την ορθή μόνωση της ράβδου και περιορίζονται οι επιπτώσεις του φαινομένου Corona.

Ένα από τα πληρέστερα μονωτικά σύνολα, εκπροσωπούν τα διάκενα αέρα επειδή διαθέτουν σημαντικά εξαρτήματα με υψηλή ανθεκτικότητα στις υψηλές τάσεις όπως ο διακόπτης και οι αποστάσεις εντός των γραμμών μεταφοράς. Σχετικά παραδείγματα κενών αέρα είναι η σφαίρα-σφαίρα, η ράβδος-ράβδος, η ράβδος-πλάκα και το σημείο-πλάκα εξαιτίας της χαμηλής διηλεκτρικής τους αντοχής. [84]

Η τάση έναρξης, προσδιορίζεται από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες και την τυπική απόκλιση. Με αντίσταση  $R = 0,2 \text{ cm}$ , οι τάσεις έναρξης κυμαίνονται από 40 kV έως και 240 kV. Επίσης, ο συντελεστής συσχέτισης είναι αξιόπιστος και αμετάβλητος από την ακτίνα κορυφής. Δηλαδή, η επιρροή της ακτίνας είναι μεγαλύτερη στην αρνητική πολικότητα. Για την τετραγωνική μορφή της σχέσης φορτίου-τάσης ισχύει ότι:

$$\begin{aligned} Q_i &= k \cdot U_i \cdot (U_i - U_c) \\ Q_i &= k' \cdot (U_i - U_c)^n. \end{aligned} \quad (5-30)$$

Τα ζεύγη παραμέτρων  $(k, U_c)$  και  $(k', U_c')$  διατυπώνονται με μη γραμμική παλινδρόμηση.

Η 1<sup>η</sup> εξίσωση το ποσοστό της διακύμανσης προσεγγίζεται στη μονάδα ιδιαίτερα στη θετική πολικότητα. Η 2<sup>η</sup> εξίσωση αποδίδει τον συντελεστή αναλογίας της διακύμανσης μεγαλύτερο από 0,93 και κοντά στο 2 για θετική και αρνητική πολικότητα. Η συσχέτιση των μεταβλητών  $k$  και  $U_c$  για  $R = 0,2 \text{ cm}$  για θετική και αρνητική πολικότητα είναι:

$$\begin{aligned} k_+ &= 0.8 \cdot U_c + 18.2, \\ k_- &= 0.5 \cdot U_c - 0.7, \end{aligned} \quad (5-31)$$

Τα  $k_+$  και  $k_-$  υπολογίζονται σε  $pC \text{ kV}^{-2}$  και η τάση  $U_c$  σε  $kV$ .

[85] [86]

Ένα μέρος του σφαιριδίου αποτελείται από τις  $R$  και  $L$  και την ημιγωνία  $\alpha$  που τοποθετείται στο υψηλότερο σημείο του. Για την ηλεκτρική ροή ( $E_s$ ) και την κατανομή φορτίου όγκου  $\rho$  προκύπτει ότι:

$$\begin{aligned} \Phi(E_s) &= \int_{S_i} \vec{E}_s \cdot d\vec{S} + \int_{S_e} \vec{E}_s \cdot d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon_0} \int_V \rho \cdot dV, \\ \Rightarrow E_s &= \frac{A}{2\epsilon_0} \end{aligned} \quad (5-32)$$

Το ολικό απορριπτόμενο πραγματικό φορτίο  $Q_c$  θα είναι:

$$Q_c = \frac{A \cdot \Omega}{2} (L^2 - R^2), \quad \Rightarrow \quad \Omega = 2\pi(1 - \cos(\alpha)) \quad (5-33)$$

Το συνολικό φορτίο που εμφανίζεται στο ηλεκτρόδιο  $Q_i$  μαζί με ένα επαγόμενο φορτίο  $Q_e$  συγκροτούν το φορτίο του αέρα  $Q_c$ . Αναλυτικότερα:

$$Q_e = A \cdot \Omega \cdot R \cdot (L - R'). \quad (5-34)$$

$$Q_i = Q_c - Q_e = E_s \cdot \varepsilon_0 \cdot \Omega \cdot (L - R')^2. \quad (5-35)$$

Με την παραδοχή ότι το ηλεκτρικό πεδίο παραμένει αμετάβλητο, η επιφάνεια  $S_e$  καλείται ως επιφάνεια ισοδυναμικού οπότε: [87] [88]

$$(L - R') = \frac{U_i - U_L}{E_s}$$
$$Q_i = \frac{\varepsilon_0 \cdot \Omega}{E_s} (U_i - U_L)^2, \quad (5-36)$$

Όπου  $U_L$ , το δυναμικό της επιφάνειας  $S_e$ .

Από τον νόμο Maxwell – Ampere, γνωρίζουμε ότι:

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \mu_0 \cdot I + \mu_0 \cdot \varepsilon_0 \cdot \frac{\partial \Phi_E}{\partial t} \quad (5-37)$$

Όπου αριστερά αναλύεται το ολοκλήρωμα γραμμής του μαγνητικού πεδίου για μια κλειστή καμπύλη  $C$ , ενώ δεξιά το ολικό ρεύμα που περιλαμβάνει ένα σταθερό ρεύμα επιφάνειας  $S$ , ένα ρεύμα εξαρτώμενο από την μεταβολή της ηλεκτρικής ροής πολλαπλασιαζόμενο επί  $\mu_0$  και τη μαγνητική διαπερατότητα του κενού. Οπότε το συνολικό ρεύμα συμβολίζεται με  $I$  και έχουμε ότι:

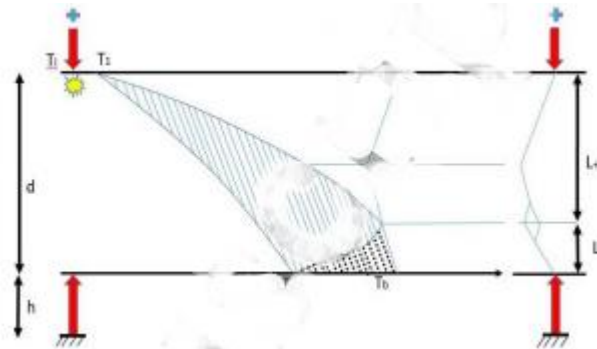
$$I = \varepsilon_0 \cdot \frac{\partial E_L}{\partial t} \cdot S_e, \quad (5-38)$$

[89] [90]

### 5.7 Η διηλεκτρική αντοχή σε μεγάλα διάκενα και η μόνωση του αέρα σε κοντινές εναέριες γραμμές μεταφοράς

Στην παρούσα παράγραφο κρίνεται απαραίτητη η ανάλυση θετικής εκκένωσης που λαμβάνει χώρα σε κενά αέρα μεγάλης απόστασης, με την περιγραφή μιας θεωρίας που προσεγγίζει την τάση  $U_{50}$  και τον συντελεστή  $k$ . Η μελέτη αυτή, ασχολείται με την μέτρηση του ηλεκτρικού πεδίου όταν αυτό εκφορτίζεται σταδιακά. Σημαντικό ρόλο στην ακόλουθη έρευνα κατείχε η γεωμετρία των ηλεκτροδίων, επειδή καθορίζει την πιο γρήγορη διάσπαση του διακένου που αντιπροσωπεύει το διάκενο ράβδου - επίπεδου. [91] [92]

Στο θετικό τμήμα ενός διακένου ράβδου-επίπεδου, το ηλεκτρικό πεδίο ονομάζεται αποκλίνον πεδίο, ξεκινάει από τη ράβδο και καταλήγει στο επίπεδο. Εξαιτίας της συμμετρικής περιστροφής του γύρω από τον άξονα, έχει αρκετές ωφέλειες και μεταβάλλεται από την ακτίνα καμπυλότητας της ράβδου και την απόσταση ράβδου-επίπεδου. Για τα διάκενα ράβδου-ράβδου, το ηλεκτρικό πεδίο δέχεται υψηλές τιμές σε κοντινή απόσταση από τα ηλεκτρόδια για να δημιουργεί συνθήκες προεκφόρτισης στην άνοδο και την κάθοδο. [93] [94]



**Εικόνα 5.8:** Αναπαράσταση μιας διάσπασης σε διάκενο αέρα ράβδου-ράβδου θετικής πολικότητας. [95] [96] [97] [98]

Εφόσον το ηλεκτρικό πεδίο δημιουργεί καταλυτικό ρόλο στην ανάπτυξη εκκενώσεων εντός μεγάλων αποστάσεων με κενό αέρα, η μαθηματική του έκφραση σε ένα τυχαίο σημείο M αποτυπώνεται ως:

$$E_p = 1.8 \frac{U_j}{(D - L_z)} \frac{R_e + 0.5(D - L_z)}{R_e} \quad (5-39)$$

Όπου:  $E_p$ , το πεδίο του ισοδύναμου ηλεκτροδίου,

$U_j$ , η τάση του ισοδύναμου ηλεκτροδίου. [99]

Για την μεταβαλλόμενη ακτίνα  $R_e$  ισχύει ότι:

$$R_e = \frac{U_j * 0.25}{U_{j0} (1 + \frac{3.5}{L})} + R_e e^{-\left(\frac{L_z}{13.6 R_i}\right)} \quad (5-40)$$

Όπου:  $R_i$ , η αρχική ισοδύναμη ακτίνα μόλις εκδηλωθεί το φαινόμενο Corona,

$U_{j0}$ , η εφαρμοζόμενη τάση ώστε το πεδίο να ισούται με το κρίσιμο πεδίο  $E_c$ ,

$\delta$ , η πυκνότητα του παράγοντα αέρα. [100]



Για την τάση U<sub>50</sub> ισχύει ότι:

$$U_{50} = k 1080 \ln (0.46 D + 1) \quad (5-41)$$

Η μεταβολή στο μέγεθος του φορτίου πραγματοποιείται από τη χρονική διάρκεια που θέλει μια ώθηση έως τη μέγιστη τιμή του. Δηλαδή με την αύξηση της χρονικής διάρκειας, εντείνεται το μέγεθος της φόρτισης που παράγεται. Ο χρόνος που απαιτείται για την απόκτηση μέγιστης τιμής θα είναι:

$$T_{\sigma}(\text{min}) = T_{\sigma}(\text{crit}) = (50 - 35[k - 1])d \quad [\mu\text{s}] \quad (5-42)$$

Όπου: **d**, το διάκενο (σε μέτρα),

**k**, ο συντελεστής διάκενου για τον οποίο ισχύει ότι:

$$k = \frac{V_{50\%}(\text{config})}{V_{50\%}(\text{rod-plane})} \quad (5-43)$$

Για το διάκενο ράβδου-επίπεδου με χαμηλότερη τάση,  $k = 1$ . [101]

Για την μικρότερη τιμή της ισχύος διάσπασης του αέρα σε συνθήκες ξηρού αέρα με

$T_{cr} = T_{cr}(\text{crit})$ :

$$V_{50}(\text{min}) = V_{50}(\text{crit}) = k \frac{3400}{1 + \frac{8}{d}} \quad [\text{kV}] \quad (5-44)$$

Η επιρροή της υγρασίας του αέρα είναι ιδιαίτερα έντονη σε περιπτώσεις θετικών ροών που εμφανίζονται προεκφορτώσεις κατά τη διάρκεια διάσπασης. Για τα στρώματα κενού αέρα μη ομοιογενούς μορφής, δημιουργείται ο πιο αυξημένος συντελεστής υγρασίας  $\varepsilon \sim 1-1,3\%/g/m^3$ .

$$V_h = V_{11} \left[ 1 + \frac{\varepsilon}{100} (h - 11) \right] \quad (5-45)$$

Όπου: **V<sub>h</sub>**, η τάση σε υγρασία **h**,

**V<sub>11</sub>**, η βελτιωμένη τάση σε τυπική πυκνότητα αέρα 11 g/m<sup>3</sup>,

Η πίεση ισούται με 1013 mbar και η αντίστοιχη θερμοκρασία με 293 K,  $0,5 \text{ m} \leq d \leq 8 \text{ m}$  και  $5 \text{ g/m}^3 \leq h \leq 20 \text{ g/m}^3$ . [102]

Τέλος, ο συντελεστής διόρθωσης υγρασίας δίνεται από τη σχέση:

$$K_h = \frac{V_h}{V_{11}} = 1 + \frac{\varepsilon}{100} (h - 11) \quad (5-46)$$

## **6. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup> : Η εξαγωγή αποτελεσμάτων μέσω ενός Κώδικα Matlab – Δοκιμή πειραματικών μετρήσεων**

Κλείνοντας τη συγκεκριμένη μελέτη με το κεφάλαιο αυτό, οφείλουμε να παρατηρήσουμε ότι υπάρχει μια πληθώρα μαθηματικών τύπων που αναλύουν την πρόκληση μιας πυρκαγιάς σε γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και την ύπαρξη βραχυκυκλωμάτων στους αγωγούς. Ύστερα από την διεξοδική τους περιγραφή στα προηγούμενα κεφάλαια, θα συνδυαστούν ορισμένοι τύποι από κάθε περίπτωση, θα δοθεί ένα εύρος τιμών και θα εξαχθούν συγκεκριμένα αποτελέσματα με τις απαραίτητες γραφικές απεικονίσεις. Η διαδικασία αυτή υλοποιείται μέσω ενός κώδικα Matlab, όπου με την καταγραφή κάποιων βασικών εξισώσεων θα προκύψουν τα προαναφερόμενα συμπεράσματα. Αξίζει να σημειωθεί ότι στο Παράρτημα Α, εμφανίζεται ο κώδικας που έχει δημιουργηθεί και στον οποίον μπορούν να δοθούν οποιαδήποτε ζευγάρια τιμών ικανοποιούν το εύρος που έχει οριστεί. Τονίζεται ότι τόσο οι τιμές που αποδόθηκαν όσο και τα αποτελέσματα που εξάγονται ακολουθούν το σύστημα (SI).

### **6.1 Η επιλογή μαθηματικών μοντέλων για την κατασκευή του Κώδικα Matlab**

Στη συνέχεια, θα επιλεχθούν ορισμένες βασικές αναλύσεις από τα κεφάλαια 3 , 4 και 5 και θα αποδοθούν συγκεκριμένες – ενδεικτικές τιμές με στόχο να δημιουργηθεί ένα αντίστοιχο συμπέρασμα. Παράλληλα θα περιγραφεί ο λόγος και οι βασικοί παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν για κάθε σχέση που συνεισφέρει στην κατασκευή του συγκεκριμένου κώδικα.

Σύμφωνα με το 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο, επιλέχθηκαν για την εξέταση ύπαρξης ή μη βραχυκυκλώματος οι σχέσεις που περιγράφουν τα όρια που διαθέτουν οι αγωγοί έως ότου διαβρωθούν και δημιουργήσουν στο δίκτυο διανομής βραχυκύκλωμα. Αναλυτικότερα, κρίνεται σημαντική η αύξηση της μεταβολής της θερμοκρασίας των αγωγών το χρονικό διάστημα πριν σημειωθεί βραχυκύκλωμα. Όταν προκύψει βραχυκύκλωμα, τα εκκρινόμενα σωματίδια προσπίπτουν στην επιφάνεια του εδάφους με μια υπολογιζόμενη ταχύτητα, σε οριζόντιο και κάθετο επίπεδο, σε συνδυασμό με το ύψος και τον χρόνο πτώσης τους με συνέπεια την πιθανότητα πρόκλησης πυρκαγιάς. Επιπλέον προσδιορίζεται το σύνολο των αντιστάσεων που διαθέτει το δίκτυο και με τις απαραίτητες τιμές σε περίπτωση βραχυκυκλώματος, ελέγχονται αν δημιουργούνται καταστροφές και στα υπόλοιπα εξαρτήματα του δικτύου (όπως γεννήτριες και μετασχηματιστές). Στη συνέχεια, γνωστοποιείται η τιμή του ενεργού ρεύματος ως προς τη γη και η παραγόμενη θερμική ισχύς μαζί με τις παραμέτρους της με στόχο την εξαγωγή αποτελεσμάτων σχετικά με την υπάρχουσα θερμοκρασία στο έδαφος από έναν αγωγού αλουμινίου. Η θερμική ισχύς με τη σειρά της αποτελείται από τη εκπεμπόμενη συναγωγή και ακτινοβολία, οπότε γνωρίζοντας τα μεγέθη αυτά και μαζί με τη θερμοκρασία της επιφάνειας κατανοούμε πλήρως αν τα σωματίδια θα προξενήσουν περαιτέρω καταστροφές στην περιοχή. Κατά την εμφάνιση πυρκαγιάς από ένα προκύπτων βραχυκύκλωμα, μελετάται αργότερα η ταχύτητα εξέλιξης της πυρκαγιάς, η θερμική ένταση συναρτήσει του ύψους της και η συνολική προσπίπτουσα θερμότητα στον αγωγό έως την καταστροφή του. Ολοκληρώνοντας το συγκεκριμένο τμήμα υπολογισμού, προσδιορίζονται ορισμένα μεγέθη του εδάφους όταν διαταράσσεται η ισορροπία του με την αποβολή σωματιδίων από τους αγωγούς. Δηλαδή, λαμβάνονται τιμές σχετικά με τις κατηγορίες θερμότητας λόγω ανύψωσης της θερμοκρασίας της βιομάζας συγκριτικά με τη θερμοκρασία ανάφλεξης.

Στην περίπτωση που επιτυγχάνεται η αποτροπή βραχυκυκλώματος κρίνεται σαφές ότι οι παραπάνω υπολογισμοί δεν υφίστανται επειδή δεν προκαλείται πυρκαγιά στο δίκτυο διανομής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, ο κώδικας να τερματίζεται και να παραπέμπει τη λειτουργία του σε θεωρητικούς υπολογισμούς που περιγράφουν τα είδη βραχυκυκλώματος και τους τρόπους που εισχωρούν στο σύστημα. Πιο συγκεκριμένα με την απόδοση τιμών στις παραμέτρους του κώδικα, υπολογίζεται το ονομαστικό, το εναλλασσόμενο και το κρουστικό ρεύμα βραχυκύκλωσης καθώς και το συμμετρικό και εναλλασσόμενο τμήμα βραχυκύκλωσης. Επιπρόσθετα, προσεγγίζεται η θεωρητική αύξηση της θερμοκρασίας στο βραχυκύκλωμα και το σύνολο των αντιστάσεων μέχρι τη θέση του σφάλματος. Η συγκεκριμένη διαδικασία, ωφελεί στον τρόπο αποφυγής βραχυκυκλωμάτων στο δίκτυο και αξιολόγησης του εδάφους και των περιβαλλοντικών του συνθηκών κατά την κατασκευή ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.

Σύμφωνα με το 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο, επιλέχθηκαν σχέσεις για την εξέταση ύπαρξης ή μη πυρκαγιάς στις γραμμές μεταφοράς και διανομής. Η περίπτωση αυτή έχει υπόσταση όταν έχει προκύψει νωρίτερα βραχυκύκλωμα και έχουν μετρηθεί τα παραπάνω μεγέθη. Αρχικά, υπολογίζεται η τάση των σχηματιζόμενων ηλεκτρικών τόξων επειδή καθορίζει την υγρασία, το ύψος των γραμμών και την πυκνότητα του αέρα. Ακόμη, αντλούνται στοιχεία από τον καθορισμό της απόστασης αγωγού-γείωσης και της κάμψης γραμμής πριν και μετά τη φωτιά σε άνισα υψόμετρα με στόχο να κατανοηθεί η ανθεκτικότητα των γραμμών. Πέρα από αυτό, η δύναμη της βαρύτητας επηρεάζει την ταχύτητα και τη διατομή του σωματιδίου που αναφέρθηκαν στις αρχικές περιπτώσεις. Έπειτα, εξετάζεται το προσδόκιμο ζωής της γραμμής σε συνθήκες ανάφλεξης της συνδυαστικά με το ηλεκτρικό πεδίο και την επιθυμητή τάση λίγο πριν την έναρξη του φαινομένου Corona με στόχο την αποφυγή του. Ύστερα, εσπεύεται το ύψος της φλόγας που εκπροσωπεί το κατακόρυφο μήκος της γραμμής, η θέση της γραμμής και η εκπεμπόμενη ισχύς ακτινοβολίας και μετά η πιθανότητα αστοχίας της γραμμής κατά την εξέλιξη της πυρκαγιάς συνδυάζοντας όλους τους εξωτερικούς παράγοντες. Ο σχηματισμός κατακόρυφης φλόγας είναι μια πιο σπάνια περίπτωση αλλά ταυτόχρονα κρίνεται πιο δύσκολα αντιμετωπίσιμη για αυτό και αποτυπώνεται στον κώδικα. Από την άλλη, οι πιθανότητες που έχουν αναφερθεί συμπεριλαμβάνουν το σύνολο των επιπτώσεων που δημιουργεί η καύση των γραμμών στο σύστημα διανομής, στο περιβάλλον και στον άνθρωπο.

Σύμφωνα με το 5<sup>ο</sup> κεφάλαιο, επιλέχθηκαν σχέσεις για τον τρόπο αντιμετώπισης βραχυκυκλωμάτων στους αγωγούς των δικτύων και κατά συνέπεια πυρκαγιών στις γραμμές μεταφοράς. Επιπλέον, για την δήλωση των 2 περιπτώσεων, που αποτελούν το κύριο μέρος του κώδικα, υπάρχουν κάποιες συνθήκες που τις αντιπροσωπεύουν. Αν εκπληρώνονται όλες κατά σειρά, υπολογίζονται κάποια τελικά μεγέθη που αφορούν τους τρόπους αντιμετώπισης τέτοιων καταστάσεων. Πρώτα από όλα, αναφέρονται τα ισοζύγια θερμότητας τα οποία πρέπει να διατηρούνται με μεγάλη ακρίβεια και οι αποστάσεις για να διατηρείται με ακεραιότητα η μόνωση, ενώ παράλληλα να ελαχιστοποιείται η κινητική ενέργεια του εκρηγνόμενου σωματιδίου και η ασκούμενη δύναμη για την αποκόλληση του αγωγού. Επιπλέον, καταγράφεται ο συσχετισμός μεταξύ φορτίου και τάσης και υπολογίζονται οι παράμετροι για το διάκενο του αέρα (δηλαδή τα επίπεδα τάσης, ο συντελεστής διακένου και το συνολικό φορτίο ηλεκτροδίων που καταλαμβάνεται από τον αέρα).

## 6.2 Ο συνδυασμός μαθηματικών μοντέλων για την εξαγωγή αποτελεσμάτων από τον Κώδικα Matlab

Μετά από την επεξήγηση της σημασίας που έχουν οι συγκεκριμένες μαθηματικές αναφορές ώστε να διαχωρίζονται από το σύνολο των εξισώσεων που έχουν προσδιοριστεί, κρίνεται απαραίτητος ο συσχετισμός τους και η διεξοδική περιγραφή των παραμέτρων. Με βάση τον κώδικα ισχύει ότι:

Στην αρχή για την λειτουργία του κώδικα, απαιτείται η απόδοση τιμών στα παρακάτω μεγέθη:

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ	ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ
<b>I<sub>d</sub></b>	ρεύμα βραχυκυκλώματος	<b>R<sub>t</sub></b>	ωμική αντίσταση του μετασχηματιστή
<b>I<sub>sw</sub></b>	αρχικό συμμετρικό ρεύμα βραχυκυκλώματος	<b>X<sub>t</sub></b>	επαγωγική αντίσταση του μετασχηματιστή
<b>k<sub>m</sub> = 0,0135</b>	σταθερά (δίνεται από κώδικα)	<b>l</b>	μήκος της γραμμής
<b>T</b>	συντελεστής χρόνου	<b>I<sub>f</sub></b>	ρεύμα ασφαλείας
<b>t</b>	διάρκεια του βραχυκυκλώματος	<b>r<sub>l</sub></b>	εσωτερική ωμική αντίσταση της γραμμής
<b>D<sub>c</sub></b>	διάμετρος του αγωγού	<b>r<sub>t</sub></b>	εσωτερική ωμική αντίσταση του μετασχηματιστή
<b>A = πi x D<sub>c</sub><sup>2</sup> / 4</b>	διατομή του αγωγού	<b>x<sub>l</sub></b>	εσωτερική επαγωγική αντίσταση της γραμμής
<b>a</b>	θερμικός συντελεστής αντίστασης	<b>x<sub>t</sub></b>	εσωτερική επαγωγική αντίσταση του μετασχηματιστή
<b>s</b>	αγωγιμότητα	<b>d</b>	ύψος γραμμής πάνω από τη γη
<b>ρ<sub>h</sub></b>	πυκνότητα του αγωγού	<b>S<sub>n</sub></b>	ονομαστική ισχύς μετασχηματιστή
<b>c</b>	θερμοχωρητικότητα	<b>U<sub>n</sub></b>	ονομαστική τάση βραχυκυκλώματος
<b>R<sub>l</sub></b>	ωμική αντίσταση της γραμμής	<b>u<sub>k</sub></b>	ονομαστική τάση επαγωγικής αντίστασης βραχυκυκλώματος του μετασχηματιστή
<b>X<sub>l</sub></b>	επαγωγική αντίσταση της γραμμής	<b>u<sub>r</sub></b>	ονομαστική τάση ωμικής αντίστασης βραχυκυκλώματος του μετασχηματιστή
<b>I<sub>n</sub></b>	ονομαστικό ρεύμα	<b>g = 9,81</b>	σταθερά (δίνεται από κώδικα)

**Πίνακας 6.1:** Επεξήγηση παραμέτρων για την εισαγωγή επιθυμητών τιμών στον κώδικα Matlab.

Ο κώδικας λαμβάνει τις επισυναπτόμενες τιμές που δίνονται (εκτός από τις 2 περιπτώσεις με τις σταθερές) και προχωράει με τη διαδικασία υπολογισμού της θερμοκρασίας  $D_{\text{theta}}$  κατά την εμφάνιση βραχυκυκλώματος.

Υστερα, υπολογίζει τις μεταβλητές  $Z_1$  και  $Z_i$ , δηλαδή τις σύνθετες αντιστάσεις της γραμμής μεταφοράς και του μετασχηματιστή του δικτύου που προκύπτουν από την ανάμιξη των επιμέρους αντιστάσεων που δηλώθηκαν προτύτερα.

Εάν η χρονική διάρκεια του βραχυκυκλώματος  $t$  είναι μικρότερη από τη μονάδα και ο συντελεστής χρόνου  $T$  κυμαίνεται 0,15 έως και 0,6 (όπως έχει οριστεί στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο), εξάγεται η τιμή της θερμοκρασίας κατά την εμφάνιση βραχυκυκλώματος.

Η τιμή αποθηκεύεται και ο κώδικας υπολογίζει αυτόματα την συνολική αντίσταση  $Z$  που διαθέτει το δίκτυο που εξετάζεται, εφόσον έχουν αποδοθεί νωρίτερα οι τιμές για τις 4 αντιστάσεις που χρειάζεται.

