

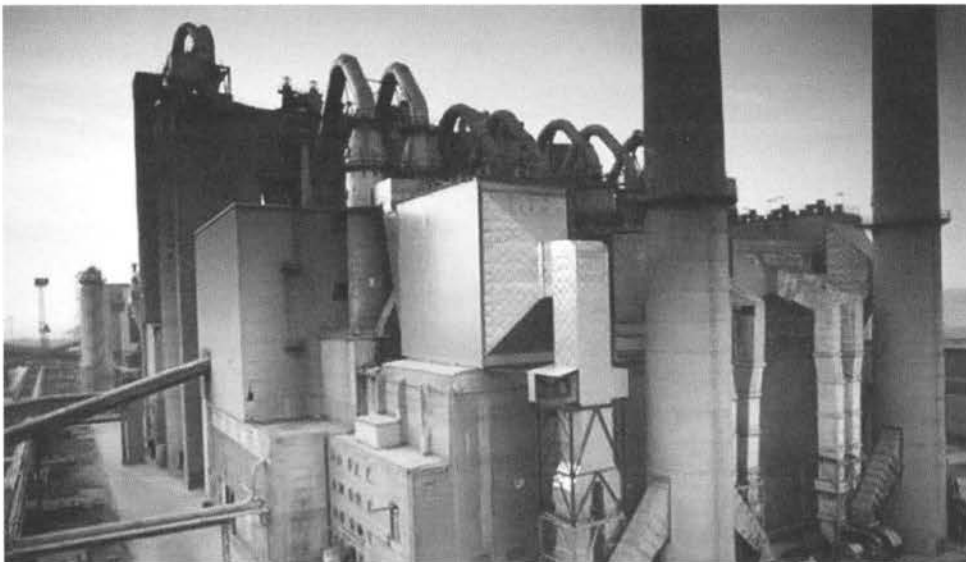
Επιτροπή: Ψωρόπουλος  
+ Ιωαννίδης  
Τσιώλης.  
ΠΡΑΞΗ 03/22.02.2011

H/Γ  
537



**Α.Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ**  
**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ**

**“ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ ΣΤΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΜΕ  
ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟΚΟΝΙΩΣΗΣ”**



**Επιβλέπων Καθηγητής:**  
**Σπουδαστής:**

Ψωμόπουλος Κωνσταντίνος, Επίκουρος Καθηγητής  
Μικελόπουλος Κωνσταντίνος  
ΑΜ: 28925

**ΕΛΕΥΣΙΝΑ**

**ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ - 2011**

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Με το πέρας της πτυχιακής μου εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή της πτυχιακής μου εργασίας κ. Κωνσταντίνο Ψωμόπουλο, Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Ηλεκτρολογίας του Τ.Ε.Ι. Πειραιά, χωρίς την πολύτιμη συνεργασία του οποίου δεν θα ήταν δυνατή η ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά και τους εργαζόμενους μιας γνωστής τσιμεντοβιομηχανίας για τις πληροφορίες που μου έδωσαν σχετικά με το θέμα. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, την κοπέλα μου και τους φίλους μου για την αμέριστη και έμπρακτη συμπαράσταση και ενθάρρυνσή τους σε όλη τη διάρκεια της μελέτης, της έρευνας και της συγγραφής της πτυχιακής μου εργασίας.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες.....	i
Περιεχόμενα.....	ii
Λίστα σχημάτων.....	iv
Λίστα πινάκων.....	vi
Summary.....	vii
Πρόλογος.....	1
<b>1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο “Εισαγωγή Στο Περιβάλλον Και Τη Βιομηχανική Ανάπτυξη”.....</b>	<b>1</b>
1.1 Γενικά για το περιβάλλον.....	1
1.2 Περιβάλλον και βιομηχανική ανάπτυξη.....	1
1.2.1 Επιδράσεις της βιομηχανίας στο περιβάλλον.....	1
1.2.1.1 Εναέρια ρύπανση.....	3
1.2.1.2 Υγρά (βιομηχανικά) απόβλητα.....	3
1.2.1.3 Στερεά (βιομηχανικά) απορρίμματα.....	4
1.3 Μέτρα αντιρρύπανσης.....	5
<b>2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο “Εφαρμογές Υψηλών Τάσεων”.....</b>	<b>8</b>
2.1 Γενικά περί υψηλών τάσεων.....	8
2.1.1 Λίγα λόγια για το Ελληνικό Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	11
2.1.2 Χρήση υψηλών εναλλασσόμενων τάσεων.....	11
2.1.3 Χρήση υψηλών συνεχών τάσεων.....	12
2.1.3.1 Πλεονεκτήματα υψηλών συνεχών τάσεων έναντι εναλλασσόμενων τάσεων σε διάφορες εφαρμογές.....	12
2.1.3.2 Μειονεκτήματα υψηλών συνεχών τάσεων που έχουν να κάνουν με τη μετατροπή, τα διακοπτικά μέσα και τον έλεγχο.....	13
2.1.4 Επιπτώσεις από τη χρήση των υψηλών τάσεων και μέτρα αντιμετώπισης.....	13
2.2 Εφαρμογές υψηλών τάσεων.....	14
2.2.1 Ειδικές εφαρμογές.....	14
2.2.1.1 Μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας.....	14
2.2.1.2 Σιδηρόδρομος-Ηλεκτροκίνητη έλξη.....	15
2.2.1.3 Εγκαταστάσεις ακτίνων Rontgen.....	16
2.2.1.4 Σύγχρονες γεννήτριες.....	17
2.2.1.5 Μετασηματιστές.....	18
2.2.1.6 Διακόπτες ισχύος μέσης και υψηλής τάσης.....	24
2.2.1.7 Ηλεκτροστατικές βαφές.....	25
2.2.1.8 Ηλεκτροστατικά φίλτρα.....	26
2.2.2 Εφαρμογές των υψηλών τάσεων και επιδράσεις στο περιβάλλον.....	27
<b>3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο “Εφαρμογές Υψηλών τάσεων στη Τσιμεντοβιομηχανία – Εισαγωγή στα Συστήματα Αποκονίωσης”.....</b>	<b>29</b>
3.1 Εισαγωγή υψηλών τάσεων στη τσιμεντοβιομηχανία.....	29
3.2 Εφαρμογές υψηλών τάσεων στη τσιμεντοβιομηχανία.....	31
3.3 Εισαγωγή στα συστήματα αποκονίωσης.....	35
3.3.1 Γενικά περί αποκονίωσης.....	35
3.3.2 Ορισμός αποκονίωσης – Είδη αποκονιωτών.....	37
3.3.3 Μηχανικοί αποκονιωτές.....	39
3.3.3.1 Κονιοθάλαμοι.....	39
3.3.3.2 Κυκλώνες.....	40
3.3.3.3 Πολυκυκλώνες.....	43
3.3.3.4 Πύργοι Υγρής Μεθόδου.....	44
3.3.3.5 Σακκόφιλτρα.....	45

<b>4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο “Ηλεκτροστατικά Φίλτρα Στη Τσιμεντοβιομηχανία” .....</b>	<b>49</b>
4.1 Εισαγωγή στα ηλεκτροστατικά φίλτρα .....	49
4.1.1 Περιγραφή ενός ηλεκτροστατικού φίλτρου (ηλεκτρόφιλτρο).....	51
Ένα ηλεκτροστατικό φίλτρο αποτελείται κυρίως από τα εξής μέρη:.....	51
4.1.2 Αρχή λειτουργίας των ηλεκτροστατικών φίλτρων.....	58
4.1.3 Παράγοντες που επιδρούν στη λειτουργία ενός ηλεκτροστατικού φίλτρου.....	61
4.1.4 Απόδοση του ηλεκτροστατικού φίλτρου σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία και την υγρασία.....	63
4.1.5 Αποκονίωση των μύλων τσιμέντου με ηλεκτροστατικά φίλτρα .....	67
4.1.6 Χρησιμότητα του πύργου ψύξης.....	69
4.1.7 Αποκονίωση ψυκτών κλίνκερ με ηλεκτρόφιλτρα .....	72
4.2 Λειτουργία του τροφοδοτικού συστήματος του ηλεκτροστατικού πεδίου .....	75
4.3 Οικονομοτεχνικά στοιχεία για τους αποκονιωτές.....	77
<b>Συμπεράσματα.....</b>	<b>81</b>
<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>83</b>

## ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1-1: Προστασία περιβάλλοντος .....	1
Σχήμα 1.2.1.1-1: Εικόνες εναέριας ρύπανσης .....	3
Σχήμα 1.2.1.2-1: Υγρά απόβλητα στη βιομηχανία.....	4
Σχήμα 1.2.1.3-1: Βιομηχανικά στερεά απορρίμματα .....	5
Σχήμα 2.1-1: Πυλώνας Υψηλών Τάσεων.....	8
Σχήμα 2.1-2: Σύστημα παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.....	9
Σχήμα 2.2.1.1-1: (α) Σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, (β) Διακόπτες ισχύος, (γ) Μετασχηματιστής ισχύος, (δ) Κρουστική γεννήτρια μεγάλης ισχύος.....	15
Σχήμα 2.2.1.2-1: (α) Υποσταθμός τροφοδοσίας έλξης, (β) Υποσταθμός έλξης .....	16
Σχήμα 2.2.1.3-1: (α) Γεννήτρια Van de Graaff, (β) Φωτογραφία γεννήτριας Van de Graaff.....	17
Σχήμα 2.2.1.4-1: Σύγχρονη γεννήτρια σε μονάδα συνδυσασμένου με ισχύ εξόδου από 300 έως 1200 MW-Ζεύγος ατμοστρόβιλου .....	18
Σχήμα 2.2.1.5-1: (α) Διβάθμιος Μ/Σ δοκιμών 200 kV, (β) Μ/Σ δοκιμών ελαίου.....	20
Σχήμα 2.2.1.5-2: Σχηματικό διάγραμμα Μ/Σ δοκιμών τριών βαθμίδων.....	20
Σχήμα 2.2.1.5-3: Μονοφασικός αυτομετασχηματιστής των 1500 MVA.....	21
Σχήμα 2.2.1.5-4: (α) Μ/Σ διανομής ελαίου, (β) Μ/Σ διανομής ξηρού τύπου .....	23
Σχήμα 2.2.1.7-1: Διαγραμματική απεικόνιση ψεκαστήρα ηλεκτροστατικής βαφής.....	25
Σχήμα 2.2.1.8-1: Φαινόμενο corona στο ηλεκτρόδιο εκπομπής .....	26
Σχήμα 2.2.2-1: Διακόπτης εξαφθοριούχου θείου (SF <sub>6</sub> ).....	27
Σχήμα 3.1-1: Εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (ΔΕΗ).....	29
Σχήμα 3.1-2: Αγωγοί γραμμών μεταφοράς.....	30
Σχήμα 3.2-1: Μετασχηματιστής ισχύος 150/20 kV – 20/25 MVA .....	32
Σχήμα 3.2-2: Αγωγός καλωδίου χαλκού ή αλουμινίου .....	33
Σχήμα 3.2-3: Διάφοροι τύποι διατομών αγωγών καλωδίων .....	34
Σχήμα 3.3.1-1: Το πρόβλημα σκόνης σε βαριά βιομηχανία.....	36
Σχήμα 3.3.2-1: Διάγραμμα κατηγοριών αποκονιωτών.....	38
Σχήμα 3.3.2-2: Ολοκληρωμένο σύστημα αποκονίωσης εργοστασίου .....	39
Σχήμα 3.3.3.1-1: Σχήμα κονιοθαλάμου (σκόνη που κατακάθισε) .....	40
Σχήμα 3.3.3.2-1: Αρχή λειτουργίας κυκλώνα .....	41
Σχήμα 3.3.3.2-2: Κυκλώνες υψηλής απόδοσης.....	42
Σχήμα 3.3.3.3-1: Πολυκυκλώνες.....	43
Σχήμα 3.3.3.3-2: Σύστημα αποκονίωσης με πολυκυκλώνα .....	44
Σχήμα 3.3.3.4-1: Σύστημα αποκονίωσης με πύργους υγρής μεθόδου .....	45
Σχήμα 3.3.3.5-1: Συστήματα αποκονίωσης – Σακκόφιλτρα διαφόρων τύπων .....	46
Σχήμα 4.1-1: (α) Ηλεκτροστατικό φίλτρο σε βιομηχανία ανακύκλωσης μετάλλων,.....	49
(β) Ηλεκτροστατικό φίλτρο σε βιομηχανία τσιμέντου.....	49
Σχήμα 4.1.1-1: Γενική διάταξη ηλεκτροστατικού φίλτρου.....	51
Σχήμα 4.1.1-2: Θάλαμος δημιουργίας ηλεκτροστατικού πεδίου .....	52
Σχήμα 4.1.1-3: (α) Πλάκες συλλογής σκόνης .....	53
(β) Απεικόνιση ενός ηλεκτροστατικού πεδίου .....	53
Σχήμα 4.1.1-4: (α) Μορφή ηλεκτροδίου με ακίδες και τρόπος στήριξης .....	54

(β) Ηλεκτρικός μονωτήρας για ανάρτηση ηλεκτροδίων.....	54
Σχήμα 4.1.1-5: Διάταξη ηλεκτροστατικού πεδίου με στερεωμένα τα ηλεκτρόδια.....	55
Σχήμα 4.1.1-6: (α) Διάταξη αποτίναξης σκόνης των ηλεκτροδίων εκπομπής.....	56
(β) Διάταξη αποτίναξης σκόνης στα θετικά ηλεκτρόδια.....	56
Σχήμα 4.1.2-1: Αρχή λειτουργίας του ηλεκτροστατικού φίλτρου.....	59
Σχήμα 4.1.4-1: Περιοχές θερμοκρασίας καλής απόδοσης του ηλεκτροφίλτρου.....	63
Σχήμα 4.1.4-2: Διάγραμμα μεταβολής της ειδικής αντίστασης.....	64
Σχήμα 4.1.4-3: (α) Περιστροφικός κλίβανος με κατακόρυφο προθερμαντή.....	66
(β) Αρχή λειτουργίας Π.Κ.....	66
Σχήμα 4.1.4-4: Διάγραμμα κυκλώματος για υψηλή τάση – Σύστημα εφοδιασμού με παλμογεννήτρια.....	67
Σχήμα 4.1.5-1: Μύλοι τσιμέντου.....	67
Σχήμα 4.1.5-2: Εσωτερικό μύλου τσιμέντου – πρώτη ύλη κλίνκερ.....	68
Σχήμα 4.1.6-1: Σχήμα πύργου ψύξης.....	69
Σχήμα 4.1.6-2: Διάφοροι τύποι πύργων ψύξεων.....	70
Σχήμα 4.1.6-3: Αρχή λειτουργίας πύργου ψύξης.....	71
Σχήμα 4.1.6-4: Διάταξη εγκατάστασης ενός συγκροτήματος περιστροφικού κλιβάνου και ενός μύλου χώματος.....	72
Σχήμα 4.1.7-1: Ψύκτες κλίνκερ.....	73
Σχήμα 4.2-1: Τροφοδοτικό σύστημα ηλεκτροστατικού πεδίου.....	75
Σχήμα 4.2-2: Τάση διάσπασης – εκκένωσης.....	76
Σχήμα 4.3-1: Παράγοντες που επηρεάζουν το ετήσιο κόστος.....	79

## ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

<i>Πίνακας 1.2.1-1: Περιβαλλοντικές επιπτώσεις βιομηχανικής παραγωγής .....</i>	<i>2</i>
<i>Πίνακας 1.3-1: Προτεινόμενες αντιρροπαντικές στρατηγικές .....</i>	<i>7</i>
<i>Πίνακας 2.1.1-1: Συνολικά μήκη εναέριων γραμμών μεταφοράς του ελληνικού συστήματος ..</i>	<i>11</i>
<i>Πίνακας 2.2.1.6-1: Είδη διακοπτικού εξοπλισμού.....</i>	<i>24</i>

## SUMMARY

High voltage technology plays today an increasingly important role in our daily life. High voltages present today too many applications from the transport of electricity and rail – electric traction to use in electrostatic precipitators and electrostatic paint.

In this thesis entitled “Applications of High Voltage in cement industry with emphasis on dust extraction systems” a special reference will be made to applications of high voltages in the cement industry without giving separate analysis and description of the substation feeding the plant. Particular emphasis will be given to applications on the part of production, and track the processing and cleaning waste gas from the production process.

Also of interest to a large extent, is the issue of environmental pollution and the effect of the industrial development there. So, it is increasingly an urgent need for the solution of the environmental problems through drastic anti-pollution measures.

Special analysis will be given on applications of high voltages in the cement industry with emphasis on dust extraction systems and dust extraction types (mechanical and electrical) with emphasis on electrostatic filters which in the field of electrical engineering is a broad category of dust extraction systems that uses high voltages.

**Key – words:** high voltages, dust extraction systems, cement industry, high voltage applications, environmental protection, electrostatic filters and electrostatic precipitators.



# ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η τεχνολογία των υψηλών τάσεων διαδραματίζει σήμερα έναν ολοένα και σημαντικότερο ρόλο στην καθημερινή μας ζωή. Οι υψηλές τάσεις παρουσιάζουν σήμερα πάρα πολλές εφαρμογές από τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας και το σιδηρόδρομο – ηλεκτροκίνητη έλξη μέχρι τη χρήση στα ηλεκτροστατικά φίλτρα και τις ηλεκτροστατικές βαφές.

Στα πλαίσια αυτής της πτυχιακής εργασίας με τίτλο «Εφαρμογές των υψηλών τάσεων στη τσιμεντοβιομηχανία με έμφαση στα συστήματα αποκονίωσης» θα γίνει ιδιαίτερη αναφορά στις εφαρμογές των υψηλών τάσεων στη τσιμεντοβιομηχανία χωρίς ωστόσο να δοθεί ιδιαίτερη ανάλυση και περιγραφή στους υποσταθμούς τροφοδοσίας των εγκαταστάσεων. Ιδιαίτερη έμφαση θα δοθεί στις εφαρμογές που αφορούν το κομμάτι της παραγωγής προϊόντων, καθώς και το κομμάτι που αφορά την επεξεργασία και τον καθαρισμό των αερίων από τη διαδικασία παραγωγής.

Επίσης, ενδιαφέρει, σε μεγάλο βαθμό, και το ζήτημα της μόλυνσης του περιβάλλοντος και οι επιδράσεις που έχει η βιομηχανική ανάπτυξη σε αυτό. Γι' αυτό και κρίνεται ολοένα και επιτακτικότερη ανάγκη η λύση των περιβαλλοντικών προβλημάτων μέσα από δραστικά μέτρα αντιρρόπησης.

Ιδιαίτερη ανάλυση θα γίνει στις εφαρμογές των υψηλών τάσεων στη τσιμεντοβιομηχανία με έμφαση στα συστήματα αποκονίωσης και στα είδη των αποκονιωτών (μηχανικών και ηλεκτρικών) με κύρια έμφαση στα ηλεκτροστατικά φίλτρα που στο χώρο της ηλεκτρολογίας αποτελούν μια μεγάλη κατηγορία αποκονιωτών που χρησιμοποιεί τις υψηλές τάσεις.

**Λέξεις-κλειδιά:** υψηλές τάσεις, συστήματα αποκονίωσης, τσιμεντοβιομηχανία, εφαρμογές υψηλών τάσεων, προστασία περιβάλλοντος, ηλεκτροστατικά φίλτρα.

## 1<sup>Ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### “ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ”

#### 1.1 Γενικά για το περιβάλλον

Δεν υπάρχει ένας κοινά αποδεκτός ορισμός για την έννοια «περιβάλλον». Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί μεταξύ τους ορισμοί και πολλές διαφορετικές σημασίες. Ο επικρατέστερος ορισμός που χρησιμοποιείται ευρύτατα υποστηρίζει ότι το περιβάλλον περιλαμβάνει σε αλληλουχία ανθρώπινους θεσμούς και δραστηριότητες, σε αλληλεπίδραση με τις βιοφυσικές διεργασίες. Δηλαδή, άνθρωπος και περιβάλλον έχουν μια πολύ στενή σχέση μεταξύ τους. Σε κάποιες περιπτώσεις, οι επεμβάσεις του ανθρώπου στο περιβάλλον είναι ωφέλιμες και σε ορισμένες άλλες περιπτώσεις είναι επιβλαβείς γι' αυτό.



Σχήμα 1.1-1: Προστασία περιβάλλοντος

#### 1.2 Περιβάλλον και βιομηχανική ανάπτυξη

##### 1.2.1 Επιδράσεις της βιομηχανίας στο περιβάλλον

Από την εμφάνισή του πάνω στη γη ο άνθρωπος άρχισε τον αγώνα για τη βελτίωση των συνθηκών της ζωής του. Προσπαθώντας, ωστόσο, να επιτύχει μεγαλύτερη συγκέντρωση αγαθών και ευημερίας δεν φρόντισε να προστατεύσει το περιβάλλον όσο θα έπρεπε.

Από τη γεωργική επανάσταση αρχίζει κυρίως η έντονη επέμβαση στο περιβάλλον. Ωστόσο, η επέμβαση αυτή ήταν μικρή, αφού χρησιμοποιούσε πρωτόγονα μέσα και εργαλεία.

Τα πράγματα άλλαξαν ραγδαία από τη βιομηχανική επανάσταση κι έπειτα, όπου η ανάπτυξη της βιομηχανίας συντέλεσε στη μεγαλύτερη κατανάλωση φυσικών πόρων όπως, το νερό, διάφορα υλικά και την ενέργεια. Γι' αυτό το λόγο, η βιομηχανία θεωρείται ο σημαντικότερος χρήστης φυσικών πόρων και παράλληλα, ο κυριότερος παράγοντας της ρύπανσης του περιβάλλοντος.

Η ανάπτυξη της βιομηχανίας οδήγησε στην αλόγιστη, απρογραμματίστη και μη ορθολογική χρήση των φυσικών πόρων του περιβάλλοντος με συνέπεια, την παραγωγή υγρών αποβλήτων, την αέρια ρύπανση και την παραγωγή στερεών απορριμμάτων. Το περιβάλλον λοιπόν, βρίσκεται έρμαιο στα χέρια των ανθρώπων και συνεχίζει, με εντονότερους ρυθμούς σήμερα, να δέχεται τις καταστρεπτικές συνέπειες από τις ενέργειες των ατόμων που έχουν ως κύριο μέλημα το όφελος.

*Πίνακας 1.2.1-1: Περιβαλλοντικές επιπτώσεις βιομηχανικής παραγωγής*

Επιπτώσεις	Προκαλούνται από:
<i>στην ποιότητα του αέρα</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Αέριες εκπομπές από διάφορες παραγωγικές διαδικασίες και την καύση,</li> <li>- Διαρροές ή διαφυγές διαφόρων πτητικών συστατικών, π.χ. από δεξαμενές,</li> <li>- Χρήση ενέργειας από πηγές που παράγουν αέριες εκπομπές, π.χ. γεννήτριες, λέβητες, κτλ.</li> </ul>
<i>στην ποιότητα των υδάτων</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Εκροές αποβλήτων νερού από τις παραγωγικές διαδικασίες,</li> <li>- Εκροές νερού ψύξης και εκροές πύργων ψύξης,</li> <li>- Υγρά απόβλητα από καθαρισμούς-πλύσεις,</li> <li>- Διαλύματα, καθαριστικά, υδρολυτικά υγρά, λιπαντικά, κτλ.,</li> <li>- Διαρροές προς τους αγωγούς αποχέτευσης</li> </ul>
<i>στην ποιότητα του εδάφους</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Επικίνδυνα στερεά απόβλητα που προορίζονται για εναπόθεση στο έδαφος,</li> <li>- Διαρροές που μολύνουν το έδαφος, π.χ. άλατα, λιπάσματα, λάδια, κτλ.,</li> <li>- Διαρροές λόγω ακατάλληλου σχεδιασμού ή κακής διαχείρισης στερεών αποβλήτων,</li> <li>- Διαρροές λόγω ακατάλληλου σχεδιασμού υπογείων αποθηκών</li> </ul>
<i>στην ποιότητα των υπόγειων υδάτων</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Μόλυνση υπόγειων πηγών από διαρροές,</li> <li>- Εκροές υγρών αποβλήτων λόγω μη σωστού σχεδιασμού των πηγαδιών έγχυσης,</li> <li>- Διαρροές από υπόγειες δεξαμενές αποθήκευσης</li> </ul>

### 1.2.1.1 Εναέρια ρύπανση

Με τον όρο «εναέρια ρύπανση» εννοούμε την οποιαδήποτε ανεπιθύμητη αλλαγή στα φυσικά, χημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά του ατμοσφαιρικού αέρα, η οποία είναι ή μπορεί να γίνει, ζημιογόνος για τον άνθρωπο, τους υπόλοιπους φυτικούς και ζωικούς οργανισμούς αλλά και τις βιομηχανικές διαδικασίες, τις συνθήκες ζωής και τους πολιτιστικούς θησαυρούς.



Σχήμα 1.2.1.1-1: Εικόνες εναέριας ρύπανσης

Μια υποκατηγορία εναέριας ρύπανσης είναι και η βιομηχανική ρύπανση. Η «βιομηχανική ρύπανση» συναντάται κυρίως σε περιοχές εγκατάστασης σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, μεγάλων βιομηχανικών μονάδων και σε χώρους εγκατάστασης διάσπαρτων βιοτεχνικών μονάδων. Η βιομηχανία λοιπόν, αποτελεί ίσως τη μεγαλύτερη πηγή αερίων ρύπων (π.χ. διοξείδιο του θείου, οξειδία του αζώτου, μονοξείδιο του άνθρακα, αιωρούμενα σωματίδια, καπνός, όζον και φωτοχημικοί ρυπαντές) για το λόγο ότι το μεγαλύτερο μέρος της αποτελείται από σταθμούς παραγωγής ενέργειας.

### 1.2.1.2 Υγρά (βιομηχανικά) απόβλητα

Με τον όρο υγρά (βιομηχανικά) απόβλητα αναφερόμαστε στα απόβλητα εκείνα που απορρίπτονται από κτίρια και χώρους που χρησιμοποιούνται για οποιαδήποτε εμπορική ή βιομηχανική δραστηριότητα και τα οποία δεν είναι οικιακά λύματα ή όμβρια ύδατα (οδηγία 91/271/ΕΟΚ 21.05.1991). Με λίγα λόγια, είναι τα απόβλητα εκείνα των βιομηχανικών ή βιοτεχνικών εγκαταστάσεων, που δημιουργούνται κυρίως, κατά την παραγωγική διαδικασία και ενδέχεται να παρέχουν και υπολείμματα των διαφόρων υλών που χρησιμοποιούνται.



*Σχήμα 1.2.1.2-1: Υγρά απόβλητα στη βιομηχανία*

Όπως ειπώθηκε και παραπάνω, τα υγρά (βιομηχανικά) απόβλητα προέρχονται από την παραγωγική διαδικασία (κατανάλωση νερού σε διάφορες διεργασίες) όπως για παράδειγμα, από τις βιομηχανίες μετάλλου, χημικών προϊόντων, κτλ. τα οποία περιέχουν υπολείμματα υλών που χρησιμοποιούνται κατά την παραγωγική διαδικασία ή παράγονται από τη βιομηχανία ή τη βιοτεχνία. Η ποσότητα υγρών (βιομηχανικών) αποβλήτων διαφέρει από βιομηχανία σε βιομηχανία. Αυτό εξαρτάται, σε πολύ μεγάλο βαθμό, από τη δυναμικότητα του κάθε εργοστασίου ή βιομηχανίας, από την παραγωγική διαδικασία, από την ποιότητα των πρώτων υλών και από το είδος του τελικού προϊόντος.

### *1.2.1.3 Στερεά (βιομηχανικά) απορρίμματα*

Γενικότερα, με τον όρο «στερεά απορρίμματα» αναφερόμαστε κυρίως στις ουσίες ή τα αντικείμενα που εμφανίζονται σε στερεή φυσική κατάσταση, από τις οποίες ο κάτοχός τους θέλει ή υποχρεούται να απαλλαγεί. Τα στερεά απορρίμματα μπορεί να είναι υλικά που βρίσκονται σε στερεή ή ημιστερεή μορφή.

Τα στερεά (βιομηχανικά) απορρίμματα αναφέρονται στα πάσης φύσεως στερεά απόβλητα που παράγονται από τις βιομηχανικές δραστηριότητες σε μεγαλύτερες ποσότητες και σε μεγαλύτερη ποικιλία και αφθονία. Τα στερεά αυτά απορρίμματα και για συγκεκριμένες ποσότητες αποτελούν, από περιβαλλοντική άποψη, μεγάλες σταθερές πηγές ρύπανσης.



*Σχήμα 1.2.1.3-1: Βιομηχανικά στερεά απορρίμματα*

Η βιομηχανία μπορεί να διαθέτει πολύ ανεπτυγμένη τεχνολογία, την τεχνογνωσία, τους πόρους και το επιχειρηματικό πνεύμα για να καινοτομήσει και να αξιοποιήσει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο όλα αυτά που διαθέτει, αλλά θα πρέπει να ασκεί πρακτικές φιλικές προς το περιβάλλον μέσα από σωστά και αποδοτικά μέτρα αντιρρύπανσης.

### **1.3 Μέτρα αντιρρύπανσης**

Η λύση των περιβαλλοντικών προβλημάτων κρίνεται ολοένα και επιτακτικότερη ανάγκη. Οι βιομηχανικές επιχειρήσεις μέσα από την εφαρμογή τεχνολογιών αντιρρύπανσης προσπαθούν να συμβάλλουν στην περιβαλλοντική προστασία. Κύριος στόχος λοιπόν, των βιομηχανικών εγκαταστάσεων είναι η πρόληψη της ρύπανσης. Η προσοχή εστιάζεται κυρίως, σε ολόκληρη την παραγωγική διαδικασία.

