

**« ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗΣ-  
ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΜΙΑΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ  
ΕΠΙΜΕΤΑΛΛΩΣΕΩΣ.ΜΙΧΑΝΙΣΜΟΙ ΚΑΙ  
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ »**

**« APPLICATION OF STABILISATION-SOLIDIFICATION  
METHOD TO WASTE MATERIALS FROM THE  
METALLIZATION INDUSTRY. MECANISMS AND  
EFFECTIVENESS OF THE METHOD »**

---

Στη μνήμη του καθηγητή μαθηματικού-ηλεκτρονικού Χαραλαμπίδη Ομηρου ,φίλου  
–συναδέλφου και κουμπάρου που έχασα πρόσφατα.

---

**ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ**

**ΣΑΧΙΝΙΔΗΣ ΣΥΜΕΩΝ**  
Φυσικός Ραδιοηλεκτρολόγος  
Καθηγητής ΔΕ Σερρών

**ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΙΔΗΣ ΑΧΙΛΛΕΑΣ**  
Χημικός Μηχανικός  
Καθηγητής ΤΕΙ Καβάλας<sup>1</sup>

**ΦΩΣΚΟΛΟΣ ΑΝΤΩΝΗΣ**

Ομότιμος καθηγητής,Τμήμα μηχανικών ορυκτών πόρων. Πολυτεχνείο  
Κρήτης , Χανιά, Κρήτη.

Ομότιμος Επιστημονικός Ερευνητής της Καναδική Κυβέρνησης.

1.Τμήμα Τεχνολογίας Πετρελαίου και Φυσικού Αερίου

---

Sachinidis Simeon  
Physical Electronics  
Professor Secondary education  
Serres

Christoforidis Achilleas  
Dr Chem. Engineer  
Tecnological Educational Institute.  
(TEI) of Kavala<sup>1</sup>

Foskolos Antonios

Emeritus Professor, Department of Mineral Resources Engineering,  
Technical University of Crete.

Emeritus Scientific Researcher of Canadian Government.

1.Department :Petroleum and Naturale Gas Tecnology.

---

## ABSTRACT

The Solidification/Stabilisation process (S/S) is a method for treating dangerous waste, before their disposal at sanitary landfill sites. The (S/S) process has been used extensively, this is due to its capacity to enclose and contain dangerous substances, such as the heavy metals, within the waste mass.

**Key words:** Solidification/Stabilisation, dangerous waste, cement Portland, micro-encapsulation, macro-encapsulation, asbestos stabilization, TCLP Test, heavy metals

---

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η Σταθεροποίηση/Στερεοποίηση (Σ/Σ) είναι η διεργασία επεξεργασίας επικίνδυνων αποβλήτων, πριν την απόρριψή τους σε χώρους υγειονομικής ταφής. Ο κύριος λόγος που κάνει τη Σ/Σ τόσο ευρέως διαδεδομένη είναι το γεγονός ότι ακινητοποιεί και εγκλωβίζει επικίνδυνες ουσίες όπως είναι τα βαρέα μέταλλα, που περιέχονται στα απόβλητα.

**Λέξεις κλειδιά:** Σταθεροποίηση/Στερεοποίηση, επικίνδυνα απόβλητα, τσιμέντο Portland, μικροεγκλωβισμό, μακροεγκλωβισμός, σταθεροποίησης με άσβεστο, δοκιμή TCLP, βαρέα μέταλλα.

---

## Εισαγωγή

Η επιμετάλλωση έχει αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια σχεδόν σε όλα τα μεταλλικά προϊόντα. Τα επιμεταλλωτήρια είναι ως επί το πλείστον μικρές οικογενειακές επιχειρήσεις.

Τα βασικά στάδια της παραγωγικής διαδικασίας είναι:

- α) Η προετοιμασία της προς επιμετάλλωση επιφάνειας, η οποία διεξάγεται με χρήση μηχανικών, φυσικών και χημικών μεθόδων.
- β) Το κύριο στάδιο της επιμετάλλωσης (π.χ. επιψευδαργύρωση, επινικέλωση, επιχάλκωση, επιχρωμίωση, επικαδμίωση, επιμολύβδωση).

