

Χρήση ασβέστου στην αντιμετώπιση προβλημάτων βιολογικών καθαρισμών

του Σ. Τσίμα

Τα τελευταία τρία χρόνια στο Εργαστήριο της Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας και στα πλαίσια της προώθησης, των εκτός των δομικών εφαρμογών χρήσεων της ασβέστου, γίνονται αρκετές εργασίες προς την κατεύθυνση κυρίως της χρησιμοποίησής της ως μέσου αντιρρύπανσης. Είναι φυσικό να αντιμετωπισθεί η δράση της ασβέστου ως μέσου εξουδετέρωσης των χημικών ρύπων από ένα κατ' εξοχήν σχετικό εργαστήριο, όπως αυτό της Αναλυτικής Χημείας και η περίπτωση της Ψυττάλειας είναι μια πρόκληση και για μας. Η σχετική έρευνα που βρίσκεται σε εξέλιξη αφορά στην καθοριστική συμμετοχή της ασβέστου σε όλες τις φάσεις των βιολογικών καθαρισμών με εστίαση στο θέμα της επεξεργασίας της προς απόθεση λάσπης και με απώτερο στόχο την περαιτέρω βελτίωσή της. Η εργασία που παρουσιάζεται αποτελεί το θεωρητικό υπόβαθρο στο οποίο στηρίζεται η έρευνά μας, που γίνεται με την συνεργασία της Δημόσιας Σχολής

Υγείας, η οποία έχει επωμισθεί τη μέτρηση και προσδιορισμό των παθογόνων μικροοργανισμών.

Τα μέχρι στιγμής αποτελέσματα από την προσθήκη ασβέστου παρουσιάζονται, όσον αφορά στους χημικούς ρύπους, ιδιαίτερα ενθαρρυντικά ως προς:

- Τη σημαντικά βελτιωμένη ποιότητα των επεξεργασμένων αποβλήτων.

- Τον αυξημένο βαθμό απομάκρυνσης φωσφορικών σε επίπεδα pH 9 έως 12.

- Τον ικανοποιητικό βαθμό απομάκρυνσης της NH_3 σε επίπεδα pH υψηλότερα του 10.5.

1. Εισαγωγή

Είναι γνωστό ότι μέχρι σήμερα έχουν δοκιμασθεί με ικανοποιητική ή λιγότερο ικανοποιητική επιτυχία διάφορες τεχνικές με τις οποίες αντιμετωπίζεται ο καθαρισμός των λυμάτων ή των ακάθαρτων αποβλήτων όπως αυτά ονομάζονται. Οι τεχνικές αυτές στοχεύουν στην απομάκρυνση των επιβαρυντικών και επιβλαβών στοιχείων τα οποία υπάρχουν στα λύματα και τα οποία διακρίνονται στις εξής κύριες ομάδες: Τα αιωρούμενα στερεά (SS), τις οργανικές ουσίες (BOD, COD, TOC), φωσφορικές ενώσεις, τις ενώ-

σεις του αζώτου, τους μικροοργανισμούς καθώς και άλατα και βαρέα μέταλλα. Το κύριο συστατικό των αστικών λυμάτων είναι βέβαια το νερό. Οι παράμετροι που επιβαρύνουν και υποβαθμίζουν ανάλογα την ποιότητα του νερού διαχωρίζονται σε φυσικές, χημικές και μικροβιολογικές. Από τις φυσικές παραμέτρους, στα αστικά λύματα σημαντικό ρόλο έχουν οι οσμές που είναι δείγμα παρουσίας ανόργανων και οργανικών ενώσεων αζώτου, θείου και φωσφόρου καθώς και η θολότητα που είναι δείγμα παρουσίας κολλοειδών και λεπτόκοκκων αιωρούμενων στερεών. Από τις χημικές παραμέτρους στα αστικά λύματα παρουσιάζει ενδιαφέρον η οργανική χημική ρύπανση, καθόσον η ρύπανση με ανόργανες ουσίες (οξέα βάσης, διάφορες τοξικές ουσίες είναι χαρακτηριστικό των βιομηχανικών αποβλήτων. Οι οργανικές ουσίες που επιβαρύνουν τα αστικά λύματα είναι πρωτεΐνες (αζωτούχες ενώσεις με μεγάλο M.B που εύκολα διασπώνται σε αμινοξέα, λιπαρά και αρωματικά οξέα, H_2S και ενώσεις οργανικού θείου και φωσφόρου), λίπη (που διασπώνται σε γλυκερίδια και λιπαρά οξέα) και υδατάνθρακες. Η μικροβιολογική ρύπανση τέλος, περιλαμβάνει τα

Ο Σ. Τσίμας είναι επικ. καθηγητής στον Τομέα Χημικών Επιστημών του Τμήματος Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ

παθογόνα βακτηρίδια που προέρχονται από κοπρανώδεις ουσίες όπως, σαλμονέλλα, συγγέλλα, δονάκιο της χολέρας, διάφοροι ιοί (ηπατίτιδα, πολιομυελίτιδα) καθώς και εντερικά παράσιτα. Η αντιμετώπιση των επί μέρους ρυπαντών με διάφορες τεχνικές συνθέτει μία πλήρη μονάδα επεξεργασίας αστικών λυμάτων και προϋποθέτει την ύπαρξη εγκαταστάσεων στις οποίες θα απομακρύνονται σταδιακά οι επιβλαβείς αυτές ουσίες. Ως εκ τούτου έχουν προκύψει οι τρεις γνωστές φάσεις επεξεργασίας (πρωτογενής, δευτερογενής και τριτογενής) στις οποίες περιλαμβάνονται αντιστοίχως φυσικές και μηχανικές διεργασίες, βιολογικές διεργασίες και τέλος χημικές διεργασίες.