Γενικότερα, παρατηρείται η εφαρμογή διαφορετικών μεθόδων για την αντιμετώπιση της περιβαλλοντικής ρύπανσης. Ορισμένες από αυτές τις μεθόδους αναφέρουμε παρακάτω:

- ✓ επανασχεδιασμός ολόκληρης της παραγωγικής διαδικασίας,
- ✓ επανασχεδιασμός του τελικού προϊόντος,
- ✓ επενδύσεις σε τεχνολογίες αντιρρύπανσης ή αντικατάσταση του ίδιου του εξοπλισμού,
- ✓ κατάλληλη εκπαίδευση και ευαισθητοποίηση του προσωπικού,
- ✓ χρήση καθαρής τεχνολογίας δηλαδή, χρήση βιομηχανικού εξοπλισμού, που παράγει τα ελάχιστα δυνατά απόβλητα, εξοικονομώντας ταυτόχρονα ενέργεια και πρώτες ύλες,
- ✓ εφαρμογή μεθόδων παραγωγής που περιλαμβάνουν διεργασίες ανακύκλωσης, κτλ..

Πιο συγκεκριμένα, για τις μικρότερου μεγέθους βιομηχανικές εγκαταστάσεις, εφαρμόζονται κυρίως:

- η βελτίωση της εν γένει ενεργειακής απόδοσης των βιομηχανικών εγκαταστάσεων και ταυτόχρονα η εξοικονόμηση καυσίμων,
- η κατανάλωση, γενικότερα, καυσίμων φιλικότερων προς το περιβάλλον, π.χ. κατανάλωση φυσικού αερίου/υγραερίου,
- η αξιοποίηση και χρήση εξελιγμένων παραγωγικών διαδικασιών που από τη φύση τους περιορίζουν τις εκπομπές ρύπων, κτλ..

Για τις βιομηχανικές εγκαταστάσεις μεγαλύτερου μεγέθους ο περιορισμός των εκπομπών ρύπων μπορεί να επιτευχθεί κυρίως:

- με τη χρήση αντιρρυπαντικής τεχνολογίας στο ρεύμα των αερίων/ καυσαερίων (δηλαδή, ψεκασμός υγρού ή στερεού χημικού αντιδραστηρίου, χρήση απορροφητικών υλικών, π.χ. ενεργός άνθρακας),
- με μετακαυστήρες,
- με πλυντρίδες,
- με (πολυ)κυκλώνες,
- με σακκόφιλτρα,
- με ηλεκτροστατικά φίλτρα.

Ωστόσο, οι παραπάνω εφαρμογές που απαιτούνται για τον περιορισμό των εκπομπών ρύπων επιτυγχάνονται με τη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας και, για ορισμένες περιπτώσεις εφαρμογών, είναι απαραίτητη η χρήση υψηλών τάσεων.

Στα πλαίσια της πρόληψης της ρύπανσης του περιβάλλοντος και του ολοκληρωμένου ελέγχου, έχουν γίνει και νομοθετικές παρεμβάσεις. Πιο συγκεκριμένα, η Οδηγία 2008/1/EK, που αποτελεί κωδικοποίηση της Οδηγίας 96/61/EK, καθορίζει τις προϋποθέσεις εκείνες που αφορούν την αδειοδότηση, προϋποθέσεις οι οποίες αποτελούν θετικά στοιχεία για μια επιτυχημένη περιβαλλοντική πολιτική για τη βιομηχανία γενικότερα.

Ορισμένες από τις προϋποθέσεις-προτάσεις που θέτει η παραπάνω Οδηγία είναι οι εξής:

1. Η προστασία του περιβάλλοντος πρέπει να έχει έναν προληπτικό χαρακτήρα και να πραγματοποιείται με ολοκληρωμένο τρόπο.
2. Για μια σειρά ατμοσφαιρικών ρύπων θα πρέπει να επιβάλλονται οριακές τιμές εκπομπής, χωρίς ωστόσο να προσδιορίζονται συγκεκριμένες τεχνικές αντιρρυπανσης.

3. Θα πρέπει να επιβάλλονται μέτρα προστασίας και αποκατάστασης του περιβάλλοντος και για μετά την οριστική παύση λειτουργίας των εγκαταστάσεων.
4. Και τέλος, θα πρέπει να επιβάλλεται η καταγραφή των εκπομπών μιας σειράς ατμοσφαιρικών ρύπων, όταν υπερβαίνουν συγκεκριμένα επίπεδα εκφρασμένα σε kg/έτος.

Η παραπάνω Οδηγία αποτελεί ένα βασικό κοινοτικό νομοθέτημα και επηρεάζει σημαντικά τον τρόπο σκέψης αλλά και δράσης των διοικήσεων των βιομηχανικών επιχειρήσεων, καθώς υποχρεώνει τις εγκαταστάσεις να προσαρμοσθούν σε ένα σαφώς πιο περιοριστικό και δαπανηρότερο πλαίσιο, όσον αφορά τις περιβαλλοντικές επιδόσεις τους και παράλληλα, ωθεί τις επιχειρήσεις να ενσωματώσουν στη γενικότερη πολιτική και φιλοσοφία τους την έννοια του περιβάλλοντος. Κατά καιρούς έχουν τεθεί κάποιες προτεινόμενες αντιρρυσπαντικές στρατηγικές, οι οποίες βασίζονται στις παρακάτω αρχές όπως φαίνεται στον πίνακα:

*Πίνακας 1.3-1: Προτεινόμενες αντιρρυσπαντικές στρατηγικές*

<b>Βασικές αρχές</b>
1. Πλήρης αξιοποίηση των διαθέσιμων πρώτων υλών.
2. Ανακύκλωση των υλικών όπως και όποτε αυτό είναι δυνατό.
3. Εξοικονόμηση πρώτων υλών με το σχεδιασμό ανθεκτικών προϊόντων, τα οποία σε τελική ανάλυση οδηγούν σε μείωση του όγκου των αποβλήτων.
4. Στροφή στις ανανεώσιμες ή ανακυκλούμενες ύλες, οι οποίες μας δίνουν και τη δυνατότητα διατήρησης της περιβαλλοντικής ισορροπίας.
5. Ορθολογική χρήση της ενέργειας.
6. Συστηματική εξοικονόμηση της ενέργειας, όπου αυτό είναι δυνατό.
7. Σχεδιασμός παραγωγικών συστημάτων, τα οποία ελαχιστοποιούν τις ανάγκες σε ενέργεια και πρόωθηση της σχετικής τεχνολογίας.
8. Στον τομέα της ενέργειας, αξιοποίηση των ήπιων και ανανεώσιμων ενεργειακών πηγών.
9. Εφαρμογή ήπιων μεθόδων παραγωγής και μετατροπής των διαφόρων μορφών ενέργειας, ώστε να αντιμετωπίσουμε ταυτόχρονα τα οικολογικά και τα ενεργειακά προβλήματα.
10. Συστηματική αξιοποίηση των αγροτικών καταλοίπων καθώς και των παραπροϊόντων.
11. Εμπλουτισμός των παραγωγικών εδαφών σε οργανικά συστατικά
12. Αναζήτηση τρόπων αξιοποίησης των αποβλήτων και όπου αυτό δεν είναι δυνατόν να εξασφαλίζεται η βιοαποικοδόμησής τους.

Η ρύπανση του περιβάλλοντος δεν είναι απλό αποτέλεσμα της βιομηχανικής ανάπτυξης, αλλά φαίνεται πως συνδέεται άμεσα με τη συγκεκριμένη διαδικασία, που ακολουθήθηκε μέσα από την προσπάθεια των σημερινών κοινωνιών για ανάπτυξη. Στόχος θα πρέπει να είναι η οριστική λύση απέναντι στο πρόβλημα της ρύπανσης, χωρίς ωστόσο να παρεμποδίζεται η ανάπτυξη.



## 2<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### “ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ”

#### 2.1 Γενικά περί υψηλών τάσεων

Σύμφωνα με τη Διεθνή Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή (International Electrotechnical Committee – IEC), ως υψηλή τάση ορίζεται για το εναλλασσόμενο ρεύμα κάθε τάση, η οποία είναι μεγαλύτερη από 1000 Volt, ενώ για το συνεχές ρεύμα κάθε τάση η οποία είναι μεγαλύτερη από 1500 Volt.

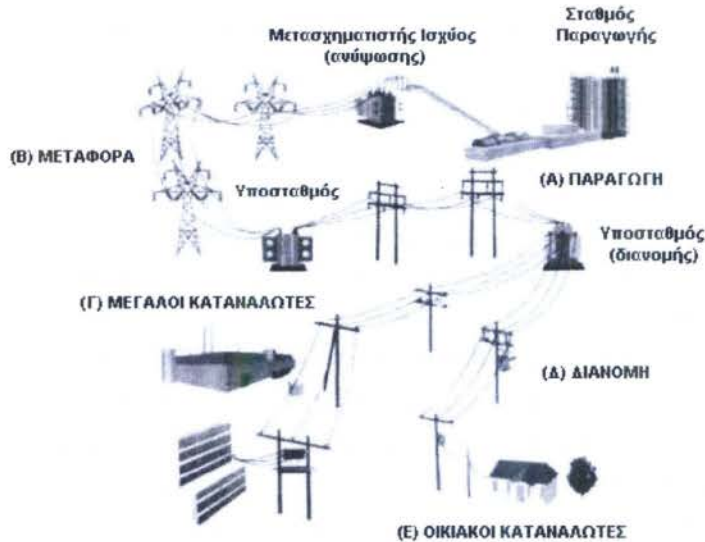
Στις Η.Π.Α. ως υψηλή τάση χαρακτηρίζεται κάθε τάση που ξεπερνά τα 600V. Για το Ηνωμένο Βασίλειο, ως υψηλή τάση χαρακτηρίζεται κάθε τάση που ξεπερνά τα 1000V «πολική» ή 600V «φασική» αν πρόκειται για AC και τα 1500V «πολική» ή 900V «φασική» (ripple free) αν πρόκειται για DC.

Ο κυριότερος λόγος για τον οποίο χρησιμοποιούνται οι υψηλές τάσεις στην τεχνολογία είναι η οικονομική μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις. Το σύστημα των αγωγών, με τους οποίους η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται από ένα σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ή υποσταθμό στους καταναλωτές διαιρείται σε δύο μέρη κυρίως: α) στις γραμμές μεταφοράς και β) στις γραμμές διανομής.



*Σχήμα 2.1-1: Πυλώνας Υψηλών Τάσεων*

Πιο συγκεκριμένα, οι γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας διακρίνονται από τις γραμμές διανομής, κι αυτό γιατί οι πρώτες γραμμές έχουν σαν σκοπό τη μεταφορά, με υψηλή τάση, της ηλεκτρικής ενέργειας από το σταθμό ή υποσταθμό σε κάποιον άλλο υποσταθμό, ενώ αντίθετα, οι δεύτερες γραμμές έχουν σαν σκοπό τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας στους καταναλωτές, είτε απ'ευθείας, είτε μέσω υποσταθμού. Ένα τυπικό σύστημα παραγωγής, μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 2.1-2: Σύστημα παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας

Όπως απεικονίζεται στο παραπάνω σχήμα, στο σημείο Α έχουμε την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας από τους σταθμούς παραγωγής (υδροηλεκτρικοί σταθμοί, φωτοβολταϊκά, κτλ.). Στο σημείο Β έχουμε τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας. Μετά την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας, η ενέργεια ανυψώνεται και μέσω κέντρων ελέγχου ενέργειας γίνεται έλεγχος της μεταφοράς. Στο σημείο Γ έχουμε τους μεγάλους καταναλωτές (π.χ. τσιμεντοβιομηχανίες, χαλυβουργία, κτλ.). Η μεταφορά της ενέργειας αυτής προς τους καταναλωτές γίνεται είτε με μέση είτε με υψηλή τάση. Στο σημείο Δ έχουμε τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας μέσα από τους υποσταθμούς διανομής και στο σημείο Ε έχουμε τους οικιακούς καταναλωτές.

Ειδικότερα, ένα **δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας** περιλαμβάνει:

- το **δίκτυο μεταφοράς υψηλής τάσης**, το οποίο αποτελείται από γραμμές μεταφοράς υψηλής τάσεως και υποσταθμούς μεταφοράς υψηλής τάσεως και
- το **δίκτυο μέσης τάσεως**, το οποίο αποτελείται από γραμμές μεταφοράς μέσης τάσεως και υποσταθμούς μεταφοράς μέσης τάσεως.

Το **δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας** περιλαμβάνει:

- **τους υποσταθμούς μέσης τάσεως** (πρωτεύουσα διανομή) και γραμμές διανομής μέσης τάσεως και
- **τους υποσταθμούς διανομής χαμηλής τάσεως** (δευτερεύουσα διανομή) και γραμμές διανομής χαμηλής τάσεως.

Αντιθέτως, τα **συστήματα μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας** που χρησιμοποιούνται σήμερα διακρίνονται:

- Όσον αφορά τη μεταφερόμενη ένταση σε:
  - α) συστήματα συνεχούς ρεύματος και
  - β) σε συστήματα εναλλασσόμενου ρεύματος.
- Όσον αφορά την τάση λειτουργίας σε:
  - α) συστήματα υπερυψηλής τάσεως,
  - β) συστήματα υψηλής τάσεως,
  - γ) συστήματα μέσης τάσεως και
  - δ) συστήματα χαμηλής τάσεως.
- Όσον αφορά τον τρόπο τροφοδοτήσεως και διατάξεως των συστημάτων αυτών σε:
  - α) ανοικτού τύπου (ακτινωτά) και
  - β) κλειστού τύπου (βροχοειδή).

Σχετικά με το Ελληνικό Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας, προκύπτει από στοιχεία ότι υπάρχουν γραμμές μεταφοράς υψηλής (150 kV) και υπερυψηλής (400 kV) τάσης διαφόρων τύπων.

### 2.1.1 Λίγα λόγια για το Ελληνικό Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας

*Πίνακας 2.1.1-1: Συνολικά μήκη εναερίων γραμμών μεταφοράς του ελληνικού συστήματος*

ΕΠΙΠΕΔΟ ΤΑΣΗΣ (kV)	ΚΥΚΛΩΜΑ	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΜΗΚΟΣ (σε km)
66	Απλό	40
150	Απλό	2685
150	Απλό	2020
150	Διπλό	230
150	Διπλό	5960
400	Απλό	210
400	Διπλό	3415
400	Απλό	285

Εκτός από τις ανωτέρω εναερίες γραμμές μεταφοράς, στο ελληνικό σύστημα μεταφοράς υπάρχουν:

- ❖ 232 km υπογείων και υποβρυχίων καλωδίων 150 kV,
- ❖ 4 km υπογείων καλωδίων 400 kV και
- ❖ 190 km υπογείων καλωδίων 150 kV για τη μεταφορά ισχύος εντός των πυκνοκατοικημένων περιοχών.

Επίσης, το Ελληνικό Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας περιλαμβάνει και:

- ❖ τους υποσταθμούς 150 kV/20 kV,
- ❖ τα κέντρα υπερυψηλής τάσης (KYT),
- ❖ γραμμές μεταφοράς,
- ❖ συσκευές αντιστάθμισης αέργου ισχύος και
- ❖ διεθνείς διασυνδέσεις.

### 2.1.2 Χρήση υψηλών εναλλασσόμενων τάσεων

Η χρήση των υψηλών τάσεων στη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται για λόγους οικονομίας. Θεωρώντας ότι έχουμε την φασική τιμή  $U_{\phi}$  της τάσης,  $I$  το ρεύμα ανά φάση,  $\phi$  τη φασική γωνία,  $R$  την ωμική αντίσταση ανά φάση σε μια τριφασική γραμμή μεταφοράς και  $P$  τη μεταφερόμενη ενεργό ισχύ προκύπτει η εξής εξίσωση:

$$P = 3U_{\phi}I\cos\phi \quad (2.1)$$

Οι απώλειες ισχύος κατά μήκος της γραμμής λόγω του φαινομένου Joule είναι:

$$P_{\theta} = 3I^2R \quad (2.2)$$

Οπότε προκύπτει ότι:

$$P_{\theta} = P^2 R / 3U_{\phi}^2 (\cos\phi)^2 \quad (2.3)$$

Από τη Σχέση 2.3 προκύπτει ότι για δεδομένη μεταφερόμενη ισχύ  $P$  και ωμική αντίσταση ανά φάση  $R$  οι θερμικές απώλειες είναι μικρότερες όσο υψηλότερη είναι η τάση της γραμμής μεταφοράς. Προκύπτει λοιπόν, ότι τα οικονομικά και λειτουργικά πλεονεκτήματα που προσφέρει ένα δίκτυο μεταφοράς σε υψηλή τάση είναι αναμφισβήτητα και οδήγησαν σταδιακά στην αλματώδη αύξηση των δικτύων μεταφοράς. Σήμερα παρατηρείται λειτουργία τάσεων μεταφοράς των 765kV και γίνεται προσπάθεια για χρήση τάσεων στο μέλλον των 1000-2000kV. Παρόλα αυτά, ενώ η αύξηση της τάσης έχει ως αποτέλεσμα μικρότερες απώλειες λειτουργίας, δεν μπορεί να φτάσει σε εξαιρετικά υψηλά επίπεδα μιας και ό,τι εξοικονομείται από τις απώλειες λειτουργίας χάνεται, τόσο από τις διηλεκτρικές απώλειες στον περιβάλλοντα αέρα, εξαιτίας του ιονισμού του από το υψηλό ηλεκτρικό πεδίο, όσο και από το αυξημένο κόστος, που θα υπάρχει εξαιτίας των μονωτήρων, μετασχηματιστών και διακοπών που θα χρησιμοποιηθούν σε τέτοια επίπεδα τάσεων. Συμπερασματικά λοιπόν, το κόστος του εξοπλισμού αυξάνει στις υψηλές τάσεις, με αποτέλεσμα να υπάρχει μια μέγιστη τιμή τάσης για τα σημερινά δεδομένα, πάνω από την οποία η μεταφορά της ενέργειας γίνεται αντιοικονομική.

### 2.1.3 Χρήση υψηλών συνεχών τάσεων

Εκτός από τις τριφασικές γραμμές μεταφοράς εναλλασσόμενης τάσης, έχουμε και τις γραμμές μεταφοράς υψηλών συνεχών τάσεων. Οι γραμμές μεταφοράς υψηλής συνεχούς τάσης χρησιμοποιούνται, κατά κύριο λόγο, για μεταφορά σε εξαιρετικά μεγάλες αποστάσεις και αυτό γιατί είναι πιο οικονομικές και παρουσιάζουν μικρότερες ηλεκτρικές απώλειες.

#### 2.1.3.1 Πλεονεκτήματα υψηλών συνεχών τάσεων έναντι εναλλασσόμενων τάσεων σε διάφορες εφαρμογές

- Αύξηση της ισχύος ενός υπάρχοντος δικτύου σε περιπτώσεις, όπου επιπλέον γραμμές είναι εξαιρετικά δύσκολο να τοποθετηθούν.
- Μεταφορά ισχύος και σταθεροποίηση τάσης μεταξύ συστημάτων εναλλασσόμενης τάσης, τα οποία είναι μη συγχρονισμένα.
- Μείωση του κόστους. Η χρήση υψηλής συνεχούς τάσης χρειάζεται λιγότερους αγωγούς εφόσον δεν υπάρχουν τρεις φάσεις και επιπλέον οι αγωγοί, που χρησιμοποιούνται είναι λεπτότεροι, αφού δεν υπάρχει το επιδερμικό φαινόμενο της εναλλασσόμενης τάσης.
- Διασύνδεση συστημάτων τα οποία είτε έχουν διαφορετική τάση λειτουργίας, είτε διαφορετική συχνότητα.
- Συγχρονισμός της εναλλασσόμενης τάσης η οποία αναπαράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

### 2.1.3.2 Μειονεκτήματα υψηλών συνεχών τάσεων που έχουν να κάνουν με τη μετατροπή, τα διακοπτικά μέσα και τον έλεγχο

- Οι μετατροπείς από εναλλασσόμενη σε συνεχή τάση και το αντίστροφο έχουν ένα όριο υπερφόρτισης. Σε μικρότερες αποστάσεις μεταφοράς οι απώλειες στους μετατροπείς αυτούς είναι μεγαλύτερες από τις απώλειες σε μια γραμμή μεταφοράς εναλλασσόμενης τάσης.
- Οι διακόπτες ισχύος σε υψηλές συνεχείς τάσεις είναι δύσκολο να κατασκευαστούν αφού τα τόξα που δημιουργούνται σε τέτοιους διακόπτες και για τέτοιες τάσεις είναι μεγάλα.
- Ο έλεγχος της ροής φορτίου σε ένα σύστημα συνεχούς υψηλής τάσης απαιτεί καλή επικοινωνία μεταξύ όλων των τερματικών σημείων με τη ροή φορτίου να πρέπει να είναι ελεγχόμενη με εξαιρετική ακρίβεια.

### 2.1.4 Επιπτώσεις από τη χρήση των υψηλών τάσεων και μέτρα αντιμετώπισης

Η χρήση των υψηλών τάσεων που αναφέρθηκε παραπάνω για τα συστήματα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας περιγράφεται για συνθήκες κανονικής λειτουργίας. Βέβαια, παρουσιάζονται στα ηλεκτρικά δίκτυα κάποιες υπερτάσεις οι οποίες μπορεί να οφείλονται στους παρακάτω λόγους:

- ✓ Υπερτάσεις χειρισμών ή εσωτερικές υπερτάσεις
- ✓ Υπερτάσεις από κεραυνούς
- ✓ Υπερτάσεις από υπερπηδήσεις.

Για να αντιμετωπιστούν επομένως τα παραπάνω προβλήματα, που ενδεχομένως μπορεί να προκύψουν, και για να μπορέσει να εξασφαλιστεί η ασφαλής, εύρυθμη και οικονομική λειτουργία των συστημάτων αυτών προτείνονται τα παρακάτω μέτρα:

- Θα πρέπει να είναι γνωστές οι τάσεις κατά μήκος ενός δικτύου σε όλες τις καταστάσεις του. Αυτό προβλέπεται να επιτευχθεί με τη μελέτη και τη διεξαγωγή μετρήσεων στα δίκτυα αυτά.
- Θα πρέπει να είναι γνωστή η μορφή του ηλεκτρικού πεδίου εντός των διαφόρων συσκευών και η θέση, όπου μπορεί να υφίσταται ο κίνδυνος καταστροφής τους. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη θεωρητική μελέτη του ηλεκτροστατικού πεδίου διαφόρων διατάξεων και των μέτρων εκείνων με τα οποία καθίσταται δυνατή η ευνοϊκή διαμόρφωσή του, αλλά και με μετρήσεις.
- Θα πρέπει να είναι γνωστή η αντοχή των μονωτικών υλικών στις καταπονήσεις τις οποίες μπορεί να υφίστανται. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με μελέτη πάνω στα φαινόμε-

να των προεκκενώσεων αλλά και της ηλεκτρικής διάσπασης των αναφερόμενων υλικών, αλλά και με μετρήσεις σε κάποιες συγκεκριμένες διατάξεις.

## 2.2 Εφαρμογές υψηλών τάσεων

### 2.2.1 Ειδικές εφαρμογές

Γενικότερα, η ανάπτυξη της τεχνολογίας των υψηλών τάσεων οφείλεται, σε μεγάλο βαθμό, στη χρησιμοποίησή τους για την οικονομική μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις. Παρόλο όμως που η κύρια εφαρμογή των υψηλών τάσεων και σήμερα είναι στη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας, αυτό δε σημαίνει απαραίτητα ότι δεν χρησιμοποιούνται και σε άλλες περιπτώσεις.

Η εφαρμογή των υψηλών τάσεων είναι μεγάλη και περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα χρησιμοποίησής τους σε πολλούς κλάδους της επιστήμης ακόμα και στην τεχνολογία του διαστήματος. Παρακάτω θα γίνει μια αναλυτική παρουσίαση των διαφόρων εφαρμογών των υψηλών τάσεων.

#### 2.2.1.1 Μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας

Όπως ειπώθηκε και παραπάνω, η κύρια εφαρμογή των υψηλών τάσεων ακόμα και σήμερα βρίσκεται στη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, τις σημαντικότερες, τις συνηθέστερες, και τις πιο ενδιαφέρουσες από τις εφαρμογές των υψηλών τάσεων στον τομέα της μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί κανείς να τις εντοπίσει ξεκινώντας από έναν σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, από τις γεννήτριες μέχρι και τις γραμμές μεταφοράς συμπεριλαμβανομένου ενός υποσταθμού ανύψωσης τάσεως.

Ειδικότερα, εφαρμογές των υψηλών τάσεων στην παραγωγή, μεταφορά και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας εντοπίζουμε στις ηλεκτρικές μηχανές, στις γεννήτριες, στους μετασχηματιστές και στους διακόπτες ισχύος. Επίσης, οι υψηλές τάσεις εφαρμόζονται και στις γραμμές μεταφοράς όπου και εξετάζεται η επίδραση του φαινομένου corona καθώς και ο υπολογισμός και ο συντονισμός των μονώσεων των γραμμών υψηλής και υπερυψηλής τάσης. Τέλος, άλλες εφαρμογές στις γραμμές μεταφοράς είναι οι μονωτήρες, τα καλώδια υψηλής τάσης και οι εκτροπείς υπερτάσεων.



(α)



(β)



(γ)



(δ)

*Σχήμα 2.2.1.1-1: (α) Σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, (β) Διακόπτες ισχύος, (γ) Μετασχηματιστής ισχύος, (δ) Κρουστική γεννήτρια μεγάλης ισχύος*

Παρόλα αυτά, προκύπτουν και άλλες εφαρμογές των υψηλών τάσεων οι οποίες θα αναλυθούν παρακάτω.

### 2.2.1.2 Σιδηρόδρομος-Ηλεκτροκίνητη έλξη

Για την κίνηση των ηλεκτρικών σιδηροδρόμων χρησιμοποιούνται συστήματα συνεχούς ρεύματος στα οποία οι συνηθέστερες ηλεκτρικές τάσεις είναι τα 1,5 kV και τα 3 kV. Ωστόσο, παρατηρούνται μειονεκτήματα αυτής της μεθόδου τα οποία συνοψίζονται στα εξής σημεία:

- ο απαιτείται κατασκευή δαπανηρών υποσταθμών σε συχνά διαστήματα και
- ο το εναέριο καλώδιο θα πρέπει να είναι σχετικά μεγάλο και βαρύ.





(α)



(β)

**Σχήμα 2.2.1.2-1:** (α) Υποσταθμός τροφοδοσίας έλξης, (β) Υποσταθμός έλξης

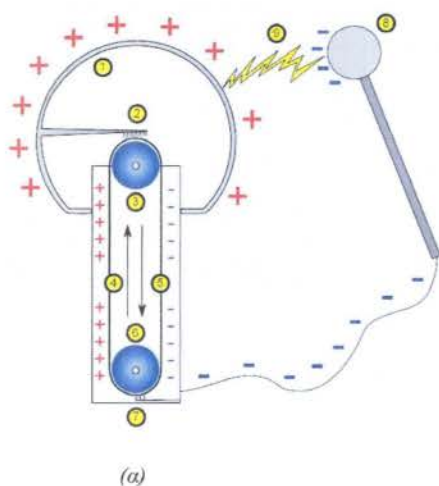
Γενικότερα, η ηλεκτρική έλξη με τη χρήση συνεχούς ρεύματος χαμηλής τάσης αποδείχτηκε κατάλληλη για τη σιδηροδρομική έλξη κυρίως λόγω ευκολίας ελέγχου και απλότητα κατασκευής. Από την άλλη πλευρά, τα πλεονεκτήματα της χρησιμοποίησης εναλλασσόμενου ρεύματος οδήγησαν σε εφαρμογές αυτού του συστήματος.

Πιο συγκεκριμένα, με το εναλλασσόμενο ρεύμα και με σχετικά υψηλές τάσεις της τάξεως των 15 kV έχει ως αποτέλεσμα τη κατασκευή λιγότερων υποσταθμών αφού οι υψηλότερες τάσεις έχουν μικρότερη πτώση τάσης σε μεγαλύτερες αποστάσεις. Επίσης, η δυνατότητα χρήσης ελαφρότερου εναέριου καλωδίου τροφοδοσίας μειώνει το κόστος των κατασκευών με αποτέλεσμα να παρατηρείται όφελος όσον αφορά το κόστος του κεφαλαίου για την εγκατάσταση των συστημάτων ηλεκτροκίνησης.

### 2.2.1.3 Εγκαταστάσεις ακτίνων Rontgen

Οι ακτίνες – X χρησιμοποιούνται τόσο στην ακτινοδιαγνωστική όσο και στην ακτινοθεραπεία. Στην ακτινοδιαγνωστική χρησιμοποιούνται δέσμες ακτίνων – X με ενέργειες φωτονίων έως 150 kV, στην κλασική ακτινοθεραπεία έως 500 kV ενώ στην ακτινοθεραπεία με ακτίνες υψηλής ενέργειας έως 25 MV. Στις δύο πρώτες περιπτώσεις, η παραγωγή ακτίνων επιτυγχάνεται μέσω λυχνίας, ενώ στην τελευταία περίπτωση μέσω επιταχυντών.

Κάποιες από τις σημαντικότερες διατάξεις παραγωγής ακτίνων – X είναι η ηλεκτροστατική γεννήτρια Van de Graaf με ενέργειες φωτονίων 2 - 4 MV, ο γραμμικός επιταχυντής με ενέργειες φωτονίων 2 – 45 MV και το βητατρόνιο (κυκλικός επιταχυντής ηλεκτρονίων) με ενέργειες φωτονίων 6 – 45 MV.



- (α)
- 1: Ηλεκτρόδιο υψηλής τάσης
  - 2: Ακίδα εκφόρτισης
  - 3: Πάνω τροχαλία
  - 4: Μέρος ιμάντα με θετικό φορτίο
  - 5: Μέρος ιμάντα με αρνητικό φορτίο
  - 6: Κάτω τροχαλία
  - 7: Κάτω ηλεκτρόδιο (γη)
  - 8: Μεταλλική σφαίρα με αρνητικό φορτίο για την εκφόρτιση του ηλεκτροδίου υψηλής τάσης
  - 9: Ηλεκτρικό τόξο

(β)

Σχήμα 2.2.1.3-1: (α) Γεννήτρια Van de Graaff, (β) Φωτογραφία γεννήτριας Van de Graaff

Ακόμα, η χρήση ακτίνων - X συναντάται σε μεγάλα αντικαρκινικά κέντρα, σε μηχανήματα ακτινοθεραπείας με συνεχείς τάσεις λειτουργίας μέχρι και 1 MV. Υψηλές τάσεις μικρών τιμών χρησιμοποιούνται και σε άλλες ιατρικές εφαρμογές (π.χ. laser, ηλεκτρονικά μικροσκόπια).

