

## Βιολογικός καθαρισμός

Στέφανος Ντούλας<sup>1</sup>, Νικόλαος Τόγιας<sup>1</sup>, Παναγιώτης Χρυσανθόπουλος<sup>1</sup>,  
Αγγελική Τρικαλίτη<sup>2</sup>, Μιχαήλ Σκούλλος<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Χημείας, Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών: ΔιΧηNET,  
[doulas@elton.gr](mailto:doulas@elton.gr)

<sup>2</sup> Σχολικός Σύμβουλος Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης.

<sup>3</sup> Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Χημείας

**Περίληψη.** Το παρόν πρόγραμμα που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της Π.Ε. του ΔιΧηNET αντιμετωπίζει την ανάγκη λειτουργίας και συντήρησης βιολογικού καθαρισμού μέσω της διαμόρφωσης ενός κατάλληλου εκπαιδευτικού υλικού. Απαρτίζεται από τρία μέρη: Στο *πρώτο μέρος* παρουσιάζονται ο σκοπός, τα βασικά στάδια του βιολογικού καθαρισμού και τα χαρακτηριστικά των αποβλήτων. Αναλυτικά, παρουσιάζονται η πρωτοβάθμια, η δευτεροβάθμια (βιολογική) επεξεργασία, η διάθεση της λάσπης, η απολύμανση των αποβλήτων και η επεξεργασία των λυμάτων στην Αττική. Στο *δεύτερο μέρος* προτείνεται ένα σχέδιο εργασίας (project) για χρήση των εκπαιδευτικών. Παρουσιάζονται η επιλογή του θέματος, η διάρκεια του προγράμματος, ο τρόπος ανίχνευσης της προϋπάρχουσας γνώσης, η προσέλευση του ενδιαφέροντος των μαθητών, οι στόχοι του προγράμματος, υποενότητες για την κατάτμηση του θέματος, χωρισμός των μαθητών σε ομάδες, καθορισμός των δραστηριοτήτων, η σύνθεση και η παρουσίαση της εργασίας μέσω γνωστοποίησης των δράσεων και συμπερασμάτων του προγράμματος και τέλος η αξιολόγηση της εργασίας. Στο  *τρίτο μέρος* της εργασίας παρουσιάζονται ενδεικτικές δραστηριότητες που μπορούν να πραγματοποιηθούν, όπως πειράματα, αλλά και διευθύνσεις στο διαδίκτυο όπου υπάρχουν σχετικές εφαρμογές για το βιολογικό καθαρισμό.

## Α΄ Μέρος Βιολογικός Καθαρισμός – Θεωρητικό Μέρος

### Εισαγωγή – Ρύπανση – Συστατικά των Αποβλήτων

Ένας από τους πιο αποτελεσματικούς τρόπους αντιμετώπισης της ρύπανσης των υδάτινων πόρων, από τα απόβλητα είναι οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών αποβλήτων. Οι εγκαταστάσεις αυτές, έχουν σαν σκοπό τον καθαρισμό (διαχωρισμό), των αστικών αποβλήτων, από τα περιεχόμενα σ' αυτά βλαβερά συστατικά, ώστε να διατεθούν ακίνδυνα στο περιβάλλον.

Ως βλαβερά συστατικά των αποβλήτων θεωρούνται τα ογκώδη στερεά αντικείμενα, η άμμος, τα μικρού μεγέθους στερεά που αιωρούνται στη μάζα των αποβλήτων (αιωρούμενα στερεά), τα οργανικά-φυσικά συστατικά (π.χ. υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, λίπη), οι παθογόνοι μικροοργανισμοί και τα θρεπτικά στοιχεία (P,N).

Η δίχως επεξεργασία διοχέτευση των αποβλήτων σε έναν υδάτινο αποδέκτη, δημιουργεί διάφορα προβλήματα. Έτσι τα ογκώδη στερεά, η άμμος και τα αιωρούμενα στερεά προκαλούν περισσότερο αισθητική δυσάρεσκειά παρά ουσιαστική ρύπανση του υδάτινου φορέα. Οι παθογόνοι μικροοργανισμοί είναι υπεύθυνοι για τη μετάδοση ασθενειών στον άνθρωπο και σε άλλους οργανισμούς. Η παρουσία τους διαπιστώνεται από τα αποτελέσματα που επιφέρουν στον άνθρωπο, όπως π.χ. δερματικές και άλλες μολύνσεις. Αυτοί χρησιμοποιούνται συχνά ως το βασικότερο κριτήριο για την ακαταλληλότητα ή όχι μιας ακτής για κολύμβηση. Τα οργανικά συστατικά, το άζωτο και ο φώσφορος, είναι τα

περισσότερο υπεύθυνα για τις δυσάρεστες καταστάσεις ρύπανσης. Κι αυτό γιατί κάθε υδάτινος φορέας, αλλά και τα ίδια τα αποβλήτα, περιέχουν μικροοργανισμούς που καταναλώνουν τα οργανικά συστατικά των αποβλήτων, καθώς και το άζωτο και το φώσφορο, για να τραφούν και να πολλαπλασιαστούν, καταναλώνοντας παράλληλα το οξυγόνο (αναπνέοντας), που βρίσκεται διαλυμένο στο νερό του φορέα μέχρι να τα εξαφανίσουν τελείως. Το άζωτο και ο φώσφορος μπορεί να δημιουργήσουν το λεγόμενο φαινόμενο του ευτροφισμού, που εκδηλώνεται με την υπερβολική ανάπτυξη των φυκιών στον υδάτινο φορέα.