Για την περίπτωση των συνήθων αστικών λυμάτων με μικρή συνεισφορά βιομηχανικών αποβλήτων δεν υφίσταται έντονο πρόβλημα απομάκρυνσης τοξικών ουσιών. Κατά κανόνα για την απομάκρυνση των περιεχομένων αιωρούμενων κolloειδών και διαλυμένων συστατικών χρησιμοποιούνται φυσικές και βιολογικές μέθοδοι επεξεργασίας. Ειδικά για τις τελευταίες στην πράξη μελετώνται και κατασκευάζονται με συνεχώς αυξανόμενους ρυθμούς κατά την τελευταία δεκαετία διάφορες, αερόβιας βιοαποδόμησης ή αναερόβιας αποδόμησης, εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού.

Απαραίτητη προϋπόθεση για μια οποιαδήποτε μονάδα βιολογικού

καθαρισμού είναι η πλήρης ενεργοποίηση της τριτογενούς φάσεως επεξεργασίας που περιλαμβάνει αφ' ενός μεν τον έλεγχο και την απολύμανση των υδάτων των επεξεργασμένων αποβλήτων, αφ' ετέρου δε την επεξεργασία της λάσπης με διάφορες μεθόδους σταθεροποίησης της, μείωσης του όγκου της και ασφαλούς της διάθεσης. Από τα πιο γνωστά προβλήματα στις μονάδες βιολογικού καθαρισμού είναι η διασπορά προς τους υδάτινους αποδέκτες ελλειπώς επεξεργασμένων αποβλήτων καθώς και η ύπαρξη διαφόρων παθογόνων μικροοργανισμών στη λάσπη, οι οποίοι μπορεί στους χώρους απόθεσής της να περιέλθουν στα υπόγεια νερά με απρόβλεπτες συνέπειες για τη δημόσια υγεία. Το πρόβλημα των δυσάρεστων οσμών που δεν έχουν πλήρως εξλειφθεί είναι μικρότερης σημασίας μπροστά στο παραπάνω πρόβλημα.

2. Η άσβεστος στην επεξεργασία αστικών αποβλήτων.

Πολύ πριν από την εξέλιξη των μεθόδων βιολογικής επεξεργασίας λυμάτων, η άσβεστος εχρησιμοποιείτο στην εξουδετέρωση της δυσοσμίας των λυμάτων. Η πρώτη χρήση ασβέστου στην επεξεργασία των ανθρωπίνων λυμάτων πιθανόν να ήταν στις ανοικτές σπιτικές δεξαμενές την οικοδομικών καταυλισμών των Ρωμαίων με σκοπό να μειωθεί η δυσοσμία. Τα πτώματα

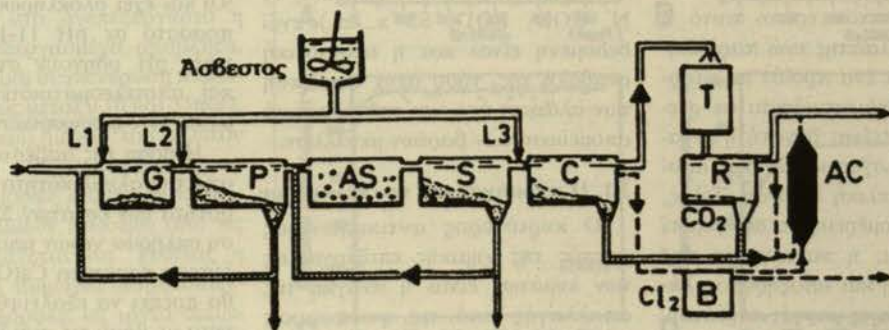
των νεκρών ζώων εθάπτοντο σε εσβεσμένη άσβεστο για να αντιμετωπισθούν οι κίνδυνοι μόλυνσεων του περιβάλλοντος. Πριν την, από προ 50ετίας εφεύρεση της μεθόδου του βιολογικού καθαρισμού, η άσβεστος εχρησιμοποιείτο ευρέως στην επεξεργασία των προϊόντων των αποχετεύσεων όταν το πρόβλημα της δυσοσμίας καθίστατο αφόρητο. Για μακρύ χρονικό διάστημα η χημική επεξεργασία λυμάτων εφαρμόστηκε ως μία αξιόπιστη εναλλακτική λύση του βιολογικού καθαρισμού.

Η εμπειρική στο παρελθόν αντιμετώπιση παρομοίας φύσεως προβλημάτων με άσβεστο, σήμερα έχει τεκμηριωθεί με πολλές δημοσιεύσεις και ανακοινώσεις σε διεθνή συνέδρια. Είτε με τη μορφή του οξειδίου (CaO) είτε με την ένυδρη μορφή Ca(OH)₂, σε όλα τα στάδια ενός βιολογικού καθαρισμού η άσβεστος επιφέρει εντυπωσιακά αποτελέσματα. Τούτο βασίζεται στη χημική συμπεριφορά και πλέον συγκεκριμένα ότι αυτά:

α) Συντελεί στην κατακρήμνιση πολλών ρύπων (όπως φωσφορικά άλατα και βαρέα μέταλλα) οι οποίοι συμπαρασύρονται με τον τρόπο αυτό στη λάσπη.

β) Δρα ως ένα πολύ καλό κροκιδωτικό συντελώντας με τον τρόπο αυτό στον εγκλωβισμό αιωρούμενων ρύπων προς ταχέως καθιζάνοντα στερεά των οποίων ο αποχωρισμός είναι ευχερής.

