

**Τεχνολογίες απορρύπανσης των αερίων και τέφρας που παράγεται από μια μονάδα αποτέφρωσης φυτικών υπολειμμάτων που περιέχουν βαρέα μέταλλα και ειδικότερα μόλυβδο που συλλέχθηκαν με την μέθοδο της φυτοαποκατάστασης (Μηδική).**

Σαχινίδης Σ<sup>1</sup>., Χριστοφορίδης Α<sup>2</sup>., Φώσκολος Α<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Φυσικός.Καθηγητής ΔΕ Καβάλας. Εργαστηριακός συνεργάτης ΤΕΙ Καβάλας. Τμήμα Τεχνολογίας Πετρελαίου και Φυσικού Αερίου.

E-mail: [Saxsim@otenet.gr](mailto:Saxsim@otenet.gr)

<sup>2</sup>Χημικός Μηχανικός. Καθηγητής ΤΕΙ Καβάλας.

Τμήμα Τεχνολογίας Πετρελαίου και Φυσικού Αερίου.

Τηλέφωνα επικοινωνίας: 2510462229 [achrist@teikav.edu.gr](mailto:achrist@teikav.edu.gr)

<sup>3</sup>Ομότιμος καθηγητής, Τμήμα μηχανικών ορυκτών πόρων. Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, Κρήτη. Ομότιμος Επιστημονικός Ερευνητής της Καναδικής Κυβέρνησης. E-mail: [foscolos@mred.tuc.gr](mailto:foscolos@mred.tuc.gr).

## **Περίληψη**

Η απορρύπανση εδαφών, υπόγειων υδάτων και αέρα αλλά και η προστασία τους από τη ρύπανση αποτελούν αντικείμενα με ιδιαίτερο ενδιαφέρον από γεωτεχνική άποψη. Τα θέματα απορρύπανσης αφορούν την ανάληψη διαδικασιών για την περιβαλλοντική αποκατάσταση του περιβάλλοντος που έχει ήδη ρυπανθεί, ενώ τα θέματα προστασίας αφορούν τη λήψη μέτρων για να αποφευχθεί η περαιτέρω επέκταση της ρύπανσης από περιοχές που έχουν ρυπανθεί προς άλλες περιοχές (π.χ. μέσω της κίνησης του υπόγειου νερού). Αναφέρεται σαν παράδειγμα η μέθοδος της Φυτοαποκατάστασης όπου εγκλωβίζεται ο μόλυβδος στο συλλεγόμενο χόρτο (Μηδική). Στη συνέχεια οδηγείται στη καύση και εφαρμόζεται η τεχνολογία απορρύπανσης για τα προϊόντα της καύσης που αποτελεί και το θέμα της εργασίας μας.

## **Κυρίως Θέμα**

Με την φυτοαποκατάσταση καταφέραμε να μεταφέρουμε το μόλυβδο από το έδαφος στο φύλλωμα της Μηδικής. Κατόπιν αυτό ξηραίνεται. Το συλλεγόμενο ξηρό χόρτο μεταφέρεται στους χώρους αποτέφρωσης και αρχίζει η διαδικασία της καύσης. Εφαρμόζονται στη συνέχεια τεχνολογίες απορρύπανσης στα προϊόντα της καύσης. Το μέρος αυτό αποτελεί και αντικείμενο της εργασίας μας.

Ο στόχος μας είναι από τα αέρια που εξέρχονται από την καμινάδα να μειωθεί ο μόλυβδος για να μην προκαλέσει ατμοσφαιρική ρύπανση και να βρεθεί ένας κατάλληλος μηχανισμός μπλοκαρίσματος του μολύβδου στην στάχτη που παράγεται κατά την διαδικασία της καύσης.

Αναπτυσσόμενη εναλλακτική μέθοδος απορρύπανσης εδαφών από βαρέα μέταλλα αποτελεί η απορρύπανση με φυτά. Η μέθοδος αυτή είναι φυσική, έχει σχετικά χαμηλό κόστος και υψηλή αποτελεσματικότητα καθώς επίσης μηδενική επικινδυνότητα για τον ανθρώπινο παράγοντα.

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα της φυτοαποκατάστασης γενικά είναι ότι έχει τη δυνατότητα να μετατρέπει τους ρυπαντές σε απλούστερες και λιγότερο τοξικές ενώσεις. Η τεχνική βασίζεται στην ιδιότητα αρκετών φυτών να απορροφούν μέταλλα ή άλλους ρύπους ενσωματώνοντας τα στη βιομάζα τους, να αποσυνθέτουν, να δεσμεύουν και να διασπούν οργανικές ουσίες, βαρέα

μέταλλα, λειτουργώντας σαν αντλίες, φίλτρα ή παγίδες. Η μέθοδος της φυτοαποκατάστασης εξετάστηκε στην εργασία μου χρησιμοποιώντας σαν φυτό την Μηδική και σαν ρυπαντή τον μόλυβδο. Το έδαφος της περιοχής που πραγματοποιήθηκε το πείραμα έχει τις επιθυμητές ιδιότητες για την πραγματοποίηση της διαδικασίας της φυτοαποκατάστασης με ένα Ph που βοηθά την μετακίνηση του μολύβδου στο έδαφος. Όσο αφορά το κλίμα της περιοχής θεωρήθηκε κατάλληλο για την γρήγορη βλάστηση της Μηδικής. Τα συμπεράσματα που εξάγονται από τα αποτελέσματα των πειραμάτων είναι:

1. Η αποτελεσματικότητα της απορρύπανσης του εδάφους έφτασε κατά μέσο όρο το 30% τον πρώτο χρόνο. Η εφαρμογή της τεχνολογίας σε πραγματικές συνθήκες επέδειξε το ρόλο κλειδί της επίδρασης της ριζόσφαιρας ως τον κύριο μηχανισμό αποκατάστασης του μολυσμένου εδάφους από μόλυβδο. Η αποτελεσματικότητα της μεθόδου έφτασε στο μέγιστο, τον πρώτο χρόνο των πειραμάτων όπου η συγκέντρωση του μολύβδου ήταν αυξημένη.
2. Η ποσότητα του μολύβδου που προσλαμβάνεται από το φυτό σχετίζεται με την ποσότητα του μολύβδου που υπάρχει στο έδαφος. Η πρόσληψη του μολύβδου από την Μηδική αυξάνεται με την αύξηση της συγκέντρωσης του μολύβδου αλλά και με την πάροδο του χρόνου.
3. Η αρνητική επίδραση του μολύβδου στη ανάπτυξη της Μηδικής (ύψος και φύλλωμα-βλάστηση), ήταν μεγαλύτερη κατά την διάρκεια των τριών πρώτων εβδομάδων.
4. Η μέθοδος της φυτοαποκατάστασης που εφαρμόστηκε στην διαδικασία της ερευνητικής μου εργασίας παρουσιάζει πλεονεκτήματα όπως το σχετικά χαμηλό κόστος, είναι φιλική προς το περιβάλλον, απαιτεί μικρές απαιτήσεις σε τεχνολογικό εξοπλισμό και είναι πολύ αποδεκτή από το κοινωνικό σύνολο.
5. Τα μόνα μειονεκτήματα που παρουσιάζει η μέθοδος αυτή είναι ότι παράγεται βιομάζα η οποία απαιτεί συλλογή και περαιτέρω χειρισμό. Οι μεγάλες συγκεντρώσεις μολύβδου προκαλούν φυτοτοξικότητα, η οποία δυσχεραίνει την εφαρμογή της μεθόδου. Ένα μειονέκτημα που είναι άξιο να αναφερθεί, είναι φυσικά ο μεγάλος χρόνος που απαιτείται για την απορρύπανση μιας περιοχής. (Σαχινίδης, 2012)

Η απορρύπανση αναφέρεται στην ανάληψη ενεργειών και δράσεων για την απορρύπανση των αερίων που εξέρχονται από μια μονάδα καύσης απορρυμάτων και στην δική μας την περίπτωση από την καύση ξηρού χόρτου (Μηδικής) που περιέχει βαριά μέταλλα και ειδικότερα μόλυβδο. Ακολουθήθηκε πρώτα μια διαδικασία φυτοαποκατάστασης δηλαδή αποσπάθηκε ο μόλυβδος με την μηδική. Στη συνέχεια το χόρτο που περιείχε μόλυβδο αποτεφρώθηκε με την μέθοδο της καύσης. Χρησιμοποιήθηκε κατάλληλη τεχνολογία απορρύπανσης των αερίων και της τέφρας.

Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου εξαρτάται από τη φύση, τη συγκέντρωση, την ποσότητα του ρυπαντή, το είδος της πηγής ρύπανσης (σημειακή ή διάχυτη, συνεχής ή παροδική), το κόστος και τη διαθέσιμη τεχνολογία.

Η επιτόπια παρακολούθηση (site monitoring) αποτελεί το πρώτο βήμα για την επιλογή της τεχνικής απορρύπανσης και περιλαμβάνει χημικές αναλύσεις δειγμάτων νερού και αερίων με σκοπό να καθορισθούν οι φυσικοχημικές ιδιότητες των ρυπαντών. Με την διαδικασία της καύσης και της κατάλληλης διαδικασίας ο μόλυβδος συλλέγεται ή αδρανοποιείται.

Το πρώτο βήμα προς την αποτελεσματική και ασφαλή απομάκρυνση του καπνού, των αερίων και της σκόνης από τον χώρο εργασίας είναι η επιλογή

του σωστού συστήματος απορρόφησης για κάθε εφαρμογή. Το επόμενο βήμα είναι να προσδιοριστεί το πώς θα αφαιρεθούν οι ρυπαντές από τον αέρα ώστε να μπορεί να αποδοθεί ξανά στην ατμόσφαιρα ή να ανακυκλωθεί στον χώρο εργασίας χωρίς αρνητικές συνέπειες σε αυτόν ή το περιβάλλον.

Γενικά σε αυτές τις περιπτώσεις υπάρχουν αυστηροί κανονισμοί οι οποίοι επισύρουν σημαντικές οικονομικές ποινές σε περίπτωση μη συμμόρφωσης.

Τα συστήματα φίλτρανσης πρέπει να επιλέγονται έτσι ώστε να πληρούν ορισμένες βασικές προϋποθέσεις.

Ο σκοπός της εργασίας είναι η ανάλυση επικινδυνότητας για τον ενδεχόμενο κίνδυνο από μια μονάδα αποτέφρωσης. Η ανάλυση επικινδυνότητας μεταφράζεται σε μια διαδικασία λήψης απόφασης για την μονάδα όσον αφορά την επιλογή του συστήματος επεξεργασίας των απαερίων συναρτήσει του κόστους αγοράς, της απόδοσης του συστήματος και της προγενέστερης πληροφορίας για την λειτουργία και απόδοση παρόμοιων συστημάτων από αντίστοιχες μονάδες αποτέφρωσης. Η αποτέφρωση (Incineration) αποτελεί μια από τις διάφορες τεχνολογίες θερμικής επεξεργασίας των απορριμμάτων μαζί με την αεριοποίηση (Gasification) και την πυρόλυση (pyrolysis),

( Γιδάρακος Ε.,2007, Stubenvoll, J., et al.,2002, Paleologos E et al .,2008, Θεοχάρη Χ et al ., 2006).