### **Βαθμός καθαρισμού-Μονάδες επεξεργασίας**

Με βάση την οδηγία η οποία εξέδωσε το Συμβούλιο υπουργών Περιβάλλοντος της ΕΟΚ το 1992, για τον καθαρισμό των αστικών αποβλήτων, θα πρέπει να εγκατασταθούν μονάδες επεξεργασίας αστικών αποβλήτων, σε όλες τις πόλεις της κοινότητας. Συγκεκριμένα, για όλες τις πόλεις με πληθυσμό μεγαλύτερο από 15000 κατοίκους μέχρι το 2000 και για τις μικρότερες μέχρι το 2005. Επιπρόσθετα για τις πόλεις που βρίσκονται σε πιο ευαίσθητες περιοχές προβλέπεται και τριτοβάθμιος καθαρισμός, ενώ για τις πόλεις σε λιγότερο ευαίσθητες περιοχές με λιγότερο από 150000 κατοίκους, ο πρωτοβάθμιος καθαρισμός θεωρείται αρκετός.

Σύμφωνα λοιπόν με την εν λόγω οδηγία, οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών αποβλήτων χαρακτηρίζονται από το βαθμό καθαρισμού, ο οποίος καθορίζεται από το ποια από τα προαναφερόμενα βλαβερά συστατικά, απομακρύνει. Τα ογκώδη στερεά, η άμμος και τα αιωρούμενα στερεά απομακρύνονται σχεδόν πάντα σε μια εγκατάσταση επεξεργασίας αστικών αποβλήτων, οπότε ο καθαρισμός χαρακτηρίζεται πρωτοβάθμιος. Ο δευτεροβάθμιος ή συχνά αποκαλούμενος βιολογικός καθαρισμός αποσκοπεί στην απομάκρυνση και των οργανικών συστατικών και συχνά των παθογόνων μικροοργανισμών. Ο τριτοβάθμιος αφορά την απομάκρυνση και των θρεπτικών συστατικών (φώσφορο και άζωτο).

Οι βασικές μονάδες σε μια εγκατάσταση επεξεργασίας αστικών αποβλήτων, με πρωτοβάθμιο καθαρισμό είναι οι:

- Εσχάρες (σειρά από μεταλλικές ράβδους στις οποίες συγκρατούνται τα ογκώδη στερεά)
- Εξαμμωτές (ειδικά σχεδιασμένες δεξαμενές στις οποίες δημιουργούνται κατάλληλες συνθήκες ροής που προκαλούν την καθίζηση της άμμου σε αυτές)
- Δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης (όπου καθιζάνει και απομακρύνεται μεγάλο μέρος των αιωρούμενων στερεών 70% και μέρος των οργανικών συστατικών 30%)  
Τα αιωρούμενα στερεά που καθιζάνουν στον πυθμένα των δεξαμενών πρωτοβάθμιας καθίζησης αποτελούν την πρωτοβάθμια λάσπη.

Μια εγκατάσταση επεξεργασίας αστικών αποβλήτων με βιολογικό ή δευτεροβάθμιο καθαρισμό επιτυγχάνει όχι μόνο πρωτοβάθμιο αλλά και δευτεροβάθμιο καθαρισμό, δηλαδή πλήρη σχεδόν απομάκρυνση - σε ποσοστό πάνω από 95% - των οργανικών συστατικών. Ο βιολογικός καθαρισμός στηρίζεται στην πραγματοποίηση των βιοχημικών διεργασιών που γίνονται ανεξέλεγκτα στη φύση (π.χ. κατά τη διοχέτευση των αποβλήτων σε έναν υδάτινο αποδέκτη), με ελεγχόμενο τρόπο σε ειδικές για το σκοπό αυτό δεξαμενές. Στις δεξαμενές αυτές παρέχονται οι κατάλληλες συνθήκες στους μικροοργανισμούς, που είναι η τροφή (οργανικά συστατικά των αποβλήτων) και το οξυγόνο, για να αναπτυχθούν και να πολλαπλασιαστούν. Έτσι, τη θέση των βλαβερών οργανικών συστατικών παίρνουν οι μικροοργανισμοί αυτοί (κυρίως βακτηρίδια), που όχι μόνο δεν είναι βλαβεροί, όπως οι παθογόνοι, αλλά αποτελούν και το «εργαλείο» καθαρισμού σε μια εγκατάσταση επεξεργασίας αστικών αποβλήτων. Το οξυγόνο παρέχεται στους μικροοργανισμούς τεχνητά, με διατάξεις που καλούνται αεριστήρες, οπότε και οι δεξαμενές καλούνται δεξαμενές αερισμού. Το μίγμα των μικροοργανισμών και της τροφής αποτελούν την καλούμενη «ενεργό