Στη συνέχεια, χρειάζεται η εισαγωγή μιας επιμέρους τιμής για τη μεταβλητή που απαιτεί ο κώδικας:

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ
<b>L</b>	μήκος της γραμμής για δίκτυο χαμηλής τάσης

**Πίνακας 6.2:** Επεξήγηση παραμέτρου για την εισαγωγή επιθυμητών τιμών στον κώδικα Matlab.

Με την εισαγωγή της τιμής αυτής και με δεδομένες τις τιμές της ονομαστικής ισχύος του μετασχηματιστή  $S_n$  και της ονομαστικής τάσης του βραχυκυκλώματος  $U_n$  εξάγεται η τιμή του ονομαστικού ρεύματος  $I_n$ .

Στο σημείο αυτό, ο κώδικας αναφέρει αν ικανοποιείται η 1<sup>η</sup> περίπτωση με τις 3 συνθήκες για την ύπαρξη ή μη βραχυκυκλώματος. Οι συνθήκες παρουσιάζονται στη συνέχεια:

$$\left\{ \begin{array}{l} 1 \leq \sqrt{\left(\frac{220}{3Z_1 I_N}\right)^2 - \left(\frac{R_1 X_1 - X_1 R_1}{Z_1^2}\right)^2} - \left(\frac{R_1 R_1 + X_1 X_1}{Z_1^2}\right) \\ I_s = \frac{R_T r_L + X_T x_L}{Z_L^2} + \sqrt{\left(\frac{230}{3I_F Z_L}\right)^2 - \left(\frac{r_L X_T + x_L R_T}{Z_L^2}\right)^2} \\ I_{sw} \leq \frac{100 \cdot I_N}{u_K} \end{array} \right. \quad (6-1)$$

Συνοπτικά το σύστημα εξισώσεων που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή της 1<sup>ης</sup> περίπτωσης από τον κώδικα αποτυπώνεται παρακάτω:

$$\left\{ \begin{array}{l} Z_L = \sqrt{R_L^2 + X_L^2} \\ Z_T = \sqrt{R_T^2 + X_T^2} \\ \Delta\theta = \frac{k_m I_d^2}{\Lambda^2} \left( t + T \left[ \frac{I_{sw}}{I_d} \right]^2 \right) \\ Z = \sqrt{(R_T + R_L)^2 + (X_T + X_L)^2} \\ I_N = \frac{S_N}{\sqrt{3} \cdot U_N} \end{array} \right. \quad (6-2)$$

Στη συγκεκριμένη κατάσταση, ο κώδικας με κύριο χαρακτηριστικό τις τιμές των Πινάκων 6.1 και 6.2, καταλήγει:

- i. Στην μη ύπαρξη βραχυκυκλώματος, οπότε δεν λαμβάνονται περαιτέρω μετρήσεις ούτε εξετάζεται η περίπτωση πρόκλησης πυρκαγιάς στις γραμμές μεταφοράς και υπολογίζονται ορισμένοι θεωρητικοί υπολογισμοί που αφορούν το βραχυκύκλωμα και τον τρόπο αποφυγής του.

Από τον κώδικα προκύπτει ότι:

Αρχικά, με δεδομένες τις τιμές της ονομαστικής ισχύος του μετασχηματιστή  $S_n$ , της ονομαστικής τάσης του βραχυκυκλώματος  $U_n$  και της ωμικής αντίστασης βραχυκυκλώματος του μετασχηματιστή  $u_r$  εξάγεται η τιμή της συνολικής ωμικής αντίστασης  $R$ .

Με παρόμοια διαδικασία εφόσον έχουν αποδοθεί οι προαναφερόμενες τιμές και με δεδομένη τιμή την ονομαστική τάση επαγωγικής αντίστασης βραχυκυκλώματος του μετασχηματιστή  $u_k$  εξάγεται η τιμή της συνολικής επαγωγικής αντίστασης  $X$ .

Εφόσον έχουν υπολογιστεί η συνολική ωμική και επαγωγική αντίσταση εξάγεται η τιμή του εναλλασσόμενου ρεύματος βραχυκύκλωσης  $I_{ac-sw}$  και ύστερα χρειάζεται η εισαγωγή μιας επιμέρους τιμής για τη μεταβλητή που απαιτεί ο κώδικας:

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ
$I_g$	ρεύμα της γεννήτριας

**Πίνακας 6.3:** Επεξήγηση παραμέτρου για την εισαγωγή επιθυμητών τιμών στον κώδικα Matlab.

Με την εισαγωγή της τιμής αυτής και με δεδομένη την τιμή του εναλλασσόμενου ρεύματος βραχυκύκλωσης εισάγονται τιμές για τον συντελεστή  $\mu_d$  που δηλώνεται ως πίνακας με συνάρτηση ενός δευτερεύοντος πίνακα.

Επιπλέον, για διάφορες τιμές του συντελεστή  $\mu_d$  και με την προκύπτουσα τιμή του εναλλασσόμενου ρεύματος βραχυκύκλωσης προκύπτει ο υπολογισμός του εναλλασσόμενου τμήματος του ρεύματος βραχυκύκλωσης  $I_{s-sw}$ . Τέλος, για διάφορες τιμές του συντελεστή  $\kappa_1$  και με δεδομένη την τιμή του εναλλασσόμενου ρεύματος βραχυκύκλωσης εισάγονται τιμές για τον συντελεστή  $\kappa_1$  που δηλώνεται ως πίνακας με συνάρτηση ενός άλλου δευτερεύοντος πίνακα και προκύπτει ο υπολογισμός της μέγιστης τιμής του ρεύματος βραχυκύκλωσης  $I_s$ . Ο κώδικας μετά από όλες αυτές τις συνθήκες τερματίζεται και ξεκινάει από την αρχή.

Συνοπτικά το σύστημα εξισώσεων που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή της (i) υποπερίπτωσης από τον κώδικα αποτυπώνεται παρακάτω:

$$\left\{ \begin{array}{l} I_d = \mu_d I_{SW} \\ I_s = \kappa_1 \sqrt{2} I_{SW} \\ R_{OL} = u_r \cdot \frac{U_N^2}{S_N} \\ X_{OL} = \sqrt{u_k^2 - u_r^2} \cdot \frac{U_N^2}{S_N} \\ I_{SW} = \frac{1,1U_N}{\sqrt{3} \sqrt{R_{OL}^2 + X_{OL}^2}} \end{array} \right. \quad (6-3)$$

- ii. Στην ύπαρξη βραχυκυκλώματος, οπότε λαμβάνονται περαιτέρω μετρήσεις που αφορούν το βραχυκύκλωμα, εξετάζεται η περίπτωση πρόκλησης πυρκαγιάς στις γραμμές μεταφοράς και με βάση το αποτέλεσμα από τις αποδιδόμενες τιμές συμπεριφέρεται αναλόγως ο κώδικας.

Από τον κώδικα προκύπτει ότι:

Στην αρχή, ο κώδικας θα χρειαστεί να του δοθούν κάποιες τιμές με σκοπό να υπολογίσει τη συνολική μάζα του εκρηγνόμενου σωματιδίου. Οπότε, χρειάζεται η εισαγωγή 2 επιμέρους τιμών για τις μεταβλητές που απαιτεί ο κώδικας:

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ
$d_p$	διάμετρος του σωματιδίου
$rh_p$	πυκνότητα του σωματιδίου

**Πίνακας 6.4:** Επεξήγηση παραμέτρων για την εισαγωγή επιθυμητών τιμών στον κώδικα Matlab.

Με την εισαγωγή των τιμών αυτών εξάγεται η τιμή της μάζας του εκρηγνόμενου σωματιδίου  $m_p$ .

Στη συνέχεια, υπολογίζονται οι συντελεστές  $z$  και  $z_1$  οι οποίοι με δεδομένη την τιμή της μάζας του εκρηγνόμενου σωματιδίου καθώς και την τιμή της επιτάχυνσης της βαρύτητας  $g$  που δίνεται ως σταθερά από τον κώδικα (για τον συντελεστή  $z_1$ ). Τελικά, εξάγονται οι τιμές των προαναφερόμενων συντελεστών με βάση τους υπολογισμούς του κώδικα.

Ύστερα ο κώδικας θα χρειαστεί να του δοθούν κάποιες τιμές με σκοπό να ολοκληρωθεί η συνολική απόδοση τιμών για τον υπολογισμό της ταχύτητας που εκρήγνυται το σωματίδιο. Οπότε, χρειάζεται η εισαγωγή 3 επιμέρους τιμών για τις μεταβλητές που απαιτεί ο κώδικας:

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ
$u_w$	ταχύτητα του ανέμου
$c_p$	θερμοχωρητικότητα του σωματιδίου
$T_p$	πτώση της θερμοκρασίας του σωματιδίου στη βιομάζα

**Πίνακας 6.5:** Επεξήγηση παραμέτρων για την εισαγωγή επιθυμητών τιμών στον κώδικα Matlab.

Οπότε, υπολογίζονται η σχετική ταχύτητα του μεταλλικού σωματιδίου συγκριτικά με την ταχύτητα του αέρα  $u$ , το ύψος πτώσης  $H$  και η χρονική διάρκεια πτώσης  $t_p$  του σωματιδίου που καταλήγει από το δίκτυο στην επιφάνεια του εδάφους.

Ο κώδικας αργότερα θα χρειαστεί να του δοθεί κάποια τιμή με σκοπό να ολοκληρωθεί ο υπολογισμός της έντασης του ενεργού ρεύματος ως προς τη γη. Οπότε, χρειάζεται η εισαγωγή μιας επιμέρους τιμής για τη μεταβλητή που απαιτεί ο κώδικας:

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ
$R_c$	αντίσταση επαφής μεταξύ αγωγού και γείωσης

**Πίνακας 6.6:** Επεξήγηση παραμέτρου για την εισαγωγή επιθυμητών τιμών στον κώδικα Matlab.



Οπότε, υπολογίζεται το ενεργό ρεύμα προς τη γη με την αντίσταση επαφής μεταξύ αγωγού και γείωσης να λαμβάνει τιμές από 1 Ω έως και 3000 Ω.

Ο κώδικας θα χρειαστεί να του αποδοθεί μια επιπλέον τιμή σχετικά με την απόσταση μεταξύ 2 διαδοχικών πόλων. Οπότε, χρειάζεται η εισαγωγή μιας επιμέρους τιμής για τη μεταβλητή που απαιτεί ο κώδικας:

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ
$I_p$	απόσταση μεταξύ 2 διαδοχικών πόλων

**Πίνακας 6.7:** Επεξήγηση παραμέτρου για την εισαγωγή επιθυμητών τιμών στον κώδικα Matlab.

Η παράμετρος που εισάγεται, ορίζεται από τον περιορισμό ότι η απόσταση  $I_p$  κυμαίνεται από 10 m έως και 50 m. Σε τιμή εκτός του πεδίου ορισμού, ο κώδικας επισημαίνει το σφάλμα της τιμής και δίνει μια 2<sup>η</sup> ευκαιρία για την εισαγωγή έγκυρης τιμής. Αν συνεχιστεί η εσφαλμένη απόδοση τιμών, ο κώδικας εξάγει σφάλμα και τερματίζεται ακυρώνοντας όλους τους υπολογισμούς νωρίτερα. Στο σημείο αυτό, υπολογίζεται από τον κώδικα η μεταβλητή της επιφάνειας απαγωγής θερμότητας  $B$  συναρτήσει της απόστασης 2 διαδοχικών πόλων και της διαμέτρου του αγωγού, σύμφωνα με την τιμή που έχει οριστεί στον Πίνακα 6.1.

Με γνωστές τις μεταβλητές της επιφάνειας απαγωγής θερμότητας, της απόστασης μεταξύ 2 διαδοχικών πόλων, της αντίστασης επαφής μεταξύ αγωγού και γείωσης και της διατομής του αγωγού από τους υπολογισμούς του κώδικα λαμβάνονται τιμές για τη θερμοκρασία στο έδαφος  $D_{\theta 1}$  και την αντίστοιχη εκπεμπόμενη θερμική ισχύ  $P_a$ .

Οι τιμές του αρχικού συμμετρικού ρεύματος βραχυκυκλώματος  $I_{sw}$  και του ρεύματος βραχυκύκλωσης  $I_a$  παραμένουν ίδιες με τις τιμές που δηλώθηκαν στην αρχή και δεν υπολογίζονται περαιτέρω όπως στην περίπτωση μη ύπαρξης βραχυκυκλώματος.

Με γνωστές τις μεταβλητές του ρεύματος βραχυκύκλωσης, της διατομής του αγωγού, της διάρκειας του βραχυκυκλώματος, του θερμικού συντελεστή αντίστασης, της αγωγιμότητας, της θερμοχωρητικότητας και της πυκνότητας του αγωγού λαμβάνονται επιπρόσθετες τιμές για τη θερμοκρασία στο έδαφος  $D_{\theta 2}$ .

Ο κώδικας θα χρειαστεί να του δοθούν κάποιες τιμές με σκοπό να ολοκληρωθεί η συνολική απόδοση τιμών για τον υπολογισμό της μεταφοράς θερμότητας με συναγωγή και ακτινοβολία. Οπότε, χρειάζεται η εισαγωγή 4 επιμέρους τιμών για τις μεταβλητές που απαιτεί ο κώδικας:

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ
$f$	συντελεστής θερμικής μεταφοράς
$DT$	διαφορά θερμοκρασίας του υλικού
$e$	εκπομπή της πυρκαγιάς
$F_{1,2}$	θερμοκρασία της φλόγας του μετώπου της πυρκαγιάς

**Πίνακας 6.8:** Επεξήγηση παραμέτρων για την εισαγωγή επιθυμητών τιμών στον κώδικα Matlab.

Οπότε, υπολογίζεται η μεταφορά θερμότητας με συναγωγή  $Q_{cf}$  και ακτινοβολία  $Q_{rf}$  και λαμβάνει η καθεμιά ξεχωριστή τιμή με βάση τις παραμέτρους που ορίστηκαν πρωτύτερα στον κώδικα.

Στο σημείο αυτό, προσδιορίζεται η ταχύτητα εξέλιξης της πυρκαγιάς κατά τη διάρκεια του βραχυκυκλώματος καθώς ο κώδικας παρέχει τη δυνατότητα επιλογής 2 καταστάσεων στις οποίες βρίσκεται η επιφάνεια του εδάφους:

Σε άγρια - γλωρή βλάστηση (με την επιλογή 'wild') και συντελεστή  $k_1 = 0,07$ ,

Σε θαμνώδη – ξηρή έκταση (με την επιλογή 'wooden') και συντελεστή  $k_1 = 0,05$ .

Σε επιλογή διαφορετική από αυτές τις 2, ο κώδικας επισημαίνει το σφάλμα της τιμής και δίνει μια 2<sup>η</sup> ευκαιρία για την εισαγωγή έγκυρης τιμής. Αν συνεχιστεί η εσφαλμένη απόδοση επιλογών, ο κώδικας εξάγει σφάλμα και τερματίζεται ακυρώνοντας όλους τους υπολογισμούς νωρίτερα.

Ο κώδικας θα χρειαστεί να του αποδοθεί μια ακόμη τιμή σχετικά με την πυκνότητα του αερίου. Οπότε, χρειάζεται η εισαγωγή μιας επιμέρους τιμής για τη μεταβλητή που απαιτεί ο κώδικας:

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ
$\rho_b$	πυκνότητα του αερίου

**Πίνακας 6.9:** Επεξήγηση παραμέτρου για την εισαγωγή επιθυμητών τιμών στον κώδικα Matlab.

Επομένως, με γνωστό τον συντελεστή  $k_1$  από την επιλογή επιφάνειας εδάφους, την ταχύτητα ανέμου και την πυκνότητα του αερίου ο κώδικας υπολογίζει την τιμή της ταχύτητας εξέλιξης της πυρκαγιάς κατά τη διάρκεια του βραχυκυκλώματος  $v$ .

Για τον υπολογισμό του θερμικού χρόνου, απαιτείται ο προσδιορισμός του ύψους φλόγας  $h$  πάνω από το έδαφος ο οποίος δεν πρέπει να ξεπερνά σε μήκος τα 7 m. Δηλαδή:

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ
$h$	ύψος της φλόγας πάνω από το έδαφος

**Πίνακας 6.10:** Επεξήγηση παραμέτρου για την εισαγωγή επιθυμητών τιμών στον κώδικα Matlab.

Σε τιμή εκτός του πεδίου ορισμού, ο κώδικας επισημαίνει το σφάλμα της τιμής και δίνει μια 2<sup>η</sup> ευκαιρία για την εισαγωγή έγκυρης τιμής. Αν συνεχιστεί η εσφαλμένη απόδοση τιμών, ο κώδικας εξάγει σφάλμα και τερματίζεται ακυρώνοντας όλους τους υπολογισμούς νωρίτερα. Με γνωστή την παράμετρο αυτή, ο κώδικας προσδιορίζει τον απαιτούμενο θερμικό χρόνο  $I_{th}$ .

Για τον υπολογισμό της διαρρέουσας ακτινοβολίας  $X_r$  χρειάζεται η εισαγωγή μιας επιμέρους τιμής για τη μεταβλητή που απαιτεί ο κώδικας. Η τιμή της οφείλει να κυμαίνεται από 0,15 έως και 0,6. Δηλαδή:

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ
$X_r$	διαρρέουσα ακτινοβολία

**Πίνακας 6.11:** Επεξήγηση παραμέτρου για την εισαγωγή επιθυμητών τιμών στον κώδικα Matlab.

Σε τιμή εκτός του πεδίου ορισμού, ο κώδικας επισημαίνει το σφάλμα της τιμής και δίνει μια 2<sup>η</sup> ευκαιρία για την εισαγωγή έγκυρης τιμής. Αν συνεχιστεί η εσφαλμένη απόδοση τιμών, ο κώδικας εξάγει σφάλμα και τερματίζεται ακυρώνοντας όλους τους υπολογισμούς νωρίτερα.

Αργότερα, ο κώδικας θα χρειαστεί να του δοθούν κάποιες τιμές με σκοπό να ολοκληρωθεί η συνολική απόδοση τιμών για τον υπολογισμό της συνολικής ακτινοβολίας. Οπότε, χρειάζεται η εισαγωγή 4 επιμέρους τιμών για τις μεταβλητές που απαιτεί ο κώδικας:

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ
$\alpha_f$	γωνία της φλόγας
$l_f$	μήκος της φλόγας
$D_f$	βάθος της φλόγας

**Πίνακας 6.12:** Επεξήγηση παραμέτρων για την εισαγωγή επιθυμητών τιμών στον κώδικα Matlab.

Επομένως, με γνωστές τις μεταβλητές της διαρρέουσας ακτινοβολίας, του απαιτούμενου θερμικού χρόνου, της γωνία της φλόγας, της ταχύτητας εξέλιξης της πυρκαγιάς κατά τη διάρκεια του βραχυκυκλώματος, του μήκος της φλόγας, του ύψους πτώσης και του ύψους της φλόγας πάνω από το έδαφος προσδιορίζεται η συνιστώσα  $W_r$ , ενώ με γνωστές τις μεταβλητές του συντελεστή θερμικής μεταφοράς, του βάθους της φλόγας, της ταχύτητας εξέλιξης της πυρκαγιάς κατά τη διάρκεια του βραχυκυκλώματος, του μήκος της φλόγας, του ύψους πτώσης και του ύψους της φλόγας πάνω από το έδαφος προσδιορίζεται η συνιστώσα  $W_c$ . Από το άθροισμα των 2 συνιστωσών, ο κώδικας εξάγει εν τέλει τη συνολική ακτινοβολία.

Στη συνέχεια, ο κώδικας επικεντρώνεται στον υπολογισμό της θερμότητας εξαιτίας της κλίσης της θερμοκρασίας της βιομάζας. Για τον λόγο αυτό, χρειάζεται η εισαγωγή 9 επιμέρους τιμών για τις μεταβλητές που απαιτεί ο κώδικας:

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ
$m_{bm}$	μάζα της βιομάζας
$C_{bm}$	ειδική θερμότητα (θερμοχωρητικότητα) της βιομάζας
$C_w$	ειδική θερμότητα (θερμοχωρητικότητα) του υγρού νερού
$C_{wv}$	ειδική θερμότητα (θερμοχωρητικότητα) των υδρατμών
$T_{ig}$	θερμοκρασία ανάφλεξης της βιομάζας
$T_o$	θερμοκρασία του περιβάλλοντος
$T_{bw}$	θερμοκρασία βρασμού του νερού
$M_{bm}$	σχετική περιεκτικότητα σε υγρασία βιομάζας
$h_v$	λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης

**Πίνακας 6.13:** Επεξήγηση παραμέτρων για την εισαγωγή επιθυμητών τιμών στον κώδικα Matlab.

Επομένως, έχοντας προσδιορίσει στον κώδικα τις παραμέτρους του πίνακα 6.13, έχει την ικανότητα να υπολογίσει την προσδοκώμενη θερμότητα λόγω ανύψωσης της θερμοκρασίας της βιομάζας  $H_{ig}$ . Εκτός από την συγκεκριμένη μεταβλητή, ο κώδικας έχει τις κατάλληλες τιμές για την προσέγγιση του υπολείμματος θερμότητας  $H_p$  και των σωματιδίων  $H_{pig}$ .

Στην παρούσα κατάσταση, σύμφωνα με το πρότυπο IEEE θα πρέπει να αποδοθούν στον κώδικα ορισμένες τιμές με στόχο να εξεταστεί το ενδεχόμενο πρόκλησης πυρκαγιάς στο περιβάλλον των γραμμών μεταφοράς. Για τον λόγο αυτό, χρειάζεται η εισαγωγή 10 επιμέρους τιμών για τις μεταβλητές που απαιτεί ο κώδικας:

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ
$q_c$	ρυθμός απώλειας θερμότητας μεταφοράς
$q_r$	ρυθμός απώλειας θερμότητας ακτινοβολίας
$q_s$	ηλιακό κέρδος θερμότητας
$I_{cc}$	ρεύμα του αγωγού
$R_{TC}$	αντίσταση του αγωγού κατά τη λειτουργία σε θερμοκρασία $T_c$
$d_{ds}$	απόσταση της μόνωσης
$E_d$	ειδική πεδιακή ένταση
$\alpha_{e\_pi}$	αριθμός ελεύθερων ηλεκτρονίων και ισάριθμων θετικών ιόντων
$H_{fs}$	ύψος της φλεγόμενης περιοχής
$V_{ag}$	τάση διακένου του αέρα

**Πίνακας 6.14:** Επεξήγηση παραμέτρων για την εισαγωγή επιθυμητών τιμών στον κώδικα Matlab.

Στο σημείο αυτό, ο κώδικας αναφέρει αν ικανοποιείται η 2<sup>η</sup> περίπτωση με τις 4 συνθήκες για την ύπαρξη ή μη πρόκλησης πυρκαγιάς στις γραμμές μεταφοράς και διανομής του δικτύου. Οι συνθήκες παρουσιάζονται στη συνέχεια:

$$\left\{ \begin{array}{l} H_p \geq H_{ig} + H_{pig} \\ q_c + q_r = q_s + I^2 R_{TC} \\ d \geq (0,935 \div 0,99) U / E_d \\ \alpha d = \ln[1+(1 / \gamma l)] \end{array} \right. \quad (6-4)$$

Συνοπτικά το σύστημα εξισώσεων που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή της (ii) υποπερίπτωσης από τον κώδικα αποτυπώνεται παρακάτω:

$$m_p = \frac{D_p^3 \rho_p \pi}{6}$$

$$u = \sqrt{\frac{gm}{z_l} \left( \tanh \left[ \sqrt{\frac{gz_l}{m}} t \right] \right)^2 + u_a^2 \left( \frac{m}{m + u_a z t} \right)^2}$$

$$H = \frac{m}{z_l} \log \left( \cosh \left[ t_\pi \sqrt{\frac{gz_l}{m}} \right] \right)$$

$$t_\pi = \sqrt{\frac{m}{gz_l}} \operatorname{arccosh} \left( \exp \left[ \frac{Hz_l}{m} \right] \right)$$

$$I = \frac{U}{\sqrt{(R_L + R_T + R_C)^2 + (X_L + X_T)^2}}$$

$$P_\alpha = K B \Delta\theta \quad B \simeq \pi D_C (l_p - 10) = \pi \sqrt{4A/\pi} (l_p - 10)$$

$$\Delta\theta = \frac{I^2 R_C}{24.8 (l_p - 10) \sqrt{A}}$$

$$\Delta\theta = \frac{1}{a} \left( \exp \left( \frac{S_{th}^2 \cdot t \cdot a}{\sigma \cdot \gamma \cdot c} \right) - 1 \right)$$

$$Q_{cf} = f \cdot (T_2 - T_1) = f \cdot \Delta T \quad Q_{rf} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_2^4 \cdot F_{1-2}$$

$$\nu = \frac{k \cdot (1 + \nu_w)}{\rho_b} \quad I = 273 \cdot (h)^{2,17}$$

$$W_r = \frac{X_r \cdot I \cdot \cos \alpha}{4 \cdot v} \cdot \left[ \ln \left( \frac{\ell}{z} \right) + \ln \left( 1 + \sqrt{1 + \left( \frac{z}{\ell} \right)^2} \right) \right] \text{ (kJ/m}^2\text{)}, \quad W_c = 926 \cdot f \cdot \frac{D}{\nu} \cdot \sqrt[3]{\frac{h^{4,34}}{z^5}} \text{ (kJ/m}^2\text{)}$$

$$W = W_r + W_c.$$

$$H_{ig} = m_{bm} \left\{ c_{bm} (T_{ig} - T_o) + M_{bm} \left[ c_w (T_{bw} - T_o) + h_v + c_{wv} (T_{ig} - T_{bw}) \right] \right\}$$

$$H_p = m_p c_p (T_p - T_o)$$

(6-5)

Στη συγκεκριμένη κατάσταση, ο κώδικας με κύριο χαρακτηριστικό τις τιμές των Πινάκων 6.4 έως και 6.14, καταλήγει:

- i. Στη μη πρόκληση πυρκαγιάς, όπου ο κώδικας αποσαφηνίζει το γεγονός ότι εμφανίζεται βραχυκύκλωμα το οποίο δεν είναι ικανό να δημιουργήσει πυρκαγιά στις γραμμές μεταφοράς και διανομής του δικτύου. Στην περίπτωση αυτή, ο κώδικας τερματίζεται έχοντας υπολογίσει τα αρχικά μεγέθη έως και την 1<sup>η</sup> περίπτωση καθώς και τα μεγέθη που εξετάζονται έως και την 2<sup>η</sup> περίπτωση.
- ii. Στην πρόκληση πυρκαγιάς, όπου ο κώδικας αποσαφηνίζει το γεγονός ότι εμφανίζεται βραχυκύκλωμα το οποίο είναι ικανό να δημιουργήσει πυρκαγιά στις γραμμές μεταφοράς και διανομής του δικτύου. Στην περίπτωση αυτή, ο κώδικας εξακολουθεί να λειτουργεί προσδιορίζοντας νέα στοιχεία με νέες παραμέτρους και έχοντας υπολογίσει τα αρχικά μεγέθη έως και την 1<sup>η</sup> περίπτωση καθώς και τα μεγέθη που εξετάζονται έως και την 2<sup>η</sup> περίπτωση.

