



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ  
ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΕ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ 1688

Θέμα:

«Ρύπανση Μονωτήρων Υψηλής Τάσης –Μέθοδοι καθαρισμού»

Βαίτησης Ηλίας

Εποπτεύον καθηγητής: Χαραλαμπάκος Βασίλης

Πάτρα-2018

## Περίληψη-Πρόλογος

Αντικείμενο της εργασίας αυτής είναι η ρύπανση μονωτήρων , κατά πόσο αυτή επηρεάζει τη μονωτική ικανότητα των μονωτήρων και οι μέθοδοι καθαρισμού τους.

Οι μονωτήρες είναι διατάξεις που χρησιμοποιούνται για την απομόνωση των ηλεκτροφόρων στοιχείων μιας ηλεκτρικής εγκατάστασης από τα μη ηλεκτροφόρα. Χρησιμοποιούνται στα συστήματα μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, έτσι ώστε να στηρίζουν, να διαχωρίζουν ή να εμπεριέχουν αγωγούς Υψηλής Τάσης. Από το συνολικό κόστος μιας γραμμής μεταφοράς καταλαμβάνουν λιγότερο του 5%, εντούτοις παίζουν πρωτεύοντα ρόλο στην αξιοπιστία του συστήματος.

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια ολοένα αυξανόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, οπότε το επίπεδο της τάσης στα δίκτυα μεταφοράς αυξάνει, οι εξωτερικές και εσωτερικές υπερτάσεις (υπερτάσεις χειρισμών) αλλά και η αντοχή των μονωτήρων σ' αυτές, κυρίως υπό συνθήκες ρύπανσης, έχουν γίνει πολύ σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν ως ένα βαθμό την αξιοπιστία του συστήματος.

Είναι πολύ σημαντικό να υπάρχουν τρόποι ελέγχου της κατάστασης των μονωτήρων. Νέες τεχνολογίες αναπτύσσονται για τον ποιοτικό έλεγχο των μονωτήρων ( κάποιες εκ των οποίων αναφέρονται στην παρούσα εργασία)...[ Θα αναφερθούν κάποιες από τις τεχνολογίες αυτές, για την εκτίμηση της κατάστασης ενός μονωτήρα και την αποφυγή του φαινομένου της υπερπήδησης που μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρά προβλήματα]. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια γενική αναφορά στους μονωτήρες . Περιγράφονται η δομή και οι τύποι των μονωτήρων. Αναφέρονται τα βασικά υλικά κατασκευής τους καθώς και οι ιδιότητές τους. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύεται η ρύπανση και κατά πόσο αυτή επηρεάζει τη μονωτική ικανότητα των μονωτήρων. Περιγράφονται οι διάφοροι τύποι ρύπανσης και το περιβάλλον που συναντώνται. Αναλύεται το φαινόμενο της υπερπήδησης των μονωτήρων λόγω ρύπανσης ,ο μηχανισμός δημιουργίας του, οι παράγοντες το ευνοούν, τα στάδια εξέλιξής του , οι επιπτώσεις του φαινομένου καθώς και οι τρόποι αντιμετώπισής του. Στη συνέχεια αναφέρονται τεχνικές για ποιοτικό έλεγχο μονωτήρων. Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφονται οι μέθοδοι καθαρισμού μονωτήρων.

## *Ευχαριστίες*

*Στο σημείο αυτό θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς ευχαριστίες μου στον κ. Χαραλαμπάκο Βασίλη, καθηγητή στο Τμήμα Ηλεκτρολογίας του ΤΕΙ Πάτρας, για την ανάθεση της πτυχιακής εργασίας και για το χρόνο που μου αφιέρωσε .*

*«Για να κάνεις μεγάλα πράγματα,  
δεν είναι ανάγκη να είσαι μεγαλοφυΐα.  
Δεν είναι ανάγκη να είσαι πάνω  
από τους άλλους ανθρώπους.  
Πρέπει να είσαι μαζί τους.»*

*Montesquieu*

## *Περιεχόμενα*

<b>Περίληψη- Πρόλογος.....</b>	<b>2</b>
<b>Περιεχόμενα.....</b>	<b>5</b>
<b>Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....</b>	<b>7</b>
1.1 Γενικά για τους μονωτήρες.....	8
1.2 Βασικοί ορισμοί.....	10
1.3 Υλικά κατασκευής και δομή μονωτήρων.....	11
1.4 Κατηγοριοποίηση μονωτήρων.....	13
1.4.1 Ταξινόμηση με βάση τον τρόπο σύνδεσης.....	14
1.4.2 Ταξινόμηση με βάση το χώρο χρήσης.....	19
1.4.3 Ταξινόμηση με βάση τον το υλικό και το σχήμα τους.....	22
1.4.4 Σύγκριση Κεραμικών και Σύνθετων Μονωτήρων.....	28
<b>Κεφάλαιο 2: Ρύπανση μονωτήρων.....</b>	<b>29</b>
2.1 Ρύπανση μονωτήρων.....	29
2.2 Το φαινόμενο της ηλεκτρικής διάσπασης στα μονωτικά υλικά.....	31
2.3 Απώλεια μονωτικής ικανότητας στους μονωτήρες.....	32
2.4 Μηχανισμός Υπερπήδησης ρυπασμένων μονωτήρων-Βασικά στάδια εξέλιξης.....	34
2.5 Παράγοντες που ευνοούν τη διαδικασία της υπερπήδησης.....	39
2.6 Επιπτώσεις του φαινομένου.....	40
2.7 Τρόποι μετριασμού του φαινομένου της υπερπήδησης.....	42
2.8 Νέες τεχνικές για ποιοτικό έλεγχο μονωτήρων.....	43
2.9 Το ρεύμα διαρροής σαν μέσο παρακολούθησης.....	45
<b>Κεφάλαιο 3: Μέθοδοι καθαρισμού.....</b>	<b>48</b>
3.1 Χρήση μονωτήρων με βέλτιστο σχήμα.....	48
3.2 Επάλειψη με γράσο ή άλλους λιπαρούς υδρογονάνθρακες λίπους.....	49
3.3 Επικάλυψη RTV.....	49
3.4 Περιοδικός καθαρισμός των μονωτήρων.....	50
<b>Συμπεράσματα.....</b>	<b>52</b>
<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>53</b>



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το δίκτυο Μεταφοράς και Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας υψηλής και μέσης τάσης αποτελούνται κυρίως από υπαίθριες εγκαταστάσεις όπως υποσταθμοί και γραμμές μεταφοράς. Σε αυτές τις εγκαταστάσεις ο ατμοσφαιρικός αέρας λειτουργεί ως το κύριο μέσο μόνωσης, ο οποίος έχει βασικά πλεονεκτήματα όπως ότι έχει μηδενικό κόστος με αποτέλεσμα την οικονομική κατασκευή εγκαταστάσεων με τάση έως και 1000kV και επιπλέον έχει τη δυνατότητα επαναφοράς της μονωτικής συμπεριφοράς του μετά από κάποια διάσπαση. Ο αέρας όμως δεν είναι το μοναδικό μονωτικό μέσο που χρησιμοποιείται. Για τη δημιουργία διακένων αέρος, επιβάλλεται η χρήση διατάξεων ικανών να διατηρήσουν τον ηλεκτρικό διαχωρισμό των αγωγών μέσης και υψηλής τάσης, λαμβάνοντας υπόψιν ότι ο αέρας δεν μπορεί να εξασφαλίσει την απαραίτητη μηχανική υποστήριξη. Οι διατάξεις αυτές κατασκευάζονται από στερεά μονωτικά υλικά και είναι οι Μονωτήρες Υψηλής Τάσης. Οι διατάξεις αυτές αποτελούν τη δεύτερη συνιστώσα του μονωτικού συστήματος, η οποία πρέπει σε κάθε περίπτωση να λειτουργεί αξιόπιστα, δεδομένου ότι αρκεί η αστοχία ενός μόλις μονωτήρα για να τεθεί εκτός λειτουργίας ένα τμήμα ενός δικτύου ή και ένα δίκτυο συνολικά. Στο παρακάτω σχήμα μπορούμε να δούμε πώς δομείται ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας .



Εικόνα 1: Σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας

## 1.1 Γενικά για τους μονωτήρες

Οι μονωτήρες είναι διατάξεις που χρησιμοποιούνται για την απομόνωση των ηλεκτροφόρων στοιχείων μιας ηλεκτρικής εγκατάστασης από τα μη ηλεκτροφόρα. Χρησιμοποιούνται στα συστήματα μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, έτσι ώστε να στηρίζουν, να διαχωρίζουν ή να εμπεριέχουν αγωγούς Υψηλής Τάσης. Από το συνολικό κόστος μιας γραμμής μεταφοράς καταλαμβάνουν λιγότερο του 5%, εντούτοις παίζουν πρωτεύοντα ρόλο στην αξιοπιστία του συστήματος. Η μόνωση μιας γραμμής μεταφοράς, καθορίζεται από τις ελάχιστες αποστάσεις μέσα στον αέρα, μεταξύ των φάσεων ή μεταξύ των φάσεων και του δυναμικού της γης. Αυτές οι ελάχιστες αποστάσεις, εξασφαλίζονται μέσω της ανάρτησης ή στήριξης των αγωγών των φάσεων με μονωτήρες. [10]

Χαρακτηριστικά της μόνωσης που εξασφαλίζει ο μονωτήρας μιας γραμμής μεταφοράς είναι ότι αυτή είναι εξωτερική και αυτοεπανερχόμενη. Δηλαδή, υπόκειται σε εξωγενείς επιδράσεις (π.χ. ρύπανση) και μετά από μία διάσπαση (αν δεν έχουν υπάρξει καταστροφικές συνέπειες) η μόνωση επανακτά τις αρχικές ιδιότητές της. Συνεπώς ένα σφάλμα που εμφανίζεται πάνω στη γραμμή μετά από μία υπέρταση, δεν έχει κάποια σοβαρή συνέπεια στη μόνωση της γραμμής, η οποία αποκαθίσταται μετά τη σβέση του τόξου. [10]

### Μονωτήρες σε δίκτυα Υψηλής Τάσης

- Βασική λειτουργία
  - Ηλεκτρική μόνωση (εξασφάλιση διακένων αέρα)
  - Μηχανική υποστήριξη (ανάρτηση, υποστήριξη, τάνυση)

Εικόνα 2: Μονωτήρας δικτύου Υψηλής Τάσης





Εικόνα 3: Εναέρια Γραμμή Μεταφοράς

Οι τάσεις που αναπτύσσονται ανάμεσα στα διάφορα τμήματα ενός συστήματος ισχύος διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: σε αυτές που αναπτύσσονται υπό ομαλές συνθήκες λειτουργίας και ονομάζονται "**τάσεις ομαλής λειτουργίας**" και σ' αυτές που αναπτύσσονται σε εξαιρετικές μόνο περιπτώσεις ή ανωμαλίες, οι οποίες είναι κατά κανόνα υψηλότερες από τις τάσεις ομαλής λειτουργίας και ονομάζονται "**υπερτάσεις**". Οι μονωτήρες, όπως είναι αναμενόμενο, υφίστανται συνεχώς καταπονήσεις τόσο από το σύστημα όσο και από εξωγενείς παράγοντες. Πιο αναλυτικά, οι καταπονήσεις αυτές, προέρχονται από υπερταχέα μεταβατικά-κυματικά φαινόμενα που αναπτύσσονται κατά μήκος μιας γραμμής μεταφοράς καθώς και από την επικάλυψη ρύπων από το γύρω περιβάλλον στην εξωτερική επιφάνεια των μονωτήρων. Οι καταπονήσεις αυτές, συντελούν στην υποβάθμιση, χειροτέρευση και κατ' επέκταση στην γήρανση της μονωτικής ικανότητας του διηλεκτρικού του μονωτήρα. Επομένως, είναι υψίστης σημασίας να γίνει ανάλυση των φαινομένων που επιβαρύνουν τους μονωτήρες, έτσι ώστε να ληφθούν τα ανάλογα μέτρα και να προληφθεί μια επερχόμενη διάσπαση αυτών, η οποία επιφέρει σημαντικά προβλήματα στην ομαλή λειτουργία ενός συστήματος μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας [11]. Γενικά, όσον αφορά τις υπερτάσεις που καταπονούν το διηλεκτρικό του μονωτήρα μιας γραμμής μεταφοράς τις κατατάσσουμε σε:

- Εξωτερικές υπερτάσεις, οι οποίες σχετίζονται με κεραυνικές εκκενώσεις και δεν εξαρτώνται από την τάση του συστήματος.
- Εσωτερικές υπερτάσεις, οι οποίες γεννιούνται από αλλαγές στις συνθήκες λειτουργίας του συστήματος όπως διακοπτικές λειτουργίες, ένα σφάλμα στο σύστημα ή διακυμάνσεις στο φορτίο ή στις γεννήτριες. [12]

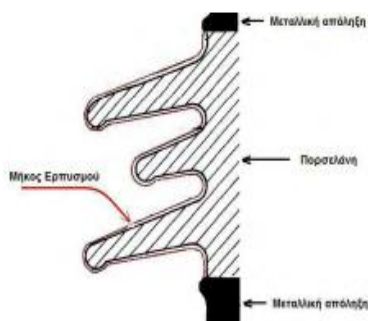
Εκτός από τις παραπάνω υπερτάσεις, ένας ακόμα πολύ σοβαρός παράγοντας που θέτει εμπόδια στην ομαλή λειτουργία των μονωτήρων είναι η ρύπανση αυτών. Το περιβάλλον στο οποίο εγκαθίσταται ένας μονωτήρας μπορεί να έχει σημαντική επίπτωση στην αποδοτικότητά του. Τέλος τα διηλεκτρικά των μονωτήρων υφίστανται και θερμικές καταπονήσεις λόγω της αυξημένης θερμοκρασίας του περιβάλλοντος στο οποίο μπορεί να βρίσκονται. Ανάλυση τόσο του φαινομένου ρύπανσης όσο και των θερμικών καταπονήσεων γίνεται σε επόμενη ενότητα.

## 1.2 Βασικοί ορισμοί

Σώμα Μονωτήρα [insulator trunk]: Το κεντρικό τμήμα του μονωτήρα από το οποίο εξέχουν τα πτερύγια. [1]

Πτερύγιο [shed]: Προεξοχή από το στέλεχος του μονωτήρα που προορίζεται να αυξήσει το μήκος ερπυσμού. [1]

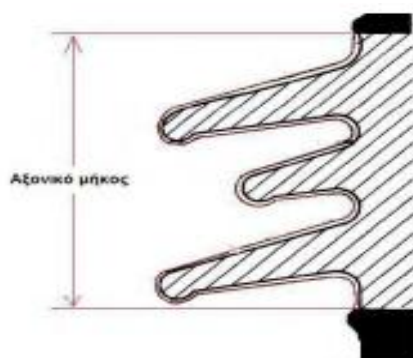
Μήκος Ερπυσμού [creepage length]: Η απόσταση σε mm που παρεμβάλλεται μεταξύ των μεταλλικών άκρων ενός μονωτήρα ακολουθώντας το προφίλ του και εξαιρώντας τα ενδιάμεσα μεταλλικά τμήματα. [2]



Εικόνα 4: Μήκος Ερπυσμού

Θρυμματισμός: Ο θρυμματισμός παρατηρείται στην περίπτωση των μονωτήρων από γυαλί, ως αποτέλεσμα της καταπόνησης από ένα ηλεκτρικό τόξο ή λόγω βανδαλισμού. Το μονωτικό υλικό θρυμματίζεται, ενώ είναι σημαντικό το ότι διατηρείται η μηχανική ακεραιότητά τους. [2]

Αξονικό Μήκος [axial length]: Ορίζεται ως η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ των άκρων του μονωτήρα. [2]



Εικόνα 5: Αξονικό Μήκος

Επιφανειακή Διάβρωση: Παρατεταμένη επιφανειακή δραστηριότητα μπορεί να οδηγήσει στην επιφανειακή διάβρωση μονωτήρων από γυαλί, με αποτέλεσμα την μερική καταστροφή της επιφάνειας ως και την συνολική καταστροφή του μονωτήρα. Στην περίπτωση των συνθετικών μονωτήρων μπορεί επίσης να παρατηρηθεί επιφανειακή διάβρωση με αποτέλεσμα την αποκάλυψη του RGF πυρήνα. [2]

### **1.3 Υλικά κατασκευής και δομή μονωτήρων**

#### **Γενικά περί μονωτικών υλικών**

Ως μονωτικά σώματα ή μονωτές χαρακτηρίζονται τα υλικά που, πρακτικά, δεν εμφανίζουν καθόλου ηλεκτρική αγωγιμότητα όταν εκτίθενται σε σχετικά ασθενή πεδία συνεχούς ρεύματος (συνήθως θεωρούνται ως χαμηλές οι τάσεις που δεν ξεπερνούν τα 1000V). Η μη δυνατότητα εκδήλωσης ουσιαστικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας στα παραπάνω σώματα έγκειται στο γεγονός ότι σε αυτά δεν υπάρχουν σε κάποια επαρκή ποσότητα ευκίνητοι φορείς ηλεκτρικού φορτίου, τέτοιοι που να επιτρέπουν τη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος από το εσωτερικό τους (σε αντίθεση π.χ. με τα μέταλλα). Χάρη στην έλλειψη αξιόλογης ηλεκτρικής αγωγιμότητας, τα μονωτικά σώματα είναι κατάλληλα για να εμποδίζουν τη δημιουργία ηλεκτρικών ρευμάτων διαμέσου της μάζας τους και για να διατηρούν τις διαφορές δυναμικού στα διάφορα τμήματα των ηλεκτροτεχνικών διατάξεων και εγκαταστάσεων. [9]

Η πορσελάνη, το μονωτικό γυαλί και τα πολυμερή υλικά αποτελούν τα διηλεκτρικά εκείνα που συναντώνται συνηθέστερα σε μια διάταξη μονωτήρα. Εκτός από την ικανότητα να διατηρούν την εφαρμοζόμενη διαφορά δυναμικού για μεγάλα χρονικά διαστήματα χωρίς να παρουσιάσουν αστοχία, τα υλικά αυτά παρουσιάζουν μηχανικές ιδιότητες τέτοιες που να τα καθιστούν κατάλληλα για την ανάρτηση ή στήριξη μιας σειράς στοιχείων ηλεκτρολογικού εξοπλισμού (όπως είναι π. χ. οι γραμμές μεταφοράς). [5],[9]

#### **Η τοπολογία του μονωτήρα**

Τα τρία βασικά δομικά μέρη ενός μονωτήρα είναι :

- α) Το διηλεκτρικό (πορσελάνη, γυαλί, πολυμερές υλικό)
- β) Οι ακροδέκτες που συνδέουν το διηλεκτρικό με την υπόλοιπη μηχανολογική δομή
- γ) Τα ενδιάμεσα υλικά στο εσωτερικό του μονωτήρα, όπως τσιμέντο, λιπαντικά ή βαφές. [3]

#### **Τα διηλεκτρικά υλικά των μονωτήρων**

**Το διηλεκτρικό**, είτε είναι κεραμικό είτε πολυμερές, είναι αυτό που αναλαμβάνει να διατηρεί την εφαρμοζόμενη διαφορά δυναμικού σταθερή για πολλές δεκαετίες, χωρίς να επιφέρει αστοχίες. Ένας επιπλέον ρόλος του είναι να ανθίσταται στις καταπονήσεις κρουστικών τάσεων που προκαλούνται από εσωτερικούς ή εξωτερικούς παράγοντες. Επειδή η επιφάνεια του διηλεκτρικού θα είναι πάντα αγώγιμη εξαιτίας διάφορων φαινομένων (υγρασία, επικάθηση ρύπων κ.α.) είναι απαραίτητη η διαχρονική ανθεκτικότητα της εξωτερικής επιφάνειας από επιφανειακές ηλεκτρικές εκκενώσεις, τα ηλεκτροχημικά προϊόντα και τη διάβρωση. [10]

Η σημαντικότερη, ίσως, ιδιότητα του διηλεκτρικού είναι η διηλεκτρική αντοχή που έχει, δηλαδή η μέγιστη πεδιακή ένταση την οποία μπορεί να υποστεί χωρίς να απολέσει τη μονωτική ικανότητά του, δηλαδή χωρίς να διασπαστεί. Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι τα διηλεκτρικά που χρησιμοποιούμε στους μονωτήρες (πορσελάνη, γυαλί, πολυμερές) ανήκουν στην κατηγορία των μη επανορθωμένων μονώσεων που σημαίνει ότι μετά από μία διάσπαση η μόνωση χάνει τις μονωτικές της ιδιότητες πλήρως ή εν μέρει. [11]

### Ιδιότητες πορσελάνης

Το συχνότερα χρησιμοποιούμενο μονωτικό υλικό στις διατάξεις των μονωτήρων είναι η πορσελάνη. Γενικά, οι ισχυροί ηλεκτροστατικοί δεσμοί πυριτίου – οξυγόνου που συγκρατούν τα κεραμικά υλικά (πορσελάνη και γυαλί) έχουν σαν αποτέλεσμα το υψηλό σημείο τήξης, τη μεγάλη μηχανική αντοχή (αλλά και το εύθραυστο) και, τέλος, υψηλή αντίσταση διάβρωσης από χημικά μέσα. [5]. Σαν βασικότερο μειονέκτημα της πορσελάνης θα μπορούσε να καταγραφεί η δυσκολία και το υψηλό κόστος βιομηχανικής παρασκευής της σε συμπαγή τεμάχια με πάχος μεγαλύτερο από 2cm. Αυτός είναι και ο λόγος που οι μονωτήρες πορσελάνης μέσης και υψηλής τάσης κατασκευάζονται συνήθως από περισσότερα τεμάχια που συγκολλούνται με τσιμέντο [9]. Τέλος, ένα ακόμα σοβαρό μειονέκτημα της πορσελάνης, είναι το ότι η πορσελάνη μπορεί να υποστεί διάτρηση εσωτερικά χωρίς καμία εξωτερική ένδειξη και, έτσι, ο βαθμός της ενδεχόμενης βλάβης δεν είναι γνωστός μέχρι να επέλθει ολική συντριβή του δοκιμίου [5].