ιλύς», οπότε και η μέθοδος αυτή του βιολογικού καθαρισμού καλείται μέθοδος ενεργού ιλύος. Η ιλύς απομακρύνεται από τη μάζα των αποβλήτων, με το να αφεθούν τα απόβλητα να περάσουν σε δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης (όμοιες με τις δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης), όπου η ιλύς καθιζάνει και συλλέγεται στον πυθμένα των δεξαμενών αυτών, αποτελώντας τη λεγόμενη δευτεροβάθμια λάσπη, ενώ τα καθαρισμένα πλέον απόβλητα υπερχειλίζουν από την περιφέρεια των δεξαμενών. Μετά τη δευτεροβάθμια επεξεργασία, τα καθαρισμένα απόβλητα μπορούν να διατεθούν ακίνδυνα στον υδάτινο αποδέκτη, εφόσον ο αποδέκτης αυτός δεν κριθεί ότι είναι ιδιαίτερα ευαίσθητος, ώστε να απαιτείται τριτοβάθμια επεξεργασία. Τα καθαρισμένα πλέον απόβλητα υφίστανται μόνο τη διεργασία της απολύμανσης, συνήθως με χλωρίωση, για την εξόντωση των παθογόνων μικροοργανισμών σε επιμήκεις δεξαμενές και διοχετεύονται στον αποδέκτη.

Τριτοβάθμια επεξεργασία πραγματοποιείται σε μια εγκατάσταση επεξεργασίας αστικών αποβλήτων, όταν τα επεξεργασμένα απόβλητα διοχετεύονται σε έναν αποδέκτη, όπου είναι πιθανή η δημιουργία συνθηκών ευτροφισμού ή όταν αναμένονται λειτουργικά προβλήματα στη μονάδα, όπως π.χ. η ανύψωση ή διόγκωση της λάσπης. Τότε γίνεται απομάκρυνση του αζώτου και του φωσφόρου με βιολογικές μεθόδους ή και με τη χρήση χημικών.

Τα ογκώδη στερεά που συγκρατούνται στις εσχάρες και η άμμος που καθιζάνει στους εξαμμωτές, αφυδατώνονται και μεταφέρονται με απορριματοφόρα σε χωματερές.

Η πρωτοβάθμια και η δευτεροβάθμια λάσπη από τις δεξαμενές καθίζησης υφίσταται:

- Συμπύκνωση (αύξηση του ποσοστού των στερεών που περιέχει)
- Σταθεροποίηση (μείωση των παθογόνων μικροοργανισμών, των οσμών και της δυνατότητας της λάσπης να γίνει ασηπτική)
- Αφυδάτωση-Ξήρανση

Η σταθεροποίηση γίνεται είτε αερόβια, με τον αερισμό της λάσπης σε δεξαμενές όμοιες με τις δεξαμενές αερισμού είτε αναερόβια.

Σε μία παραλλαγή της μεθόδου ενεργού ιλύος που καλείται παρατεταμένος αερισμός, και εφαρμόζεται ευρύτατα στην Ελλάδα, η αερόβια σταθεροποίηση της λάσπης γίνεται στις ίδιες τις δεξαμενές αερισμού, χωρίς να απαιτούνται χωριστές δεξαμενές αερόβιας σταθεροποίησης.

Η αναερόβια σταθεροποίηση γίνεται σε σχετικά πολύ μεγάλες κλειστές δεξαμενές - χωνευτές - χωρίς οξυγόνο (αναερόβιες συνθήκες), από μικροοργανισμούς που καταστρέφουν τα δυσάρεστα -δύσοσμα χαρακτηριστικά της λάσπης μετατρέποντάς τα σε ένα μίγμα διοξειδίου του άνθρακα και μεθανίου, το γνωστό βιοαέριο, το οποίο μπορεί να καεί για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος και άλλων μορφών ενέργειας, εξοικονομώντας σημαντικά ποσά ενέργειας.

Η αφυδάτωση της λάσπης αποσκοπεί στην απομάκρυνση μεγάλου μέρους του νερού που περιέχει και γίνεται με μηχανήματα, τις ταινιοφιλτρόπρες ή με εξάτμιση απλώνοντας της λάσπης σε ειδικές κλίνες, τις κλίνες ξήρανσης. Μετά την αφυδάτωση - ξήρανση της λάσπης, που δεν είναι πάντα απαραίτητη, η λάσπη διατίθεται σε χωματερή ή για λίπασμα.

### Διάθεση της λάσπης

Μετά από την σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό κατεργασία (σταθεροποίηση) της λάσπης, ακολουθεί η τελική της διάθεση. Το τελικό προϊόν των κατεργασιών που αναφέρθηκαν προηγουμένως δεν είναι ιδιαίτερα χρήσιμο, καθόσον το περιεχόμενο της σταθεροποιημένης λάσπης σε φώσφορο και άζωτο, δεν είναι ικανοποιητικό για να χαρακτηριστεί σαν λίπασμα. Για το λόγο αυτό, η γεωργική χρήση της περιορίζεται κυρίως σαν πληρωτικό υλικό (filler) και σαν εδαφο-βελτιωτικό (*soil conditioner*), μετά από την εφαρμογή της μεθόδου της λιπασματοποίησης (*composting*), συνήθως σε συνδυασμό με τα αστικά απορρίμματα.