Από τον κώδικα προκύπτει ότι:

Στην αρχή, ο κώδικας θα χρειαστεί να του δοθούν κάποιες τιμές με σκοπό να υπολογίσει την τάση του ηλεκτρικού τόξου και τη σχετική πυκνότητα του αέρα. Οπότε, χρειάζεται η εισαγωγή 3 επιμέρους τιμών για τις μεταβλητές που απαιτεί ο κώδικας:

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ
$V_t$	τάση ανάφλεξης υπό πραγματικές συνθήκες
$H_{hd}$	συντελεστής διόρθωσης της υγρασίας
$P$	βαρομετρική πίεση

**Πίνακας 6.15:** Επεξήγηση παραμέτρων για την εισαγωγή επιθυμητών τιμών στον κώδικα Matlab.

Με την εισαγωγή των τιμών αυτών εξάγονται οι τιμές της τάσης του ηλεκτρικού τόξου  $V_s$  και της σχετικής πυκνότητας αέρα  $D_w$ .

Στη συνέχεια, υπολογίζεται από τον κώδικα η ελάχιστη απόσταση αγωγού-γείωσης στο μεσαίο άνοιγμα  $D_{cg}$ . Για τον λόγο αυτό, ο κώδικας θα χρειαστεί να του δοθούν κάποιες τιμές με σκοπό να ολοκληρωθεί η συνολική απόδοση τιμών. Οπότε, χρειάζεται η εισαγωγή 3 επιμέρους τιμών για τις μεταβλητές που απαιτεί ο κώδικας:

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ
$D_{basic}$	βασικό διάκενο
$D_{el}$	απαιτούμενη ηλεκτρική απόσταση
$D_{sag}$	πρόσθετο διάκενο

**Πίνακας 6.16:** Επεξήγηση παραμέτρων για την εισαγωγή επιθυμητών τιμών στον κώδικα Matlab.

Μετά από τη συγκεκριμένη διαδικασία, ο κώδικας θα διερευνήσει το ύψος κάμψης των γραμμών όταν φτάνει σε αυτές η φλόγα έως ότου κατεδαφιστούν στην επιφάνεια. Αναλυτικότερα, δεδομένες κάποιες παραμέτρους στον κώδικα, αυτός υπολογίζει τα μήκη  $s_0$ ,  $d_{01}$  και  $d_{02}$  καθώς και την υψομετρική διαφορά μεταξύ των αγωγών των 2 πυλώνων  $h_b$ . Οπότε, χρειάζεται η εισαγωγή 3 επιμέρους τιμών για τις μεταβλητές που απαιτεί ο κώδικας:

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ
$W_1$	βάρος ανά μέτρο του αγωγού
$X_{01}$	1 <sup>η</sup> οριζόντια απόσταση των 2 πυλώνων που μεγιστοποιείται
$X_{02}$	2 <sup>η</sup> οριζόντια απόσταση των 2 πυλώνων που μεγιστοποιείται

**Πίνακας 6.17:** Επεξήγηση παραμέτρων για την εισαγωγή επιθυμητών τιμών στον κώδικα Matlab.

Ο κώδικας υπολογίζει τη σχετική ταχύτητα μεταξύ του σωματιδίου και του αέρα  $V_R$  εφόσον έχουν αποδοθεί τιμή για την ταχύτητα του ανέμου και έχει υπολογιστεί η σχετική ταχύτητα του μεταλλικού σωματιδίου.

Ο κώδικας θα χρειαστεί να του δοθούν κάποιες τιμές με σκοπό να ολοκληρωθεί η συνολική απόδοση τιμών. Οπότε, χρειάζεται η εισαγωγή 2 επιμέρους τιμών για τις μεταβλητές που απαιτεί ο κώδικας:

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ
$rh_w$	πυκνότητα του αέρα
$V_{air}$	κινηματικό ιξώδες του αέρα

**Πίνακας 6.18:** Επεξήγηση παραμέτρων για την εισαγωγή επιθυμητών τιμών στον κώδικα Matlab.

Ταυτόχρονα υπολογίζεται το τεμνόμενο σωματίδιο  $A_{pi}$  με βάση τις τιμές που έχουν αποδοθεί νωρίτερα. Με την ίδια λογική υπολογίζεται ο αριθμός Reynolds  $Re$  όπου οι παράμετροι του υπολογίζονται από τις σχέσεις ή δίνονται τιμές στον κώδικα. Επιπλέον, υπολογίζεται ο συντελεστής οπισθέλκουσας  $C_D$  όταν  $Re \leq 680$ , ενώ όταν  $680 \leq Re \leq 3 \times 10^5$  ο συντελεστής οπισθέλκουσας  $C_D$  ισούται με 0,4. Τελικά, μετά τον υπολογισμό των προαναφερόμενων παραμέτρων, ο κώδικας έχει τη δυνατότητα να υπολογίσει τη δύναμη έλξης  $F_D$  σε ένα σωματίδιο. Παράλληλα υπολογίζεται και η κινητική ενέργεια του σωματιδίου  $E_k$  έχοντας δηλώσει νωρίτερα τη διάμετρο και την ταχύτητα του σωματιδίου.

Για τον υπολογισμό της αναπτυσσόμενης μηχανικής τάσης, χρειάζεται η εισαγωγή μιας επιμέρους τιμής για τη μεταβλητή που απαιτεί ο κώδικας:

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ
$S_{mt}$	μηχανική τάση

**Πίνακας 6.19:** Επεξήγηση παραμέτρου για την εισαγωγή επιθυμητών τιμών στον κώδικα Matlab.



Με αυτήν την εισαγωγή τιμής καθώς και με την διάμετρο του αγωγού που έχει ήδη αναφερθεί, ο κώδικας υπολογίζει την ελάχιστη εφαρμοζόμενη δύναμη  $F_{\text{max}}$  που ασκεί ο αγωγός.

Για τον υπολογισμό του προσδόκιμου ζωής της γραμμής μεταφοράς  $L(T_e)$  ο κώδικας εκφράζει ως μοναδική παράμετρο τη συνάρτηση  $(T_e)$  που δηλώνει τη θερμοκρασία του αγωγού, δηλώνεται με συγκεκριμένες τιμές και ο κώδικας κάνει τους υπολογισμούς με βάση την τιμή που θα λάβει.

Προσδιορίζοντας την πιθανότητα αστοχίας της γραμμής κατά την εξέλιξη της πυρκαγιάς, ο κώδικας υπολογίζει την τιμή της κατευθείαν επειδή δεν συναντά κάποια παράμετρο στη σχέση. Επιπρόσθετα, με γνωστή την προαναφερόμενη υπολογιζόμενη τιμή ο κώδικας συνεχίζει με τον υπολογισμό της τάσης διάσπασης  $U_i$ .

Ύστερα, ο κώδικας θα χρειαστεί να του δοθούν κάποιες τιμές σχετικά με τα είδη πιθανοτήτων που συντελούν στην πρόκληση πυρκαγιάς. Οπότε, χρειάζεται η εισαγωγή 3 επιμέρους τιμών για τις μεταβλητές που απαιτεί ο κώδικας:

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ
<b>C(i)</b>	ανθρωπογενής πιθανότητα πυρκαγιάς
<b>W(i)</b>	πρόβλεψη κινδύνου δασικής πυρκαγιάς
<b>G(i)</b>	γεωγραφικό περιβάλλον

**Πίνακας 6.20:** Επεξήγηση παραμέτρων για την εισαγωγή επιθυμητών τιμών στον κώδικα Matlab.

Με την εισαγωγή τιμών σε αυτές τις παραμέτρους, ο κώδικας υπολογίζει τον αρχικό κίνδυνο του τμήματος (i)  $R(i)$ .

Ο κώδικας θα αναζητήσει την εισαγωγή μιας επιμέρους τιμής που αντιπροσωπεύει ένα συγκεκριμένο είδος πιθανότητας. Δηλαδή:

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ
<b>P<sub>A</sub></b>	πιθανότητα επέκτασης στη γραμμή

**Πίνακας 6.21:** Επεξήγηση παραμέτρου για την εισαγωγή επιθυμητών τιμών στον κώδικα Matlab.

Μετά από την απόδοση της συγκεκριμένης πιθανότητας, ο κώδικας είναι σε θέση να γνωστοποιήσει την τιμή της συνολική πιθανότητας σφάλματος της γραμμής μεταφοράς εξαιτίας πυρκαγιάς  $P_i(i)$ .

Στην παρούσα κατάσταση, ο κώδικας θέτει σε έλεγχο τα χαρακτηριστικά που αντιστοιχούν στο φαινόμενο Corona. Πρωτίστως, ζητάει την απόδοση τιμών σε 2 επιμέρους μεταβλητές για τον υπολογισμό του ηλεκτρικού πεδίου και της επιθυμητής τάσης για την έναρξη του φαινομένου.

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ
$H_c$	ύψος του αγωγού
$R_c$	ακτίνα του αγωγού

**Πίνακας 6.22:** Επεξήγηση παραμέτρων για την εισαγωγή επιθυμητών τιμών στον κώδικα Matlab.

Με τα δεδομένα αυτά, ο κώδικας υπολογίζει την τιμή του ηλεκτρικού πεδίου  $E_c$  και βάσει της τιμής αυτής και των 2 προηγούμενων παραμέτρων υπολογίζει και την επιθυμητή τάση  $V_A$  για την έναρξη του φαινομένου.

Ο κώδικας θα χρειαστεί να του δοθούν κάποιες τιμές με σκοπό να υπολογιστεί το ύψος της φλόγας που εκπροσωπεί το κατακόρυφο μήκος της γραμμής μεταφοράς κατά τη διεξαγωγή μιας πυρκαγιάς. Οπότε, χρειάζεται η εισαγωγή 2 επιμέρους τιμών για τις μεταβλητές που απαιτεί ο κώδικας:

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ
$Q_{hr}$	ρυθμός απελευθέρωσης της θερμότητας
$D_{fd}$	διάμετρος της πυρκαγιάς

**Πίνακας 6.23:** Επεξήγηση παραμέτρων για την εισαγωγή επιθυμητών τιμών στον κώδικα Matlab.

Η παράμετρος  $D_{fd}$  που εισάγεται, ορίζεται από τον περιορισμό ότι λαμβάνει μικρότερες τιμές από 0,75 και μεγαλύτερες τιμές από 1,25. Σε τιμή εκτός του πεδίου ορισμού, ο κώδικας επισημαίνει το σφάλμα της τιμής και δίνει μια 2<sup>η</sup> ευκαιρία για την εισαγωγή έγκυρης τιμής. Αν συνεχιστεί η εσφαλμένη απόδοση τιμών, ο κώδικας εξάγει σφάλμα και τερματίζεται ακυρώνοντας όλους τους υπολογισμούς νωρίτερα.

Βάσει των τιμών που εισήχθησαν στον κώδικα, ο ίδιος υπολογίζει το ύψος της φλόγας που εκπροσωπεί το κατακόρυφο μήκος της γραμμής μεταφοράς κατά τη διεξαγωγή μιας πυρκαγιάς  $H_f$ .

Ο κώδικας θα χρειαστεί να του δοθούν κάποιες τιμές με σκοπό να υπολογιστεί η κατανομή της κανονικοποιημένης ισχύος ακτινοβολίας. Οπότε, χρειάζεται η εισαγωγή μιας επιμέρους τιμής για τη μεταβλητή που απαιτεί ο κώδικας:

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ
$h_b$	ύψος βάσης

**Πίνακας 6.24:** Επεξήγηση παραμέτρου για την εισαγωγή επιθυμητών τιμών στον κώδικα Matlab.

Βάσει της τιμής που εισήχθηκε στον κώδικα, ο ίδιος υπολογίζει το ύψος την κατανομή της κανονικοποιημένης ισχύος ακτινοβολίας  $q_{grad}$ .

Ο κώδικας θα χρειαστεί να του δοθούν εκ νέου μερικές τιμές με σκοπό να υπολογιστεί η θέση της γραμμής μεταφοράς στο δίκτυο. Οπότε, χρειάζεται η εισαγωγή 3 επιμέρους τιμές για τις μεταβλητές που απαιτεί ο κώδικας:

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ
$D_t$	1 <sup>η</sup> οριζόντια απόσταση από τον άξονα της φωτιάς
$L_t$	2 <sup>η</sup> οριζόντια απόσταση από τον άξονα της φωτιάς
$H_t$	ύψος από το έδαφος

**Πίνακας 6.25:** Επεξήγηση παραμέτρων για την εισαγωγή επιθυμητών τιμών στον κώδικα Matlab.

Με γνώμονα τις εισαχθείσες τιμές στον κώδικα, ο ίδιος υπολογίζει τη θέση της γραμμής μεταφοράς  $S_t$ .

Ο κώδικας θα χρειαστεί να του δοθεί κάποια τιμή με σκοπό να υπολογιστεί η τάση  $U_{50}$ . Οπότε, χρειάζεται η εισαγωγή μια επιμέρους τιμή για τη μεταβλητή που απαιτεί ο κώδικας:

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ
$k$	συντελεστής χάσματος

**Πίνακας 6.26:** Επεξήγηση παραμέτρου για την εισαγωγή επιθυμητών τιμών στον κώδικα Matlab.

Βάσει την τιμή που εισήχθησαν στον κώδικα, ο ίδιος υπολογίζει την τάση  $U_{50}$  με γνωστή τη διάμετρο της φλόγας που αποδόθηκε νωρίτερα.

Ο κώδικας θα χρειαστεί να του δοθεί κάποια τιμή με σκοπό να υπολογιστεί η τάση σε υγρασία  $U_h$ . Οπότε, χρειάζεται η εισαγωγή μια επιμέρους τιμή για τη μεταβλητή που απαιτεί ο κώδικας:

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ
$V_{11}$	βελτιωμένη τάση σε τυπική πυκνότητα αέρα $11 \text{ g/m}^3$

**Πίνακας 6.27:** Επεξήγηση παραμέτρου για την εισαγωγή επιθυμητών τιμών στον κώδικα Matlab.

Βάσει την τιμή που εισήχθησαν στον κώδικα, ο ίδιος υπολογίζει την τάση σε υγρασία  $U_h$  με γνωστή τη διάμετρο της φλόγας που αποδόθηκε νωρίτερα.

Ο κώδικας ολοκληρώνεται με την εξαγωγή όλων των αποτελεσμάτων και είναι σε θέση να λειτουργήσει από την αρχή!

Συνοπτικά το σύστημα εξισώσεων που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή της (ii) υποπερίπτωσης από τον κώδικα αποτυπώνεται παρακάτω:

$$V_S = V_t \frac{H}{D} \quad D = \frac{p}{p_0} \frac{T_0}{T} \quad V_t = V_S \frac{2,892 p}{T} \quad D = D_{\text{BASIC}} + D_{\text{el}} + D_{\text{SAG}}$$

$$h = d_{02} - d_{01} \\ = \frac{T_0}{W} \left( \cosh \left[ \frac{W}{T_0} x_{02} \right] - \cosh \left[ \frac{W}{T_0} x_{01} \right] \right)$$

$$s_0 = \frac{T_0}{W} \left( \sinh \left[ \frac{W}{T_0} x_{01} \right] + \sinh \left[ \frac{W}{T_0} x_{02} \right] \right)$$

$$d_{01} = \frac{T_0}{W} \left( \cosh \left[ \frac{W}{T_0} x_{01} \right] - 1 \right)$$

$$\vec{F}_D = \frac{1}{2} C_D \rho_{\text{air}} A_{\text{proj}} |\vec{V}_R|^2 \frac{\vec{V}_R}{|\vec{V}_R|}, \quad Re = |\vec{V}_R| \cdot d_P / \nu_{\text{air}} \quad C_D = \frac{24}{Re} \left( 1 + \frac{3Re}{16} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$L(T_e) = e^{\left\{ \ln \ln \left( \frac{1}{1 - (W_{\text{max}}/W_a)} \right) - A - BT_c - C \ln(R/80) \right\} / m}$$

$$E_c = 30 \left( 1 + \frac{0.301}{\sqrt{r}} \right) r \ln \frac{H}{r} \quad V_o = E_c r \ln(2H/r)$$

$$H_f = 0.235 \dot{Q}^{2/5} + 1.02D, \quad \dot{q}_{\text{rad}}^* = \frac{1}{1 + (h^*/0.625)^{20/3}}$$

$$S_t = \sqrt{\left( \sqrt{D_t^2 + L_t^2} - r^* r_{fs} \right)^2 + (H_t - H_{fs} - h)^2}$$

$$\cos \theta_t = \frac{\sqrt{D_t^2 + L_t^2} - r^* r_{fs}}{S_t},$$

$$\text{LLDI} = \sum_{i=1}^{T/t} \text{KVA}_i * (T - t * i)$$

$$R(i) = C(i) W(i) G(i)$$

$$U_t = U_s \frac{0.392P}{273 + T} \quad P_{li} = P(A) \bullet P(u)$$

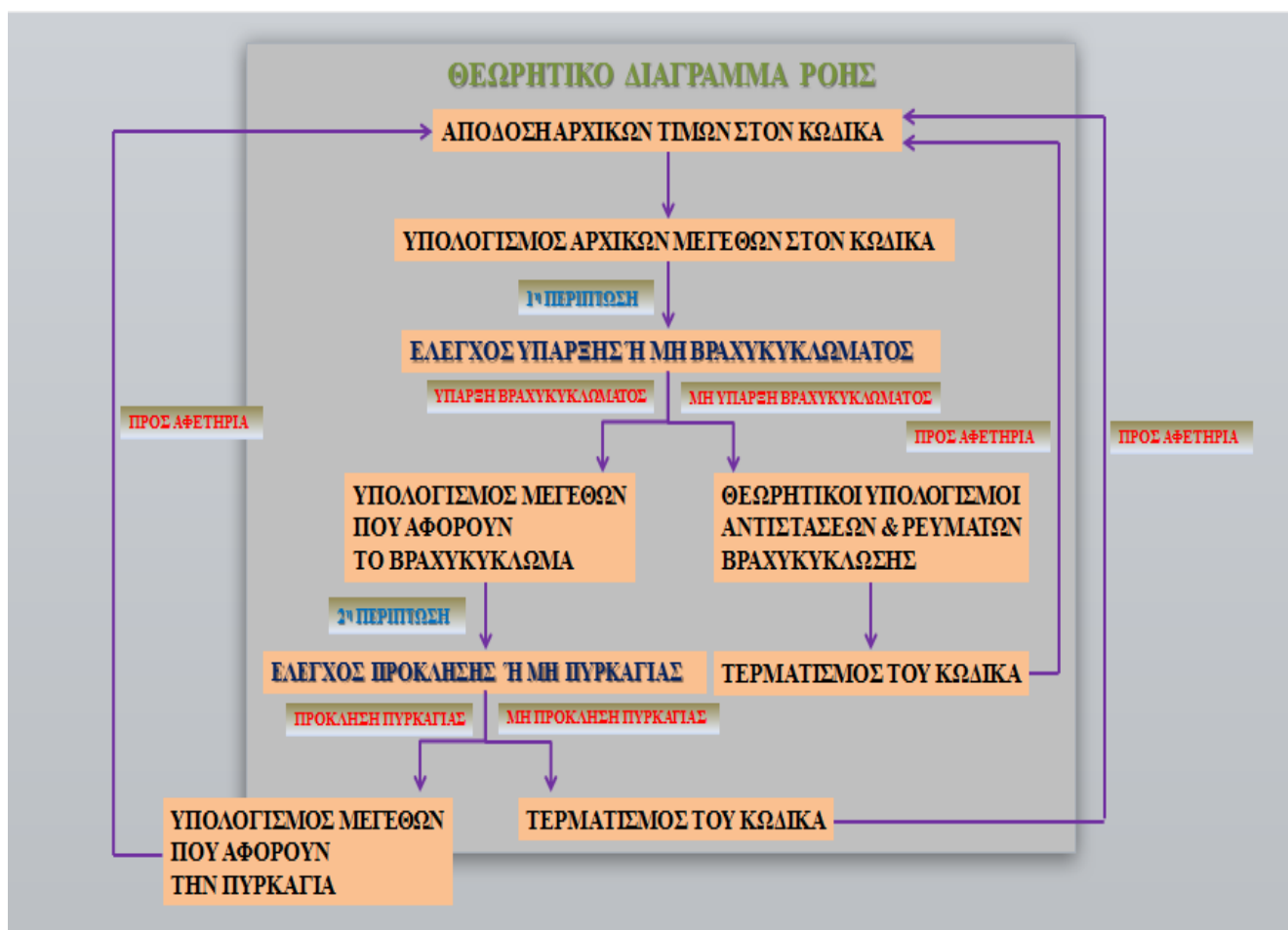
$$F_{\text{min}} = \sigma \frac{\pi d_s^2}{4} \quad U_{50} = k 1080 \ln(0.46 D + 1) \quad V_h = V_{11} \left[ 1 + \frac{\epsilon}{100} (h - 11) \right]$$

(6-6)

### 6.3 Η παρουσίαση των διαγραμμάτων ροής επεξηγώντας κάθε χαρακτηριστικό του Κώδικα Matlab

Έχοντας αναλύσει κάθε πλευρά του κώδικα, είτε με την απόδοση τιμών και των υπολογισμών διάφορων μεγεθών στην επιφάνειά του είτε με την λήψη συμπερασμάτων από τις 2 περιπτώσεις, καλούμαστε να συνοψίσουμε ολόκληρη τη συμπεριφορά του κώδικα. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη βοήθεια 2 διαγραμμάτων ροής, ένα με θεωρητικό περιεχόμενο και ένα με την διαδικασία μελέτης κάθε μεγέθους βάσει των σχέσεων.

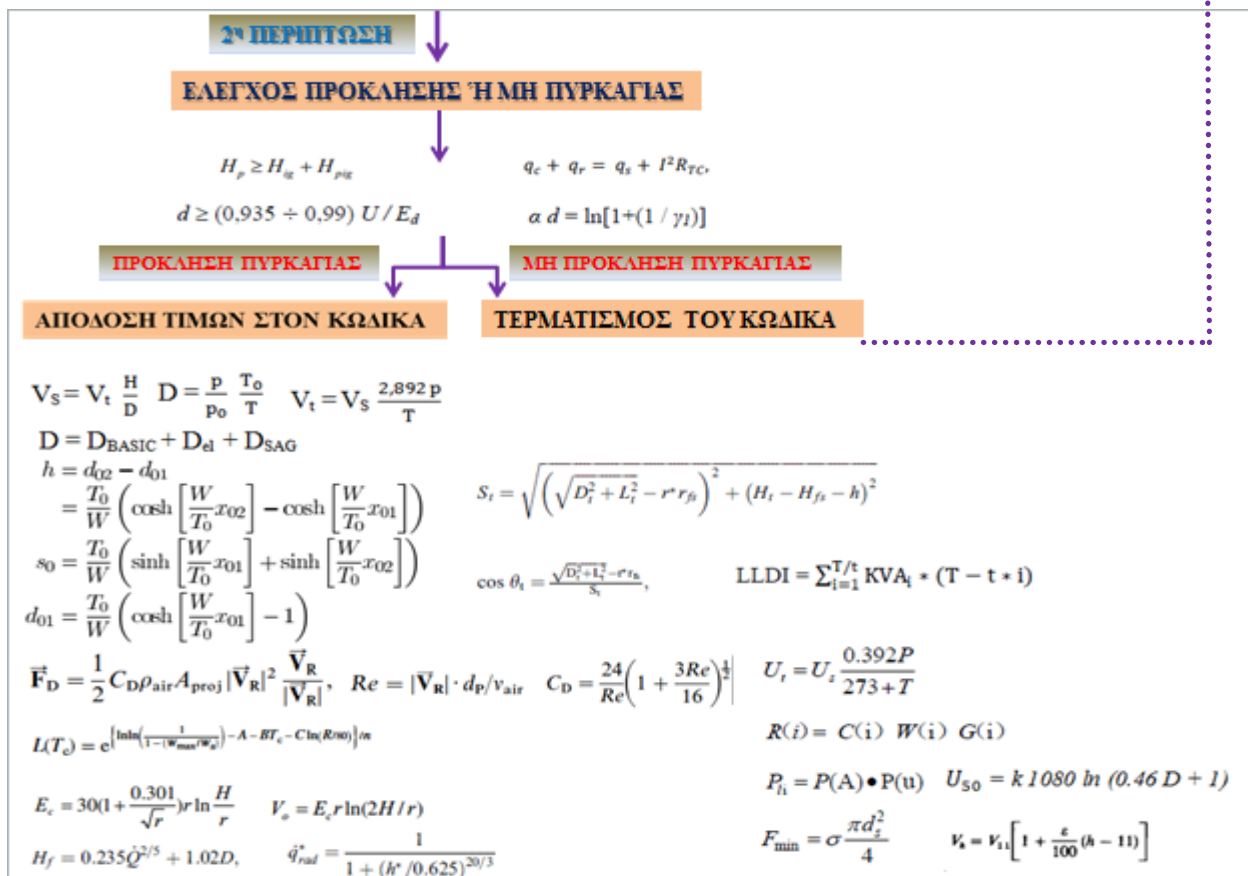
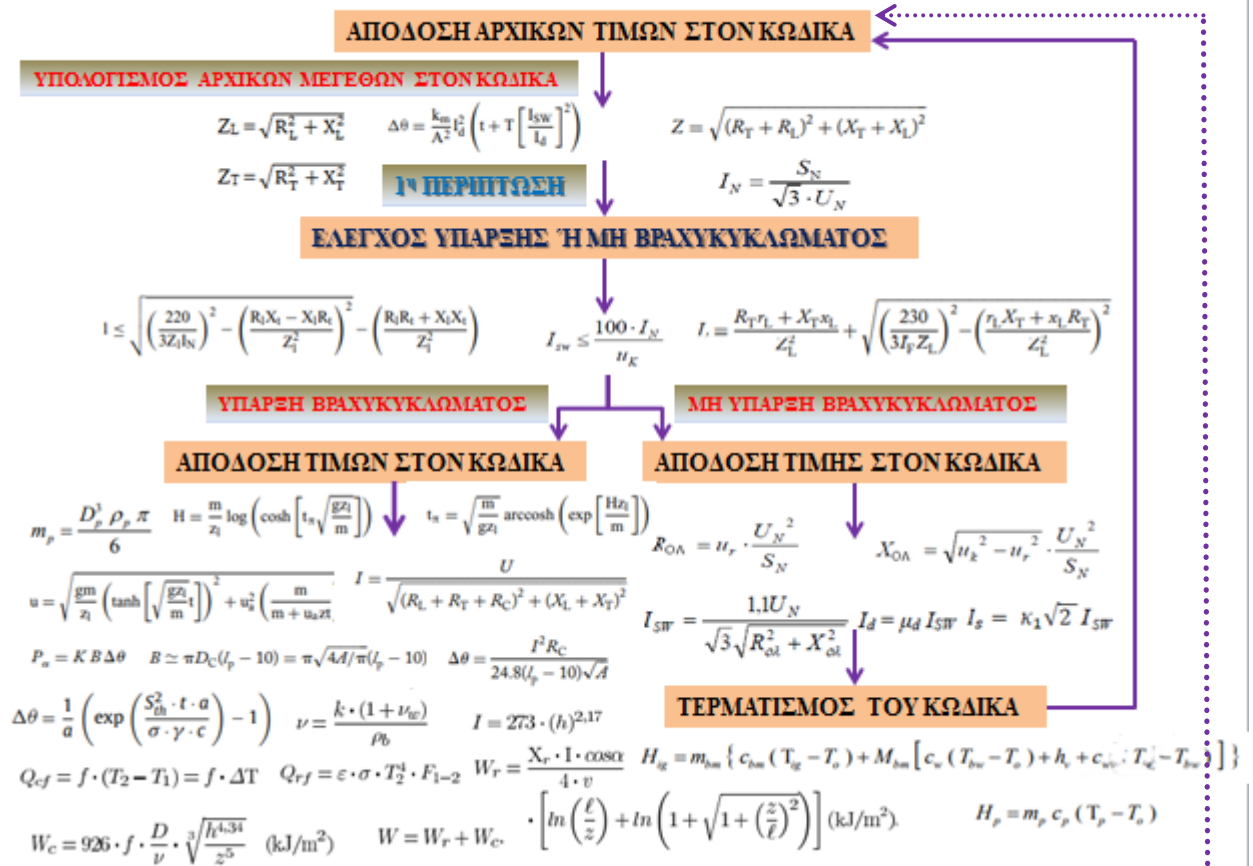
Παρακάτω, αποτυπώνεται το θεωρητικό διάγραμμα ροής συνοψίζοντας όλες τις εκδοχές και τη συμπεριφορά που έχει τη δυνατότητα να εξάγει ο κώδικας. Αναλυτικότερα:



Διάγραμμα 6.1: Απεικόνιση θεωρητικού διαγράμματος ροής σύμφωνα με τον κώδικα.