Η αποτέφρωση ορίζεται ως η ελεγχόμενη καύση των απορριμμάτων που λαμβάνει χώρα με οξείδωση των επιμέρους στοιχείων αυτών, δηλαδή την ένωσή τους με περίσσεια  $O_2$  σε ένα εύρος υψηλών θερμοκρασιών (760-1370°C). Από τις εγκαταστάσεις καύσης, παράγονται εκτός από τα τυπικά προϊόντα της καύσης (ατμός, διοξείδιο του άνθρακα, μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του θείου, οξείδια του αζώτου, σωματίδια), βαρέα μέταλλα ιδιαίτερα στην περίπτωση του μολύβδου.

Οι ρύποι αυτοί απατώνται στην έξοδο των καυσαερίων (απαέρια) από την καμινάδα της εγκατάστασης ( Γιδάρακος Ε.,2007, Θεοχάρη Χ et al ., 2006), EC., 2006).

Με τις ενδεχόμενες επιπτώσεις της ρύπανσης τόσο στο περιβάλλον όσο και την ανθρώπινη υγεία, οι σύγχρονες μονάδες αποτέφρωσης αναγκάστηκαν να βελτιωθούν από τεχνολογικής άποψης μέσα στην τελευταία δεκαετία (EC.,2006). Ήταν επιτακτικό να θεσπιστούν αυστηρότερα νομοθετικά πλαίσια που να καθορίζουν τον τρόπο λειτουργίας τους και τα ανώτατα όρια των συγκεντρώσεων των ρύπων που βρίσκονται στα απαέρια της καύσης.

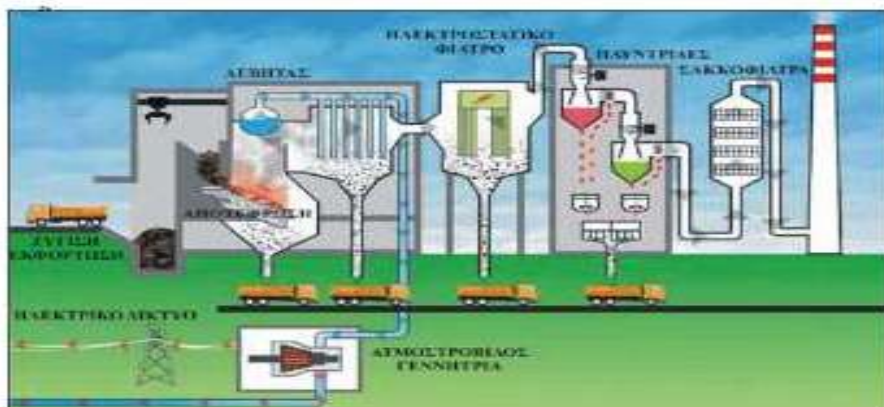
Στη βάση αυτή της απαίτησης για τη λειτουργία κινείται η κοινοτική οδηγία 2000/76/EC της Ευρωπαϊκής ένωσης που αφορά τις μονάδες αποτέφρωσης και συναποτέφρωσης (αποτέφρωση απορριμμάτων μαζί συμπληρωματικά καύσιμα) αποβλήτων. Σκοπός της οδηγίας είναι η πρόληψη ή ο περιορισμός, όσο είναι εφικτός, των αρνητικών επιδράσεων της αποτέφρωσης και της συναποτέφρωσης αποβλήτων στο περιβάλλον, ειδικότερα δε, της ρύπανσης δια των εκπομπών στον ατμοσφαιρικό αέρα, το έδαφος και τα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα, καθώς και τους αναμενόμενους κινδύνους για την υγεία του ανθρώπου. Για την επίτευξη της οδηγίας ορίζονται αυστηρές συνθήκες λειτουργίας, τεχνικές απαιτήσεις και οριακές τιμές εκπομπών.

Η οδηγία κατήργησε παλιότερες οδηγίες που ήταν σε ισχύ για την αποτέφρωση απορριμμάτων, τις οδηγίες 89/369/EOK, 89/429/EO και 94/67/EK. (European Commission, "Directive.", 2006). Αντίστοιχη νομοθεσία για την λειτουργία και τις εκπομπές μονάδων καύσης απορριμμάτων έχει

εκδοθεί και από την Αμερικανική υπηρεσία περιβάλλοντος, Environmental Protection Agency (EPA) η οποία θέτει όρια συγκεντρώσεων των εκπομπών των αέριων ρύπων για μονάδες αποτέφρωσης απορριμμάτων που βρίσκονται ήδη σε λειτουργία αλλά και για νέες μονάδες (EPA.,71).

Η EPA έχει ορίσει ως ανώτατο όριο εκπομπών για τον μόλυβδο τα  $0,4mgr/m^3$  για τις μονάδες αποτέφρωσης που βρίσκονται σε λειτουργία και τα  $0,14mgr/m^3$  για τις νέες μονάδες ( Γιδαράκος Ε.,2007). Τα βαρέα μέταλλα δε καταστρέφονται κατά τη διαδικασία της καύσης και καταλήγουν στα υπολείμματα της διαδικασίας ή εξατμίζονται και καταλήγουν στα απαέρια.