#### 2.2.1.4 Σύγχρονες γεννήτριες

Οι σύγχρονες γεννήτριες χρησιμοποιούνται στην παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας και χωρίζονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με την τάση την οποία παράγουν. Στην πρώτη κατηγορία περιλαμβάνονται οι γεννήτριες χαμηλής τάσης με τάση εξόδου μικρότερη από 6,6 kV, ενώ στη δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνονται οι γεννήτριες υψηλής τάσης με τάση εξόδου μεγαλύτερη από 6,6 kV. Ωστόσο, υπάρχουν σταθμοί παραγωγής και ιδιαίτερα πυρηνικοί σταθμοί στους οποίους η εγκατεστημένη ισχύς ξεπερνά το 1 GW. Επειδή όμως, είναι δύσκο-

λο να κατασκευαστούν τέτοιες γεννήτριες με ονομαστική ισχύ τόσο μεγάλη, για το λόγο αυτό, χρησιμοποιούνται πολλές γεννήτριες σε παράλληλη σύνδεση. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται μια σύγχρονη γεννήτρια.



*Σχήμα 2.2.1.4-1: Σύγχρονη γεννήτρια σε μονάδα συνδεδασμένου με ισχύ εξόδου από 300 έως 1200 MW-Ζεύγος ατμοστρόβιλου*

#### 2.2.1.5 Μετασχηματιστές

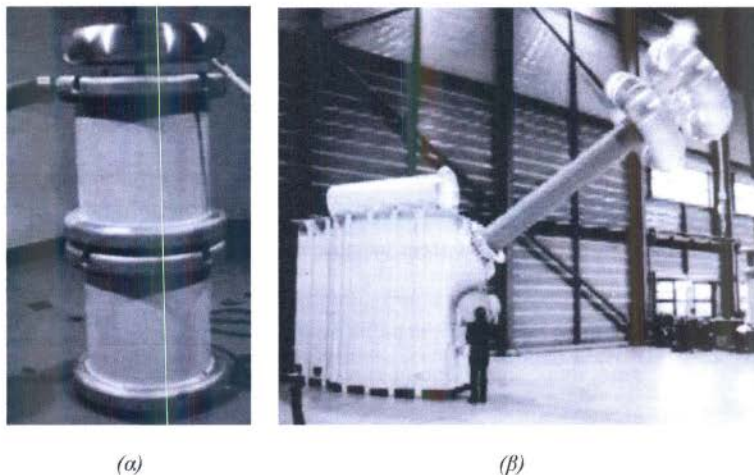
Οι μετασχηματιστές συνιστούν μια τεχνολογία που έχει βρει πολλαπλές και ποικίλλες εφαρμογές εδώ και πολλές δεκαετίες. Καλύπτουν ανάγκες μιας μεγάλης γκάμας εγκαταστάσεων, μία από τις οποίες είναι οι ηλεκτρικοί υποσταθμοί. Καθοριστική είναι η ύπαρξη των μετασχηματιστών στην ανύψωση και στον υποβιβασμό της τάσης στα Συστήματα Μεταφοράς και Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας, τα οποία είναι, σε σημαντικό βαθμό, εκτεταμένα και καλύπτουν τα κέντρα κατανάλωσης του εθνικού ηλεκτρικού δικτύου διανομής.

Σε συστήματα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας με τάση μεγαλύτερη των 220 V χρησιμοποιούνται οι λεγόμενοι αυτομετασχηματιστές. Εκτός όμως από τους Μ/Σ και τους ΑΜ/Σ υπάρχει μια ιδιαίτερη μεγάλη γκάμα μετασχηματιστών. Ανάλογα με τη χρήση τους διακρίνουμε τους:

- **Μετασχηματιστές Οργάνων ή Μέτρησης:** Χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές τηλεπικοινωνιών, σε συστήματα τηλεελέγχου και τηλεχειρισμού αλλά και σε πληθώρα οικιακών συσκευών. Στην κατηγορία αυτή διακρίνουμε περαιτέρω:

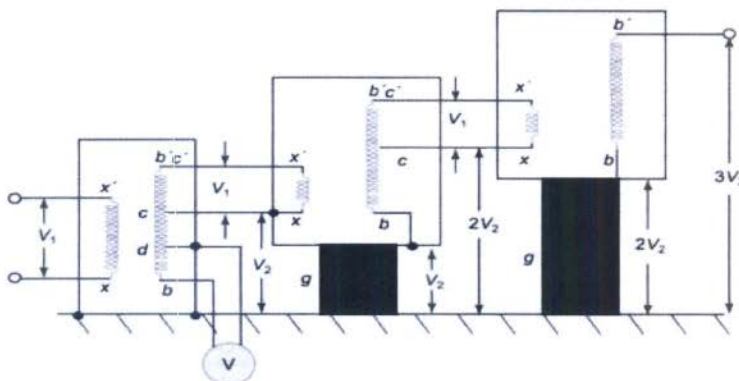
1. τους Μετασχηματιστές Τάσης: οι υψηλές εναλλασσόμενες τάσεις μπορούν να μετρηθούν με πολύ μεγάλη ακρίβεια μέσω τέτοιων μετασχηματιστών. Παρόλο που οι συσκευές χρησιμοποιούνται σε δίκτυα μεταφοράς, ωστόσο χρησιμοποιούνται σπάνια σε εργαστήρια για μέτρηση υψηλών εναλλασσόμενων τάσεων άνω των 100 kV. Η κύρια εφαρμογή τους βρίσκεται στη διακρίβωση εξοπλισμού. Διακρίνονται σε:
    - α) *Επαγωγικούς Μετασχηματιστές Τάσης*,
    - β) *Χωρητικούς Μετασχηματιστές Τάσης*.
  2. τους Μετασχηματιστές Έντασης: χρησιμοποιούνται σε συστήματα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και αποτελούνται από σπείρες σύρματος, οι οποίες βρίσκονται γύρω από τον αγωγό ρεύματος. Οι μετασχηματιστές ρεύματος ενδείκνυνται κυρίως για μέτρηση εναλλασσόμενων ρευμάτων, αλλά όχι για μέτρηση κρουστικών, ενώ παρουσιάζουν υψηλή ακρίβεια στη μέτρηση.
- **Μετασχηματιστές Δοκιμών**: Χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση δοκιμών με υψηλή ή υπερυψηλή τάση. Χαρακτηρίζονται από:
    1. υψηλούς λόγους μετασχηματισμού. Για παράδειγμα, μετασχηματιστές δοκιμής των 500 kV έχουν τάση πρωτεύοντος 500 V.
    2. περιορισμένη ισχύ. Η ένταση του ρεύματος στην πλευρά υψηλής τάσης είναι από ένα έως μερικά A.
    3. αντοχή σε βραχυκυκλώματα, καθώς η διάσπαση των δοκιμών υπό υψηλές εναλλασσόμενες τάσεις μπορεί εύκολα να προκύψει.

Σημαντικό είναι επίσης να αναφερθεί ότι οι μετασχηματιστές δοκιμής, ανάλογα με το πώς μονώνονται τα τυλίγματά τους, χωρίζονται σε αέρος και ελαίου.



Σχήμα 2.2.1.5-1: (α) Διβάθμιος Μ/Σ δοκιμών 200 kV, (β) Μ/Σ δοκιμών ελαίου

Όταν οι απαιτήσεις για δοκιμές είναι μικρότερες των 300 kV, ένας μετασχηματιστής δοκιμών μπορεί να είναι αρκετός. Όταν όμως υπάρχουν υψηλότερες τάσεις δοκιμών, απαιτούνται για την επίτευξη υψηλών επιπέδων τάσης μετασχηματιστές δοκιμών συνδεδεμένοι σε βαθμίδες. Ένα τυπικό διάγραμμα φαίνεται παρακάτω.



$V_1$ : τάση εισόδου,  $V_2$ : τάση εξόδου,  
 $x-x'$ : τόλιγμα Χ.Τ. (πρωτεύον),  $b-b'$ : τόλιγμα Υ.Τ. (δευτερεύον),  
 $c-c'$ : τόλιγμα διέγερσης,  $b-d$ : τόλιγμα μέτρησης (200-500 V).

Σχήμα 0.2.1.5-2: Σχηματικό διάγραμμα Μ/Σ δοκιμών τριών βαθμίδων

- **Μετασχηματιστές Ισχύος:** Οι μετασχηματιστές ισχύος χρησιμοποιούνται σε εκείνο το σημείο του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, όπου υπάρχει αλλαγή του επιπέδου της τάσης. Χρησιμοποιούνται, κατά κύριο λόγο, στους σταθμούς παραγωγής για την ανύψωση τάσης και στους υποσταθμούς μεταφοράς, είτε για την ανύψωση είτε για τον υποβιβασμό της τάσης μέχρι τη μέση τάση. Διακρίνονται στους:
  1. **Μετασχηματιστές Γεννητριών ή Ανύψωσης Τάσης:** χρησιμοποιούνται μεμονωμένα για κάθε γεννήτρια με τιμές από 21 kV έως 400 kV. Η ονομαστική ισχύς τους είναι συνήθως ίση με την αντίστοιχη της γεννήτριας. Για λόγους μεταφοράς οι μέγιστες τιμές περιορίζονται σε 1200 MVA ή 2000 MVA. Για μεγαλύτερες ισχύς χρησιμοποιούνται τρεις μονοφασικοί μετασχηματιστές.
  2. **Μετασχηματιστές Μεταφοράς ή Διανομής:** χρησιμοποιούνται στα δίκτυα μεταφοράς (150 kV/ 400 kV) και διανομής (20 kV). Στο δίκτυο μεταφοράς έχουμε συνήθως αυτομετασχηματιστές 400 kV/ 150 kV και 250 MVA. Για υποβιβασμό της τάσης στο επίπεδο διανομής χρησιμοποιούνται συνήθως 150 kV/ 20 kV και 20-75 MVA. Τέλος, στο δίκτυο διανομής χρησιμοποιούνται 20 kV/ 04 kV και 15-2000 kVA.
  3. **Μετασχηματιστές Βιομηχανικών Εγκαταστάσεων:** χρησιμοποιούνται για ειδικές εφαρμογές (π.χ. μεγάλους κινητήρες, μηχανές, κτλ.) με τιμές τάσεων και ισχύος κατά περίπτωση.

Ωστόσο, μπορούμε να πούμε ότι η σύνδεση τμημάτων του δικτύου με διαφορετικές τάσεις μπορεί να γίνει και με τη χρήση αυτομετασχηματιστών, η οποία είναι οικονομικότερη αφού έχουν μικρότερο κόστος παραγωγής και λειτουργίας, ενώ χρησιμοποιούνται όταν τα δίκτυα είναι «εν φάσει», οι ουδέτεροι γειωμένοι και ο λόγος μετασχηματισμού 3:1 ή μικρότερος.



Σχήμα 2.2.1.5-3: Μονοφασικός αυτομετασχηματιστής των 1500 MVA

Οι μετασχηματιστές ισχύος είναι μηχανήματα πολύ σημαντικά για τα ηλεκτρικά δίκτυα τόσο λόγω της μεγάλης ισχύος τους, όσο και λόγω των υψηλών τάσεων λειτουργίας τους. Η ισχύς τους μπορεί να κυμανθεί από μερικά VA μέχρι μερικές χιλιάδες VA, ενώ η τάση τους μπορεί να κυμανθεί από V μέχρι εκατοντάδες KV.

Με τη χρήση μιας σειράς μετασχηματιστών στους υποσταθμούς των κόμβων των δικτύων μεταφοράς η ηλεκτρική ενέργεια μετασχηματίζεται 4 ή και 5 φορές μέχρι να φτάσει στα κέντρα κατανάλωσης. Ακόμα, πρέπει να σημειωθεί ότι στα συστήματα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας η εγκατεστημένη ισχύς είναι 6-7 φορές μεγαλύτερη από την εγκατεστημένη ισχύ παραγωγής στους θερμοηλεκτρικούς ή υδροηλεκτρικούς σταθμούς παραγωγής.

Τέλος, για τα συστήματα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας που λειτουργούν σε τάσεις μεγαλύτερες από 220 V γίνεται ευρεία χρήση των αυτομετασχηματιστών.

Οι *αυτομετασχηματιστές* είναι μετασχηματιστές ισχύος με ένα τύλιγμα, του οποίου τα άκρα αποτελούν τους ακροδέκτες U και V της υψηλής τάσης. Το τύλιγμα χαμηλής τάσης (XT) είναι ουσιαστικά ένα μέρος του τυλίγματος της υψηλής τάσης (YT). Το τύλιγμα αυτό ονομάζεται κοινό τύλιγμα. Το υπόλοιπο μέρος του τυλίγματος YT ονομάζεται τύλιγμα σειράς. Οι αυτομετασχηματιστές χρησιμοποιούνται για να εξουδετερώνουν διακυμάνσεις των τάσεων στα δίκτυα, για την εκκίνηση ασύγχρονων κινητήρων καθώς και για τη σύνδεση δικτύων με διαφορετική τάση.

Ένα από τα σημαντικότερα *πλεονεκτήματα* των αυτομετασχηματιστών είναι ότι έχουν μικρότερο μέγεθος από έναν μονοφασικό μετασχηματιστή ισχύος, συνεπώς μικρότερο κόστος και λιγότερη και μικρότερη πτώση τάσης. Ένα από τα σημαντικότερα *μειονεκτήματα* των αυτομετασχηματιστών θα μπορούσε να είναι το εξής: υπάρχει γαλβανική σύνδεση των δικτύων Y.T. και X.T. με αποτέλεσμα οι δυσμενείς συνθήκες λειτουργίας του ενός δικτύου να μεταφέρονται και στο άλλο. Για αυτό το λόγο οι μονώσεις του δικτύου χαμηλής τάσης πρέπει να αντέχουν στην υψηλή τάση. Επίσης, επειδή έχει μεγάλο ρεύμα βραχυκύκλωσης πρέπει ο αυτομετασχηματιστής να προστατεύεται με πηνία.

Επιγραμματικά, μπορούμε να αναφέρουμε ότι εκτός από τους αυτομετασχηματιστές διακρίνουμε και άλλες κατηγορίες μετασχηματιστών όπως:

- ✓ Μ/Σ διανομής λαδιού,
- ✓ Μ/Σ διανομής μεγάλης ισχύος,
- ✓ Μ/Σ ξηρού τύπου,
- ✓ Μ/Σ διαχωρισμού φάσεων,
- ✓ Μ/Σ φούρνων τόξου συνεχούς ρεύματος,
- ✓ Μ/Σ φούρνων τόξου εναλλασσόμενου ρεύματος,

- ✓ Μ/Σ ανόρθωσης,
- ✓ Μ/Σ έλξεως,
- ✓ Μ/Σ εξορύξεων.

Οι δύο πιο συνήθεις τύποι μετασχηματιστών διανομής που συναντούμε σήμερα σε εφαρμογές είναι: α) οι **μετασχηματιστές ελαίου** και β) οι **μετασχηματιστές ξηρού τύπου**. Πιο συγκεκριμένα, όταν ο μετασχηματιστής είναι κατασκευασμένος για χαμηλές τάσεις τότε το ενεργό μέρος του είναι εκτεθειμένο στον αέρα και λέγεται ξηρός μετασχηματιστής. Δηλαδή, οι μετασχηματιστές ξηρού τύπου ψύχονται με αέρα. Από την άλλη πλευρά, όταν ο μετασχηματιστής είναι κατασκευασμένος για δίκτυα υψηλών τάσεων, το ενεργό μέρος τοποθετείται μέσα σε λέβητα γεμάτο με ειδικό μονωτικό ορυκτέλαιο χωρίς ίχνος υγρασίας (μετασχηματιστές λαδιού). Δηλαδή, οι μετασχηματιστές λαδιού ψύχονται με την κυκλοφορία λαδιού.



Σχήμα 2.2.1.5-4: (α) Μ/Σ διανομής ελαίου, (β) Μ/Σ διανομής ξηρού τύπου

Από όλα τα είδη μετασχηματιστών, οι μετασχηματιστές δοκιμής παρουσιάζουν μια σειρά από διαφορές σε σχέση με τους κοινούς μετασχηματιστές ισχύος. Πιο συγκεκριμένα, οι μετασχηματιστές δοκιμής παρουσιάζουν τα εξής χαρακτηριστικά:

- ⇒ είναι, κατά κύριο λόγο, μονοφασικοί,
- ⇒ έχουν μικρή ονομαστική ισχύ,
- ⇒ η χρήση τους είναι, στο μεγαλύτερο βαθμό, για δοκιμές, ενώ η χρήση των μετασχηματιστών ισχύος είναι συνεχής,
- ⇒ η τάση εξόδου μπορεί να μεταβάλλεται από το μηδέν μέχρι τη μέγιστη τιμή της, κάτι που στους μετασχηματιστές ισχύος είναι σταθερή,
- ⇒ η μόνωση των μετασχηματιστών δοκιμής είναι φτιαγμένη με τέτοιο τρόπο ώστε να αντέχει στη μέγιστη τάση λειτουργίας και αυτό γιατί δεν υφίστανται τις καταπονήσεις των μετασχηματιστών ισχύος, που χρησιμοποιούνται στα δίκτυα,



⇒ ο πυρήνας τους έχει σχετικά μεγαλύτερη διατομή για να περιορίζεται η μαγνητική επαγωγή που διέρχεται από αυτόν, ώστε να μην παραμορφώνεται η τάση λόγω αρμονικών.

### 2.2.1.6 Διακόπτες ισχύος μέσης και υψηλής τάσης

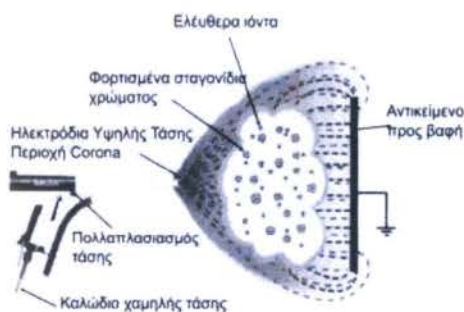
Στα δίκτυα εναλλασσομένου ρεύματος μέσης τάσης (1-22 kV) και υψηλής – υπερυψηλής τάσεως (66-400 kV) οι διακόπτες ταξινομούνται ως εξής:

Πίνακας 2.2.1.6 -1: Είδη διακοπτικού εξοπλισμού

<i>Αποζεύκτες - γειωτές</i>	Οι αποζεύκτες δεν έχουν δυνατότητα διακοπής ή αποκατάστασης αξιόλογου ρεύματος, όμως έχουν μεγάλη απόσταση μεταξύ των επαφών και εξασφαλίζουν (σε συνεργασία με τους γειωτές) ότι ένα κύκλωμα είναι ασφαλές ώστε να εργαστεί προσωπικό σε αυτό. Οι γειωτές είναι διακόπτες με ανάλογα χαρακτηριστικά με τους αποζεύκτες, με τους οποίους αλληλομανδάλωνονται και εξασφαλίζουν ότι όταν ο αποζεύκτης είναι ανοιχτός το κύκλωμα συνδέεται στη γείωση.
<i>Διακόπτες φορτίου</i>	Έχουν δυνατότητα διακοπής μόνο του κανονικού ρεύματος λειτουργίας ενώ μπορούν να κλείσουν χωρίς βλάβη ακόμα κι αν υπάρχει βραχυκύκλωμα. Είναι εφοδιασμένοι με ελατήριο για τη γρήγορη απομάκρυνση των επαφών. Αποτελούν μέσα χειρισμού και χρησιμοποιούνται για χειρισμό ηλεκτροκινητήρων, ζεύξη αναχωρήσιμων γραμμών, συγχρονισμένη σύνδεση ηλεκτρογεννητριών, κλπ..
<i>Διακόπτες ισχύος -αυτόματοι</i>	Οι διακόπτες ισχύος αποτελούν μέσα προστασίας και σπανίως χρησιμοποιούνται για χειρισμούς. Έχουν δυνατότητα ταχείας διακοπής του πολύ μεγάλου ρεύματος που ρέει στα δίκτυα μέσης και υψηλής τάσης σε περίπτωση βραχυκυκλώματος, μέσω ειδικών διατάξεων που σβήνουν το τόξο που σχηματίζεται ανάμεσα στις επαφές τους. Μερικές από τις διατάξεις αυτές είναι η χρήση συνηθισμένων μονωτικών υλικών σε διακόπτες ισχύος όπως είναι ο αέρας, το λάδι, το εξαφθοριούχο θείο (SF <sub>6</sub> ) και το κενό. Η χρήση του SF <sub>6</sub> και του κενού είναι οι δύο πιο μοντέρνες τεχνικές διακοπής για πεδία μέσης τάσης (1-52 kV) και για υψηλές τάσεις (>72,5 kV). Η χρήση μονωτικού λαδιού ακόμα και σήμερα συναντάται σε υψηλές τάσεις μέχρι και 66 kV. Τέλος, η χρήση του ατμοσφαιρικού αέρα έχει σχεδόν πάψει να γίνεται σε διακόπτες ισχύος στη μέση τάση. Παλαιότερα χρησιμοποιούνταν για τάσεις μέχρι και 11 kV. Το πλεονέκτημα που παρουσιάζει ο ατμοσφαιρικός αέρας είναι ότι ανακτά πολύ γρήγορα τις μονωτικές του ιδιότητες και επιπλέον είναι οικονομικός αφού βρίσκεται σε αφθονία.

### 2.2.1.7 Ηλεκτροστατικές βαφές

Οι ηλεκτροστατικές βαφές είναι μια εξαιρετικά υψηλής απόδοσης τεχνολογία για τη βαφή συγκεκριμένων υλικών. Σταγονίδια της βαφής με μικρή διάμετρο διέρχονται μέσα από ισχυρό ηλεκτροστατικό πεδίο όπου και φορτίζονται και κατόπιν επικάθονται στο προς βαφή αντικείμενο που είναι γειωμένο. Ένα τυπικό διάγραμμα ενός τέτοιου ψεκαστήρα ηλεκτροστατικής βαφής φαίνεται παρακάτω.



Σχήμα 2.2.1.7-1: Διαγραμματική απεικόνιση ψεκαστήρα ηλεκτροστατικής βαφής

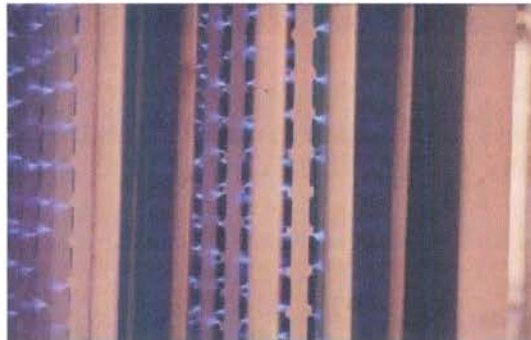
Στον ψεκαστήρα έρχεται ένα καλώδιο χαμηλής τάσης (230 V) και το ρεύμα ανυψώνεται και ανορθώνεται. Έτσι, δημιουργείται μια περιοχή με υψηλό ανομοιογενές πεδίο που δημιουργεί έντονη corona.

Η βαφή η οποία βρίσκεται υπό υψηλή πίεση (40-80 psi) αφού περάσει από ένα ακροφύσιο μετατρέπεται σε σταγονίδια πολύς μικρής διαμέτρου και αυτά διερχόμενα από την περιοχή του ψεκαστήρα με την έντονη corona φορτίζονται. Κατόπιν έλκονται από το γειωμένο μεταλλικό αντικείμενο που πρόκειται να βαφτεί και επικάθονται πάνω σε αυτό. Η απόδοση που έχουν αυτά τα συστήματα βαφής είναι μεγάλη και φτάνει το 75%. Λειτουργούν σε υψηλές συνεχείς τάσεις των 30-150 kV.

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα που έχουν οι ηλεκτροστατικές βαφές είναι ότι εξασφαλίζουν καλύτερη ποιότητα βαφής, είναι πιο οικονομικές στην ποσότητα του χρώματος αλλά έχουν υψηλό κόστος αγοράς και συντήρησης.

### 2.2.1.8 Ηλεκτροστατικά φίλτρα

Μία ακόμη εφαρμογή των υψηλών τάσεων είναι τα ηλεκτροστατικά φίλτρα. Τα φίλτρα αυτά χρησιμοποιούνται για το φιλτράρισμα των αιωρούμενων σωματιδίων στον αέρα. Ο ηλεκτροστατικός διαχωρισμός είναι μία φυσική διαδικασία κατά την οποία ένα σωματίδιο αιωρούμενο σε ένα ρεύμα αέρα φορτίζεται ηλεκτρικά και υπό την επίδραση του ηλεκτρικού πεδίου, διαχωρίζεται από την αέρια μάζα. Το σύστημα που πραγματοποιεί αυτή τη διαδικασία, αποτελείται από μία θετικά φορτισμένη επιφάνεια τοποθετημένη απέναντι από ένα αρνητικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο. Στο ηλεκτρόδιο εκπομπής εφαρμόζεται μία υψηλή συνεχής τάση, από 40 kV έως 100 kV, δημιουργώντας ένα ηλεκτρικό πεδίο ανάμεσα στο ηλεκτρόδιο εκπομπής και στη γειωμένη επιφάνεια. Συνηθέστερα η τάση αυτή είναι αρνητική λόγω της μεγαλύτερης τεχνολογικής ευκολίας που υπάρχει για την επίτευξη και διατήρησή της. Στην άμεση γειτονιά του ηλεκτροδίου εκπομπής (αρνητική τάση) λόγω της μεγάλης κλίσης της τάσης (μεγάλη ένταση ηλεκτρικού πεδίου) τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του αερίου επιταχύνονται, αποκτούν σύντομα υψηλές ταχύτητες και προσκρούουν στα μόρια του αερίου τα οποία και ιονίζουν αποσπώντας από αυτά ηλεκτρόνια. Έτσι στη γειτονιά του ηλεκτροδίου εκπομπής δημιουργείται το φαινόμενο corona (Σχήμα 2.2.1.8-1), που στο σκοτάδι φαίνεται ως αμυδρό μπλε φως, το οποίο αποτελεί πηγή ηλεκτρονίων.



Σχήμα 2.2.1.8-1: Φαινόμενο corona στο ηλεκτρόδιο εκπομπής

Όταν η τάση ανάμεσα στα ηλεκτρόδια αυξηθεί πολύ, μεγαλώνει η έκταση του φαινομένου corona και επομένως ο χώρος όπου συμβαίνει διάσπαση και ιονισμός των αερίων. Η αύξηση του αριθμού των ιόντων στην περίπτωση αυτή, δημιουργεί ένα ιονισμένο μονοπάτι ανάμεσα στα δύο ηλεκτρόδια, με συνέπεια την εμφάνιση σπινθήρα. Όταν στο σύνολο των ηλεκτροδί-

ων του φίλτρου εμφανισθούν σπινθήρες, η απόδοση συλλογής των σωματιδίων μειώνεται δραστικά, ενώ δημιουργούνται ευνοϊκές συνθήκες για ηλεκτρική διάβρωση των ηλεκτροδίων. Συνεπώς η εμφάνιση ηλεκτρικών σπινθήρων μεταξύ ηλεκτροδίου εκπομπής και συλλογής αποτελεί το κριτήριο της μέγιστης επιβαλλόμενης αρνητικής τάσης στο ηλεκτρόδιο εκπομπής.

Οι εφαρμογές που βρίσκουν τα ηλεκτροστατικά φίλτρα έχουν να κάνουν κυρίως με τον καθαρισμό του αέρα σε εσωτερικούς χώρους και για το λόγο αυτό είναι ενσωματωμένο στα συστήματα κλιματισμού, καθώς και για τον περιορισμό της ρύπανσης από τις καμινάδες εργοστασίων (θερμοηλεκτρικά εργοστάσια ΔΕΗ, τσιμεντοβιομηχανίες, κλπ.) καθώς τοποθετούνται σε αυτές για την κατακράτηση της τέφρας.

### 2.2.2 Εφαρμογές των υψηλών τάσεων και επιδράσεις στο περιβάλλον

Σχεδόν το 80% της παραγωγής του εξαφθοριούχου θείου ( $SF_6$ ) χρησιμοποιείται για διάφορες ηλεκτρικές εφαρμογές. Η μηδενική διπολική ροπή του το καθιστά άριστο διηλεκτρικό υγρό σε διακόπτες και αγωγούς υψηλών τάσεων. Η χρήση του σε διακόπτες υψηλών τάσεων αποτρέπει το σχηματισμό ηλεκτρικού τόξου, που καθιστά αναποτελεσματική τη διακοπή και καταστρέφει το διακόπτη λόγω ανάπτυξης υψηλών θερμοκρασιών. Το υπό πίεση  $SF_6$  αντικαθιστά ως μονωτικό υλικό ελαιώδη υλικά, όπως τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCB), τα οποία αποδείχτηκαν ιδιαίτερα επικίνδυνα για το περιβάλλον.



Σχήμα 2.2.2-1: Διακόπτης εξαφθοριούχου θείου ( $SF_6$ )

Μιλώντας πιο γενικά, το SF<sub>6</sub> το εντοπίζουμε εκεί όπου υπάρχουν υψηλές ηλεκτρικές τάσεις π.χ. στους υποσταθμούς υποβιβασμού τάσης και διανομής ηλεκτρικού ρεύματος, στους διακόπτες υψηλής τάσης σαν διηλεκτρικό, στα καλώδια υψηλής τάσης ως μονωτικό, στις γεννήτριες υπερευψηλών τάσεων Van de Graaf. Ακόμη θα το βρούμε στη μεταλλουργία μαγνησίου και αλουμινίου, στη βιομηχανία ημιαγωγών, στη μετεωρολογία σαν αέριο – ιχνηθέτη και στην οφθαλμολογική χειρουργική.

Αλλά τίποτα δεν έρχεται χωρίς κάποιο κόστος: το SF<sub>6</sub> είναι το πιο δραστικό από όλα τα ανθρωπογενή αέρια ως προς τη δυναμικότητα επιδείνωσης του γνωστού ως «φαινόμενο του θερμοκηπίου».

