

## ΠΟΙΟΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΟΥ ΛΥΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΟΥ «ΡΙΖΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ»

<sup>1</sup>ΣΤΑΜΑΤΗΣ Γ., <sup>1</sup>ΠΕΤΡΟΠΟΥΛΟΣ Δ., & <sup>2</sup>ΣΕΡΕΤΑΚΗ Θ.

<sup>1</sup>Εργαστήριο Ορυκτολογίας-Γεωλογίας, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ιερά Οδός 75, 118 55 Αθήνα.

<sup>2</sup>Δρ. Μηχανικός Περιβαλλοντικής Διαχείρισης, «ΡΙΖΟΤΕΧΝΙΚΗ», Σιώκου 18, 153 41 Αθήνα.

**Λέξεις κλειδιά:** Μέθοδος Ριζικού Συστήματος, Υδροχημεία, Διαχείριση λύματος.

**Key words:** Method of Rhizosystem, Hydrochemistry, Wastewater Management.

**Περίληψη:** Το θέμα της διαχείρισης των αποβλήτων έχει λάβει πλέον ανησυχητικές διαστάσεις στην χώρα μας και παγκοσμίως. Στα πλαίσια της γενικής προσπάθειας για την εφαρμογή τεχνολογιών που ελαχιστοποιούν τις επιπτώσεις στο περιβάλλον, ως μία σημαντική μέθοδος επεξεργασίας υγρών αποβλήτων που ακολουθεί τις διεργασίες της φύσης προβάλλει η “Μέθοδος του Ριζικού Συστήματος”. Η μέθοδος βασίζεται στην κοινή συνεργασία «φυτών - εδάφους - μικροοργανισμών» που συμβάλλουν στον πλήρη καθαρισμό του υγρού απόβλητου. Η μέθοδος εφαρμόζεται επιτυχώς σε μονάδα παρασκευής προϊόντων εστίασης στον Αυλώνα Αττικής. Μελετήθηκαν οι ποιοτικές μεταβολές του ανόργανου και οργανικού φορτίου του υγρού απόβλητου κατά την είσοδο και κατά την έξοδο από την μονάδα επεξεργασίας του τεχνητού υγρότοπου. Βασικός σκοπός της έρευνας υπήρξε η διερεύνηση της χημικής σύστασης του επεξεργασμένου αποβλήτου και η δυνατότητα διάθεσης αυτού για διάφορες χρήσεις. Διαπιστώνεται σημαντική αποικοδόμηση του οργανικού φορτίου που αντικατοπτρίζεται στο υψηλό ποσοστό μείωσης του COD κατά 88% και του BOD<sub>5</sub> κατά 92%. Παρατηρείται μείωση των θρεπτικών στοιχείων, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, και NO<sub>2</sub><sup>-</sup> και PO<sub>4</sub><sup>-</sup> κατά 29%, 57%, 24% και 51% αντίστοιχα, ενώ η σκληρότητα και τα ιόντα Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, και SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, χαρακτηρίζονται για τις αυξητικές τους τάσεις. Τα αποτελέσματα της έρευνας επιβεβαιώνουν την άριστη λειτουργικότητα ενός φιλικού προς το περιβάλλον συστήματος επεξεργασίας υγρών απόβλητων, το προϊόν του οποίου κάλλιστα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αρδευτικούς σκοπούς.

## QUALITATIVE CONTROL AND POSSIBILITY OF USE OF TREATED WASTEWATER WITH THE ROOT-ZONE METHOD

STAMATIS G., PETROPOULOS D., SERETAKH TH.

**Abstract:** The issue of wastewater management has taken henceforth worrying dimensions in our country and worldwide. In the frame of general effort for the application of technologies that minimises the repercussions in the environment, the Root-Zone Method appears to be an important method of wastewater treatment that follows the processes of nature.

The method is based on the collaboration of "plants - soil - microorganisms" that contribute to the complete cleaning of wastewater. The method is implemented successfully in a production unit of catering and restaurant products at Avlona of Attica. The qualitative changes of the inorganic and organic charge of wastewater have been studied at the entry and at the outlet of the treatment unit of the artificial wetland. The basic research scope was to investigate the chemical constitution of the processed wastewater and the potentiality of its disposal for various uses. An important degradation of organic charges has been noted, which is reflected in the high rate of COD reduction at 88% and BOD<sub>5</sub> at 92%. A reduction of the nutritious elements NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> and PO<sub>4</sub><sup>-</sup> has been observed at 29%, 57%, 24% and 51% respectively. The hardness and the ions Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, and SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, are characterized for their augmentative tendency. The results of the research, confirm the excellent function of this friendly to the environment wastewater treatment system, the product of which, excellently can be used for irrigation purposes.