Ακόμη, αποτυπώνεται το υπολογιστικό διάγραμμα ροής συνοψίζοντας όλες τις εκδοχές και τη συμπεριφορά που έχει τη δυνατότητα να εξάγει ο κώδικας. Αναλυτικότερα:

## ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ



Διάγραμμα 6.2: Απεικόνιση υπολογιστικού διαγράμματος ροής σύμφωνα με τον κώδικα.

## 6.4 Η ανάλυση των συνθηκών για ξεχωριστές περιπτώσεις με την απόδοση τιμών στον Κώδικα Matlab

Μετά από μια συνοπτική περιγραφή των βασικότερων χαρακτηριστικών του κώδικα Matlab, θα επιτευχθεί η παρουσίαση 4 ενδεικτικών παραδειγμάτων για την βαθύτερη κατανόησή του. Τα παραδείγματα που θα ακολουθήσουν, αντιπροσωπεύουν τις συνολικές λειτουργίες που μπορούν να δημιουργηθούν στο περιβάλλον του Matlab. Αναλυτικότερα οι 4 περιπτώσεις:

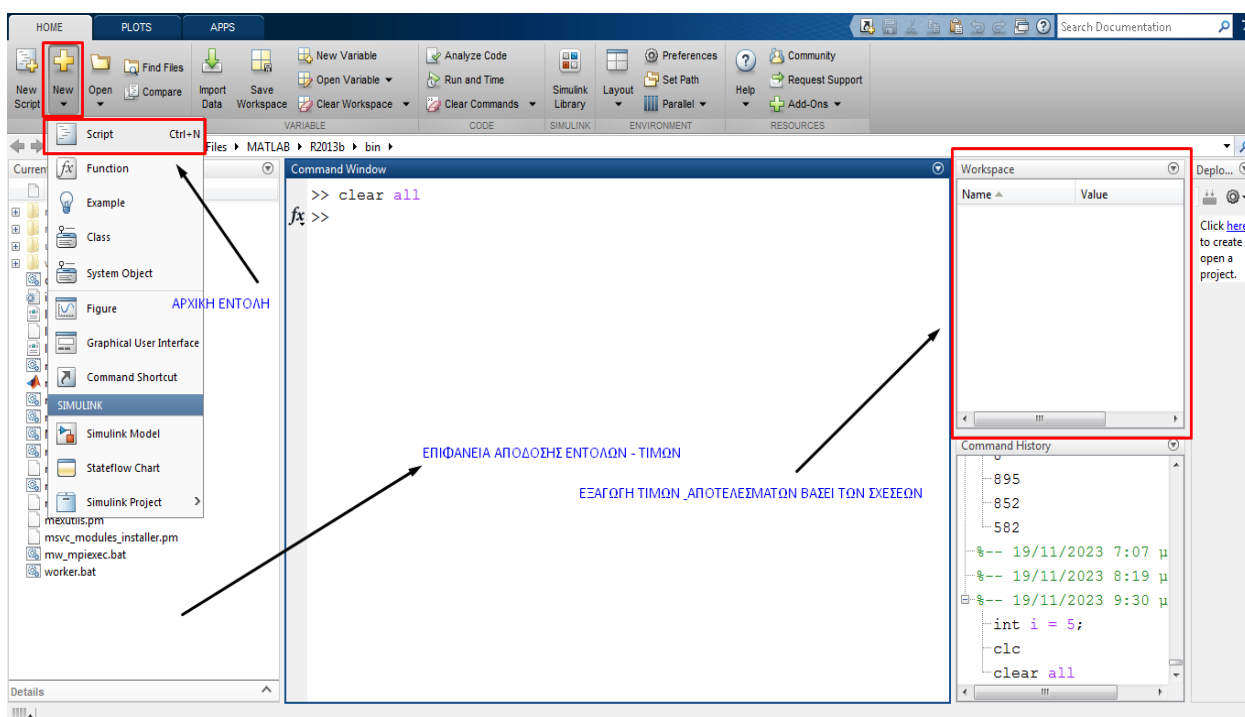
Μέσω κατάλληλων τιμών στις σχέσεις, θα προκύψει βραχυκύκλωμα σε ένα δίκτυο διανομής και μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και μετά με την αποτύπωση συγκεκριμένων τιμών το προαναφερόμενο δίκτυο θα οδηγηθεί σε περιβάλλον πυρκαγιάς. Τέλος, οδηγούμαστε σε συμπεράσματα σχετικά με το σύνολο των επιπτώσεων που προξενεί η φωτιά στις γραμμές μεταφοράς.

Μέσω κατάλληλων τιμών στις σχέσεις, θα προκύψει βραχυκύκλωμα σε ένα δίκτυο διανομής και μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας όμως με την αποτύπωση συγκεκριμένων τιμών το προαναφερόμενο δίκτυο δεν θα οδηγηθεί σε περιβάλλον πυρκαγιάς.

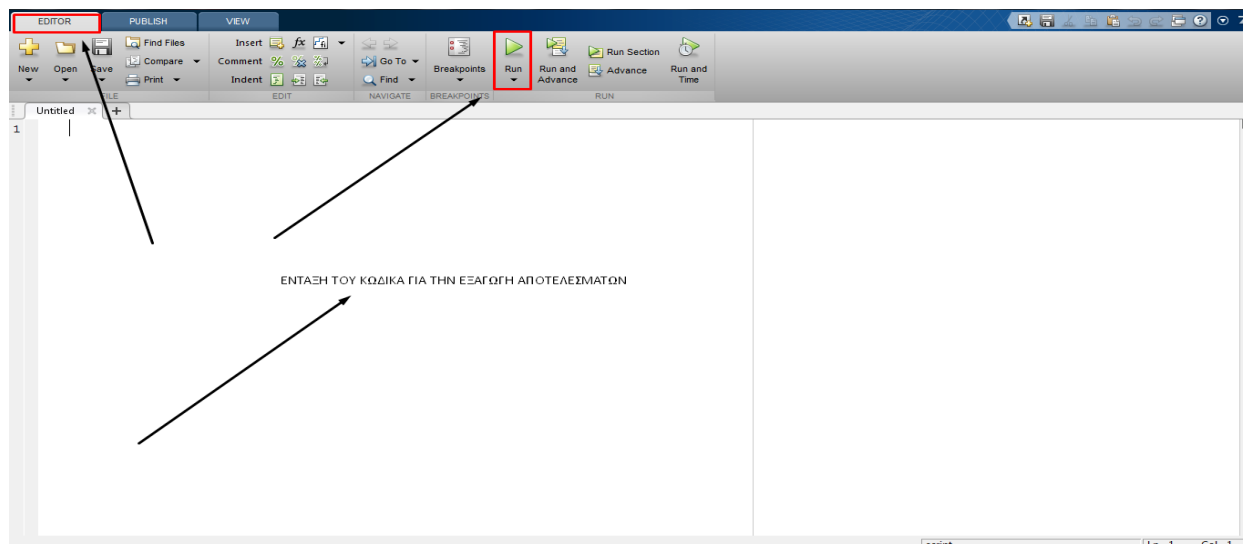
Μέσω κατάλληλων τιμών στις σχέσεις, δεν θα προκύψει βραχυκύκλωμα σε ένα δίκτυο διανομής και μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, ο αλγόριθμος θα σταματήσει με σχετικό μήνυμα και θα υπολογιστούν κάποιες θεωρητικές προσεγγίσεις σχετικά με το βραχυκύκλωμα.

Μέσω τυχαίων - λανθασμένων τιμών στις σχέσεις, ο κώδικας θα βγάλει σφάλμα στη διαδικασία υπολογισμών του και δεν θα προκύψει καμία συνθήκη ή υπολογισμός.

Πρωτίστως, ανοίγουμε μια σελίδα στο πρόγραμμα Matlab όπου θα εισαχθεί ο κώδικας περιγραφής των προαναφερόμενων στοιχείων. Με την εντολή New -> Script ανοίγει ένα νέο παράθυρο με την ονομασία Editor, όπου θα γραφτεί ο κώδικας. Τέλος, με την εντολή Run τίθεται σε λειτουργία ο κώδικας. Δηλαδή:



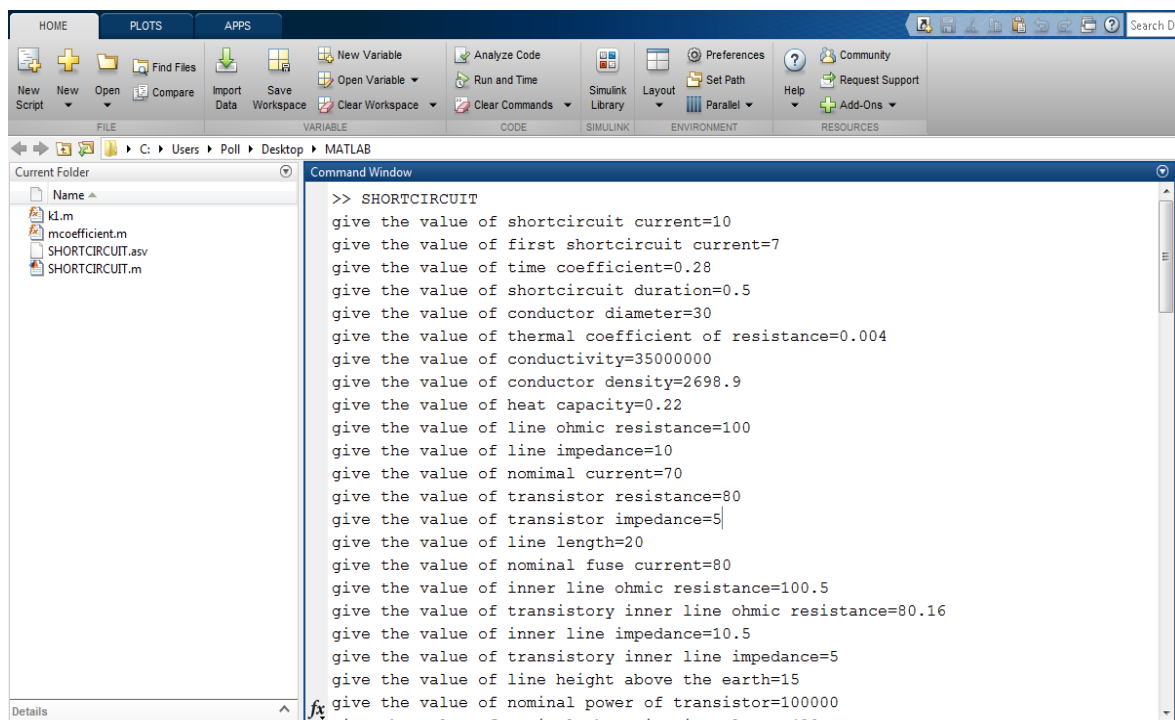
Επίδραση των πυρκαγιών και του καπνού στην ανάπτυξη και εμφάνιση βραχυκυκλωμάτων και δευτερογενών πυρκαγιών σε δίκτυα μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας



Εικόνα 6.1: Απεικόνιση βασικών εντολών στο περιβάλλον του Matlab.

#### 6.4.1 Ο υπολογισμός των σχέσεων για την 1η περίπτωση

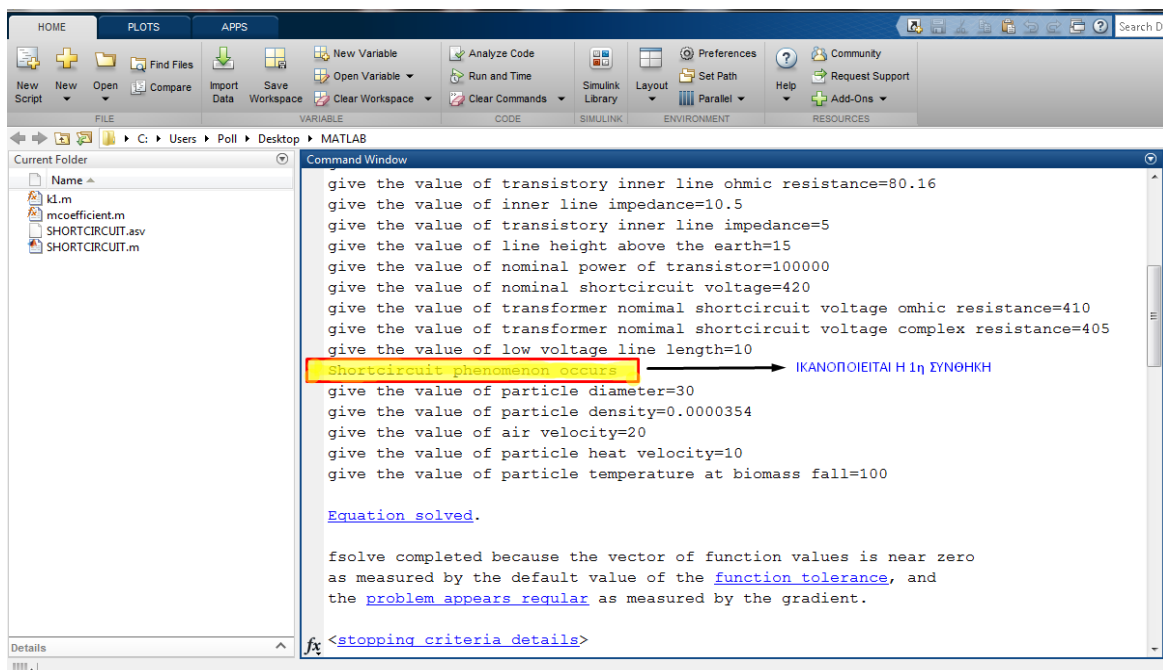
Σύμφωνα με την 1<sup>η</sup> συνθήκη, θα εξεταστεί η περίπτωση όπου με την απόδοση τιμών θα προκύψει βραχυκύκλωμα, ύστερα με τα κατάλληλα μεγέθη θα προκληθεί πυρκαγιά από την επίδραση βραχυκυκλώματος και θα υπολογιστούν τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά που συγκαταλέγονται με τις συνέπειες που δημιουργούνται. Αναλυτικότερα στην επιφάνεια εργασίας του προγράμματος Matlab:



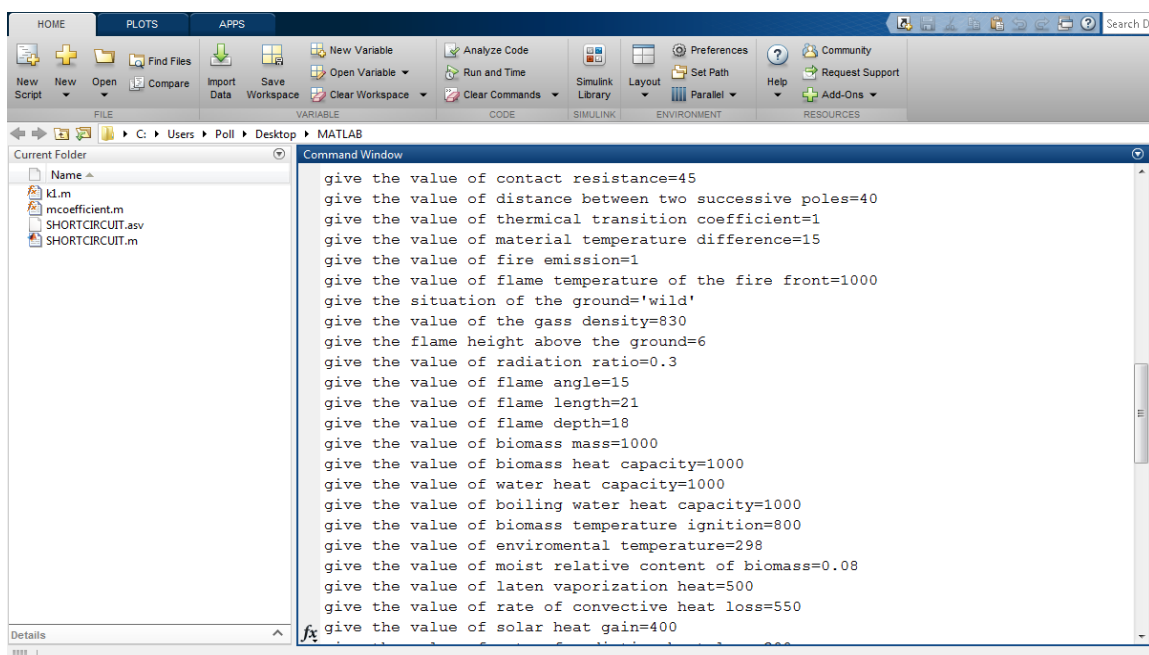
Εικόνα 6.2: Απόδοση τιμών έως και την 1<sup>η</sup> συνθήκη στο περιβάλλον του Matlab.



Επίδραση των πυρκαγιών και του καπνού στην ανάπτυξη και εμφάνιση βραχυκυκλωμάτων και δευτερογενών πυρκαγιών σε δίκτυα μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας

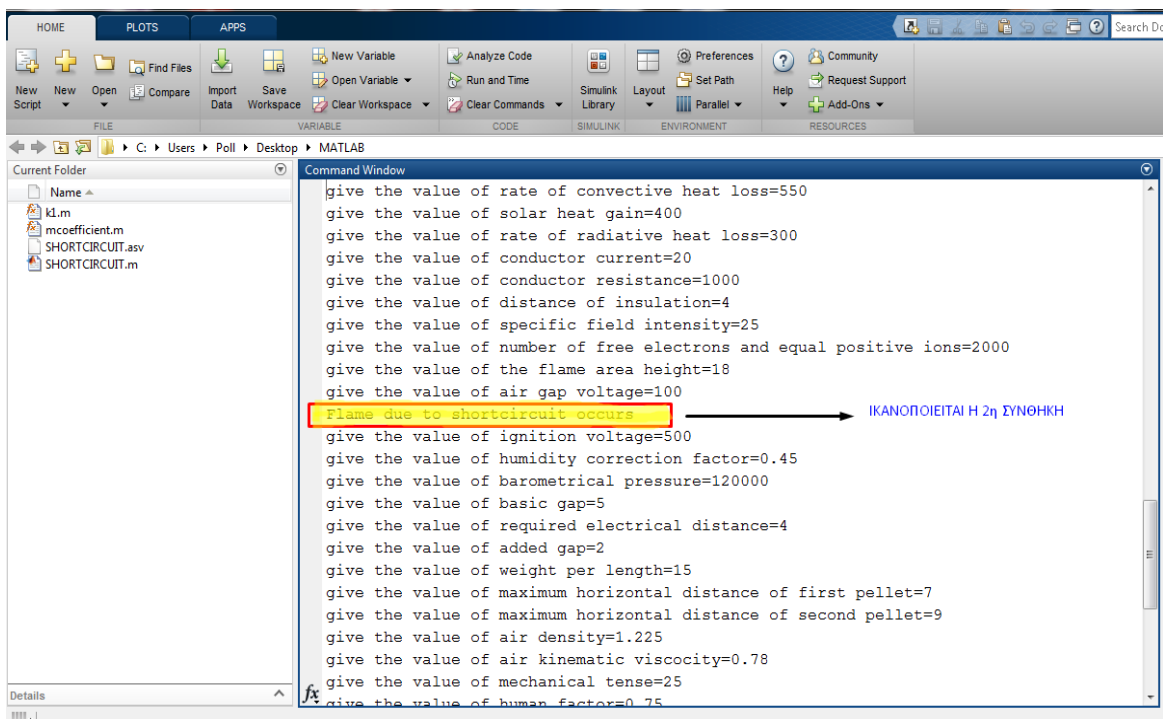


Εικόνα 6.3: Απόδοση τιμών και εκτέλεση της 1<sup>ης</sup> συνθήκης στο περιβάλλον του Matlab.

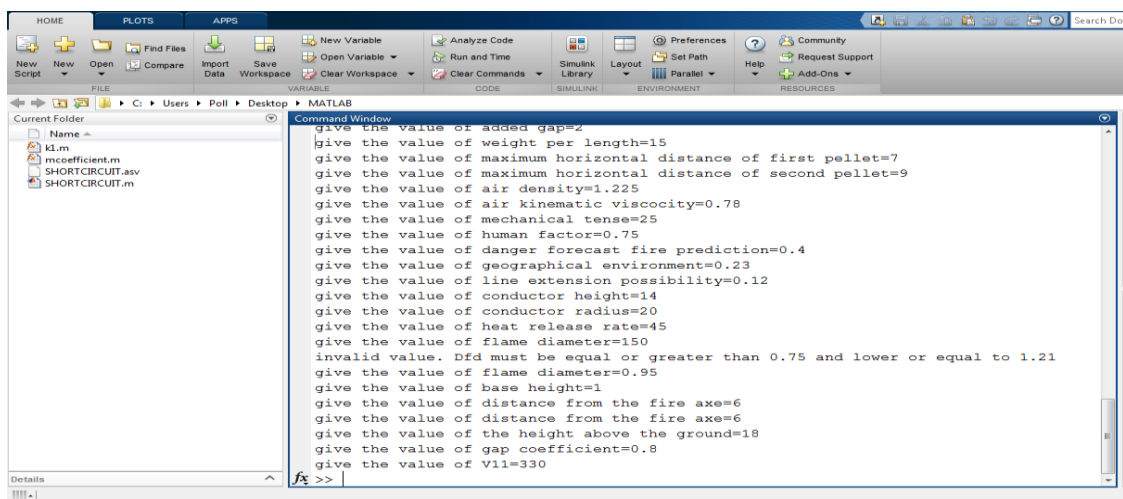


Εικόνα 6.4: Απόδοση τιμών έως και την 2<sup>η</sup> συνθήκη στο περιβάλλον του Matlab.

Επίδραση των πυρκαγιών και του καπνού στην ανάπτυξη και εμφάνιση βραχυκυκλωμάτων και δευτερογενών πυρκαγιών σε δίκτυα μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας



Εικόνα 6.5: Απόδοση τιμών και εκτέλεση της 2<sup>ης</sup> συνθήκης στο περιβάλλον του Matlab.



Εικόνα 6.6: Απόδοση τιμών και ο τελικός υπολογισμός μεγεθών για την πρόκληση πυρκαγιάς στο περιβάλλον του Matlab.

Στο σημείο αυτό, γνωστοποιούνται τα μεγέθη όπου με βάση τον κώδικα στο Παράρτημα Α υπολογίζονται από τις δεδομένες σχέσεις. Οι ονομασίες των μεγεθών έχουν αναλυθεί διεξοδικά στα προηγούμενα κεφάλαια και στο πλαίσιο Workspace του Matlab εκφράζονται οι τιμές τους με τα αρχικά τους σύμβολα:

Workspace		Workspace	
Name ▲	Value	Name ▲	Value
A	706.8583	HC	14
Api	706.8583	Hf	2.0463
B	2.8274e+03	Hfs	18
CD	0.7788	Hhd	0.4500
CI	0.7500	Hig	542200000
DT	15	Hp	990.9023
Dbasic	5	Hpig	2.5123e+03
Dc	30	Ht	18
Dcg	11	I	1.0200
Del	4	Iacsw	7
Df	18	Icc	20
Dfd	0.9500	Id	10
Dsag	2	If	80
Dt	6	In	137.4643
Dtheta	1.7216e-06	Issws	10
Dtheta1	0.0024	Isw	7
Dtheta2	1.6976e-09	Itt	1.3328e+04
Dw	1.1647e+03	Kh	0.8700
EC	-228.4087	L	10
Ed	25	LTC	1x50 double
Ek	1.6407e+06	Lt	6
F1_2	1000	Mbm	0.0800
FD	7.6543e+03	P	120000
Fmaf	1.7671e+04	PA	0.1200
GI	0.2300	PLI	0
H	12.3604	PTM	0
HC	14	Pa	46.8413

Εικόνα 6.7: Εξαγωγή αποτελεσμάτων που πληρούν και τις 2 συνθήκες (1/3).