γ) Παρέχει τη δυνατότητα ρυθμί-



Σχ.1: Τυπικό διάγραμμα ροής μονάδας καθαρισμού αποβλήτων

σεως του pH στα ευνοϊκά εκείνα επίπεδα για την πραγματοποίηση των επιθυμητών χημικών αντιδράσεων και βιολογικών διεργασιών.

δ) Εξουδετερώνει την οξύτητα των λυμάτων, κυρίως αυτών που προέρχονται από βιομηχανικά απόβλητα.

ε) Αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τη μείωση της οσμής και των παθογόνων μικροοργανισμών.

Με βάση αυτές τις χημικές ιδιότητες εξάγεται το συμπέρασμα ότι η ασβέστος είναι δυνατό να προστεθεί σε όλα τα στάδια της διαδικασίας καθαρισμού των αποβλήτων.

Στο σχήμα 1 παρουσιάζεται μια πλήρης εγκατάσταση με διάφορες μονάδες, οι οποίες μπορούν να συνδυασθούν με διάφορους εναλλακτικούς τρόπους, ανάλογα με την έκβαση και τις ιδιαιτερότητες του ρυπαντικού φορτίου, χωρίς κατ' ανάγκη να πρέπει να χρησιμοποιηθούν όλες. Όπως φαίνεται, η ασβέστος είναι δυνατό να προστεθεί:

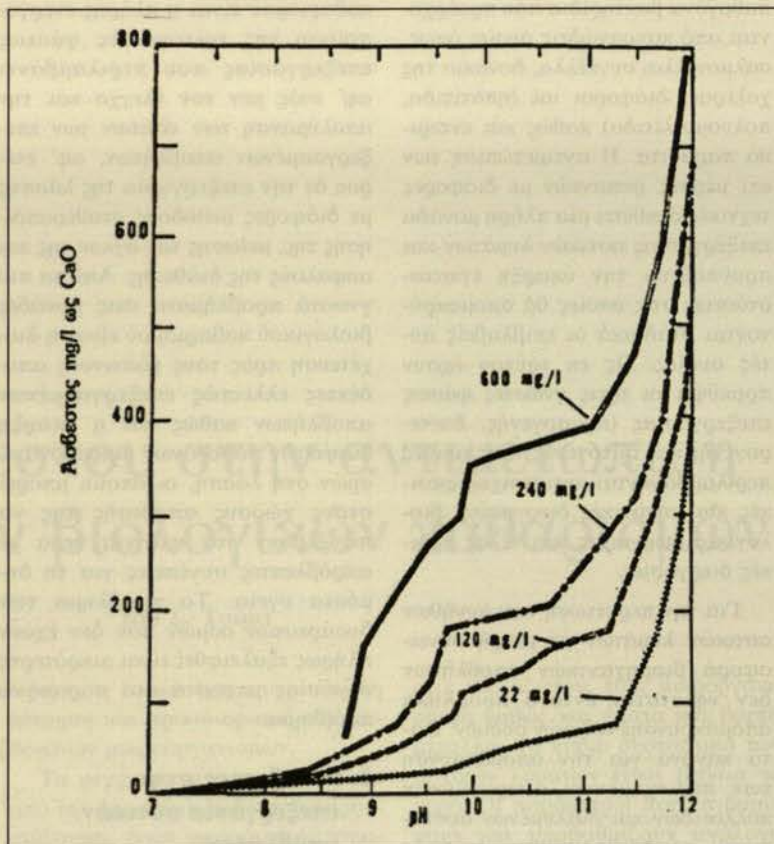
α) πριν την δεξαμενή εξαμμώσεως,

β) πριν την δεξαμενή πρωτογενούς καθιζήσεως,

γ) στο υγρό της δευτερογενούς κατεργασίας.

Οι βασικές δράσεις στις περιπτώσεις αυτές αναφέρονται στην υποβοήθηση στην κατακρήμνιση ρύπων καθώς και στη δράση της ως κροκιδωτικός.

Εκτός από τα σημεία αυτά, η προσθήκη ασβέστου αποκλειστικά ή σε συνδυασμό με χλωριούχο σίδηρο καθιστά δυνατή την αφυδάτωση των πυκνόμεστων ιλύων και υποβοηθείται με τον τρόπο αυτό η διήθηση της λάσπης ενώ παράλληλα παράγεται ένα προϊόν με επαρκώς υψηλή περιεκτικότητα σε στερεά, ώστε να είναι δυνατή η μεταφορά του σε σχετικά μεγάλες αποστάσεις για τελική διάθεση. Τέλος, όπως με λεπτομέρειες θα αναφερθεί στη συνέχεια, η κατεργασία της προς απόθεση και αποξήρανση λάσπης με διάφορες μορφές ασβέστου, παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα, τόσο όσον αφορά στην εξάλειψη της οσμής αλλά κυρίως στην



Σχ.2: Συσχέτιση αλκαλικότητας και pH, με δόση ασβέστου

καθοριστική μείωση της συγκεντρώσεως όλων των παθογόνων μικροοργανισμών και επιβλαβών ιών.

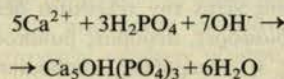
3. Η δράση της ασβέστου στους χημικούς ρύπους

Η δράση της ασβέστου επεκτείνεται στη δραστηκή μείωση όλων των χημικών ρύπων που αναφέρθηκαν στην αρχή. Στη συνέχεια αναφέρεται η επίπτωσή της στους βασικούς χημικούς ρύπους (Ενώσεις P, N, COD, BOD, SS κ.λπ.) ενώ δεδομένη είναι και η ουσιαστική συμβολή της, τόσο στην αφαίρεση των αλάτων, όσο και στη δραστηκή απομείωση των βαρέων μετάλλων.