## 1. Εισαγωγή

Η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων αστικής, βιομηχανικής, γεωργικής ή άλλης προέλευσης αποτελεί για τη χώρα μας ένα πολύ σοβαρό πρόβλημα, εφόσον πολλές αστικές περιοχές δεν διαθέτουν συμβατικές εγκαταστάσεις βιολογικής επεξεργασίας των παραγόμενων αστικών λυμάτων ή ακόμη και οι υπάρχουσες υπολειτουργούν λόγω του υψηλού κόστους λειτουργίας και συντήρησης. Το πρόβλημα αυτό είναι ακόμη εντονότερο στην περιφέρεια, όπου απουσιάζει παντελώς η ύπαρξη βιολογικών μονάδων. Στην αντιμετώπιση αυτού του σοβαρού προβλήματος προσφέρουν σήμερα τα φυσικά οικοσυστήματα την πλέον ενδεδειγμένη λύση για τον καθαρισμό των λυμάτων. Τα φυσικά οικοσυστήματα, όπως είναι οι τεχνητοί υγρότοποι, βασίζονται σε φυσικές διεργασίες καθαρισμού του υγρού απόβλητου. Τα συστήματα των τεχνητών υγροτόπων προφανώς πλεονεκτούν έναντι των άλλων συμβατών συστημάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, εφόσον η λειτουργία τους είναι πολύ απλή και χαρακτηρίζονται για το σημαντικά χαμηλό κατασκευαστικό και λειτουργικό κόστος.

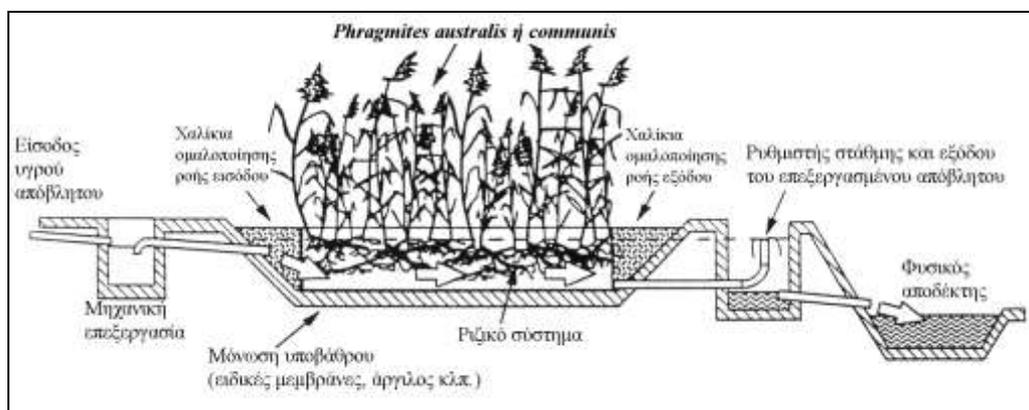
Η μέθοδος του «Ριζικού Συστήματος», την οποία επινόησε και μελέτησε ο Γερμανός καθηγητής κ. R Kickuth του Πανεπιστημίου του Kassel (Kickuth 1970, 1981, 1983), εφαρμόζεται πλέον σε πολλές Κοινότητες και Δήμους της Γερμανίας και σε άλλες Ευρωπαϊκές χώρες, καθώς επίσης και στην Ελλάδα (Σερετάκη 2006). Πρόκειται για την πιο φθηνή και φιλική προς το περιβάλλον λύση, αφού δεν απαιτούνται ακριβά και ενεργοβόρα μηχανήματα, υψηλής τεχνολογίας, ούτε ειδικευμένο προσωπικό για την λειτουργία και συντήρηση του συστήματος, όπως αυτό απαιτείται στους συμβατικούς βιολογικούς σταθμούς επεξεργασίας αστικών ή άλλης προέλευσης υγρών αποβλήτων. Μοναδικό μειονέκτημα είναι το γεγονός ότι απαιτείται σχετικά μεγάλη έκταση για μια τέτοια εγκατάσταση και παρέλευση ενός χρονικού διαστήματος τριών ετών περίπου, μέχρι την πλήρη ανάπτυξη των φυτών, για την ολοκληρωμένη λειτουργικότητα αυτής. Η μέθοδος απαιτεί 4-6 m<sup>2</sup> ανά κάτοικο, ενώ για μια συμβατική μονάδα επεξεργασίας αρκεί 1 m<sup>2</sup>/κάτοικο περίπου. Η μέθοδος του «Ριζικού Συστήματος» θεωρείται ιδανική για Δήμους που δεν ξεπερνούν σε πληθυσμό τους 10.000 κατοίκους. Είναι ιδανική για μικρούς οικισμούς, ρυπογόνες βιομηχανικές μονάδες τροφίμων, ξενοδοχειακές μονάδες, επεξεργασία στραγγισμάτων υγειονομικών ταφών, κτηνοτροφικών και διαφόρων γεωργικών μονάδων και σε πολλούς άλλους τομείς. Παρόμοιου τύπου λειτουργίας τεχνητών υγροτόπων για την επεξεργασία αστικών λυμάτων εφαρμόζονται και στη χώρα μας. Ορισμένοι βρίσκονται σε πλήρη λειτουργία ενώ άλλοι στο πειραματικό στάδιο (Κατζαβούνη κ.ά. 1997, Γκράτζιου κ.ά. 1999).