Επίδραση των πυρκαγιών και του καπνού στην ανάπτυξη και εμφάνιση βραχυκυκλωμάτων και δευτερογενών πυρκαγιών σε δίκτυα μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας

Workspace		Workspace	
Name ▲	Value	Name ▲	Value
Pa	46.8413	VR	4.7646
Qcf	15	Vag	100
Qhrr	45	Vh	287.1000
Qrf	5.6700e-08	Vs	0.1932
RC	20	Vt	500
RI	0.0690	W	2.1880e+89
RTC	1000	WI	0.4000
Rc	45	Wc	2.1880e+89
Re	183.2533	WI	15
RI	100	Wr	9.7186e+05
Rt	80	X01	7
Sn	100000	X02	9
St	8.1660	XI	10
T	0.2800	Xr	0.3000
<input checked="" type="checkbox"/> TF1	0	Xt	5
<input checked="" type="checkbox"/> TF2	1	Z	180.6239
Tbw	373	ZI	100.4988
Tc	1x50 double	Zt	80.1561
Tig	800	a	0.0040
To	298	aepi	2000
Tp	100	af	15
U50	313.2498	abc ag	'wild'
UT	0	b	[12.3604 1.6687]
Un	420	c	0.2200
V11	330	cbm	1000
VA	1.5371e+03	cp	10
VR	4.7646	cw	1000
V	100	cwr	1000

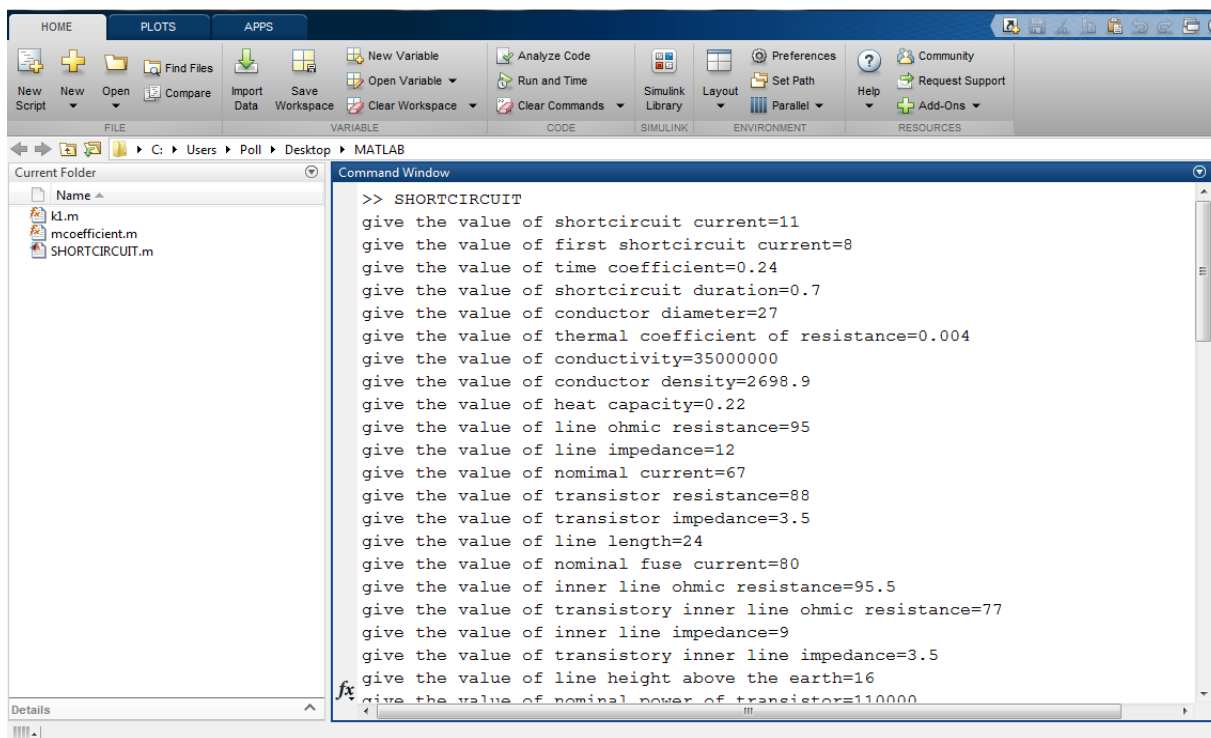
Εικόνα 6.8: Εξαγωγή αποτελεσμάτων που πληρούν και τις 2 συνθήκες (2/3).

Workspace		Workspace	
Name ▲	Value	Name ▲	Value
cwv	1000	name	'SHORTCIRCUIT'
d	15	pathstr	'C:\Users\Poll\Desktop\...
d01	1.2460	qc	550
d02	2.0737	qr	400
dds	4	qrad	0.8376
dp	30	qs	300
e	1	rh	2.6989e+03
ext	'.m'	rhb	830
f	1	rhp	3.5400e-05
g	9.8100	rhw	1.2250
h	6	rl	100.5000
hb	1	rt	80.1600
hv	500	rvd	0.3807
k1	0.0500	s	35000000
kgc	0.8000	s0	16.4568
km	0.0135	smt	25
l	20	t	0.5000
lf	21	tp	1.6687
lp	40	u	15.2354
mbm	1000	uk	410
mp	0.5005	ur	405
name	'SHORTCIRCUIT'	uw	20
pathstr	'C:\Users\Poll\Desktop\...	v	0.0013
qc	550	vair	0.7800
qr	400	xl	10.5000
qrad	0.8376	xt	5
qs	300	z	0.0370
rh	2.6989e+03	z1	0.0123
rhb	830		
rhp	3.5400e-05		
rhw	1.2250		
rl	100.5000		
rt	80.1600		
rvd	0.3807		
s	35000000		
s0	16.4568		
smt	25		
t	0.5000		
tp	1.6687		
u	15.2354		
uk	410		
ur	405		
uw	20		
v	0.0013		
vair	0.7800		
xl	10.5000		
xt	5		
z	0.0370		
z1	0.0123		

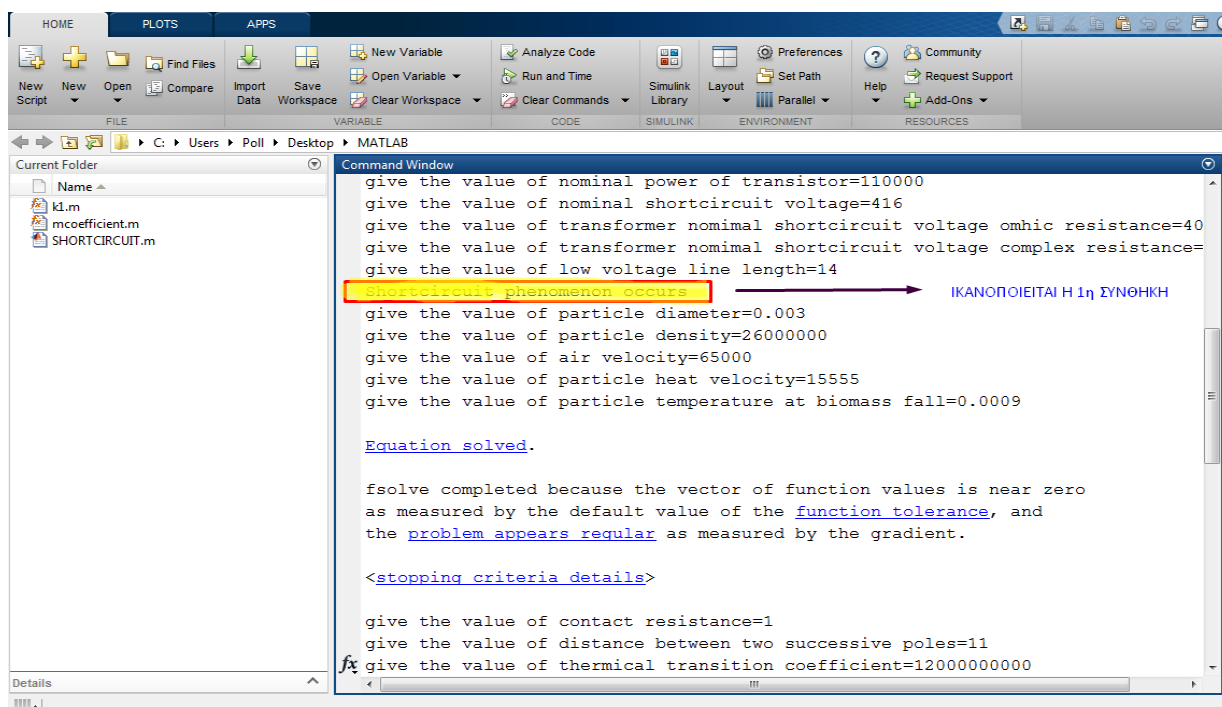
Εικόνα 6.9: Εξαγωγή αποτελεσμάτων που πληρούν και τις 2 συνθήκες (3/3).

### 6.4.2 Ο υπολογισμός των σχέσεων για την 2η περίπτωση

Σύμφωνα με την 2<sup>η</sup> συνθήκη, θα εξεταστεί η περίπτωση όπου με την απόδοση τιμών θα προκύψει βραχυκύκλωμα, ύστερα δεν θα προκληθεί πυρκαγιά από την επίδραση βραχυκυκλώματος και ο αλγόριθμος θα ολοκληρωθεί με σχετικό μήνυμα. Αναλυτικότερα στην επιφάνεια εργασίας του προγράμματος Matlab:

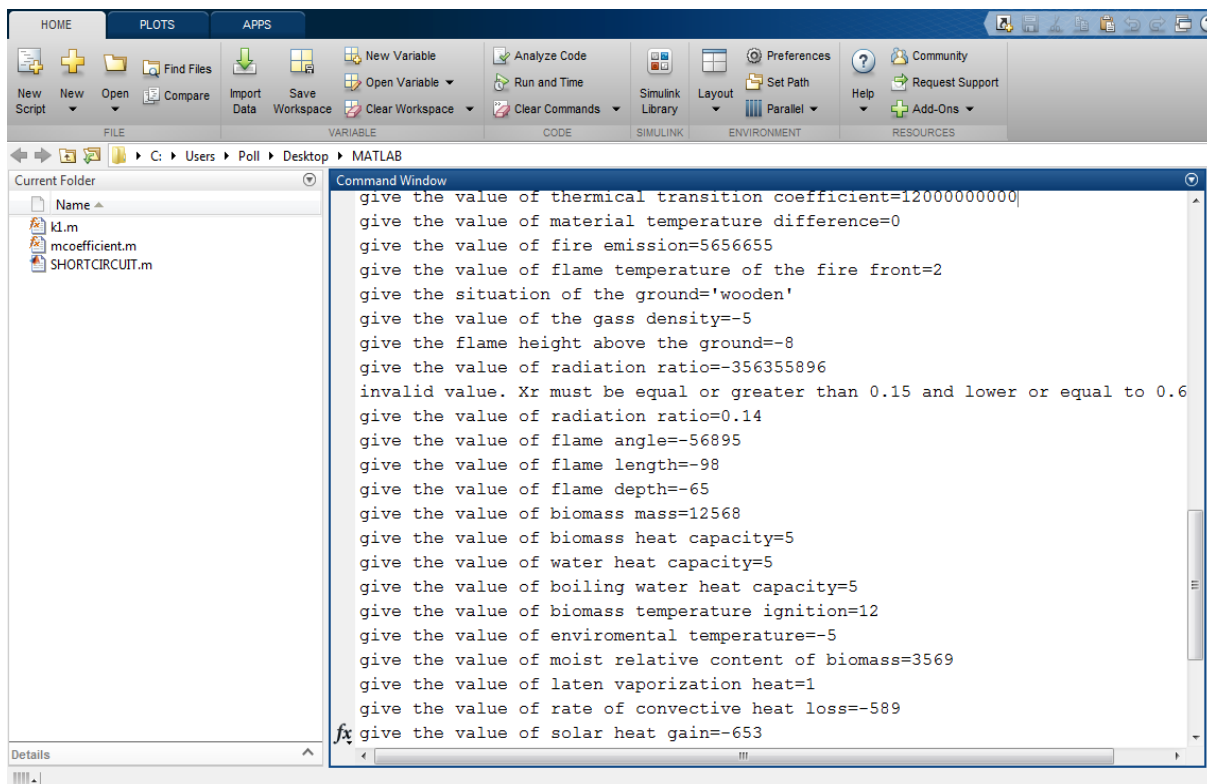


Εικόνα 6.10: Απόδοση διαφορετικών τιμών έως και την 1<sup>η</sup> συνθήκη στο περιβάλλον του Matlab.

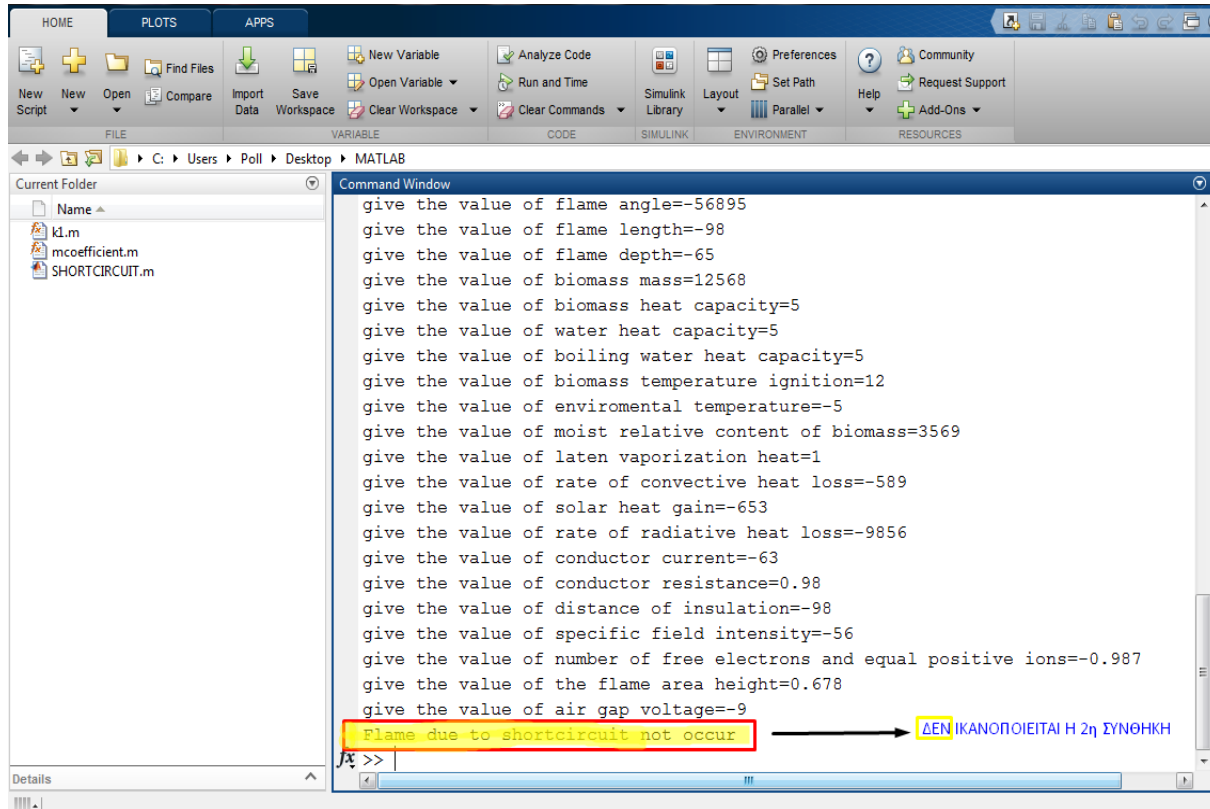


Εικόνα 6.11: Απόδοση τιμών και εκτέλεση της 1<sup>ης</sup> συνθήκης στο περιβάλλον του Matlab.

Επίδραση των πυρκαγιών και του καπνού στην ανάπτυξη και εμφάνιση βραχυκυκλωμάτων και δευτερογενών πυρκαγιών σε δίκτυα μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας



Εικόνα 6.12: Απόδοση τιμών έως και την 2<sup>η</sup> συνθήκη στο περιβάλλον του Matlab.



Εικόνα 6.13: Απόδοση τιμών και μη τήρησης της 2<sup>ης</sup> συνθήκης στο περιβάλλον του Matlab.

Στο σημείο αυτό, γνωστοποιούνται τα νέα μεγέθη όπου με βάση τον κώδικα στο Παράρτημα Α υπολογίζονται από τις δεδομένες σχέσεις. Οι ονομασίες των μεγεθών έχουν αναλυθεί διεξοδικά στα προηγούμενα κεφάλαια και στο πλαίσιο Workspace του Matlab εκφράζονται οι τιμές τους με τα αρχικά τους σύμβολα:

Name	Value	Name	Value
A	572.5553	Qcf	0
B	84.8230	Qrf	6.4146e-04
DT	0	RTC	0.9800
Dc	27	Rc	1
Df	65	RI	95
Dtheta	4.1206e-06	Rt	88
Dtheta1	0.0026	Sn	110000
Dtheta2	4.3832e-09	T	0.2400
Ed	56	<input checked="" type="checkbox"/> TF1	1
F1_2	2	<input checked="" type="checkbox"/> TF2	0
H	14.1530	Tbw	373
Hfs	0.6780	Tig	12
Hig	3.8586e+09	To	5
Hp	2.8593e+04	Tp	9.0000e-04
Hpig	9.7197e+04	Un	416
I	1.2456	Vag	9
Iacsw	8	W	3.2756e+107
Icc	63	Wc	3.2756e+107
Id	11	Wr	1.2909
If	80	XI	12
In	152.6647	Xr	0.1400
Issws	11	Xt	3.5000
Isw	8	Z	183.6552
Itt	2.1416e+04 + 1.2665e...	ZI	95.7549
L	14	Zt	88.0696
Mbm	3569	a	0.0040
Pa	1.5524	aepi	0.9870

Εικόνα 6.14: Εξαγωγή αποτελεσμάτων που πληρούν μόνο την 1<sup>η</sup> συνθήκη (1/2).

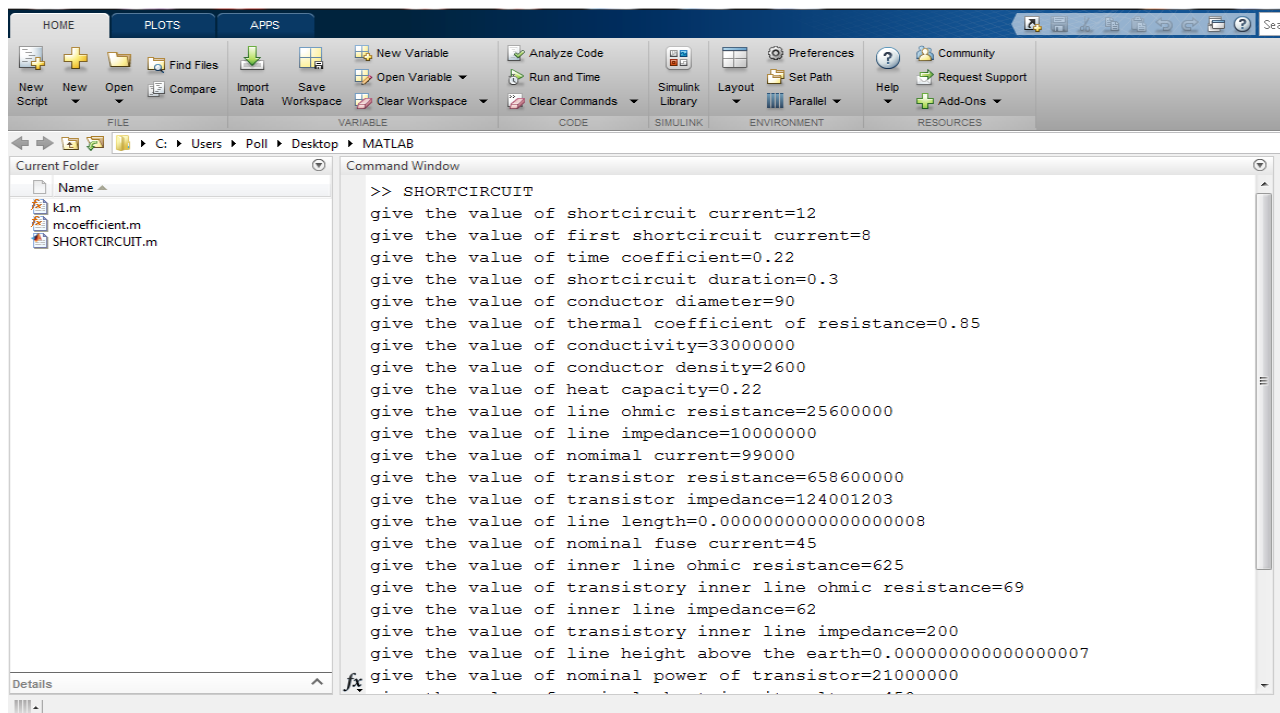


Workspace		Workspace	
Name ▲	Value	Name ▲	Value
aeqi	0.9870	km	0.0135
af	56895	l	24
ag	'wooden'	lf	98
b	[14.1530 1.7984]	lp	11
c	0.2200	mbm	12568
cbm	5	mp	0.3676
cp	15555	name	'SHORTCIRCUIT'
cw	5	pathstr	'C:\Users\Poll\Desktop...
cwv	5	qc	589
d	16	qr	653
dds	98	qs	9856
dp	0.0030	rh	2.6989e+03
e	5656655	rhb	5
ext	'.m'	rhp	26000000
f	1.2000e+10	rl	95.5000
g	9.8100	rt	77
h	8	s	35000000
hv	1	t	0.7000
k1	0.0700	tp	1.7984
km	0.0135	u	23.8425
l	24	uk	408
lf	98	ur	401.5000
lp	11	uw	65000
mbm	12568	v	910.0140
mp	0.3676	xl	9
name	'SHORTCIRCUIT'	xt	3.5000
pathstr	'C:\Users\Poll\Desktop...	z	0.0272
---	---	z1	0.0090

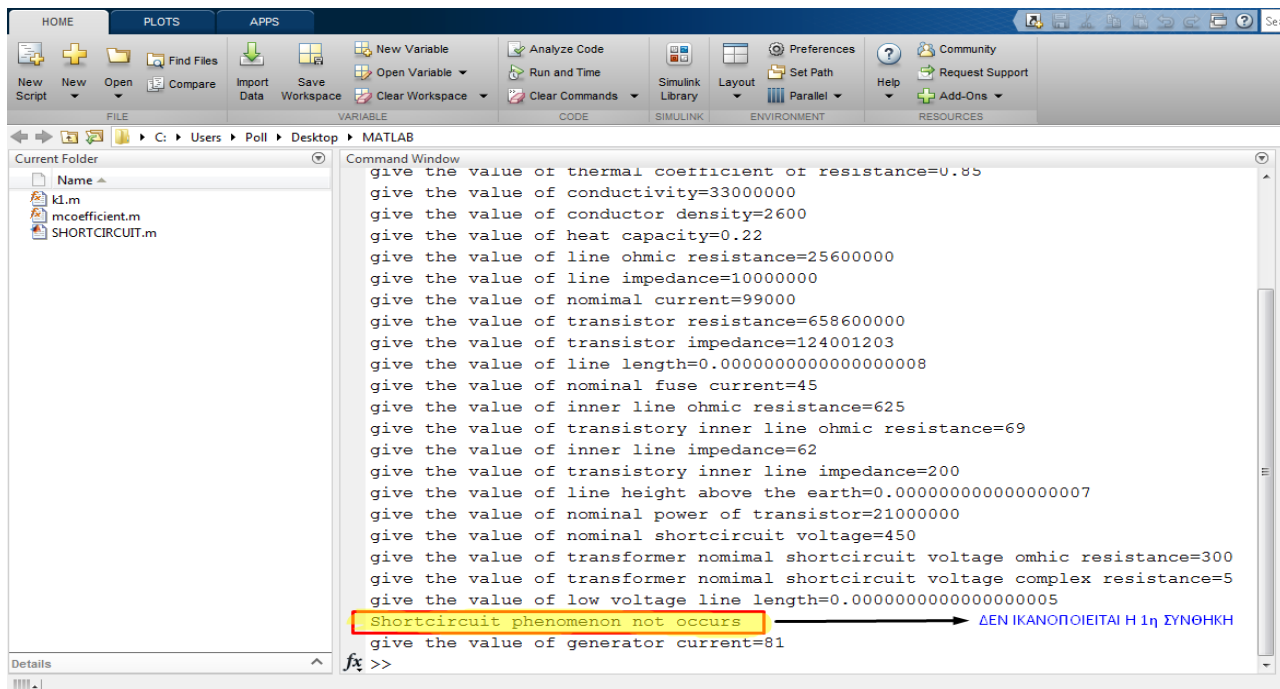
Εικόνα 6.15: Εξαγωγή αποτελεσμάτων που πληρούν μόνο την 1<sup>η</sup> συνθήκη (2/2).

### 6.4.3 Ο υπολογισμός των σχέσεων για την 3η περίπτωση

Σύμφωνα με την 3<sup>η</sup> συνθήκη, θα εξεταστεί η περίπτωση όπου με την απόδοση τιμών δεν θα προκύψει αρχικά βραχυκύκλωμα, οπότε δεν θα εξεταστεί η συνθήκη πρόκλησης πυρκαγιάς από την επίδραση βραχυκυκλώματος και ο αλγόριθμος θα σταματήσει με σχετικό μήνυμα. Στη συνέχεια, αποδίδονται μερικοί θεωρητικοί υπολογισμοί στην περίπτωση που εμφανιζόταν ακαριαία κάποιο βραχυκύκλωμα. Αναλυτικότερα στην επιφάνεια εργασίας του προγράμματος Matlab:



Εικόνα 6.16: Απόδοση ειδικών τιμών έως και την 1<sup>η</sup> συνθήκη στο περιβάλλον του Matlab.



Εικόνα 6.17: Απόδοση τιμών και μη τήρησης της 1<sup>ης</sup> συνθήκης στο περιβάλλον του Matlab.