Η πτητικότητα και η διηθησιμότητα των βαρέων μετάλλων εξαρτάται από τις ιδιότητές τους (τάση ατμών) και τις συνθήκες θερμοκρασίας της αποτέφρωσης. Μέταλλα όπως Fe, Cu, Ni, Pb, Zn σε θερμοκρασίες  $1300^{\circ}C$  αποκτούν αέρια μορφή ενώ κατά την ψύξη των καυσαερίων συμπυκνώνονται στις επιφάνειες άλλων μορίων στην ιπτάμενη τέφρα. Τα βαρέα μέταλλα που παραμένουν στην στερεά μορφή αποτελούν μέρος της σωματιδιακής ρύπανσης και απομακρύνονται με την καθιζάμενη τέφρα. Για την απομάκρυνση των βαρέων μετάλλων χρησιμοποιούνται τόσο συσκευές ηλεκτροστατικών φίλτρων (Electrostatic Precipitators-ESP) και σακόφιλτρων (Fabric Filters ) κυρίως για βαρέα μέταλλα σε στερεή μορφή (καθιζάμενη τέφρα). (Stubenvoll, J., et al.,2002,World Bank et al.,1999, EC., 2006, Achternbosch, M et al., 2002). Η ιπτάμενη τέφρα, τα σωματίδια σκόνης άκαυστα μέρη από τα βαρέα μέταλλα αποτελούν το σύνολο της σωματιδιακής ρύπανσης στα απαέρια των μονάδων αποτέφρωσης (Stubenvoll, J., et al.,2002). Εικόνα1



Εικόνα 1. Τυπική Μονάδα Αποτέφρωσης ΑΣΑ.([www.bsu.hr](http://www.bsu.hr))

Τα σωματίδια αυτά έχουν τέτοιο μέγεθος (Cwan K.S et al., 2001 ) ώστε να διαπερνούν σε ορισμένες περιπτώσεις τα συστήματα επεξεργασίας των ρύπων στη μονάδα αποτέφρωσης και να διαφεύγουν από την καμινάδα. Όσο αφορά τα περιβαλλοντικά επιτρεπτά όρια στην οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης οι ημερήσιες οριακές τιμές για την σωματιδιακή ρύπανση είναι  $10mgr/m^3$ . Η EPA απαιτεί οι οριακές συγκεντρώσεις του σωματιδιακού υλικού της ιπτάμενης τέφρας να είναι  $25mgr/m^3$  για τις μονάδες σε λειτουργία και  $25mgr/m^3$  για τις υπό κατασκευή μονάδες (EPA., 71).

Η απομάκρυνση των σωματιδίων γίνεται με συσκευές κατακράτησης

σωματιδίων όπως τα ηλεκτροστατικά φίλτρα (ESP), τα σακόφιλτρα, πλυντηρίδες, ενώ σαν προεπεξεργασία για την κατακράτηση των μεγαλύτερων σωματιδίων, χρησιμοποιούνται κυκλώνες (Achterbosch, M et al., 2002, World Bank et al., 1999).

**Επιπτώσεις της καύσης** (European Environmental Agency., 2000).

Η καύση έχει τόσο θετικές όσο και αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Αυτές σχηματικά συνοψίζονται στα εξής:

- 1.ελαττώνει τον όγκο των υλικών που πρόκειται να καούν ή αποτεφρωθούν,
- 2.καταστρέφει και αποτοξικοποιεί επικίνδυνα συστατικά,
- 3.παράγει δευτερογενή απόβλητα (ιπτάμενη τέφρα – fly ash και στερεά – slug).

Η καύση περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

- ξήρανση (50-200 °C),
- απαερίωση (250-400 °C),
- αεριοποίηση (400-600 °C),
- καύση (> 600°C).

#### **Αέριες εκπομπές από καύση**

Κατά την καύση εκλύονται στην ατμόσφαιρα βαρέα μέταλλα που απαντώνται στις αέριες εκπομπές και ειδικότερα ο μόλυβδος Pb που είναι ιδιαίτερος τοξικός.

Η πτητικότητα των βαριών μετάλλων εξαρτάται από τις συνθήκες καύσης (συνεπώς και τη μορφή με την οποία απαντώνται) και μπορεί να διαφύγουν με τα αερίδια.

Για να μην έχουν επιπτώσεις στην υγεία και στο περιβάλλον απομακρύνονται από την τροφοδοσία εξασφαλίζεται η μορφή τους ώστε να μην είναι βιοδιαθέσιμα (αναπνεύσιμα ή εκχυλίσσιμα). Από δεδομένα της EPA (1995) φαίνεται ότι το αντιμόνιο, ο μόλυβδος, το μαγγάνιο, ο υδράργυρος και ο κασσίτερος είναι τα μέταλλα για τα οποία η καύση τους συνεισφέρει έως σημαντικά ποσοστά, έως και το 1/3 των συνολικών εκπομπών τους στην ατμόσφαιρα. Τέλος, σκόνη σε λεπτό διαμερισμό (fine dust), που παράγεται κατά την καύση είναι αποδεδειγμένο ότι δημιουργεί αναπνευστικά προβλήματα.

**Εκπομπές στο έδαφος από καύση** (European Environmental Agency., 2000).

Οι εκπομπές στο έδαφος μετά από μια διεργασία καύσης είναι:

- Στερεά και στάχτες.

Περιέχουν γενικώς τους ίδιους τύπους με τις αέριες εκπομπές, αλλά σε διαφορετικές αναλογίες και συγκεντρώσεις.

Καθοριστικό για τη διαλυτοποίησή τους όταν διαβραχούν είναι το Ph του υγρού (νερό βροχής κλπ). Όλα διαλυτοποιούνται σε όξινες συνθήκες, πάντως ο μόλυβδος, ο ψευδάργυρος και το αργίλιο μπορούν να διαλυτοποιηθούν ακόμη και σε αλκαλικό περιβάλλον.