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η απόδοση μιας μονάδας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων που βασίζεται στη μέθοδο του «Ριζικού Συστήματος» και βρίσκεται στα πρώτα στάδια λειτουργίας της. Η ιδιωτική εγκατάσταση ανήκει σε βιομηχανική μονάδα παρασκευής προϊόντων εστίασης που βρίσκεται στην περιοχή της Αυλώνας (BA-Αττική). Το απόβλητο περιέχει μόνο τα απόνερα που προκύπτουν κατά την διαδικασία την παρασκευής των προϊόντων και καθαρισμού των χώρων. Στόχοι της εργασίας είναι ο προσδιορισμός της χημικής σύστασης του υγρού απόβλητου κατά την είσοδο και κατά την έξοδο του από την εγκατάσταση, την παρακολούθηση της χημικής διαφοροποίησης του ανόργανου και ιδιαίτερα του οργανικού ρυπαντικού φορτίου στο χρονικό διάστημα της εξάμηνης έρευνας, και τελικά η διαπίστωση της απόδοσης της μονάδας στα πρώτα στάδια λειτουργίας της.

## 2. Διαδικασία απομάκρυνσης του ρυπαντικού φορτίου

Η μέθοδος του καθαρισμού με τις φυτικές ρίζες εκμεταλλεύεται τις αυτορρυθμιζόμενες αλληλεπιδράσεις ενός οικοσυστήματος. Τα υγρά απόβλητα διαπερνούν σε οριζόντια κατεύθυνση ένα στρώμα εδάφους που καλύπτεται από καλάμια του είδους *Phragmites australis* ή *communis*. Στο σχήμα 1 παρουσιάζεται η λειτουργία του συστήματος. Τα φυτά αυτά ενεργοποιούν το έδαφος διοχετεύοντας σ' αυτό αφενός μεν οξυγόνο, το οποίο είναι απαραίτητο στοιχείο για την διατήρηση των μικροοργανισμών που ζουν σ' αυτό και αφετέρου αυξάνουν ταυτόχρονα το πορώδες του. Ο ρυθμός μεταφοράς οξυγόνου από την ατμόσφαιρα προς τις ρίζες, μέσω των φυτών, είναι της τάξης των 100-150 g/d.m<sup>2</sup> και είναι ο βασικός ρυθμιστής στη διαδικασία επεξεργασίας του αποβλήτου. Ο όγκος του CO<sub>2</sub> που διασπάται από

τα φυτά αυτά, μέσω της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης, εκτιμάται σε 43-108g/d.m<sup>2</sup>, το δε O<sub>2</sub> που ελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα ανέρχεται σε 31-79g/d.m<sup>2</sup> (Kickuth 1970, 1981, 1983). Οι μικροοργανισμοί (βακτήρια, μύκητες κ.λ.π.) προσαρμόζονται σε διάφορα είδη λυμάτων και αποσυνθέτουν μικροβιακά τις διάφορες ουσίες, οι οποίες τις περισσότερες φορές είναι τοξικές και επικίνδυνες. Οι μικροοργανισμοί αυτοί, προ πάντων τα βακτήρια, πολλά είδη των οποίων βρίσκονται σε κάθε ενεργό έδαφος, μετατρέπουν κάθε είδους οργανικής ουσίας σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό.