## 3<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### “ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ ΣΤΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ – ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟΚΟΝΙΩΣΗΣ”

#### 3.1 Εισαγωγή υψηλών τάσεων στη τσιμεντοβιομηχανία

Σύμφωνα με την παράγραφο 2.1 που αναφέρθηκε παραπάνω, ένα σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνει τον σταθμό παραγωγής (π.χ. ΔΕΗ), το τμήμα της μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλους καταναλωτές (π.χ. τσιμεντοβιομηχανίες) είτε με τη χρήση μέσης τάσης είτε υψηλής, το τμήμα διανομής που αφορά μόνο τη μέση τάση και τέλος, τους οικιακούς καταναλωτές.



Σχήμα 3.1-1: Εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (ΔΕΗ)

Ωστόσο, η ηλεκτρική ενέργεια που μεταφέρεται από τα εργοστάσια παραγωγής όπως είναι η ΔΕΗ, που είναι σήμερα η μεγαλύτερη εταιρεία παραγωγής και προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα, καταλήγει στα κέντρα κατανάλωσης (π.χ. τσιμεντοβιομηχανίες) μέσω γραμμών υψηλής τάσης (150 kV) και υπερυψηλής τάσης (400 kV).

Τα Κέντρα Υπερυψηλής Τάσεως (ΚΥΤ) αποτελούν τα σημεία σύνδεσης του συστήματος των 400 kV με το σύστημα των 150 kV. Στα κέντρα αυτά, η τάση των 400 kV υποβιβάζεται σε τάση 150 kV και, στη συνέχεια, μέσω υποσταθμών υψηλής τάσης σε τάσεις 66 kV και 20 kV (μέση τάση) με τις οποίες τροφοδοτούνται αντίστοιχα βιομηχανίες και τα αστικά κέντρα ή

διάφορες επαγγελματικές δραστηριότητες. Οι γραμμές αυτές μεταφοράς υψηλής τάσης, που χρησιμοποιούνται σήμερα στον ελλαδικό ηπειρωτικό χώρο είναι κατά κύριο λόγο *εναέριες*.

Οι αγωγοί των εναέριων αυτών γραμμών μεταφοράς κατασκευάζονται συνήθως από χαλκό ή αλουμίνιο. Στις ελληνικές γραμμές μεταφοράς χρησιμοποιούνται αγωγοί αλουμινίου. Οι αγωγοί αυτοί δεν είναι συμπαγείς αλλά αποτελούνται από έναν αριθμό συνεστραμμένων κλώνων για να είναι πιο εύκαμπτοι και να έχουν μεγαλύτερη μηχανική αντοχή. Ωστόσο, για να αυξηθεί η μηχανική αντοχή των αγωγών ενσωματώνονται μέσα στους συνεστραμμένους κλώνους αλουμινίου σύρματα χάλυβα. Ένα γνωστό φαινόμενο που εμφανίζεται στις εναέριες γραμμές από το δίκτυο μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας είναι το *φαινόμενο corona*, το οποίο προκαλεί απώλειες και θόρυβο στα ραδιοφωνικά κύματα.

Με τον όρο «*corona*» εννοούνται οι εκκενώσεις στο στρώμα του αέρα που περιβάλλει τον αγωγό που είναι ορατές κατά τη νύχτα και οι οποίες οφείλονται στο ότι ο αγωγός δεν είναι λείος και καθαρός. Αποτέλεσμα αυτού του φαινομένου είναι να παρατηρούνται απώλειες ισχύος και διάβρωση του αγωγού οι οποίες κυμαίνονται στα 1 με 2 kW/km ενώ σε δυνατή βροχή μπορεί να φτάσουν τα 30 kW/ km. Για τον περιορισμό του φαινομένου αυτού αυξάνεται η διάμετρος των αγωγών ενώ για την αντιμετώπισή του αναπτύχθηκαν οι κοίλοι αγωγοί χαλκού με αυξημένη διάμετρο για ορισμένη αγωγιμότητα και αντοχή.



- α) Τυπικός αγωγός αλουμινίου με ενίσχυση χάλυβα  
 β) Κοίλος αγωγός χαλκού  
 γ) Κοίλος αγωγός χαλκού με διαμήκη αγωγή δοκό

**Σχήμα 3.1-2:** Αγωγοί γραμμών μεταφοράς

Στους μεγάλους καταναλωτές που είναι συνήθως μεγάλες βιομηχανίες με αυξημένες ενεργειακές απαιτήσεις (π.χ. τσιμεντοβιομηχανίες, χαλυβουργία, εργοστάσια, κλπ.) μεταφέρεται ενέργεια σε αυτούς με μέση ή υψηλή τάση μέσω των παραπάνω εναέριων γραμμών μεταφοράς από το δίκτυο της ΔΕΗ.

### 3.2 Εφαρμογές υψηλών τάσεων στη τσιμεντοβιομηχανία

Σε συγκεκριμένη τσιμεντοβιομηχανία γίνεται μεταφορά υψηλής εναλλασσόμενης τάσης (150 kV) από το δίκτυο της ΔΕΗ στο κεντρικό υποσταθμό της. Στη συνέχεια, η τάση αυτή περνά μέσα από αποζεύκτες – γειωτές, οι οποίοι ελέγχουν την παροχή του ηλεκτρικού ρεύματος στην εγκατάσταση ή σε ένα μέρος της από το δίκτυο ηλεκτροδότησης. Ελέγχουν ταυτόχρονα όλες τις φάσεις που χρησιμοποιούνται σε αυτό το μέρος της εγκατάστασης. Συνήθως αμέσως μετά τους αποζεύκτες για το συγκεκριμένο δίκτυο τοποθετείται ασφάλεια 400 Α. Υπάρχουν και περιπτώσεις όπου αυτά τα δύο εξαρτήματα (αποζεύκτης – ασφάλεια) είναι συνενωμένα σε έναν ασφαλειοαποζεύκτη, ή για σχετικά μικρότερες τάσεις σε μικροαυτόματο.

Αμέσως μετά τους αποζεύκτες – γειωτές βρίσκονται οι μετασχηματιστές τάσεως και οι μετασχηματιστές έντασης από τους οποίους περνάει η τάση και φτάνει στους διακόπτες ισχύος κενού της τάξεως των 150 kV. Γενικότερα, οι διακόπτες ισχύος διαθέτουν ισχυρότατο ελατήριο το οποίο εξασφαλίζει την ταχεία απομάκρυνση των επαφών εντός ελάχιστου χρόνου, κάτω των 5 ms. Ανοίγουν και κλείνουν το κύκλωμα σε οποιοσδήποτε συνθήκες λειτουργίας, δηλαδή τόσο σε κανονικές συνθήκες όσο και σε βραχυκύκλωμα. Χρησιμοποιούνται ευρύτατα σε βιομηχανίες διότι έχουν μεγάλο χρόνο ζωής, είναι οικονομικοί, έχουν μηδενική πιθανότητα πυρκαγιάς και δεν εκπέμπουν αέρια κατά τη λειτουργία τους.

Στη συνέχεια, η τάση καταλήγει στον πρώτο υποσταθμό (ΥΠ. Νο1) της τσιμεντοβιομηχανίας ο οποίος αποτελείται από τρεις μετασχηματιστές ισχύος (ελαίου). Στην είσοδό τους (πρωτεύον τύλιγμα) δέχονται τάση εισόδου δικτύου 150 kV και στην έξοδό τους (δευτερεύον τύλιγμα) μετασχηματίζουν – υποβιβάζουν την τάση σε 20 kV. Ο ΥΠ. Νο1 διαχωρίζεται στους εξής τρεις μετασχηματιστές:

- 1) τον **Βόρειο Μ/Σ** με τεχνικά χαρακτηριστικά 150/20 kV – 20/25 MVA,
- 2) τον **Μεσαίο Μ/Σ** με τεχνικά χαρακτηριστικά 150/20 kV – 20/25 MVA και
- 3) το **Νότιο Μ/Σ** με τεχνικά χαρακτηριστικά 150/20 kV – 40/50 MVA.





Σχήμα 3.2-1: Μετασχηματιστής ισχύος 150/20 kV – 20/25 MVA

Ο μετασχηματιστής είναι μια ηλεκτρική μηχανή με σταθερά μέρη. Έχει δύο πηνία για κάθε φάση, τα οποία είναι μεταξύ τους ηλεκτρικά ανεξάρτητα και μαγνητικά συζευγμένα. Το τυλίγμα που τροφοδοτούμε ονομάζεται «πρωτεύον» και αυτό από το οποίο παίρνουμε την ηλεκτρική ενέργεια με μετασχηματισμένη τάση το ονομάζουμε «δευτερεύον». Σε μετασχηματιστές υψηλής τάσης ο πυρήνας με τα τυλίγματα τοποθετούνται μέσα σε δοχείο που γεμίζεται με λάδι το οποίο είναι ειδικό λάδι μετασχηματιστών και συνήθως είναι ορυκτέλαιο ή συνθετικό λάδι.

Μπορούμε να πούμε ότι τα βασικά μέρη ενός μετασχηματιστή ισχύος είναι τα ακόλουθα:

- i. το δοχείο που περικλείει τον πυρήνα, τα τυλίγματα και το λάδι ψύξης του μετασχηματιστή. Όταν τα τυλίγματα του μετασχηματιστή διαρρέονται από ρεύμα εκλύεται κατά το γνωστό φαινόμενο Joule θερμότητα. Έτσι έχουμε μία απώλεια ενέργειας από το χαλκό των τυλιγμάτων. Ωστόσο, θερμότητα εκλύεται επίσης και από τον πυρήνα λόγω κυκλοφορίας μέσα σε αυτόν των δινορευμάτων. Η θερμότητα που εκλύεται από το σίδηρο του πυρήνα πρέπει να αποβάλλεται στο περιβάλλον για να μην πλησιάζει η θερμοκρασία του μετασχηματιστή σε επικίνδυνα όρια. Το μονωτικό λάδι είναι αυτό που λειτουργεί σαν ψυκτικό μέσο και μονωτικό υλικό.
- ii. τους μονωτήρες υψηλής και μέσης τάσης που χρησιμεύουν για την ασφαλή διέλευση του ρεύματος υψηλής τάσης. Είναι συνήθως τύπου πυκνωτή και το εσωτερικό τους αποτελείται από μονωτικό υλικό, συνήθως χαρτί, στο οποίο έχουν παρεμβληθεί κύλινδροι από φύλλα κασιτέρου ή αλουμινίου. Με τον τρόπο αυτό από τον αγωγό διέλευσης μέχρι το σώμα του μετασχηματιστή παρεμβάλλεται μία σειρά από πυκνωτές ίσης χωρητικότητας. Σκοπός των πυκνωτών αυτών είναι η ομαλή κατανομή της τάσης σε

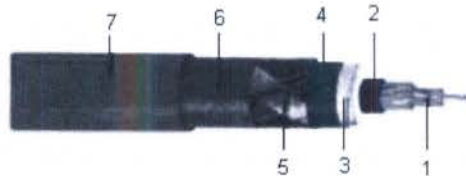
όλο το πάχος του μονωτικού για να μην καταπονούνται ηλεκτρικά ορισμένα τμήματα της μόνωσης.

- iii. το δοχείο διαστολής το οποίο χρησιμεύει για να δέχεται την αύξηση του όγκου του λαδιού όταν αυτό θερμαίνεται κατά τη λειτουργία του μετασχηματιστή.
- iv. το ψυγείο του λαδιού που χρησιμεύει για τη ψύξη του λαδιού.
- v. την ασφαλιστική διάταξη Buchholtz η οποία τοποθετείται μεταξύ δοχείου διαστολής και του σώματος του μετασχηματιστή.

Πιο συγκεκριμένα, από τον ΥΠ. Νο1 και τους τρεις μετασχηματιστές ισχύος αναχωρεί το δίκτυο διανομής μέσης τάσης με τη χρήση υπόγειων καλωδίων μέσης τάσης της τάξεως των 20 kV προς τους υποσταθμούς χαμηλής τάσης.

Τα καλώδια μέσης τάσης, ειδικότερα, περιβάλλονται από ένα γειωμένο αγωγό, σκοπός του οποίου είναι να απομονωθούν οι υπό τάση αγωγοί, έτσι ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος να τεθούν υπό τάση τμήματα καλωδίων της εγκατάστασης. Ο παράγοντας που καθορίζει το μέγεθος της διατομής του καλωδίου μέσης τάσης είναι η αντοχή του στο προσδοκώμενο σε εκείνο το σημείο ρεύμα βραχυκύκλωσης.

Ο υπολογισμός των ρευμάτων βραχυκύκλωσης είναι ιδιαίτερα επίπονος και είναι συνάρτηση διαφόρων παραγόντων όπως το είδος του βραχυκυκλώματος (μονοφασικό, διφασικό, τριφασικό), το είδος της πηγής τροφοδοσίας (ΔΕΗ) και η ενδεχόμενη ύπαρξη μεγάλων κινητήρων στο φορτίο. Ένας από τους συνήθεις τύπους καλωδίων μέσης τάσης που χρησιμοποιούνται σε υποσταθμούς είναι το N(A)2XSY με μόνωση από δικτυωμένο πολυαιθυλένιο και μανδύα από PVC.



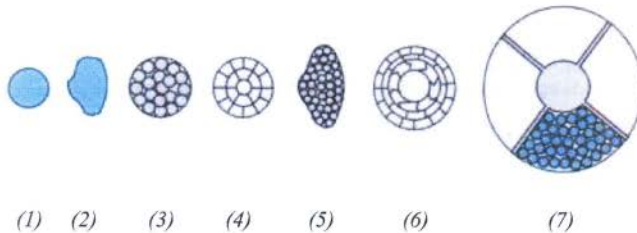
- 1) Πολύκλωνος στρογγυλός αγωγός χαλκού ή αλουμινίου
- 2) Εσωτερικό ημιαγωγίμο στρώμα XLPE
- 3) Μόνωση XLPE
- 4) Εξωτερικό ημιαγωγίμο στρώμα XLPE
- 5) Ηλεκτρική θωράκιση από σύρματα χαλκού (ελικοειδή τύλιγμα)
- 6) Πλαστική ταινία
- 7) Εξωτερικός μανδύας PVC

**Σχήμα 3.2-2:** Αγωγός καλωδίου χαλκού ή αλουμινίου

Γενικότερα, κατά την κατασκευή ενός καλωδίου πρέπει να καταβάλλεται μεγάλη φροντίδα ώστε η μόνωση να είναι τέλεια σε όλο το μήκος του. Η μόνωση είναι συνήθως χαρτί εμποτισμένο με λάδι ή παχύρρευστη μάζα, PVC, PE, XLPE, κτλ.. Το μονωτικό και το πάχος του προσδιορίζει την ηλεκτρική αντοχή του καλωδίου σε τάση, αλλά και την επιτρεπόμενη ένταση του ρεύματος φόρτισης του αγωγού. Η εκλογή της μόνωσης γίνεται ανάλογα με την εφαρμογή, λαμβάνοντας υπόψη τις ηλεκτρικές, θερμικές και μηχανικές ιδιότητες, καθώς και τη δυνατότητα εύκολης εγκατάστασης του καλωδίου, σε σχέση με την ευκαμψία του ή τη μηχανική αντοχή του. Διακρίνονται σε καλώδια αλουμινίου ή χαλκού.

Τα υπόγεια καλώδια χρειάζονται στα σημεία τερματισμού των εναέριων συστημάτων, σχηματίζοντας τη τελική διασύνδεση προς τους υποσταθμούς ή προς άλλο εξοπλισμό και είναι συνήθως μικρού μήκους. Θάβονται κατευθείαν στο έδαφος ή εγκαθίστανται σε υπάρχοντες σωλήνες.

Όταν πρόκειται για *καλώδια εναλλασσόμενης τάσης*, που στη συγκεκριμένη περίπτωση μας αφορούν για τη συγκεκριμένη βιομηχανική εγκατάσταση, επιβάλλεται η εγκατάστασή τους σε σωλήνες. Υπόκεινται σε θερμοκρασίες με μεγάλες διακυμάνσεις από  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  έως  $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Περιέχουν σταθερά μέρη, μεταλλικά ή διηλεκτρικά για την εξασφάλιση της απαραίτητης αντοχής, ράβδους ενισχυμένου πλαστικού και συνθετικού υλικού μεγάλης αντοχής. Ειδική θωράκιση απαιτείται όταν χρησιμοποιείται μεταλλικό στοιχείο, για την αποφυγή καταστροφών από ρεύματα σφαλμάτων γείωσης.



- 1) Πλήρης στρογγυλή διατομή
- 2) Πλήρης κυκλικός τομέας
- 3) Πολύκλωνη στρογγυλή διατομή
- 4) Πολύκλωνη στρογγυλή συμπίεσμένη διατομή
- 5) Πολύκλωνος κυκλικός τομέας
- 6) Πολύκλωνη στρογγυλή διατομή συμπίεσμένη με κανάλι ψύξης
- 7) Διατομή με επιμέρους τομείς μονωμένους, για μείωση του επιδερμικού φαινομένου, με κανάλι ψύξης στο κέντρο

**Σχήμα 3.2-3:** Διάφοροι τύποι διατομών αγωγών καλωδίων

Στη συνέχεια, από το πεδίο μέσης τάσης του ΥΠ. Νο1 και πιο συγκεκριμένα, από το **Βόρειο Μ/Σ** η τάση καταλήγει στο πεδίο διανομής των 20 kV με τη χρήση υπόγειων καλωδίων όπως προαναφέρθηκε πιο πάνω, και ειδικότερα στον ΥΠ. Νο3. Ο **Μεσαίος Μ/Σ** (ΥΠ. Νο1) τροφοδοτεί τους ΥΠ. Νο2 και ΥΠ. Νο6. Ο **Νότιος Μ/Σ** (ΥΠ. Νο1) τροφοδοτεί τους ΥΠ. Νο4 και ΥΠ. Νο5. Στους ΥΠ. Νο2, Νο3, Νο4, Νο5, Νο6 εισέρχεται τάση από το πεδίο μέσης τάσης του ΥΠ. Νο1 της τάξεως των 20 kV και εξέρχεται από αυτούς, μέσω Μ/Σ χαμηλής τάσης, τάση της τάξεως των 0,4 kV και 6 kV.

Από το πεδίο χαμηλής τάσης τροφοδοτούνται κινητήρες μέσης τάσης (με χρήση εκκινητή υγρού τύπου που απαιτεί μόνο μέση τάση) και ολόκληρη η υπόλοιπη εγκατάσταση της βιομηχανίας. Πριν τους ΥΠ. Νο2, Νο3, Νο4, Νο5, Νο6 σταματάει η υψηλή τάση και μετά από αυτούς ξεκινάει η μέση - χαμηλή τάση η οποία τροφοδοτεί όλους τους υπόλοιπους κινητήρες - ηλεκτρικές μηχανές - γεννήτριες - πρώτες ύλες (σπαστήρες) - σακκόφιλτρα - μύλους χώματος - μύλους τσιμέντου - μύλους φαρίνας - κλιβάνους και ενσάρκιση (τελική μορφή παραγωγής τσιμέντου).

Από την άλλη πλευρά, τα ηλεκτροστατικά φίλτρα (που χρησιμοποιούνται σε πολύ μεγάλο βαθμό στη τσιμεντοβιομηχανία) απαιτούν τη χρήση υψηλής τάσης.

### 3.3 Εισαγωγή στα συστήματα αποκονίωσης

#### 3.3.1 Γενικά περί αποκονίωσης

Γενικά, στη τσιμεντοβιομηχανία από την εξόρυξη μέχρι και την εξαγωγή του τσιμέντου το προϊόν δέχεται μεταβολές και μεταφέρεται σε μορφή σκόνης. Η δημιουργία σκόνης είναι αναπόφευκτη σε όλες τις διαδικασίες της παραγωγής τσιμέντου. Για να εμποδιστεί η διαφυγή της σκόνης στο περιβάλλον λειτουργούν οι διάφορες εγκαταστάσεις της τσιμεντοβιομηχανίας σε υποπίεση πράγμα που έχει σαν αποτέλεσμα τη διακίνηση μεγάλων ποσοτήτων αέρα ή αερίων. Όλες αυτές οι ποσότητες αέρα ή αερίων καθαρίζονται με διατάξεις αποκονιώσεως.

Κύριος σκοπός του καθαρισμού του σκονερού αέρα πριν αυτός βγει στην ατμόσφαιρα είναι:

- α) το ότι η σκόνη ξαναεπιστρέφει στην παραγωγική διαδικασία για πάρα πέρα χρησιμοποίηση και
- β) το ότι στις περισσότερες χώρες τα επιτρεπτά όρια των εκπομπών σκόνης στην ατμόσφαιρα είναι αυστηρά.

Από τα πλέον απαραίτητα στοιχεία για τη μελέτη μιας εγκατάστασης αποκονιώσεως είναι η παρεχόμενη σκόνη του αέρα αλλά και η απαιτούμενη ποσότητα του αέρα. Αυτά τα στοιχεία

αποκτούνται από την πείρα στη τσιμεντοβιομηχανία. Η ποσότητα σκόνης που δημιουργείται στις διάφορες διαδικασίες δίνεται στον Ευρωπαϊκό χώρο σε  $\text{gr}/\text{Nm}^3$  αέρα. Η ποσότητα αέρα ή αερίων που πρέπει ν' απορροφηθούν από τις διάφορες πηγές ρυπάνσεως για ν' αποκονιωθούν δίνεται σε  $\mu^3/\mu\text{ν}$ .

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι εκφράσεως των προδιαγραφών για την προστασία του περιβάλλοντος. Ο πλέον διαδεδομένος είναι αυτός που εκφράζεται σε  $\text{mg}/\text{nm}^3$  των εκπεμπόμενων αερίων. Για την Ελλάδα σύμφωνα με το τελευταίο Π.Δ. 1180 της 6/10/1981 τα επιτρεπόμενα όρια εκπομπών είναι  $150 \text{ mg}/\text{nm}^3$  για τις παλαιές εγκαταστάσεις και  $100 \text{ mg}/\text{nm}^3$  για τις νέες (μετά την ισχύ του παραπάνω Π.Δ.). Επίσης πρέπει να αναφέρουμε εδώ ότι επειδή σε μία τσιμεντοβιομηχανία η κυριότερη πηγή ρύπανσης είναι ο περιστροφικός κλίβανος, έχει την περισσότερη επιτήρηση για εφαρμογή των προδιαγραφών. Σε αντίθεση λοιπόν με τις άλλες εκπομπές (μύλων, θραυστήρων, κλπ.) οι εκπομπές των περιστροφικών κλιβάνων ελέγχονται με όργανα συνεχούς μετρήσεως περιεκτικότητας σε σκόνη των καυσαερίων επί 24ώρου βάσεως και συγχρόνως καταγράφονται για να υπάρχουν στο αρχείο.



*Σχήμα 3.3.1-1: Το πρόβλημα σκόνης σε βαριά βιομηχανία*

Στη τσιμεντοβιομηχανία παρατηρούνται κυρίως τα ακόλουθα είδη σκόνης:

- ✓ σκόνη πρώτων υλών (π.χ. σκόνη από ασβεστόλιθο, μάρμαρες, αργιλόχωμα, σκουριά,
- ✓ σκόνη φαρίνας,

- ✓ σκόνη άνθρακα,
- ✓ σκόνη κλιβάνου,
- ✓ σκόνη κλίνκερ,
- ✓ σκόνη γύψου,
- ✓ σκόνη τσιμέντου, κτλ..

Με εξαίρεση τη σκόνη του κλιβάνου όλες οι υπόλοιπες σκόνες που αναφέρθηκαν παραπάνω έχουν την ίδια χημική σύσταση με αυτή του αρχικού υλικού.

### 3.3.2 Ορισμός αποκονίωσης – Είδη αποκονιωτών

Σε γενικές γραμμές, η διαδικασία της αποκονίωσης είναι εκείνο το κεφάλαιο της τεχνολογίας που ασχολείται με τη συγκράτηση της σκόνης, που υπάρχει στα αέρια, που δημιουργούνται στις διάφορες διεργασίες στη βιομηχανία γενικότερα και στη τσιμεντοβιομηχανία ειδικότερα.

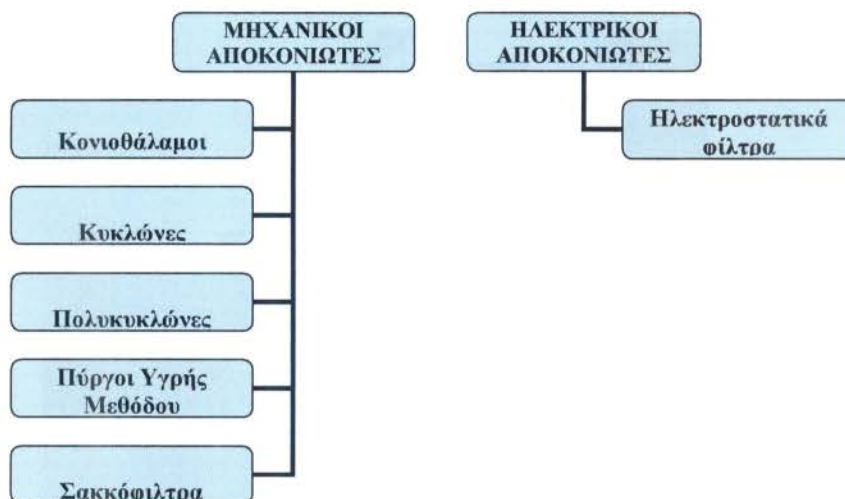
Η διαδικασία της αποκονίωσης έχει διπλή κυρίως σκοπιμότητα:

- γίνεται για λόγους περιβαλλοντικούς (δηλαδή, γίνεται για την απαλλαγή του περιβάλλοντος από τη σκόνη) και
- γίνεται για λειτουργικούς και οικονομικούς λόγους.

Τα διάφορα μέσα που χρησιμοποιούνται για την κατακράτηση της σκόνης αποκαλούνται αποκονιωτές. Οι αποκονιωτές διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- ⇒ **στους μηχανικούς αποκονιωτές**, όπου η λειτουργία τους βασίζεται στην εκμετάλλευση όλων των χαρακτηριστικών της σκόνης (π.χ. το βάρος, το μέγεθος, το σχήμα, η υγροσκοπικότητα, κτλ.). Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι κονιοθάλαμοι (θαλαμοί κατακαθίσεως), οι κυκλώνες (φυγοκεντρικοί αποκονιωτές), οι πολυκυκλώνες, οι πύργοι υγρής μεθόδου και τα σακκόφιλτρα.
- ⇒ **στους ηλεκτρικούς αποκονιωτές**, όπου η λειτουργία τους βασίζεται στην ηλεκτρική φόρτιση που μπορεί να δημιουργηθεί πάνω στα σωματίδια της σκόνης. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα ηλεκτροστατικά φίλτρα (electrostatic precipitators).

Η παραπάνω κατηγοριοποίηση των αποκονιωτών φαίνεται διαγραμματικά στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 3.3.2-1: Διάγραμμα κατηγοριών αποκονιωτών

Στη τσιμεντοβιομηχανία γενικότερα χρησιμοποιούνται σχεδόν όλες οι κατηγορίες μηχανικών και ηλεκτρικών αποκονιωτών. Οι μηχανικοί αποκονιωτές κυκλώνες και κονιοθάλαμοι ενώ παλαιότερα χρησιμοποιούνταν σαν κανονικοί αποκονιωτές, σήμερα χρησιμοποιούνται σαν προαποκονιωτές ή παίρνουν μέρος στην παραγωγική διαδικασία. Οι κυκλώνες χρησιμοποιούνται σήμερα κυρίως για λειτουργικούς σκοπούς.

Οι κανονισμοί για την προστασία του περιβάλλοντος έχουν καθιερώσει το σακκόφιλτρο στην κατηγορία των μηχανικών αποκονιωτών και τα ηλεκτρόφιλτρα στους ηλεκτρικούς αποκονιωτές. Οι αποκονιωτές κρίνονται σύμφωνα με το βαθμό απόδοσης. Σημαντικό στοιχείο δηλαδή, για την εκλογή του αποκονιωτή είναι η καθαρότητα που πρέπει να έχει ο αέρας όταν βγαίνει από τον αποκονιωτή.

Η σχέση σε βάρος σκόνης, που κράτησε ο αποκονιωτής με το βάρος σκόνης που μπαίνει στον αποκονιωτή αποκαλείται «βαθμός απόδοσης» ή «κατακράτησης» του αποκονιωτή και εκφράζεται με τη σχέση:

$$\text{«Βαθμός απόδοσης» (\%)} = \frac{\text{Βάρος σκόνης που συγκράτησε}}{\text{Βάρος σκόνης που μπήκε στον αποκονιωτή}}$$

Για παράδειγμα, εάν από τα 100 gr σκόνης που εισέρχονται στον αποκονιωτή κατακρατούνται τα 95 gr τότε ο βαθμός αποδόσεως του αποκονιωτή είναι 95%. Η πτώση (αντίσταση ή απώλεια) πίεσεως των αποκονιωτών μετράται σε mm στήλης ύδατος (mm H<sub>2</sub>O).



*Σχήμα 3.3.2-2: Ολοκληρωμένο σύστημα αποκονίωσης εργοστασίου*

Στη συνέχεια, θα γίνει ανάλυση του κάθε τύπου αποκονιωτή χωριστά με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους.