Στο σημείο αυτό, γνωστοποιούνται τα νέα μεγέθη όπου με βάση τον κώδικα στο Παράρτημα Α υπολογίζονται από τις δεδομένες σχέσεις. Οι ονομασίες των μεγεθών έχουν αναλυθεί διεξοδικά στα προηγούμενα κεφάλαια και στο πλαίσιο Workspace του Matlab εκφράζονται οι τιμές τους με τα αρχικά τους σύμβολα:

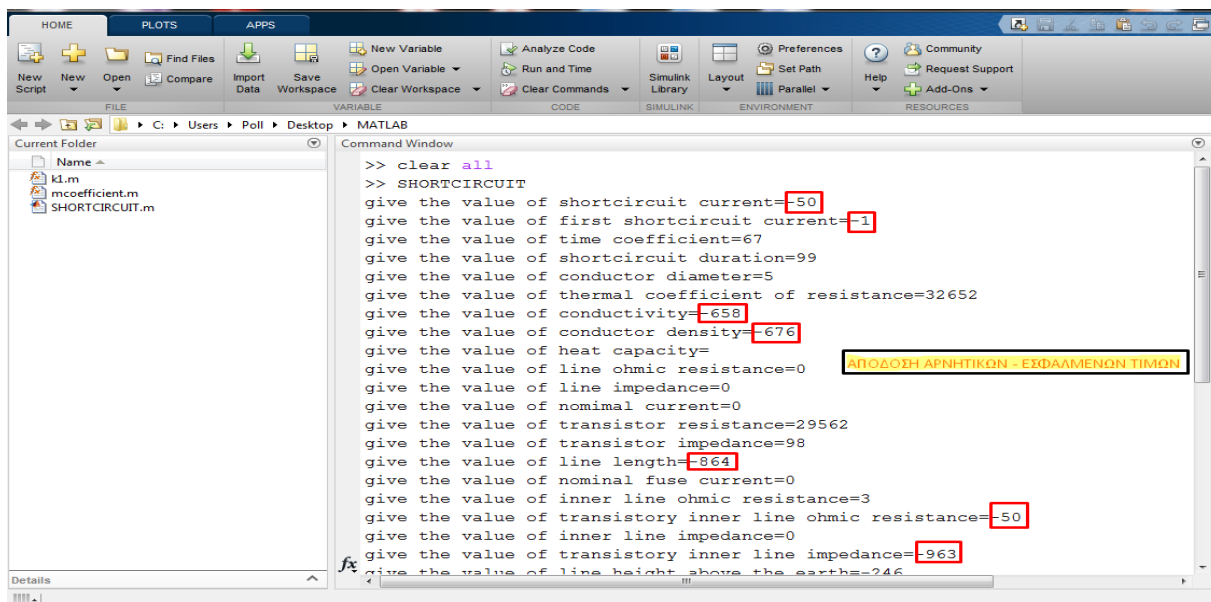
Workspace		Workspace	
Name ▲	Value	Name ▲	Value
A	6.3617e+03	Un	450
Dc	90	X	2.8925
Dtheta	1.9107e-08	XI	10000000
E	0.6234	Xt	124001203
Iacsw	50.4932	Z	6.9720e+08
Id	12	ZI	2.7484e+07
If	45	Zt	6.7017e+08
Ig	81	a	0.8500
In	2.6943e+04	c	0.2200
Is	125.6780	d	7.0000e-18
Issws	44.7029	ext	'.m'
Isw	8	g	9.8100
L	5.0000e-19	k1	1.7600
R	0.0482	km	0.0135
RI	25600000	l	8.0000e-19
Rt	658600000	md	0.8853
Sn	21000000	name	'SHORTCIRCUIT'
T	0.2200	pathstr	'C:\Users\Poll\Desktop\...
Un	450	rh	2600
X	2.8925	rl	625
XI	10000000	rt	69
Xt	124001203	s	33000000
Z	6.9720e+08	t	0.3000
ZI	2.7484e+07	uk	300
Zt	6.7017e+08	ur	5
a	0.8500	xl	62
c	0.2200	xt	200
d	7.0000e-18		

**Εικόνα 6.18:** Εξαγωγή αποτελεσμάτων που πληρούν μόνο την 1<sup>η</sup> συνθήκη (2/2).

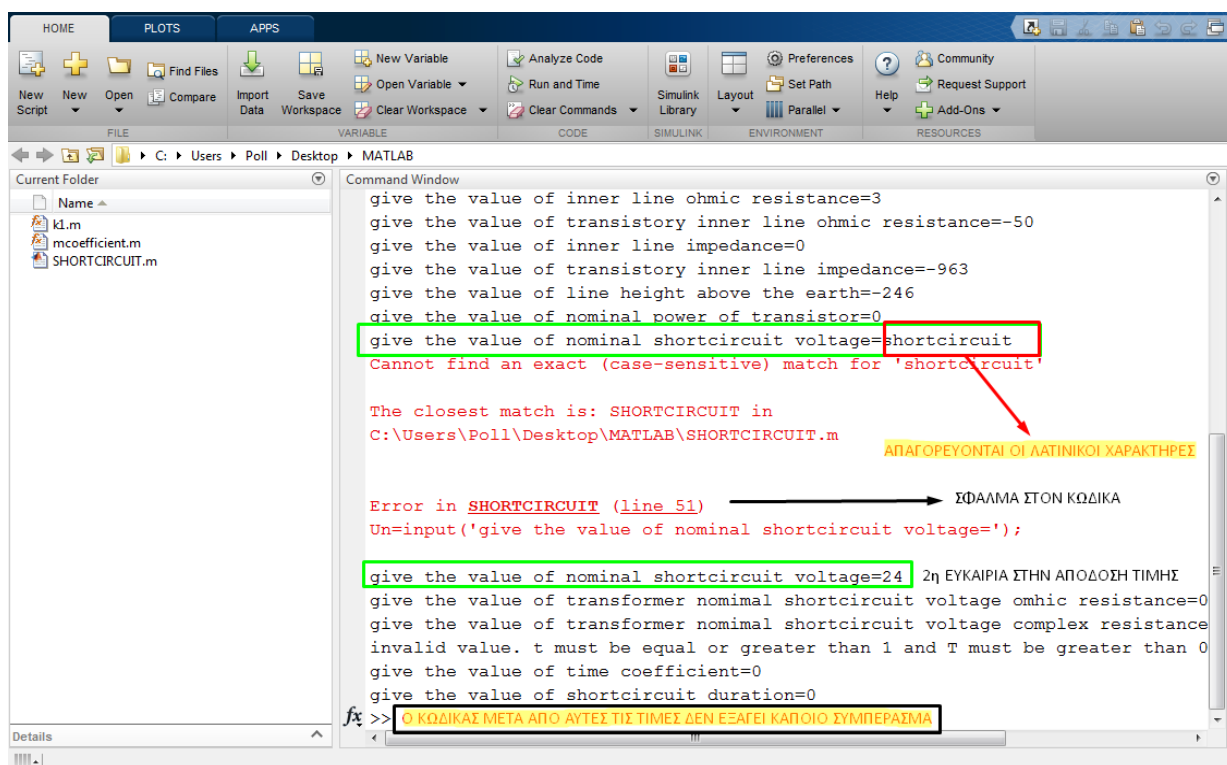
Με τη συγκεκριμένη διαδικασία, αξίζει να υπογραμμιστεί ότι ο συντελεστής  $m_d$  και  $k_1$  λαμβάνουν ένα μεγάλο εύρος τιμών με βάση τον πίνακα 3.4 που ενσωματώνεται στον κώδικα του Παραρτήματος Α. Σε περίπτωση που οι συγκεκριμένοι συντελεστές, όπως και τα ρεύματα (για τον συντελεστή  $m_d$ ) ή αντίστοιχα οι αντιστάσεις (για τον συντελεστή  $k_1$ ), δεν λάβουν κάποια ίδια τιμή με αυτή του πίνακα, οι κώδικες στο Παράρτημα Β χρησιμοποιούν την γραμμική παρεμβολή για να αποτυπώσουν με ακρίβεια τους υπολογισμούς με βάση τα δεδομένα που εισήχθησαν στον κώδικα.

#### 6.4.4 Ο υπολογισμός των σχέσεων για την 4η περίπτωση

Τέλος εξετάζεται μια ακόμη εκδοχή του κώδικα, όχι τόσο για την εξαγωγή συμπερασμάτων αλλά για την εγκυρότητά του σε υπολογιστικό χαρακτήρα. Σύμφωνα με την 4<sup>η</sup> συνθήκη, θα εξεταστεί η περίπτωση όπου με την απόδοση λανθασμένων τιμών ο κώδικας θα εμφανίσει σφάλμα και συνεπώς δεν θα μπορεί να εντοπίσει, εξαιτίας των δεδομένων που θα του αποδοθούν, ένα προκύπτον βραχυκύκλωμα και αργότερα την διεξαγωγή μιας πυρκαγιάς. Αναλυτικότερα στην επιφάνεια εργασίας του προγράμματος Matlab:



Εικόνα 6.19: Απόδοση αρνητικών τιμών στο περιβάλλον του Matlab (1/2).



Εικόνα 6.20: Απόδοση «λατινικών χαρακτήρων» στο περιβάλλον του Matlab (2/2).

Παρατηρείται λοιπόν, ότι σε περίπτωση μη έγκυρων – μη επιτρεπτών τιμών ο κώδικας επεξεργάζεται τα δεδομένα έως και την 1<sup>η</sup> συνθήκη του βραχυκυκλώματος, αλλά στο τέλος αδυνατεί να εμφανίσει κάποιο μήνυμα. Επιπλέον, σε μεγέθη που λαμβάνουν πεδίο ορισμού για λανθασμένες ή μη αποδεκτές τιμές δίνει τη δυνατότητα να του δοθεί εκ νέου μια τιμή και επιπλέον απαγορεύει τον ορισμό άλλων δεδομένων εκτός από νούμερα (για παράδειγμα λατινικούς χαρακτήρες).

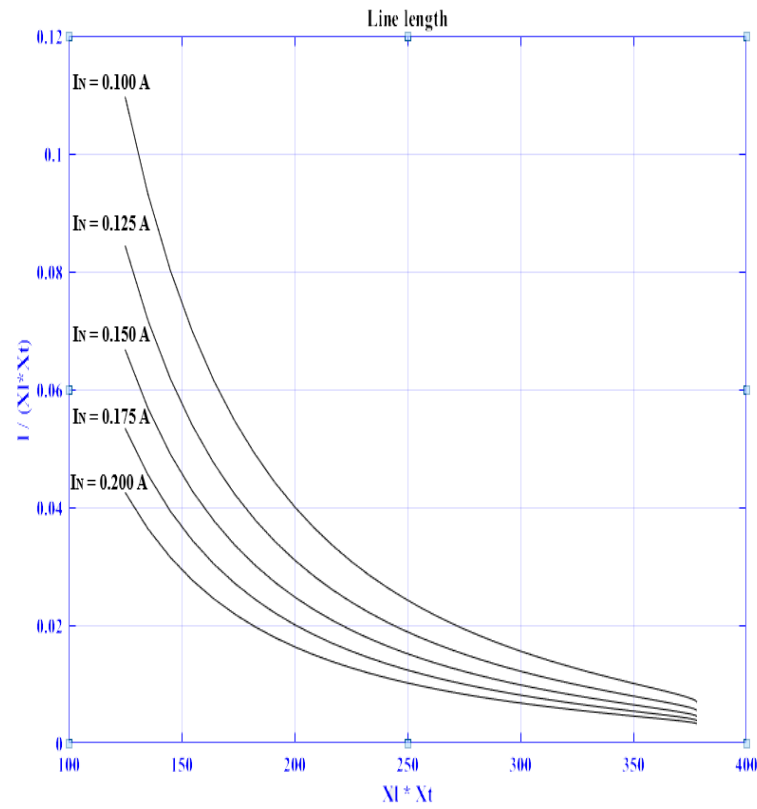
Εξαιρέση αποτελεί η 2<sup>η</sup> συνθήκη για την επιφάνεια του εδάφους, όπου επιλέγεται η άγρια βλάστηση (με την εκδοχή ‘wild’) ή η ξηρή επιφάνεια (με την εκδοχή ‘wooden’) σύμφωνα με την εικόνα 6.12.

## **7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

### **7.1 Οι γραφικές απεικονίσεις με γνώμονα τις 2 συνθήκες**

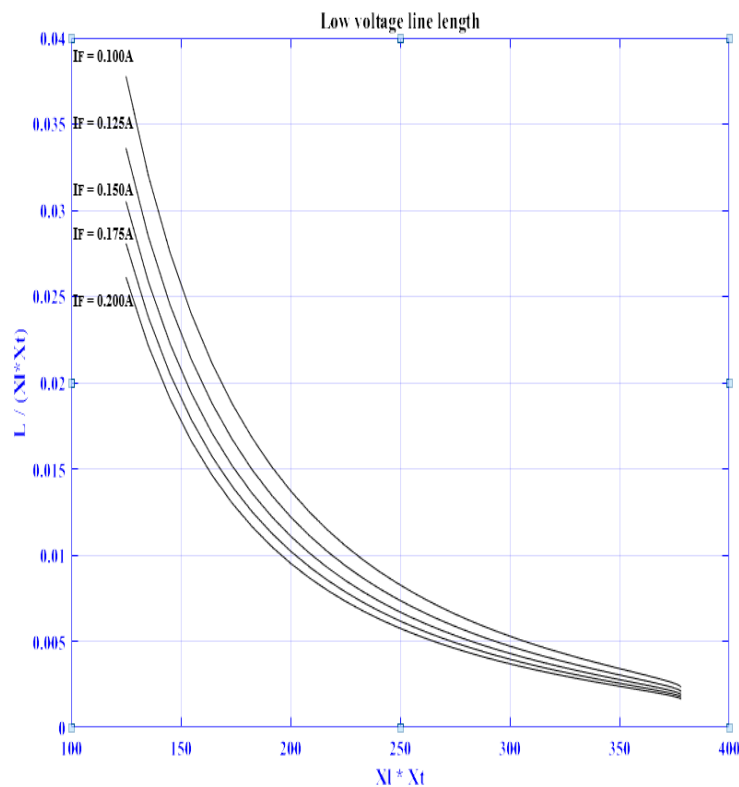
Ύστερα από την ανάλυση των 4 περιπτώσεων με συγκεκριμένες τιμές των μεγεθών αναπτύχθηκαν μερικά αποτελέσματα με βάση τις δεδομένες σχέσεις που ορίστηκαν στο Παράρτημα Α. Στην τωρινή κατάσταση θα παρουσιαστούν σε ένα ευρύ φάσμα τιμών οι μεταβαλλόμενες τιμές που δέχονται οι συνθήκες βραχυκυκλώματος και πυρκαγιάς. Αναλυτικότερα, με τη βοήθεια γραφικών παραστάσεων είτε από το περιβάλλον του Matlab ή του Excel κατασκευάζονται χαρακτηριστικές που μας πληροφορούν σε ποιο πεδίο τιμών υπάρχει ή όχι βραχυκύκλωμα και αν δημιουργείται ή όχι πυρκαγιά.

Σύμφωνα με τη σχέση (3-9), υπάρχει η δυνατότητα λήψης αποτελεσμάτων για τον αν θα προκύπτει βραχυκύκλωμα όταν τα δεδομένα ικανοποιούν την ανισότητα. Στο παρακάτω γράφημα, αποτυπώνεται το μήκος της γραμμής συναρτήσεως των αντιστάσεων της γραμμής και του συνολικού ρεύματος που διαχέεται. Δηλαδή, η ένταση του ρεύματος ξεκινάει από χαμηλές τιμές και λαμβάνει αρκετά υψηλές τιμές, ενώ ταυτόχρονα με την μείωση του γινομένου των αντιστάσεων αυξάνεται το μήκος. *Παρατηρείται λοιπόν με βάση τις 5 δοκιμές, ότι από τις χαρακτηριστικές και υψηλότερα εμφανίζεται βραχυκύκλωμα στο δίκτυο διανομής, όμως από τις χαρακτηριστικές και χαμηλότερα δεν παρουσιάζεται το φαινόμενο αυτό.*



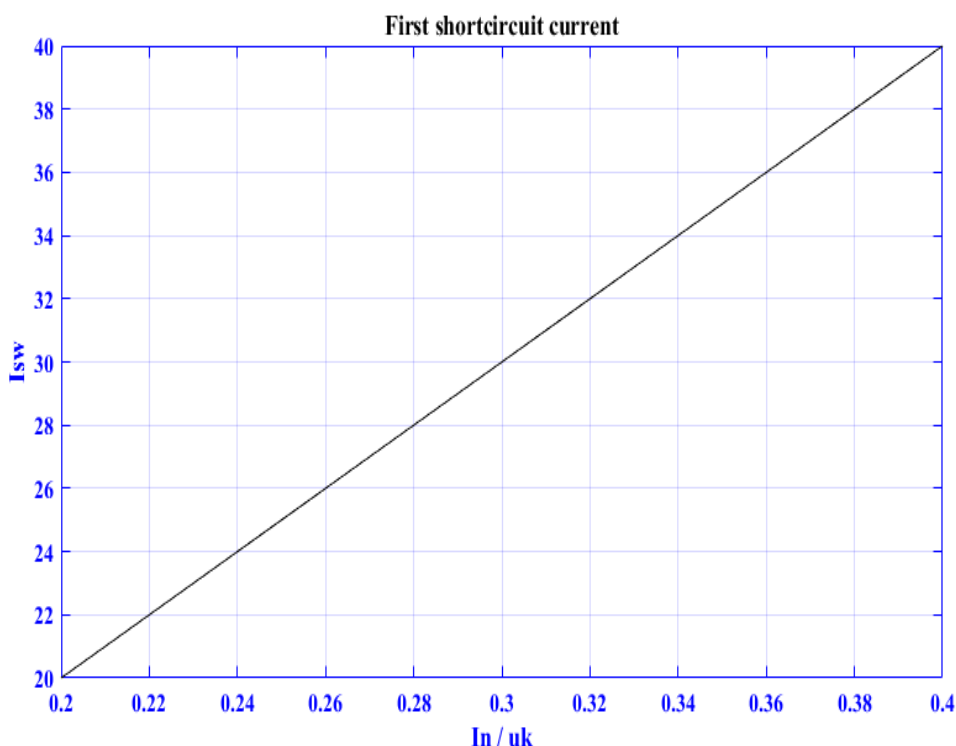
**Διάγραμμα 7.1:** Γραφική απεικόνιση της σχέσης (3-9) για τη συνθήκη ύπαρξης ή μη βραχυκυκλώματος.

Σύμφωνα με τη σχέση (3-24), υπάρχει η δυνατότητα λήψης αποτελεσμάτων για τον αν θα προκύπτει βραχυκύκλωμα όταν τα δεδομένα ικανοποιούν την ανισότητα. Στο παρακάτω γράφημα, αποτυπώνεται μια παραλλαγή της προηγούμενης συνθήκης με πιο πολλές αντιστάσεις δίνοντας τιμές στο ρεύμα ασφαλείας. Η ένταση του ρεύματος ξεκινάει από χαμηλές τιμές και λαμβάνει αρκετά υψηλές τιμές, ενώ ταυτόχρονα με την μείωση του γινομένου των αντιστάσεων αυξάνεται το μήκος. Παρατηρείται λοιπόν με βάση τις 4 δοκιμές, ότι από τις χαρακτηριστικές και υψηλότερα εμφανίζεται βραχυκύκλωμα στο δίκτυο διανομής, όμως από τις χαρακτηριστικές και χαμηλότερα δεν παρουσιάζεται το φαινόμενο αυτό.



**Διάγραμμα 7.2:** Γραφική απεικόνιση της σχέσης (3-24) για τη συνθήκη ύπαρξης ή μη βραχυκυκλώματος.

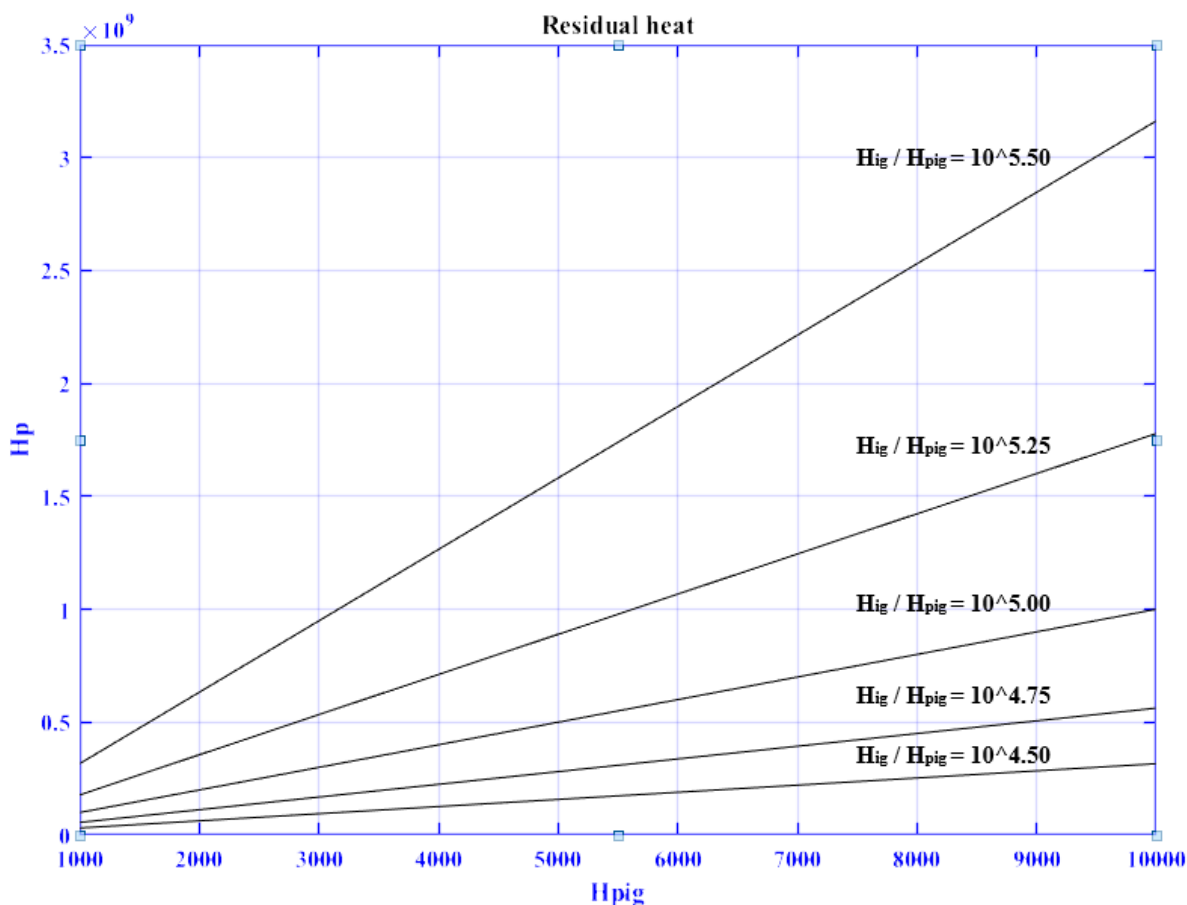
Σύμφωνα με τη σχέση (3-44), υπάρχει η δυνατότητα λήψης αποτελεσμάτων για τον αν θα προκύπτει βραχυκύκλωμα όταν τα δεδομένα ικανοποιούν την ανισότητα. Στο παρακάτω γράφημα, αποτυπώνεται το ρεύμα βραχυκύκλωματος συναρτήσει του πηλίκου του ονομαστικού ρεύματος της γραμμής προς την τάση βραχυκύκλωσης. Η συσχέτιση τους θεωρείται γραμμική, δηλαδή όσο αυξάνεται το ρεύμα βραχυκύκλωσης τόσο ενισχύεται και το προαναφερόμενο πηλίκο. Παρατηρείται λοιπόν, ότι από τη χαρακτηριστική και υψηλότερα δεν εμφανίζεται βραχυκύκλωμα στο δίκτυο διανομής, όμως από τη χαρακτηριστική και χαμηλότερα παρουσιάζεται το φαινόμενο αυτό.



**Διάγραμμα 7.3:** Γραφική απεικόνιση της σχέσης (3-44) για τη συνθήκη ύπαρξης ή μη βραχυκυκλώματος.

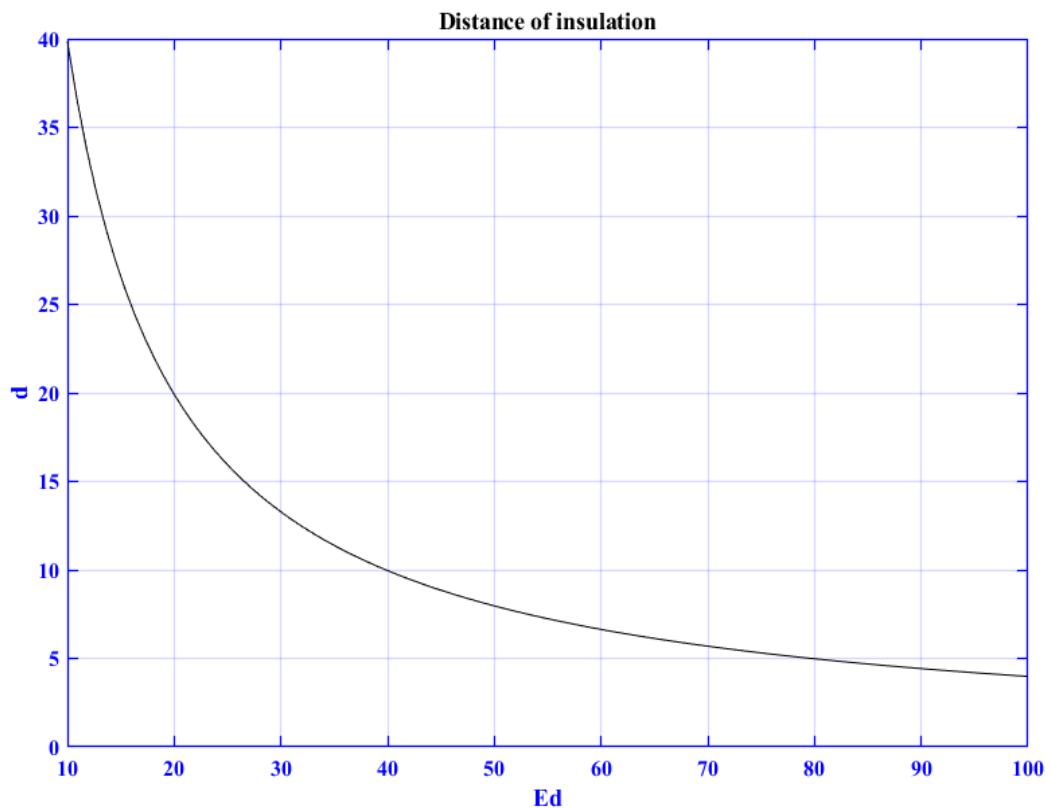


Σύμφωνα με τη σχέση (3-79), υπάρχει η δυνατότητα λήψης αποτελεσμάτων για τον αν θα προκληθεί πυρκαγιά όταν τα δεδομένα ικανοποιούν την ανισότητα. Στο παρακάτω γράφημα, αποτυπώνονται οι κατηγορίες θερμότητας που περιλαμβάνουν τη συνολική, την προσδοκώμενη και την υπολειπόμενη θερμότητα. Η συσχέτιση τους θεωρείται γραμμική, δηλαδή όσο αυξάνεται η θερμότητα τόσο ενισχύεται και το πηλίκο της προσδοκώμενης προς της υπολειπόμενης θερμότητας. Παρατηρείται λοιπόν, ότι από τις χαρακτηριστικές 5 δοκιμών και υψηλότερα εμφανίζεται πυρκαγιά στο δίκτυο διανομής, όμως τις χαρακτηριστικές 5 δοκιμών και χαμηλότερα δεν παρουσιάζεται το φαινόμενο αυτό.