- Σκόνη / ιπτάμενη τέφρα.

Περιέχει υψηλές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων (Pb).

Τα περισσότερα βαρέα μέταλλα της στάχτης μπορούν να συγκρατηθούν σε σακόφιλτρα καθαρισμού.

Τα διάφορα ροφητικά υλικά τέλος που χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό των καυσαερίων περιέχουν οξέα, βαρέα μέταλλα, διοξίνες και φουράνια και πρέπει κι αυτά να υποστούν κατάλληλη επεξεργασία πριν από τη διάθεσή τους. Τα υπολείμματα από την λειτουργία των μονάδων αποτέφρωσης περιορίζονται στο ελάχιστο. Πρακτικά η ποσότητα της παραγόμενης τέφρας

ισούνται με το αδρανές ποσοστό της ιλύος. Ωστόσο, στη ποσότητα αυτή θα πρέπει να προστεθεί και ο κονιορτός (ιπτάμενη τέφρα) που απομακρύνεται με συστήματα επεξεργασίας των αερίων της μονάδας. Γενικά, τα βαρέα μέταλλα παραμένουν στην τέφρα σε ποσοστά που κυμαίνονται από 60% έως 100%, με εξαίρεση τον Hg, του οποίου η συγκράτηση στην τέφρα είναι πολύ μικρή (0,5%).

Επισημαίνεται, ότι κατά την καύση, τα κινητικά βαρέα μέταλλα μετατρέπονται σε πιο σταθερές μορφές. Η τέφρα από τις μονάδες αποτέφρωσης πρέπει να μεταφέρεται και να υποβάλλεται σε ενδιάμεση αποθήκευση, ώστε να μην είναι δυνατή η διασπορά της στο περιβάλλον. Είναι απαραίτητη η ανάλυση των τεφρών ως προς την συγκέντρωση σε βαρέα μέταλλα και η πραγματοποίηση δοκιμών έκπλυσης πριν την τελική επιλογή του τρόπου τελικής διάθεσης (π.χ. διάθεση σε ειδική χωματερή, διάθεση μαζί με τσιμέντο μετά την σταθεροποίηση-στερεοποίηση της),(internet 1).

Σταθεροποίηση των βαρέων μετάλλων στην ιπτάμενη τέφρα είναι μια σημαντική τεχνική για τη θεραπεία της.

Η Τσιμέντο θεραπεία στερεοποίησης έχει αναγνωριστεί ως η καλύτερη τεχνική για την ιπτάμενη τέφρα. Αυξάνει την αποτελεσματικότητα σταθεροποίησης του μολύβδου. Τα συνδετικά υλικά που χρησιμοποιούνται για τις επεξεργασίες σταθεροποίησης /στερεοποίησης του Pb είναι ο ασβεστόλιθος, τα ποντζολικά υλικά, τα χουμικά, τα φουλβικά και άλλα οργανικά οξέα και οι ζεόλιθοι. Ο ζεόλιθος μπορεί να απομακρύνει βαρέα μέταλλα από βιομηχανικά απόβλητα και να αντικαταστήσει τον υψηλού κόστους ενεργό άνθρακα. Γενικά με την χρήση ζεόλιθων, ο  $Pb^{+2}$  αφαιρείται ευκολότερα έναντι πολλών άλλων δισθενών κατιόντων, όπως των  $Ca^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ . Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η σταθεροποίηση της τέφρας από φίλτρα αέρος έχει τη χαμηλότερη συγκέντρωση έκπλυσης του Pb (II),(internet 2).

### **Συνολική αποτίμηση καύσης**

Τα βασικότερα σημεία ως προς τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις μιας διεργασίας καύσης είναι:

1. Τα μέταλλα και ιδίως τα βαρέα δεν καταστρέφονται κατά την καύση. Το μεγαλύτερο ποσοστό τους μεταφέρεται στην ιπτάμενη τέφρα και στα κατάλοιπα καθαρισμού των αερίων και είναι υδατοδιαλυτό ενώ ένα μικρό ποσοστό ενσωματώνεται στα στερεά κατάλοιπα και αδρανοποιείται.

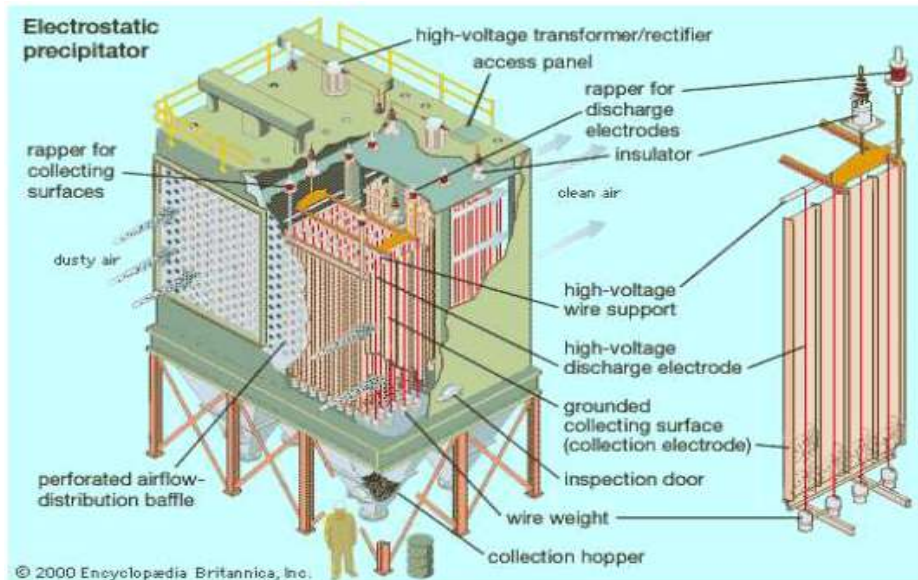
2. Η ιπτάμενη τέφρα και τα στερεά κατάλοιπα δεν μπορούν να διατεθούν σε χωματερές χωρίς επεξεργασία.