3.1. Η απομάκρυνση του φωσφόρου

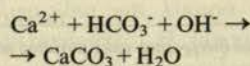
Ο κυριότερος αντικειμενικός σκοπός της χημικής επεξεργασίας των λυμάτων είναι η ανάγκη της απαλλαγής από τις φωσφορικές ενώσεις, ώστε να αποφευχθεί η δυνατότητα του υπερβολικού ευτροφισμού των υδάτινων αποδεκτών.

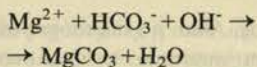
Η αντίδραση που δείχνει τη σχετική δράση της ασβέστου στα ακατέργαστα λύματα έχει ως εξής:



Η προκύπτουσα ένωση εμφανίζεται με διάφορες συνθέσεις ανάλογα με το pH. Κατά την προσθήκη της ασβέστου η απαλλαγή από τις φωσφορικές ενώσεις αρχίζει σε pH 9.0 και έχει ολοκληρωθεί σε μεγάλο ποσοστό σε pH 11-11,5. Υψηλές τιμές pH οδηγούν στην ταχύτερη και αποτελεσματικότερη κατακρήμνιση των φωσφορικών.

Η δόση της ασβέστου εξαρτάται από την αλκαλικότητα και τη σκληρότητα των λυμάτων. Στην περίπτωση σκληρών νερών απαιτείται μεγαλύτερη ποσότητα $\text{Ca}(\text{OH})_2$ καθώςσον θα πρέπει να εξαλειφθεί η σκληρότητα με βάση τις αντιδράσεις.





Όπως φαίνεται επίσης στο σχήμα 2 η αλκαλικότητα των λυμάτων επηρεάζει σημαντικά την ποιότητα της ασβέστου.

Η αφαίρεση του φωσφόρου είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί σε διάφορα τμήματα της εγκαταστάσεως καθαρισμού και είναι καθοριστικής σημασίας για την ποσότητα της ασβέστου που θα χρησιμοποιηθεί. Ετσι για μεν πρωτογενή καθαρισμό μία ποσότητα τις τάξεως των 150-300 kg/l σε $\text{Ca}(\text{OH})_2$ είναι αντιπροσωπευτική, ενώ για τριτογενή καθαρισμό ποσότητες της τάξεως 300 - 550 mg/l θεωρούνται συνήθεις.

Η χημεία της ασβέστου είναι διαφορετική από τη χημεία άλλων χημικών μέσων που χρησιμοποιούνται εναλλακτικά. Στην περίπτωση χρησιμοποίησης ALUM ή αλάτων σιδήρου η απαιτούμενη δόση είναι συνάρτηση της περιεκτικότητας των λυμάτων σε PO_4^{3-} . Στην περίπτωση ασβέστου η ποσότητα εξαρτάται περισσότερο από την αλκαλικότητα και το βαθμό σκληρότητας των λυμάτων. Στη πράξη η δόση της ασβέστου καθορίζεται μάλλον από το pH παρά από τη σχέση $\text{Ca}:\text{PO}_4^{3-}$. Επομένως, συνήθως η χρήση ασβέστου είναι οικονομικότερη για τις περιπτώσεις λυμάτων χαμηλής αλκαλικότητας και υψηλής περιεκτικότητας σε Φωσφόρο.

3.2. Έλεγχος και αφαίρεση αζωτούχων ενώσεων

Διάφορες ενώσεις του αζώτου απαντώνται στα ανεπεξέργαστα ή και στα επεξεργασμένα απόβλητα. Η τυπική ολική συγκέντρωση κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 10 και 55mg/l. Το μεγαλύτερο μέρος του αζώτου (περίπου 70 - 90%) παρουσιάζεται γενικώς με μορφή αμμωνίου ή εκείνων των χημικών ενώσεων από τις οποίες παράγεται απ' ευθείας η αμμωνία. Η αμμωνία παρουσιάζεται με δύο μορφές, ως ιόντα αμμωνίου (NH_4^+) και ως διαλυμένη αέριος αμμωνία (NH_3). Η τελευταία σε αντίθεση με τα ιόντα αμμο-

νίου είναι δυνατό να αποδειχθεί τοξική για ορισμένα είδη ιχθυοειδών σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες των 4mg/l. Το pH είναι ρυθμιστής της υπέρβρεσης της μιας ή της άλλης μορφής.