Σε πόλεις που γειτονεύουν με ανοικτές θάλασσες (ωκεανούς), η πιο συνηθισμένη μέθοδος τελικής διάθεσης της λάσπης ήταν μέχρι πρότινος η απευθείας άντληση και απόρριψή της σε όσο το δυνατό μεγαλύτερη απόσταση από την ακτή. Η πρακτική όμως αυτή έχει σήμερα απαγορευτεί εξαιτίας των περιβαλλοντικών προβλημάτων που δημιουργούσε στους υδάτινους αποδέκτες. Η καύση είναι επίσης μία από τις αρκετά συνηθισμένες μεθόδους (τελικής) διάθεσης της λάσπης, που παράγει όμως σαν «παρα-προϊόν» τέφρα, η οποία ενδεχομένως να είναι τοξική, επομένως θα πρέπει να διατεθεί σε κατάλληλη ειδική χωματερή και να μην απορριφθεί ανεξέλεγκτα στο περιβάλλον.

### Κριτήρια επιλογής τρόπου διάθεσης

1) **Περιβαλλοντικά**. Θα πρέπει να εξετάζονται όλες οι επιπτώσεις (θετικές και αρνητικές) για κάθε εξεταζόμενο εναλλακτικό τρόπο διάθεσης. Στη συνέχεια πρέπει να προσδιορίζονται:

- τα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά της ιλύος προς διάθεση,
- η διαθεσιμότητα των αποδεκτών (πχ. αγροτικές εκτάσεις, βιομηχανία κτλ.)
- η απαιτούμενη κατά περίπτωση επεξεργασία ιλύος για την άρση των αρνητικών επιπτώσεων
  - τα έργα και μέσα που είναι αναγκαία για την τυχόν αποθήκευση, μεταφορά κτλ. των παραπροϊόντων επεξεργασίας
  - οι αναγκαίες αδειοδοτήσεις, καθώς επίσης και οι υποχρεώσεις τόσο του παραγωγού ιλύος, όσο και του καταναλωτή του τελικού προϊόντος
  - Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω πρέπει να διαμορφώνονται τα εναλλακτικά σενάρια διαχείρισης των παραπροϊόντων επεξεργασίας που θα εξεταστούν περαιτέρω. Τα σενάρια αυτά θα πρέπει να παρουσιάζονται στους χρήστες του τελικού προϊόντος, ώστε να εξασφαλίζεται η συγκατάθεσή τους.

2) **Οικονομικά**. Για κάθε εξεταζόμενο εναλλακτικό τρόπο διαχείρισης των παραπροϊόντων επεξεργασίας, που διαμορφώνεται σύμφωνα με τα παραπάνω, πρέπει να προσδιορίζεται το κόστος επένδυσης, οι ετήσιες δαπάνες για την λειτουργία και συντήρηση, καθώς επίσης και τα τυχόν έσοδα από την επαναχρησιμοποίηση των παραπροϊόντων επεξεργασίας. Με βάση τις οικονομικές εκτιμήσεις, προτείνονται ένα ή περισσότερα εναλλακτικά σενάρια, τα οποία εφ'όσον αποκτήσουν την κοινωνική αποδοχή μπορεί να υλοποιηθούν.

3) **Κοινωνικά**. Για τις προκρινθείσες εναλλακτικές λύσεις θα πρέπει να γίνεται ενημέρωση του κοινού και των φορέων, να παρουσιάζονται οι επιπτώσεις και τα μέτρα που λαμβάνονται, τα δικαιώματα και οι υποχρεώσεις των εμπλεκόμενων φορέων, ώστε να εξασφαλιστεί η κοινωνική αποδοχή.

### Απολύμανση Αποβλήτων

Ο στόχος της απολύμανσης των λυμάτων είναι η καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών σε ικανοποιητικά επίπεδα ώστε η διάθεση των λυμάτων στους υδάτινους αποδέκτες ή η επαναχρησιμοποίησή τους να μην δημιουργεί κινδύνους στη δημόσια υγεία.

## Σύγκριση μεθόδων απολύμανσης

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟ	ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗΣ		
	ΟΖΟΝΩΣΗ	U.V.	ΧΛΩΡΙΩΣΗ
απομάκρυνση κολοβακτηριδίων	πολύ καλή	πολύ καλή	πολύ καλή
απομάκρυνση ιών	πολύ καλή	καλή	μέτρια
πιθανότητες επανανάπτυξης μικροοργανισμών	καμία	σημαντική	ελάχιστη
επίδραση στο υδάτινο περιβάλλον του αποδέκτη	καμία	καμία	αύξηση διαλυτών στερεών
παραπροϊόντα απολύμανσης	κανένα	κανένα	αλογονοφόρμια
επικινδυνότητα παραπροϊόντων	μηδενική	μηδενική	μεγάλη
επικινδυνότητα χρησιμοποιούμενων χημικών	καμία	καμία	μεγάλη
κόστος εγκατάστασης	σημαντικό	σημαντικό	μέσο
κόστος λειτουργίας και συντήρησης	μέσο	σημαντικό	μέσο
προσωπικό λειτουργίας	δεν απαιτείται επιπλέον προσωπικό	1 άτομο/βάρδια	1 άτομο/βάρδια
απαιτούμενη έκταση	μέση	μικρή	μεγάλη

**Η επεξεργασία των λυμάτων στην Αττική**

Τα λύματα της Αθήνας καθαρίζονται σε δύο εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων της ΕΥΔΑΠ, που λειτουργούν στη Μεταμόρφωση από το 1985, και στην Ψυττάλεια από το 1994. Στις εγκαταστάσεις της Μεταμόρφωσης, επεξεργάζονται τα λύματα των βορείων προαστίων καθώς και τα βοθρολύματα, από όσους βόθρους λειτουργούν ακόμα στην περιφέρεια της Αττικής. Όλη η υπόλοιπη ποσότητα των λυμάτων που ανέρχεται σε 800.000m<sup>3</sup> ημερησίως, επεξεργάζονται στην Ψυττάλεια.