Σχήμα 1: Μοντέλο λειτουργίας της Ριζοτεχνικής Μεθόδου.  
Figure 1: Model of operation of Rhizosystems' Method.

Το άζωτο απελευθερώνεται σε αέρια μορφή μετά την απονιτροποίηση που υφίστανται οι ενώσεις των νιτρικών. Το διοξείδιο του άνθρακα και το άζωτο απελευθερώνονται τελικά προς την ατμόσφαιρα, ως αβλαβή πλέον αέρια. Στο έδαφος συγκρατείται, μέσω των διαδικασιών της προσρόφησης, σημαντικό ποσοστό των Φωσφορικών αλάτων, τα οποία κατά την επαφή τους με οξείδια του σιδήρου και αργιλίου σχηματίζουν συσσωματώματα και δεσμεύονται σε αυτό. Στην οξειδωτική ζώνη του εδάφους λαμβάνει χώρα νιτροποίηση της αμμωνίας και στην αναγωγική ζώνη τα NO<sub>3</sub><sup>-</sup> μετατρέπονται μέσω της απονιτροποίησης σε αδρανείς μορφές του N, όπως N<sub>2</sub> ή N<sub>2</sub>O (Nimeth et al. 2002). Οι διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα στα διαφορετικά περιβάλλοντα, τα οποία δημιουργούνται εντός του τεχνητού υγρότοπου, συνοψίζονται ως ακολούθως (Kickuth 1970, 1981, 1983):

A) Αερόβιες Συνθήκες:

- $(-CH_2O)_n + O_2 \rightarrow nCO_2 + H_2O$
- $PO_4^{3-} + Fe(4O-CH-CH_3)_2 \rightarrow FePO_4 + 6CO_2 + 4H_2O$
- $NH_3 + 2O_2 + NO_3^- + H^+ \rightarrow 2NO_3^- + H_2O$

B) Αναερόβιες Συνθήκες:

- $5(-CH_2O)_n + 6NO_3^- + 6H^+ \rightarrow 5CO_2 + 8H_2O + 3N_2$
- $Fe^{2+} + 2HOOC-CHOH-CH_3 \rightarrow Fe(4O-CH-CH_3)_2$

Γ) Μικροαερόφιλες Συνθήκες:

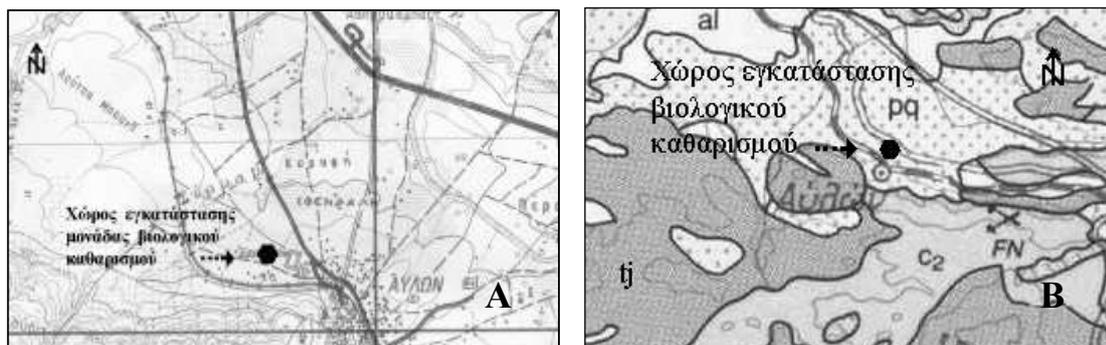
- $(-CH_2O)_6$  (Γλυκόλυση)  $\rightarrow 2HOOC-CHOH-CH_3$
- $HOOC-CHOH-CH_3 + O_2 \rightarrow HOOC-CH_3$
- $HOOC-CH_3 \rightarrow CO_2 + CH_4$

Η κοινή συνεργασία «φυτά-έδαφος-μικροοργανισμοί» προκαλούν τον πλήρη καθαρισμό του νερού, πράγμα που δεν επιτυγχάνεται σ'αυτόν τον βαθμό καθαρότητας ούτε από τις πλέον σύγχρονες μονάδες βιολογικού καθαρισμού.