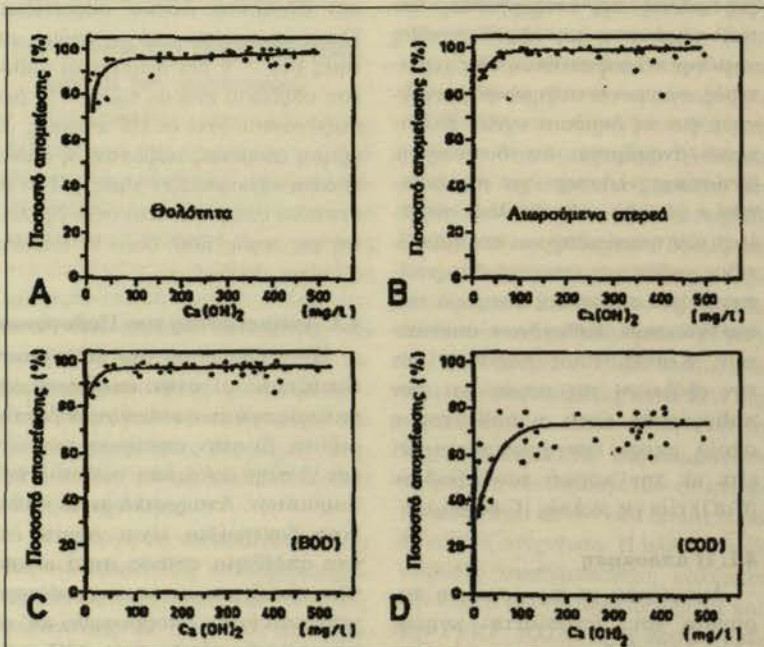
Ο έλεγχος της παρουσίας αζώτου είναι μεγάλης σημασίας, όχι μόνο επειδή η αμμωνία χαρακτηρίζεται από πολύ υψηλές απαιτήσεις σε οξυγόνο, αλλά και επειδή προκαλεί απαιτήσεις σε χλώριο, γεγονός το οποίο μειώνει το βαθμό της απολυμάνσεως και επιφέρει οξειδώσεις και φθορές σε ορισμένα σημεία των εγκαταστάσεων. Τα άλατα του αζώτου, όπως και του φωσφόρου, οδηγούν στο φαινόμενο του "ευτροφισμού" δηλαδή στην υπέρμετρη ανάπτυξη του πλαγκτονικού πληθυσμού με τα γνωστά καταστρεπτικά αποτελέσματα (αποξυγόνωση, τοξικότητα κ.λπ.). Όποια διαδικασία και εάν ακολουθεί για την απομάκρυνση της αμμωνίας (επιφανειακή ανάδευση, εκτόξευση αέρα, ειδικοί πύργοι αφαιρέσεως αμμωνίας κ.λπ.), αυτή παρουσιάζεται περισσότερο αποτελεσματική σε επίπεδα pH 11 αντίστοιχα με αυτά που εφαρμόζονται για την αφαίρεση του φωσφόρου. Η ανύψωση αυτή του pH επιτυγχάνε-

ται με ποσότητα CaO περίπου 300mg/l σε συνάρτηση με την αλκαλικότητα όπως φαίνεται στο σχήμα 2.

3.3 Μείωση BOD, COD, θολότητας και αιωρούμένων στερεών

Κατά τον πρωτογενή καθαρισμό και με προσθήκη ασβέστου για επίτευξη $\text{PH} = 10$ το BOD δύναται να μειωθεί κατά 60% σε σχέση με το 30 - 35% που μειώνεται όταν χρησιμοποιηθούν άλλες τεχνικές. Ο υψηλός βαθμός απαλλαγής από βιολογικά στερεά που πάντως επιδέχεται περαιτέρω βιολογική επεξεργασία αποτελεί πλεονέκτημα της μεθόδου. Στα μειονεκτήματα αναφέρεται ο αυξημένος όγκος του παραγόμενου οξέος που πολλές φορές είναι 2πλάσιος έως 3πλάσιος του κανονικού. Το γεγονός αυτό πάντως δεν πρέπει να προβληματίζει καθόσον η μικρή αύξηση του όγκου της λάσπης θα πρέπει να αποδοθεί στην αυξημένη απομάκρυνση στερεών. Επίσης μειώνεται κατά 50% περίπου το συνολικό φορτίο της προς αφυδάτωση λάσπης.

Στα τέσσερα διαγράμματα του σχήματος 3 που ακολουθεί παρουσιάζεται η ικανότητα αφαιρέσεως



Σχ.3: Ικανότητα αφαιρέσεως BOD, COD, SS και θολότητας μετά την προσθήκη ασβέστου

των BOD, COD, SS και θολότητας μετά την κατεργασία με άσβεστο και διήθηση. Απ' τα διαγράμματα αυτά είναι εμφανές ότι τα σημαντικότερα ποσοστά εξουδετερώσεως επιτυγχάνονται με προσθήκη ασβέστου ίση με 100mg/l ή και λιγότερο. Η ποσότητα αυτή αυξάνεται λίγο και σε σχέση με τη σκληρότητα του νερού.

4. Επεξεργασία της λάσπης με άσβεστο. Εξάλειψη των παθογόνων και της οσμής.

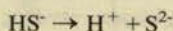
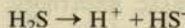
Ένας από τους κυριότερους σκοπούς της επεξεργασίας των λυμάτων είναι η προστασία της δημόσιας υγείας. Προς την κατεύθυνση αυτή υπάρχουν δύο συνιστώσες που θα πρέπει να αντιμετωπίζονται με ιδιαίτερη προσοχή. Ο έλεγχος και η απολύμανση των επεξεργασμένων αποβλήτων καθώς και η επεξεργασία και ασφαλής διάθεση της λάσπης μετά τις διάφορες φάσεις του καθαρισμού των αποβλήτων.

Ειδικά για τη λάσπη το πρόβλημα δεν εντοπίζεται τόσο στην οσμή που απλώς προκαλεί κοινωνική δυσαρέσκεια, όσο στα διάφορα παθογόνα βακτηρίδια, ιούς και ωά παρασίτων, τα οποία δεν καταπολεμούνται αποτελεσματικά στις διάφορες φάσεις της επεξεργασίας και των οποίων η μη εξουδετέρωση πριν την τελική απόθεση στις χωματερές, εγκυμονεί αυξημένους κινδύνους για τη δημόσια υγεία. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι διεθνώς σε αντίστοιχες λάσπες έχει πιστοποιηθεί η ύπαρξη σαλμονέλλας, συγκέλλας, ιών ηπατίτιδας και πολυμυελίτιδος καθώς και εντερικών παρασίτων σε μία συνοπτική αναφορά των πιο γνωστών παθογόνων συστατικών. Καθοριστικός παράγων για την εξάλειψη της οσμής και των παθογόνων, είναι η άσβεστος η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε με την μορφή του οξειδίου (CaO) είτε ως πολτός (Ca(OH)₂).