### **Επεξεργασία ιπτάμενης τέφρας και βαρέων Μετάλλων.**

Για την απομάκρυνση των ρύπων αυτών χρησιμοποιούνται μια σειρά από συσκευές όπως ηλεκτροστατικά φίλτρα (σακόφιλτρα και πλυντηρίδες. Απομάκρυνση των σωματιδίων τέφρας με μεγαλύτερο μέγεθος γίνεται σε μεγάλη απόδοση από κυκλώνες, οι οποίοι είναι παλαιότερη τεχνολογία καθαρισμού και τα ηλεκτροστατικά φίλτρα.

Ένα τυπικό ηλεκτροστατικό φίλτρο αποτελείται από μεταλλικές πλάκες (ηλεκτρόδια συλλογής) και ηλεκτρόδια εκφόρτωσης. Η διαδικασία του διαχωρισμού με ένα ESP περιλαμβάνει την διέλευση των απαερίων διαμέσου ηλεκτροδίων εκφόρτωσης, με αποτέλεσμα τα απαέρια να ιονιστούν. Τα σωματίδια της ιπτάμενης τέφρας και τα βαρέα μέταλλα συλλέγονται στις

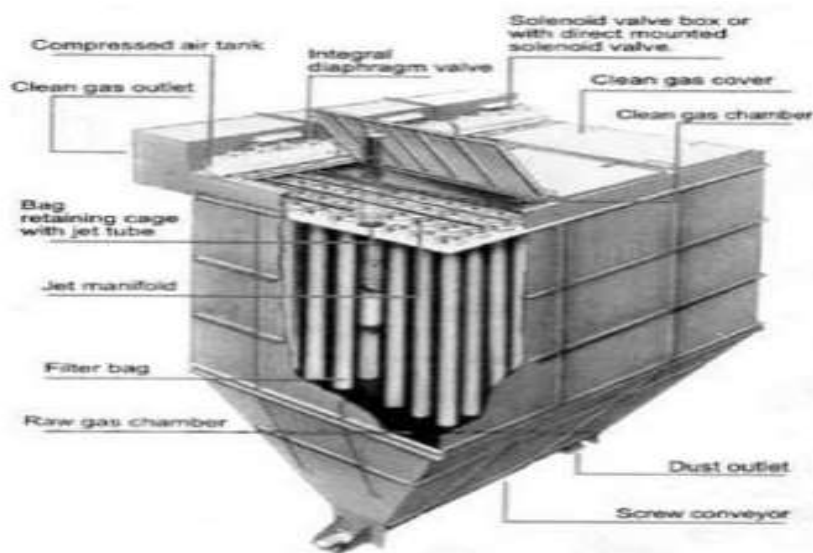
αντίθετα φορτισμένες μεταλλικές πλάκες και απομακρύνονται από αυτές. Το υλικό που συλλέχθηκε στις πλάκες είτε απομακρύνεται με τσίγγα των πλακών είτε με ξέπλυμα και καταλήγει στη βάση του ESP όπου πηγαίνει προς περαιτέρω επεξεργασία όπως η εδαφική διάθεση. Η απομάκρυνση της ιπτάμενης τέφρας στα ηλεκτροστατικά φίλτρα μπορεί να φτάσει στο 99% (Cooper, D.C et al., 2002, Cunliffe and P. T. Williams., 2009). Μια τυπική διάταξη ESP παρουσιάζεται στην εικόνα 2.



Εικόνα 2. Τυπική Διάταξη ESP.

Στα σακόφιλτρα το ρεύμα των απαερίων περνά διαμέσου ενός αριθμού παράλληλα τοποθετημένων υφασμάτων κυλινδρικών σάκων. Η σκόνη συγκεντρώνεται πάνω στις επιφάνειες των σάκων. Σημαντικό ρόλο στην αύξηση της απόδοσης του σακόφιλτρου παίζει το στρώμα σκόνης το οποίο συγκεντρώνεται πάνω στο ύφασμα από την αρχή της λειτουργίας του καθώς φιλτράρει αποτελεσματικά τα μικρά σωματίδια.

Τα σακόφιλτρα ποικίλουν ανάλογα με το μέγεθος των υφασμάτων, τον τρόπο ύφανσης και τον τρόπο με τον οποίο το ρεύμα του αέρα διέρχεται διαμέσου των σάκων. Οι τύποι των σακόφιλτρων είναι ταξινομημένοι ανάλογα με τον τρόπο καθαρισμού τους. Για τον λόγο αυτό έχουμε τα σακόφιλτρα αντίθετου ροής (reverse air), τα σακόφιλτρα με μηχανική δόνηση (Shaker) και τα σακόφιλτρα δόνησης με αέρα υπό πίεση (Pulse jet). Η εκτεταμένη λειτουργία των σακόφιλτρων απαιτεί τον συχνό καθαρισμό τους. Ο προσδοκώμενος χρόνος ζωής για ένα σακόφιλτρο είναι περίπου 5 έτη. Η αντίσταση στα όξινα ή αλκαλικά αέρια και σε εύρη θερμοκρασιών εξαρτάται από το υλικό του υφάσματος (Cooper, D.C et al., 2002). Η κατακράτηση ενός σακόφιλτρου μπορεί να ξεπεράσει το 99%, ( World Bank et al., 1999, Cunliffe and P. T. Williams., 2009 ). Εικόνα 3