Η επιμετάλλωση επιτυγχάνεται σε μπάνια, τα οποία περιέχουν οξέα, βάσεις, βαρέα μέταλλα, κυανιούχες ενώσεις και οργανικές ουσίες. Τα απόβλητα των επιμεταλλωτηρίων χωρίζονται σε υγρά, τα οποία προέρχονται από τον καθαρισμό (λάδια, γράσα), τα μπάνια, και στερεά, τα οποία προέρχονται από τα διάφορα στάδια της επιμετάλλωσης ή από την επεξεργασία των υγρών

αποβλήτων. (Σκορδίλης Α., Κομνίτσας Κ., 2004).

### **Κυρίως Θέμα**

Τα πλέον επικίνδυνα απόβλητα που προέρχονται από μία βιομηχανία επιμεταλλώσεως είναι τα στερεά, ιδιαίτερα η λάσπη Τα συνήθη μέταλλα που περιέχονται στην ιλύ είναι:

1. ο ψευδάργυρος (Zn)
2. ο χαλκός (Cu),
3. το νικέλιο (Ni)
4. ο μόλυβδος (Pb)
5. το χρώμιο (Cr),
6. ο κάδμιο (Cd)

Σημειώνεται ότι η ικανοποιητική προκατεργασία των υγρών αποβλήτων διατηρεί το περιεχόμενο των βαρέων μετάλλων στην ιλύ σε χαμηλά επίπεδα. Παρ' όλα αυτά, τα βαρέα μέταλλα σε συγκεντρώσεις που αρκετές φορές ξεπερνούν τα ανώτατα επιτρεπτά όρια, βρίσκονται στην ιλύ και δημιουργούν πολλά προβλήματα στην αποτελεσματική διαχείριση και διάθεσή της.

Η ιλύς από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων ανάλογα με την ποιότητά της και ανάλογα με την επεξεργασία που υφίσταται με την εφαρμογή των διαφόρων τεχνολογιών μπορεί χρησιμοποιηθεί ή να διατεθεί με διάφορους τρόπους οι κυριότεροι από τους οποίους είναι η γεωργία και η ταφή. Η ταφή είναι η μέθοδος που κυρίως χρησιμοποιείται στην Ελλάδα παρ' όλο που η χρήση της ιλύος στη γεωργία αποτελεί την καλύτερη και οικονομικότερη λύση. Το μεγαλύτερο εμπόδιο που πρέπει να υπερπηδηθεί, για εφαρμογή της ιλύος στη γεωργία, είναι η αδρανοποίηση των βαρέων μετάλλων που αυτή περιέχει. (Νταράκας Ε., 2006).

Η Σταθεροποίηση/Στερεοποίηση (Σ/Σ) είναι η διεργασία επεξεργασίας επικίνδυνων αποβλήτων, πριν την απόρριψή τους σε χώρους υγειονομικής ταφής. Ο κύριος λόγος που κάνει τη Σ/Σ τόσο ευρέως διαδεδομένη είναι το γεγονός ότι ακινητοποιεί και εγκλωβίζει επικίνδυνες ουσίες όπως είναι τα βαρέα μέταλλα, που περιέχονται στα απόβλητα.

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να παρουσιαστούν οι μέθοδοι Σ/Σ : με τσιμέντο, υαλοποίησης και άσβεστο. Η αξιολόγηση της κάθε μεθόδου για την βιομηχανία που εξετάζουμε γίνεται με βάση :

A) μιας διεργασίας όπως αυτής της διεργασίας Σ/Σ που περιλαμβάνει προσθήκη συνδετικών ή αδρανών τα οποία βοηθούν ώστε τα επικίνδυνα συστατικά του απόβλητου να παραμένουν στη λιγότερο κινητική ή τοξική τους μορφή, ελαττώνοντας δηλαδή την εκχυλιστικότητα των επικίνδυνων ουσιών και

B) με βάση το κόστος και της εύκολης διάθεσης των υλικών.

Τέλος εξετάζεται η αποτελεσματικότητα της μεθόδου που προτείνουμε.

Η ελαχιστοποίηση των επικίνδυνων αποβλήτων στα επιμεταλλωτήρια για να είναι εφικτή πρέπει να συνδυάζεται με τη διαθέσιμη τεχνολογία ως εξής:

1. Καλύτερη διαχείριση στην επιχείρηση.