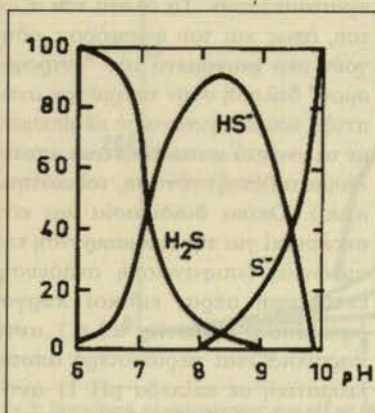
4.1. Η απόσπηση

Αναφορικά με τις οσμές, η παρουσία τους αποδίδεται κυρίως στην αποσύνθεση οργανικών ουσιών που περιέχουν άζωτο και

θειο. Αν και το σπουδαιότερο από τα παραγόμενα αέρια από πλευράς δυσοσμίας είναι το H₂S, είναι δυνατόν να παραχθούν και άλλα αέρια με αντίστοιχα προβλήματα δυσοσμίας (π.χ. INDOL, SCATOL, μερκαπτάνες). Το H₂S που παράγεται στα ύδατα των αποβλήτων ιονίζεται ως εξής (Σχήμα 4):



Παρατηρείται δηλαδή ότι στις υψηλότερες τιμές pH παράγονται



Σχ.4: Επίδραση pH στην ισορροπία $\text{H}_2\text{S} \leftrightarrow \text{HS}^- \leftrightarrow \text{S}^{2-}$

μικρότερες ποσότητες υδροθειού και αδιάλυτα άοσμα σωματίδια. Όπως προκύπτει από το σχήμα, σε τιμές pH > 9 δεν παράγεται καθόλου υδροθειο ενώ σε τιμές > 10 δεν παράγονται ούτε οι HS⁻ ενώσεις. Η χρήση επομένως ασβέστου η οποία εύκολα εξασφαλίζει τιμές pH > 10 συντελεί αποφασιστικά στην εξάλειψη της οσμής καθ' όσον οι ενώσεις S²⁻ είναι άοσμες.

4.2. Αντιμετώπιση των Παθογόνων

Η αντιμετώπιση των παθογόνων εστιάζεται: α) στην αφαίρεση και καταστροφή των παθογόνων βακτηριδίων, β) στην αφαίρεση των ιών και γ) στην αφαίρεση των ωών των παρασίτων. Αναφορικά με τα παθογόνα βακτηρίδια, είναι γνωστό ότι στα απόβλητα σπάνια αυτά κινούνται ελεύθερα και ότι περισσότερα από αυτά έχουν απορροφηθεί απ' τα οργανικά ή ανόργανα σωματίδια. Η προσθήκη χημικών ουσιών, όπως

άσβεστος, Alum ή χλωριούχος σίδηρος έχει συνέπεια τη δημιουργία συσσωματωμάτων τα οποία καθώς καθίζανουν μεταφέρουν τα βακτηρίδια στην ιλύ. Το πλεονέκτημα της ασβέστου είναι ότι, εκτός από την απομάκρυνση δια της καθίζησης, συντελεί στην καταστροφή τους λόγω των υψηλών τιμών pH που επιτυγχάνονται. Είναι γνωστό ότι τα βακτηρίδια αναπτύσσονται καλύτερα σε τιμές pH 6-8, ενώ ο αριθμός τους μειώνεται σταδιακά σε επίπεδα άνω των 9,5 - 10,5. Υπάρχουν όμως ορισμένα πιο ανθεκτικά τα οποία απαιτούν και υψηλότερες τιμές pH και μεγαλύτερους χρόνους εκθέσεως. Στις παραμέτρους για την καταστροφή των βακτηριδίων, θα πρέπει να συμπεριληφθεί και η θερμοκρασία όπου είναι γνωστό ότι ιδανικές θερμοκρασίες για την ανάπτυξη τους είναι οι 30 - 37° C ενώ σε μεγαλύτερες από 70 - 90° C αυτά καταστρέφονται. Η δράση της ασβέστου είναι τόσο αποτελεσματική ώστε να έχει διαπιστωθεί ταχύτατη καταστροφή τους και σε θερμοκρασία 1° C. Η ανάπτυξη τέλος υψηλών θερμοκρασιών κατά την σβέση της ασβέστου, δικαιολογεί την απευθείας χρησιμοποίηση CaO στη λάσπη. Στην περίπτωση αυτή η δράση του είναι τριπλή: α) αφυδατικό, β) για ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών και γ) για επίτευξη υψηλού pH. Τα ποσοστά επιβιώσεως βακτηριδιακών καλλιιεργειών σε περιβάλλον προσαρμοσμένο σε pH 11 με προσθήκη ασβέστου, φαίνονται στο σχήμα 5.

Μία σειρά απολυμαντικών ουσιών μπορεί να χρησιμοποιηθεί επιτυγχάνοντας ποσοστά μείωσης ως και 99%, που όμως δεν είναι πάντοτε ικανοποιητικά εξαρτώμενα απ' την ποιότητα των λυμάτων. Ειδικότερα, η χρήση του χλωρίου παρουσιάζει ορισμένες δυσχέρειες λόγω του σχηματισμού με την αμμωνία των λυμάτων, των χλωραμινών, ενώσεων τοξικών για τα ιχθυοειδή και αργής ενέργειας ως απολυμαντικών.

Το περιβάλλον των λυμάτων και ειδικά της ιλύς, εννοεί τη μακρό-

χρονη επιβίωση των ωών παρασίτων τα οποία παραμένουν ανεπηρέαστα στη βιολογική επεξεργασία και στη συνήθη χλωρίωση και απομακρύνονται με την ιζηματοποίηση.