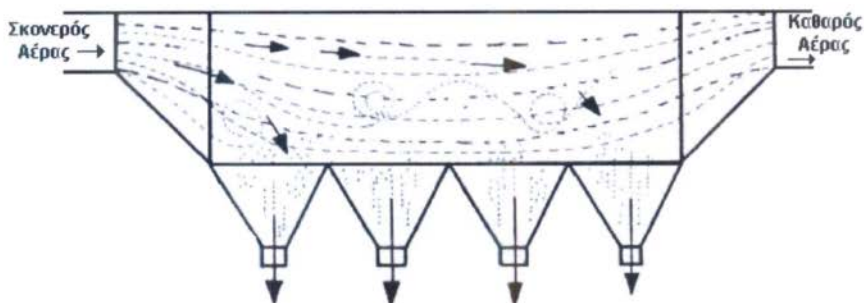
### 3.3.3 Μηχανικοί αποκονιωτές

#### 3.3.3.1 Κονιοθάλαμοι

**Κονιοθάλαμος** είναι ένας θάλαμος μεγάλων διαστάσεων, στον οποίο κατακάθεται η σκόνη. Πριν από τον κονιοθάλαμο υπάρχει ένας αγωγός εισόδου μέσα από τον οποίο περνάει ο προς αποκονίωση αέρας. Στον αγωγό εισόδου ο αέρας έχει τέτοια ταχύτητα που είναι ικανή να παρασύρει την σκόνη. Μπαίνοντας ο ακάθαρτος αέρας στον κονιοθάλαμο χάνει την αρχική του ταχύτητα, με αποτέλεσμα η σκόνη ως βαρύτερη αποχωρίζεται και κατακάθεται. Ο τρόπος λειτουργίας των κονιοθαλάμων στηρίζεται στην αρχή της πτώσεως, της ταχύτητας των αερίων, πράγμα που επιφέρει την κατακρήμνιση της σκόνης. Με σκοπό την αλλαγή της διευθύν-



σεως του αερίου που βελτιώνει την κατακρήμνιση των σωματιδίων τοποθετούνται πολλές φορές και εμπόδια.



Σχήμα 3.3.3.1-1: Σχήμα κωνιοθαλάμου (σκόνη που κατακάθισε)

Αυτό βελτιώνει, σε σημαντικό βαθμό, τον βαθμό αποδόσεως του κωνιοθαλάμου. Οι κωνιοθάλαμοι είναι λόγω της απλής κατασκευής τους οι πιο φθηνοί αποκονιωτές, αλλά ταυτόχρονα έχουν και τον πιο χαμηλό βαθμό αποδόσεως.

Σε σημαντικό βαθμό, κατακρατούνται μόνο χονδρόκοκκα σωματίδια. Για κατακράτηση πιο λεπτών σωματιδίων, π.χ. της περιοχής των 20μ, απαιτούνται μεγάλοι κωνιοθάλαμοι με ένα μήκος περίπου 35Μ. Χρησιμοποιούμενος ο κωνιοθάλαμος σε τυπική τσιμεντόσκηνη έχει βαθμό αποδόσεως 30-70%.

Οι κωνιοθάλαμοι χρησιμοποιήθηκαν στο παρελθόν στη τσιμεντοβιομηχανία εκτενώς. Σπάνια όμως σαν μεμονωμένα εξαρτήματα. Συνήθως χρησιμοποιούνταν ως ενσωματωμένοι σε άλλα μηχανήματα. Σήμερα χρησιμοποιούνται μόνο για προαποκονίωση πριν από έναν καλύτερο αποκονιωτή όπως για παράδειγμα, σακκόφιλτρα ή ηλεκτρόφιλτρα.

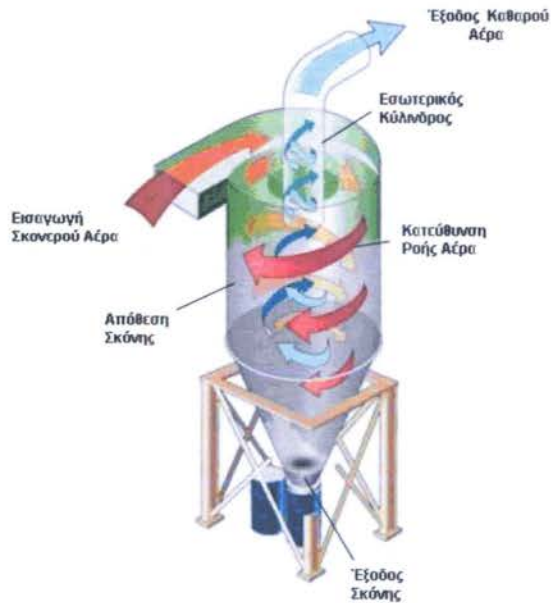
### 3.3.3.2 Κυκλώνες

Ένας *κυκλώνας* αποτελείται βασικά από 2 μέρη:

- από ένα κυλινδρικό μέρος και
- από ένα κωνικό μέρος.

Το αέριο που πρέπει να καθαριστεί μπαίνει εφαπτομενικά στο πάνω μέρος του κυλινδρικού μέρους και κινείται σπειροειδώς στα τοιχώματα του κυκλώνα προς τα κάτω, μέχρι το κάτω μέρος του κωνικού μέρους. Από εκεί το αέριο ακολουθεί το εσωτερικό μέρος του κυκλώνα όπου πάλι σπειροειδώς κινείται προς τα πάνω μέχρι τον σωλήνα εξαγωγής. Η φυγόκε-

ντρος δύναμη επενεργεί έτσι ώστε τα σωματίδια να κάθονται στα τοιχώματα και κάτω από την επίδραση της βαρύτητας, καθώς και από την επίδραση της εξωτερικής σπειροειδούς κίνησης των αερίων οδηγούνται προς τα κάτω.



Σχήμα 3.3.3.2-1: Αρχή λειτουργίας κυκλώνα

Τα περισσότερα σωματίδια πέφτουν σε ένα χώρο απ' όπου απομακρύνονται με ένα φράκτη ή ένα κοχλία. Η ανερχόμενη σπειροειδής κίνηση των αερίων είναι απαλλαγμένη χονδρόκοκκης σκόνης εκτός μιας μικρής ποσότητας σωματιδίων λεπτής κοκκομετρικής σύστασης. Η εσωτερική δίνη πιάνει μόνο ένα μικρό μέρος της διατομής του κυκλώνα. Γύρω απ' αυτή την εσωτερική δίνη δημιουργείται σε σχήμα κυλίνδρου η ουδέτερη ζώνη. Εάν η ουδέτερη ζώνη είναι ευρεία, τότε ένα μέρος της σκόνης συμπαρασύρεται από τα αέρια.

Όσο μεγαλύτερη λοιπόν, είναι η διαδρομή που πρέπει να διανύσει ένα σωματίδιο για να φθάσει στο οριακό στρώμα, τόσο λιγότερα σωματίδια κατακρατούνται στον κυκλώνα. Με λίγα λόγια, ο βαθμός αποδόσεως ενός κυκλώνα είναι αντιστρόφως ανάλογος προς τη διάμετρό του.



Σχήμα 3.3.3.2-2: Κυκλώνες υψηλής απόδοσης

Ο βαθμός κατακράτησης της σκόνης του κυκλώνα εξαρτάται, σε σημαντικό βαθμό, από:

- ✦ το μέγεθος της σκόνης: Όσο πιο μεγάλη και πιο βαριά είναι η σκόνη, τόσο αυξάνεται η κατακράτηση.
- ✦ τη ταχύτητα εισόδου του αερίου μίγματος στον κυκλώνα: Όσο αυξάνεται η ταχύτητα, αυξάνεται η κατακράτηση.
- ✦ τη διάμετρο του κυκλώνα: Όσο πιο μικρή είναι η διάμετρος, τόσο αυξάνεται η κατακράτηση.
- ✦ την περιεκτικότητα της σκόνης στον προς αποκονίωση αέρα: Όσο μεγαλώνει η περιεκτικότητα, αυξάνεται η κατακράτηση.

Ο «βαθμός κατακράτησης» επηρεάζει την εκλογή του κυκλώνα.

Οι κυκλώνες χρησιμοποιούνται στη τσιμεντοβιομηχανία για την αποκονίωση κλιβάνων, ψυχαντήρων κλίνκερ, θραυστήρων, ξηραντηρίων μύλων, εγκαταστάσεων μεταφοράς, κλπ. Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί πριν από το σακκόφιλτρο ή το ηλεκτρόφιλτρο για μεγαλύτερη κατακράτηση της σκόνης.

Οι κυκλώνες ανήκουν στους φθηνούς αποκονιωτές. Δεν έχουν κινητά μέρη και μπορούν να επενδυθούν με πυρίμαχο υλικό για να αντέχουν σε υψηλές θερμοκρασίες μέχρι 975 °C. Υπάρχουν διάφορες κατασκευές κυκλώνων, όλες όμως εργάζονται με την ίδια αρχή της συγκράτησης της σκόνης με τη φυγόκεντρο δύναμη.

### 3.3.3.3 Πολυκυκλώνες

Η αρχή λειτουργίας του *πολυκυκλώνα* είναι ακριβώς ίδια μ'αυτήν του κυκλώνα. Η διαφορά είναι ότι, στον πολυκυκλώνα έχουμε πάρα πολλούς όμοιους κυκλώνες, ώστε το ποσοστό κατακράτησης να είναι μεγαλύτερο από εκείνο του συμβατικού κυκλώνα. Χαρακτηριστικό των κυκλώνων είναι ότι πρέπει να εργάζονται στο μέγιστο των αποδόσεών τους. Μικρή υποφόρτιση σημαίνει ελάττωση του βαθμού κατακράτησης.



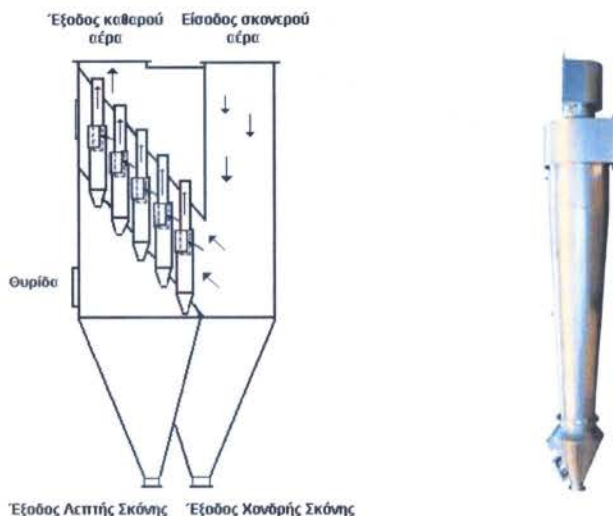
*Σχήμα 3.3.3.3-1: Πολυκυκλώνες*

Ωστόσο και οι κυκλώνες και οι πολυκυκλώνες βασίζονται στη φυγόκεντρο δύναμη που αποκτούν τα σωματίδια της σκόνης κατά την περιστροφή του αερίου μίγματος (αέρα προς αποκονίωση).

Αυτοί οι φυγόκεντροι αποκονιωτές χρησιμοποιούνται:

- ✦ Στην περίπτωση χονδρόκοκκης σκόνης, που δεν μας ενδιαφέρει η μεγάλη κατακράτηση (π.χ. προθερμαντές).
- ✦ Στις υψηλές θερμοκρασίες αερίων.
- ✦ Στο διαχωρισμό μεγάλων ποσοτήτων σκόνης (IV βαθμίδα προθερμαντών).
- ✦ Για χονδρόκοκκη σκόνη που μπορεί να δημιουργήσει φθορά σε ανεμιστήρες, σακκόφιλτρα (Σ/Φ), ηλεκτροφίλτρα (Η/Φ).

- Σε πνευματικές μεταφορές, σαν διαχωριστής του μεταφερόμενου υλικού, από τον αέρα.



*Σχήμα 3.3.3.3-2: Σύστημα αποκονίωσης με πολυκυκλώνα*

Ο βαθμός αποδόσεως των πολυκυκλώνων βρίσκεται στην περιοχή 85-94% για σωματίδια μεγαλύτερα των 15-20mm διαμέτρου με πτώση πίεσεως 130-180MM H<sub>2</sub>O. Ένα μειονέκτημα των πολυκυκλώνων είναι το βούλωμα (μπούκωμα) των μικρών σωλήνων.

#### 3.3.3.4 Πύργοι Υγρής Μεθόδου

Αυτή η κατηγορία των αποκονιωτών χρησιμοποιείται εκεί που υπάρχει λίγη σκόνη. Το βασικό τους όμως πρόβλημα είναι η διάθεση της λάσπης που παράγεται από τη λειτουργία. Αυτή η εγκατάσταση, τις πιο πολλές φορές, κοστίζει σαν εγκατάσταση και σαν λειτουργία, περισσότερο από την αξία του ίδιου του αποκονιωτή. Στη τσιμεντοβιομηχανία ο συγκεκριμένος αποκονιωτής δεν έχει μεγάλες δυνατότητες εφαρμογής.



Σχήμα 3.3.3.4-1: Σύστημα αποκονίωσης με πύργους υγρής μεθόδου

### 3.3.3.5 Σακκόφιλτρα

Τα *σακκόφιλτρα* είναι το πιο διαδεδομένο μέσο αποκονίωσης στη βιομηχανία. Η ονομασία του αποκονιωτή δόθηκε από το σχήμα των φίλτρων. Τα φίλτρα αυτά είναι κατασκευασμένα από υφάσματα διαφόρων ποιοτήτων και πάχους, ανάλογα με την περίπτωση που θα χρησιμοποιηθούν, ραμμένα σε διάφορα σχήματα (σωληνωτά, τυφλά στο ένα μέρος σαν μαξιλαροθήκες, κλπ.).

- **Φίλτρα υφαντών μέσων (διήθηση):** Τα χρησιμοποιούμενα υφαντά φίλτρα στη τσιμεντοβιομηχανία είναι συνήθως σακκόφιλτρα (Σ/Φ) με φιλτρόσακκους διαμέτρου μέχρι 200mm και μήκος 10M. Οι φιλτρόσακκοι είναι από ύφασμα ή κετσέ που κατασκευάζεται από φυσικές ή συνθετικές ίνες. Τα υφαντά φίλτρα μπορούν να κατακρατήσουν σωματίδια τα οποία είναι μικρότερα από 1μm και εργάζονται με βαθμό αποδόσεως μέχρι 99,95%. Ανάλογα με τις ιδιότητες των ινών τα σακκόφιλτρα (Σ/Φ) μπορούν να χρησιμοποιηθούν μέχρι τη θερμοκρασία των 130 °C. Το σκονερό αέριο, διαπερνά ένα πορώδες μέσο, το ύφασμα του φίλτρου και κατακρατά τα σωματίδια στα κενά. Με το γέμισμα των κενών αρχίζει να σχηματίζεται ένα στρώμα σκόνης στην επιφάνεια του φιλτρόπανου που παράγει την μεγαλύτερη εργασία φιλτραρίσματος. Πριν ακόμη σχηματισθεί το στρώμα σκόνης στο φίλτρο που διαρκεί ελάχιστα χρόνο, ο βαθμός αποδόσεως είναι μικρός. Μόλις το στρώμα σκόνης γίνει παχύ, έχουμε σαν αποτέλεσμα την αύξηση του βαθμού αποδόσεως, τότε όμως αρχίζει να ανεβαίνει και η αντίσταση πίεσεως πράγμα που κάνει απαραίτητο το πλύσιμο (τίναγμα).



Σχήμα 3.3.3.5-1: Συστήματα αποκονίωσης – Σακκόφιλτρα διαφόρων τύπων

Ανάλογα με τις ιδιότητες της σκόνης και το είδος του πανιού, χρησιμοποιούνται γενικότερα οι παρακάτω μέθοδοι καθαρίσματος του φίλτρου:

- **Ταλάντευση φιλτροσάκκου:** Στην περίπτωση αυτή το πάνω μέρος του φιλτροσάκκου μέσω ενός στελέχους καταλήγει σε ένα ισχυρό περιστροφικό μηχανήμα που αναγκάζει το στρώμα σκόνης να πέσει.
- **Χρησιμοποίηση αέρα κατ'αντιρροή:** Η διαφορά πιέσεως δημιουργεί μια χαλαρότητα στον φιλτροσάκκο και πτώση του στρώματος σκόνης.
- **Παλμική πίεση:** Στο διαμέρισμα του σακκόφίλτρου (Σ/Φ) που δεν λειτουργεί δίνεται για διάρκεια 300 περίπου χιλιοστών του δευτερολέπτου ένας παλμός πεπιεσμένου αέρα  $7\text{kg/cm}^2$ . Ο αέρας που εκτονώνεται ενεργοποιεί ένα κύμα κρούσεως το οποίο δημιουργεί την αποκόλληση του στρώματος σκόνης από το φιλτρόπανο. Για τον παλμικό πεπιεσμέ-

νο αέρα χρειάζεται ένας μικρός αεροσυμπιεστής. Η κατανάλωση σε πεπιεσμένο αέρα είναι περίπου  $1 \text{ Nm}^3 / 400 - 500 \text{ m}$  καθαρού αέρα.

- **Καθαρισμός με ηχητικά κύματα:** Αυτή η μέθοδος απαιτεί μια πηγή ήχου για παραγωγή ηχοκυμάτων χαμηλής συχνότητας  $200 \text{ Hz/sec}$  εντάσεως  $100-150 \text{ dB(A)}$ , τα οποία μεταδίδονται στο φιλτρόπανο. Τα ηχοκύματα συνδυάζονται με αέρα κατ'αντιρροή που δημιουργούν τον χωρισμό του στρώματος σκόνης από το φιλτρόπανο.

Το φαινόμενο του καθαρισμού γίνεται περιοδικά και επιτυγχάνεται συνήθως με ρύθμιση χρόνου. Με σκοπό τον καλύτερο καθαρισμό χρησιμοποιούνται επίσης δύο διαφορετικές μέθοδοι καθαρισμού για τον αποκονωτή. Ο καθαρισμός του διαμερίσματος του σακκόφιλτρου (Σ/Φ) επιτυγχάνεται όταν δε λειτουργεί. Έτσι λοιπόν για την αδιάκοπη αποκονίωση πρέπει ένα Σ/Φ να έχει ένα διαμέρισμα περισσότερο απ'ότι είναι αναγκαίο για τον αντίστοιχο αέρα.

- **Φίλτρα υφαντών μέσων (διήθηση) αναπνευστήρες:** Οι αναπνευστήρες είναι παλιός τρόπος αποκονίωσης που χρησιμοποιείται σε σιλό και συναντάται μόνο σε παλιά εργοστάσια. Δεν είναι τίποτα άλλο παρά φιλτρόσακκοι σαν κι αυτούς των Σ/Φ διαφόρων διαμέτρων συνήθως της τάξεως των  $100\text{mm}$  και διαφόρων μηκών από  $2.50\text{mm}$  έως και  $3000\text{mm}$ . Τοποθετούνται σε διαδοχικές σειρές (για να έχουν κοινό τίναγμα) επάνω από τα σιλό. Ο αέρας εκτονώσεως των σιλό περνάει από τους αναπνευστήρες και βγαίνει καθαρός στον γύρο χώρο. Τα κατακρατηθέντα σωματίδια κατά τη διάρκεια του τινάγματος επιστρέφουν μέσα στο σιλό.
- **Φίλτρα υφαντών μέσων (διήθηση) από ίνες υάλου:** Τα φίλτρα αυτά είναι Σ/Φ και χρησιμοποιούνται συνήθως για καθαρισμό αεαerίων των κλιβάνων. Αυτό είναι δυνατό διότι σε αυτού του είδους τα Σ/Φ οι φιλτρόσακκοι έχουν κατασκευαστεί από ίνες υάλου και αντέχουν σε υψηλές θερμοκρασίες. Φτάνουν μήκος  $10\text{m}$  και διάμετρο  $300\text{mm}$ . Τα φίλτρα αυτά δεν έχουν πρακτική εφαρμογή στην Ελλάδα όσο στην Αμερική.
- **Φίλτρα με στρώμα κοκκώδους υλικού:** Αυτά τα φίλτρα που ονομάζονται επίσης φίλτρα χαλικιού και τα οποία χρησιμοποιούνται συνήθως για υγρά, τον τελευταίο καιρό βρήκαν εφαρμογή και στα αέρια. Αυτά τα φίλτρα είναι ένας συνδυασμός από κυκλώνα και στρώμα ή στρώματα κοκκώδους υλικού (π.χ. χαλίκι). Ο βαθμός αποδόσεώς τους είναι της τάξεως των  $99,9\%$  και μπορεί να μεταβληθεί με την αλλαγή της κοκκομετρίας των στρωμάτων (πιο χονδρό ή πιο λεπτό υλικό). Η πτώση πιέσεως αυτών είναι περίπου στα  $150\text{mm H}_2\text{O}$ .

Στο επόμενο κεφάλαιο θα αναλυθούν οι ηλεκτρικοί αποκονωτές (ηλεκτροστατικά φίλτρα) οι οποίοι διαθέτουν τα περισσότερα πλεονεκτήματα από όλα τα προηγούμενα μέσα – συστή-



ματα αποκονίωσης που προαναφέραμε, η χρήση των οποίων συνίσταται και εφαρμόζεται στη τσιμεντοβιομηχανία.

## 4<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### “ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΑ ΦΙΛΤΡΑ ΣΤΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ”

#### 4.1 Εισαγωγή στα ηλεκτροστατικά φίλτρα

Μία ακόμη εφαρμογή των υψηλών τάσεων είναι οι ηλεκτρικοί αποκονιωτές (ηλεκτροστατικά φίλτρα), οι οποίοι είναι από τους σημαντικότερους σε σύγκριση με τους μηχανικούς αποκονιωτές στη χρήση των βιομηχανικών αναγκών με κύρια έμφαση στη τσιμεντοβιομηχανία. Κύριο χαρακτηριστικό τους είναι η ικανότητα συγκράτησης πολύ λεπτών σωματιδίων σκόνης.

Ένα *ηλεκτροστατικό φίλτρο (ESP)* είναι μια μεγάλη βιομηχανική μονάδα ελέγχου εκπομπών σκόνης. Έχει σχεδιαστεί για να παγιδεύει και να αφαιρεί τα σωματίδια σκόνης από το ρεύμα καυσαερίων μιας διαδικασίας βιομηχανικής παραγωγής. Τα φίλτρα αυτά χρησιμοποιούνται κυρίως στις εξής βιομηχανίες:

- Ενέργειας/ Ηλεκτρισμού,
- Τσιμέντου και ασβεστόλιθου,
- Χημικών Προϊόντων,
- Μετάλλων,
- Χαρτιού.



(α)



(β)

**Σχήμα 4.1-1:** (α) Ηλεκτροστατικό φίλτρο σε βιομηχανία ανακύκλωσης μετάλλων,  
(β) Ηλεκτροστατικό φίλτρο σε βιομηχανία τσιμέντου

Προτιμώνται, σε πολύ μεγάλο βαθμό, στη τσιμεντοβιομηχανία (περιστροφικούς κλιβάνους, μύλους τσιμέντου, ψύκτες κλίνκερ, κλπ.) για το λόγο ότι έχουν τα πιο πολλά πλεονεκτήματα από όλα τα άλλα μέσα αποκονίωσης.

Τα **πλεονεκτήματα** αυτά συνοψίζονται στα εξής σημεία:

- ✚ Χαμηλότερο κόστος λειτουργίας και συντήρησης, από άλλα συστήματα αποκονίωσης της ίδιας δυναμικότητας. Το κόστος εγκατάστασής τους, όμως, είναι το πιο μεγάλο απ' αυτών.
- ✚ Απεριόριστες δυνατότητες παροχής αερίων και θερμοκρασιών, μέχρι 400 °C και σε ειδικές περιπτώσεις μέχρι 550 °C, σε αντίθεση με τους μηχανικούς αποκονιωτές που οι δυνατότητές τους είναι περιορισμένες.
- ✚ Μεγάλη ικανότητα κατακράτησης πολύ λεπτής σκόνης, ακόμα και κάτω από 1 μ.

Ένα ηλεκτροστατικό φίλτρο εφαρμόζει την ενέργεια μόνο στο σημείο εκείνο όπου συλλέγεται το σωματίδιο και ως εκ τούτου είναι πολύ αποτελεσματικό στην κατανάλωση ενέργειας (με τη μορφή ηλεκτρικής ενέργειας).

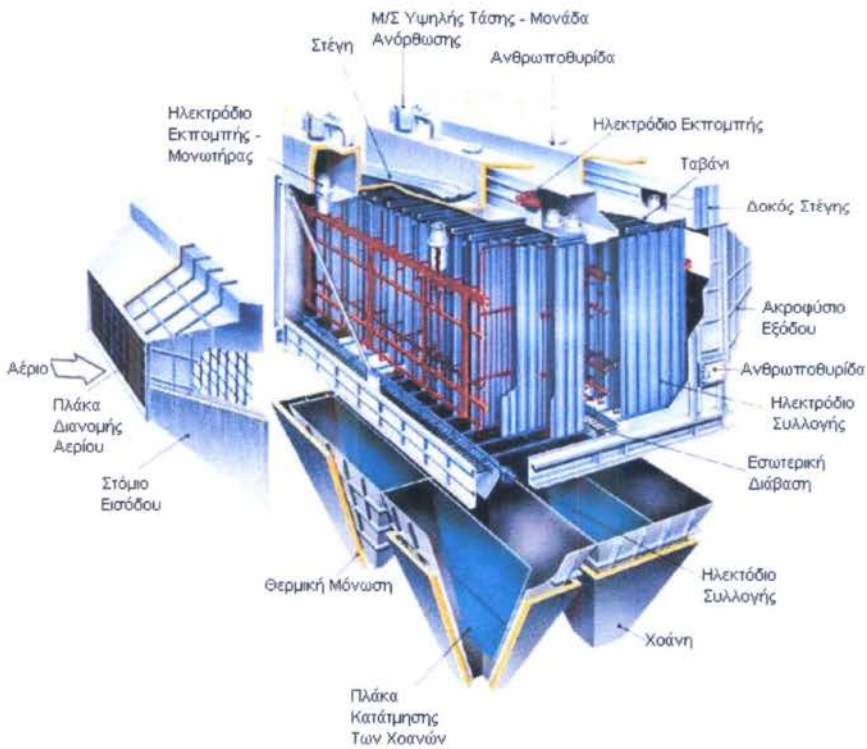
Τα **μειονεκτήματα** των ηλεκτροστατικών φίλτρων συνοψίζονται στα εξής σημεία:

- ✚ Ασταθής λειτουργία (εκτός συνθηκών μονοξειδίου του άνθρακα-θερμοκρασία, κλπ.)
- ✚ Κόστος εγκατάστασης υψηλό.

Η πρώτη χρήση του ηλεκτρικού τόξου (corona) για την άρση των σωματιδίων από ένα αεροζόλ έγινε από τον Hohlfeld το 1824. Ωστόσο, δεν ήταν για εμπορικούς σκοπούς μέχρι σχεδόν έναν αιώνα αργότερα. Το 1907 ο Dr. Frederick G. Cottrell έκανε αίτηση για ένα πείραμα ευρεσιτεχνίας πάνω σε μια συσκευή για τη φόρτιση σωματιδίων και στη συνέχεια, τη συλλογή τους μέσω της ηλεκτροστατικής έλξης. Με αυτό τον τρόπο, οδηγηθήκαμε στη δημιουργία του πρώτου ηλεκτροστατικού φίλτρου. Ο Cottrell εφάρμοσε για πρώτη φορά τη συσκευή στη συλλογή της ομίχλης του θεικού οξέος και οδήγησε στην εκπομπή του οξειδίου του μολύβδου από διάφορες δραστηριότητες που περιέχουν οξύ και από τη μεταλλουργική δραστηριότητα.

Τα ηλεκτροστατικά φίλτρα παραμένουν μέχρι σήμερα εξαιρετικές συσκευές για τον έλεγχο και το φιλτράρισμα πολλών βιομηχανικών εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων στον αέρα και εξαιτίας της λειτουργικότητάς και της αποδοτικότητάς τους φαίνεται, και θεωρητικά, πως θα παραμείνουν σε λειτουργία για πάρα πολλά χρόνια.

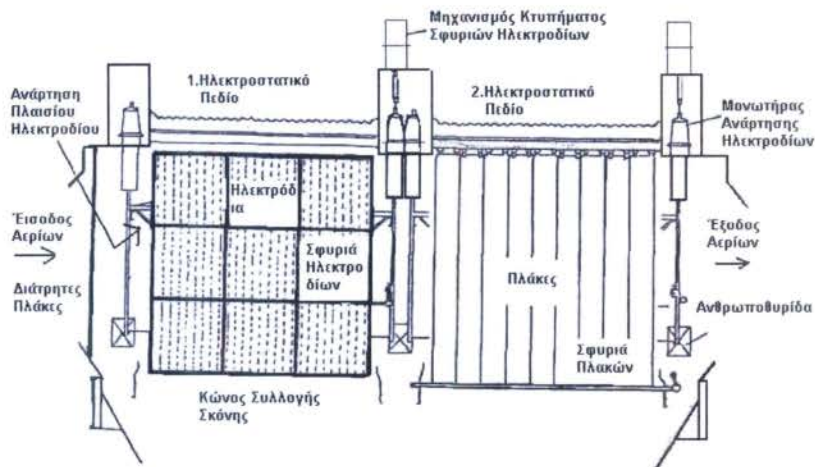
#### 4.1.1 Περιγραφή ενός ηλεκτροστατικού φίλτρου (ηλεκτρόφιλτρο)



Σχήμα 4.1.1-1: Γενική διάταξη ηλεκτροστατικού φίλτρου

Ένα ηλεκτροστατικό φίλτρο αποτελείται κυρίως από τα εξής μέρη:

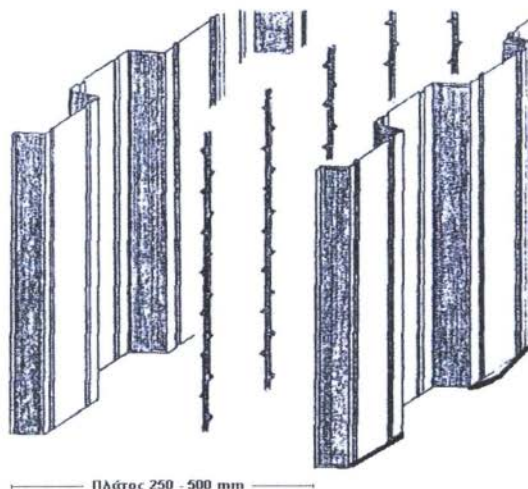
- ❖ **Ένα θάλαμο μέσα στον οποίο δημιουργείται το ηλεκτροστατικό πεδίο.** Είναι πιθανό να υπάρξουν, από ένας έως τρεις θάλαμοι με αντίστοιχα ηλεκτροστατικά πεδία. Ο θάλαμος στον οποίο δημιουργείται το ηλεκτροστατικό πεδίο έχει γεωμετρικό σχήμα, τις πιο πολλές φορές, ορθογωνίου παραλληλεπίπεδου. Στην πραγματικότητα υπάρχουν μόνο οι τρεις πλευρές του, δηλαδή:
  - ✓ η οροφή και
  - ✓ οι δύο κατακόρυφες διαμήκεις πλευρές, κατά τη φορά ροής των αερίων.