2. Αλλαγή της παραγωγικής διαδικασίας και χρήση καθαρών τεχνολογιών.

3. Ανακύκλωση και ανάκτηση υλικών και ενέργειας.

Λέγοντας καλύτερη διαχείριση εννοούμε: α) τον έλεγχο όλων των απαιτούμενων πρώτων υλών, σε οποιαδήποτε παραγωγική διαδικασία, β) την ακριβή και όχι άσκοπη χρήση επικίνδυνων ουσιών, με αυστηρή τήρηση συνταγολογίου και γ) την αντικατάσταση των τοξικών ουσιών με εναλλακτικές ουσίες, οι οποίες δεν θα είναι ή θα είναι λιγότερο τοξικές.

Η ανακύκλωση των τοξικών ουσιών στην πηγή είναι ένας από τους πιο αποτελεσματικούς τρόπους ελαχιστοποίησης. Η ανακύκλωση αφορά τους διαλύτες, και τις λάσπες. Η χημική ανάκτηση επιτυγχάνεται με εξάτμιση, ιονοανταλλαγή, ήλεκτρο διάλυση και αντίστροφη όσμωση. Το κόστος για την χημική ανάκτηση είναι αρκετά υψηλό.

Η επεξεργασία και τελική διάθεση των επικίνδυνων αποβλήτων αποτελεί μια πολύπλοκη και πολύπλευρη διαδικασία γιατί αφορά τους βασικούς τομείς του περιβάλλοντος, έδαφος, νερά και αέρα.

Καθοριστικό ρόλο για την επιλογή της καλύτερης μεθόδου επεξεργασίας - διάθεσης παίζουν: οι ποσότητες και η σύνθεση των επικίνδυνων αποβλήτων καθώς και το κόστος επένδυσης και λειτουργίας των αντίστοιχων μονάδων.

Οι μέθοδοι επεξεργασίας και διάθεσης μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες.

Τις μεθόδους μείωσης του όγκου των επικίνδυνων αποβλήτων και τις μεθόδους αδρανοποίησης και ασφαλούς εναπόθεσης. Η μείωση του όγκου επιτυγχάνεται με φυσικές ή χημικές μεθόδους και θερμική επεξεργασία, ενώ η αδρανοποίηση με ελεγχόμενη διάσπαση, με σταθεροποίηση και εναπόθεση σε χώρους που πληρούν όλες τις προϋποθέσεις οι οποίες εξασφαλίζουν την προστασία του περιβάλλοντος.

Σταθεροποίηση είναι η διαδικασία κατά την οποία τα επικίνδυνα απόβλητα αναμιγνύονται με πρόσθετα υλικά σε μία σταθερή μονολιθική μάζα, με στόχο τη μείωση της ρύπανσης. Κατά τη σταθεροποίηση - στερεοποίηση συντελούνται φυσικές και χημικές διαδικασίες. Με την προσθήκη κατάλληλων υλικών, αυξάνεται η αντοχή, ενώ παράλληλα μειώνεται η περατότητα. Ως πρόσθετα υλικά χρησιμοποιούνται ανόργανες και οργανικές ενώσεις.

Τα πλέον εύχρηστα πρόσθετα ανόργανα υλικά είναι το τσιμέντο, η άσβεστος, οι ποζολάνες και οι πυριτικές ενώσεις. Από τα οργανικά οι εποξειδικές ρητίνες, ο πολυεστέρας, η άσφαλτος, οι πολυολεφίνες και οι φορμαλδεΐδες. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα χρήσης συνδυασμού υλικών ανόργανων και οργανικών.

Η ταξινόμηση των συστημάτων σταθεροποίησης - στερεοποίησης εξαρτάται από το είδος του μηχανισμού. Τα βασικά είδη μηχανισμών που λαμβάνουν χώρα κατά τη στερεοποίηση - σταθεροποίηση είναι: α) η ρόφηση (προσρόφηση και απορρόφηση), β) η έγκλυση (μικρό - μακρό έγκλυση), και γ) η αποτοξικοποίηση (χημικές αντιδράσεις).

Η ρόφηση διακρίνεται σε προσρόφηση και απορρόφηση. Κατά τη ρόφηση βασικός στόχος είναι η απομάκρυνση των υγρών. Μόνο κατά την απορρόφηση υπάρχει χημική σύνδεση των τοξικών ουσιών με τα πρόσθετα υλικά.