### Ιδιότητες σκληρυμένου γυαλιού

Οι πρώτες ύλες που, συνήθως, χρησιμοποιούνται για την παρασκευή γυαλιού σα μονωτικό υλικό είναι το πυρίτιο (περίπου σε ποσοστό 57%), ο ασβεστόλιθος (9%), το άνυδρο ανθρακικό νάτριο (14%) κ.α.. Η βελτιωμένη μηχανική αντοχή του σκληρυμένου γυαλιού συγκριτικά με την πορσελάνη επιτρέπει τη χρησιμοποίηση λεπτότερων δακτυλίων στις διατάξεις των δισκοειδών μονωτήρων. Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται σημαντικά το μήκος του ερπυσμού, ενώ, η ονομαστική τάση λειτουργίας του μονωτήρα μπορεί να αυξηθεί σε ποσοστό μέχρι και 40% [5]. Εξάλλου, ένα βασικό χαρακτηριστικό των μονωτήρων γυαλιού είναι το ότι έχουν την ιδιότητα να αποθηκεύουν σημαντική ενέργεια όταν οι τελευταίοι υπόκεινται σε μηχανικές καταπονήσεις. Όταν αυτή η ενέργεια απελευθερωθεί, όπως συνήθως συμβαίνει κατά την έντονη μηχανική κρούση ή ύστερα από την καθολική διάβρωση ενός στρώματος, τότε ολόκληρο το τεμάχιο διασπάται σε μικροσκοπικά κυβικά θραύσματα, τα οποία εκτοξεύονται με μεγάλη σφοδρότητα. Αυτός είναι ένας σημαντικός λόγος για τον οποίο δεν ενδείκνυται η χρησιμοποίησή τους κοντά σε κατοικημένες περιοχές. Αξίζει να τονισθεί πως το εύρος της βιομηχανικής εφαρμογής του μονωτήρα από γυαλί είναι περισσότερο περιορισμένο από εκείνο του μονωτήρα πορσελάνης. Στις ηλεκτρολογικές εφαρμογές η χρήση του γυαλιού, το οποίο έχει υποστεί σκλήρυνση, περιορίζεται στους μονωτήρες τύπου “cap and pin” (ανάρτησης) ή σε εκείνους τους τύπους, όπως είναι οι μονωτικοί στύλοι στήριξης των σιδηροδρομικών δικτύων και οι στύλοι πολλαπλών κώνων που αποτελούνται από διακριτές διατάξεις δισκοειδούς μορφής. [5]

## **Ιδιότητες πολυμερών**

Τα πολυμερή είναι ελαφρύτερα και εξαιρετικά ανθεκτικά στις μηχανικές καταπονήσεις, μονωτικά υλικά. Από αυτά, ιδιαίτερα διαδεδομένα, λόγω του χαμηλού τους κόστους, είναι οι θερμοπλαστικές εποξειδικές ρητίνες. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε εσωτερικούς χώρους λόγω του γεγονότος ότι είναι ιδιαίτερα επιρρεπείς σε αλλοίωση της χημικής τους σύστασης υπό την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας (φωτόλυση). Μια άλλη ποιότητα πλαστικού, οι κυκλοαλειφατικές ρητίνες, παρουσιάζει ικανοποιητική αντοχή στη φωτόλυση και πιστεύεται ότι θα αντικαταστήσει μελλοντικά την πορσελάνη και το γυαλί στην κατασκευή των μονωτήρων. Εξάλλου, μια άλλη σημαντική κατηγορία συνθετικών μονωτικών είναι οι ελαστομερείς ρητίνες σιλικόνης, οι οποίες αντέχουν ικανοποιητικά στην καύση και δεν υπόκεινται σε μόνιμες βλάβες από τον ερπυσμό και τις μερικές εκκενώσεις (όπως οι οργανικές ρητίνες) αφού αποτελούνται από σκελετό από πυρίτιο και περιέχουν πολύ λίγο άνθρακα στη χημική τους σύσταση. [9]

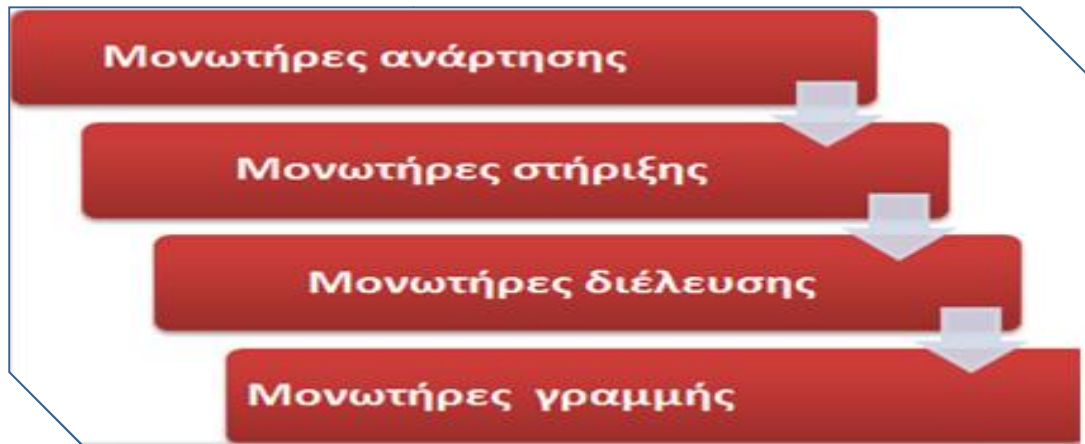
Η πλέον συνηθισμένη εφαρμογή των συνθετικών μονωτήρων είναι η χρησιμοποίησή τους για την ανάρτηση ή στήριξη των γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Στις γραμμές αυτές χρησιμοποιούνται μεγάλες δέσμες αγωγών προκειμένου να περιοριστούν οι ηλεκτρικές απώλειες, οπότε τα μηχανικά φορτία είναι πολύ μεγαλύτερα από εκείνα που έχουν τη δυνατότητα να φέρουν οι συνήθεις μονωτήρες ανάρτησης γυαλιού ή πορσελάνης. Πραγματικά, οι συνθετικοί μονωτήρες πολύ δύσκολα προσβάλλονται από τις συνήθεις ηλεκτρικές βλάβες και επιδράσεις χειρισμού, ενώ είναι δυνατό να αντεπεξέλθουν σε συγκράτηση φορτίου που υπερβαίνει τους 100 τόνους. [5]

### **1.4 Κατηγοριοποίηση μονωτήρων**

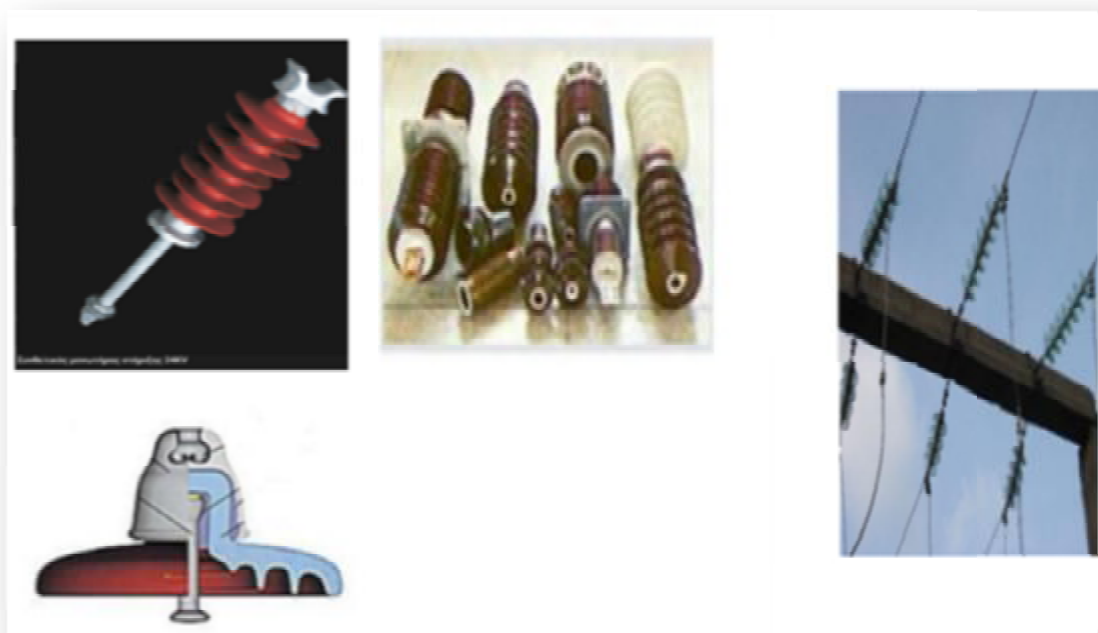
Είναι γνωστό ότι τόσο το υλικό, όσο και το γεωμετρικό σχέδιο των μονωτήρων παίζει έναν πολύ σημαντικό ρόλο για τις μονωτικές τους επιδόσεις, καθώς επηρεάζει τον αυτοκαθαρισμό τους (από τη βροχή), τα μονοπάτια διαρροής, αλλά και την κατανομή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου. Για την κατάλληλη επιλογή του μονωτήρα που θα χρησιμοποιηθεί πρέπει να είναι γνωστά τα παρακάτω στοιχεία: η σχεδίαση της γεωμετρίας του, το υλικό κατασκευής του, ο τόπος που θα χρησιμοποιηθεί, το κόστος του. Οι μονωτήρες μπορούν να διακριθούν σε επιμέρους κατηγορίες, ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης, το χώρο χρήσης, το υλικό και το σχήμα τους.

### 1.4.1 Ταξινόμηση με βάση τον τρόπο σύνδεσης [3]

Ως προς τον τρόπο σύνδεσής τους, έχουμε την κατάταξη που παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα:



*Εικόνα 6: Κατάταξη μονωτήρων ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσής τους*

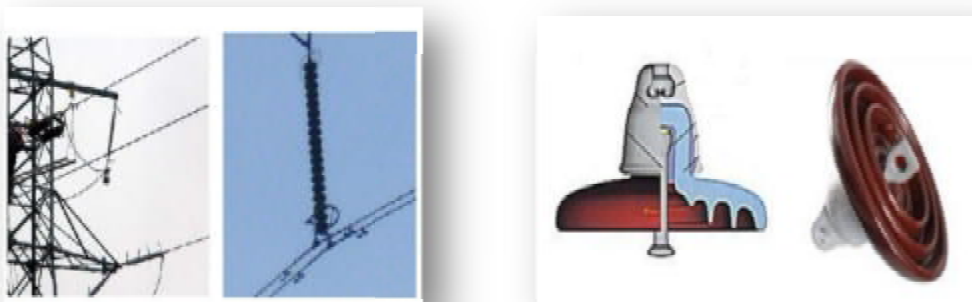


*Εικόνα 7: Μονωτήρες*

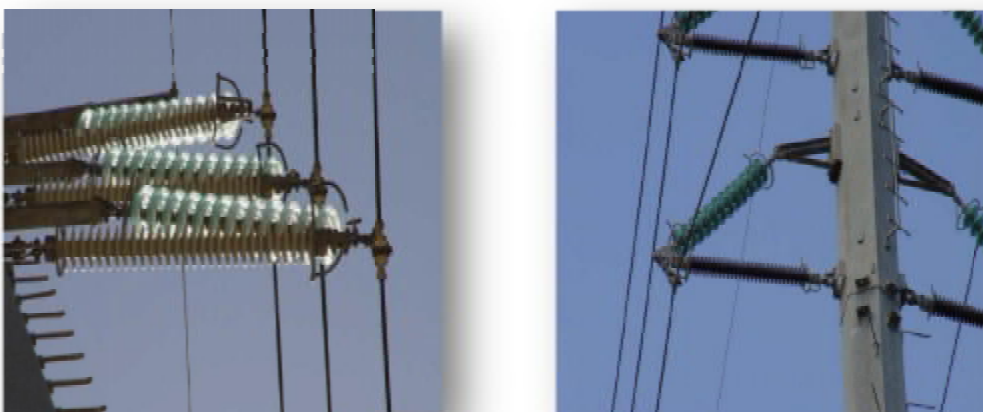
## Μονωτήρες ανάρτησης

Χρησιμοποιούνται κυρίως για την ανάρτηση των γραμμών μεταφοράς Υ.Τ. και αποτελούνται από μια δυο σειρές δισκοειδών μονωτήρων, διατεταγμένων σε μορφή αλυσίδας. Το πλάτος των δισκοειδών μονωτήρων σε μια διάταξη αλυσίδας εξαρτάται από:

- α) την τάση λειτουργίας της γραμμής
- β) τη διηλεκτρική αντοχή έκαστου δισκοειδούς μονωτήρα



*Εικόνα 8: Μονωτήρες ανάρτησης*



*Εικόνα 9: Γυάλινοι μονωτήρες ανάρτησης σε διάταξη ιστού*

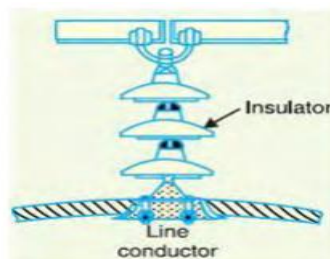
## Μονωτήρες στήριξης

Οι μονωτήρες στήριξης (post type insulators) χρησιμοποιούνται για την στήριξη των αγωγών Υψηλής Τάσης και διακρίνονται σε μονωτήρες γραμμής μεταφοράς και σε μονωτήρες υποσταθμών. Αποτελούνται από ένα συμπαγή πορσελάνινο κύλινδρο με κυματοειδείς πτυχές που χρησιμεύουν στην αύξηση του μήκους ερπυσμού και από μεταλλικά ηλεκτρόδια στις άκρες του. Οι μονωτήρες στήριξης έχουν μεγάλο μήκος. Χρησιμοποιούνται οριζόντια ή κάθετα για να στηρίξουν τον αγωγό υψηλής τάσης και τοποθετούνται στις βάσεις ή στους εγκάρσιους βραχίονες των γραμμών μεταφοράς (line post insulators). Επιπλέον, χρησιμοποιούνται ευρέως σε υποσταθμούς (station post insulators). Στους μονωτήρες αυτούς η συντομότερη απόσταση μέσω της πορσελάνης υπερβαίνει το 50% της συντομότερης απόστασης μέσω του αέρα μεταξύ των ηλεκτροδίων, οπότε δεν διαρρηγνύονται εύκολα. Οι μονωτήρες αυτοί εφαρμόζονται συνήθως σε τάσεις άνω των 33kV, αποτελούμενοι από έναν αριθμό γυάλινων ή πορσελάνινων δίσκων, συνδέονται σε σειρά με μεταλλικούς δεσμούς σχηματίζοντας μία αλυσίδα. Ο αγωγός συνδέεται στο κάτω μέρος της αλυσίδας αυτή ενώ το ανώτατο άκρο στηρίζεται στο βραχίονα αναρτήσεως του πύργου. Ο αριθμός των δίσκων που χρησιμοποιούνται εξαρτάται από το μέγεθος της τάσης. [3]



Εικόνα 10: Μονωτήρας τύπου Line post

Εικόνα 11: Μονωτήρας τύπου Station post

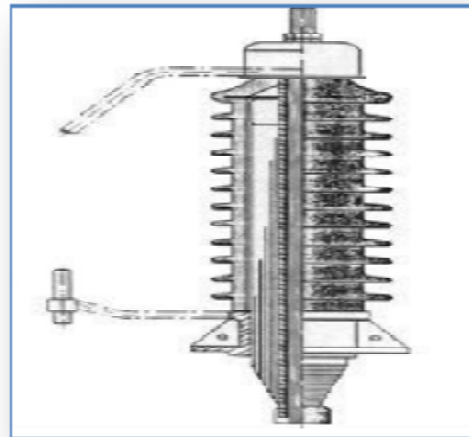


Εικόνα 12: Μονωτήρας στήριξης



## Μονωτήρες διέλευσης

Οι μονωτήρες διέλευσης (bushings) χρησιμοποιούνται για να μονώσουν τους αγωγούς των ακροδεκτών υψηλής τάσης κυρίως μετασχηματιστών ή άλλων διατάξεων. Συνήθως κατασκευάζονται από πορσελάνη. Οι μονωτήρες διέλευσης προτιμώνται όταν η γραμμή πρέπει να περνάει από το μονωτήρα και ταυτόχρονα να στηρίζεται σε αυτόν. Χρησιμοποιούνται στις θέσεις εξόδου των αγωγών από τους μετασχηματιστές ή άλλες συσκευές και για τη διέλευση αγωγών εγκάρσιως μέσω χωρισμάτων (τοιχών κ.α.). Ένα τερματικό ή διασυνδετικό στήριγμα ή εξάρτημα, χρησιμοποιείται όταν ένα ευθύγραμμο τμήμα της γραμμής φτάνει στο πέρας του ή σχηματίζει γωνία αλλάζοντας κατεύθυνση. Αυτά τα στηρίγματα κατασκευάζονται ώστε να αντέχουν την ένταση του εκτεταμένου μήκους των γραμμών. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιούνται οι μονωτήρες διελεύσεως.[3]



*Εικόνες 13-14: Μονωτήρες διέλευσης*



*Εικόνα 15: Γυάλινοι μονωτήρες διέλευσης σε πυλώνες*

## Μονωτήρες γραμμής

Οι μονωτήρες γραμμής χρησιμοποιούνται στις γραμμές διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, έως 70 kV.