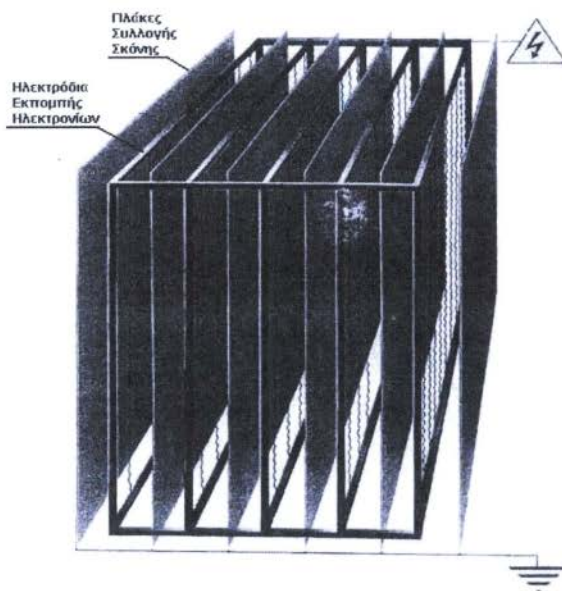
Σχήμα 4.1.1-2: Θάλαμος δημιουργίας ηλεκτροστατικού πεδίου

Μέσα σ' αυτούς τους χώρους είναι τοποθετημένα:

1. *Τα θετικά ηλεκτρόδια ή ηλεκτρόδια συλλογής ή πλάκες συλλογής σκόνης,* που σχεδόν κρέμονται από την οροφή και είναι διατεταγμένες σε σειρά, η μία πίσω από την άλλη, με αποτέλεσμα να σχηματίζεται ένα κατακόρυφο επίπεδο. Μεταξύ αυτών των πλακών σχηματίζονται «διάδρομοι» με μήκος, όσο το μήκος του ηλεκτροστατικού πεδίου και πλάτος από 250-500mm, ανάλογα με τον κατασκευαστή. Μέσα από αυτούς τους διαδρόμους περνάνε τα αέρια. Η εγκάρσια τομή, αυτών των πλακών, είναι συνήθως τραπεζοειδούς μορφής, ώστε η αντοχή τους να είναι πιο μεγάλη στη στρέβλωση και στην κάμψη. Αυτές οι πλάκες είναι γειωμένες, δηλαδή εφάπτονται με το κέλυφος του ηλεκτρόφιльтρου. Το υλικό κατασκευής αυτών των πλακών εξαρτάται από την τάση διάβρωσης που έχουν τα αέρια. Στην τσιμεντοβιομηχανία, συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται συνήθως πλάκες κατασκευασμένες από μαλακό χάλυβα.



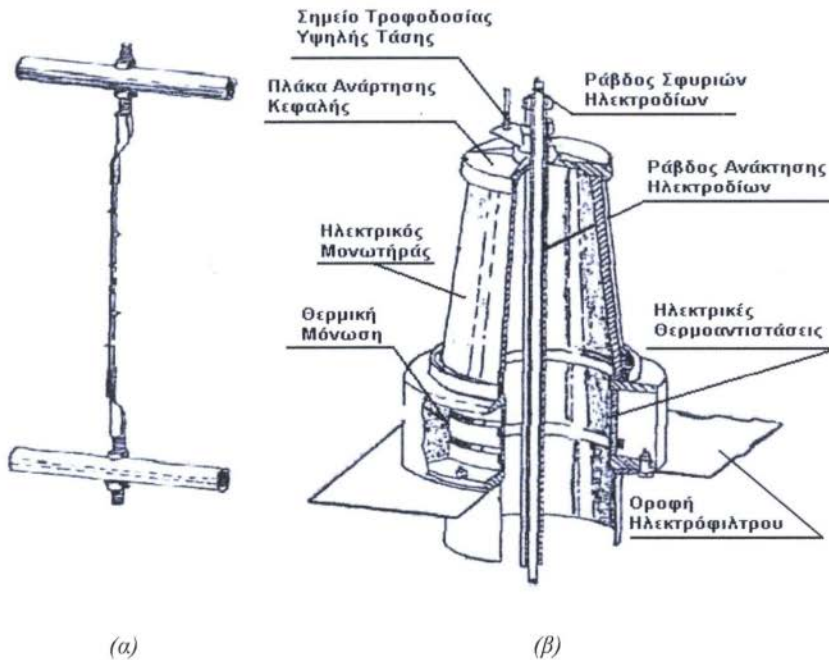
(α)



(β)

Σχήμα 4.1.1-3: (α) Πλάκες συλλογής σκόνης  
(β) Απεικόνιση ενός ηλεκτροστατικού πεδίου

2. Τα αρνητικά ηλεκτρόδια ή ηλεκτρόδια εκπομπής, είναι κατακόρυφα σύρματα με ακίδες ή με μορφή ελατηρίου, ανάλογα με τον κατασκευαστή, που κρέμονται από ένα πλαίσιο ακριβώς στο μέσο της απόστασης μεταξύ των δύο πλακών. Σε όλο το μήκος του διαδρόμου και στο μέσο του, κρέμεται μία σειρά από ηλεκτρόδια εκπομπής. Το υλικό κατασκευής τους είναι διαφορετικό, ανάλογα με την περίπτωση, όπως και στα θετικά ηλεκτρόδια - πλάκες. Τα ηλεκτρόδια εκπομπής είναι εκείνα που παραλαμβάνουν την ηλεκτρική τάση, γι' αυτό δεν πρέπει να έρχονται σε επαφή, ούτε με τις πλάκες ούτε όμως και με το κέλυφος. Για να κατορθωθεί η ηλεκτρική ασυνέχεια παρεμβάλλονται στην ανάρτηση των ηλεκτροδίων, ηλεκτρικοί μονωτήρες.

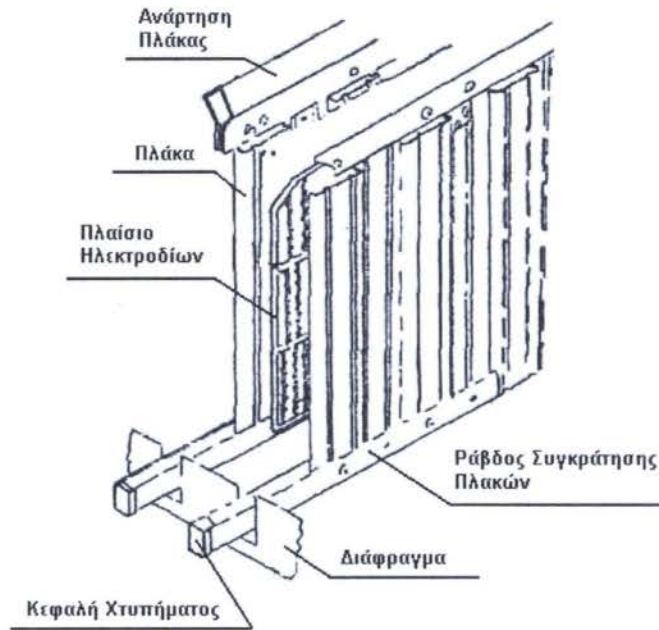


Σχήμα 4.1.1-4: (α) Μορφή ηλεκτροδίου με ακίδες και τρόπος στήριξης  
(β) Ηλεκτρικός μονωτήρας για ανάρτηση ηλεκτροδίων

Τα ηλεκτρόδια εκπομπής πρέπει να εκπληρώνουν ορισμένους όρους, σε ότι αφορά τη μορφή και το σχήμα τους, έτσι ώστε:

- Να μην συγκρατούν σκόνη επάνω τους.
- Να είναι εύκολη η μεταφορά και η τοποθέτησή τους.
- Να είναι ελαφράς κατασκευής.
- Να μην λυγίζουν, αν έχουν μεγάλο μήκος.

Η διάταξή τους εξαρτάται από τον κατασκευαστή, δηλαδή μπορεί να είναι μονοκόμματα, ένα ηλεκτρόδιο τοποθετημένο σε όλο το ύψος ή κομμάτια – κομμάτια στερεωμένα σε πλαίσια. Ανάμεσα από δύο σειρές πλακών, στο μέσο του πλάτους του διαδρόμου, βρίσκεται το πλαίσιο με τα ηλεκτρόδια εκπομπής. Η σκόνη που συγκρατιέται τόσο από τις πλάκες όσο και από τα ηλεκτρόδια, «α-

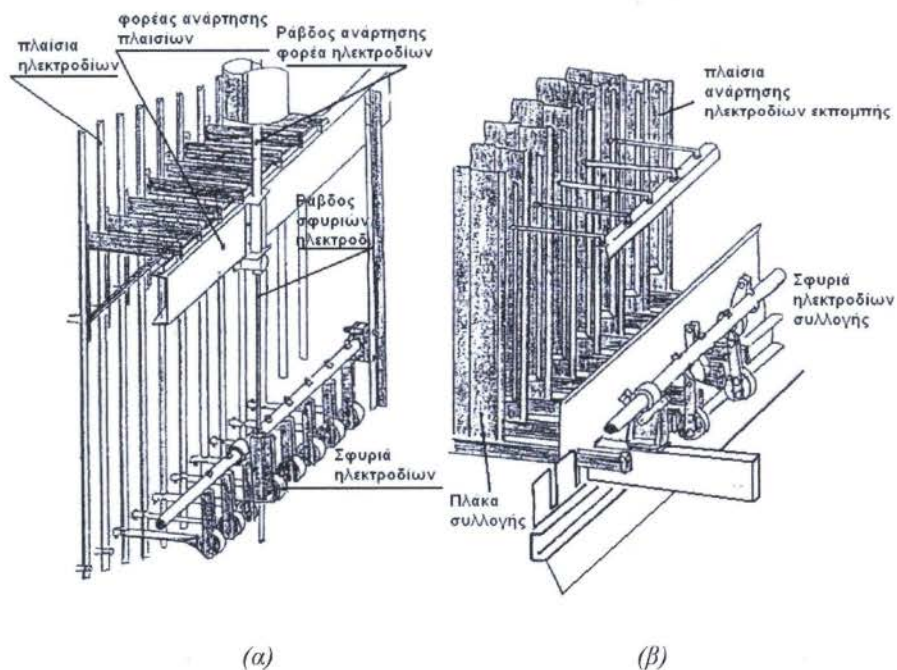


Σχήμα 4.1.1-5: Διάταξη ηλεκτροστατικού πεδίου με στερεωμένα τα ηλεκτρόδια

ποτινάσσεται» με χτυπήματα, που προκαλούνται αντίστοιχα από «σφυριά» πλακών και από «σφυριά» ηλεκτροδίων.



Το παρακάτω **Σχήμα 4.1.1-6 (α)** δείχνει πιο παραστατικά τη διάταξη αποτίναξης σκόνης των ηλεκτροδίων εκπομπής, ενώ το **Σχήμα 4.1.1-6 (β)** δείχνει τη διάταξη αποτίναξης στα θετικά ηλεκτρόδια (πλάκες).



**Σχήμα 4.1.1-6:** (α) Διάταξη αποτίναξης σκόνης των ηλεκτροδίων εκπομπής  
(β) Διάταξη αποτίναξης σκόνης στα θετικά ηλεκτρόδια

- ❖ **Ένα θάλαμο εισόδου καπναερίων, προς το ηλεκτροστατικό πεδίο.** Πριν από το πρώτο ηλεκτροστατικό πεδίο είναι απαραίτητο να υπάρχει ένας θάλαμος εισόδου αερίων. Η μορφή και το σχήμα του διαφέρουν ανάλογα με τον κατασκευαστή. Κύριος σκοπός αυτού του θαλάμου είναι ο εξής:

Όπως έρχονται τα αέρια από κάποιον αγωγό μπαίνουν στον θάλαμο και με ειδικά κατευθυντήρια περυσία ή διάτρητες πλάκες, που καλύπτουν όλη τη διατομή του ηλεκτροφίλτρου, ισοκατανέμουν τα αέρια σ' όλη τη διατομή με αποτέλεσμα, ο αέρας που θα περάσει στη συνέχεια από τους διαδρόμους να έχει, σ' όλη την κατακόρυφη διατομή του, την ταχύτητα, την οποία πρέπει να έχουν και οι άλλοι διάδρομοι μεταξύ τους. Η σωστή ταχύτητα των καπναερίων, μέσα στους διαδρόμους, είναι ένα από τα πιο βασικά στοιχεία για την καλή απόδοση

του ηλεκτρόφιльтρου. Για την αποτίναξη της σκόνης, που θα επικαθήσει στις διάτρητες πλάκες, υπάρχει ένας πανομοιότυπος μηχανισμός αποτίναξης με αυτόν που έχουν οι θετικές πλάκες.

- ❖ **Μία χοάνη εξόδου αερίων προς την καμινάδα.** Τα αέρια που διαπερνούν το ηλεκτροστατικό πεδίο συγκεντρώνονται μέσα σε μία χοάνη και από κει μέσω αγωγών οδηγούνται στην καμινάδα. Η κατασκευή της χοάνης πρέπει να είναι τέτοια ώστε να συγκεντρώνει ίσες ποσότητες αέρα σ'όλη τη διατομή του ηλεκτρόφιльтρου. Γι'αυτό το λόγο, ανάμεσα στο ηλεκτροστατικό πεδίο και στην χοάνη εξόδου, πολλών ηλεκτρόφιльтρων, υπάρχει ένα διάφραγμα με κατευθυντήρια πτερυγία ή διάτρητες πλάκες. Σ'αυτή την περίπτωση δεν υπάρχει μηχανισμός αποτίναξης σκόνης για το διάφραγμα. Η κάτω επιφάνεια της χοάνης πρέπει να έχει τέτοια κλίση που να μην συγκρατεί τη σκόνη. Υπάρχουν περιπτώσεις που η διατομή του ηλεκτρόφιльтρου είναι πάρα πολύ μεγάλη, κατά συνέπεια θα υπάρξει και μεγάλη χοάνη. Για να αποφύγουμε αυτή την κατασκευή, φτιάχνουμε δύο όμοιες χοάνες παράλληλες που καλύπτουν όλη τη διατομή. Είναι φανερό ότι θα υπάρξουν και δύο αγωγοί εξόδου των αερίων, ένας για κάθε χοάνη. Στην πράξη οι αγωγοί ενώνονται σ'ένα σημείο και τελικά ένας καταλήγει στην καμινάδα ή στην αναρρόφηση ενός ανεμιστήρα.
- ❖ **Χοάνες συλλογής σκόνης και συστήματα απομάκρυνσης.** Όλη η σκόνη που θα αποτιναχθεί από τις διάτρητες πλάκες όπως και από το ηλεκτροστατικό πεδίο, πέφτει λόγω της βαρύτητας, σε χοάνες υλικού κάτω ακριβώς από τα ηλεκτροστατικά πεδία. Οι πλευρές των τοιχωμάτων των χοανών πρέπει να έχουν τέτοια κλίση ώστε να μην συγκρατούν υλικό. Η μορφή και ο αριθμός των χοανών που θα χρησιμοποιηθούν εξαρτάται από το μέγεθος του ηλεκτρόφιльтρου (οριζόντια προβολή). Για παράδειγμα, αν το ηλεκτρόφιльтρο είναι αρκετά πλατύ, τότε θα εγκατασταθούν κατά μήκος του δύο χοάνες. Μέσα στις χοάνες κρέμονται ορισμένα «τυφλά» διαφράγματα, σχήματος τραπεζίου ακριβώς σαν τη διατομή της χοάνης. Η αύξηση του αριθμού διαφραγμάτων δίνει καλύτερα αποτελέσματα. Η χρησιμότητά τους είναι να παρεμποδίζουν τον αέρα να κάνει διάφορους «κυκλωνισμούς» μέσα στις χοάνες. Αυτοί οι κυκλωνισμοί του αέρα, στο τέλος, χαλάνε τη στρωτή ροή του αέρα, που υπάρχει μέσα στους διαδρόμους. Παράλληλα, στην αρχή και στο τέλος κάθε ηλεκτροστατικού πεδίου, υπάρχουν «τυφλά οδηγητήρια διαφράγματα» που έχουν εγκατασταθεί κάτω ακριβώς από τις πλάκες. Σκοπός τους είναι, να μην επιτρέπουν τη ροή των αερίων να περάσει μέσα από τους κώνους και να φύγει προς την έξοδο χωρίς να περάσει μέσα από τους διαδρόμους του ηλεκτροστατικού πεδίου.

Και αυτά και τα προηγούμενα τυφλά διαφράγματα είναι βασικά και απαραίτητα στοιχεία για την καλή λειτουργία ενός ηλεκτροφίλτρου. Για την απομάκρυνση της σκόνης μέσα από τις χοάνες μπορεί να υπάρχει σημειακή ή γραμμική απόληψη. Μέσα μεταφοράς της σκόνης, συχνά, είναι οι μεταφορικοί κοχλίες, οι αλυσομεταφορείς, κλπ.. Και στις δύο περιπτώσεις αυτό που έχει σημασία είναι, η δυναμικότητα αυτών των μέσων, που πρέπει να είναι πολλαπλάσια της μέγιστης συγκέντρωσης σκόνης του ηλεκτροφίλτρου. Αυτό συμβαίνει γιατί η αποτίναξη των πλακών δεν γίνεται συνέχεια, αλλά με κάποια περιοδικότητα. Στην περίπτωση αυτή θέλουμε τα μέσα απομάκρυνσης της σκόνης να ανταπεξέλθουν.

Εκτός απ' όλα αυτά, ένα στοιχείο που πρέπει να υπάρχει είναι η αξιοπιστία αυτών των συστημάτων, αν τυχόν παρουσιαστεί κάποια βλάβη. Πρέπει οι κατασκευές να είναι βαριές και ανθεκτικές, που να χρειάζονται συντήρηση και έλεγχο σε αραιά χρονικά διαστήματα. Στα στόμια εξόδου του υλικού πρέπει να υπάρχουν φράκτες αέρα. Αν το ηλεκτροφίλτρο έχει στατική πίεση πιο μεγάλη από την ατμοσφαιρική (υπερπίεση) και δεν υπάρχει φράκτης αέρα, τότε η ρύπανση προς το περιβάλλον θα είναι αρκετή. Στην αντίθετη περίπτωση, θα υπάρξει αναρρόφηση «αερέτου αέρα» που θα διαταράξει την ομαλή λειτουργία του ηλεκτροφίλτρου.

#### 4.1.2 Αρχή λειτουργίας των ηλεκτροστατικών φίλτρων

Για να λειτουργήσει ένας ηλεκτρικός αποκοιωντής πρέπει να «βομβαρδίσουμε» τη σκόνη με ηλεκτρόνια ή με ιόντα μεγάλης ταχύτητας. Έτσι τα σωματίδια της σκόνης αποκτούν θετικό ή αρνητικό φορτίο και κατευθύνονται σε σημεία με αντίθετη φόρτιση από εκείνη που απέκτησαν (προς τα ηλεκτρόδια συλλογής ή προς τα ηλεκτρόδια εκπομπής). Για να συμβούν τα προηγούμενα είναι απαραίτητο να έχουμε μία πηγή ηλεκτρονίων ή ιόντων.

Στα ηλεκτροστατικά φίλτρα υπάρχουν μετασηματιστές ηλεκτρικής τάσης που ανεβάζουν τη τάση σε 40 – 80 kV. Αυτή η τάση στη συνέχεια ανορθώνεται, δηλαδή από εναλλασσόμενη γίνεται συνεχής, με αρνητική πολικότητα και διοχετεύεται μέσω αγωγών υψηλής τάσης στα ηλεκτρόδια εκπομπής που βρίσκονται μέσα στο ηλεκτροφίλτρο. Τα «**ηλεκτρόδια συλλογής**» είναι γειωμένα και έχουν θετική πολικότητα. Στη συνέχεια, αυτή η τάση ελέγχεται αυτόματα από ορισμένες ηλεκτρικές μονάδες και φτάνει μέχρι τη τιμή που θα εμφανιστεί το φαινόμενο «corona» (ατελής ηλεκτρική εκκένωση ή στεματοειδής εκκένωση). Παραπάνω από τη τιμή αυτή θα έχουμε εκκένωση.

Από τα «**ηλεκτρόδια εκπομπής**» φεύγουν σύννεφα ηλεκτρονίων, που στην πορεία τους συναντάνε τα αέρια (όχι τη σκόνη) με αποτέλεσμα να συμβούν τα εξής:

- 1) Το ηλεκτρόνιο που φεύγει από το ηλεκτρόδιο συναντά ένα άτομο αερίου, εισβάλλει σε αυτό και αρχίζει να περιστρέφεται μαζί με τα άλλα ηλεκτρόνια γύρω από τον

φορτισμένα σωματίδια κατευθύνονται στις θετικές πλάκες συλλογής, ενώ τα θετικά φορτισμένα σωματίδια στις αρνητικές πλάκες εκπομπής. Αυτά τα σωματίδια, όταν φτάσουν στα αντίθετα φορτισμένα ηλεκτρόδια, αποβάλλουν το φορτίο τους και πέφτουν. Ένα μέρος από αυτά παρασύρεται από το ρεύμα του αέρα και άλλα παραμένουν στα ηλεκτρόδια, πράγμα που οφείλεται σε διάφορες μοριακές δυνάμεις, συνοχής και σε διάφορες ηλεκτρικές δυνάμεις, που οφείλονται σε κάποιο φορτίο που παραμένει. Ιόντα δεν υπάρχουν μόνο αρνητικά αλλά και θετικά, που προέρχονται από τα χτυπήματα των σφυριών ηλεκτροδίων εκπομπής. Κατά το μηχανικό χτύπημα του ηλεκτροδίου ορισμένα άτομα του αερίου μπορεί να χάσουν ηλεκτρόνια από τις στοιβάδες τους και να γίνουν θετικά ιόντα. Προφανώς αυτά έχουν να διανύσουν πιο μικρή απόσταση προς τα ηλεκτρόδια εκπομπής και παράλληλα έχουν τη δυνατότητα να φορτίσουν θετικά τα σωματίδια σκόνης (Σχήμα 4.1.2-1 γ).

- 4) Όταν συγκεντρωθεί αρκετή ποσότητα σκόνης στα ηλεκτρόδια συλλογής, το σύστημα καθαρισμού πλακών ενεργοποιείται. Αυτό δεν είναι τίποτα άλλο, παρά μόνο σφυριά που χτυπάνε περιοδικά τις σειρές των πλακών συλλογής. Πολλές φορές επιδιώκουμε οι πλάκες συλλογής να έχουν μια κρούστα σκόνης. Με έναν παρόμοιο τρόπο καθαρίζονται και τα ηλεκτρόδια εκπομπής, ο καθαρισμός των οποίων πρέπει να είναι σχολαστικός. Και αυτό γιατί, η σκόνη μπορεί να προκαλέσει αντίσταση στη ροή των ηλεκτρονίων, για να φτάσουν στην ακίδα και από κει δε θα μπορέσουν να φύγουν με τη μορφή νέφους (corona).
- 5) Στην περίπτωση που τα σωματίδια της σκόνης, που έχουν κολλήσει στα ηλεκτρόδια και τις πλάκες, πέσουν για οποιοδήποτε λόγο, ο κύκλος του βομβαρδισμού αρχίζει πάλι. Αυτός είναι ένας λόγος που το ηλεκτροστατικό φίλτρο έχει μεγάλο μήκος, ώστε τα σωματίδια να βρίσκονται πιο πολύ χρόνο μέσα στο νέφος των ηλεκτρονίων και των ιόντων.

Αξίζει να σημειωθεί ότι στο παρελθόν έγιναν προσπάθειες να χρησιμοποιηθεί στα ηλεκτρόδια εκπομπής θετική πολικότητα. Σε αυτή την περίπτωση η τάση “corona” (εκκένωσης) ήταν χαμηλή. Όταν όμως χρησιμοποιήθηκε αρνητική πολικότητα, η τάση εκκένωσης ήταν υψηλή. Έτσι καθιερώθηκε πια η αρνητική πολικότητα, πράγμα που έχει ένα μειονέκτημα:

- Σε ορισμένες συνθήκες του περιβάλλοντος, κατά το φαινόμενο “corona”, παράγονται ποσότητες όζοντος. Το όζον είναι ένα αέριο που έχει τη μυρωδιά του σκόρδου και όταν εισπνέεται σε μεγάλες ποσότητες από τον άνθρωπο, προκαλεί έντονη δυσφορία. Στην πράξη αυτό το φαινόμενο συναντάται:

- i. Όταν εργαζόμαστε μεταξύ ηλεκτρόφιльтρου και καμινάδας.
  - ii. Όταν το ηλεκτρόφιльтρο βρίσκεται υπό τάση.
  - iii. Όταν μέσα από το ηλεκτρόφιльтρο περνάει ατμοσφαιρικός αέρας (περιεκτικότητας σε οξυγόνο 21% κατ'όγκο).
- Το φαινόμενο αυτό γίνεται εντονότερο όταν ο ψύκτης κλίνκερ με σχάρα, αποκονιώνεται με ηλεκτρόφιльтρο και συνυπάρχουν οι προϋποθέσεις ii και iii.

#### 4.1.3 Παράγοντες που επιδρούν στη λειτουργία ενός ηλεκτροστατικού φίλτρου

Οι κύριοι παράγοντες που επιδρούν στη λειτουργία ενός ηλεκτρόφιльтρου είναι:

- α) η θερμοκρασία των αερίων,
- β) η υγρασία των αερίων ή το σημείο δρόσου τους.

Εκτός από αυτούς τους δύο βασικούς παράγοντες, έχουμε και τις εξής παραδοχές:

- 1) Η περιεκτικότητα σε διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) πρέπει να είναι πιο μεγάλη από το 15%, ώστε να έχουμε ικανοποιητική λειτουργία, ιδίως όταν πρόκειται για περιστροφικό κλίβανο (Π.Κ.) φαρίνας.
- 2) Η περιεκτικότητα σε μονοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}$ ) πρέπει να είναι πιο μικρή από το 6%, γιατί εκτός του ότι το αέριο είναι δηλητηριώδες, πάνω από την περιεκτικότητα, μπορεί να γίνει και εκρηκτικό μίγμα. Για λόγους ασφαλείας δεν επιτρέπουμε τη λειτουργία του ηλεκτρόφιльтρου, όταν το μονοξείδιο του άνθρακα ξεπεράσει τη τιμή του 1% (κατ'όγκο).
- 3) Διάφορες ενώσεις αλκαλίων όπως και η μεγάλη περιεκτικότητα σε τριοξείδιο του θείου ( $\text{SO}_3$ ), αυξάνουν το βαθμό απόδοσης του ηλεκτροστατικού φίλτρου.

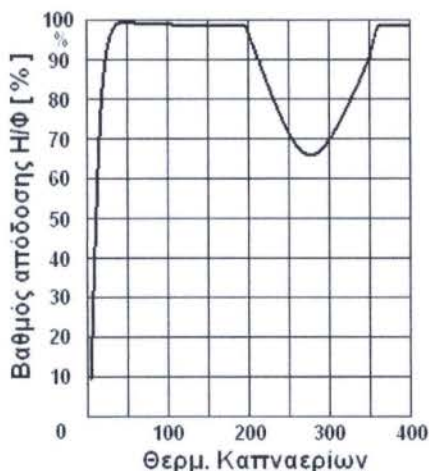
Οι παράμετροι αυτοί, που αφορούν μερικά από τα φυσικά χαρακτηριστικά των απαερίων, επιδρούν και σε ένα άλλο φυσικό στοιχείο της σκόνης: την ειδική αντίσταση. Η «ειδική αντίσταση» είναι το αντίστροφο της αγωγιμότητας, η οποία είναι μία φυσική έννοια που εκφράζει την ευκολία με την οποία το ηλεκτρικό ρεύμα διέρχεται μέσα από ένα σώμα. Ανάλογα με τις τιμές της ειδικής αντίστασης, υπάρχουν δύο κατηγορίες υλικών:

- α) *Υλικά με ειδική αντίσταση, των οποίων η τιμή μεταβάλλεται, από  $10^{-3}$  μέχρι  $10^4 \text{ Ohm/cm}$ , ανάλογα με τη θερμοκρασία και την υγρασία. Σ' αυτή την κατηγορία ανήκουν ορισμένες ποιότητες κάρβουνου. Τα σωματίδια αυτά αποβάλλουν το ηλεκτρικό τους φορτίο και φορτίζονται εξίσου εύκολα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να έλκονται και να απωθούνται διαδοχικά. Αποτέλεσμα αυτού είναι να έχουμε μόνο μια μικρή ηλεκτρική δύναμη συγκράτησης, πάνω στις πλάκες. Μ' αυτόν τον τρόπο αυξάνεται το ποσοστό επανασυμπαρυσμού της σκόνης.*

χεια, ανεβάζουμε τη θερμοκρασία των αερίων πιο ψηλά από το σημείο κανονικής λειτουργίας του ηλεκτροφίλτρου. Αυτή η λειτουργία συνεχίζεται και όταν αρχίσει η τροφοδοσία του κλιβάνου με φαρίνα και σταματάει όταν βελτιωθεί η εκπομπή της σκόνης από την καμινάδα. Το τίμημα είναι η ρύπανση του περιβάλλοντος για 2 μέρες, αλλά εξαρτάται και από το πόσο έγκαιρα θα το αντιληφθεί ο ψήστης. Σ' αυτή την περίπτωση συνιστάται, να ξεκινάμε την προθέρμανση χωρίς τάση στο ηλεκτροφίλτρο και χωρίς να χτυπάνε τα σφυριά των πλακών, ώσπου να ζεσταθεί ο κλιβανός. Όταν το ηλεκτροφίλτρο τεθεί υπό τάση και φανεί ότι δεν συγκρατεί τη σκόνη, τότε εφαρμόζουμε αμέσως τα παραπάνω με αποτέλεσμα το ηλεκτροφίλτρο να καθαρίσει πολύ πιο γρήγορα.