### 3. Θέση εγκατάστασης

Ο χώρος που έχει κατασκευασθεί η εγκατάσταση βρίσκεται εντός της βιομηχανικής ζώνης ΒΔ της πόλης του Αυλώνα (Σχήμα 2). Η μορφολογία της περιοχής χαρακτηρίζεται ομαλή με μικρή σχετικά κλίση προς βορά. Το υψόμετρο βρίσκεται στα 120m περίπου. Ο χώρος αυτός αποτελεί τμήμα της υδρολογικής λεκάνης του Ασωπού ποταμού που είναι ο κύριος φυσικός αποδέκτης της περιοχής και εκβάλλει στον νότιο Ευβοϊκό κόλπο. Στην περιοχή αναπτύσσονται

πλειοπλειστοκαινικά ιζήματα που αποτελούνται κυρίως από ερυθρούς αργίλους, άμμοι, χαλίκια, κοκκινοχώματα και μάργες, λιμναίας και ποταμολιμναίας προέλευσης υλικά. Το πάχος τους δεν ξεπερνά τοπικά τα 20m. Στους βαθύτερους ορίζοντες απαντώνται οι σχηματισμοί του Νεογενούς, μάργες, ψαμμίτες, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, άργιλοι κλπ. Εντός των χαλαρών σχηματισμών αναπτύσσεται περιορισμένη υδροφορία, την οποία εκμεταλλεύεται περιορισμένος αριθμός πηγαδιών για αρδευτικούς σκοπούς (Σχήμα 2 Α). Το υπόβαθρο δομούν οι συμπαγείς ανθρακικοί σχηματισμοί, ασβεστόλιθοι και δολομίτες, τριαδικής-ιουρασικής ηλικίας και οι κρητιδικοί ασβεστόλιθοι. Οι ανθρακικοί σχηματισμοί αναπτύσσονται στα νότια και ανατολικά τμήματα της περιοχής, είναι έντονα ρωγματομένοι και καρστικοποιημένοι. Εντός αυτών αναπτύσσεται ο σημαντικής δυναμικότητας καρστικός υδροφόρος, η στάθμη του οποίου τοπικά αναπτύσσεται σε βάθος 110m περίπου.



Σχήμα 2: Τοπογραφικά (Α) και γεωλογικά (Β) χαρακτηριστικά της ευρύτερης περιοχής της εγκατάστασης βιολογικής επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων.

Figure 2: Topographical (A) and geological (B) characteristics of the wider region of the wastewater biological treatment plant.

#### 4. Τεχνικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης

**Μονάδα επεξεργασίας:** Η απαιτούμενη έκταση για την συνολική επεξεργασία των υγρών αποβλήτων (μηχανική και βιολογική επεξεργασία) ανέρχεται συνολικά σε 480m<sup>2</sup>. Η εγκατάσταση έχει μήκος 32m και πλάτος 15m. Τα συλλεγόμενα υγρά απόβλητα που προκύπτουν από την παραγωγική διαδικασία, αφού υποστούν μια πρώτη μηχανική επεξεργασία, παροχετεύονται μέσω αποχετευτικού σωλήνα στον εξωτερικό χώρο και οδηγούνται στην εγκατάσταση της βιολογικής επεξεργασίας. Η συνολική εγκατάσταση αποτελείται από τρία κύρια τμήματα, το τμήμα Μηχανικής Προεπεξεργασίας, την Κλίνη Υδραυλικής Εξισορρόπησης και την Εδαφική Κλίνη Βιολογικού Καθαρισμού. Και τα τρία τμήματα έχουν πληρωθεί με εδαφικό υλικό που προέκυψε από την εκσκαφή του συγκεκριμένου χώρου και είναι φυτεμένα με ειδικά υβρίδια του φυτού *Phragmites australis*.

Το τμήμα *Μηχανικής Προεπεξεργασίας* αποτελείται από μία ορθογώνια δεξαμενή αποτελούμενη από τρία διαμερίσματα και είναι κατασκευασμένη από μετόν. Στην δεξαμενή αυτή γίνονται οι διεργασίες καθίζησης και διήθησης των αιωρούμενων σωματιδίων των υγρών αποβλήτων. Ο συνολικός ωφέλιμος όγκος της δεξαμενής είναι 117m<sup>3</sup>. Κατασκευάζεται σε βάθος 1,1m μέσα στο έδαφος και γεμίζεται με χαλίκι. Τα τρία διαμερίσματα λειτουργούν εκ περιτροπής.