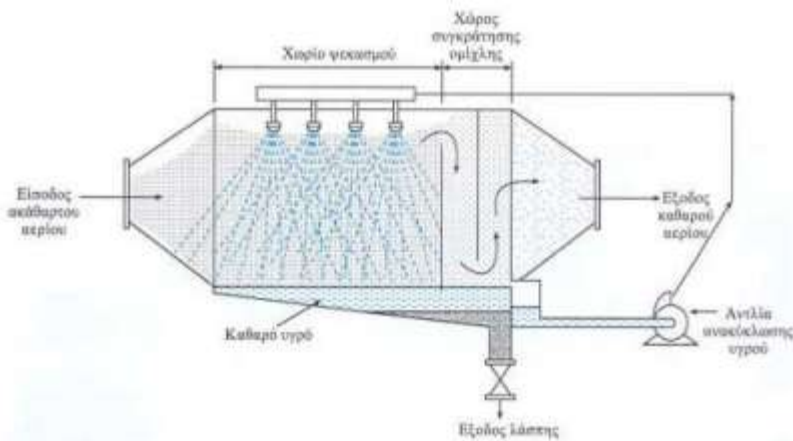
Εικόνα 3. Τυπική Διάταξη Σακόφιλτρου.

Οι συσκευές που λειτουργούν για την απομάκρυνση των σωματιδίων είναι οι πλυντηρίδες τύπου Venturi (Venturi scrubbers). Οι συσκευές αποτελούνται από τρία τμήματα: το τμήμα σύγκλισης (Converging Section), τον λαιμό (Throat) και το τμήμα απόκλισης (diverging Section). Το ρεύμα των απαερίων εισάγεται από το τμήμα σύγκλισης μέσω ακροφύσιων ψεκασμού. Καθώς η διατομή του τμήματος σύγκλισης μειώνεται, το ρεύμα τείνει να αυξήσει την ταχύτητά του. Το νερό της επεξεργασίας εισάγεται είτε στο λαιμό είτε στο τμήμα σύγκλισης. Στο τμήμα του λαιμού τα απαέρια έχουν αποκτήσει υψηλές ταχύτητες και προκαλούν τη μετατροπή του νερού σε έναν μεγάλο νέφος σταγονιδίων. Τα σωματίδια της τέφρας απομακρύνονται από τα απαέρια λόγω της προσκόλλησής τους με το σύννεφο των σταγονιδίων. Το μίγμα αυτό απομακρύνεται από τον θάλαμο διαμέσου του τμήματος απόκλισης λόγω της βαρύτητας (Stubenvoll, J., et al., 2002, World Bank et al., 1999, Cooper, D.C et al., 2002) Εικόνες 4,5.



Εικόνα 4. Τυπική Διάταξη Πλυντηρίδας.





Εικόνα 5. Τυπική Διάταξη Πλυντηρίδας

Η απόδοση για την απομάκρυνση της ιπτάμενης τέφρας με χρήση των συσκευών αυτών φτάνει στο 95%. Ειδική επεξεργασία επιβάλλεται τόσο για την καθιζάμενη τέφρα όσο και για την ιπτάμενη τέφρα που συλλέγεται από τις διάφορες συσκευές (ESP σακόφιλτρα). Τα σωματίδια που μεταφέρονται μαζί με τα απαέρια της καύσης και κατακάθονται στις επιφάνειες του λέβητα απομακρύνονται μέσω ειδικών χοανών. Κατά τη ψύξη των απαερίων πολλά πτητικά βαρέα μέταλλα και οργανικές ενώσεις προσκολλώνται πάνω στα σωματίδια, ενώ τα μικρότερα κατευθύνονται προς το σύστημα επεξεργασίας απαερίων (Stubenvoll, J., et al.,2002). Τα σωματίδια της ιπτάμενης τέφρας που συλλέγονται από το λέβητα και από τις συσκευές κατακράτησης απομακρύνονται και καταλήγουν προς εδαφική διάθεση. Επειδή τα υπολείμματα της τέφρας περιέχουν επικίνδυνες ενώσεις όπως βαρέα μέταλλα, η διαδικασία που απαιτείται για τη διάθεσής τους πρέπει να είναι αυστηρά ελεγχόμενη. Για την επεξεργασία των υπολειμμάτων χρησιμοποιούνται καταλυτικές μέθοδοι επεξεργασίας της τέφρας, απομάκρυνση των βαρέων μετάλλων και περαιτέρω αποτέφρωση της τέφρας, υαλοποίηση και αδρανοποίηση (Kellam R.,2003).

Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι κατά την διαδικασία της αποτέφρωσης της Μηδική:

- Οι σκόνης από τα φίλτρα αντιμετωπίζονται ως επικίνδυνα απόβλητα με τις νομοθετικές ρυθμίσεις.
- Μόλυβδος στα υπολείμματα, στα φίλτρα και την καπνοδόχο μιας εγκατάστασης θερμικής επεξεργασίας ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ):  
Σε σκωρία 16. Σε φίλτρα 76. Στην καπνοδόχο 18.