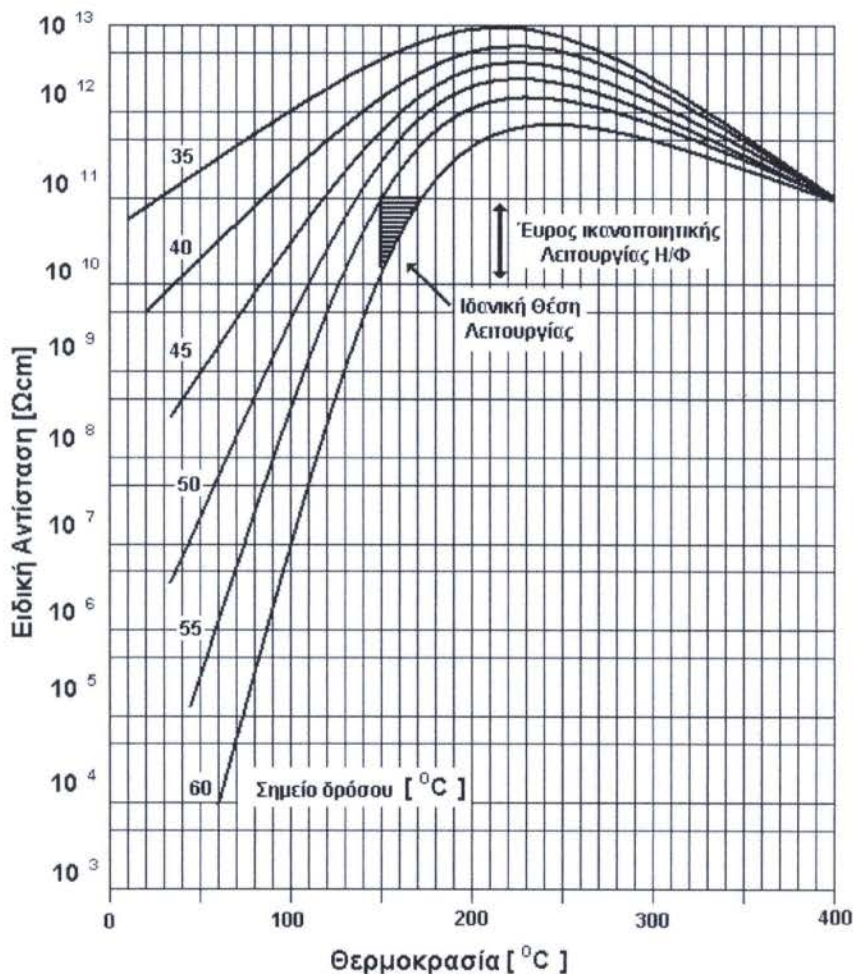
#### 4.1.4 Απόδοση του ηλεκτροστατικού φίλτρου σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία και την υγρασία

Αυτά τα δύο φυσικά στοιχεία του μίγματος, αέρα και σκόνης, επηρεάζουν άμεσα ένα άλλο φυσικό στοιχείο, την ειδική αντίσταση της σκόνης. Αυτές οι τρεις παράμετροι σε συνδυασμό μεταξύ τους επηρεάζουν δραστικά το βαθμό απόδοσης του ηλεκτροφίλτρου. Σε έναν περιστροφικό κλιβανό με κατακόρυφο προθερμαντή, όπως φαίνεται στο *Σχήμα 4.1.4-1*, υπάρχουν δύο περιοχές θερμοκρασίας στις οποίες έχουμε καλή απόδοση του ηλεκτροφίλτρου. Αυτό το γεγονός, κατά κύριο λόγο, δεν είναι τυχαίο.



*Σχήμα 4.1.4-1: Περιοχές θερμοκρασίας καλής απόδοσης του ηλεκτροφίλτρου*

Η εξήγησή του δίνεται όταν παρατηρήσουμε το διάγραμμα μεταβολής της ειδικής αντίστασης, σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία και το σημείο δρόσου των αερίων (Σχήμα 4.1.4-2). Πράγματι παρατηρούμε ότι, η μέγιστη τιμή της ειδικής αντίστασης βρίσκεται μεταξύ 200 °C και 300 °C, πράγμα που έχει σαν αποτέλεσμα την ασταθή λειτουργία του ηλεκτροφίλτρου και τη χαμηλή του απόδοση.



Σχήμα 4.1.4-2: Διάγραμμα μεταβολής της ειδικής αντίστασης

Στο ίδιο διάγραμμα (Σχήμα 4.1.4-2) παρατηρούμε ότι όταν πέφτει η θερμοκρασία και παράλληλα το σημείο δρόσου, (ξηρά καπναέρια), η ειδική αντίσταση ανέρχεται. Στην πράξη ό-

μως, και πιο συγκεκριμένα στη τσιμεντοβιομηχανία, όταν σταματήσουμε τη λειτουργία του κλιβάνου και όταν παγώσουν αρκετά τα αέρια, το σημείο δρόσου γίνεται χαμηλό, οπότε στα ενδεικτικά όργανα παρατηρείται ασταθής λειτουργία του ηλεκτροστατικού φίλτρου. Αν ανοίξουμε μία πόρτα στη χοάνη συλλογής σκόνης, όταν ο κλιβανος είναι σταματημένος και κοιτάξουμε προς τα πάνω, στο ηλεκτροστατικό πεδίο, δε θα παρατηρήσουμε το φαινόμενο corona αλλά συνεχείς ηλεκτρικές εκκενώσεις. Όσο πιο πολύ κρυώνουν τα αέρια, τόσο αυξάνεται η ειδική αντίσταση, με αποτέλεσμα να πυκνώνουν οι εκκενώσεις. Επίσης, όταν αυξάνεται το σημείο δρόσου των αερίων η ειδική αντίσταση κατεβαίνει σε ικανοποιητικά επίπεδα και ταυτόχρονα αυξάνεται ο βαθμός απόδοσης του ηλεκτροφίλτρου.

Οι σκόνες με υψηλή ειδική αντίσταση είναι δύσκολο να αποκοινοθούν. Έτσι εξηγείται και το γεγονός ότι τα ηλεκτρόφιτρα που αποκοινούν ψύκτες κλίνκερ πρωτοεμφανίστηκαν στο τέλος της δεκαετίας του 1970, ενώ την ίδια περίοδο τα ηλεκτρόφιτρα, που αποκοινούν περιστροφικούς κλιβάνους και μύλους τσιμέντου, είχαν φτάσει στο αποκορύφωμα της τεχνολογικής εξέλιξης.

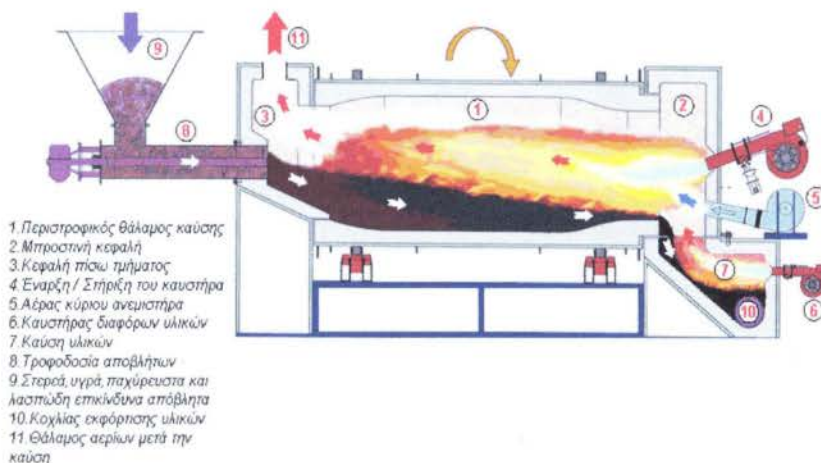
Ένα άλλο εξίσου σημαντικό στοιχείο, που επηρεάζεται άμεσα από την ειδική αντίσταση είναι, η ταχύτητα μετακίνησης του σωματιδίου σκόνης προς την πλάκα. Αυτό το μέγεθος είναι ανάλογο, προς την ένταση του πεδίου και προς το μέγεθος της σκόνης πράγμα που εξηγεί γιατί τα ηλεκτροστατικά φίλτρα έχουν πολύ καλή απόδοση στη χοντρή σκόνη. Δηλαδή, όταν λέμε ότι ένα ηλεκτροστατικό φίλτρο έχει χαμηλή απόδοση, εννοούμε ότι συγκρατεί μόνο τη χοντρή σκόνη, ενώ όταν λέμε ότι έχει υψηλή απόδοση, εννοούμε ότι συγκρατεί και μεγάλο μέρος λεπτής σκόνης. Επίσης, η σκόνη μεγάλης ειδικής αντίστασης έχει σαν αποτέλεσμα, μικρή ταχύτητα μετακίνησης και κατά συνέπεια δυσκολία στην κατακράτηση της σκόνης από τις πλάκες.

Ένας περιστροφικός κλιβανος με κατακόρυφο προθερμαντή είναι ένα κύκλωμα ανακυκλοφορίας των θερμών αερίων. Κι έτσι όλες οι αλκαλικές ή θεικές ενώσεις παραμένουν σαν ατμοί στην περιοχή της εισόδου του κλιβάνου και στην πρώτη βαθμίδα αερίων. Τα αέρια, που είναι για αποκοίνωση, από αυτές τις ενώσεις, είναι φτωχά. Σήμερα όμως σπάνια παρουσιάζεται ένα τέτοιο πρόβλημα.





(α)

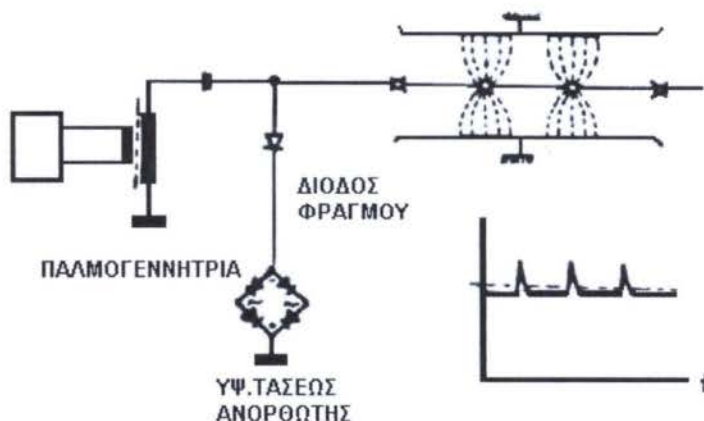


Αρχή λειτουργίας  
Περιστροφικού Κλιβάνου

(β)

Σχήμα 4.1.4-3: (α) Περιστροφικός κλιβανός με κατακόρυφο προθερμαντή  
(β) Αρχή λειτουργίας Π.Κ.

Στη τσιμεντοβιομηχανία βρίσκεται σε εξέλιξη μία τεχνική που επιβάλλει στη συνεχή τάση (D.C.) λειτουργίας του ηλεκτροφίλτρου, παλμούς μικρής χρονικής διάρκειας αλλά μεγάλης τάσης, περίπου 200 παλμούς ανά δευτερόλεπτο. Αυτή η ενέργεια δεν εκπέμπεται σε μορφή corona, αλλά χρησιμεύει για παραπέρα χρήση και ονομάζεται παλμογεννήτρια (pulse generation) όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 4.1.4-4).



*Σχήμα 4.1.4-4: Διάγραμμα κυκλώματος για υψηλή τάση – Σύστημα εφοδιασμού με παλμογεννήτρια*

Έτσι λοιπόν, με την παλμική ενεργοποίηση λειτουργούν τα ηλεκτρόφιλα σε σκόνης υψηλότερης ειδικής αντίστασης κι έτσι έχουμε μείωση του μεγέθους των νέων ηλεκτρόφιλων ή βελτίωση της αποδόσεως των παλαιών. Επίσης, είναι πολύ εύκολη η σύνδεση των παλαιών ηλεκτρόφιλων με το νέο σύστημα της παλμογεννήτριας.

#### 4.1.5 Αποκονίωση των μύλων τσιμέντου με ηλεκτροστατικά φίλτρα

Ένας μύλος τσιμέντου είναι ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για το άλεσμα του σκληρού, κομβώδους κλίνκερ από τον κλίβανο τσιμέντου μέσα στη λεπτή γκρίζα σκόνη που είναι το τσιμέντο. Η μεγαλύτερη ποσότητα τσιμέντου σήμερα βασίζεται σε εργοστάσια άλεσης μύλων τσιμέντου.



*Σχήμα 4.1.5-1: Μύλοι τσιμέντου*



*Σχήμα 4.1.5-2: Εσωτερικό μύλου τσιμέντου – πρώτη όψη κλίνκερ*

Σ' αυτή την περίπτωση ισχύουν τα ίδια όπως και στα ηλεκτροστατικά φίλτρα των κλιβάνων. Το σημείο δρόσου των αερίων, εδώ παίζει σπουδαίο ρόλο, επειδή επιβάλλεται να έχουμε χαμηλή θερμοκρασία κατά την άλεση, από  $90\text{ }^{\circ}\text{C} \div 110\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Το σημείο δρόσου των αερίων, της τάξης των  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Παρ' όλα αυτά είναι αρκετά δύσκολο να πετύχουμε σταθερή απόδοση στα ηλεκτροφίλτρα των μύλων τσιμέντου, επειδή υπάρχει ανομοιογένεια στο υλικό που τροφοδοτούμε τους μύλους, π.χ. όταν αλέθουμε μία ποιότητα τσιμέντου χωρίς πρόσθετα και με χαμηλές θερμοκρασίες κλίνκερ. Από την άλλη πλευρά δεν μπορούμε να ανεβάσουμε το σημείο δρόσου, γιατί θα αντιμετωπίσουμε προβλήματα στην άλεση ρίχνοντας νερό στον μύλο.

Το μόνο που μένει να κάνουμε είναι, να ρυθμίσουμε με τη βοήθεια των αποσβεστήρων (Dampner) αναρρόφησης το ποσοστό του αέρα, που μπαίνει από την είσοδο του μύλου, ώστε να ανεβάσουμε, όσο γίνεται, το σημείο δρόσου. Άλλο στοιχείο είναι, να πετύχουμε τέτοια θερμοκρασία κλίνκερ στην τροφοδοσία του μύλου έτσι ώστε να έχουμε κατάλληλες συνθήκες για το ηλεκτρόφιλτρο. Σήμερα υπάρχουν εγκαταστάσεις συνεχούς ελέγχου του σημείου δρόσου, των αερίων που βγαίνουν από το ηλεκτρόφιλτρο. Η μέθοδος μέτρησης του σημείου δρόσου είναι με γλωριούχο λίθιο.

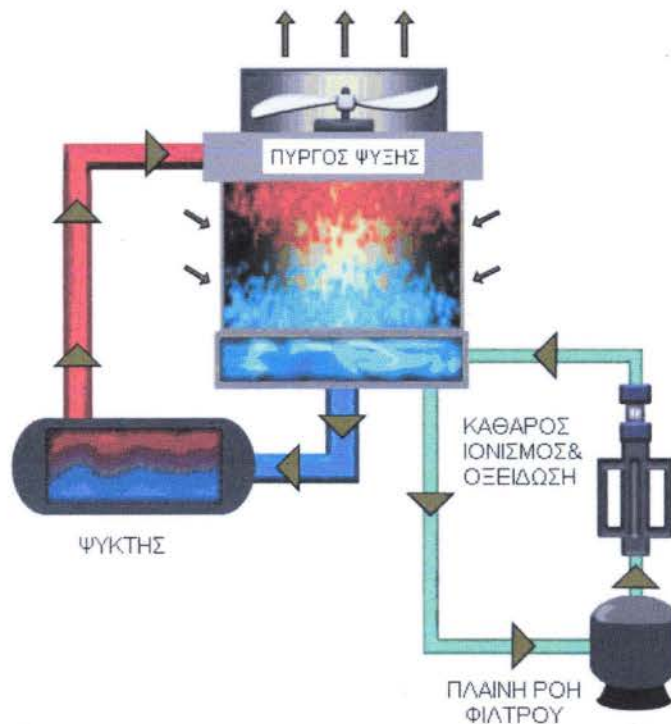
Αυτή η ένδειξη μας βοηθάει να παρακολουθούμε την αυξομείωση του σημείου δρόσου κατά την άλεση. Στην πράξη, αν δούμε ότι το σημείο δρόσου είναι χαμηλό και η θερμοκρασία χαμηλή, ελαττώνουμε το ποσό των αερίων που περνούν μέσα από το ηλεκτρόφιλτρο.

Αμέσως μετά θα δούμε ότι, το σημείο δρόσου θα ανέβει από την εξάτμιση της υγρασίας, που περιέχεται στον γύψο και σε άλλα πρόσθετα, π.χ. Θηραϊκή γη, σκουριές, κλπ.. Τέλος, αν το επιτρέπουν οι θερμοκρασίες, ρίχνουμε νερό μέσα στον μύλο. Συνήθως, στο ξεκίνημα ή στο σταμάτημα του μύλου, έχουμε εκπομπή υπερβολικής σκόνης από την καμινάδα.

Αυτό εξηγείται: Γιατί, όταν ο μύλος ξεκινάει, τα πρώτα αέρια που θα περάσουν από το ηλεκτρόφιλο θα είναι κρύα και ξηρά, με αποτέλεσμα η απόδοση του ηλεκτρόφιλου να είναι μειωμένη. Γι' αυτό στην πράξη, όταν πρόκειται να ξεκινήσει ένας μύλος τσιμέντου, ξεκινάει με λίγα αέρια που περνάνε μέσα από τα ηλεκτρόφιλα, ενώ παράλληλα έχει μειωμένη τη συνολική τροφοδοσία αλλά και το ποσοστό των προσθέτων. Μόλις ο μύλος και συνεπώς τα απαέρια έχουν αναπτύξει ικανοποιητικές θερμοκρασίες, τότε ανοίγουμε το Damper (αποσβεστήρας) του ηλεκτρόφιλου στην κανονική θέση λειτουργίας και τροφοδοτούμε τον μύλο με τη μέγιστη ποσότητα.

#### 4.1.6 Χρησιμότητα του πύργου ψύξης

Ο πύργος ψύξης των αερίων είναι μία εγκατάσταση που τοποθετείται πριν από το ηλεκτροστατικό φίλτρο (Σχήμα 4.1.6-1), για να «παρασκευάσει» τα αέρια που φεύγουν από μία εγκατάσταση περιστροφικού κλιβάνου με προθερμαντή.



Σχήμα 4.1.6-1: Σχήμα πύργου ψύξης

Όταν λέμε να «παρασκευάσει» τα αέρια εννοούμε:

- Να κατεβάσει τη θερμοκρασία στα επιθυμητά επίπεδα.
- Να ανεβάσει το σημείο δρόσου.

Ο πύργος ψύξης είναι ένας μεγάλος κύλινδρος τοποθετημένος κατακόρυφα, στον οποίο η είσοδος των αερίων γίνεται από την οροφή. Μόλις μπουν τα αέρια στον πύργο ψύξης συναντάμε έναν κατανεμητή αερίων, για να αποκτήσουν σ'όλη την επιφάνεια την ίδια παροχή και ταχύτητα. Η γεωμετρία του (ύψος και διάμετρος) εξαρτάται από τον όγκο των αερίων που θα περάσει και το πόσο θέλουμε να μειώσουμε τη θερμοκρασία τους.

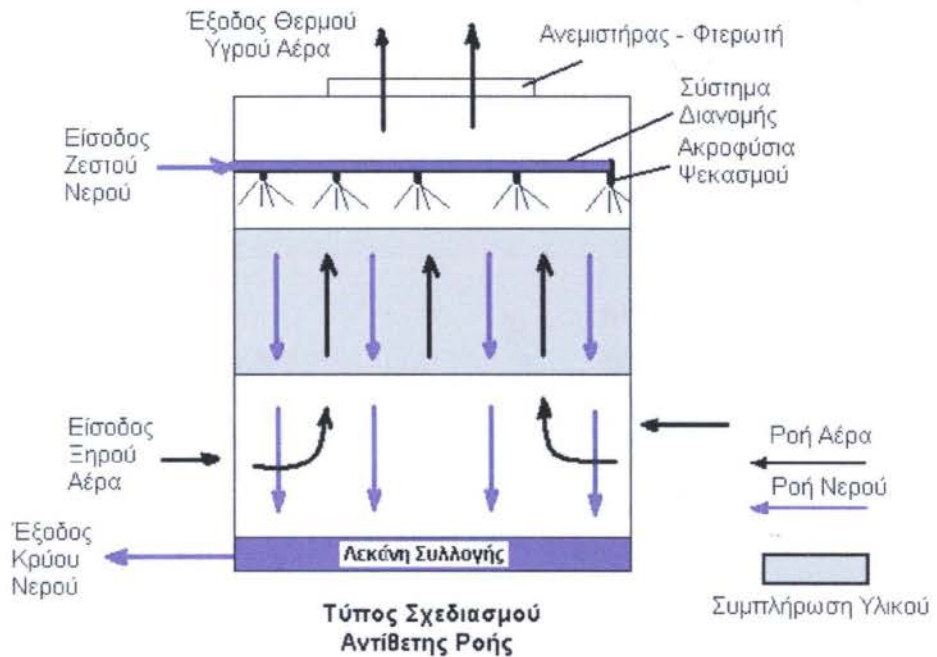


- 1)Κινητήρες
- 2)Πτερόγια ανεμιστήρα
- 3)Γέμισμα πύργου
- 4)Σωλήνες εξόδου νερού
- 5)Λεκάνη συλλογής νερού
- 6)Περσίδες εισαγωγής
- 7)Σύστημα διανομής-κατανομής νερού
- 8)Κέλυφος πύργου

*Σχήμα 4.1.6-2: Διάφοροι τύποι πύργων ψύξεων*

Ο ψεκασμός του νερού γίνεται με ακροφύσια νερού, τα οποία είναι τοποθετημένα σε ακτινική διάταξη. Το δε επίπεδό τους βρίσκεται στο πιο ψηλό σημείο του κυλίνδρου, εκεί που έχουμε ισοκατανομή των αερίων. Η ροή της εκνέφωσης όπως και των αερίων είναι συνήθως

ομόρροπες, δηλαδή έχουν την ίδια φορά, από πάνω προς τα κάτω. Η ποσότητα του νερού που πρέπει να ψεκαστεί είναι της τάξης του  $0,5 \text{ gr/Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{h}$ .



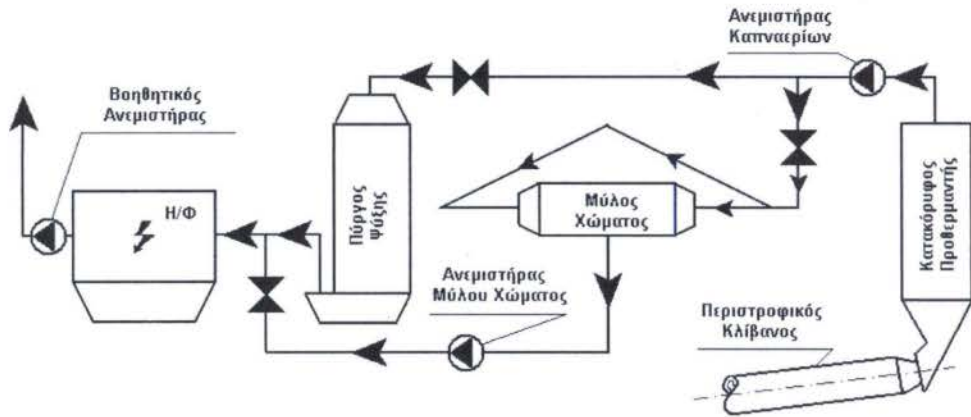
Σχήμα 4.1.6-3: Αρχή λειτουργίας πύργου ψύξης

Είναι κατανοητό ότι η ποσότητα του νερού, που πρέπει να ψεκαστεί μέσα σε έναν πύργο ψύξης, δεν εξαρτάται μόνο από τη θερμοκρασιακή πτώση που θέλουμε να πετύχουμε αλλά είναι και ανάλογη με τη μάζα των αερίων που θέλουμε να ψύξουμε. Αυτό το σύστημα μας εξασφαλίζει την καλή λειτουργία του πύργου ψύξης και ειδικότερα στα ξεκινήματα του κλιβάνου.

Η σκοπιμότητα της εγκατάστασης του πύργου ψύξης είναι:

- Η ελάττωση των θερμοκρασιών, με αποτέλεσμα τον περιορισμό του όγκου των καπναερίων.
- Η προπαρασκευή των καπναερίων του κλιβάνου πριν μπουν στο ηλεκτρόφιλτρο. Φέρνει την ειδική αντίσταση της σκόνης στα επιθυμητά επίπεδα επιδρώντας στο σημείο δρόσου και στη θερμοκρασία των καπναερίων.

Στο παρακάτω **Σχήμα 4.1.6-4** βλέπουμε μία τυπική διάταξη εγκατάστασης ενός συγκροτήματος περιστροφικού κλιβάνου και ενός μύλου χώματος.



**Σχήμα 4.1.6-4:** Διάταξη εγκατάστασης ενός συγκροτήματος περιστροφικού κλιβάνου και ενός μύλου χώματος.

Ανοιγοκλείνοντας κατάλληλα τα Dampers (αποσβεστήρες) μπορούμε να έχουμε απευθείας λειτουργία περιστροφικού κλιβάνου με ηλεκτρόφιλο ή συνδυασμένη λειτουργία περιστροφικού κλιβάνου και μύλου χώματος με ηλεκτρόφιλο.

#### 4.1.7 Αποκονίωση ψυκτών κλίνκερ με ηλεκτρόφιλτρα

Στη τσιμεντοβιομηχανία ορισμένοι κλιβανοί έχουν ψύκτες κλίνκερ, κύριος σκοπός των οποίων είναι να ψύξουν το ζεστό κλίνκερ που βγαίνει από τον περιστροφικό κλιβανο με αέρα. Μία ποσότητα αφρού που θα περισσέψει πρέπει να αποσυρθεί από το κύκλωμα, αφού πρώτα καθαριστεί. Παλιότερα ο καθαρισμός αυτός γινόταν από πολυκυκλώνες. Η σύγχρονη όμως αντίληψη επέβαλε τα ηλεκτρόφιλτρα.



*Σχήμα 4.1.7-1: Ψύκτες κλίνκερ*

Η σκόνη του κλίνκερ από τη φύση της έχει πολύ ψηλή ειδική αντίσταση, με αποτέλεσμα αυτή η σκόνη να αποκοινωνείται δύσκολα. Παράλληλα η λειτουργία του ψύκτη δεν είναι σταθερή, παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις όσον αφορά τη θερμοκρασία και την ποσότητα των αερίων. Μερικές φορές έχει παρατηρηθεί ότι παρουσιάζει αλλαγές στην ειδική αντίσταση, σε περίπτωση φαρίνας. Το μοναδικό θετικό στοιχείο που στηρίζεται στην «αρχή λειτουργίας του κονιοθάλαμου» είναι ότι, η σκόνη λόγω του βάρους της μπορεί να κατακαθίσει.

Τα αέρια είτε επειδή είναι αρκετά θερμά, της τάξης των  $300^{\circ} - 350^{\circ} \text{C}$ , είτε επειδή δεν προέρχονται από καύση (έχουν 21% οξυγόνο κατ'όγκο) έχουν πάρα πολύ χαμηλό σημείο δρόσου, μόλις  $5 \div 10^{\circ} \text{C}$ . Σ'αυτή την περίπτωση, βλέπουμε ένα αρκετά μεγάλο σε όγκο ηλεκτρόφιτρο, πολύ πιο μεγάλο απ'ότι είναι τα ηλεκτρόφιτρα των Π.Κ. της ίδιας δυναμικότητας στα απαέρια. Μερικές φορές παρατηρούμε αυξημένο αριθμό ηλεκτροστατικών πεδίων.

Για να μπορέσουμε να πετύχουμε μία κάπως πιο ικανοποιητική λειτουργία του ηλεκτρόφιτρου το πρώτο πράγμα που χρειάζεται να κάνουμε είναι να ανεβάσουμε το σημείο δρόσου. Αυτό μπορούμε να το πετύχουμε με τον ψεκασμό νερού μέσα στον ψύκτη. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις:

- Σε καμία περίπτωση οι υδρατμοί που σχηματίζονται δεν πρέπει να οδηγηθούν σαν δευτερογενής αέρας καύσης, γιατί τότε θα έχουμε ανωμαλία στη λειτουργία του περιστροφικού κλιβάνου.
- Η εκνέφωση που γίνεται στο νερό πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο λεπτή, για να έχουμε πλήρη ατμοποίηση και κατ'επέκταση ψύξη των αερίων.
- Η ομπρέλα που σχηματίζεται δεν πρέπει να ακουμπάει στα τοιχώματα του ψύκτη, γιατί σε διαφορετική περίπτωση θα κατέβει «ωμό» νερό στα διαμερίσματα



που βρίσκονται κάτω από τη σχάρα, με συνέπεια να δημιουργηθούν πετρώματα.