Η *Κλίνη Υδραυλικής Εξισορρόπησης* αποτελεί τον χώρο αποθήκευσης και υδραυλικής εξισορρόπησης των υγρών αποβλήτων, τα οποία εισέρχονται σε αυτήν απαλλαγμένα από στερεά υλικά. Σκοπός της είναι η εξισορρόπηση τυχόν υδραυλικών διακυμάνσεων στον όγκο των υγρών αποβλήτων λόγω εκτάκτων αναγκών κατά την παραγωγική διαδικασία της μονάδας παραγωγής. Ο όγκος της κλίνης υπολογίζεται σε 60m<sup>3</sup>.

Η *Εδαφική Κλίνη Βιολογικού Καθαρισμού* αποτελεί την κύρια μονάδα του συστήματος όπου τα υγρά απόβλητα υπόκεινται στην βιολογική επεξεργασία. Η έκτασή της είναι 390m<sup>2</sup> και το βάθος της 0,6m. Το μήκος διαδρομής των υγρών αποβλήτων είναι εδώ 12,67m. Η εδαφική κλίνη φέρει στο δάπεδό της γυρομονωτική μεμβράνη από PVC πάχους 1,0mm και διπλή επίστρωση γεωϋφάσματος. Για την έξοδο των εκροών έχει τοποθετηθεί στο χαμηλότερο σημείο της κλίνης ένα φρεάτιο εξόδου/ελέγχου, στο οποίο εξέρχεται ο αποστραγγιστικός

σωλήνας που έχει τοποθετηθεί στο δάπεδο της εδαφικής κλίνης. Στο εσωτερικό του φρεατίου έχει τοποθετηθεί κάθετα εύκαμπτος σωλήνας. Το επεξεργασμένο υγρό οδηγείται σε δύο απορροφητικούς βόθρους που έχουν κατασκευασθεί για την διάθεση των εκροών.



*Σχήμα 3: Πανοραμική εικόνα της εγκατάστασης.  
Figure 3: Cover shot of the plant.*

**Υδραυλικό φορτίο:** Στο τμήμα της μηχανικής προεπεξεργασίας η διήθηση των υγρών αποβλήτων εξαρτάται από την ταχύτητα με την οποία κινούνται με κάθετη ροή μέσα στα χαλίκια. Στην περίπτωση ψιλού χαλικιού ή χοντρής άμμου η ταχύτητα διήθησης υπολογίζεται για τιμή σταθεράς υδραυλικής διαπερατότητας  $10^{-3}$  m/sec. Η τιμή αυτή διαφοροποιείται κατά την διαδικασία της διήθησης και κατά τον κορεσμό μπορεί να πάρει τιμές έως και  $10^{-5}$  m/sec. Αυτό στην συγκεκριμένη μονάδα παραγωγής συμβαίνει όταν τα στερεά μέρη συσσωρεύονται και συγκολλούνται με την πάροδο του χρόνου. Ο ημερήσιος παραγόμενος όγκος υγρών αποβλήτων της μονάδας παραγωγής υπολογίζεται σε περίπου  $10 \text{ m}^3$  σε μία βάρδια 8 ωρών λειτουργίας.

Ο συνολικός ετήσιος παραγόμενος όγκος υγρών αποβλήτων της μονάδας εκτιμάται σε  $2500 \text{ m}^3$ . Η ποσοστιαία ελάττωση του όγκου των υγρών λόγω εξατμισοδιαπνοής θα φθάνει κατά μέσο όρο ανά έτος το 30% του συνολικού όγκου των υγρών αποβλήτων της. Η ημερήσια εξάτμιση μπορεί να παίρνει κατά τις πολύ θερμές ημέρες του καλοκαιριού πολύ υψηλές τιμές, με αποτέλεσμα η εκροή να μηδενίζεται. Αυτό θα σημαίνει αφενός 100% καθαρισμό των υγρών αποβλήτων και 0% επίδραση στον αποδέκτη.

**Σύσταση του εδαφικού υλικού:** Το εδαφικό υλικό που εξορύχτηκε για την κατασκευή της εγκατάστασης, επαναχρησιμοποιήθηκε για την πλήρωση της Εδαφικής Κλίνης. Από μακροσκοπική παρατήρηση διαπιστώθηκε ότι αυτό αποτελείται από ερυθρή άργιλο, τεμάχια ασβεστολιθικής προέλευσης και σε μικρό ποσοστό από λεπτόκκοκη και μεσόκκοκη άμμο.