Στις εγκαταστάσεις της Μεταμόρφωσης, το νερό που βγαίνει από την επεξεργασία είναι έως και 95% καθαρό. Στη συνέχεια προστίθεται σε αυτό χλώριο για απολύμανση, και μέσω ενός ρέματος οδηγείται στον Κηφισό ποταμό.

**Κέντρο Επεξεργασίας λυμάτων Ψυττάλλειας**

Τα λύματα της Αθήνας φτάνουν στον Ακροκέραμο του Κερατσινίου, όπου υφίστανται την αναγκαία προ-επεξεργασία με την οποία αφαιρείται η άμμος και τα ογκώδη στερεά. Στη συνέχεια οδηγούνται με δύο υποθαλάσσιους αγωγούς στην Ψυττάλεια. Εκεί υπάρχουν μεγάλες δεξαμενές καθίζησης όπου αρχικά απομακρύνεται από τα λύματα το 40% του ρυπαντικού φορτίου κατά τον πρωτοβάθμιο καθαρισμό. Η επεξεργασία των λυμάτων στην Ψυττάλεια γινόταν μέχρι αυτό το στάδιο από το 1994 μέχρι και πριν 17 μήνες (καλοκαίρι 2004). Από αυτό το χρονικό σημείο και μετά, τέθηκε σε λειτουργία και η λεγόμενη Β' φάση που επιτυγχάνει καθαρισμό των αποβλήτων μέχρι και 95%. Συγκεκριμένα: Μετά την πρωτοβάθμια επεξεργασία τα λύματα οδηγούνται σε 12 δεξαμενές βιολογικής επεξεργασίας (βιολογικοί αντιδραστήρες). Από τους βιολογικούς αντιδραστήρες τα λύματα οδηγούνται σε 64 δεξαμενές καθίζησης. Το νερό που προκύπτει από εκεί, μετά την απολύμανση με U.V. οδηγείται καθαρισμένο κατά 95% στη θάλασσα.

Η λάσπη που προκύπτει από τις δεξαμενές καθίζησης πηγαίνει για πάχυνση όπου χρησιμοποιείται πολυηλεκτρολύτης και μετά για αφυδάτωση η οποία γίνεται με φυγοκέντριση (Decounter). Για το σκοπό αυτό υπάρχουν 4 μηχανές. Και στο σημείο αυτό χρησιμοποιείται κατάλληλος κατιονικός πολυηλεκτρολύτης. Στη συνέχεια η λάσπη υφίστανται χώνευση σε υπόγειους χωνευτές. Το βιοαέριο που παράγεται από τη διαδικασία αυτή, χρησιμοποιείται για κάλυψη μέρους των ενεργειακών αναγκών του νησιού. Μετά τη χώνευση η λάσπη απορρίπτεται σε χώρο που υπάρχει πάνω στην Ψυττάλεια και που μπορεί να δεχτεί πλέον των 150.000 τόνων λάσπης.

Αυτή τη χρονική περίοδο (αρχές 2006) βρίσκεται σε εξέλιξη διαγωνισμός ανάθεσης δημιουργίας εγκατάστασης επεξεργασίας της προς απόρριψη λάσπης, πάνω στην

Ψυτάλλεια, γεγονός που θα δώσει λύση στο πρόβλημα της απόρριψης της λάσπης, αφού πλέον η λάσπη θα χρησιμοποιείται και δεν θα απορρίπτεται.

### **Η Χημεία και τα υλικά της στην επεξεργασία των αποβλήτων**

Σε διάφορα στάδια της επεξεργασίας των αποβλήτων, λαμβάνει χώρα χημική επεξεργασία. Ενδεικτικά αναφέρεται το στάδιο της αποσταθεροποίησης ή συσσωμάτωσης (coagulation), κατά το οποίο τα κολλοειδή και λεπτομερή γενικά αιωρούμενα συστατικά ενός διαλύματος, προετοιμάζονται με τα κατάλληλα μέσα για συνένωση (αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση αλάτων τριχλωριούχου σιδήρου, θειϊκού αργιλίου, PAC), το στάδιο της κροκίδωσης (flocculation), κατά το οποίο γίνεται συνένωση των αιωρούμενων υλικών, και η δημιουργία μεγάλων κροκίδων (φλόκων), (αυτό επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ανιονικού ή κατιονικού πολυηλεκτρολύτη), το στάδιο της απολύμανσης με υποχλωριώδες νάτριο, της απόσμησης με υπεροξείδιο του υδρογόνου ή με υπερμαγγανικό κάλιο (ή υπερμαγγανικό νάτριο σε διάλυμα 40%). Χρησιμοποιούνται ακόμη, ο θειϊκός σίδηρος και το θειοθειϊκό νάτριο ως αναγωγικά μέσα και η ουρία και το φωσφορικό αμμώνιο σαν τροφή για τους μικροοργανισμούς του βιολογικού αντιδραστήρα.