Ο μικροεγκλωβισμός είναι ο μηχανισμός με τον οποίο τα ρυπασμένα υλικά εγκλωβίζονται φυσικά μέσα στην κρυσταλλική δομή της στερεοποιημένης μήτρας σε μικροσκοπικό επίπεδο. Η διαδικασία μικροεγκλωβισμού περιλαμβάνει την ανάμειξη του ρυπασμένου εδάφους με το μέσο εγκλωβισμού πριν από τη στερεοποίηση. Καθώς οι ρυπαντές έχουν εγκλωβιστεί φυσικά στη στερεοποιημένη δομή και δεν είναι χημικά τροποποιημένοι ή δεσμευμένοι, ο ρυθμός αποδέσμευσης των ρυπαντών από την στερεοποιημένη μάζα μπορεί να αυξηθεί με την αύξηση της εκτιθέμενης επιφάνειας. Όμως, αντίθετα από τον μικροεγκλωβισμό, ακόμα και αν το επεξεργασμένο υλικό διασπαστεί, οι ρυπαντές παραμένουν ακόμα εγκλωβισμένοι (LaGrega et al, 2001).

Το τσιμέντο Portland, οι ποζολάνες ή ο ασβέστης και τα οργανικά πολυμερή μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον μικροεγκλωβισμό των ρυπαντών σε απόβλητα. Τα οργανικά πολυμερή παρουσιάζουν ένα κύριο πλεονέκτημα σε σχέση με τα περισσότερα ανόργανα συστήματα: από τη στιγμή που στερεοποιούνται, έχουν χαμηλότερη διαπερατότητα και τείνουν να παραμείνουν σε μονολιθική μορφή λόγω της αντοχής και της ελαστικότητας του πολυμερούς (Conner και Hoeffner, 1998b).

Όπως και στα θερμοπλαστικά συστήματα, τα περισσότερα από αυτά τα προϊόντα είναι υδρόφοβα μετά τη στερεοποίηση και τείνουν να παραμείνουν ανθεκτικά στην εκχύλιση ακόμα και αν θραυστούν σε μικρότερα τεμάχια. Έτσι, είναι αποτελεσματικά στη συγκράτηση υψηλά τοξικών μετάλλων και οργανικών συστατικών. Ένα άλλο χαρακτηριστικό των συστημάτων οργανικών πολυμερών είναι ότι μπορεί να επιτευχθεί γρήγορη ζελατινοποίηση και ανάπτυξη της φυσικής αντοχής αν αυτό είναι επιθυμητό (Conner και Hoeffner, 1998b).

Ο μακροεγκλωβισμός είναι ο μηχανισμός ο οποίος επιτρέπει το φυσικό εγκλωβισμό επικίνδυνων συστατικών σε μεγαλύτερες δομικές μήτρες. Το επικίνδυνο υλικό συγκρατείται σε ασυνεχείς πόρους εντός του υλικού στερεοποίησης. (LaGrega et al, 2001). Η παραμονή των επικίνδυνων ουσιών στο πρόσθετο υλικό εξαρτάται από διάφορες συνθήκες, όπως υγρασία, ξηρασία κ.λ.π., καθώς και από το είδος και την ενέργεια των αναμειγνυόμενων υλικών. Αποτοξικοποίηση είναι κάθε μηχανισμός που αλλάζει τη χημική σύνθεση ενός Ε.Α. καθιστώντας το μη τοξικό ή λιγότερο τοξικό. Οι τεχνολογίες της Σ.Σ. προσδιορίζονται από το πρόσθετο υλικό. Οι σπουδαιότερες είναι: του τσιμέντου, των ποζολανών, του ασβέστη, των οργανοφιλικών πηλών και των θερμοπλαστικών .

Η σταθεροποίηση/ στερεοποίηση, με τσιμέντο αποτελεί την πλέον εφαρμοσμένη μέθοδο των βιομηχανικών αποβλήτων. Αυτό οφείλεται, στο σχετικά φθηνό κόστος του τσιμέντου και στην καλή αποτελεσματικότητά του στη φάση ενυδάτωσης.