## **5. Δειγματοληψία-Χημικές αναλύσεις**

**Δειγματοληψία νερού Γεώτρησης και εξόδου της Εδαφικής Κλίνης:** Στις 17/3/07 πραγματοποιήθηκε μια δειγματοληψία στην ιδιόκτητη Γεώτρηση που διαθέτει η βιομηχανική μονάδα στο προαύλιο χώρο σε απόσταση 200m περίπου από την εγκατάσταση του βιολογικού καθαρισμού. Το βάθος της ανέρχεται στα 130m και εκμεταλλεύεται τον καρστικό υδροφορέα της περιοχής. Το νερό της Γεώτρησης χρησιμοποιήθηκε για το πότισμα των φυτών της εγκατάστασης κατά το πρώτο στάδιο της ανάπτυξης τους. Επίσης έγινε δειγματοληψία στο νερό της εξόδου της Εδαφικής Κλίνης. Σκοπός της δειγματοληψίας ήταν να διερευνηθούν, πρώτον η ποιοτική σύσταση του καρστικού νερού και δεύτερον οι τυχόν διαφοροποιήσεις που προκύπτουν κατά την διέλευσή του από την Εδαφική Κλίση.

**Δειγματοληψία υγρού απόβλητου στην είσοδο και έξοδο της Εδαφικής Κλίνης:** Από αρχές Ιουνίου έως τέλη Νοεμβρίου του 2007 πραγματοποιήθηκαν συστηματικές δειγματοληψίες του υγρού απόβλητου τόσο στην είσοδο όσο και στην έξοδο της Εδαφικής Κλίνης. Στο χρονικό αυτό διάστημα πραγματοποιήθηκαν 13 δειγματοληψίες συνολικά, οι οποίες είχαν

σκοπό: α) την διερεύνηση της χημικής σύστασης του παραγόμενου απόβλητου, β) την παρακολούθηση των ποιοτικών μεταβολών του μεταξύ εισόδου και εξόδου από την Εδαφική Κλίνη και γ) την ταξινόμηση του επεξεργασμένου υγρού απόβλητου βάσει διεθνών προτύπων και την εκτίμηση της καταλληλότητάς του για διάφορες χρήσεις.

Επί τόπου μετρήθηκαν με φορητά όργανα οι φυσικοχημικές παράμετροι των νερών: η θερμοκρασία  $T$   $^{\circ}\text{C}$ , η τιμή του pH (WTW/330i), το διαλυμένο οξυγόνο DO (WTW/OXI-96) και η ηλεκτρική αγωγιμότητα EC (WTW/LF-330). Η συλλογή των δειγμάτων έγινε σε πλαστικές φιάλες πολυαιθυλενίου του 1 λίτρου και χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση των κάτωθι παραμέτρων:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^{+}$ ,  $\text{K}^{+}$ ,  $\text{HCO}_3^{-}$ ,  $\text{Cl}^{-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^{-}$ ,  $\text{NO}_2^{-}$ ,  $\text{NH}_4^{+}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ , ολική, ανθρακική και μόνιμη σκληρότητα. Τα ιόντα του  $\text{Ca}^{2+}$  και του  $\text{Mg}^{2+}$  μετρήθηκαν στην ατομική απορρόφηση (GBC/908AA). Τα ιόντα του  $\text{Na}^{+}$  και του  $\text{K}^{+}$  μετρήθηκαν στο φλογοφωτόμετρο (Corning 1500). Για τον προσδιορισμό της ολικής και ανθρακικής σκληρότητας καθώς και του  $\text{Cl}^{-}$  εφαρμόστηκαν μέθοδοι τιτλοδότησης χρησιμοποιώντας Titriplex-Lösung A, HCl 0,1N και  $\text{AgNO}_3$  0,1N αντίστοιχα (Höll 1979). Ο προσδιορισμός των υπόλοιπων ανιόντων πραγματοποιήθηκε με εφαρμογή μεθόδων φασματοφωτομετρίας (HACK, DR/3000). Σε φιάλες των 100ml συντηρήθηκαν δείγματα του υγρού απόβλητου για την διερεύνηση της ανάλωσης του  $\text{KMnO}_4$ , τα οποία ελήφθησαν στην είσοδο και στην έξοδο της εγκατάστασης. Για την συντήρησή τους χρησιμοποιήθηκε αραιό  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (αραίωση 1:5). Σε φιάλες των 500ml πάρθηκαν δείγματα του υγρού απόβλητου, εισόδου και εξόδου, που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση του COD (Hach COD-Reactor and DR/3000 Spectrophotometer) και του  $\text{BOD}_5$  (Hach BOD-Manometric apparatus, Model:2173B).