Ιδιαίτερη αναφορά πρέπει να γίνει στη χρησιμοποίηση των πολυηλεκτρολυτών, αφού ο ρόλος τους τόσο στην αφυδάτωση όσο και την πάχυνση της λάσπης είναι καθοριστικός. Αξίζει να σημειωθεί ότι στην Ψυτάλλεια καταναλώνονται 700 περίπου τόνοι κατιονικού πολυηλεκτρολύτη ετησίως.

### **Β' μέρος: Βιολογικός καθαρισμός–Παιδαγωγική Προσέγγιση**

Σ' αυτό το τμήμα της εργασίας γίνεται αναφορά στον τρόπο υλοποίησης ενός περιβαλλοντικού προγράμματος με θέμα το βιολογικό καθαρισμό σε μια σχολική τάξη.

Παρουσιάζονται η επιλογή του θέματος, η διάρκεια του προγράμματος, οι τρόποι ανίχνευσης προϋπάρχουσας γνώσης και η προσέλκυση του ενδιαφέροντος των μαθητών. Στη συνέχεια δίνονται οι στόχοι του προγράμματος, ο χωρισμός του θέματος σε υποενότητες, ο χωρισμός των μαθητών σε ομάδες και το προτεινόμενο σχέδιο εργασίας για κάθε ομάδα.

Τέλος, παρουσιάζεται ο τρόπος σύνθεσης των εργασιών των μαθητών και η συνεργασία μεταξύ των ομάδων και περιγράφονται οι δραστηριότητες οι σχετικές με την ανακοίνωση – γνωστοποίηση των συμπερασμάτων και την αξιολόγηση του προγράμματος.

#### **A.1. Επιλογή του θέματος:**

Η σπουδαιότητα του βιολογικού καθαρισμού για τις σύγχρονες κοινωνίες, η ενημέρωση των μαθητών για το θέμα και η σχετική οδηγία της Ε.Ε. (1992) για την ύπαρξη και διατήρηση βιολογικού καθαρισμού σε κάθε πόλη οδήγησε στην επιλογή του συγκεκριμένου θέματος για την ανάπτυξη του προγράμματος.

Αναλυτικά, πρέπει να αποτελεί προτεραιότητα για μια κοινωνία η ύπαρξη, διατήρηση και συντήρηση βιολογικού καθαρισμού και αυτό έχει άμεση σχέση με τις προτεραιότητες των δαπανών των τοπικών κοινωνιών αλλά και του κράτους. Αυτό πρέπει να είναι κατανοητό από τους πολίτες ώστε να ασκούν έμμεσα πιέσεις στους τοπικούς άρχοντες αλλά και στους κυβερνητικούς παράγοντες.

Επισημαίνεται, ότι οι μαθητές δεν έχουν ξεκάθαρη γνώση γύρω από το βιολογικό καθαρισμό και γι' αυτό είναι απαραίτητο να ενημερωθούν ώστε να γνωρίζουν την αναγκαιότητα του βιολογικού καθαρισμού (σε ποιο επίπεδο τους αφορά).

Η υλοποίηση ενός περιβαλλοντικού προγράμματος πρέπει να περιέχει τα παρακάτω στοιχεία: Επιλέγεται ένα επίκαιρο και ενδιαφέρον θέμα το οποίο συνδέεται με το αναλυτικό πρόγραμμα και τους στόχους της εκπαίδευσης, ώστε να υπάρχει ενδιαφέρον από τους μαθητές.

**A.2. Διάρκεια του προγράμματος (Χρονοδιάγραμμα):**

Η χρονική διάρκεια ενός προγράμματος περιβαλλοντικής εκπαίδευσης μπορεί να είναι 25 – 30 εβδομάδες και γι' αυτό ανακοινώνεται το θέμα περί το τέλος Σεπτεμβρίου για να γίνει εφικτή η ολοκλήρωση του προγράμματος στα μέσα Μαρτίου με αρχές Απριλίου και η προετοιμασία των δραστηριοτήτων των σχετικών με τη γνωστοποίηση των συμπερασμάτων του προγράμματος (ανακοινώσεις, αφίσες, δραματοποιήσεις, εκθέσεις).

**B.1. Ανίχνευση προϋπάρχουσας γνώσης:**

Η ανίχνευση της προϋπάρχουσας γνώσης γίνεται με συζήτηση, κατάλληλες ερωτήσεις, ή τη συμπλήρωση ενός ερωτηματολογίου.