Το πλέον κοινό τσιμέντο, είναι του τύπου Portland. Το τσιμέντο αναμιγνύεται

με τα επικίνδυνα απόβλητα και όταν απαιτείται, προστίθεται νερό για την ενυδάτωση. Η ενυδάτωση του τσιμέντου οδηγεί στην παραγωγή μιας κρυσταλλικής μορφής άσβεστο - άργιλο - πυριτικών. Η σταθεροποίηση με τσιμέντο ενδείκνυται για τα ανόργανα απόβλητα και ειδικά γι' αυτά που περιέχουν βαρέα μέταλλα. Η αλκαλικότητα του τσιμέντου βοηθά στον σχηματισμό αδιάλυτων υδροξειδίων ή ανθρακικών αλάτων.

Σε αντίθεση με τα ανόργανα οι οργανικές ουσίες, εμποδίζουν τη σταθεροποίηση του τσιμέντου, γιατί μειώνουν την κρυσταλλική δομή δημιουργώντας ένα περισσότερο άμορφο υλικό. Εκτός από τις οργανικές ουσίες, προβλήματα στην αποτελεσματική χρήση αυτής της μεθόδου μπορεί να δημιουργήσει ο νιτρικός μόλυβδος, ο οποίος αναστέλλει την ενυδάτωση του τσιμέντου, καθώς και μια σειρά αλάτων του Μαγγανίου, του Ψευδαργύρου και του Χαλκού τα οποία αυξάνουν τον χρόνο πήξης της πάστας και μειώνουν την μηχανική αντοχή.

Στα υγρά επικίνδυνα απόβλητα πριν το τσιμέντο συνήθως προστίθεται ιπτάμενη τέφρα, έτσι ώστε να επιτευχθεί κατάλληλη συνοχή. Η αποτελεσματικότητα αυτής της μεθόδου κρίνεται από τον χρόνο πήξης, τις φυσικές ιδιότητες (αντοχή σε θλίψη και πυκνότητα) και την εκπλυσιμότητα των τοξικών συστατικών.

Η αντίδραση μεταξύ αργιλοπυριτικής ύλης με ασβέστη και νερό δημιουργεί μονολιθική ποζολανική μάζα. Ποζολανικά υλικά είναι η ιπτάμενη τέφρα, οι σκωρίες και τα υπολείμματα των κλιβάνων παραγωγής τσιμέντου. Η ιπτάμενη τέφρα που αποτελεί το αντιπροσωπευτικό ποζολανικό υλικό αποτελείται από 45%  $\text{SiO}_2$ , 25%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 15%  $\text{FeO}_3$ , 10%  $\text{CaO}$ , 1%  $\text{MgO}$ , 1%  $\text{K}_2\text{O}$ , 1%  $\text{Na}_2\text{O}$  και 1%  $\text{SO}_3$ . Όπως και το τσιμέντο, χρησιμοποιείται για τη σταθεροποίηση ανόργανων επικίνδυνων αποβλήτων. Στην περίπτωση κατά την οποία στα επικίνδυνα απόβλητα υπάρχουν οργανικές ουσίες, τότε χρησιμοποιείται και οργανοφιλικός πηλός. Με άλλα λόγια η Σ/Σ με τσιμέντο είναι μια καλή μέθοδος αλλά στην δική μας περίπτωση (βιομηχανία επιμεταλλώσεων), προκύπτουν απόβλητα και λάσπες που έχουν βαρέα μέταλλα όπως ψευδάργυρος (Zn), χαλκός (Cu), νικέλιο (Ni) και μόλυβδος (Pb) και ειδικά τα άλατά τους που είναι δύσκολο να αντιμετωπιστούν. Υπάρχει περίπτωση να αντιμετωπιστούν, το κόστος όμως θα είναι υψηλό.