*Εικόνα 16: Μονωτήρες γραμμής*

### 1.4.2 Ταξινόμηση με βάση το χώρο χρήσης [3]

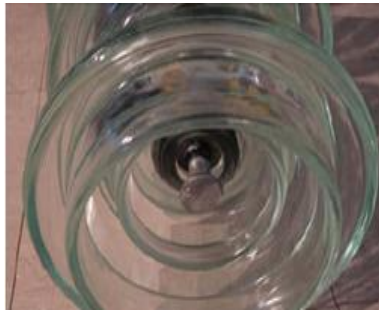
Ως προς το χώρο χρήσης, έχουμε την κατάταξη που παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα:



*Εικόνα 17: Κατάταξη μονωτήρων ανάλογα με τον χώρο χρήσης*

#### Μονωτήρες τύπου ομίχλης

Μονωτήρες τύπου ομίχλης, οι οποίοι έχουν μεγάλο μήκος ερπυσμού και διαμόρφωση εξωτερικής επιφάνειας τέτοια ώστε να παρέχεται μεγαλύτερη προστασία από ρύπανση. Χρησιμοποιούνται σε περιοχές όπου παρατηρείται έντονη υγρασία ή/και ρύπανση του περιβάλλοντος.



*Εικόνα 18: Γυάλινος μονωτήρας τύπου ομίχλης*



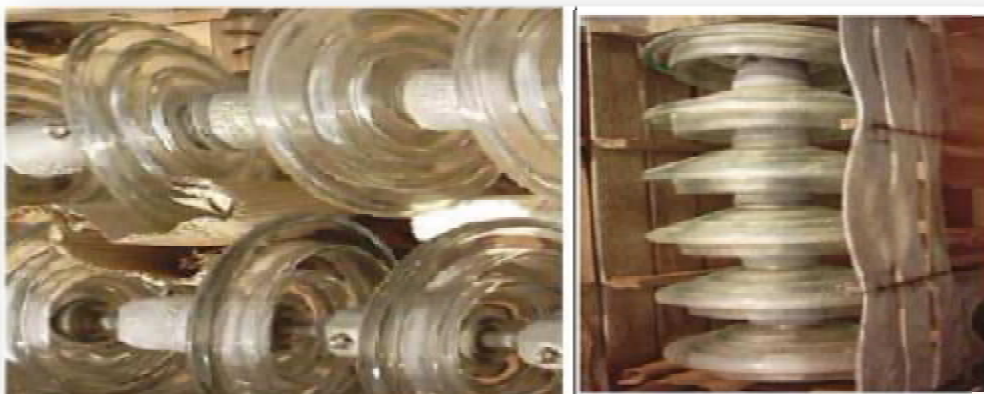
*Εικόνα 19: Γυάλινοι μονωτήρες τύπου ομίχλης*



*Εικόνα 20: Πορσελάνινοι μονωτήρες τύπου ομίχλης σε συσκευασίες*

## Μονωτήρες κανονικού τύπου

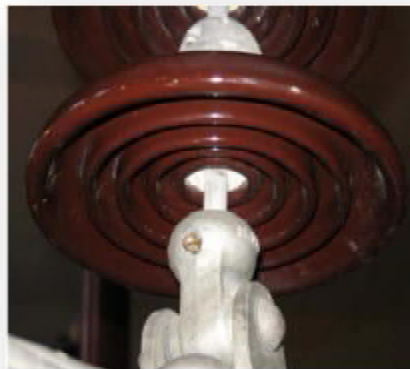
Οι μονωτήρες κανονικού τύπου έχουν μικρότερο μήκος ερπυσμού από το μήκος ερπυσμού που έχουν οι μονωτήρες τύπου ομίχλης. Χρησιμοποιούνται σε σύνηθες περιβάλλον.



*Εικόνα 21: Γυάλινοι μονωτήρες κανονικού τύπου σε συσκευασίες*



*Εικόνα 22: Γυάλινος μονωτήρας κανονικού τύπου*



*Εικόνα 23: Πορσελάνινος μονωτήρας κανονικού τύπου*



*Εικόνα 24: Πορσελάνινοι μονωτήρες κανονικού τύπου*

### **Μονωτήρες εσωτερικού τύπου**

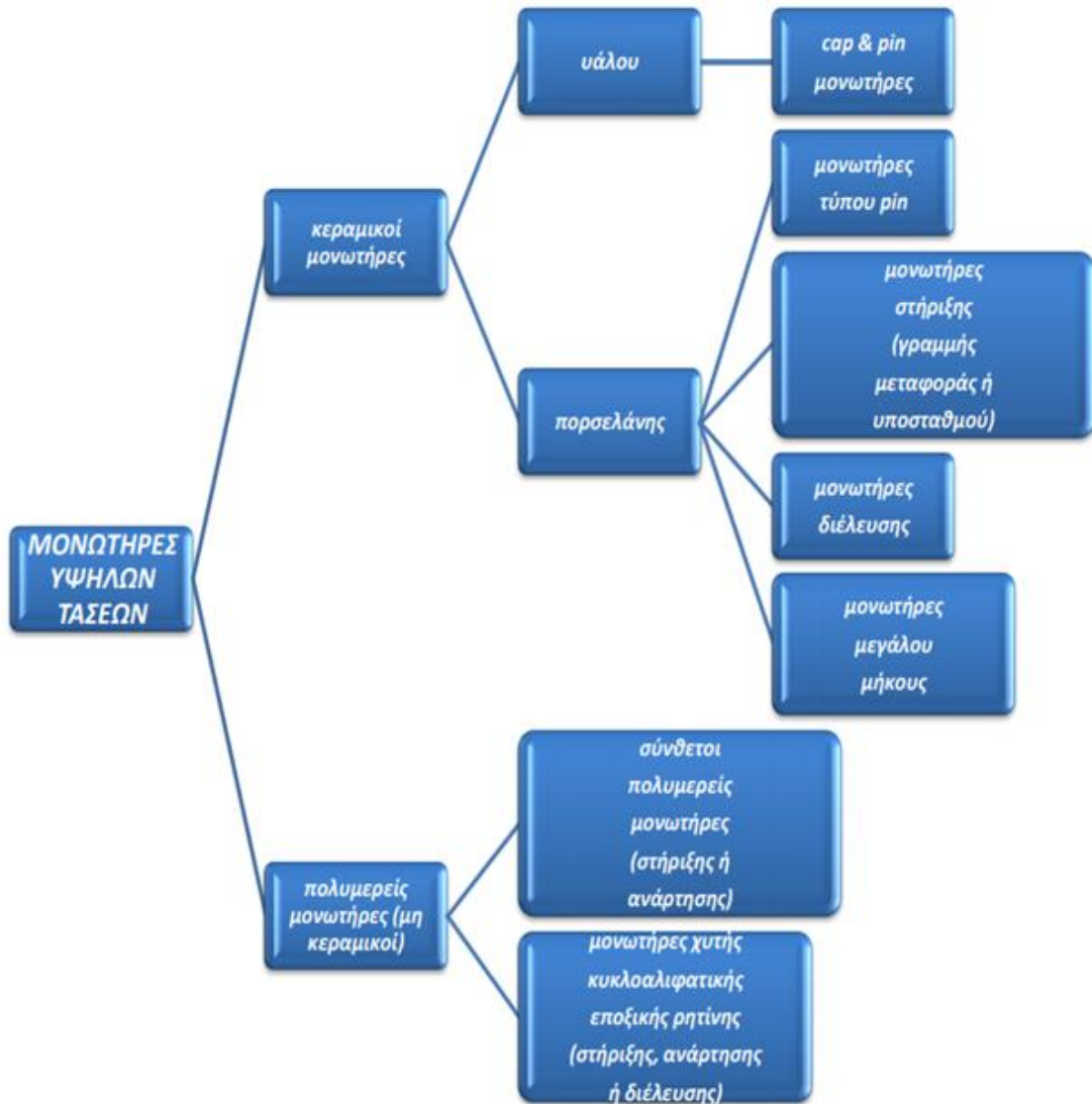
Οι μονωτήρες αυτοί χρησιμοποιούνται σε εσωτερικούς χώρους, κυρίως σε κλειστούς υποσταθμούς



*Εικόνα 25: Μονωτήρες εσωτερικού τύπου*

### 1.4.3 Ταξινόμηση με βάση τον το υλικό και το σχήμα τους

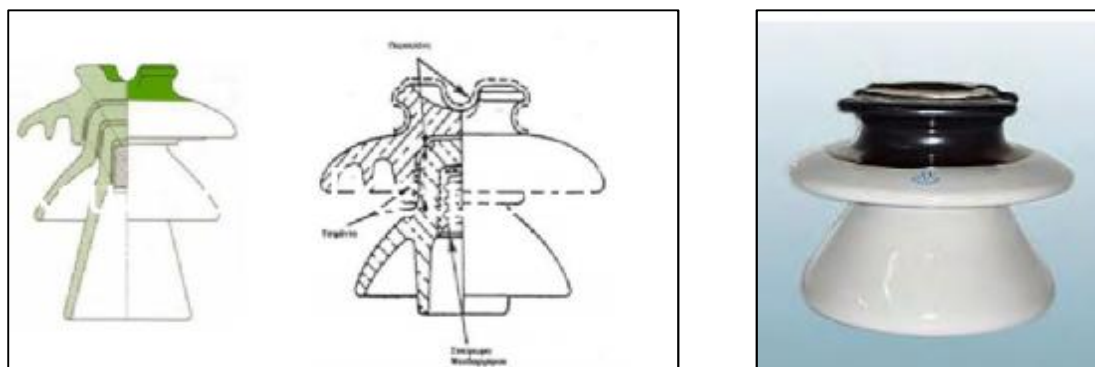
Ως προς το υλικό και το σχήμα τους, έχουμε την κατάταξη που παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 26: Κατάταξη μονωτήρων ανάλογα το υλικό και το σχήμα τους

## Μονωτήρες τύπου pin

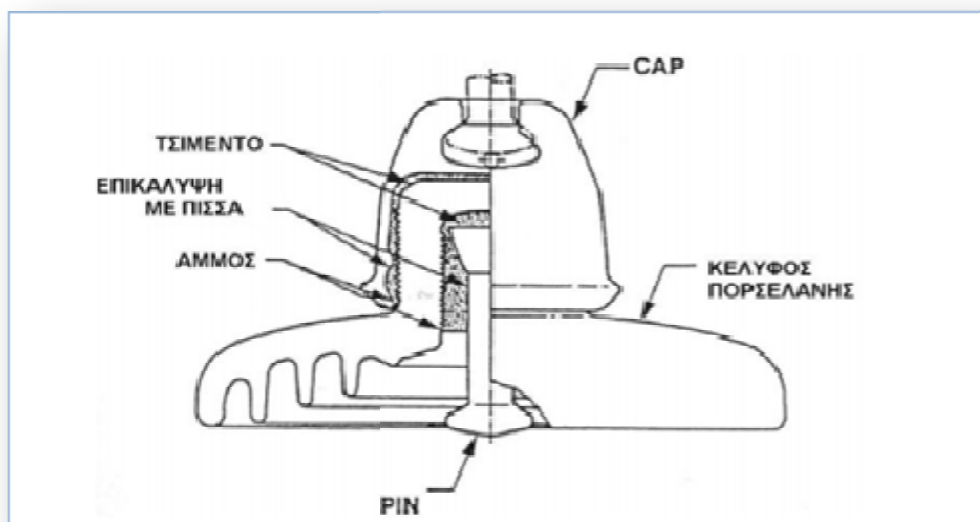
Μονωτήρες πορσελάνης τύπου ακίδας (porcelain pin type insulators) Όπως υποδηλώνεται από το όνομα, οι pin type μονωτήρες στηρίζονται σε μία ακίδα στους βραχίονες των πυλώνων. Στο άνω άκρο του μονωτήρα υπάρχει μια αυλάκωση. Ο αγωγός διαπερνά από αυτήν και συνδέεται στο μονωτήρα με ανοπτημένο σύρμα του ίδιου υλικού. Αυτός ο τύπος μονωτήρων χρησιμοποιήθηκε αρχικά για τις τηλεφωνικές γραμμές και τα αλεξικέραυνα, ενώ στη συνέχεια τροποποιήθηκε για να χρησιμοποιηθεί στις γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Μερικές παραλλαγές του είναι ακόμα σε χρήση στα συστήματα μέσης τάσης σε τάσεις επιπέδου 33kV. Πέρα από την τάση λειτουργίας των 33kV, επειδή οι μονωτήρες αυτοί είναι αρκετά ογκώδεις, καθίστανται και αντικοινομικοί. [11],[13]



*Εικόνα 27: Μονωτήρας τύπου pin*

### Μονωτήρες ακίδας-βάσης (cap and pin insulators)

Κατασκευάζονται από πορσελάνη ή γυαλί και αποτελούν τη μετεξέλιξη των μονωτήρων τύπου Pin Η διάταξη ενός τυπικού κεραμικού cap and pin μονωτήρα αποτελείται από το δισκοειδές κέλυφος του μονωτικού υλικού, στην κορυφή του οποίου εφαρμόζεται γαλβανισμένη θήκη (cap) και στο εσωτερικό του οποίου εφαρμόζεται μεταλλικός πείρος (pin). Τα τρία τμήματα της διάταξης συγκολλούνται με τσιμέντο. Η διάταξή τους αυτή επιτρέπει τη δημιουργία αλυσίδων μονωτήρων στις οποίες ο πείρος του ενός εφαρμόζει στη θήκη του επόμενου. Στην κάτω επιφάνεια του μονωτικού υλικού διακρίνονται πτυχώσεις, προκειμένου να αυξάνεται το μήκος της διαδρομής επί της επιφάνειας του μονωτήρα ανάμεσα στους δύο μεταλλικούς ακροδέκτες του. Στους μονωτήρες τύπου pin και τύπου cap & pin η συντομότερη απόσταση μεταξύ των μεταλλικών ηλεκτροδίων μέσω της πορσελάνης ή του γυαλιού είναι λιγότερη από το 50% της συντομότερης απόστασης μεταξύ των ηλεκτροδίων μέσω του αέρα. Συνεπώς η πορσελάνη ή το γυαλί μπορεί να διατηρηθεί κατόπιν μεγάλης ηλεκτρικής καταπόνησης. Η διαδικασία κατασκευής των μονωτήρων υάλου περιλαμβάνει τη θερμική ψύξη, που εξασφαλίζει ότι οι γυάλινοι δίσκοι θρυμματίζονται σε περίπτωση διάτρησης, οπότε ο ελαττωματικός δίσκος είναι εμφανής. Ένας χαρακτηριστικός cap and pin μονωτήρας διακρίνεται στο σχήμα. [11],[13]

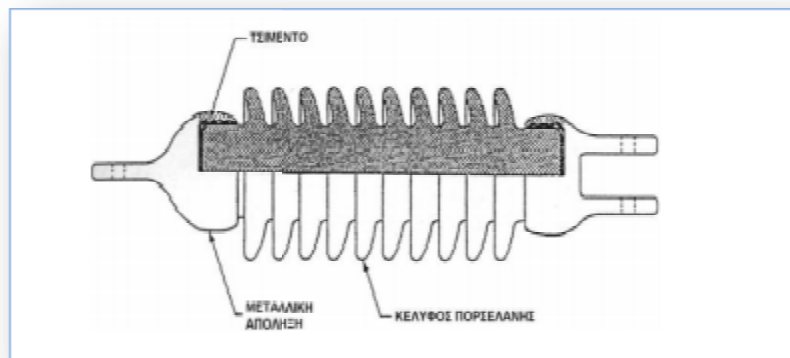


Εικόνα 28: Τυπικός cap and pin μονωτήρας



## Επιμήκεις Μονωτήρες

Οι επιμήκεις μονωτήρες ή μονωτήρες μεγάλου μήκους (longrod), είναι παρόμοιοι με τους μονωτήρες στήριξης, αλλά είναι ελαφρύτεροι και χρησιμοποιούνται ως μονωτήρες ανάρτησης. Σε σχέση με τους cap and pin έχουν το πλεονέκτημα ότι τα μεταλλικά εξαρτήματα, βρίσκονται στα άκρα τους. [2]



*Εικόνα 29: Longrod μονωτήρας*

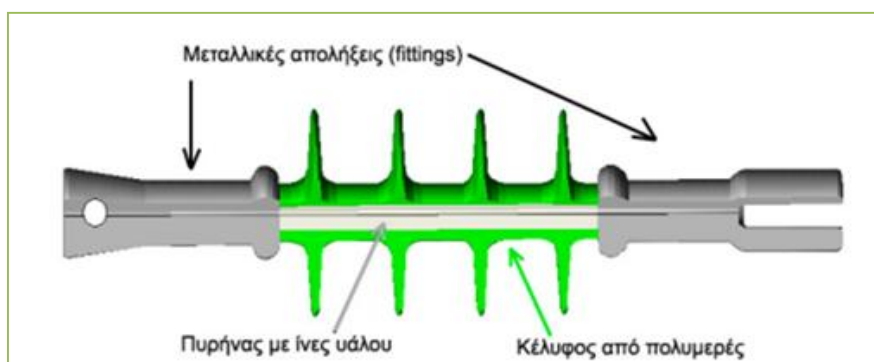


*Εικόνα 30: Longrod μονωτήρας*

## Σύνθετοι πολυμερείς μονωτήρες (composite polymeric insulator) [14]

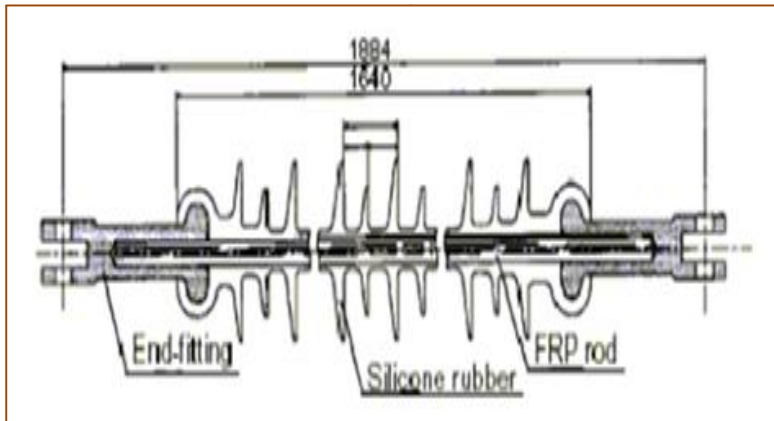
Αυτοί οι μονωτήρες είναι παρόμοιοι με τους πορσελάνινους μεγάλου μήκους ως προς το σχήμα, ωστόσο διαφέρουν ως προς τα υλικά κατασκευής, τα οποία είναι τα ακόλουθα:

- Ø Ο πυρήνας, που είναι το εσωτερικό μονωτικό μέρος του πολυμερούς μονωτήρα και μεταφέρει το μηχανικό φορτίο. Αποτελείται κυρίως από ίνες γυαλιού που βρίσκονται σε μάζα ρητίνης, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται μέγιστη δύναμη εφελκυσμού.
- Ø Ένα ελαστομερές περίβλημα που προστατεύει τον πυρήνα από τις καιρικές συνθήκες.
- Ø Ελαστομερείς δίσκοι, που αποσκοπούν στην αύξηση του μήκους ερπυσμού, ώστε να ανθίσταται ο μονωτήρας στις εντάσεις που επικρατούν στο σύστημα. Ακόμα, παρέχουν μια διακοπόμενη διαδρομή για την αποστράγγιση του μονωτήρα από το νερό. Δύο ευρέως χρησιμοποιούμενα υλικά είναι το σιλικονούχο καουτσούκ (silicone rubber) και το αιθυλένιοπροπυλένιο-διένιο (Ethylene Propylene Diene Monomer - EDPM), μονομερές καουτσούκ.
- Ø Μεταλλικά μέρη που μεταδίδουν το μηχανικό φορτίο στον πυρήνα.
- Ø Η ζώνη σύνδεσης, που αποτελεί μέρος των μεταλλικών μερών, που μεταφέρει το φορτίο της γραμμής, στον πύργο ή σε έναν άλλο μονωτήρα. Δεν περιλαμβάνει τη διεπιφάνεια μεταξύ του πυρήνα και των μεταλλικών μερών.
- Ø Διεπιφάνειες, δηλαδή οι επιφάνειες μεταξύ διαφορετικών υλικών, όπως είναι η διεπιφάνεια μεταξύ του περιβλήματος και των ελαστομερών δίσκων ή η διεπιφάνεια μεταξύ του πυρήνα και του περιβλήματος.