**B. 2. Προσέλευση του ενδιαφέροντος των μαθητών για το «Βιολογικό καθαρισμό»**

Για να προκαλέσουμε το ενδιαφέρον των μαθητών ξεκινάμε τη συζήτηση, παρουσιάζοντας κάποιες εικόνες, δημοσιεύματα από εφημερίδες ή άλλα περιοδικά, όπως το παρακάτω: *«Όταν χρησιμοποιούμε το νερό, το ρυπαίνουμε. Τα βρώμικα νερά, τα απόβλητα, καταλήγουν τις περισσότερες φορές μέσα από την αποχέτευση στο έδαφος, στις λίμνες ή στη θάλασσα προκαλώντας ρύπανση. Η Μεσόγειος είναι μία κλειστή θάλασσα, τα νερά της ανανεώνονται μόνο από το στενό και ρηχό πέραςμα του Γιβραλτάρ. Γι' αυτό και στη χώρα μας, όπως και στις άλλες μεσογειακές χώρες, πρέπει να προσπαθούμε ώστε οι ποσότητες των αποβλήτων που καταλήγουν στη θάλασσα να μην είναι μεγάλες».*

**Γ. Στόχοι του προγράμματος**

Οι στόχοι διακρίνονται (κατά Bloom) σε γνωστικού τομέα, συναισθηματικού τομέα και ψυχοκινητικού τομέα. Η διατύπωση των στόχων οφείλει να οδηγεί σε μετρήσιμα αποτελέσματα. Για το θέμα : «Βιολογικός καθαρισμός» διατυπώνονται οι παρακάτω στόχοι:

Στο γνωστικό τομέα: Οι μαθητές να εξηγούν τι είναι βιολογικός καθαρισμός, να συσχετίζουν το οικονομικό κόστος με τα οφέλη για την κοινωνία, να συγκρίνουν το βιολογικό καθαρισμό με παλαιότερες τεχνικές αποχέτευσης, να εξασκηθούν στη βιβλιογραφική έρευνα.

Στο συναισθηματικό τομέα: Να ευαισθητοποιηθούν σε θέματα που αφορούν στη διαχείριση των αστικών λυμάτων και να είναι πρόθυμοι να νιώσουν τη χαρά της ανακάλυψης της νέας γνώσης και της κατάκτησής της.

Στον ψυχοκινητικό τομέα: Να εθιστούν στο ομαδοσυνεργατικό πνεύμα και να ενεργοποιήσουν τη δημιουργικότητά τους συμμετέχοντας, σχεδιάζοντας και δημιουργώντας έργα έκφρασης μέσω των κατασκευαστικών ικανοτήτων τους.

**Δ. 1. Κατάτμηση του θέματος σε ενδεικτικές υποενότητες.**

α. Ιστορικά στοιχεία.

β. Βιολογικός καθαρισμός και χημεία.

γ. Βιολογικός καθαρισμός και ποιότητα ζωής.

δ. Βιολογικός καθαρισμός και επίπεδο πολιτισμού ενός τόπου.

ε. Ποια η αναγκαιότητα ύπαρξης- συντήρησης του βιολογικού καθαρισμού;

**Δ.2. Χωρισμός των μαθητών σε ομάδες και καθορισμός δραστηριοτήτων ανά ομάδα:**

Οι δραστηριότητες που επιλέγονται βρίσκονται σε αντιστοιχία με τους στόχους και μπορεί να είναι:

α. Διαθεματική και διεπιστημονική προσέγγιση.

β. Κατασκευή εννοιολογικού χάρτη, χάρτη ιδεών – εννοιών.

γ. Πληροφορίες - στοιχεία από εγκυκλοπαιδείες, εφημερίδες, internet (διαδίκτυο) κ. ά.

δ. Κατασκευή μακέτας με θέμα το βιολογικό καθαρισμό.

- ε. Συνέντευξη από κατοίκους της πόλης μας για να διαπιστωθεί πόσο γνωρίζουν για το βιολογικό καθαρισμό και τη χρησιμότητα του.
- στ. Επίσκεψη δεν είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί, αλλά μπορεί να μελετηθεί το σχετικό βίντεο που διαθέτει η ΕΥΔΑΠ σε cd – rom ή στο διαδίκτυο.
- ζ. Ημερολόγιο δραστηριοτήτων.
- η. Διεξαγωγή πειραμάτων και εργαστηριακών ασκήσεων.
- θ. Παιχνίδι ρόλων: Πραγματοποιούν θεατρικό με θέμα: «Ποιος... θέλει τη λυματολάσπη;» παίζοντας ρόλους δημάρχων, δημοσιογράφων, κατοίκων υπευθύνων φορέων, υπευθύνων υπουργείων, οργανώσεων κ.ά.

#### **Ε'. Σύνθεση και παρουσίαση της εργασίας:**

Περί τα τέλη Μαρτίου αρχίζει η σύνθεση των εργασιών και λαμβάνονται αποφάσεις από τις ομάδες για την ανακοίνωση των αποτελεσμάτων, των συμπερασμάτων και για την ενημέρωση των κατοίκων της περιοχής και των γονέων τους. Προτείνεται η συγγραφή θεατρικού έργου ή δρώμενου από τα ίδια τα παιδιά όπως και η παρουσίαση των εργασιών τους και των συμπερασμάτων.

Ακόμη οργανώνονται οι πληροφορίες και παρουσιάζονται με έκθεση φωτογραφιών, έκθεση κατασκευών στο χώρο του σχολείου, οι οποίες υποστηρίζουν τις πληροφορίες και λειτουργούν διευκρινιστικά για τους άλλους.