Μια άλλη μέθοδος που μπορεί να αναφερθεί είναι αυτή της επεξεργασίας των επικίνδυνων αποβλήτων σε υψηλές θερμοκρασίες (υαλοποίηση) με προσθήκη άμμου, πηλού ή άλλων κατάλληλων υλικών, ακινητοποιεί τα μέταλλα και καταστρέφει τις οργανικές ουσίες. Η υαλοποίηση μπορεί να εφαρμοσθεί σε επικίνδυνα απόβλητα με διαφορετικά χημικά και φυσικά χαρακτηριστικά σε οποιαδήποτε μορφή, υγρά στερεά, λάσπες. Κατά την τήξη των υλικών, το παραγόμενο προϊόν (γυαλί) καταλαμβάνει μικρότερο όγκο από τα αρχικά επικίνδυνα απόβλητα. Από τις μέχρι σήμερα μετρήσεις φαίνεται ότι η μέθοδος της υλοποίησης έχει καλύτερα αποτελέσματα, όταν εφαρμόζεται για ανόργανα επικίνδυνα απόβλητα, απ' ό,τι τα οργανικά. Απαραίτητη βέβαια προϋπόθεση για την εφαρμογή αυτής της μεθόδου, είναι η γνώση των φυσικών

χαρακτηριστικών και του μεγέθους των κόκκων, τόσο των επικίνδυνων αποβλήτων όσο και των πρόσθετων υλικών. (Σκορδίλης Α., Κομνίτσας Κ. 2004). Το κόστος αυτής της μεθόδου είναι υψηλό.

Η μέθοδος που προτείνουμε είναι αυτή της σταθεροποίησης με άσβεστο.

Η άσβεστος είναι ένα προϊόν με πάρα πολλές χρήσεις. Οι κυριότερες περιλαμβάνουν τη χρήση ασβέστου στη μεταλλουργία, στην παραγωγή χαρτιού, γυαλιού, χρωμάτων και ζάχαρης, στον κλάδο των κατασκευών και σε περιβαλλοντικές εφαρμογές.

Τα νερά επηρεάζονται από ρύπους που καταλήγουν σε αυτά υπό μορφή απορριμμάτων ή λυμάτων, καθώς και από τους ατμοσφαιρικούς ρύπους που φτάνουν άμεσα ή έμμεσα σε αυτά. Μέχρι σήμερα έχουν δοκιμασθεί με διαφορετικό βαθμό επιτυχίας διάφορες τεχνικές, με τις οποίες αντιμετωπίζεται ο καθαρισμός των λυμάτων. Οι τεχνικές αυτές στοχεύουν στην απομάκρυνση των επιβαρυντικών και επιβλαβών στοιχείων. (Tsimas et al. 1998).

Η χρήση της ασβέστου είτε με τη μορφή του οξειδίου, είτε του υδροξειδίου του ασβεστίου, επιφέρει σε όλα τα στάδια ενός βιολογικού καθαρισμού, τόσο πριν τη συμπύκνωση των υγρών λυμάτων όσο και στην παραγόμενη λάσπη, εντυπωσιακά αποτελέσματα. Αυτό βασίζεται στη χημική της συμπεριφορά και πιο συγκεκριμένα στο ότι αυτή (Boyd 1982):

- Συντελεί στην κατακρήμνιση πολλών ρύπων (όπως φωσφορικά άλατα και βαρέα μέταλλα), οι οποίοι συμπαρασύρονται με τον τρόπο αυτό στη λάσπη.
- Δρα ως ένα πολύ καλό κροκιδωτικό συντελώντας με τον τρόπο αυτό στον εγκλωβισμό αιωρούμενων ρύπων προς ταχέως καθιζάνοντα στερεά, των οποίων η απομάκρυνση είναι ευχερής.
- Παρέχει τη δυνατότητα ρυθμίσεως του pH.
- Εξουδετερώνει την οξύτητα των λυμάτων.

Αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τη μείωση της οσμής και των παθογόνων οργανισμών.