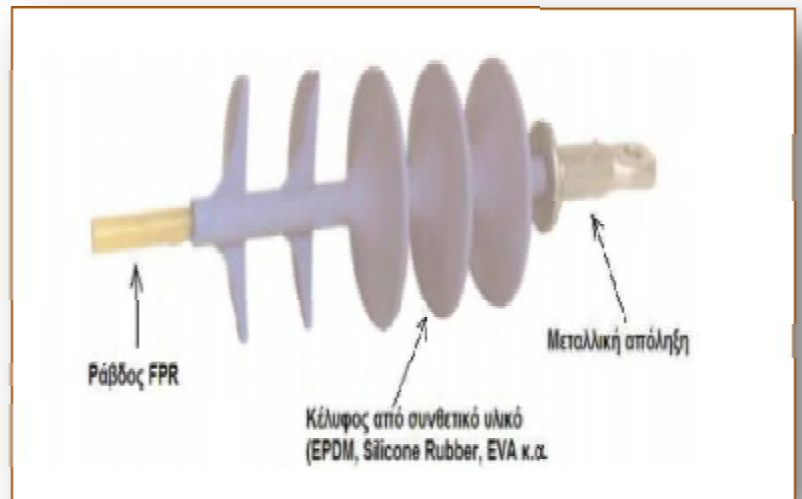


Εικόνα 31: Τομή σε μοντέλο συνθετικού μονωτήρα όπου διακρίνονται το κέλυφος, ο πυρήνας και οι μεταλλικές απολήξεις.

Οι μεταλλικοί ακροδέκτες αυτών των μονωτήρων είναι συνήθως στερεωμένοι πάνω στην εξωτερική πλευρά της ράβδου του πυρήνα και τα συγκεκριμένα σημεία επαφής μεταξύ του ελαστομερούς και των ακροδεκτών είναι πολύ σημαντικά. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα των σύνθετων πολυμερών μονωτήρων είναι η μείωση βάρους μέχρι και 90%, σε σύγκριση με τους αντίστοιχους κεραμικούς. Οι πολυμερείς μονωτήρες λέγονται και σύνθετοι, που σημαίνει ότι αποτελούνται από τουλάχιστον δύο μονωτικά μέρη, έναν πυρήνα και το περίβλημα, εξοπλισμένα με τα μεταλλικά μέρη. [2]



Εικόνα 32: Τυπικός συνθετικός μονωτήρας.



Εικόνα 33: Συνθετικός Μονωτήρας



Εικόνα 34: Πολυμερείς Μονωτήρες

## Μονωτήρες κυκλοαλιφατικής εποξεικής ρητίνης

Μονωτήρες κυκλοαλιφατικής εποξεικής ρητίνης (Cyclo-alifatic epoxy resin insulators) Η κυκλοαλιφατική ρητίνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να χυτευτούν μονωτήρες παρόμοιοι με αυτούς από πορσελάνη και τύπου στήριξης (line post) για διανομή των τάσεων. Σε περιβάλλον με κακές καιρικές συνθήκες οι επιφάνειες των μονωτήρων αυτών γίνονται τραχιές, γεγονός που μπορεί να έχει επιπτώσεις στην αξιοπιστία του μονωτήρα, αν δεν ληφθεί υπόψη. [2]

### 1.4.4 Σύγκριση Κεραμικών και Σύνθετων Μονωτήρων

Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται ολοένα και περισσότεροι μονωτήρες από μη κεραμικά υλικά, κυρίως από EPDM (ethylene propylene diene monomer) και Silicone Rubber. Τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν είναι η υδρόφοβη επιφάνεια, η οποία εξασφαλίζει αναβαθμισμένη συμπεριφορά σε περιβάλλον ρύπανσης και το χαμηλότερο βάρος, που συνεπάγεται ευκολότερη εγκατάσταση, συντήρηση καθώς και φθηνότερες κατασκευές ανάρτησης. Από την άλλη μεριά σημαντικότερο μειονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι είναι ευάλωτοι σε μηχανισμούς γήρανσης και ως εκ τούτου έχουν σαφώς μικρότερη διάρκεια ζωής από τους κεραμικούς. [11]

Στον παρακάτω πίνακα γίνεται σύγκριση των ιδιοτήτων μεταξύ κεραμικών και συνθετικών μονωτήρων. Με βάση αυτές τις παρατηρήσεις γίνεται η σωστή επιλογή των μονωτήρων ανάλογα την εφαρμογή που έχουμε. [2]

#### Σύγκριση κεραμικών και συνθετικών μονωτήρων

Μονωτήρες από κεραμικά υλικά (Πορσελάνη-Υαλος)	Μονωτήρες από συνθετικά υλικά (composite insulators)
i) Μεγάλη διάρκεια ζωής	i) Πεπερασμένη διάρκεια ζωής
ii)Υψηλή ανθεκτικότητα σε χημική, θερμική και ηλεκτρική καταπόνηση	ii) Ευάλωτοι σε φαινόμενα γήρανσης
iii) Μεγάλο Βάρος	iii) Μικρότερο Βάρος
iv) Υδρόφιλη επιφανειακή συμπεριφορά	iv)Υδρόφοβη επιφανειακή συμπεριφορά

*Πίνακας 1 : Σύγκριση Κεραμικών και Συνθετικών μονωτήρων [2]*

## Κεφάλαιο 2

### 2.1 Ρύπανση μονωτήρων

Ο σημαντικότερος παράγοντας που επηρεάζει τη μονωτική ικανότητα των μονωτικών υλικών, σε περίπτωση που είναι τοποθετημένα σε εξωτερικό χώρο, όπως οι μονωτήρες των γραμμών μεταφοράς, είναι η ρύπανση. Με τον όρο ρύπανση, προσδιορίζεται η επικάθιση αιωρούμενων στην ατμόσφαιρα ακαθαρσιών ή θαλάσσιας άλμης (καθαλάτωση) στην επιφάνειά τους. Η ρύπανση στην επιφάνεια ενός μονωτικού υλικού μπορεί να είναι είτε θαλάσσια, η οποία οφείλεται στο γεγονός ότι το μονωτικό βρίσκεται σε παραθαλάσσια περιοχή και οι άνεμοι μεταφέρουν θαλασσινό νερό υπό τη μορφή σταγονιδίων στην επιφάνεια του, όπου επικάθεται και σχηματίζεται ένα λεπτό υγρό αλατούχο επίστρωμα, είτε βιομηχανική, η οποία προέρχεται από τα στερεά κατάλοιπα των βιομηχανιών που απορρίπτονται στην ατμόσφαιρα. Πέρα, όμως, από τη βιομηχανική και τη θαλάσσια ρύπανση, στις μεγάλες πόλεις παρουσιάζεται το φαινόμενο της ρύπανσης των μονωτήρων λόγω των καυσαερίων, τόσο των αυτοκινήτων, όσο και των κεντρικών θερμάνσεων των κτιρίων. Εκτός από τις διάφορες ακαθαρσίες (αδρανής ορυκτή ύλη, ηλεκτρικά αγωγίμη σκόνη, διαλυτά άλατα στο νερό κ. α.) που επικάθονται στην επιφάνεια των στερεών μονωτικών, τα ιόντα που συγκεντρώνονται σ' αυτήν, και τα οποία θα προκαλέσουν την όποια αύξηση της επιφανειακής αγωγιμότητας, είναι δυνατό να προέρχονται και από την ίδια τη χημική δομή των στερεών αυτών (όπως π.χ. τα ιόντα νατρίου του κοινού γυαλιού). Το στρώμα της ρύπανσης, που οφείλεται σε σωματίδια και ουσίες που επικάθονται στην επιφάνεια του μονωτήρα, δεν είναι από μόνο του ιδιαίτερα αγωγίμο, δηλαδή, όταν εφαρμοστεί διαφορά δυναμικού στα μεταλλικά άκρα ενός μονωτήρα του οποίου η επιφάνεια είναι ξηρή, τότε, το αγωγίμο στρώμα ρύπανσης διαρρέεται από ένα ρεύμα πολύ μικρής έντασης (που μπορεί να θεωρηθεί αμελητέο). Ωστόσο, αν στην επιφάνεια του μονωτήρα αναπτυχθεί υγρασία (λόγω ομίχλης, πάχνης κ.α.), τότε, το στρώμα αυτό γίνεται ιδιαίτερα αγωγίμο και μεταβάλλει σε μεγάλο βαθμό το ηλεκτρικό πεδίο κατά μήκος του μονωτήρα. Η συνύπαρξη ρύπανσης (θαλάσσιας, βιομηχανικής ή συνδυασμού τους) και δροσιάς, ομίχλης ή σιγανής βροχής, αποτελεί δυσμενέστατη συνθήκη λειτουργίας των μονωτικών υλικών και μπορεί να υποβιβάσει τη μονωτική τους ικανότητα σε μεγάλο βαθμό (40% έως 80%), με αποτέλεσμα τη δημιουργία ηλεκτρικού τόξου. Πέρα από το συνδυασμό υγρασίας και ρύπανσης, πρέπει να συνεκτιμηθεί στην αύξηση της επιφανειακής αγωγιμότητας και η προδιάθεση του μονωτικού υλικού να διαβρέχεται από την υγρασία και να ευνοεί, έτσι, το σχηματισμό του λεπτού επιφανειακού αγωγίμου στρώματος. Ένα κρίσιμο χαρακτηριστικό που σχετίζεται με αυτή την προδιάθεση είναι η υγροσκοπικότητα, δηλαδή η τάση να απορροφάται υγρασία από το περιβάλλον. Συνεπώς, η παρατεταμένη ξηρασία, η περιβαλλοντική ρύπανση, καθώς και τα ακραία καιρικά φαινόμενα μεταβάλλουν τη συμπεριφορά των μονωτικών υλικών που εκτίθενται σε αυτά. [7]

Στο Πρότυπο IEC 815/1986, προκειμένου να υπάρχει μία κατηγοριοποίηση των περιοχών ανάλογα με τη βαρύτητα ρύπανσης, έχουν καθοριστεί, ποιοτικά, τέσσερα επίπεδα ρύπανσης: ελαφρά, μεσαία, βαριά και πολύ βαριά. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η ταξινόμηση αυτή με πιο περιγραφικό τρόπο, καθώς και με αναφορά μιας τυπικής περιοχής για κάθε επίπεδο. Τα επίπεδα αυτά είναι: [8]

## Επίπεδο ρύπανσης- Παραδείγματα περιβάλλοντος

### 1. Ελαφριά

- Περιοχές χωρίς βιομηχανίες και με μικρή πυκνότητα κατοικιών εξοπλισμένων με εγκατάσταση θέρμανσης.
- Περιοχές με μικρή πυκνότητα βιομηχανιών ή κατοικιών, αλλά εκτεθειμένες σε ισχυρούς ανέμους ή βροχοπτώσεις.
- Αγροτικές περιοχές.
- Ορεινές περιοχές.

Όλες αυτές οι περιοχές πρέπει να βρίσκονται σε απόσταση τουλάχιστον 10 έως 20km από τη θάλασσα και δεν πρέπει να εκτίθενται σε ανέμους κατ' ευθείαν από αυτή.

### 2. Μεσαία

- Περιοχές με βιομηχανίες, οι οποίες δεν παράγουν ιδιαίτερα ρυπασμένο καπνό, ή με μέση πυκνότητα κατοικιών εξοπλισμένων με εγκατάσταση θέρμανσης.
- Περιοχές με υψηλή πυκνότητα κατοικιών ή βιομηχανιών, αλλά εκτεθειμένες σε συχνούς ανέμους ή βροχοπτώσεις.
- Περιοχές εκτεθειμένες σε ανέμους από τη θάλασσα, αλλά όχι πολύ κοντά σε ακτή (τουλάχιστον σε απόσταση μερικών χιλιομέτρων ανάλογα με τη μορφολογία της παράκτιας περιοχής και τις συνθήκες ανέμου).

### 3. Βαριά

- Περιοχές με υψηλή πυκνότητα βιομηχανιών και προάστια μεγάλων πόλεων με υψηλή πυκνότητα εγκαταστάσεων θέρμανσης, οι οποίες παράγουν ρύπανση.
- Περιοχές κοντά στη θάλασσα ή κάθε περιοχή που εκτίθεται σε σχετικά ισχυρούς ανέμους από τη θάλασσα.

### 4. Πολύ βαριά

- Περιοχές περιορισμένης έκτασης, εκτεθειμένες σε αγωγίμη σκόνη και βιομηχανικό καπνό που προκαλεί αγωγίμες εναποθέσεις σημαντικού πάχους.
- Περιοχές περιορισμένης έκτασης, οι οποίες βρίσκονται πολύ κοντά σε ακτή και εκτίθενται σε ψεκάσμο θαλασσινού νερού ή σε πολύ δυνατό και ρυπασμένο αέρα από τη θάλασσα.
- Περιοχές ερήμου, οι οποίες χαρακτηρίζονται από έλλειψη βροχής για μεγάλες χρονικές περιόδους, εκτίθενται σε ισχυρούς ανέμους που μεταφέρουν άμμο και αλάτι και υποβάλλονται σε κανονική συμπίκνωση. [8]

Για κάθε επίπεδο ρύπανσης που περιγράφεται παραπάνω το αντίστοιχο ελάχιστο ειδικό μήκος ερπυσμού (minimal nominal specific creepage distance), μετρούμενο σε mm/kV (πολική τάση) της υψηλότερης εφαρμοζόμενης τάσης στο μονωτήρα δίνεται στον πίνακα [8]

Επίπεδο ρύπανσης	Ελάχιστο ειδικό μήκος ερπυσμού (mm/kV)
Ελαφριά	16
Μεσαία	20
Βαριά	25
Πολύ βαριά	31

Πίνακας 2: Ελάχιστο ειδικό μήκος ερπυσμού συναρτήσει του επιπέδου ρύπανσης [8]

## **2.2 Το φαινόμενο της ηλεκτρικής διάσπασης στα μονωτικά υλικά**

Σημασία αποφυγής της αστοχίας των μονωτήρων Ως μονωτικά σώματα ή μονωτές χαρακτηρίζονται τα υλικά που, πρακτικά, δεν εμφανίζουν καθόλου ηλεκτρική αγωγιμότητα όταν εκτίθενται σε σχετικά ασθενή πεδία συνεχούς ρεύματος (συνήθως θεωρούνται ως χαμηλές οι τάσεις που δεν ξεπερνούν τα 1000V). Η μη δυνατότητα εκδήλωσης ουσιαστικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας στα παραπάνω σώματα έγκειται στο γεγονός ότι σε αυτά δεν υπάρχουν σε επαρκή ποσότητα ευκίνητοι φορείς ηλεκτρικού φορτίου, τέτοιοι που να επιτρέπουν τη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος από το εσωτερικό τους (σε αντίθεση π.χ. με τα μέταλλα). Τα μονωτικά σώματα, χάρη στην έλλειψη αξιόλογης ηλεκτρικής αγωγιμότητας, είναι κατάλληλα για να εμποδίζουν τη δημιουργία ηλεκτρικών ρευμάτων διαμέσου της μάζας τους και για να διατηρούν τις διαφορές δυναμικού στα διάφορα τμήματα των ηλεκτροτεχνικών διατάξεων και εγκαταστάσεων. Η εμφάνιση ηλεκτρικής αγωγιμότητας κάποιου βαθμού στα στερεά μονωτικά σώματα είναι πρακτικά αναπόφευκτη λόγω των προσμίξεων στο εσωτερικό τους. Ωστόσο, τα υλικά αυτά παρουσιάζουν μια ιδιομορφία. Δηλαδή, εκτός από την αγωγιμότητα δια μέσου της μάζας τους, εκδηλώνεται και μια επιφανειακή αγωγιμότητα με μετακίνηση φορέων κατά μήκος της εξωτερικής τους επιφάνειας, έξω απ' το κυρίως σώμα. Οι δύο αυτοί μηχανισμοί αγωγιμότητας είναι ανεξάρτητοι ο ένας από τον άλλο. Για διάκριση, οι αντίστοιχες ειδικές αγωγιμότητες ονομάζονται ειδική αγωγιμότητα όγκου η πρώτη ( $\sigma$ ) και ειδική επιφανειακή αγωγιμότητα η δεύτερη ( $\sigma_e$ ). Στα περισσότερα μονωτικά υλικά η αγωγιμότητα όγκου είναι πολύ μικρή οπότε η επιφανειακή τους αγωγιμότητα αποκτά συχνά κυρίαρχη σημασία, ιδίως όταν ευνοείται από το γεωμετρικό τους σχήμα. Το ρεύμα που δημιουργεί η επιφανειακή αγωγιμότητα των στερεών μονωτικών σωμάτων ονομάζεται ρεύμα ερπυσμού διότι έρπει, δηλαδή, σέρνεται πάνω στην επιφάνειά τους. Τα ρεύματα ερπυσμού είναι σχετικά σταθερά όταν οι συνθήκες δεν μεταβάλλονται. Η κατανομή, όμως, της πυκνότητας των ρευμάτων αυτών δεν είναι ομοιόμορφη διότι οι φορείς τους ακολουθούν κατά προτίμηση ορισμένους αγωγίμους δρόμους διαρροής στην επιφάνεια ή σε ραγμές των σωμάτων Ως αποτέλεσμα της ύπαρξης κάποιου βαθμού ηλεκτρικής αγωγιμότητας στα μονωτικά υλικά, εμφανίζεται ηλεκτρικό ρεύμα στο εσωτερικό τους. Αρχικά, υπάρχει μια περιοχή όπου η ένταση του ρεύματος παρουσιάζει μια σχετικά μικρή τιμή - περίπου ανάλογη προς την τάση - και η οποία, κυρίως, οφείλεται στα λίγα ελεύθερα ηλεκτρόνια και στις προσμίξεις του μονωτικού σώματος. Στη συνέχεια, ακολουθεί η περιοχή κόρου, όπου η ένταση του ρεύματος διατηρείται περίπου σταθερή, διότι το πλήθος των φορέων μεταφοράς του ηλεκτρικού ρεύματος που εκπέμπονται από τα ηλεκτρόδια ή που δημιουργεί το πεδίο ιονίζοντας τα συστατικά του σώματος αντισταθμίζεται περίπου από το πλήθος τους που εξουδετερώνεται στα ηλεκτρόδια (οι φορείς δια μέσου του σώματος στο οποίο επιβάλλεται τάση κατευθύνονται από το ένα ηλεκτρόδιο στο άλλο όπου και εξουδετερώνονται λόγω αντίθετου φορτίου). Η περιοχή αυτή των τάσεων ονομάζεται και περιοχή ιονισμού. Τέλος, με την αύξηση της τάσης πέρα από μια κρίσιμη τιμή  $V_d$ , που ονομάζεται τάση διάσπασης, η ένταση του ρεύματος αυξάνει απότομα και γίνεται ανεξέλεγκτη. Εμφανίζεται, δηλαδή, το φαινόμενο της ηλεκτρικής (ή διηλεκτρικής) διάσπασης του μονωτικού [9].