#### **Στ'. Αξιολόγηση της εργασίας:**

Ο καθορισμός των κριτηρίων αξιολόγησης γίνεται από την αρχή του προγράμματος σε σχέση πάντα με τους στόχους. Αυτό γίνεται γνωστό στους μαθητές ώστε να ξέρουν πότε και ποια στοιχεία του προγράμματος θα αξιολογηθούν. Κατά τη διάρκεια υλοποίησης του προγράμματος μπορεί να γίνουν κάποιες αξιολογήσεις της όλης πορείας, ή να τίθενται «επί μέρους» στόχοι, οι οποίοι να αξιολογούνται με την ολοκλήρωσή τους.

#### **Ζ'. Ενδεικτικά φύλλα δραστηριοτήτων που μπορούν να προετοιμαστούν από τον εκπαιδευτικό:**

- Δραστηριότητα 1: Αντληση πληροφοριών - στοιχείων από πηγές πληροφόρησης.
- Δραστηριότητα 2: Κατασκευή μακέτας με θέμα «βιολογικός καθαρισμός»
- Δραστηριότητα 3: Άσκηση αυτοαξιολόγησης.
- Δραστηριότητα 4: Πραγματοποιήστε ένα παιχνίδι ρόλων υποδυόμενοι τους ανθρώπους μιας περιοχής στην οποία σχεδιάζεται από το Υπουργείο να μεταφερθεί η λυματολάσπη.
- Δραστηριότητα 5: Αξιολόγηση: Ενδεικτικό φύλλο αξιολόγησης

#### **Γ' μέρος: Βιολογικός καθαρισμός – Δραστηριότητες με χρήση υπολογιστή**

- Δραστηριότητα 6: Πείραμα: Παραγωγή βιοαερίου από φρούτα – λαχανικά κ.α.
- Δραστηριότητα 7: Χρήση internet (διαδικτύου) και applet.
- Δραστηριότητα 8: Χρήση internet (διαδικτύου) και applet.
- Δραστηριότητα 9: Πληροφορίες από εφημερίδες.
- Δραστηριότητα 11: Διάλεξη από δάσκαλο, δημιουργία προβληματισμού.
- Δραστηριότητα 12: Ερωτηματολόγιο – αυτοαξιολόγηση.



### Παράρτημα. Διευθύνσεις στο διαδίκτυο

<http://www.eydap.gr/media/Stagonoulis/stagonoulispopup/gr/032.htm>

<http://ohioline.osu.edu/aex-fact/0768.html>

<http://ga.water.usgs.gov/edu/wuww.html>

[http://www.humboldt.edu/~ere\\_dept/marsh/flow1.html](http://www.humboldt.edu/~ere_dept/marsh/flow1.html)

<http://www.lenntech.com/filtration.htm>

<http://www.neo.gr/website/ergasiamathiti/38.htm>

<http://www.gowork.gr/gowork/Elearning/biologic/source.htm>

### Βιβλιογραφία θεωρητικού μέρους

- Μαρκαντωνάτος Γ., «Επεξεργασία και Διάθεση Υγρών Αποβλήτων», Αθήνα (1986).
- Μεγαλόπουλος Α., «Χημεία και Τεχνολογία του Νερού», Αθήνα (1977).
- Τσώνης Σ. «Καθαρισμός Νερού», Παπασωτηρίου 2003
- Στάμου Α., «Βιολογικός Καθαρισμός Αστικών Αποβλήτων», Παπασωτηρίου 2004
- [www.cyttec.com](http://www.cyttec.com)
- [www.Stockhausen.com](http://www.Stockhausen.com)
- Hammer M.J., «Water and Wastewater Technology», J. Wiley, U.S.A. (1977)
- ΕΥΔΑΠ, «Ο κύκλος του νερού στην Αττική γη».

### Βιβλιογραφία για την παιδαγωγική προσέγγιση

- Τρικαλίτη Α., Παλαιοπούλου – Σταθοπούλου Ρ.(1999), Το νερό στην πόλη, Περιβαλλοντική εκπαίδευση για βιώσιμες πόλεις, Ελληνική Εταιρεία για την Προστασία του Περιβάλλοντος και της Πολιτιστικής Κληρονομιάς, Αθήνα
- Εκπαιδευτικό φυλλάδιο για το νερό: «παρέα με τον ... σταγονούλη», ΕΥΔΑΠ
- Γεωργιάδου, Καφετζόπουλος, Προβής, Σπυρέλλης, Χηνιάδης, «Χημεία Β΄ Γυμνασίου», Ο.Ε.Δ.Β., Αθήνα 2002.
- Αποστολάκης, Κορόζη, Παναγοπούλου., Πετρέα, Σάββας, «Ερευνώ και ανακαλύπτω , Ε΄ Δημοτικού» , Ο.Ε.Δ.Β., Αθήνα, 2001.
- Αθανασάκης, Κουσουρής, Κονταράτος, «Αρχές περιβαλλοντικών επιστημών, Β΄ τάξη Λυκείου», Ο.Ε.Δ.Β., Αθήνα, 1998
- «Οδηγός σχεδίων εργασίας- για τον εκπαιδευτικό», Παιδαγωγικό Ινστιτούτο, Αθήνα 2002