Για έρευνά μας η δυνατότητα ρύθμισης του pH είναι ο σοβαρότερος λόγος που επιλέξαμε την μέθοδο Σ/Σ, ικανή για μια βιομηχανία επιμεταλλώσεων. Σε γενικές γραμμές, η εκχυλισιμότητα των μετάλλων εξαρτάται από το pH. Ο έλεγχος του pH μπορεί να πραγματοποιηθεί με την προσθήκη στα επικίνδυνα απόβλητα αλκαλικών υλικών. Τα πιο συνιθισμένα υλικά προσθήκης για τον έλεγχο του pH είναι η άσβεστος ( $\text{CaO}$  ή  $\text{Ca(OH)}_2$ ), ο ασβεστόλιθος ( $\text{CaCO}_3$ ), το ανθρακικό νάτριο ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), καυστικό νάτριο και σε μικρότερο βαθμό, υδροξείδιο του μαγνησίου. Το τελευταίο, παρόλο που χρησιμοποιείται σπανίως στα εμπορικά συστήματα σταθεροποίησης, εξαιτίας της διαθεσιμότητας άλλων αλκαλικών υλικών σε χαμηλότερο κόστος, θεωρείται ως ένα ελκυστικό αντιδραστήριο όταν απαιτείται πιο ακριβής έλεγχος του pH αφού παρουσιάζει χαμηλή διαλυτότητα στο νερό και επομένως δεν αυξάνει αμέσως το pH. Τα περισσότερα από τα αντιδραστήρια στερεοποίησης είναι αλκαλικά και μπορούν να αντικαταστήσουν εν μέρει ή και εξολοκλήρου τα παραδοσιακά αλκαλικά υλικά, δρώντας ταυτόχρονα σαν ρυθμιστές του pH καθώς και επίσης και ως συνδετικό μέσο. Τα αλκαλικά συνδετικά υλικά περιλαμβάνουν το τσιμέντο Portland, σκόνη από την παραγωγή τσιμέντου και ασβέστου, ιπτάμενη τέφρα τύπου C και πυριτικό νάτριο (US EPA, 1993).

Η προσθήκη ασβέστου αποκλειστικά ή σε συνδυασμό με χλωριούχο σίδηρο καθιστά δυνατή την αφυδάτωση των πυκνόρρευστων ιλύων και υποβοηθείται με τον τρόπο αυτό η διήθηση της λάσπης, που προκύπτει από την επεξεργασία των λυμάτων, ενώ παράλληλα παράγεται ένα προϊόν με επαρκώς υψηλή περιεκτικότητα σε στερεά, ώστε να είναι δυνατή η μεταφορά τους σε σχετικά μεγάλες αποστάσεις για τελική διάθεση.

Άλλος λόγος που προτείνω αυτήν την μέθοδο είναι ότι η άσβεστος είναι ένα προϊόν που στον ελληνικό χώρο είναι συνδεδεμένο με υλικά χαμηλής προστιθέμενης αξίας. Αυτό έχει προκύψει από πολλούς παράγοντες. Σε μια χώρα με ευρέως διαδεδομένα ανθρακικά πετρώματα, η κάλυψη των παραδοσιακών αναγκών, κυρίως της οικοδομικής δραστηριότητας, δεν οδήγησε στην παραγωγή αυτού του προϊόντος από μεγάλες βιομηχανικές μονάδες, οι οποίες θα είχαν την δυνατότητα προσθετικά να διαφοροποιήσουν τα αρχικά προϊόντα και να δημιουργήσουν νέα, υψηλότερης προστιθέμενης αξίας. Όπως συνήθως έχει γίνει και με την πλειονότητα των φυσικών πόρων, οι ανάγκες τις αγοράς διαμορφώνουν όχι μόνο τις τιμές, αλλά και την αναγκαιότητα ύπαρξης νέων προϊόντων.

### **Συμπεράσματα**

Το κόστος για την εφαρμογή των μεθόδων Σ/Σ. είναι σχετικά χαμηλό σε σύγκριση με τις άλλες μεθόδους επεξεργασίας των επικίνδυνων αποβλήτων. Όλα τα παραπάνω συναινούν να αποτελεί η Σ/Σ. μια καλή εναλλακτική λύση για τη διαχείριση των επικίνδυνων αποβλήτων και στη χώρα μας. Η προτεινόμενη μέθοδος της Σταθεροποίησης-Στερεοποίησης οδηγεί σε πολύ καλά αποτελέσματα όσον αφορά την εφαρμογή της για την παραγωγή φτηνών και περιβαλλοντικά φιλικών υλικών. Αυτή η ανάμειξη με τη λάσπη στην υγρή μορφή με το τσιμέντο μπορεί να δώσει ένα υλικό με σχετικά υψηλή αντοχή και χημική σταθερότητα, που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σαν βάσεις και υποστρώματα για δρόμους, αεροδρόμια, περιοχές στάθμευσης κ.λ.π.