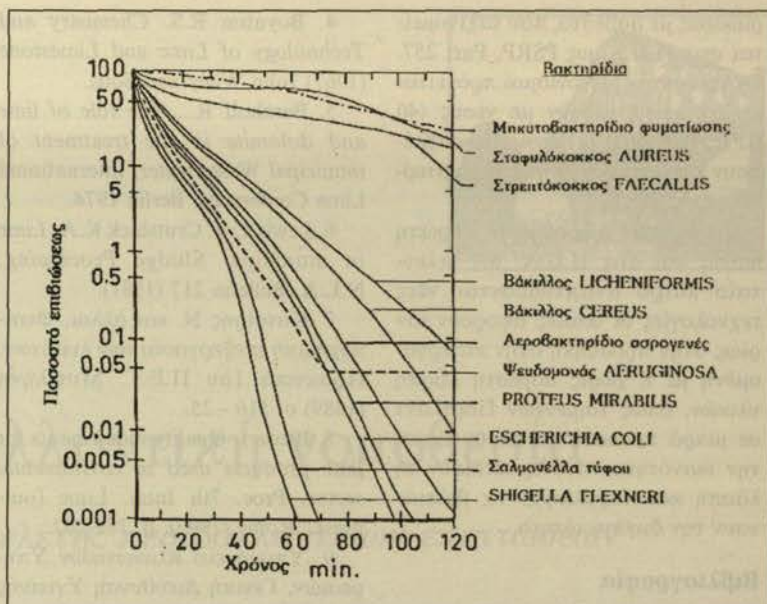
Ο βαθμός της αντιστάσής τους είναι συνάρτηση της ανθεκτικότητας του κελύφους και ορισμένα (Ασκαρίς, Τριχουρίς) ανθίστανται για πολλές εβδομάδες. Ο πιο ασφαλής τρόπος καταστροφής τους είναι με την ανύψωση της θερμοκρασίας στους 60° C, συνθήκη που επιτυγχάνεται όπως προαναφέρθηκε, με την προσθήκη μη εσβεσμένης ασβέστου στην ιλύ.

Έχουν αναπτυχθεί διάφορες μεθοδολογίες για την προσθήκη της ασβέστου και σταθεροποίησης στη συνέχεια, που περιλαμβάνουν: α) την προσθήκη πολτού στην υγρή ιλύ των λυμάτων, β) την αυξημένη δόση ασβέστου στην διήθηση και γ) την προσθήκη άνυδρης ασβέστου στην αφυδατωθείσα ιλύ μετά την επεξεργασία πολυμερισμού.

Η απόφαση για το ποια μεθοδολογία θα εφαρμοσθεί είναι συνάρτηση πολλών παραμέτρων, μεταξύ των οποίων είναι και το μέγεθος της εγκαταστάσεως. Πάντως, η τελευταία τεχνική έχει το πλεονέκτημα ότι δύναται να εφαρμοσθεί ανεξάρτητα από τη διαδικασία επεξεργασίας και αφυδατώσεως της ιλύος.

Όλες συγκλίνουν στο ότι επιτυγχάνονται σημαντικότερες μειώσεις, καλύτερες απ' τις αερόβιες και τις αναερόβιες μεθόδους, τόσο στα επιβλαβή κολοβακτηρίδια (2.6 - 7.2. logs) όσο και στους στρεπτόκοκκους (1.5 - 3.4. logs), αρκεί να διατηρηθούν τιμές pH μεγαλύτερες ή ίσες με 12 για διάστημα τουλάχιστον δύο ωρών. Τη συνθήκη αυτή καλύπτει ιδανικά η σκόνη ασβέστου, που διατηρεί για μέρες τις υψηλές αυτές τιμές pH.

Η βέλτιστη ποσότητα ασβέστου, που θα προστεθεί είναι συνάρτηση πολλών παραμέτρων, οι κυριότερες των οποίων είναι η ποιότητα των λυμάτων, το σημείο της διαδικασίας στο οποίο γίνεται η προσθήκη, η περιεκτικότητα σε στερεά, η δυνατότητα χρησιμοποίησής και αλά-



Σχ.5: Ποσοστά επιβιώσεως βακτηριακών καλλιιεργειών σε pH = 11 με προσθήκη ασβέστου των σιδήρου ως συνκροκιδωτικών, ο χρόνος που απαιτείται για να διατηρηθεί το pH, ακόμα και η δυνατότητα καλής αναμιξέως με τη λάσπη. Το ασφαλέστερο μέσο είναι η πραγματοποίηση επιμέρους δοκιμών, με κριτήριο την εξασφάλιση μιας ορισμένης τιμής pH. Στη βιβλιογραφία αναφέρονται τιμές από 16% - 38% σε Ca(OH)₂ ως ποσοστό κατά βάρος προσθήκης σε λάσπη.

5. Διάθεση της ιλύος - Τελική χρήση του προϊόντος.

Το πρόβλημα του όγκου της λάσπης και της ασφαλούς της διάθεσης, είναι ιδιαίτερα υπαρκτό και διογκούται με τη χρησιμοποίηση ασβέστου. Υπάρχουν όμως αρκετές εναλλακτικές περιπτώσεις όπου η χρησιμοποίηση ασβέστη στη λάσπη, την καθιστά κατάλληλη για μία σειρά χρήσεις, κυρίως για γεωργικούς σκοπούς (λιπάσματα - βελτίωση εδαφών) αλλά ακόμα και για επιχωματώσεις διαφόρων μορφών, καθώς και ως κατασκευαστικό υλικό πληρώσεως.