Μαζί με την εκκένωση ισχυρού ηλεκτρικού ρεύματος διαμέσου του μονωτικού η ηλεκτρική διάσπαση συνοδεύεται με την υπερθέρμανση του σώματος και με φωτεινά φαινόμενα. Ειδικότερα, στα στερεά μονωτικά υλικά συγχρόνως με την ηλεκτρική διάσπαση πραγματοποιείται και η διάτρηση του σώματος. Δηλαδή, η μεγάλη θερμοκρασία που δημιουργεί η διέλευση του πολύ έντονου ρεύματος της διάσπασης προκαλεί τοπικά την τήξη, καύση ή εξαέρωση του υλικού και έχει σαν αποτέλεσμα το σχηματισμό μιας λεπτής τρύπας στο σώμα κατά μήκος του πεδίου. Προκαλείται, επομένως, καταστροφή του υλικού και μόνιμη απώλεια της μονωτικής του ικανότητας.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι μονωτήρες είναι διατάξεις που χρησιμοποιούνται προκειμένου να αποφευχθεί η διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από ηλεκτρικές συσκευές καθώς και η απώλεια ενέργειας στις διατάξεις διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας λόγω της δημιουργίας αγωγίμου δρόμου ανάμεσα στις γραμμές μεταφοράς και τους πυλώνες στήριξής τους.

Ενδεχόμενη αστοχία των μονωτήρων, δηλαδή προσωρινή ή μόνιμη απώλεια της μονωτικής τους ικανότητας, εμφανίζεται, με πραγματικούς όρους, με ποσοστό που κυμαίνεται από 0.1 έως 1% ετησίως και μπορεί να προκαλέσει σημαντικές βλάβες στον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό καθώς και στη λειτουργία των δικτύων διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο η μελέτη των φαινομένων της διάσπασης, αλλά, κυρίως, της υπερπήδησης του μονωτήρα χρίζουν ιδιαίτερης προσοχής [5]

### **2.3 Απώλεια μονωτικής ικανότητας στους μονωτήρες**

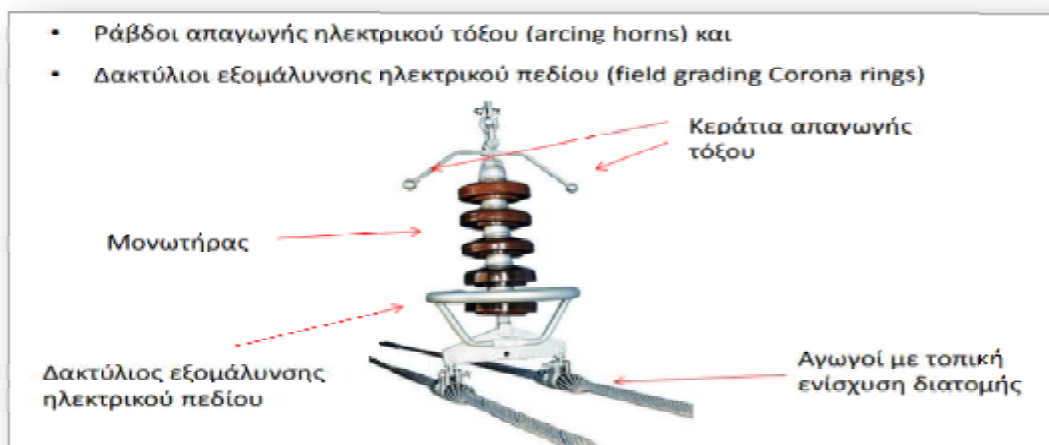
Η απώλεια της μόνωσης στους μονωτήρες μπορεί να επέλθει με τρεις διαφορετικούς τρόπους:

#### **A) Διάσπαση ή διάτρηση (breakdown)**

Είναι η κανονική ηλεκτρική διάσπαση του μονωτήρα (διάτρηση) και η εκκένωση ρεύματος δια μέσου της μάζας του, φαινόμενο που εκδηλώνεται όταν η διαφορά δυναμικού ξεπεράσει την τάση διάσπασης του υλικού. Η διάτρηση του μονωτήρα είναι ένα εξαιρετικά σπάνιο φαινόμενο, αφού η ειδική αγωγιμότητα όγκου του μονωτικού υλικού είναι πολύ μικρότερη της ειδικής επιφανειακής αγωγιμότητάς του. Έτσι, οι ενδεχόμενες ηλεκτρικές εκκενώσεις πραγματοποιούνται ως επί το πλείστον στην επιφάνεια του μονωτήρα ή μέσω διάσπασης μορίων του αέρα γύρω από αυτήν, παρά διαμέσου του υλικού του. Διάτρηση, βέβαια, μπορεί να επιτευχθεί και μέσα σε περιβάλλον ατμοσφαιρικού αέρα, εφόσον, όμως, η επιβαλλόμενη τάση είναι κρουστική, μεγάλης τιμής και μεγάλης κλίσεως μετώπου (π.χ. κεραυνοπληξία). [3]

#### **B) Ρεύμα ερπυσμού**

Ο δεύτερος τρόπος με τον οποίο είναι δυνατό να επέλθει απώλεια της μόνωσης σε μια διάταξη μονωτήρα είναι η ανάπτυξη ενός ισχυρού ρεύματος ερπυσμού (ερπυσμού διότι έρπει, δηλαδή, σέρνεται πάνω στην επιφάνειά του) πάνω στην επιφάνεια του υλικού. Το ρεύμα ερπυσμού μπορεί να εκτείνεται σε όλο το μήκος της επιφάνειας του μονωτικού ή, συνήθως, σε διάφορα μέρη της που συνδέονται με μικρά ηλεκτρικά τόξα. Μάλιστα, τα δημιουργούμενα κατά την υπερπήδηση ηλεκτρικά τόξα έρχονται σε επαφή με το στερεό μονωτικό καθορίζοντας, ταυτόχρονα, (κατά ένα ποσοστό τουλάχιστο 50%) την “οδό διέλευσης” νέου ηλεκτρικού τόξου που, ενδεχόμενα, θα λάβει χώρα στο μέλλον. Για αυτό το λόγο, συνήθως, εφαρμόζονται στους μονωτήρες προστατευτικοί δακτύλιοι ή κερατίδια με τα οποία “υποδεικνύεται” στο ηλεκτρικό τόξο η οδός διέλευσής του, μακριά από το στερεό μονωτικό. [15]

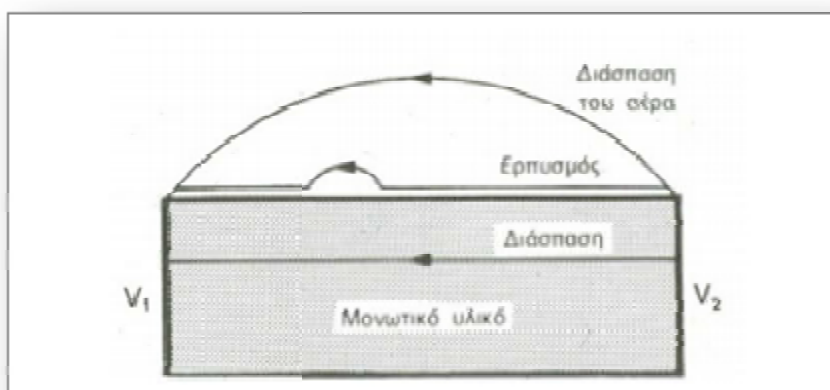




### Γ) Υπερπήδηση

Όταν η μεταξύ των δυο ακρότατων σημείων του μονωτήρα επιβαλλομένη τάση υπερβεί μια κρίσιμη τιμή σημειώνεται υπερπήδηση (flashover) του μονωτήρα, δηλαδή γεφύρωση με ηλεκτρικό τόξο που οδεύει δια μέσου του αέρα του διακένου μεταξύ του σημείου προσδέσεως του αγωγού της γραμμής στο μονωτήρα και του προσγειωμένου σημείου στηρίξεως ή αναρτήσεως του μονωτήρα. Γενικά μπορούμε να πούμε ότι η υπερπήδηση επέρχεται εν μέρει λόγω επιφανειακών εκκενώσεων, που έρχονται στην επιφάνεια του μονωτήρα και εν μέρει λόγω διάσπασης στρωμάτων αέρα. [3]

Από τα παραπάνω ,τα πλέον συνήθη φαινόμενα που εμφανίζονται στην πράξη είναι η υπερπήδηση των μονωτήρων από επιφανειακό ρεύμα ερπυσμού ή μέσω εναέριου ηλεκτρικού τόξου. Αυτό, διότι η διηλεκτρική αντοχή των υλικών κατασκευής των μονωτήρων είναι μεγαλύτερη από τη διηλεκτρική αντοχή του περιβάλλοντος αέρα. Έτσι, ο τελευταίος αποτελεί προσφορότερο αγώγιμο δρόμο διέλευσης του ηλεκτρικού ρεύματος.



*Εικόνα 35: Η απώλεια της μονωτικής δράσης ενός στερεού μονωτικού μπορεί να γίνει με ηλεκτρική διάσπαση του υλικού ή με υπερπήδηση που εκδηλώνεται με ρεύμα ερπυσμού και με διάσπαση στον αέρα*

Στους σύγχρονους μονωτήρες μία υπερπήδηση μικρής διάρκειας συνεπάγεται πολύ μικρή ζημιά για τον μονωτήρα καθώς μόλις παρέλθει η υπέρταση, ο μονωτήρας παρουσιάζει την κανονική του συμπεριφορά. αντίθετα, μια διάτρηση αχρηστεύει σχεδόν πάντα τον μονωτήρα.

## 2.4 Μηχανισμός Υπερπήδησης ρυπασμένων μονωτήρων- Βασικά στάδια εξέλιξης [4]

Το πρόβλημα της ρύπανσης των μονωτήρων, αποτελεί την συνηθέστερη αιτία σφαλμάτων, σε υπαίθριες εγκαταστάσεις Υψηλών Τάσεων . Γενεσιουργός αιτία είναι η συγκέντρωση στην επιφάνεια των μονωτήρων, από τον άνεμο ή άλλους μηχανισμούς (όξινη βροχή κ.α.), ρύπων, που έχουν ή μπορούν να αποκτήσουν ηλεκτρική αγωγιμότητα. Το επιφανειακό φιλμ το οποίο προκύπτει, επιτρέπει την ροή επιφανειακού ρεύματος, γνωστό και ως ρεύμα διαρροής (leakage current), καταλήγοντας, όπως θα φανεί παρακάτω, μέχρι και στην υπερπήδηση (flashover) του μονωτήρα. Συνήθως, ο μηχανισμός του φαινομένου θεωρείται ως μια διαδικασία έξι σταδίων ως εξής:

**Στάδιο 1:** Στην επιφάνεια ενός μονωτήρα είναι πιθανή η συγκέντρωση μιας ποσότητας ρύπων, οι οποίοι μεταφέρονται κυρίως από τον άνεμο. Στην βιβλιογραφία αναφέρονται άλλοι δύο μηχανισμοί, με τους οποίους επίσης είναι δυνατή η μεταφορά ρύπων. Οι μηχανισμοί αυτοί είναι η όξινη βροχή και η εναπόθεση περιττωμάτων από μεγάλα πτηνά (bird droppings).

**Στάδιο 2:** Ανάλογα με το περιβάλλον λειτουργίας, στην επιφάνεια ενός μονωτήρα, μπορούν να βρεθούν πολλών τύπων ρύποι. Το βασικό χαρακτηριστικό που ενδιαφέρει, όσον αφορά την εξέλιξη του μηχανισμού της ρύπανσης, είναι η επιφανειακή ηλεκτρική αγωγιμότητα. Διακρίνουμε έτσι δύο κατηγορίες, την ενεργό ρύπανση, όπου οι ρύποι είναι ήδη αγωγάιμοι ή μπορούν να αποκτήσουν αγωγιμότητα μετά από διάλυση στο νερό και την αδρανή ρύπανση, η οποία δεν είναι αγωγήμη. Η συνήθης περίπτωση, όπου υπάρχει πρόβλημα στην συμπεριφορά ενός μονωτήρα, είναι η παρουσία αλάτων, τα οποία με την διάλυση τους στο νερό δημιουργούν ένα αγωγήμο ηλεκτρολυτικό διάλυμα. Απαιτείται συνεπώς η ύγρανση της επιφάνειας, η οποία είναι δυνατή, ως αποτέλεσμα μηχανισμών. Τέτοιοι μηχανισμοί μπορεί να είναι :

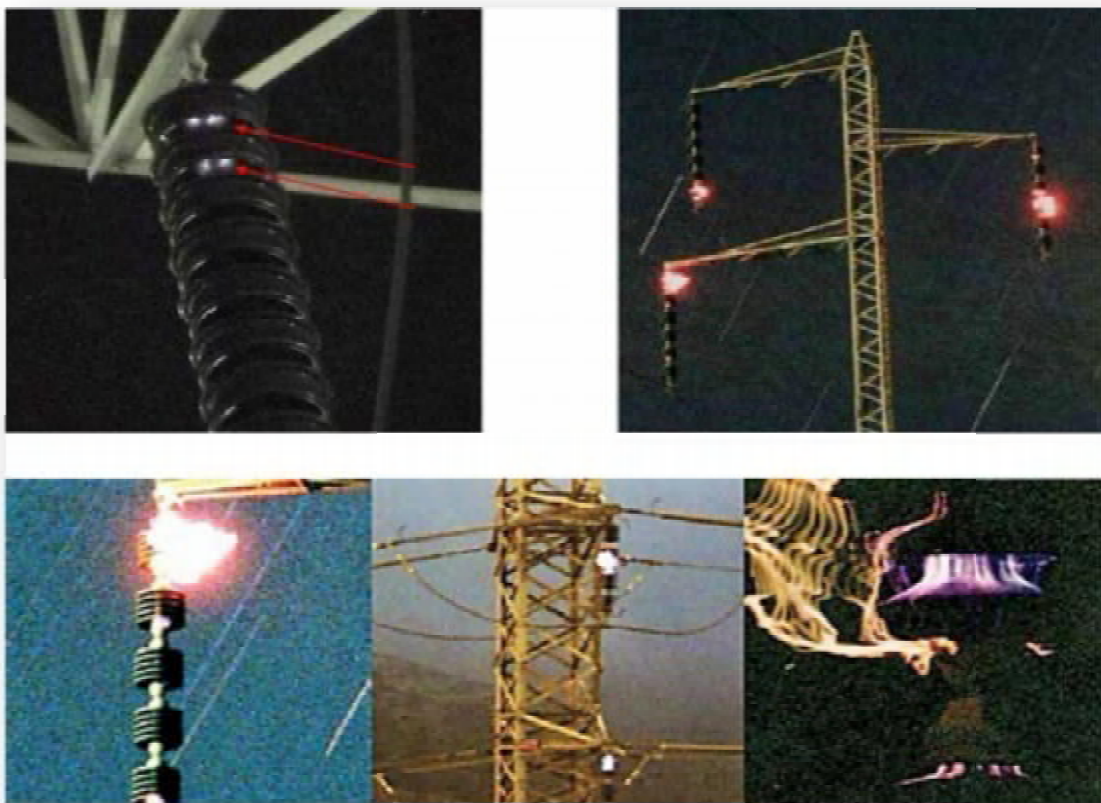
- Ø Η συμπύκνωση (δρόσος, ομίχλη κτλ)
- Ø Η βροχόπτωση
- Ø Η υγρασκοπική συμπεριφορά των ρύπων
- Ø Η μοριακή διάχυση

**Στάδιο 3:** Όταν στην επιφάνεια του μονωτήρα έχει δημιουργηθεί το αγωγήμο στρώμα των ρύπων, δεδομένης της εφαρμοζόμενης τάσης, είναι δυνατή η ροή ρεύματος επιτρέπει την ροή επιφανειακού ρεύματος, γνωστό και ως ρεύμα διαρροής (leakage current).. Η ηλεκτρική συμπεριφορά των ρύπων, κατά το στάδιο αυτό, μπορεί να χαρακτηριστεί ως ωμική, δηλαδή, η παρουσία ρεύματος συνεπάγεται την κατανάλωση ενέργειας, υπό την μορφή των απωλειών Joule. Έτσι στο επιφανειακό στρώμα ρύπων εξελίσσονται ταυτόχρονα δύο μηχανισμοί, που μπορούν να επηρεάσουν την τιμή της επιφανειακής αγωγιμότητας. Αφενός υπάρχει ο μηχανισμός της ύγρανσης, ο οποίος τείνει να αυξήσει την υπάρχουσα ποσότητα ύδατος και αφετέρου λόγω των απωλειών Joule παρατηρείται εξάτμιση ύδατος, δηλαδή ξήρανση.