Η δοκιμή US EPA Toxicity Characteristics Leaching Procedure (TCLP) είναι μία θεσμοθετημένη δοκιμή που έχει υιοθετηθεί από την Υπηρεσία Περιβάλλοντος των Η.Π.Α.(US EPA) ως αντικατάσταση της δοκιμής τοξικότητας (EP toxicity test) για την κατηγοριοποίηση των υλικών σε επικίνδυνα και μη επικίνδυνα. Η δοκιμή αυτή αναπτύχθηκε αρχικά για το χαρακτηρισμό βιομηχανικών αποβλήτων, με βάση το σενάριο της συναπόθεσής του με αστικά απορρίμματα τα οποία παράγουν οργανικά οξέα κατά την αποσύνθεσή τους. Η δοκιμή TCLP χρησιμοποιείται επίσης για την εκτίμηση της αποτελεσματικότητας της σταθεροποίησης. Η αξιοπιστία της δοκιμής TCLP για την εκτίμηση της αποτελεσματικότητας της σταθεροποίησης έχει συχνά επικριθεί για διάφορους λόγους. Ως συνέπεια, οι ευεργετικές ιδιότητες του μακρο και μικροεγκλωβισμού περιορίζονται. Σε περιπτώσεις όμως που η σταθεροποίηση πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας ισχυρά αλκαλικά υλικά όπως ιπτάμενη τέφρα ή τσιμέντο, η τιμή του pH του εκχυλίσματος TCLP αυξάνεται δραματικά, και επομένως η εκχύλιση πραγματοποιείται κάτω από αλκαλικές παρά όξινες συνθήκες. Αντίθετα με την



άσβεστο που είναι καλός ρυθμιστής του pH. Παρά τις κριτικές, η δοκιμή TCLP είναι πολύ σημαντική για την σύγκριση εναλλακτικών δοκιμών επεξεργασίας και μιγμάτων σταθεροποίησης (LaGrega και άλλοι 2001). Σε κάποιες περιπτώσεις μπορούμε να έχουμε καλά αποτελέσματα όταν στην μέθοδο Σ/Σ χρησιμοποιηθεί άσβεστος με τσιμέντο. Στη περίπτωση αυτή το κόστος θα ανέβει.

### Βιβλιογραφία

Νταράκας Ευθύμιος. Λέκτορας; Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών ΑΠΘ Τεχνικά Χρονικά .Ορια συγκέντρωσης και αδρανοποίηση των τοξικών ρύπων για περιβαντολλογικά αποδεκτούς τρόπους διάθεσης ιλύος εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων. Σεπτέμβριος- Οκτώμβριος 2006.

Σκορδίλης Α., Κορνίτσας Κ. Επικίνδυνα απόβλητα. Τόμος Β Πάτρα 2004.

Conner, J.R. και S.L. Hoeffner, 1998a, The History of Stabilization/Solidification Technology, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 28 (4), pp. 325-96.

Conner, J.R. και S.L. Hoeffner, 1998b, A Critical Review of Stabilization/Solidification Technology, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 28 (4), pp. 397-462.

LaGrega M.D., P.L. Buckingham και J.C. Evans, 2001, Hazardous Waste Management, 2nd edition, McGraw-Hill, New York, 2001.

Malone K. & May P. 1987. Use of lime in the design of landfills for waste disposal, ASTM Spec. Tech. Publ., 42– 51 pp.

Rossouw M. 1985. Lime in Wastewater and sewage sludge, *Schriftenr. Inst. Wasserversorg. Hochsch. Darmstadt*.

Boyd A.K. 1988. Sludge treatment before chamber filter presses, Boston, U.S.A, *Umwelt*, (20) 533 – 535pp.

Schmid L.A. & McKInney R.E. 1985. Waste water treatment. *J. Environmental Eng.*, 111(4), pp. 460 – 471

Tsimas S. Velonakis E.N., & Leontzakos M. 1998. Study of use of lime in wastewater treatment plants. The case of Psittalia. *Tech. Chron. Sci. J. TCG*, V, No 1- 2.

US, 1993, Solidification/Stabilization and its application to waste materials, Technical Resource Document, EPA/530/R-93/012, Office of Research and Development, Washington DC.

Δημοσίευση σε περιοδικό Φυσικής 17-10-2010

<http://www.scientific-journal-articles.com/greek/free-online-journals/physics/physics-articles/sachinidis-stabilisation-method/sachinidis.htm>