**Διάγραμμα 7.4:** Γραφική απεικόνιση της σχέσης (3-79) για τη συνθήκη πρόκλησης ή μη πυρκαγιάς.

Σύμφωνα με τη σχέση (5-15), υπάρχει η δυνατότητα λήψης αποτελεσμάτων για τον αν θα προκληθεί πυρκαγιά όταν τα δεδομένα ικανοποιούν την ανισότητα. Στο παρακάτω γράφημα, αποτυπώνεται η απόσταση μόνωσης  $d$  συναρτήσει του ηλεκτρικού πεδίου που αναπαράγεται  $E_d$ . Με την ραγδαία μείωση της μόνωσης, το ηλεκτρικό πεδίο ενισχύεται συνεχώς με αποτέλεσμα να οδηγεί τον αγωγό σε πρόωρη γήρανση και τελικά να φλέγεται. Παρατηρείται λοιπόν, ότι από τη χαρακτηριστική και υψηλότερα εμφανίζεται πυρκαγιά στο δίκτυο διανομής, όμως από τη χαρακτηριστική και χαμηλότερα δεν παρουσιάζεται το φαινόμενο αυτό.



**Διάγραμμα 7.5:** Γραφική απεικόνιση της σχέσης (5-15) για τη συνθήκη πρόκλησης ή μη πυρκαγιάς.

## **7.2 Η συνολική αποτίμηση και ο σχολιασμός των ερευνών**

Μετά το πέρας της παρούσας διπλωματικής εργασίας, υλοποιήθηκε ένα σύνολο έρευνας μέσα από τις διαδικτυακές πηγές και τις ακαδημαϊκές γνώσεις των διδασκόντων, που αποτέλεσαν καταλυτικό ρόλο στη σύνθεση και την ταξινόμηση του συγκεκριμένου υλικού. Μέσα από την επεξεργασία θεωρητικών εννοιών που βοήθησαν στην πλήρη κατανόηση του θέματος αλλά και την μελέτη εφαρμοσμένων μοντέλων και ερευνών, ολοκληρώθηκε η αξιολόγηση του υπάρχοντος θέματος, δηλαδή ο τρόπος επίδρασης των πυρκαγιών και του καπνού στην ανάπτυξη και εμφάνιση βραχυκυκλωμάτων και δευτερογενών πυρκαγιών σε δίκτυα μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.

Το ευρύτερο νόημα που αποκομίζεται, είναι ότι το φαινόμενο των πυρκαγιών παρουσιάζει μεγάλη έκταση στην καθημερινότητα εξαιτίας της σύνδεσής τους με την φύση και του εύρους των ιδιοτήτων που τις εκπροσωπούν. Πέρα όμως από τις δυσχερείς συνθήκες που επιφέρει στην ανθρωπότητα, εμφανίζει και κάποιες θετικές πτυχές στους ζωντανούς οργανισμούς και ειδικότερα σε ένα δάσος που αποτελείται από πυκνή βλάστηση, συμπεριλαμβάνοντας και την πανίδα του. Οι δασικές πυρκαγιές, βάσει ερευνών, αντιπροσωπεύουν ένα παγκόσμιο ζήτημα και σημαντικό μερίδιο ευθύνης έχει η καθημερινή ανθρώπινη δραστηριότητα που αμελεί τη συντήρησή τους και η ηλιακή ακτινοβολία που εκπέμπει υψηλά ποσά θερμότητας. Ύστερα από μια σφαιρική περιγραφή των πυρκαγιών, κρίθηκε αναγκαία η αποσαφήνιση των εννοιών του συστήματος ηλεκτρικής. Πρωτίστως, τονίζεται η διαφοροποίηση μεταξύ των συστημάτων μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας και ορίζεται η έννοια των γραμμών μεταφοράς που αποτελεί τη βασικότερη πηγή μελέτης των μεταγενέστερων κεφαλαίων.

Ολοκληρώνοντας το σύνολο του θεωρητικού υπόβαθρου, γίνεται λόγος για την ηλεκτρολογική σημασία του βραχυκυκλώματος και πιο συγκεκριμένα για τα είδη, τα αίτια πρόκλησής του, τις συνέπειες που μπορεί να δημιουργήσει σε μια ηλεκτρολογική εγκατάσταση και τους τρόπους αντιμετώπισής του και επεξηγείται η έννοια του ρεύματος βραχυκυκλώματος. Με τη συσχέτιση των προαναφερόμενων εννοιών και των πυρκαγιών, υιοθετείται ο όρος της ηλεκτρικής πυρκαγιάς, τα αίτια πρόκλησής της και ο τρόπος αντιμετώπισής της. Ακόμη, κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί η εύρεση της ηλεκτρικής πυρκαγιάς στον ηλεκτρολογικό αλλά και στον τηλεπικοινωνιακό εξοπλισμό δημιουργώντας στο κάθε σύστημα αρκετές τροποποιήσεις.

Στο υπόλοιπο σκέλος της διπλωματικής εργασίας, αναφέρονται οι συνθήκες, θεωρητικές και πρακτικές, που περιγράφουν το φαινόμενο του βραχυκυκλώματος. Επιπλέον, με τον υπολογισμό των μεγεθών που διαβρώνονται εξαιτίας του βραχυκυκλώματος αλλά και των ισχυρών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται στον περιβάλλοντα χώρο εντείνεται η επικινδυνότητά του. Πέρα από αυτό, με την επεξεργασία μερικών θεωρητικών υπολογισμών παρέχεται η δυνατότητα πρόληψης και ορθότερης κατασκευής των δικτύων διανομής με στόχο την αποφυγή τέτοιων καταστάσεων.

Επιπρόσθετα, ακολουθεί μια παρόμοια ανάλυση και απόδοση τύπων αλλά από την μεριά των γραμμών μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Δηλαδή εξετάζονται μεγέθη όπως η τάση και το ρεύμα πριν και μετά την αποκοπή, το ύψος των γραμμών που τους οδηγεί στην κατάρρευση, το ύψος της φλόγας και του διακένου καθώς και τα είδη θερμότητας που εκπέμπονται κατά την καύση του συστήματος. Έχοντας αποκομίσει την προαναφερόμενη γνώση, εξετάζονται διάφορες περιπτώσεις τέτοιων φαινομένων όπου σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν οι συνθήκες εδάφους, περιβάλλοντος και ο τρόπος εξάπλωσης της πυρκαγιάς (κατεύθυνση και ταχύτητα).

Ύστερα παρατίθενται οι τρόποι για την αποφυγή διεξαγωγής τέτοιων συμβάντων και μας δείχνει πόσο σημαντική είναι η συντήρηση και ο κατάλληλος εξοπλισμός για τέτοιες εγκαταστάσεις. Επίσης, τα πυκνά στρώματα μόνωσης συμβάλλουν στην αποτροπή βραχυκυκλωμάτων και συνεπώς πυρκαγιών και ταυτόχρονα καθυστερούν τα φαινόμενα γήρανσης και διάσπασης της διηλεκτρικής αντοχής στους αγωγούς.

Τέλος, πραγματοποιείται μια σύνοψη των όσων αναφέρθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια και μπορούν εύκολα να εξαχθούν συμπεράσματα. Ο ρυθμός αύξησης των ρευμάτων και της θερμοκρασίας στην γραμμή, είναι ιδιαίτερα έντονος και αποτελεί τη βασικότερη αιτία πρόκλησης πυρκαγιάς. Οι αντιστάσεις του δικτύου διανομής όσο μεγαλύτερες είναι τόσο περισσότερο αποτρεπτικές είναι στην διάβρωσή τους και τελικώς στην καταστροφή τους. Τα ύψη που συνδέονται οι γραμμές μεταφοράς πρέπει να είναι όσο το δυνατόν σε ανώτερο σημείο και να μην τις διαχέει μεγάλη ποσότητα ηλιακής ενέργειας.

Οι έρευνες που πραγματοποιήθηκαν στο αντικείμενο που έχει διευκρινιστεί, οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι η επίδραση της πυρκαγιάς σε οποιοδήποτε σύστημα ενέργειας κρίνεται επιζήμια. Για αυτόν τον λόγο είναι απαραίτητη η συντήρηση και η προστασία οποιασδήποτε ηλεκτρικής εγκατάστασης για την αποφυγή της ολικής καταστροφής της και της στέρησης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην κοινωνία.

## Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές

{1}: Science Learning Hub. *What is fire?* .

Πηγή:<https://www.sciencelearn.org.nz/resources/747-what-is-fire>.

{2}:How Stuff Works. «*How Fire Works*»

Πηγή:<https://science.howstuffworks.com/environmental/earth/geophysics/fire2.htm>.

{3}: 8SA.NET. (2021). *What is Fire? How Does a Fire Occur?* .

Πηγή:<https://www.8sa.net/how-does-fire-occur/>.

{4}:National Geographic. *Wildfires*.

Πηγή:<https://education.nationalgeographic.org/resource/wildfires/>.

{5}: Western Fires Chiefs Association. *When and where do Wildfires Occur?*.

Πηγή:<https://wfca.com/articles/where-do-wildfires-occur/>.

{6}: National Library of Medicine, «Environmental Impact of Fire». Πηγή:

<https://firesciencereviews.springeropen.com/articles/10.1186/s40038-016-0014-1>.

{7}: Dr Gabrielle Denault M.D. The impact of forest fires on human health. Πηγή:

<https://observatoireprevention.org/en/2021/08/31/the-impact-of-forest-fires-on-human-health/>.

{8}: Efectis. ENVIRONMENTAL IMPACT OF FIRES. Πηγή:

<https://efectis.com/en/environmental-impact-of-fires/>.

{9}: M. Perry, A. Troccoli, (2015). Impact of a fire burn on solar irradiance and PV power. *Sol. Energy*, vol. 114, 167-173. Πηγή:

[https://www.bing.com/search?q=M.+Perry%2C+A.+Troccoli%2C+\(2015\)+Impact+of+a+fire+burn+on+solar+irradiance+and+PV+power.&aqs=edge..69i57.1231859j0j4&FORM=ANAB01&PC=U531](https://www.bing.com/search?q=M.+Perry%2C+A.+Troccoli%2C+(2015)+Impact+of+a+fire+burn+on+solar+irradiance+and+PV+power.&aqs=edge..69i57.1231859j0j4&FORM=ANAB01&PC=U531).

{10}: National Library of Medicine. *Impacts of Wildland Fire Smoke: Future Challenges and Policy Opportunities*. Πηγή: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8456726/Respiratory>.

{11}: National Library of Medicine, «Environmental Impact of Fire». Πηγή:

<https://firesciencereviews.springeropen.com/articles/10.1186/s40038-016-0014-1>.

{12}: Κόκκαλης Αλκιβιάδης. (2017). Περιβαλλοντικές επιπτώσεις συνέπεια Δασικής Πυρκαγιάς και μέτρα αποκατάστασης. Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο: Αθήνα.

Πηγή:<https://pergamos.lib.uoa.gr/uoa/dl/frontend/file/lib/default/data/1332461/theFile>

{13}: Science Daily. (2018). The underestimated cooling effect on the planet from historic fires.

Science Daily. Πηγή: <https://www.sciencedaily.com/releases/2018/08/180809093437.htm>.

{14}: S. H. Doerr, C. Santí. (2016). *Global trends in wildfire and its impacts: Perceptions versus realities in a changing world.* *Phil. Trans. Roy. Soc. B, Biol. Sci.*, vol. 371, no. 1696, Jun. 2016, Art. No. 20150345. Πηγή: 10.1098/rstb.2015.0345.

{15}: T. Abatzoglou, A. P. Williams, and R. Barbero. (2019). *Global emergence of anthropogenic climate change in fire weather indices*. *Geophys. Res. Lett.*, vol. 46, no.1pp.326-336.

Πηγή: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2018GL080959>.

{16}: Venkatesh Vaidyanathan. (2019). *What Is an Electrical Power System?*.

Πηγή:<https://www.scienceabc.com/innovation/electrical-power-system.html>.

{17}: Elliot Clark. What is Electricity System?. *ENERGY THEORY*.

Πηγή:[https://energytheory.com/what-is-electricity-](https://energytheory.com/what-is-electricity-system/#:~:text=An%20electricity%20system%20includes%20all%20of%20the%20components,distribution%20grids%2C%20and%20all%20infrastructure%20associated%20with%20them.)

system/#:~:text=An%20electricity%20system%20includes%20all%20of%20the%20components,distribution%20grids%2C%20and%20all%20infrastructure%20associated%20with%20them.

{18}: Polyexcel. (2021). *Electric Power Distribution Networks: How It Functions And What Are Its Characteristics*. Πηγή:<https://polyexcel.com.br/en/industry/electric-power-distribution-networks-how-it-functions-and-what-are-its-characteristics/>.

{19}: National grid. (2022). *What's the difference between electricity transmission and distribution?*.

Πηγή:[https://www.nationalgrid.com/stories/energy-explained/electricity-transmission-vs-electricity-](https://www.nationalgrid.com/stories/energy-explained/electricity-transmission-vs-electricity-distribution#:~:text=The%20transmission%20network%20is%20like%20t.)

distribution#:~:text=The%20transmission%20network%20is%20like%20t.

{20}: Mackinnon, Partners. « WHAT IS TRANSMISSION AND DISTRIBUTION OF ELECTRICITY? »

Πηγή:<https://mackinnonandpartners.com/what-is-transmission-and-distribution-of-electricity/>.

{21}: Siu Ki Lau, Siu Kwong Ho. (2017). *Open-circuit fault detection in distribution overhead*

*power supply network*. Πηγή:

<https://www.tandfonline.com/doi/epdf/10.1080/22348972.2017.1385440?needAccess=true&role=button>.

{22}: S. Sivanagaraju, S. Satyanarayana. (2015). *Electric Power Transmission and Distribution*.

Πηγή: <https://pdfroom.com/books/electric-power-transmission-and-distribution/bG5wQYOOgq4>.

{23}: Institute of Energy Research. *Electricity Distribution*.

Πηγή:<https://www.instituteforenergyresearch.org/electricity-distribution/>.

{24}: Powerlink. (2015). Fire and high voltage transmission line safety. Πηγή:

[https://www.powerlink.com.au/sites/default/files/2019-](https://www.powerlink.com.au/sites/default/files/2019-01/Fire%20and%20High%20Voltage%20Transmission%20Line%20Safety.pdf#:~:text=Large%20fires%20burning%20adjacent%20to%20or%20under%20high,line.%20Interrupt%20electricity%20supply%20to%20households%20and%20industry.)

01/Fire%20and%20High%20Voltage%20Transmission%20Line%20Safety.pdf#:~:text=Large%20fires%20burning%20adjacent%20to%20or%20under%20high,line.%20Interrupt%20electricity%20supply%20to%20households%20and%20industry.

{25}: René Smeets. (2014). Switching in Electrical Transmission and Distribution Systems. Πηγή:

<https://www.bing.com/search?q=SWITCHING+IN+ELECTRICAL+TRANSMISSION+AND+DISTRIBUTION+SYSTEMS&aqs=edge.0.69i59j69i61.1478446j0j1&pglt=41&FORM=ANNTA1&PC=U531>.

{26}: Thomas O. Jackson and Jennifer Pitts. *The Effects of Electric Transmission Lines on Property Values: A Literature Review*.

Πηγή:<http://www.realanalytics.com/Transmission%20Lines%20Lit%20Review.pdf>.

{27}: N. Mohd Zainuddin, M. S. Abd. Rahman. Review of Thermal Stress and Condition

Monitoring Technologies for Overhead Transmission Lines: Issues and Challenges. *IEE XPLORE*.

Πηγή: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9123900>.

{28}: F.S. MoreiraTakaaki, OhishiTakaaki, OhishiJ.I. Da Silva Filho. (2006). *Influence of the thermal limits of transmission lines in the economic dispatch*. *IEE XPLORE*.

Πηγή:[https://www.researchgate.net/publication/261049404\\_Influence\\_of\\_the\\_thermal\\_limits\\_of\\_tr](https://www.researchgate.net/publication/261049404_Influence_of_the_thermal_limits_of_tr)

ansmission\_lines\_in\_the\_economic\_dispatch#:~:text=In%20authors%20use%20the%20sequential%20Monte%20Carlo%20simulation,exploited%20for%20economic%20generation%20dispatch%20is%20described%20in.

{29}: Perrine Juillion. (2021). *What is thermal limit of transmission line?*.

Πηγή:<https://studybuff.com/what-is-thermal-limit-of-transmission-line/>  
<https://www.vedantu.com/physics/thermal-stress>.

{30}: A. SukhnandanD.A. Hoch. (2002). *Fire induced Flashovers of Transmission lines: Theoretical models*. Πηγή:

[https://www.researchgate.net/publication/3985102\\_Fire\\_induced\\_Flashovers\\_of\\_Transmission\\_lines\\_Theoretical\\_models](https://www.researchgate.net/publication/3985102_Fire_induced_Flashovers_of_Transmission_lines_Theoretical_models).

{31}: J.R. Fonseca, A.L. Tan, R.P. Silva, V. Monassi, L.A.R. Assuncao, W.S. Junqueira, M.O.C. Melo. (1990). Effects of agricultural fires on the performance of overhead transmission lines. Πηγή:  
<https://ieeexplore.ieee.org/document/53071>.

{32}: Sarah MacGregor. (1990). *Wildfires and Transmission Lines*.

Πηγή:<https://storymaps.arcgis.com/stories/142aeb8362f34943bcc7978846e85ef9>.

{33}: Electrical4u. *What Is Electrical Short Circuit & Why Is It Dangerous?*.

Πηγή:[https://www.electrical4uonline.com/electrical-short-circuit/?utm\\_content=cmp-true](https://www.electrical4uonline.com/electrical-short-circuit/?utm_content=cmp-true).

{34}: The Spruce. *What Happens When an Electrical Circuit Overloads*.

Πηγή:<https://www.thespruce.com/what-is-electrical-circuit-overload-1152861>.

{35}: Us – electric. *What is a Short Circuit & How to Fix It: A Step-by-Step Guide*.

Πηγή: <https://us-electric.com/what-is-a-short-circuit-how-to-fix-it/>.

{36}: ELECTRICAL PROTECTION. *Types of Short Circuit Faults in a Power System*. Πηγή:

<https://www.electricityforum.com/iep/electrical-protection/types-of-short-circuit-faults-in-power-system>.

{37}: Nextgen. *WHAT CAUSES ELECTRICAL SHORT CIRCUIT?*. Πηγή:

<https://www.nextgenelectric.ca/what-causes-electrical-short-circuit/>.

{38}: Pacific. 4 Main Causes of Electrical Short Circuits.

Πηγή:<https://info.pacificsheetmetal.net/blog/4-main-causes-of-electrical-short-circuits>.

{39}: Electrical Engineering Portal. (2018). *Short circuit phenomenon you should properly understand*. Πηγή: <https://electrical-engineering-portal.com/short-circuit-phenomenon>.

{40}: Carelabs. *WHAT IS SHORT CIRCUIT ANALYSIS, AND WHY IS IT DONE?*. Πηγή:

<https://carelabz.com/what-short-circuit-analysis-done-why/>.

{41}: Roman Electric. 5 WAYS TO PREVENT SHORT CIRCUITS.

Πηγή:<https://romanelectrichome.com/ways-to-prevent-short-circuits/>.

{42}: Short – Fact. (2020). *What is short circuit in transmission line?*. Πηγή:<https://short-fact.com/what-is-short-circuit-in-transmission-line/>.

{43}: Electrical Conductor. (2015). *The Link Between Power Lines and Wildfires*.

Πηγή:<https://www.ecmag.com/magazine/articles/article-detail/systems-link-between-power-lines-and-wildfires>.

{44}: Texas Wildfire Mitigation Project. (2014). *HOW DO POWER LINES CAUSE WILDFIRES?*.

Πηγή: <https://wildfiremitigation.tees.tamus.edu/faqs/how-power-lines-cause-wildfires>.

- {45}: Sunrise Powerlink Project. (2008). *Attachment 1A: Effect of Wildfires on Transmission Line Reliability*. Πηγή: [https://ia.cpuc.ca.gov/environment/info/aspen/sunrise/deir/apps/a01/App%201%20ASR%20z\\_Atm%201A-Fire%20Report.pdf](https://ia.cpuc.ca.gov/environment/info/aspen/sunrise/deir/apps/a01/App%201%20ASR%20z_Atm%201A-Fire%20Report.pdf).
- {46}: K. Chrzan, Z. Wróblewski. (2008). *The threat caused by fires under high voltage lines*. Πηγή: <https://www.semanticscholar.org/paper/The-threat-caused-by-fires-under-high-voltage-lines-Chrzan-Wro%CC%81blewski/981ca89cdac7e3a87e002ae1f0a628a8547d710a>.
- {47}: U.S.NRC. (2012). *A Literature Review of the Effects of Smoke from a Fire on Electrical Equipment*. Πηγή: [https://tsapps.nist.gov/publication/get\\_pdf.cfm?pub\\_id=908085](https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=908085).
- {48}: NATHAN REIFF. *How Fire Season Affects the Economy*. Πηγή: <https://www.investopedia.com/how-fire-season-affects-the-economy-5194059>.
- {49}: Niancheng Zhou. (2016). *Short-Circuit Calculation in Distribution Networks with Distributed Induction Generators*. Πηγή: [https://www.researchgate.net/publication/301273320\\_Short-Circuit\\_Calculation\\_in\\_Distribution\\_Networks\\_with\\_Distributed\\_Induction\\_Generators](https://www.researchgate.net/publication/301273320_Short-Circuit_Calculation_in_Distribution_Networks_with_Distributed_Induction_Generators).
- {50}: National Library of Medicine. (2017). *Short-Circuit Fault Detection and Classification Using Empirical Wavelet Transform and Local Energy for Electric Transmission Line*. Πηγή: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28926953/>.
- {51}: K Suslov, N Solonina, Z Solonina, A Akhmetshin. (2021). *Development of the method of determining the location of a short circuit in transmission lines*. Πηγή: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2061/1/012033/pdf>
- {52}: Ryttec Electric, LLC. *HOW DO ELECTRICAL FIRES START?*. Πηγή: <https://rytecelectric.com/blog/how-do-electrical-fires-start/>.
- {53}: Suzi Mein. *How Do Electrical Fires Start?* . (2019). *Fire Trace*. Πηγή: <https://www.firetrace.com/fire-protection-blog/how-does-an-electrical-fire-start>.
- {54}: Cambridge University. *Fire takes no vacation: impact of fires on tourism*. Πηγή: <https://www.cambridge.org/core/journals/environment-and-development-economics/article/fire-takes-no-vacation-impact-of-fires-on-tourism/798E8D5D6794FDBBDE64073E9FDEF40B>.
- {55}: Michel Delplace, Eddie Vos. *Electric Short Circuits Help the Investigator Determine Where the Fire Started*. *SPRINGER LINK*. Πηγή: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02378698>.
- {56}: Psarros, E. , Kontokostas, Ch.k. , Tsarabaris, P. , Karagiannopoulos, C. , Bourkas, P. (2009). *Overhead lines insulation distance reduction due to stay wire's expansion from ground fires*. *IET Digital Library*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Πηγή: [https://digital-library.theiet.org/content/journals/10.1049/iet-gtd\\_20080338](https://digital-library.theiet.org/content/journals/10.1049/iet-gtd_20080338).
- {57}: National grid. (2022). *What's the difference between electricity transmission and distribution?*. Πηγή: <https://www.nationalgrid.com/stories/energy-explained/electricity-transmission-vs-electricity-distribution#:~:text=The%20transmission%20network%20is%20like%20t>.
- {58}: Siu Ki Lau, Siu Kwong Ho. (2017). *Open-circuit fault detection in distribution overhead power supply network*. Πηγή: <https://www.tandfonline.com/doi/epdf/10.1080/22348972.2017.1385440?needAccess=true&role=button>.
- {59}: Elliot Clark. *What is Electricity System?*. *ENERGY THEORY*. Πηγή: <https://energytheory.com/what-is-electricity->



system/#:~:text=An%20electricity%20system%20includes%20all%20of%20the%20components,distribution%20grids%2C%20and%20all%20infrastructure%20associated%20with%20them.

{60}: Σουλινάρης, Κ. Γ. (2015). *Αξιολόγηση συμπεριφοράς γραμμής ηλεκτρικής ενέργειας σε περιβάλλον πυρκαγιάς*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Πηγή: <https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/handle/123456789/320>.

{61}: N. Mohd Zainuddin, M. S. Abd. Rahman. Review of Thermal Stress and Condition Monitoring Technologies for Overhead Transmission Lines: Issues and Challenges. *IEE XPLORE*. Πηγή: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9123900>.

{62}: Guo, Yuf., Chen, R., Shi, J., Wan, J. (2018). Determination of the power transmission line ageing failure probability due to the impact of forest fire. *IET Generation, Transmission & Distribution*. Πηγή: <https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1049/iet-gtd.2018.0039>.

{63}: Choobineh, M., Ansari, B., Mohagheghi, S. (2014). Vulnerability assessment of the power grid against progressing wildfires. *Fire Safety Journal*. Πηγή: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0379711215000168>.

{64}: Infrastructures. *Assessing the impacts of wildfires on interconnected critical infrastructure under climate change*.

Πηγή: <file:///C:/Users/Poll/Downloads/infrastructures-06-00016.pdf>.

{65}: Χαλεβίδης, Δ. Κ. (2012). *Διηλεκτρικά και θερμικά φαινόμενα σε γραμμές μεταφοράς και διανομής*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Πηγή: <https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/handle/123456789/320>.

{66}: Ψαρρός, Γ. Ε. (2009). *Υπαίθριες Γραμμές Διανομής Χαμηλής Τάσης σε Περιβάλλον Πυρκαγιών*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Πηγή: <https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/handle/123456789/320>.

{67}: Γιαννίκου, Φ., Ρίζος, Ε. (2012). *Ανάπτυξη λογισμικού για την εκτίμηση της διηλεκτρικής, θερμικής και μηχανικής συμπεριφοράς των εναέριων γραμμών υψηλής, μέσης και χαμηλής τάσης καθώς και των εξασκούμενων δυνάμεων μεταξύ τους*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Πηγή: <https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/handle/123456789/320>.

{68}: Τσιτούρας, Γ. Αθ. (2016). *Θερμική – διηλεκτρική – μηχανική καταπόνηση αγωγών (ACSR 16 mm<sup>2</sup>, Al 16 mm<sup>2</sup>) του δικτύου διανομής υπό το μέγιστο ρεύμα λειτουργίας και υπό βραχυκύκλωμα*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Πηγή: <https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/handle/123456789/320>.

{69}: Πίσπας, Σ. Ν. (2013). *Εύλιнос Στύλος Του Δικτύου Διανομής Υπό Την Επίδραση Πυρκαγιάς*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Πηγή: <https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/handle/123456789/320>.

{70}: Καλαργάρης, Ι. (2013). *Πειραματική Αξιολόγηση Θερμικών Ιδιοτήτων και Συμπεριφοράς Μονωτικών Υλικών σε Συνθήκες Φωτιάς*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Πηγή: <https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/handle/123456789/320>.