**Στάδιο 4:** Η τιμή της αγωγιμότητας που τελικά προκύπτει, η οποία είναι συνάρτηση του βαθμού διάλυσης των ρύπων, εξαρτάται τόσο από την ποσότητα των ρύπων, αλλά και από την αντίρροπη δράση των δύο παραπάνω μηχανισμών. Δεδομένου ότι σε πραγματικές συνθήκες, τόσο η κατανομή των ρύπων, όσο και η ύγρανση της επιφάνειας, δεν είναι ομοιόμορφες, προκύπτει ότι η τιμή της επιφανειακής

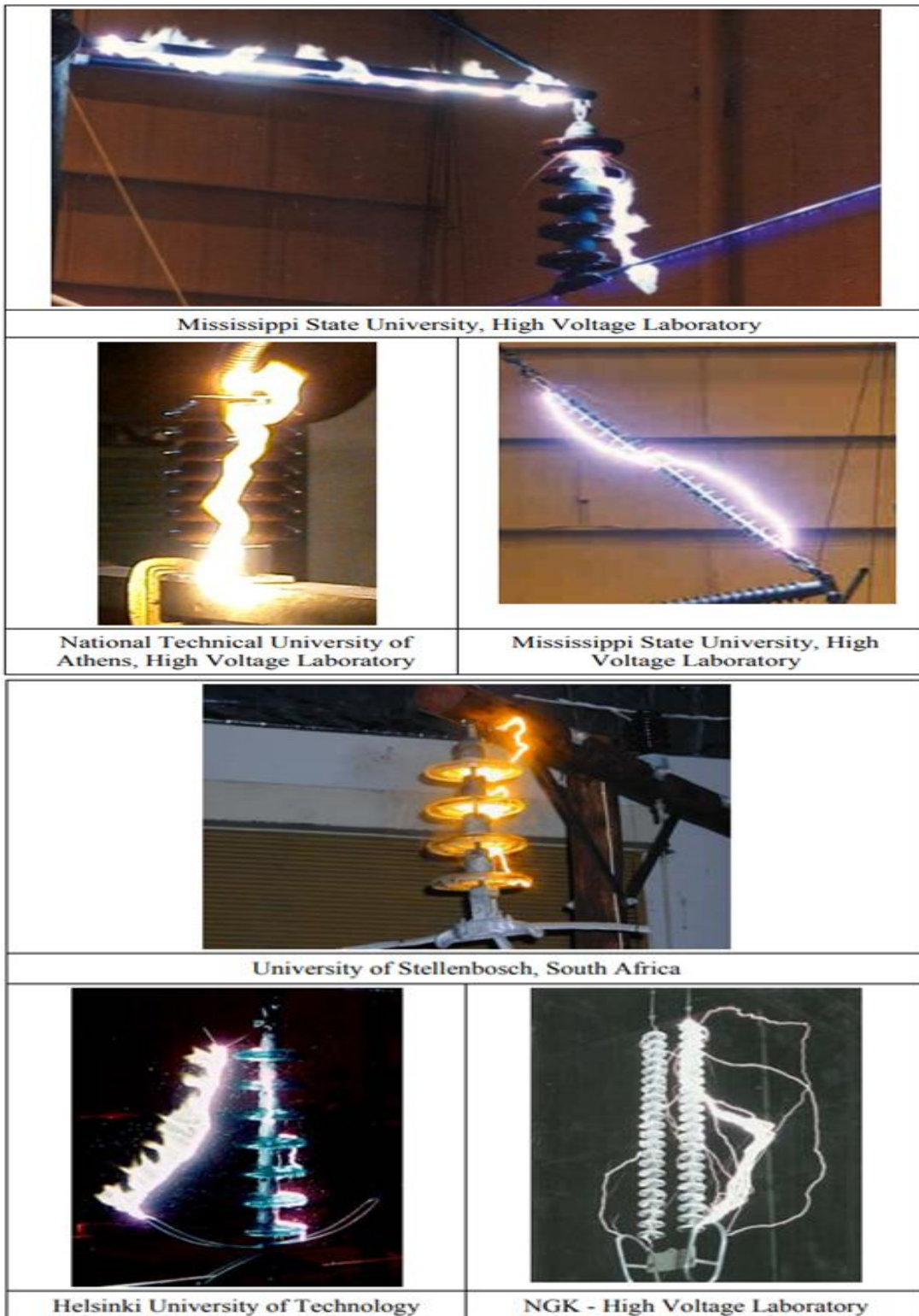
αγωγιμότητας μεταβάλλεται κατά το μήκος ερπυσμού. Όμως ακόμη και αν υποθεθεί ότι έχουμε ομοιόμορφη κατανομή ρύπων και ύγρανσης, η ίδια η γεωμετρία του μονωτήρα δημιουργεί εστίες αυξημένης θέρμανσης, όπου δηλαδή ο μηχανισμός της ξήρανσης υπερισχύει. Δημιουργούνται έτσι περιοχές μειωμένης αγωγιμότητας, οι οποίες μάλιστα επεκτείνονται περιμετρικά του μονωτήρα, δεδομένου ότι ξεκινούν από ένα τμήμα της περιμέτρου, εξαναγκάζουν την αύξηση της πυκνότητας ρεύματος στο υπόλοιπο. Έχουν δηλαδή την μορφή ζώνης και ως εκ τούτου χαρακτηρίζονται ως ξηρές ζώνες (dry bands).

**Στάδιο 5:** Έτσι, λόγω της αντίρροπης δράσης των μηχανισμών ύγρανσης και ξήρανσης, αλλά και της γεωμετρίας του μονωτήρα, η επιφάνεια του μονωτήρα μπορεί να θεωρηθεί ως μια ομάδα ωμικών αντιστάσεων σε σειρά, των οποίων η τιμή είναι συνάρτηση της θέσης τους. Η κατάσταση αυτή, οδηγεί στην ανακατανομή της τάσης κατά μήκος του μονωτήρα, η οποία τώρα εξαρτάται από τις περιοχές υψηλής αντίστασης (ξηρές ζώνες) και όχι από την σχεδίαση του μονωτήρα, όπως ισχύει σε ξηρές συνθήκες. Πλέον η καταπόνηση εστιάζεται κυρίως κατά μήκος των ξηρών ζωνών, αφού έχουν υψηλότερη αντίσταση και όταν αυτή υπερβεί την αντοχή του αέρα που τις περιβάλλει, παρατηρούνται τοπικές υπερπηδήσεις (dry band arcing). Στις παρακάτω εικόνες φαίνεται η επιφανειακή δραστηριότητα σε μονωτήρες κατά την διάσπαση ξηρών ζωνών. [4]

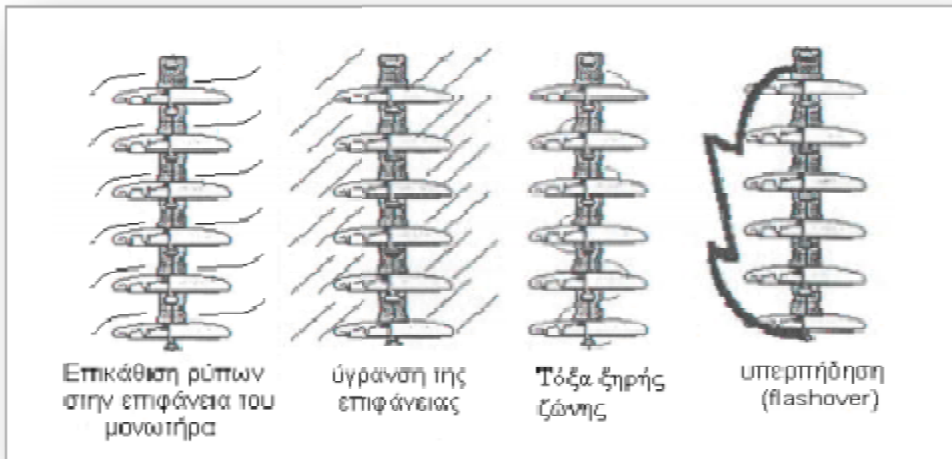


*Εικόνα 36: Επιφανειακές υπερπηδήσεις*

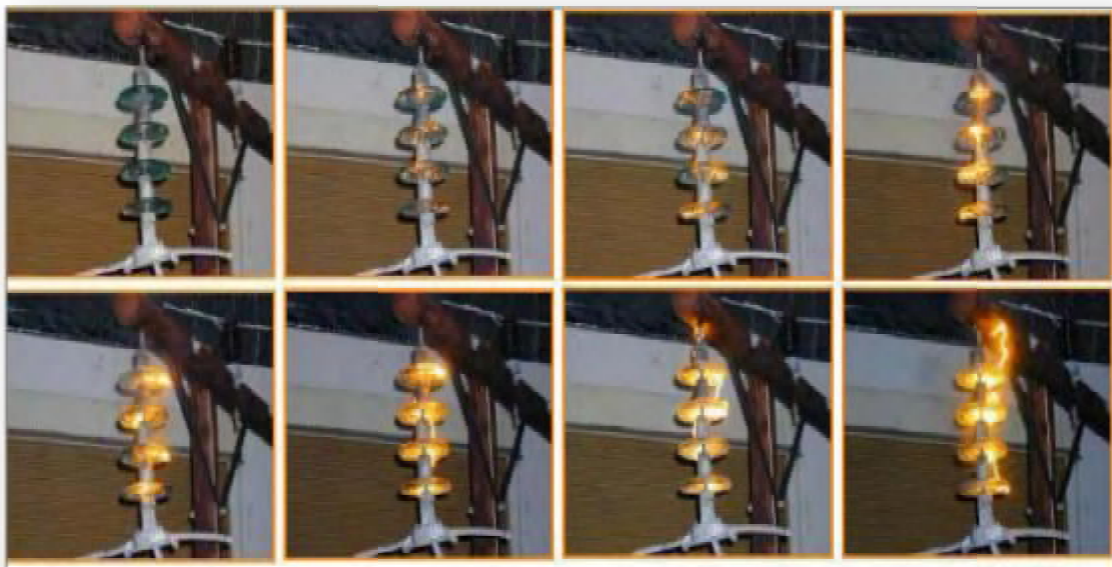
**Στάδιο 6:** Η δραστηριότητα αυτή, η οποία αρχικά εστιάζεται στις ξηρές ζώνες, μπορεί όταν οι συνθήκες το ευνοούν, να επεκταθεί με αποτέλεσμα την συνολική υπερπήδηση (flashover) του μονωτήρα.



Χαρακτηριστικές φωτογραφίες του φαινομένου προερχόμενες από ιστοσελίδες Εργαστηρίων Υψηλών Τάσεων.

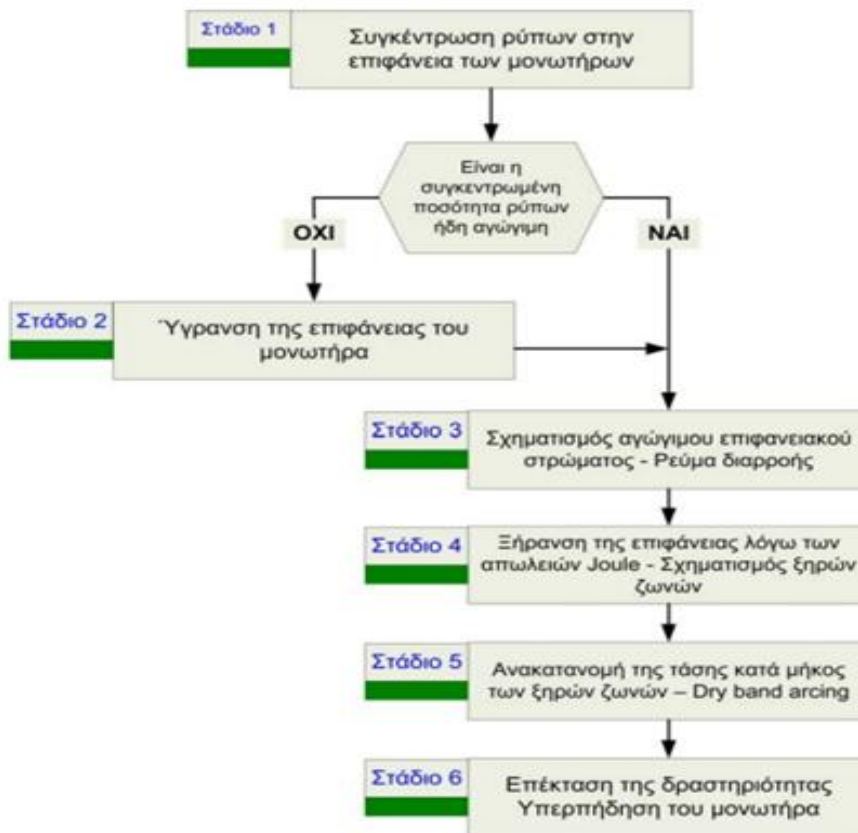


Εικόνα 37: Σχηματική αναπαράσταση της εξέλιξης του φαινομένου [6]



Στιγμιότυπα από τα διάφορα στάδια δραστηριότητας (Πηγή Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων, Πανεπιστημίου Stellenbosch)

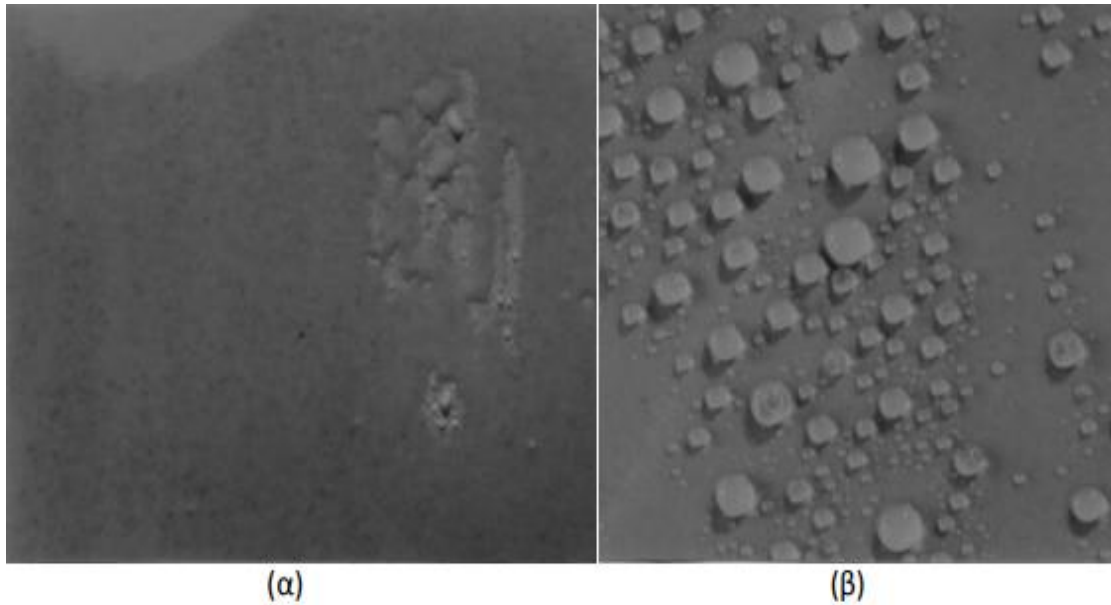
## Στάδια εξέλιξης του φαινομένου της ρύπανσης (σχηματικά)



Δομικό διάγραμμα μηχανισμού ρύπανσης [2]

Ένας παράγοντας που μπορεί να παίξει ρόλο στην εξέλιξη του φαινομένου είναι η διάσπαση διακένων αέρα μεταξύ γειτονικών σημείων στην γεωμετρία του μονωτήρα (π.χ. ribs και sheds) που γεφυρώνει μέρος της επιφάνειας. Επιπροσθέτως, παρόμοια επίδραση μπορεί να έχει η παρουσία σταγόνων ή μικρής ροής αυλακών νερού. Η παρουσία ισχυρής βροχόπτωσης μπορεί να καθαρίσει τον μονωτήρα αλλά και να προωθήσει την δραστηριότητα γεφυρώνοντας τα κενά μεταξύ των πτερυγίων. [6]

Η διαδικασία επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό και από το είδος της επιφάνειας του μονωτήρα. Σε υδρόφοβη επιφάνεια, η παρουσία ύγρανσης έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία αγωγίμου φιλμ ενώ σε υδρόφιλη το νερό παραμένει σε μορφή σταγόνων. Λόγω της δυναμικής φύσης της υδροφοβίας των αντίστοιχων υλικών και της αλληλεπίδρασης με τους ρύπους και τους μηχανισμούς ύγρανσης, δεν έχει προταθεί ένα αντίστοιχο αναλυτικό μοντέλο κοινά αποδεκτό για την εξέλιξη του μηχανισμού της ρύπανσης στις υδρόφοβες επιφάνειες. Είναι γενικά αποδεκτό ότι τα υδρόφοβα υλικά παρουσιάζουν κύκλους απώλειας και ανάκαμψης της υδροφοβίας και σε πραγματικές συνθήκες, η απώλεια αυτή μπορεί να είναι μεγάλη ή μικρή, σε μικρό ή μεγαλύτερο μέρος της επιφάνειας. Στα υδρόφοβα τμήματα ο μηχανισμός της ρύπανσης θα ακολουθήσει τις ανάλογες φάσεις. Η ύπαρξη σταγόνων μπορεί να δημιουργήσει εκκενώσεις και στο υδρόφοβο τμήμα της επιφάνειας και είναι δυνατή η ταυτόχρονη παρουσία και των δύο ειδών δραστηριότητας. [6]



Εικόνα 38: Εναπόθεση νερού σε (α) υδρόφιλη και (β) υδρόφοβη επιφάνεια [4]

## 2.5 Παράγοντες που ευνοούν τη διαδικασία της υπερπήδησης [5]

Οι παράγοντες που ευνοούν την ηλεκτρική διάσπαση στα μονωτικά υλικά κατά την εκδήλωση του φαινομένου της υπερπήδησης είναι οι παρακάτω:

- ∅ Η πτώση σχεδόν καθαρού νερού, όπως σταγόνες, βροχή ή ομίχλη, σε ένα μονωτήρα, πάνω στον οποίο βρίσκεται ποσότητα ρύπανσης που περιλαμβάνει ιονικά στοιχεία, όπως το κοινό αλάτι.
- ∅ Η εναπόθεση σταγονιδίων θαλάσσιας ή βιομηχανικής ομίχλης, ή άλλου συνδυασμού νερού και ηλεκτρολύτη.
- ∅ Η συγκέντρωση παγετού, παγετώδους ομίχλης ή πάγου στη βρώμικη επιφάνεια ενός μονωτήρα. Τότε τα ιοντικά συστατικά των ρύπων ενεργούν ώστε να μειώσουν το σημείο ψύξης του νερού κι έτσι επιτρέπουν την ύπαρξη υγρού διαλύματος στο σημείο επαφής των δυο επιφανειών.
- ∅ Η ένταξη στη γραμμή λειτουργίας υγρών ή βρώμικων μονωτήρων.
- ∅ Η δημιουργία μιας προσωρινής υπέρτασης, ή μιας μεταβατικής αιχμής, σε ένα μονωτήρα υγρό, βρώμικο και πιθανόν ήδη ενεργοποιημένο.

## 2.6 Επιπτώσεις του φαινομένου [4]

Η πιο γνωστή και ίσως πιο σημαντική επίπτωση του φαινομένου της ρύπανσης, είναι οι διακοπές τροφοδότησης, οι οποίες προκύπτουν σε περίπτωση υπερπήδησης. Οι διακοπές αυτές μπορεί να είναι μεγάλης διάρκειας, δεδομένου ότι για το χρονικό διάστημα κατά το οποίο οι συνθήκες είναι ευνοϊκές για το φαινόμενο, δεν είναι δυνατή η επανηλέκτριση της γραμμής μεταφοράς ή του υποσταθμού όπου παρατηρήθηκε το πρόβλημα. Βέβαια, πρέπει να σημειωθεί, ότι μια υπερπήδηση δεν συνεπάγεται απαραίτητα και καταστροφή του μονωτήρα, αφού όπως φάνηκε παραπάνω, το φαινόμενο εξελίσσεται στην επιφάνεια του. Ακόμη όμως και όταν η εξέλιξη του φαινομένου δεν οδηγήσει σε υπερπήδηση, παρουσιάζονται προβλήματα, τα οποία επίσης απασχολούν. Τέτοια είναι τα παρακάτω:

### ✦ Διάβρωση της μεταλλικής υποδομής

Το πρόβλημα της διάβρωσης, λόγω του ρεύματος διαρροής και της ηλεκτρόλυσης που παρατηρείται, εμφανίζεται ιδιαίτερα στην περίπτωση συστημάτων που λειτουργούν με συνεχή τάση (HVDC). Αποτέλεσμα είναι η μείωση της μηχανικής αντοχής των μονωτήρων. Στην περίπτωση συστημάτων εναλλασσόμενης τάσης (HVAC) επίσης παρατηρείται πρόβλημα, όταν η επιφανειακή δραστηριότητα συνεπάγεται την ύπαρξη μιας DC συνιστώσας στο ρεύμα διαρροής. Στην περίπτωση αυτή παρατηρείται επίσης ελάττωση της μηχανικής αντοχής των μονωτήρων. Στο σχήμα φαίνεται ένας μονωτήρας cap and pin από γυαλί, όπου λόγω της διάβρωσης έχει ελαττωθεί η διάμετρος του στελέχους (pin).