Η επιλογή της κατάλληλης λύσης για την αλκαλικώς σταθεροποιημένη λάσπη, εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Η αλκαλική σταθεροποίηση είναι δυνατόν να αποτελέσει μία αποτελεσματική μέθοδο επεξε-

ργασίας για ιλύες με ποικίλα χαρακτηριστικά και βαθμούς ποιότητας. Το τελικό προϊόν όμως, πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις του τελικού σκοπού χρήσεως, σύμφωνα με το οποίο η χημικώς επεξεργασμένη ιλύς πρέπει να είναι: α) σταθεροποιημένη, β) ακίνδυνη, γ) αμόλυνη και δ) φυσικώς και χημικώς κατάλληλη. Στις Η.Π.Α. υπάρχουν ομοσπονδιακοί κανονισμοί (40 CFR, Part 257), που αναφέρονται στην ταξινόμηση της διαθέσεως στερεών αποβλήτων. Σύμφωνα με αυτούς, οι μέθοδοι για τη μείωση των παθογόνων διαιρούνται σε δύο κατηγορίες: "Διαδικασίες για τη σημαντική μείωση των παθογόνων" (Processes to significantly reduce pathogens - PSRP) και στις "Διαδικασίες για περαιτέρω μείωση των παθογόνων" (Processes to further reduce pathogens - PFRP). Η PSRP ορίζεται ως μία διαδικασία που μειώνει τους ιούς κατά 90% και τα βακτηρίδια κατά 99%, ενώ τα κριτήρια της PFRP περιλαμβάνουν τη μείωση των παθογόνων σε επίπεδα κατώτερα αυτών στα οποία είναι δυνατή η ανίχνευση. Η αλκαλική με ασβεστο σταθεροποίηση καλύπτει την PSRP και σε αρκετά σημεία και την PFRP. Άλλωστε οι προτεινόμενες διαδικασίες θεωρούνται ως τροποποίηση της διαδικασίας παστε-

ριώσεις με άσβεστο, που ταξινομείται στις Η.Π.Α. ως PSRP, Part 257. Οι τελευταίοι κανονισμοί πρόκειται να αντικατασταθούν με νέους (40 CFR, Part 503) οι οποίοι προσβλέπουν στην τελική χρήση της κατεργασμένης υλύου.

Σε αρκετές χώρες στην Ευρώπη καθώς και στις Η.Π.Α. τον τελευταίο καιρό αναπτύσσονται νέες τεχνολογίες οι οποίες αφορούν κυρίως στην προσθήκη στην κατεργασμένη με ή χωρίς ασβέστη λάσπη υλικών, όπως τοιμέντων Πόρτλαντ σε μικρά ποσοστά τα οποία έχουν την ικανότητα να στερεοποιούν τη λάσπη και παράλληλα να βελτιώνουν την διηθητικότητα.

Βιβλιογραφία

1. Μαρκαντωνάτος Γ., *Επεξεργασία και διάθεση υγρών αποβλήτων Β' Έκδοση* Αθήνα (1990).
2. Τσίμας Σ., Μουτσάτσου Α., Τσιβιλής Σ., *Χρήσεις της ασβέστου στις τεχνολογίες αντιρρύπανσης. Μία συνολική θεώρηση*. Πρακτικό 2ου Συνεδρίου Π.Ε.Τ., Μυτιλήνη (1991) σ. 825-34.
3. Degremont. *Water Treatment Handbook*, 5th ed. (1979), John Wiley and Sons.

4. Boynton R.S. *Chemistry and Technology of Lime and Limestone* (1967) John Wiley and Sons.

5. Bernhoff R., *The role of lime and dolomite in the treatment of municipal Waste water*, International Lime Conference, Berlin 1974.

6. Lewis C. J. Crutshick K.A. *Lime in municipal Sludge Processing*, N.L.A. Bulletin 217 (1981).

7. Κατσίρης Ν. και άλλοι, *Φυσικοχημική επεξεργασία των λυμάτων*. Πρακτικά 1ου Π.Ε.Τ. Μυτιλήνη (1989) σ. 516 - 25.

8. Bjerle I. *Quality requirments for lime products used in envitomental sector*. Proc. 7th Inter. Lime (outpress., Rome (1990), p. 189-202.

9. Υπουργείο Κοινωνικών Υπηρεσιών, Γενική Διεύθυνση Υγιεινής Προόγραμμα Ελέγχου Ρυπάνσεως Περιβάλλοντος, Τόμος III *Ρύπανση νερών*, Αθήνα (1980).

10. Μαντζιάρας Α. Μελέτη της δυνατότητας αντιρρύπανσης των Ελληνικών λυμών με χρήση ασβέστη, Διπλωματική εργασία Ε.Μ.Π. (1993).

11. Bisgaard T., Helmo K. *On line control of the additas of line and ferrous sulfate to the waste water treatment plants*. Proc. 7th Inter.

Lime Congress Rome (1990) P. 125-37.

12. Westphal P., Christensen, G. Lee., *Lime Stabilization: Effectiveness of two process Modifications*. National ALUE Meeting (1982). Ohio.

13. Stone L.A. *The historical development of Alkaline Stabilization*, N.L.A.

14. Δρόσης Σ., Μαραγκός Γ., Δεκαετία 90 Καμπή για έργα Επεξεργασίας Αστικών λυμάτων, *Ενέργεια και Περιβάλλον* 2 (1994) σ. 20-22.

15. Attcinson, *Use of lime in the design of landfills for waste disposal*, ASTM Spec. Tech. Publ., 1987, 931, σελ. 42-51.

16. Walter, Kehr A., *Lime stabilization of waste water sludges*, ASTM Spec. Tech. Publ. 1987, 931, σελ. 78-94.

17. Wild H.E., Sawyer C.N., McMahon T.C., *Cement kiln dust/ lime treatment of municipal sludge cake*, Sludge Manager Ser., 1988, p. 29-32.

18. Παπαδάκης Ι.: *Στοιχεία Εφαρμοσμένης Μικροβιολογίας εις την Δημοσίαν Υγιεινήν*, Αθήνα 1969.