{71}: Οικονομόπουλος Κ. (2013). *Υπολογισμός Ηλεκτρικού και Μαγνητικού Πεδίου στο Περιβάλλον Γραμμών Μεταφοράς Μέσης Τάσης*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Πηγή: <https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/handle/123456789/320>.

{72}: Mohanad El-Harbawi, Fahad Al-Mubaddel. (2020). Risk of Fire and Explosion in Electrical Substations Due to the Formation of Flammable Mixtures. *Scientific Reports*. Πηγή: <https://www.nature.com/articles/s41598-020-63354-4/>.

{73}: Chuanping Wu, Jiazheng Lu. Control strategy for large-scale fires near power transmission lines and its application. *IET Generation, Transmission and Distribution*. Πηγή: <https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1049/gtd2.12053>.

{74}: Gary Whittaker. (2005). The Fundamentals of Fire-Protective Insulation. *insulation outlook*. Πηγή: <https://insulation.org/io/articles/the-fundamentals-of-fire-protective-insulation/>.

{75}: Kristin Bigda. (2021). *Basics of Fire and Smoke Damper Installations*. NFPA.

Πηγή:<https://www.nfpa.org/News-and-Research/Publications-and-media/Blogs-Landing-Page/NFPA-Today/Blog-Posts/2021/08/12/Basics-of-Fire-and-Smoke-Damper-Installations>.

{76}: Rockwool. *Fire Safe Insulation*.

Πηγή:<https://www.rockwool.com/group/advice-and-inspiration/product-types/fire-safe-insulation/>.

{77}: Chen, X. , Tao, Li , Ling, R. , Kan, Xu , Huang, J. , Xiong, Yu. (2014). Research and Application of Fire Risk Assessment Based on Satellite Remote Sensing for Transmission Line.

*Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science*. Σαν Φρανσίσκο, Αμερική. 284-287. Πηγή: [https://www.iaeng.org/publication/WCECS2015/WCECS2015\\_pp284-287.pdf](https://www.iaeng.org/publication/WCECS2015/WCECS2015_pp284-287.pdf).

{78}: University of KwaZulu-Natal. (2014). HVDC Corona Induced Fire Under DC Power Lines.

Πηγή:[https://ukzndspace.ukzn.ac.za/bitstream/handle/10413/14169/Siame\\_Clement\\_Malamba\\_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://ukzndspace.ukzn.ac.za/bitstream/handle/10413/14169/Siame_Clement_Malamba_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

{79}: Bagchi, Ar. (2009). Modeling the Power Distribution Network Of a Virtual City and Studying the Impact Of Fire On the Electrical Infrastructure. Texas A&M University. Πηγή:

[https://www.researchgate.net/publication/334597306\\_Modeling\\_the\\_power\\_distribution\\_network\\_of\\_a\\_virtual\\_city\\_and\\_studying\\_the\\_impact\\_of\\_fire\\_on\\_the\\_electrical\\_infrastructure](https://www.researchgate.net/publication/334597306_Modeling_the_power_distribution_network_of_a_virtual_city_and_studying_the_impact_of_fire_on_the_electrical_infrastructure).

{80}: Universidade de Brasília. Impact of the specific fire load on the performance of power transmission lines. Brazil. Πηγή: <https://www.scielo.br/j/cflo/a/4rfr9b9wsZmrXKwmFNctGbp/>.

{81}: Tianwei, C. , Liming, J. (2019). Fire Impact on Vertical Components Subjected to a Localised Fire Estimated Using a Line Source Model. Πηγή:

<https://link.springer.com/article/10.1007/s10694-023-01429-0>.

{82}: Wang , Zh. , Kai , Shui, Fei , You. (2019). Prediction of the failure probability of the overhead power line exposed to large-scale jet fires induced by high-pressure gas leakage. *International Journal of Hydrogen Energy*. Πηγή:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319920339161>.

{83}: Qi, YING , Zhe-heng , ZHOU, Fa-xian , WU. (2021). An Idea of Fire Risk Assessment for Electric Transmission Lines. *DEStech Transactions on Environment*.

Πηγή:[https://www.researchgate.net/publication/326757304\\_An\\_Idea\\_of\\_Fire\\_Risk\\_Assessment\\_for\\_Electric\\_Transmission\\_Lines](https://www.researchgate.net/publication/326757304_An_Idea_of_Fire_Risk_Assessment_for_Electric_Transmission_Lines).

{84}: AllumiaX Engineering. (2020). *What is the Corona Effect in Transmission Lines? How Engineers Overcome it?*. Πηγή:<https://allumiax.medium.com/what-is-the-corona-effect-in-transmission-lines-how-engineers-overcome-it-a348f11838c3>.

{85}: Wei , Guo, Ziheng , Pu, Zhigang , Ren, Shiyi , Zhou. (2022). Analysis of Abnormal Detection Data of Fire Accident in Power Cable Tunnel and Field Test Study on Characteristic Parameters of Tunnel Fire. *ORIGINAL RESEARCH article*. Πηγή:

<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenrg.2022.860707/full>.

{86}: B. Don Russell, Carl L. Benner, Jeffrey A. Wischkaemper. (2022). Distribution feeder caused wildfires: Mechanisms and prevention. *IEE XPLORE*. Πηγή:

<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6201220>.

{87}: G.K. Soulinaris, C.D. Halevidis, A.D. Polykrati, P.D. Bourkas. (2022). Evaluation of the thermal stresses and dielectric phenomena in the investigation of the causes of wildfires involving distribution power lines. *Electric Power Systems Research*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Πηγή: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378779614002867>.

{88}: Vytėnis Babrauskas, Ph.D. (2001). How do electrical wiring faults lead to structure ignitions?. Λονδίνο 2001. Πηγή: <https://doctorfire.com/pages/ElectricalFires.pdf>.

{89}: E. G. Psarros, A. D. Polykrati, C. G. Karagiannopoulos, P. D. Bourkas. (2009). A model for calculating the temperature of aluminum particles ejected from overhead low-voltage lines owing to

- a short-circuit. *Journal of the International Association of Wildland Fire*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Πηγή: <https://www.publish.csiro.au/WF/WF08128>.
- {90}: C.D. Halevidis, S.D. Anagnostatos, A.D. Polykrati, E.I. Koufakis, P.D. Bourkas. (2010). Proposal of a protection method against probable consequences to humans and the environment from short-circuit or abruption of a low-voltage distribution line conductor. *IET Digital Library*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Πηγή: <https://digital-library.theiet.org/content/journals/10.1049/iet-gtd.2009.0583>.
- {91}: E.G. Psarros, Ch.K. Kontokostas, P.T. Tsarabaris, C.G. Karagiannopoulos, P.D. Bourkas.(2009). Overhead lines insulation distance reduction due to stay wire's expansion from ground fires. *IET Digital Library*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Πηγή: [https://digital-library.theiet.org/content/journals/10.1049/iet-gtd\\_20080338](https://digital-library.theiet.org/content/journals/10.1049/iet-gtd_20080338).
- {92}: C.D. Halevidis, S.D. Anagnostatos, A.D. Polykrati, E.I. Koufakis, P.D. Bourkas. (2010). Proposal of a protection method against probable consequences to humans and the environment from short-circuit or abruption of a low-voltage distribution line conductor. *IET Generation, Transmission and Distribution*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Πηγή: [https://www.researchgate.net/publication/224148324\\_Proposal\\_of\\_a\\_protection\\_method\\_against\\_probable\\_consequences\\_to\\_humans\\_and\\_the\\_environment\\_from\\_short-circuit\\_or\\_abruption\\_of\\_a\\_low-voltage\\_distribution\\_line\\_conductor](https://www.researchgate.net/publication/224148324_Proposal_of_a_protection_method_against_probable_consequences_to_humans_and_the_environment_from_short-circuit_or_abruption_of_a_low-voltage_distribution_line_conductor).
- {93}: Emmanuel Koufakis, Panagiotis Tsarabaris, John Katsanis, Constantinos G. Karagiannopoulos, Perikles Bourkas. (2010). A Wildfire Model for the Estimation of the Temperature Rise of an Overhead Line Conductor. *IEE XPLORE*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Πηγή: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5392971>.
- {94}: Wang Li, Hao-Wei, Yao, Wu Zexin, Liang Dong. (2014). Influence of External Heat on Texture of Short Circuit Melted Mark in Electrical Fire. *IEE XPLORE*. Πηγή: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7003596>.
- {95}: M. Majstrovic a, E. Sutlovic. (2017). Critical diameter of particles produced in overhead line conductor clashing. *Applied Thermal Engineering*. Πηγή: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359431116338625>.
- {96}: Haixiang Chen, Yun Zhang, Linhe Zhang. (2018). A method to assess the wildfire induced breakdown of high-voltage transmission lines ». *Journal of Physics: Conference Series*. Haixiang Chen. Πηγή: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1074/1/012152>.
- {97}: I. Theodosoglou, V. Chatziathanasiou, A. Papagiannakis. (2017). Electrothermal analysis and temperature fluctuations' prediction of overhead power lines. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. Πηγή: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0142061516301156>.
- {98}: Athanasios L. Maglaras, Konstantina Giannakopoulou, Triphon G. Kousiouris. (2013). Control and optimization of the Corona effects and breakdown of small rod-plate air gaps stressed by dc and impulse voltages. *IEE XPLORE*. Πηγή: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6619741>.
- {99}: Pascal Ortega, F Heilbronner, F Rühling. (2005). Charge–voltage relationship of the first impulse corona in long airgaps. *Journal of Physics D: Applied Physics*. Πηγή: [https://www.researchgate.net/publication/228565642\\_Charge\\_voltage\\_relationship\\_of\\_the\\_first\\_impulse\\_corona\\_in\\_long\\_airgaps](https://www.researchgate.net/publication/228565642_Charge_voltage_relationship_of_the_first_impulse_corona_in_long_airgaps).
- {100}: Abderrahmane Beroual, Lamine Konate, Frederic Maciela. (2019). Modelling of Dielectric Strength in Long Air Gaps – Application to a complex geometry. *Journal of Physics D: Applied Physics*. Πηγή: [https://www.researchgate.net/publication/338056068\\_Modelling\\_of\\_Dielectric\\_Strength\\_in\\_Long\\_Air\\_Gaps\\_-\\_Application\\_to\\_a\\_complex\\_geometry](https://www.researchgate.net/publication/338056068_Modelling_of_Dielectric_Strength_in_Long_Air_Gaps_-_Application_to_a_complex_geometry).
- {101}: M. Boutlendj, N.L. Allen. (1994). Dielectric strength of air insulation for coordination of minimum clearances of overhead lines: a review. *IET Digital Library*. Πηγή: [https://digital-library.theiet.org/content/journals/10.1049/ip-smt\\_19941313](https://digital-library.theiet.org/content/journals/10.1049/ip-smt_19941313).
- {102}: Perikles D. Bourkas.(2011). High-Voltage Lines in Fire Environment. *IEE XPLORE*. Πηγή: [https://www.researchgate.net/publication/224228810\\_High-Voltage\\_Lines\\_in\\_Fire\\_Environment](https://www.researchgate.net/publication/224228810_High-Voltage_Lines_in_Fire_Environment).

## Παράρτημα Α

Ο κώδικας Matlab με τον οποίο συνδυάστηκε ένα μέρος των σχέσεων για την εξαγωγή υπολογισμών και συμπερασμάτων αναγράφεται παρακάτω:

```
%%% Fire in power lines
%%Data input
%% Id: shortcircuit current
%% Isw: first shortcircuit current
%% km: material constant
%% T: time coefficient
%% t: shortcircuit duration
%% Dc: conductor diameter
%% A: conductor cross section
%% a: thermal coefficient of resistance
%% s: conductivity
%% rh: conductor density
%% c: heat capacity
%% Zl: line resistance
%% Rl: line ohmic resistance
%% Xl: line impedance
%% In: nominal current
%% Rt: transistor resistance
%% Xt: transistor impedance
%% l: line length
%% If: nominal fuse current
%% d: line height above the earth
%% Sn: nominal power of transistor
%% Un: nominal shortcircuit voltage
%% uk: transformer nominal shortcircuit voltage ohmic resistance
%% ur: transformer nominal shortcircuit voltage complex resistance
Id=input('give the value of shortcircuit current=');
Isw=input('give the value of first shortcircuit current=');
km=0.0135;
T=input('give the value of time coefficient=');
t=input('give the value of shortcircuit duration=');
Dc=input('give the value of conductor diameter=');
A=pi*Dc^2/4;
a=input('give the value of thermal coefficient of resistance=');
s=input('give the value of conductivity=');
rh=input('give the value of conductor density=');
c=input('give the value of heat capacity=');
Rl=input('give the value of line ohmic resistance=');
Xl=input('give the value of line impedance=');
In=input('give the value of nominal current=');
Rt=input('give the value of transistor resistance=');
Xt=input('give the value of transistor impedance=');
l=input('give the value of line length=');
If=input('give the value of nominal fuse current=');
rl=input('give the value of inner line ohmic resistance=');
rt=input('give the value of transistroy inner line ohmic
resistance=');
```

```
xl=input('give the value of inner line impedance=');
xt=input('give the value of transistory inner line impedance=');
d=input('give the value of line height above the earth=');
Sn=input('give the value of nominal power of transistor=');
Un=input('give the value of nominal shortcircuit voltage=');
uk=input('give the value of transformer nominal shortcircuit
voltage omhic resistance=');
ur=input('give the value of transformer nominal shortcircuit
voltage complex resistance=');
%acceleration of gravity
g=9.81;
%Temperature during the shortcircuit current
Zl=sqrt(Rl^2+Xl^2);
Zt=sqrt(Rt^2+Xt^2);
if t<1 && T>=0.15 && T<=0.6
    Dtheta=(km/A^2)*Id^2*(t+T*(Isw/Id)^2);
    %Complex Resistance
    Z=sqrt((Rt+Rl)^2+(Xt+Xl)^2);
    L=input('give the value of low voltage line length=');
    % Nominal transformer current
    In=Sn/(sqrt(3)*Un);
    if l>=sqrt((220/(3*Zl*In))^2-((Rl*Xt-Xl*Rt)/Zl^2)^2)-
((Rl*Rt+Xl*Xt)/Zl^2) ||
    L>(Rt*r1+Xt*x1)/Zl^2+sqrt((230/(3*If*Zl))^2-
((r1*Xt+x1*Rt)/Zl^2)^2) || Isw<=(100*In)/uk
        disp('Shortcircuit phenomenon occurs');
        %% mp: burned particle mass
        % particle diameter
        dp=input('give the value of particle diameter=');
        % particle density
        rhp=input('give the value of particle density=');
        mp=(dp^3*rhp*pi)/6;
        %% z,z1: coefficients based on particle size and shape
        z=0.074*mp;
        z1=(g*mp)/400;
        %% uw: wind velocity
        uw=input('give the value of air velocity=');
        % particle heat capacity
        cp=input('give the value of particle heat velocity=');
        %% Particle temperature at biomass fall
        Tp=input('give the value of particle temperature at
biomass fall=');
        %% particle velocity

u=sqrt(g*mp/z1*(tanh(sqrt(g*mp/z1))*t)^2+uw^2*(mp/(mp+uw*z*t))^2);
f=@(x)[x(1)-mp/z1*log(cosh(x(2)*sqrt(g*z1/mp))]; x(2)-
sqrt(mp/(g*z1))*acosh(exp(z1/mp*x(1))];
b=fsolve(f,[d t]);
H=b(1);
tp=b(2);
%% contact resistance
Rc=input('give the value of contact resistance=');
%% active current to the ground
```

```
I=230/sqrt((Rl+Rt+Rc)^2+(Xl+Xt)^2);
%% distance between two successive poles
lp=input('give the value of distance between two
successive poles=');
if lp<=10 || lp>=50
    disp('invalid value lp must be equal or greater than
10 and less or equal to 50');
    lp=input('give the value of distance between two
successive poles=');
end
B=pi*Dc*(lp-10);
%% temperature incline
Dtheta1=(I^2*Rc)/(24.8*(lp-10)*sqrt(A));
%% thermal power
Pa=7*B*Dtheta1;
%% Shortcircuit currents
Iacsw=Isw;
Issws=Id;
%% Second temperature incline
Dtheta2=(exp(((Id/A)^2*t*a)/s*rh*c)-1)/a;
%% thermal transition coefficient
f=input('give the value of thermal transition
coefficient=');
%% Material temperature difference
DT=input('give the value of material temperature
difference=');
%% Convective heat flow
Qcf=f*DT;
%% fire emission
e=input('give the value of fire emission=');
%% Flame temperature of the fire front
F1_2=input('give the value of flame temperature of the
fire front=');
%% Heat transfer by radiation
Qrf=e*5.67*10^(-11)*F1_2;
%% fire evolution velocity during the shortcircuit
% estimation of the coefficient k1 according to the ground
% situation
ag=input('give the situation of the ground=');
TF1=strcmp(ag,'wooden');
TF2=strcmp(ag,'wild');
if TF1~=1&&TF2~=1
    disp('invalid value. ag must be equal to "wild" or
equal to "wooden"')
    ag=input('give the situation of the ground=');
end
if TF1==1
    k1=0.07;
elseif TF2==1
    k1=0.05;
end
% gass density
rhb=input('give the value of the gass density=');
```

```
v=k1*(1+uw)/rhb;
%% thermal tense
% flame height above the ground
h=input('give the flame height above the ground=');
if h>=7
    disp('invalid value. h must be lower or equal to 7');
    h=input('give the flame height above the ground=');
end
Itt=273*h^(2.17);
%% Incident radiation
% radiation ratio
Xr=input('give the value of radiation ratio=');
if Xr<0.15 || Xr>0.6
    disp('invalid value. Xr must be equal or greater than
0.15 and lower or equal to 0.6');
    Xr=input('give the value of radiation ratio=');
end
% flame angle
af=input('give the value of flame angle=');
% flame length
lf=input('give the value of flame length=');
% flame depth
Df=input('give the value of flame depth=');

Wr=(Xr*Itt*cos(af))/(4*v)*(log(lf/H)+log(1+sqrt(1+(lf/H)^2)));
%% Incident convective
Wc=926*f*Df/v*(h^324/H^5)^(1/3);
%% Total incident
W=Wr+Wc;
%% anticipated heat due to biomass temperature incline
% biomass mass
mbm=input('give the value of biomass mass=');
% biomass heat capacity
cbm=input('give the value of biomass heat capacity=');
% water heat capacity
cw=input('give the value of water heat capacity=');
% boiling water heat capacity
cwv=input('give the value of boiling water heat
capacity=');
% biomass temperature ignition
Tig=input('give the value of biomass temperature
ignition=');
% environmental temperature
To=input('give the value of environmental temperature=');
% water boiling temperature
Tbw=373;
% moist relative content of biomass
Mbm=input('give the value of moist relative content of
biomass=');
% laten vaporization heat
hv=input('give the value of laten vaporization heat=');
Hig=mbm*(cbm*(Tig-To)+Mbm*(cw*(Tbw-To)+hv+cwv*(Tig-Tbw)));
%% residual heat
```

```
Hp=mp*cp*(Tp-To);
%% residual heat particles
Hpig=mp*cp*(Tig-To);
%% Heat balance (IEEE)
% Rate of convective heat loss
qc=input('give the value of rate of convective heat
loss=');
% Solar heat gain
qr=input('give the value of solar heat gain=');
% Rate of radiative heat loss
qs=input('give the value of rate of radiative heat
loss=');
% Conductor current
Icc=input('give the value of conductor current=');
% Conductor resistance
RTC=input('give the value of conductor resistance=');
%% Distance of insulation
dds=input('give the value of distance of insulation=');
% Specific field intensity
Ed=input('give the value of specific field intensity=');
%% Electron Ionization
% Number of free electrons and equal positive ions
aepi=input('give the value of number of free electrons and
equal positive ions=');
% Flame area height
Hfs=input('give the value of the flame area height=');
% Air gap voltage
Vag=input('give the value of air gap voltage=');
if Hp>=Hig+Hpig || I>=sqrt((qc+qr-qs)/RTC) ||
dds>0.935*230*sqrt(3)/Ed || aepi==log(1+(1/0.025))/3.71
disp('Flame due to shortcircuit occurs')
%% arc voltage
% ignition voltage
Vt=input('give the value of ignition voltage=');
% humidity correction factor
Hhd=input('give the value of humidity correction
factor=');
% barometrical pressure
P=input('give the value of barometrical pressure=');
% Relative air density
Dw=P/101.3*293/To;
Vs=Vt*Hhd/Dw;
%% Minimum distance between conductor and ground
% basic gap
Dbasic=input('give the value of basic gap=');
% required electrical distance
Del=input('give the value of required electrical
distance=');
% added gap
Dsag=input('give the value of added gap=');
Dcg=Dbasic+Del+Dsag;
%% bending height
% Weight per length
```



```
Wl=input('give the value of weight per length=');
% maximum horizontal distances of two pellets
X01=input('give the value of maximum horizontal
distance of first pellet=');
X02=input('give the value of maximum horizontal
distance of second pellet=');
hb=To/Wl*(cosh(Wl/To*X02)-cosh(Wl/To*X01));
% new length of line
s0=To/Wl*(sinh(Wl/To*X01)+sinh(Wl/To*X02));
d01=To/Wl*(cosh(Wl/To*X01)-1);
d02=d01+hb;
%% particle drag force
% relevant velocity between air and particle
VR=uw-u;
% air density
rhw=input('give the value of air density=');
% particle intersect
Api=pi*dp^2/4;
% air kinematic viscosity
vair=input('give the value of air kinematic
viscosity=');
% Reynolds number
Re=VR*dp/vair;
% drag coefficient
if Re<=680
    CD=24/Re*(1+(3*Re)/16)^(1/2);
else
    CD=0.4;
end
FD=1/2*CD*rhw*Api*VR^2;
%% particle kinematic energy
Ek=2/3*pi*(dp/2)^3*u^2;
%% Minimum applied force
% mechanical tense
smt=input('give the value of mechanical tense=');
Fmaf=smt*Api;
%% Life expectancy of transmission line
% conductor temperature
Tc=linspace(30,100,50);
LTc=exp(log(log(1/(1-0.1/0.56))))-(-8.3)-0.035.*Tc-
9*log(0.86/80)/0.285);
% total heat flow without
%%Load Loss Damage Index
%
sum=0;
%
for i=1:244
%
    KVA(i)=input('give the value of KVA=');
%
    sum=sum+KVA(i).*(12-1/12*i);
%
end
%
LLDI=sum;
% Transition line misfailure probability
PTM=1/sqrt(2*pi*0.04)*exp(-115^2/(2*0.04^2));
% Real voltage breakdown
UT=115*(0.392*PTM)/To;
```

```
%% Total expression of line misfailure probability
% Human factor
CI=input('give the value of human factor=');
% Danger forecast fire prediction
WI=input('give the value of danger forecast fire
prediction=');
% Geographical environment
GI=input('give the value of geographical
environment=');
RI=CI*WI*GI;
%% Transmission line failure possibility due to fire
% Line extension possibility
PA=input('give the value of line extension
possibility=');
PLI=PA*PTM;
%% Conductor electrical field
% Conductor height
HC=input('give the value of conductor height=');
% Conductor radius
RC=input('give the value of conductor radius=');
EC=30*(1+0.301/sqrt(RC))*RC*log(HC/RC);
VA=EC*RC*log((2*HC)/RC);
%% Flame height corresponding to the transmission line
vertical length
% Heat release rate
Qhrr=input('give the value of heat release rate=');
% Flame diameter
Dfd=input('give the value of flame diameter=');
if Dfd<0.75 || Dfd>1.21
    disp('invalid value. Dfd must be equal or greater
than 0.75 and lower or equal to 1.21');
    Dfd=input('give the value of flame diameter=');
end
Hf=0.235*Qhrr^(2/5)+1.02*Dfd;
%% Normalized radiation power
% base height
hb=input('give the value of base height=');
qgrad=1/(1+((hb/Hf)/0.625)^(20/3));
%% Vertical distance between transmission line and
flame
rvd=-2*(hb/Hf)^3+3.5*(hb/Hf)^2-2.5*(hb/Hf)+1;
% Distances from the fire axe
Dt=input('give the value of distance from the fire
axe=');
Lt=input('give the value of distance from the fire
axe=');
% Height above the ground
Ht=input('give the value of the height above the
ground=');
St=sqrt((sqrt(Dt^2+Lt^2)-rvd)^2+(Ht-Hfs-hb)^2);
%% U50
% gap coefficient
kgc=input('give the value of gap coefficient=');
```

```
U50=kgc*1080*log(0.46*Dfd+1);
%% Humidity voltage
% V11
V11=input('give the value of V11=');
Vh=V11*(1+1.3/100*(hb-11));
%% Correction coefficient of humidity
Kh =Vh/V11;
else
    disp('Flame due to shortcircuit not occur')
end
else
    disp('Shortcircuit phenomenon not occurs');
%% Theoretical shortcircuit currents
% Total ohmic resistance
R=ur*Un^2/Sn;
% Total impedance
X=sqrt(uk^2-ur^2)*Un^2/Sn;
Iacsw=(1.1*230)/(sqrt(3)*sqrt(R^2+X^2));
% Generator current
Ig=input('give the value of generator current=');
E=Iacsw/Ig;
[md]=mcoefficient(E);
Issws=md*Iacsw;
%Max value of shortcircuit current
k1=k1(R,X);
Is=k1*sqrt(2)*Iacsw;
end
else
    disp('invalid value. t must be equal or greater than 1 and T
must be greater than 0.15 and lower than 0.6');
T=input('give the value of time coefficient=');
t=input('give the value of shortcircuit duration=');
end
```

## Παράρτημα Β

Οι συμπληρωματικοί κώδικες Matlab για τον προσδιορισμό των ρευμάτων (για τον συντελεστή  $m_d$ ) ή αντίστοιχα των αντιστάσεων (για τον συντελεστή  $k_1$ ), από τον Πίνακα 3.4 αναγράφονται παρακάτω:

```
function [md] =mcoefficient(E)
x=[0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,0.6,0.7,0.8,0.9,1,1.6,2,3,4,5,6,7,8,9,10];
y=[1,0.97,0.96,0.93,0.9,0.89,0.87,0.85,0.82,0.8,0.7,0.67,0.58,0.52
,0.49,0.44,0.41,0.4,0.39,0.35];
md=interp1(x,y,E,'linear');
end
```

```
-----

function [k1] = k1(R,X)
x=[0.00,0.05,0.10,0.15,0.20,0.25,0.30,0.35,0.40,0.45,0.50,0.55,0.6
0,0.65,0.70,0.75,0.80,0.85,0.90,0.95,1.00,1.05,1.10,1.15,1.20];
y=[1.800,1.680,1.590,1.500,1.440,1.380,1.330,1.290,1.250,1.220,1.1
90,1.170,1.140,1.120,1.110,1.100,1.095,1.090,1.080,1.075,1.070,1.0
65,1.060,1.055,1.050];
l=R/X;
k1=interp1(x,y,l,'linear');
end
```