*Εικόνα 39: Επιπτώσεις διάβρωσης σε μονωτήρες τύπου cap & pin*



## ✧ Πυρκαγιές

Παρατηρούνται όταν χρησιμοποιείται ξύλινη υποδομή και οφείλονται στην ροή ρεύματος μέσα στο ξύλο και ιδιαίτερα στην εμφάνιση τόξων, είτε στα σημεία επαφής μεταλλικών τμημάτων με το ξύλο, είτε μέσα στο ξύλο λόγω ανομοιομορφης ύγρανσης. Βασική προϋπόθεση είναι η παροχή αρκετής ποσότητας αέρα. Στο σχήμα φαίνεται ένας στύλος του δικτύου διανομής των 20kV, ο οποίος έχει καταστραφεί σε σημαντικό βαθμό, από πυρκαγιά λόγω ρύπανσης.



*Εικόνα 40: Καταστροφή στύλου δικτύου διανομής 20kV από πυρκαγιά λόγω ρύπανσης*

## ✧ Όχληση

Η επιφανειακή ηλεκτρική δραστηριότητα, που μπορεί να οφείλεται είτε στην διάσπαση των ξηρών ζωνών είτε στο φαινόμενο corona μπορεί να προκαλέσει σημαντική όχληση σε περιοίκους, όταν η όδευση μιας γραμμής μεταφοράς περιλαμβάνει και κατοικημένες περιοχές. Η οπτική όχληση μπορεί να είναι αισθητή ήδη από πολύ χαμηλά επίπεδα ρύπανσης, ενώ η ηχητική, προϋποθέτει υψηλότερα επίπεδα δραστηριότητας.

## ✧ Παρεμβολές

Στην περίπτωση της έντονης επιφανειακής δραστηριότητας ή εξαιτίας τόξων, που εμφανίζονται κοντά στην μεταλλική υποδομή, σε περιοχές όπου παρατηρείται διάβρωση ή οξείδωση, υπάρχει το ενδεχόμενο ύπαρξης ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών σε ραδιοφωνικές ή/και τηλεοπτικές συχνότητες.

## 2.7 Τρόποι μετριασμού του φαινομένου της υπερπήδησης [10]

Για τους **μονωτήρες πορσελάνης** τα μέτρα που μπορούν να ληφθούν για να μειωθεί η συχνότητα των διασπάσεων είναι τα εξής:

1. **Επέκταση του μήκους:** Πολυμερείς δίσκοι εγκαθίστανται ακριβώς πάνω από τους δίσκους του πορσελάνινου μονωτήρα, προκειμένου να αυξηθεί το μήκος ερπυσμού και να προστεθεί η ιδιότητα της υδροφοβικότητας.



*Εικόνα 41: Επέκταση του μήκους των μονωτήρων*

2. **Πλύσιμο:** Οι μονωτήρες είναι δυνατό να πλυθούν, είτε εντός λειτουργίας, είτε εκτός λειτουργίας, με τη χρήση νερού υπό υψηλή πίεση. Επειδή, όμως, το πλύσιμο των μονωτήρων αποτελεί μια δαπανηρή διαδικασία πρέπει να πραγματοποιείται κατόπιν σωστού προγραμματισμού.



*Εικόνα 42: Πλύσιμο μονωτήρων*

3. **Πολύπλοκο σχήμα του μονωτικού υλικού:** Είναι διαθέσιμοι μονωτήρες, με υψηλότερο κόστος, οι οποίοι, λόγω του σχήματός τους αντιστέκονται στην εναπόθεση ρύπανσης.

4. **Επιφανειακές επιστρώσεις:** Γράσο ή πολυμερής επίστρωση εφαρμόζεται στην πορσελάνη προκειμένου να βελτιωθούν οι ιδιότητές της υπό συνθήκες ρύπανσης. Η βελτίωση των ιδιοτήτων της και η διάρκεια μέχρι να απαιτηθεί επανάληψη της επίστρωσης εξαρτώνται από την ποιότητα του επιστρώματος, την εφαρμογή του και τις τοπικές συνθήκες ρύπανσης.

5. **Υάλωση:** Μία μη αγώγιμη ή ημιαγώγιμη υάλωση διατηρεί μια μεγάλη περιοχή της επιφάνειας ξηρή κατά τη διάρκεια της φυσικής ύγρανσης. Σε αυτούς τους μονωτήρες, όμως, διαρκή ρεύματα διαρροής οδηγούν σε μεγάλες απώλειες ισχύος. Η φθορά της υάλωσης και η έκλυση θερμότητας είναι, επίσης, μεγάλα προβλήματα αυτών των μονωτήρων.

Στα πολυμερή υλικά σπάνια χρησιμοποιούνται πρόσθετα μέτρα για την αποφυγή διασπάσεων. Απαιτείται όμως ιδιαίτερη προσοχή κατά τη δημιουργία του υλικού και το σχεδιασμό του μονωτήρα. Τα πολυμερή μονωτικά υλικά είναι απαραίτητα να έχουν δύο αμυντικούς μηχανισμούς κατά της ρύπανσης και κατ' επέκταση της δημιουργίας διασπάσεων. Αυτοί είναι:

1. Έλεγχος του ρεύματος διαρροής: Επειδή είναι πιθανό να συμβεί φθορά του υλικού κατά τη διάρκεια της λειτουργίας, ένας αμυντικός μηχανισμός είναι ο περιορισμός του ρεύματος διαρροής. Εάν το ρεύμα διαρροής δεν έχει ικανή τιμή, ώστε να προκαλέσει ξήρανση του ηλεκτρολύτη και δημιουργία ξηρών ζωνών, τότε ο μηχανισμός της υπερπήδησης δεν μπορεί να εξελιχθεί. Το παραπάνω μπορεί να επιτευχθεί τόσο με την επιλογή του κατάλληλου υλικού, όσο και με τον κατάλληλο σχεδιασμό του μονωτήρα.

2. Αντοχή στη διάβρωση: Τα πολυμερή υλικά δεν θα πρέπει να υφίστανται σημαντική διάβρωση κατά τη διάρκεια αναπόφευκτων περιόδων, κατά τις οποίες η επιφανειακή δραστηριότητα μπορεί να προκαλέσει απώλεια της υδροφοβικότητας. Ειδικά, τα υλικά που έχουν την τάση να ανακτούν την υδροφοβικότητά τους, πρέπει να αντέχουν περιόδους επιφανειακής δραστηριότητας χωρίς να υφίστανται σημαντική διάβρωση. Ένα πολυμερές υλικό, το οποίο δεν έχει καλή αντοχή στη διάβρωση, δεν μπορεί να τοποθετηθεί σε περιοχή με έντονη ρύπανση, γιατί θα οδηγήσει σε πρόωρη βλάβη. Ένα υλικό με μεγάλη αντοχή στη διάβρωση, ακόμα κι αν χάσει την υδροφοβικότητά του, υπερτερεί ενός υλικού, το οποίο μπορεί να επανακτήσει την υδροφοβικότητά του, αλλά έχει μικρή αντοχή στη διάβρωση. [10]

## **2.8 Νέες τεχνικές για ποιοτικό έλεγχο μονωτήρων [14]**

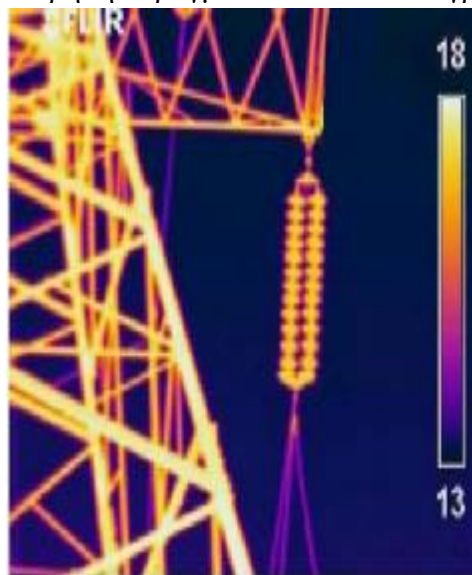
Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια ολοένα αυξανόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, οπότε το επίπεδο της τάσης στα δίκτυα μεταφοράς αυξάνει, οι εξωτερικές και εσωτερικές υπερτάσεις (υπερτάσεις χειρισμών), αλλά και η αντοχή των μονωτήρων σ' αυτές, κυρίως υπό συνθήκες ρύπανσης, έχουν γίνει πολύ σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν ως ένα βαθμό την αξιοπιστία του συστήματος. Η καθιέρωση προγράμματος για το πλύσιμο και τη συντήρηση των μονωτήρων είναι μια διαδεδομένη τακτική, που όμως παρουσιάζει το σημαντικό μειονέκτημα του αυξημένου κόστους. Είναι πολύ σημαντικό να υπάρχουν τρόποι ελέγχου της κατάστασης των μονωτήρων, ώστε να εξασφαλίζεται ότι ένα πρόγραμμα καθαρισμού είναι πράγματι αναγκαίο κι ότι δεν γίνεται πρόωρα. Νέες τεχνολογίες αναπτύσσονται για τον ποιοτικό έλεγχο των μονωτήρων. Θα αναφερθούν κάποιες από τις τεχνολογίες αυτές, για την εκτίμηση της κατάστασης ενός μονωτήρα και την αποφυγή του φαινομένου της υπερπήδησης που μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρά προβλήματα.

Γενικά, οι σύγχρονες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την επιθεώρηση μονωτήρων σε λειτουργία περιλαμβάνουν ελέγχους με :

- Ø ηχητική εκπομπή (acoustic emission),
- Ø μέτρηση ραδιοφωνικών παρεμβολών (Radio interference voltage measurement- RIV),
- Ø υπέρυθη (IR) θερμογραφία (Infrared thermography),
- Ø μέτρηση ηλεκτρικού πεδίου,
- Ø οπτική παρατήρηση.

Τόσο η ηχητική εκπομπή, όσο και η μέτρηση RIV είναι ευαίσθητες στο θόρυβο. Συνεπώς οι μέθοδοι αυτές δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον αξιόπιστο καθορισμό της ακριβούς θέσης της εκκένωσης πάνω σ' ένα μονωτήρα και αυτό αποτελεί σημαντικό μειονέκτημα ,όμως εκκενώσεις στο περίβλημα του μονωτήρα μπορεί να είναι προάγγελοι σοβαρών προβλημάτων.

Υπέρυθρη θερμογραφία (Infrared thermography) Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό μονωτήρων που έχουν υποστεί διάτρηση. Πραγματοποιείται υπό υγρές συνθήκες (πλύσιμο υπό τάση ή βροχή), όπου ένας υγιής μονωτήρας χαρακτηρίζεται από μια θερμή περιοχή στο pin, σε αντίθεση με ένα μονωτήρα που έχει υποστεί διάτρηση, δεδομένου ότι ο τελευταίος δεν υποστηρίζει τάση. Ο καθορισμός της επιφανειακής θερμοκρασίας με τη μέθοδο της υπέρυθρης θερμογραφίας έχει κάποια επιτυχία. Παρ' όλ' αυτά, η μέθοδος αυτή δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό μικρών ατελειών που δεν προκαλούν κάποια σημαντική αύξηση της επιφανειακής θερμοκρασίας. Η αξιοπιστία της μεθόδου αυτής είναι επίσης μειωμένη όταν εκτελείται υπό συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας ή έντονης ηλιοφάνειας.



Εικόνα 43: Καταγραφή της θερμοκρασίας μονωτήρων πορσελάνης, σε συνθήκες δρόσου με την χρήση κάμερας υπέρυθρης ακτινοβολίας.

Μέθοδος του ηλεκτρικού πεδίου (Electric field method) Με την χρήση κατάλληλου εξοπλισμού καταγράφεται το ηλεκτρικό πεδίο κατά μήκος του μονωτήρα. Το ενδεχόμενο ύπαρξης κάποιας ελαττωματικής μονάδας συνεπάγεται απότομη μεταβολή της τιμής ή της διεύθυνσης του ηλεκτρικού πεδίου. Η μέτρηση του ηλεκτρικού πεδίου κατά μήκος ενός μονωτήρα εφαρμόζεται με μεγαλύτερη επιτυχία σε κεραμικούς παρά σε μη κεραμικούς μονωτήρες, επειδή υπάρχουν διαφορές στη δομή αυτών των μονωτήρων. Την ίδια στιγμή φαίνεται ότι αυτή η μέθοδος μπορεί να καταλήξει σε λανθασμένα αποτελέσματα υπό την παρουσία υγρασίας.



Εικόνα 44: Ειδικό όργανο μέτρησης ηλεκτρικού πεδίου μονωτήρων

Για τους παραπάνω λόγους η οπτική παρατήρηση από έμπειρο προσωπικό είτε απ' το έδαφος, είτε από ελικόπτερα παραμένει ως τώρα ίσως η μόνη πιο αποτελεσματική μέθοδος για την επιθεώρηση των μη κεραμικών μονωτήρων.



Εικόνα 45: Οπτικός έλεγχος από έμπειρο προσωπικό

## **2.9 Το ρεύμα διαρροής σαν μέσο παρακολούθησης**

Γενικά, το στρώμα ρύπανσης στους μονωτήρες σχηματίζεται κατά τη διάρκεια μηνών ή ετών, με ενδιάμεσες περιόδους μεγάλης υγρασίας. Ο έλεγχος του ρεύματος διαρροής κατά τη διάρκεια αυτών των περιόδων παρέχει έναν πιο άμεσο και αξιόπιστο τρόπο για τον προσδιορισμό της συμπεριφοράς του μονωτήρα με ρύπανση. Μετά από αυτό θα είναι εφικτό να δούμε πώς η ρύπανση αυξάνει με το χρόνο, αλλά και την επίδραση της βροχής (φυσικός καθαρισμός) και να αποφασίσουμε για τον τεχνητό καθαρισμό ή πλύσιμο των μονωτήρων. Ο Πίνακας δείχνει πώς το ρεύμα διαρροής αποτελεί ένδειξη για την κατάσταση του μονωτήρα [14].

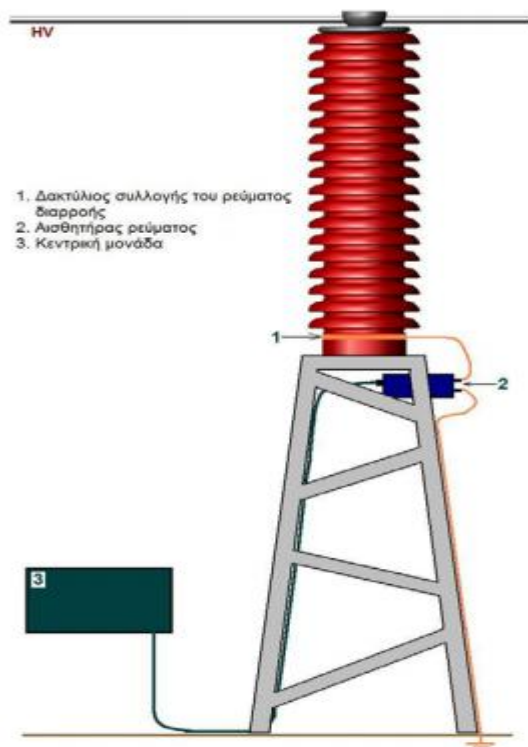
Ρεύμα διαρροής	Συμπτώματα
0-2 mA	Δεν υπάρχουν ορατά ή ακουστικά αποτελέσματα
3-5 mA	Ελαφρύς θόρυβος
5-10 mA	Σπινθήρες ορατοί τη νύχτα
10-15 mA	Κάψιμο των ξύλινων βραχιόνων στήριξης
15-100 mA	Έντονος σπινθηρισμός
Πάνω από 100 mA	Ακαριαία υπερπήδηση

Πίνακας 3: Το ρεύμα διαρροής ως ένδειξη της κατάστασης του μονωτήρα

Σε κάποιες περιπτώσεις που η ρύπανση συσσωρεύεται στην επιφάνεια του μονωτήρα και αμέσως μετά ακολουθεί βρέξιμο αυτής, δεν μεσολαβεί αρκετό χρονικό διάστημα για να γίνει καθαρισμός. Σ' αυτήν την περίπτωση ο real-time έλεγχος του ρεύματος διαρροής θα μπορούσε να προειδοποιεί για την έλευση της κρίσιμης αυτής κατάστασης και το φορτίο θα μπορούσε να μοιράζεται σε άλλες γραμμές, αν βεβαίως υπάρχει τέτοια εναλλακτική περίπτωση [14].

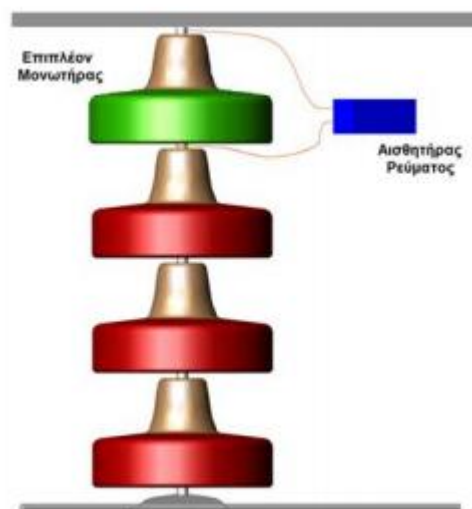
## Σύστημα μέτρησης ρεύματος διαρροής [4]

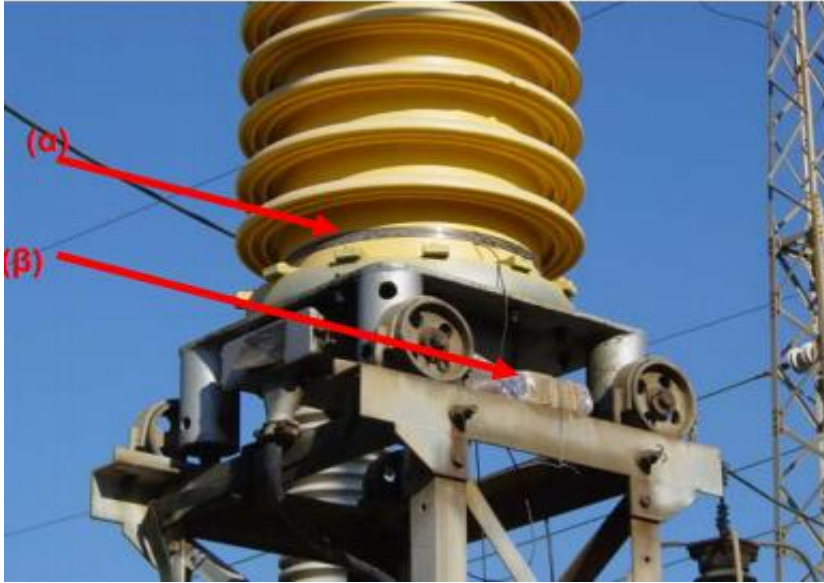
Η μέτρηση του ρεύματος διαρροής σε πραγματικές συνθήκες, απαιτεί την καταγραφή ενός πολύ μικρού ρεύματος, από την επιφάνεια ενός μονωτήρα, σε ένα ηλεκτρομαγνητικά επιβαρημένο περιβάλλον, όπως αυτό ενός υποσταθμού 150kV. Απαιτείται συνεπώς η χρήση κατάλληλα σχεδιασμένων διατάξεων για τις συγκεκριμένες συνθήκες. Στην γενικότερη περίπτωση ένα τέτοιο σύστημα αποτελείται από τέσσερα επιμέρους υποσυστήματα, ήτοι ένα σύστημα συλλογής του ρεύματος διαρροής, αισθητήρες, ένα σύστημα συλλογής δεδομένων με δυνατότητα αποθήκευσης και τέλος κατάλληλο λογισμικό επικοινωνίας και επεξεργασίας των μετρήσεων.