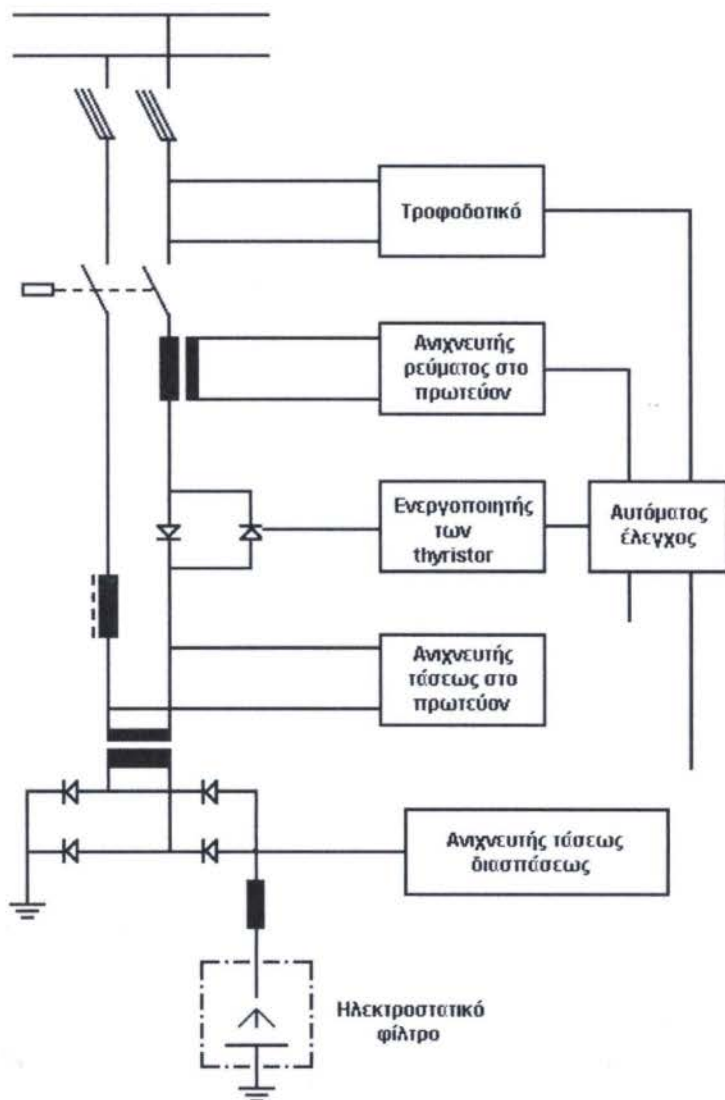
Στους ψύκτες κλίνκερ χρησιμοποιούμε ακροφύσια «ολικού κώνου». Ο κώνος εκνέφωσης πρέπει να έχει σ' όλη τη μάζα του νερό. Συγκεκριμένα, με τον ψεκασμό πετυχαίνουμε:

- Ελάττωση της θερμοκρασίας, με αποτέλεσμα τη μείωση του όγκου του αέρα και κατά συνέπεια χαμηλές ταχύτητες μέσα στο ηλεκτρόφιτρο.
- Αύξηση του σημείου δρόσου,  $30^{\circ} - 40^{\circ}\text{C}$ , με αποτέλεσμα την ελάττωση της ειδικής αντίστασης.

Αυτό που πρέπει κυρίως να τονιστεί είναι το γεγονός ότι, από τα ηλεκτρόφιτρα που έχουν εγκατασταθεί μέχρι στιγμής στις θέσεις αυτές, έχουμε άριστα αποτελέσματα.

## 4.2 Λειτουργία του τροφοδοτικού συστήματος του ηλεκτροστατικού πεδίου

Για δημιουργία υψηλών τάσεων χρειαζόμαστε ένα μετασχηματιστή τάσης, που θα τροφοδοτείται στο πρωτεύον τύλιγμα του με μονοφασική εναλλασσόμενη τάση, από το δίκτυο (Σχήμα 4.2 -1).

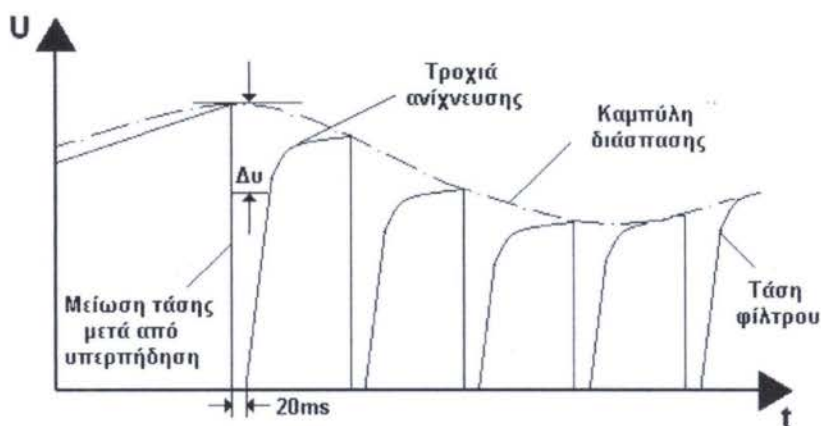


Σχήμα 4.2-1: Τροφοδοτικό σύστημα ηλεκτροστατικού πεδίου

Στην έξοδο του δευτερεύοντος, θα μας δώσει μία μονοφασική εναλλασσόμενη υψηλή τάση, της τάξεως των 50 kV. Αυτήν την τάση ανορθώνουμε με “διόδους πυριτίου”, δηλαδή παίρνουμε συνεχή τάση. Η ρύθμιση της τάσης γίνεται αυτόματα, με επίδραση στο πρωτεύον του μετασχηματιστή μέσω θυρίστορ (Thyristor).

Όπως είδαμε, καθοριστικός παράγοντας για τη λειτουργία του ηλεκτροστατικού φίλτρου είναι η τάση διάσπασης. Πρέπει να βρισκόμαστε όσο μπορούμε πιο κοντά (corona) σ’ αυτήν την τιμή και πάντα πιο χαμηλά. Η τάση διάσπασης εξαρτάται από τα φυσικά χαρακτηριστικά των καπναερίων, γι’ αυτό συνέχεια μεταβάλλεται. Υπάρχει δηλαδή ένα σύστημα αυτομάτου ελέγχου.

Η τάση διάσπασης (εκκένωσης), ελέγχεται συνέχεια με κατάλληλο τρόπο, προξενώντας υπερπηδήσεις του ρεύματος (flash-over) μέσα στο ηλεκτροστατικό πεδίο (Σχήμα 4.2-2).



Σχήμα 4.2-2: Τάση διάσπασης – εκκένωσης

Αν δεν υπήρχε αυτή η μονάδα ελέγχου, τότε η τάση θα ανέβαινε στη μέγιστη τιμή με αποτέλεσμα να έχουμε βραχυκύκλωμα (arc) και καταστροφή του ηλεκτροστατικού φίλτρου. Σε αυτήν την περίπτωση, δηλαδή όταν παρουσιαστεί υπερπήδηση, αμέσως δίνει εντολή ο αυτόματος έλεγχος και μπλοκάρει τα θυρίστορ, με αποτέλεσμα να διακόπτεται η τάση προς το ηλεκτρόφιλτρο, για μία προκαθορισμένη και ρυθμιζόμενη χρονική περίοδο. Η ρύθμιση αυτή γίνεται μία φορά από ποτενσιόμετρο.

Μετά από αυτό έχουμε απότομη αύξηση της τάσης, που με την πάροδο του χρόνου παύει να είναι “κατακόρυφη”, αλλά ακολουθεί καμπύλη τροχιά “ανίχνευσης”. Μόλις πλησιάσει την τάση διάσπασης γίνεται μία νέα υπερπήδηση και ο κύκλος αρχίζει από την αρχή. Η τιμή  $\Delta u$ , δηλαδή το πόσο πιο χαμηλά θα σταματήσει η απότομη αύξηση της τάσης, ρυθμίζεται από μας με ποτενσιόμετρο. Σκοπός μας, είναι αυτή η τιμή να είναι όσο γίνεται πιο μικρή, για να είμαστε σε σύντομο χρονικό διάστημα κοντά στην τάση διάσπασης, αλλιώς θα έχουμε μειωμένη απόδοση του ηλεκτροστατικού φίλτρου.

Κατά κάποιο τρόπο αντίστοιχη είναι και η καταγραφή της έντασης του ηλεκτροφίλτρου. Υπάρχουν μονάδες ελέγχου υπερέντασης που έχουν σαν σκοπό, να προστατέψουν το ηλεκτρόφιλο και όλες τις ηλεκτρικές μονάδες από βραχυκύκλωμα.

### 4.3 Οικονομοτεχνικά στοιχεία για τους αποκονιωτές

Η προστασία του περιβάλλοντος και οι υγιεινές συνθήκες εργασίας απασχολούν ιδιαίτερα τις βιομηχανίες. Αυτό σημαίνει ότι ένα μεγάλο μέρος από το υλικό κόστος, μιας εγκατάστασης, επιβαρύνει τα συγκροτήματα αποκονίωσης.

Π.χ. Από μία εγκατάσταση ενός συγκροτήματος μύλου τσιμέντου δυναμικότητας 130 τόννων /ώρα με 5 σιλό πρώτων υλών και 2 σιλό έτοιμου προϊόντος, χωρητικότητας 8.000 τόννων το καθένα, το 10-11% του συνολικού κόστους (προμήθεια μηχανημάτων-έργα υποδομής και εγκατάστασης) επιβαρύνει την αποκονίωση, δηλαδή τα ηλεκτρόφιλα και τα σακκόφιλα. Αν γίνουν κι άλλα έργα για την προστασία του περιβάλλοντος (π.χ. ηχοπροστασία-αρχιτεκτονική και αισθητική χώρου και άλλα έργα πρόληψης της ρύπανσης) το ποσοστό της δαπάνης πλησιάζει το 18-20%.

Τα ηλεκτρόφιλα των ψυκτών κλίνκερ έχουν πολύ πιο υψηλό κόστος από τα άλλα ηλεκτρόφιλα που προορίζονται για άλλες θέσεις. Κι αυτό γιατί είναι πιο σύγχρονα από τεχνολογική άποψη και πιο μεγάλα σε μέγεθος. Το κόστος ενός ηλεκτροστατικού φίλτρου και ιδιαίτερα για μία συγκεκριμένη εγκατάσταση διαφέρει ανάλογα με την κατακράτηση σκόνης που επιδιώκουμε. Συνήθως όταν θελήσουμε να ανεβάσουμε το βαθμό κατακράτησης από  $\chi\%$  σε  $\psi\%$  το κόστος ανεβαίνει σχεδόν κατακόρυφα. Σε όλους μας γεννιέται το ερώτημα, όταν πρόκειται να φτιάξουμε μια συγκεκριμένη εγκατάσταση, τι μονάδα αποκονίωσης μπορούμε να εγκαταστήσουμε. Τα στοιχεία που πρέπει να εξετάσουμε είναι:

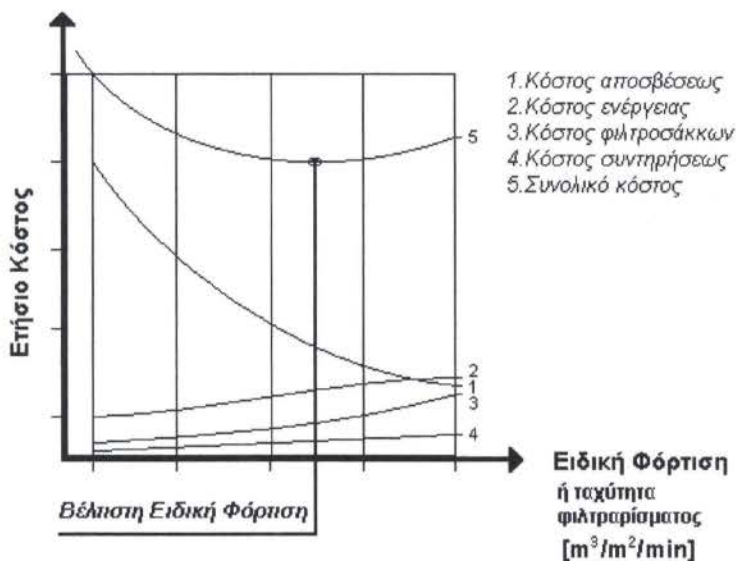
- α) Τι ποσοστό κατακράτησης θέλουμε να πετύχουμε;
- β) Το τύπο του αποκονιωτή, χρησιμοποιώντας κατάλληλα κριτήρια.

Όταν θελήσουμε να εξετάσουμε το πρόβλημα από την οικονομικοτεχνική πλευρά παρατηρούμε ότι το κόστος εγκατάστασης ενός αποκονιωτή μετριέται ανά μονάδα όγκου αέρα που σημαίνει ότι ένας αποκονιωτής μικρού μεγέθους κοστίζει πολύ περισσότερο από έναν μεγαλύτερό του αφού κόστος εγκατάστασης και μέγεθος αποκονιωτή είναι ανάλογα. Αυτό γίνεται πιο αισθητό στην εγκατάσταση ενός ηλεκτροφίλτρου. Σήμερα πρέπει οι συγκρίσεις που κάνουμε για το κόστος εγκατάστασης, να γίνονται μεταξύ αποκονιωτών της ίδιας περίπου κατηγορίας.

Με τα σημερινά δεδομένα μπορούμε να βγάλουμε το συμπέρασμα ότι:

Όταν έχουμε να επεξεργαστούμε μικρές ποσότητες ακάθαρτου αέρα (αέρα προς αποκονίωση) συμφέρει η εγκατάσταση σακκόφίλτρου αντί ηλεκτροστατικού φίλτρου, εξετάζοντας το πρόβλημα από κοστολογικής πλευράς. Στο τομέα των σακκόφιλτρων έγιναν ορισμένα άλματα και τα χαρακτηριστικά τους έχουν φτάσει σε εντυπωσιακά επίπεδα. Ο όγκος του σακκόφίλτρου όσο περνάνε τα χρόνια τόσο και ελαττώνεται. Αυτό έγινε βελτιώνοντας το συντελεστή «ειδική φόρτιση» ( $m^3/m^2/min$ ). Αυτός ο συντελεστής φανερώνει τη ταχύτητα φιλτραρίσματος ενός σακκόφίλτρου.

Ο τομέας της τεχνολογίας των υφασμάτων εξελίχθηκε ραγδαία. Σήμερα τα πιο πολλά υφάσματα που χρησιμοποιούμε έχουν πολύ προηγμένη τεχνολογία (διαστημική). Όπως είναι φυσικό λοιπόν, ο κάθε κατασκευαστής προβάλλει αυτά τα πλεονεκτήματα. Όσο ο κατασκευαστής προσπαθεί να συγκρίνει τους διάφορους παράγοντες που επηρεάζουν το ετήσιο κόστος, ανάλογα με τη ταχύτητα φιλτραρίσματος, συμπεραίνουμε ότι, η επιβάρυνση του ετήσιου κόστους, από το κόστος απόσβεσης μεγαλώνει όσο η ταχύτητα φιλτραρίσματος ελαττώνεται. Αυτό φαίνεται άλλωστε αν μελετήσουμε και το παρακάτω σχήμα (Σχήμα 4.3-1)



Σχήμα 4.3-1: Παράγοντες που επηρεάζουν το ετήσιο κόστος

Αντίθετα, όσο αυξάνεται η ταχύτητα φιλτραρίσματος, αυξάνεται περισσότερο το κόστος για την αποκατάσταση των φιλτροσάκκων, λιγότερο αυξάνεται το κόστος της ενέργειας και μένει περίπου σταθερό το κόστος συντήρησης. Τελικά φαίνεται ότι η καλύτερη τιμή της ταχύτητας φιλτραρίσματος είναι αυτή όπου έχουμε και το πιο χαμηλό ετήσιο κόστος. Επίσης συμπεραίνουμε ότι δε σημαίνει πάντοτε ένα χαμηλό αρχικό κόστος να είναι κι αυτό που συμφέρει περισσότερο, βλέποντας το με οικονομικά κριτήρια. Δηλαδή, η τελική επιλογή για εγκατάσταση φίλτρου εξαρτάται από διάφορους, όπως προαναφέρθηκαν, παράγοντες.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στα πλαίσια αυτής της πτυχιακής εργασίας δόθηκε έμφαση στις εφαρμογές των υψηλών τάσεων στη τσιμεντοβιομηχανία με ιδιαίτερη αναφορά στα συστήματα αποκονίωσης. Η τεχνολογία των υψηλών τάσεων εφαρμόζεται σε πάρα πολλές περιπτώσεις. Ο κυριότερος λόγος για τον οποίο χρησιμοποιούνται οι υψηλές τάσεις στη τεχνολογία είναι η οικονομική μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις. Άλλες εφαρμογές των υψηλών τάσεων είναι στο σιδηρόδρομο-ηλεκτροκίνητη έλξη, στις εγκαταστάσεις ακτίνων Rontgen, στις σύγχρονες γεννήτριες, στους μετασχηματιστές, στους διακόπτες ισχύος υψηλής τάσης και στις ηλεκτροστατικές βαφές.

Μεγάλη εφαρμογή έχει η τεχνολογία των υψηλών τάσεων στη βιομηχανία γενικότερα και στη τσιμεντοβιομηχανία ειδικότερα. Για την αποφυγή της ρύπανσης οι τσιμεντοβιομηχανίες χρησιμοποιούν τη διαδικασία της αποκονίωσης δηλαδή, τη τεχνολογία εκείνη που ασχολείται με τη συγκράτηση της σκόνης, που υπάρχει στα αέρια, που δημιουργούνται στις διάφορες διεργασίες στη τσιμεντοβιομηχανία.

Διακρίνουμε κυρίως τους μηχανικούς αποκονιωτές (π.χ. κονιοθάλαμοι, κυκλώνες, πολυκυκλώνες, πύργοι υγρής μεθόδου, σακκόφιλτρα) και τους ηλεκτρικούς αποκονιωτές (π.χ. ηλεκτροστατικά φίλτρα ξηρού και υγρού τύπου). Γενικότερα στη τσιμεντοβιομηχανία χρησιμοποιούνται σχεδόν όλες οι κατηγορίες αποκονιωτών.

Στα πλαίσια αυτής της εργασίας ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στα ηλεκτροστατικά φίλτρα. Πιο συγκεκριμένα, οι εφαρμογές που βρίσκουν τα ηλεκτροστατικά φίλτρα έχουν να κάνουν κυρίως με τον καθαρισμό του αέρα σε εσωτερικούς χώρους και για το λόγο αυτό είναι ενσωματωμένο κυρίως, στα συστήματα κλιματισμού, καθώς και για τον περιορισμό της ρύπανσης από τις καμινάδες εργοστασίων καθώς τοποθετούνται σε αυτές για την κατακράτηση της τέφρας.

Κύριο χαρακτηριστικό λουπόν των ηλεκτροστατικών φίλτρων είναι η ικανότητα συγκράτησης πολύ λεπτών σωματιδίων σκόνης. Η χρήση τους είναι πολύ διαδεδομένη γιατί παρουσιάζουν πάρα πολλά πλεονεκτήματα. Οι κυριότεροι παράγοντες που επιδρούν στη λειτουργία ενός ηλεκτρόφιλτρου είναι η θερμοκρασία των αερίων και η υγρασία των αερίων ή το σημείο δρόσου τους. Καθοριστικός παράγοντας για τη λειτουργία του ηλεκτροστατικού φίλτρου είναι η τάση διάσπασης. Πρέπει να βρισκόμαστε όσο μπορούμε πιο κοντά (corona) σ'αυτή τη τιμή και πάντα πιο χαμηλά. Η τάση διάσπασης εξαρτάται, σε σημαντικό βαθμό, από τα φυσικά χαρακτηριστικά των καπναερίων, γι' αυτό και μεταβάλλεται συνέχεια.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Λάμπρος Οικονόμου, Γεώργιος Φώτης, “Εισαγωγή στις υψηλές τάσεις”, Εκδόσεις Τζιόλα, 2010.
- [2] Δ.Ν. Διαμαντόπουλος, “Σημειώσεις Εργαστηρίου Τεχνολογίας Υψηλών Τάσεων”, Εκδόσεις ΤΕΙ Πειραιά, 2006.
- [3] Κ. Σ. Φωμόπουλος, “ Σημειώσεις Τεχνολογίας Υψηλών Τάσεων Εργαστηρίου Τ.Υ.Τ - Εισαγωγή γενικά περί Τ.Υ.Τ.”.
- [4] M.S. Naidu, V. Kamaraju, “ High Voltage Engineering”, McGraw-Hill, Second Edition.
- [5] A. Haddad, Doug Warne, “Advances in High Voltage Engineering”, IEE Power & Energy Series 40.
- [6] Δ.Ν. Διαμαντόπουλος, “ Μεταφορά και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας”, Εκδόσεις Ο.Ε.Δ.Β., 1978.
- [7] B. M. Weedy, “Μεταφορά και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας”, Εκδόσεις Μ. Γκιούρδας.
- [8] Ιωάννης Κ. Καλδέλλης, Κωνσταντίνος Ι. Χαλβατζής, “ Περιβάλλον και Βιομηχανική Ανάπτυξη”, Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης, Τόμος Πρώτος, 2005.
- [9] F.H. Kreuger, “Industrial High Voltage”, Delft University Press.
- [10] Βασιλείου Κ. Παπαδιά, “Τραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας”, 1982.
- [11] Κ. Γκούντρα, Π. Ρέλλα, Κ. Συμεωνίδη, Δ. Χαλκίδη, Ε. Χατζημιχαηλίδη, “ Η ρύπανση του περιβάλλοντος και η προστασία του”, Εκδόσεις Α.Ε. Τσιμέντων ΤΙΤΑΝ- Διεύθυνση Εκμεταλλεύσεως- Υπηρεσία Περιβάλλοντος.
- [12] Α.Ε. Τσιμέντων ΤΙΤΑΝ, “Σημειώσεις Αρχές Λειτουργίας Μηχανημάτων Αποκονίωσης”, 1986.



**Ιστοσελίδες στο διαδίκτυο**

- [13] <http://www.prosodol.gr/?q=el/node/212>
- [14] <http://lyk-kalamp.dra.sch.gr/Yliko/apoblita.htm>
- [15] <http://2gym-mytil.les.sch.gr/docs/2004-05periballon-polhs.pdf>
- [16] [http://iiu.teikav.edu.gr/iiv/courses/eksamino\\_04/ilisxios/BIOM\\_SYST\\_HL\\_EN/Theory/stath0.pdf](http://iiu.teikav.edu.gr/iiv/courses/eksamino_04/ilisxios/BIOM_SYST_HL_EN/Theory/stath0.pdf)
- [17] <http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/stef/sdfp/2005/Ismailidis/attached-document/2005Ismailidis.pdf>
- [18] [http://www.terna.gr/index.php?option=com\\_content&view=article&layout=news&id=348&Itemid=216&lang=el](http://www.terna.gr/index.php?option=com_content&view=article&layout=news&id=348&Itemid=216&lang=el)
- [19] <http://www.metadosi-ischios.gr/article.php?ID=89>
- [20] <http://www.oxistoxyta.gr/docs/panteloglou.pdf>
- [21] [http://www.environ-develop.ntua.gr/uploads/k\\_2.pdf](http://www.environ-develop.ntua.gr/uploads/k_2.pdf)
- [22] <http://estia.hua.gr:8080/dspace/bitstream/123456789/408/1/Thoma.pdf>
- [23] [http://library.tee.gr/digital/m2526/m2526\\_hatzidakis1.pdf](http://library.tee.gr/digital/m2526/m2526_hatzidakis1.pdf)
- [24] [http://www.ee.teihal.gr/labs/pkoukos/Documentation/tyt\\_shmeiwseis.pdf](http://www.ee.teihal.gr/labs/pkoukos/Documentation/tyt_shmeiwseis.pdf)
- [25] <http://www.scribd.com/doc/25847331/simeioseis-ilektrologikes-egkatastaseis>
- [26] [http://vivliothmyy.ee.auth.gr/view/subjects/electricity\\_energy.html](http://vivliothmyy.ee.auth.gr/view/subjects/electricity_energy.html)
- [27] [http://vivliothmyy.ee.auth.gr/362/1/%CE%94%CE%99%CE%A0%CE%9B%CE%A9%CE%9C%CE%91%CE%A4%CE%99%CE%9A%CE%97\\_%CE%95%CE%A1%CE%93%CE%91%CE%A3%CE%99%CE%91.pdf](http://vivliothmyy.ee.auth.gr/362/1/%CE%94%CE%99%CE%A0%CE%9B%CE%A9%CE%9C%CE%91%CE%A4%CE%99%CE%9A%CE%97_%CE%95%CE%A1%CE%93%CE%91%CE%A3%CE%99%CE%91.pdf)
- [28] [http://shmyy.gr/index.php?p=lesson\\_roi&id=155](http://shmyy.gr/index.php?p=lesson_roi&id=155)
- [29] [http://nemertes.lis.upatras.gr/dspace/bitstream/123456789/3682/1/Nimertis\\_Ladia%28i%29.pdf](http://nemertes.lis.upatras.gr/dspace/bitstream/123456789/3682/1/Nimertis_Ladia%28i%29.pdf)
- [30] <http://www.dei.gr/Default.aspx?id=5142&nt=18&lang=1>
- [31] <http://www.ceid.upatras.gr/faculty/alexiou/ahts/notes/Kef11.pdf>
- [32] <http://www.dei.gr/Default.aspx?id=1001&nt=18&lang=1>
- [33] <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%94%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CF%8C%CF%80%CF%84%CE%B7%CF%82>
- [34] <http://www.dei.gr/Default.aspx?id=921&nt=103&lang=1>
- [35] <http://seedt.ntua.gr/dnl/EnergysavingsinDTs.pdf>
- [36] <http://users.teilar.gr/~trogadas/MIXANES/MT%20MIXANES%20DC/theoriaDC.pdf>

- [37] <http://wikipedia.qwika.com/en2el/Transformer#Autotransformers>
- [38] <http://www.worldlingo.com/ma/enwiki/el/Autotransformer>
- [39] [http://www.mie.uth.gr/ekp\\_yliko/Parousiasi3.pdf](http://www.mie.uth.gr/ekp_yliko/Parousiasi3.pdf)
- [40] <http://www.cres.gr/motorchallenge/Distribution.pdf>
- [41] <http://techteam.gr/forum/topic/91819-aaaaeouooaac-odhiooaeithi-iyoco-ouoco/>
- [42] <http://seedt.ntua.gr/dnl/EnergysavingsinDTs.pdf>
- [43] <http://techteam.gr/forum/topic/168235-oe-aassiae-aouu/>
- [44] <http://www.ges-ins.com/index/gr/industrial-applications/steam-electric-power-plants/electrostatic-precipitators.php>
- [45] <http://www.texkom.gr/pro5.htm>
- [46] [http://www.eurelec.gr/oil\\_transformers.htm](http://www.eurelec.gr/oil_transformers.htm)
- [47] [http://iiu.teikav.edu.gr/iw/courses/eksamino\\_04/ilixios/BIOM\\_SYST\\_HL\\_EN/Theory/transf01.pdf](http://iiu.teikav.edu.gr/iw/courses/eksamino_04/ilixios/BIOM_SYST_HL_EN/Theory/transf01.pdf)
- [48] <http://www.renapps.com/files/Products/%CE%97%CE%9B%CE%95%CE%9A%CE%A4%CE%A1%CE%9F%CE%9C%CE%97%CE%A7%CE%91%CE%9D%CE%9F%CE%9B%CE%9F%CE%93%CE%99%CE%9A%CE%91%CE%9C%CE%95%CE%A4%CE%91%CE%A3%CE%A7%CE%97%CE%9C%CE%91%CE%A4%CE%99%CE%A3%CE%A4%CE%95%CE%A3/Schneider/1000KVA.pdf>
- [49] [http://www.eng.auth.gr/~chemtech/foititika/ergxt-8/matis\\_askisi\\_absorption.pdf](http://www.eng.auth.gr/~chemtech/foititika/ergxt-8/matis_askisi_absorption.pdf)
- [50] <http://www.ntua.gr/life/IndustriesAEN.htm>
- [51] <http://neoniordanis.gr/neon.operation.gr.pdf>
- [52] <http://www.scribd.com/http://www.scribd.com/doc/16669609/EMPSOS>
- [53] <http://www.poweronline.com/product.mvc/Dry-Electrostatic-Precipitators-0001>
- [54] <http://www.rieco.com/images/PDF/apc/Electrostatic%20Precipitator.pdf>[http://en.wikipedia.org/wiki/Electrostatic\\_precipitator](http://en.wikipedia.org/wiki/Electrostatic_precipitator)
- [55] <http://www.ppcbio.com/ppcdesworks.htm>
- [56] [http://vapourenng.tradeindia.com/Exporters\\_Suppliers/Exporter28847.559324/Dry-Electrostatic-Precipitator.html](http://vapourenng.tradeindia.com/Exporters_Suppliers/Exporter28847.559324/Dry-Electrostatic-Precipitator.html)
- [57] <http://www.oxistoxyta.gr/docs/panteloglou.pdf><http://www.scribd.com/doc/16669609/EMPSOS>
- [58] [http://www.google.gr/images?hl=el&client=firefox-a&rls=org.mozilla%3Aen-US%3Aofficial&biw=1280&bih=590&gbv=2&tbs=isch%3A1&sa=1&q=clinker+coolers+in+cement+industry&btnG=%CE%91%CE%BD%CE%B1%CE%B6%CE%A4%CE%84%CE%B7%CE%83%CE%B7&aq=f&aqi=&aql=&oq=&gs\\_rfai=](http://www.google.gr/images?hl=el&client=firefox-a&rls=org.mozilla%3Aen-US%3Aofficial&biw=1280&bih=590&gbv=2&tbs=isch%3A1&sa=1&q=clinker+coolers+in+cement+industry&btnG=%CE%91%CE%BD%CE%B1%CE%B6%CE%A4%CE%84%CE%B7%CE%83%CE%B7&aq=f&aqi=&aql=&oq=&gs_rfai=)
- [59] <http://www.hitachi-pt.com/products/energy/dustcollection/special/index.html>

- [60] [http://www.tpub.com/content/UFC1/ufc\\_3\\_280\\_04/ufc\\_3\\_280\\_040063.htm](http://www.tpub.com/content/UFC1/ufc_3_280_04/ufc_3_280_040063.htm)
- [61] [http://www.chem.uoa.gr/chemicals/chem\\_sf6.htm](http://www.chem.uoa.gr/chemicals/chem_sf6.htm)
- [62] <http://1lyk-florin.flo.sch.gr/peribalontiki/AHS/apoblita.html>
- [63] <http://www.arb.ca.gov/cap/manuals/cntrldev/ESP/302ESP.htm>
- [64] <http://www.daikin.gr/products/air-purifiers/dust-filters.jsp>
- [65] [http://www.procuraplus.org/fileadmin/template/projects/procuraplus/files/CD-ROM/CD\\_ROM\\_Translations/CD-ROM\\_Greek/Electricity\\_-\\_Procura\\_Key\\_Criteria\\_greek.pdf](http://www.procuraplus.org/fileadmin/template/projects/procuraplus/files/CD-ROM/CD_ROM_Translations/CD-ROM_Greek/Electricity_-_Procura_Key_Criteria_greek.pdf)
- [66] [http://www.chemindustry.comchemnameseelectrostatic\\_precipitator.html](http://www.chemindustry.comchemnameseelectrostatic_precipitator.html)