Για τον λόγο αυτό εστιάζουμε την προσοχή μας στα σακόφιλτρα που παρέχουν:

Αύξηση μονάδων φίλτρων: 99% απόδοση

Αύξηση της τάσης: 99% απόδοση

- Σταθεροποίηση των βαρέων μετάλλων στην ιπτάμενη τέφρα είναι μια σημαντική τεχνική για τη θεραπεία της. Ο ζεόλιθος μπορεί να απομακρύνει τον Pb και να αντικαταστήσει τον υψηλού κόστους ενεργό άνθρακα. Γενικά με την χρήση ζεόλιθων, ο  $\text{Pb}^{+2}$  αφαιρείται ευκολότερα έναντι πολλών άλλων δισθενών κατιόντων, όπως των  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ .

## **Συμπεράσματα**

Η τοξική επίδραση του μολύβδου στον οργανισμό μπορεί να επιφέρει σοβαρές και μόνιμες βλάβες στον οργανισμό του ανθρώπου. Η τοξικότητα του μολύβδου θα πρέπει να αναγνωρισθεί και να αντιμετωπισθεί με σοβαρότητα. Να τονισθεί η τοξική απειλή των βαρέων μετάλλων στην δημόσια υγεία. Θα πρέπει να θεσπιστούν πρόσθετοι περιορισμοί στην χρησιμοποίηση του μολύβδου σε διάφορα υλικά, και γενικότερα των βαρέων μετάλλων. Θα πρέπει η πολιτεία να θέσει σε δράση διάφορες πολιτικές αποφυγής και επεξεργασίας, (μέτρα αντιρρύπανσης), προκειμένου να μειωθεί ο βαθμός ρύπανσης. Ο βαθμός ρύπανσης να είναι τέτοιος που να μην προκαλεί σημαντικούς κινδύνους στη δημόσια υγεία, στην ανάπτυξη μιας περιοχής σε συνδυασμό με την έλλειψη “καθαρών” χώρων για τη δημιουργία βιομηχανιών, οικισμών και τέλος γενικότερα στην αύξηση της εμπορικής αξίας των ακινήτων σε μια περιοχή που έχει ρυπανθεί.

## **Βιβλιογραφία**

1. Γιδαράκος, Ε., Σημειώσεις «Διαχείριση και Επεξεργασία Αστικών Απορριμμάτων», Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης Χανιά, Απρίλιος pp: 38, 2007.
2. Σαχινίδης Σ. Πειραματική Μεταπτυχιακή Διατριβή. Επίδραση των βαρέων μετάλλων και ειδικότερα του μολύβδου, στην υγεία του ανθρώπου. Διαργασίες απομάκρυνσης του με την μέθοδο της Μηδικής.ΕΑΠ.2012.
3. Θεοχάρη, Χ., Αραβώσης, Κ., Βαρελίδης, Π., Ξαβατζής, Η., Ζιώγας, Χ., Ιατρού, Σ., Μπούρκα, Α., Οικονομόπουλος, Α., Παπαρηγορίου, Σ., Παντελάρας, Π., Φρατζής, Τ., “Διαχείριση Στερεών Απόβλητων Στην Ελλάδα/ Η περίπτωση της Αττικής,” ΤΕΕ, pp: 337, Αθήνα, 2006.
4. Achternbosch, M, and U. Richers, "Materials Flows and Investment Costs of Flue Gas Cleaning Systems of Municipal Waste Incinerators," Institute for Technical Chemistry Karlsruhe, Germany, FZKA 6726, pp: 112, 2002.
5. Cwan K.S., Jeon S.H.,Jung, Rok J.I., Hum K.K., Hee K.H., ,Hyung K.J., Heung Y.J.,Jin K.S., Cheon Y.J. and J.D.Hee “Removal Efficiencies of PCDDs/PCDFs By Air Pollution Control Devices in Municipal Solid Waste Incinerators,” Chemosphaire,43,pp:773-776,2001.
6. Dangerous substances in waste. Technical report no.38. European Environmental Agency, 2000.
7. European Commission, “Integrated Pollution Prevention and Control Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration,”pp: 601, 2006.

8. European Commission, "Directive 2000/76/EC of the European Parliament and of the Council of 4 December 2000 on the Incineration of Waste," Official Journal of the European Communities (28.12.2000).

9. Kellam R., "Draft Guidelines on BAT and BEP for Municipal Waste Incineration," UNEP/POPS/EGB.2/INF/1023, pp: 16, 2003.

10. Paleologos E.K., Economopoulos A.P, Rambow B., "Waste to Energy Alternatives: An Overview of Technologies, Regulatory Framework, and Economics," 1<sup>st</sup> Inter. Conf. on Hazardous Management, pp: 17, 1-3 October 2008.

11. "Standards of Performance for New Stationary Sources and Emission Guidelines for Existing Sources: Large Municipal Waste Combustors," Environmental Protection Agency, 71(90), pp:27324-27348

12. World Bank, World Bank Technical Guidance Report, "Municipal Solid Waste. Incineration," Washington, DC, pp: 95, 1999.

32. Cooper,D.C.,Alley,C.F. "Air Pollution Control, A Design approach," Waveland press Inc, Prospect Heights, Illinois, ,3<sup>th</sup> Edition, 2002.

13. Internet1:[http://www.ee.teihal.gr/labs/pkoukos/Documentation/ptyxiaki\\_ergasia\\_aporrimata.pdf](http://www.ee.teihal.gr/labs/pkoukos/Documentation/ptyxiaki_ergasia_aporrimata.pdf)

14. Internet2:[http://translate.google.gr/translate?hl=el&langpair=en%7Cel&u=http://ser.cienze.org.tw/download/17-2/jeeam17-2\\_123-128.pdf](http://translate.google.gr/translate?hl=el&langpair=en%7Cel&u=http://ser.cienze.org.tw/download/17-2/jeeam17-2_123-128.pdf)