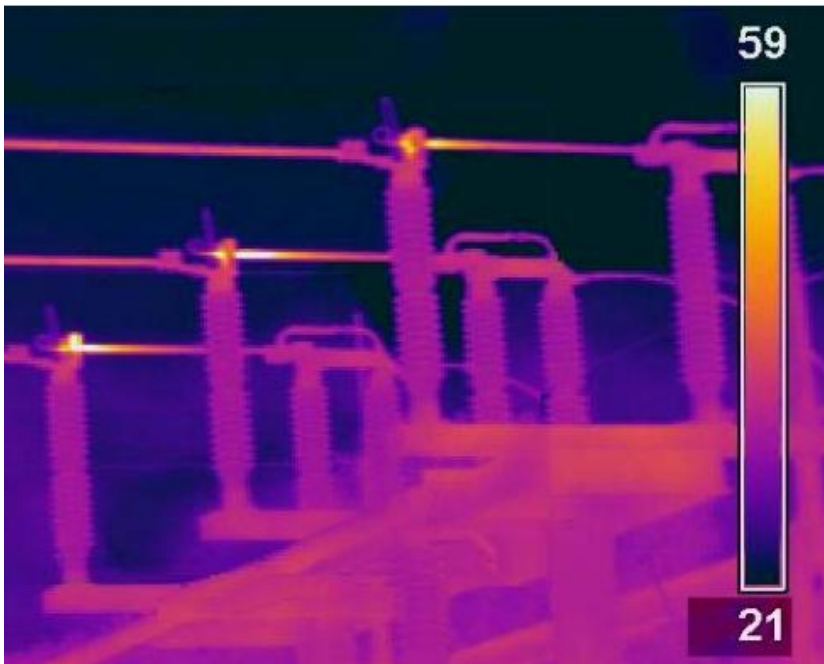
Εικόνα 46: Διάταξη συλλογής του ρεύματος διαρροής στην περίπτωση ενός μονωτήρα στηρίξεως

Εικόνα 47: Διάταξη συλλογής του ρεύματος διαρροής στην περίπτωση ενός μονωτήρα ανάρτησης





Εικόνα 48:  
Τοποθέτηση του ενός  
αισθητήρα Hall στην  
βάση ενός μονωτήρα  
στηρίζεως 150kV, (α)  
δακτύλιος συλλογής και  
(β) αισθητήρας Hall.



Εικόνα 49:  
Καταγραφή της  
θερμοκρασίας  
μονωτήρων με την  
χρήση κάμερας  
υπέρυθρης  
ακτινοβολίας.

## Κεφάλαιο 3

### Μέθοδοι καθαρισμού

Υπάρχει ένα πλήθος χρησιμοποιούμενων μεθόδων για τη μείωση ή εξάλειψη της ρύπανσης των κεραμικών μονωτήρων. Οι συνηθέστερες περιλαμβάνουν [12] :

#### 3.1 Χρήση μονωτήρων με βέλτιστο σχήμα

Είναι γνωστό ότι το γεωμετρικό σχήμα των μονωτήρων, παίζει έναν πολύ σημαντικό ρόλο για τις μονωτικές τους επιδόσεις. Γενικά τα σχήματα είναι βελτιστοποιημένα για να συγκεντρώνουν όσο το δυνατό λιγότερους ρύπους στην επιφάνεια τους και να αυξάνουν τον αυτοκαθαρισμό μέσω ανέμου και βροχής. Διαφορετικοί τύποι μονωτήρα ακόμη και διαφορετικοί προσανατολισμοί του ίδιου τύπου μονωτήρα μπορεί να συσσωρεύουν ρύπανση σε διαφορετικές τιμές στο ίδιο περιβάλλον. Παραλλαγές σχήματος είναι διαθέσιμες για περιοχές που χαρακτηρίζονται από διαφορετικές διαδικασίες περιβαλλοντικής ρύπανσης. Ειδικοί σχεδιασμοί διαφοροποιημένων περιγραμμάτων δίσκων, διαμέτρων και αποστάσεων είναι διαθέσιμοι. Δύο τέτοιοι μονωτήρες φαίνονται παρακάτω.

Αεροδυναμικά ή ανοικτά προφίλ είναι επωφελή σε τομείς όπου η ρύπανση εναποτίθεται επί του μονωτήρα από τον άνεμο, όπως ερήμους, βαριά μολυσμένες βιομηχανικές περιοχές ή παράκτιες περιοχές που δεν εκτίθεται άμεσα σε ψιχάλες άλατος. Αυτό το είδος προφίλ είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικό στις περιοχές που χαρακτηρίζονται από παρατεταμένες περιόδους ξηρασίας. Τα ανοικτά προφίλ έχουν καλό αυτό-καθαρισμό και είναι επίσης πιο εύκολα να καθαριστούν υπό συντήρηση. [4]



Εικόνα 50: Μονωτήρας με βελτιστοποιημένο σχήμα

Προφίλ τύπου ομίχλης

Η χρήση αυτού του τύπου, με απότομα πτερύγια (shed) ή με βαθιές κάτω νευρώσεις (under-rids) είναι ευεργετική σε περιοχές εκτεθειμένες σε ομίχλη θαλασσινού νερού ή ψιχάλες, ή για άλλους ρύπους υγρής μορφής. [4]



Εικόνα 51: Μονωτήρας με βελτιστοποιημένο σχήμα



### **3.2 Επάλειψη με γράσο ή άλλους λιπαρούς υδρογονάνθρακες λίπους**

Η μέθοδος της επάλειψης γράσου ή άλλων λιπαρών υδρογονανθράκων χρησιμοποιείται σε περιοχές βαριάς ρύπανσης. Αυτές οι επικαλύψεις παράγουν υδρόφοβες επιφάνειες. Η συγκεκριμένη προσέγγιση έχει αποδειχθεί αποτελεσματική και έχει τεθεί σε εφαρμογή για πολλά χρόνια. Αποτελεί μια λύση συντήρησης η οποία όμως πρέπει να επαναλαμβάνεται περιοδικά. Αυτό που γίνεται συνήθως είναι ότι το παλαιότερο στρώμα λίπους αφαιρείται πριν εφαρμοσθεί το νέο. Στις περισσότερες των περιπτώσεων τόσο η αφαίρεση του παλαιού στρώματος λίπους όσο κι η τοποθέτηση του καινούργιου στρώματος είναι διαδικασίες οι οποίες γίνονται χειρωνακτικά. Η διαδικασία αυτή είναι αργή κι είναι απαραίτητη ή προσωρινή διακοπή της ηλεκτροδότησης. Ένα είδος ειδικής επίστρωσης είναι και η υάλωση. Η αγωγίμη ή ημιαγωγίμη υάλωση διατηρεί ένα μεγάλο μέρος της επιφάνειας του μονωτήρα προστατευμένο από την υγρασία του περιβάλλοντος. Η μέθοδος όμως αυτή επιτρέπει την διαρκή διέλευση ρευμάτων διαρροής με αποτέλεσμα να έχει υψηλές απώλειες ισχύος και έκλυση μεγάλης ποσότητας θερμότητας. Επίσης η φθορά της υάλωσης είναι ένας ακόμα ανασταλτικός παράγοντας

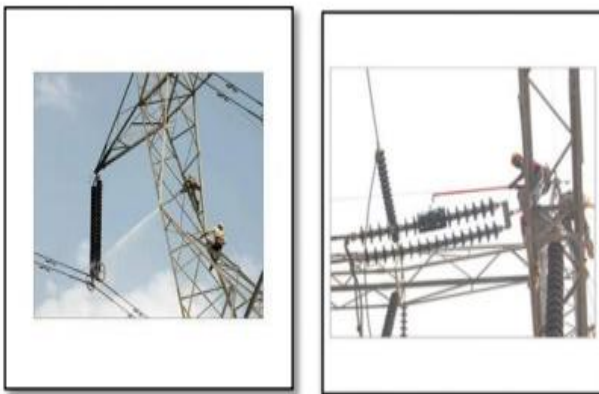
### **3.3 Επικάλυψη RTV**

Οι επικαλύψεις βουλκανιζόμενης σιλικόνης σε θερμοκρασία δωματίου (RTV) εφαρμόζεται με αυξανόμενη συχνότητα στους μονωτήρες υποσταθμών και γραμμών. Οι επικαλύψεις αυτές εφαρμόζονται στους μονωτήρες πορσελάνης για να δημιουργήσουν υδρόφοβες επιφάνειες. Τοποθετούνται υπό τη μορφή διαλύματος το οποίο αργότερα στερεοποιείται σε θερμοκρασία δωματίου. Έτσι, είναι δυνατόν να καλυφθούν επιφάνειες με σύνθετα γεωμετρικά σχήματα μονωτήρων. [4] Στους πορσελάνινους μονωτήρες συχνά χρησιμοποιείται πολυμερής επίστρωση για την βελτίωση των ιδιοτήτων τους υπό συνθήκες ρύπανσης. Η χρήση βουλκανοζόμενης σιλικόνης σε θερμοκρασία δωματίου (Room Temperature Vulcanized ) εφαρμόζεται όλο και περισσότερο σε μονωτήρες γραμμών και υποσταθμών. Το επίστρωμα δημιουργεί υδροφοβικότητα απομακρύνοντας την υγρασία που τυχόν υπάρχει στην επιφάνειά του. Η προσθήκη του υλικού γίνεται σε μορφή διαλύματος το οποίο στερεοποιείται σταδιακά σε θερμοκρασία δωματίου, με αποτέλεσμα την εύκολη επικάλυψη σύνθετου γεωμετρικού σχήματος μονωτήρων. Εφαρμόζεται σε υπάρχοντες μονωτήρες μετά από κατάλληλο καθαρισμό. Βάσει μετρήσεων έχει επιβεβαιωθεί η χρησιμότητά τους καθώς και η μεγάλη τους διάρκεια η οποία ποικίλει ανάλογα με το πάχος της επικάλυσης και το ποσοστό ρύπανσης.



Εικόνα 52: Μονωτήρας πορσελάνης με επικάλυψη από RTV SIR [4]

### 3.4 Περιοδικός καθαρισμός των μονωτήρων



Σε πολλές εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται συστήματα υψηλής πίεσης νερού ή βολή κόκκων δημητριακών και CO<sub>2</sub> για να γίνεται περιοδικός καθαρισμός των ρύπων στις επιφάνειες των μονωτήρων. Από όλες τις παραπάνω τεχνικές, ο καθαρισμός με υψηλής πίεσης νερό είναι κατά πολύ πιο αποδοτικός και οικονομικός.

Το πλύσιμο είναι σημαντικό να πραγματοποιείται σε περιοχές με σοβαρή περιβαλλοντική ρύπανση ή μικρή πιθανότητα βροχής, όπου γίνεται απαραίτητη η εξάλειψη του στρώματος ρύπανσης που εναποτίθεται στο μονωτήρα. Η συντήρηση αυτή μπορεί να διεξαχθεί με το σύστημα σε λειτουργία όπου πλένεται με ζεστό νερό ή εκτός λειτουργίας. Η τελευταία μέθοδος χρησιμοποιείται όταν δεν μπορεί να εφαρμοστεί άλλη μέθοδος για τεχνικούς λόγους ή όταν οι ρύποι έχουν κολλήσει οπότε απαιτείται η χρήση πλυσίματος με χημικά διαλύματα για να ανακτηθεί το επίπεδο μόνωσης. Πολλές φορές, το πλύσιμο διεξάγεται με το χέρι. Σε γενικές γραμμές οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι: το πλύσιμο με νερό υψηλής, μέσης ή χαμηλής πίεσης, με ξηρό συμπιεσμένο αέρα ή με χρήση λειαντικών υλικών (βούρτσες) και πιο

πρόσφατα με τη χρήση των υπερήχων. Οποιαδήποτε από τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται πρέπει να εγγυηθούν ότι ο μονωτήρας δεν θα υποστεί βλάβη, ούτε ότι πρόκειται να επιδεινωθεί η παρούσα κατάσταση. Το πλύσιμο με εκτόξευση νερού είναι η πιο αποτελεσματική και οικονομική μέθοδος, εάν η ρύπανση είναι σκόνη, αλάτι ή χώμα, ή αν αυτοί οι ρύποι δεν είναι τόσο προσκολλημένοι στην επιφάνεια. Εάν οι ρύποι έχουν υψηλή πρόσφυση (για παράδειγμα τσιμέντο ή ρύποι που προέρχονται από χημικές βιομηχανίες ή υποπροϊόντα του πετρελαίου) πρέπει να πλένονται με λειαντικό μέσο. Πάντα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η γνώμη του κατασκευαστή, ώστε να μην καταστραφεί η επιφάνεια του μονωτήρα κατά το πλύσιμο. [16]

Για να αποφευχθεί η υπερπήδηση κατά την διάρκεια της πλύσης, πρέπει να ληφθούν υπόψη οι παρακάτω παρατηρήσεις [16]:

- Ø Το πλύσιμο του μονωτήρα πρέπει να ξεκινάει από τη χαμηλότερη αγωγίμη φάση.
- Ø Κατά την πλύση, το νερό δεν πρέπει να πέσει απευθείας σε βρόμικο μονωτήρα.
- Ø Το πλύσιμο ξεκινάει από το κατώτερο μέρος του μονωτήρα μέχρι την ολοκλήρωσή του στο πάνω μέρος.
- Ø Είναι πολύ σημαντικό να λαμβάνεται υπόψη η κατεύθυνση του ανέμου.

#### **Πλύσιμο με ελικόπτερο.**

Οι μονωτήρες των γραμμών υψηλής τάσης 150.000 Volt καθαρίζονται από ελικόπτερο ενώ η γραμμή βρίσκεται υπό τάση. Για τον καθαρισμό χρησιμοποιείται νερό χαμηλής αγωγιμότητας, εκτοξευόμενο μέσω ειδικής πούμας, την οποία χειρίζεται εκπαιδευμένος χειριστής από το ελικόπτερο. Πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι δεν απαιτείται να τεθεί εκτός λειτουργίας η γραμμή και παράλληλα είναι πολύ γρήγορη σε σχέση με την παλαιά μέθοδο η οποία απαιτούσε την αναρρίχηση τεχνίτη πάνω στον πυλώνα για τον σκοπό αυτό. ελικόπτερο ενώ η γραμμή βρίσκεται υπό τάση



#### **Πλύσιμο με επίγεια μέσα.**

Στους Υποσταθμούς υψηλής τάσης δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί το ελικόπτερο και ο καθαρισμός γίνεται με δέσμη νερού μέσω αντλίας υψηλής πίεσης αφού προηγουμένως έχουν τεθεί εκτός λειτουργίας οι αντίστοιχες εγκαταστάσεις.



## ***Συμπεράσματα***

Ο βαθμός αποτελεσματικότητας της κάθε μεθόδου αντιμετώπισης, εξαρτάται από τις κατά τόπους συνθήκες, την ευκολία και το κόστος εφαρμογής, ενώ τα τελευταία χρόνια ενδιαφέρει ιδιαίτερα και η δυνατότητα εφαρμογής υπό τάση, και ως εκ τούτου αποφυγής των διακοπών τροφοδότησης. Ο έλεγχος και η συντήρηση των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων, αποτελεί βασικό παράγοντα για την απρόσκοπτη και ασφαλή λειτουργία τους. Οι εργασίες συντήρησης και έλεγχου θα πρέπει να διενεργούνται από κατάλληλα καταρτισμένο και εξουσιοδοτημένο προσωπικό. Όλες οι εργασίες απαιτούν ειδικό εξοπλισμό για την ασφάλεια των εργαζομένων. Πρέπει να εξασφαλίζεται η αξιόπιστη επικοινωνία μεταξύ των μελών της ομάδας συντήρησης. Η προληπτική συντήρηση των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων θα πρέπει να γίνεται σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία. Οι εργασίες/έλεγχοι ορίζονται σε αυτές που γίνονται ανά διαστήματα ως περιοδικός έλεγχος για την καταγραφή ηλεκτρικών παραμέτρων, θερμοκρασιών, λειτουργίας συστημάτων και σε αυτές για την προληπτική συντήρηση των εγκαταστάσεων.

## *Βιβλιογραφία*

- [1] IEC 60815, "Selection and dimensioning of high - voltage insulators intended for use in polluted conditions", IEC, 2008.
- [2] Σημειώσεις μαθήματος «Υψηλές Τάσεις» Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών, Πάτρα, Πανεπιστήμιο Πατρών, 2012.
- [3] Ι. Σταθόπουλος, "Υψηλές Τάσεις", ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΣΥΜΕΩΝ.
- [4] Κ. Σιδεράκης, «ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ ΠΟΡΣΕΛΑΝΗΣ ΚΑΙ ΥΛΙΚΩΝ RTV SIR ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΜΕ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΔΙΑΡΡΟΗΣ,» Διδακτορική Διατριβή , Πάτρα, 2006.
- [5] J.S.T. Looms, "Insulators for High Voltages", London, United Kingdom: Peter Peregrinus Ltd., 1990.
- [6] Δ. Πυλαρινός, «Διερεύνηση συμπεριφοράς μονωτήρων υψηλής τάσης μέσω μετρήσεων του ρεύματος διαρροής,» Διδακτορική Διατριβή, Πάτρα, 2012.
- [7] Βασιλική Κονταργύρη, "Ρύπανση μονωτήρων", Ενδιάμεση Κρίση, ΕΜΠ, 2005
- [8] IEC 815, "Guide for the selection of insulators in respect of polluted conditions", 1986
- [9] Κ. Καγκαράκης, "Μαθήματα στα Ηλεκτροτεχνικά Υλικά", Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 1994.
- [10] Ιωάννη Θ.Αραβανή, Θεοφάνη Ι. Αραβανή και Τρύφωνα – Χρυσοβολάντη Ι. Αραβανή "ΜΟΝΩΤΗΡΕΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ" στον ιστότοπο, <http://www.electrologos.gr/news/112>
- [11] Πυργιώτη Ελευθερία. "Υψηλές Τάσεις". Πάτρα : Πανεπιστήμιο Πατρών, 2011.
- [12] Ε.Kuffel-W.S.Zaengl-J.Kuffel."Υψηλές Τάσεις". [μεταφρ.] Παναγιώτης Σπ. Σβάρνας. s.l. : Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ.
- [13] [https://en.wikipedia.org/wiki/Insulator\\_\(electricity\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Insulator_(electricity))
- [14] Αγγελική Αθ. Γιαλκέτση, «Εκτίμηση της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης σε μονωτήρες με τη χρήση Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων», Διπλωματική Εργασία, Αθήνα, Μάρτιος 2005
- [15] S.V. Hörnfeldt, "DC - probes for electric field distribution measurements", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 6, No. 2, April 1991, pp. 524-529
- [16] Μακράκης Ευάγγελος, «ΜΕΤΡΗΣΗ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΕ ΜΟΝΩΤΗΡΕΣ ΥΨΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ», Διπλωματική Εργασία, Πάτρα, 2016