Οι αναλύσεις των προαναφερόμενων εργασιών πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Ορυκτολογίας-Γεωλογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών. Στον πίνακα 1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν στα δείγματα του υγρού απόβλητου από τα σημεία εισόδου και εξόδου της εγκατάστασης.

## 6. Αποτελέσματα και συζήτηση

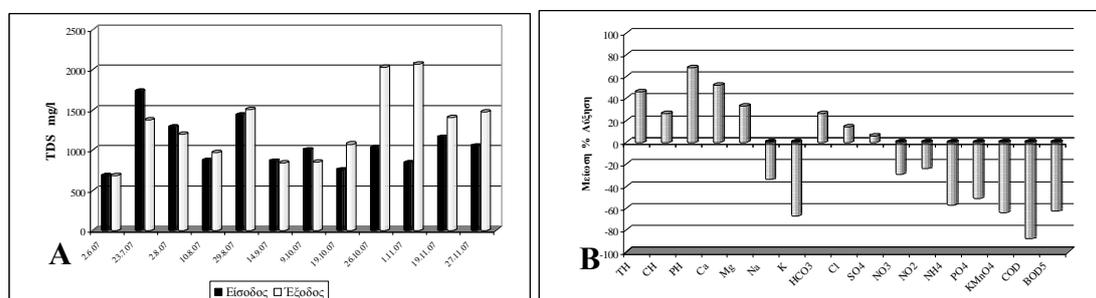
Η μονάδα βιολογικής επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων κατασκευάστηκε τον Ιανουάριο του 2007. Η φύτευση των υβριδίων *Phragmites australis* πραγματοποιήθηκε στο διάστημα 14-15/2/07. Στις 22/2/07 πληρώθηκε η εδαφική κλίνη με νερό της γεώτρησης και η άρδευση της εγκατάστασης συνεχίστηκε έως τις αρχές Ιουνίου. Αρχές Ιουνίου η βιομηχανική μονάδα ξεκίνησε την παραγωγική της λειτουργία και το παραγόμενο απόβλητο διοχετεύονταν κανονικά προς την εγκατάσταση.

Στις αναλύσεις που έγιναν κατά το πρώτο διάστημα, όπου χρησιμοποιήθηκε φυσικό υπόγειο νερό της γεώτρησης για την άρδευση του συστήματος, δεν προκύπτουν σημαντικές μεταβολές της χημικής σύστασης μεταξύ των δυο σημείων δειγματοληψίας. Διαπιστώνεται μικρή αύξηση στις συγκεντρώσεις των ιόντων του  $\text{Na}^{+}$  (από 18,6 σε 29,1 mg/l), του  $\text{Cl}^{-}$  (από 14,2 σε 17,7 mg/l) και των  $\text{SO}_4^{2-}$  (από 32,0 σε 56,1 mg/l). Η αύξηση αυτή σχετίζεται σε μεγάλο ποσοστό στην εξάτμιση που λαμβάνει χώρα από την επιφάνεια της εγκατάστασης, η οποία οδηγεί στην αύξηση των αλάτων του επεξεργασμένου απόβλητου. Χαρακτηριστική είναι η αύξηση του  $\text{O}_2$  (από 7,8 σε 12,4 mg/l) που παρατηρείται στα σημεία μεταξύ εισόδου και εξόδου. Το γεγονός αυτό φανερώνει τον εμπλουτισμό του υπεδαφικού νερού της εγκατάστασης σε  $\text{O}_2$  που διενεργείται αποκλειστικά με την επίδραση των φυτών. Μικρή σχετικά μείωση παρατηρείται στις συγκεντρώσεις των ιόντων των  $\text{NO}_3^{-}$  (από 43,1 σε 36,1 mg/l),  $\text{NH}_4^{+}$  (από 0,12 σε 0,04 mg/l),  $\text{NO}_2^{-}$  (από 0,008 σε 0,005 mg/l),  $\text{PO}_4^{-}$  (από 0,24 σε 0,34 mg/l). Η περιορισμένη αυτή σε έκταση ποιοτική διαφοροποίηση σχετίζεται προφανώς με την αφομοίωση των θρεπτικών στοιχείων από τα φυτά για την ικανοποίηση των αναγκών τους κατά το πρώτο στάδιο της αύξησής τους, πριν ξεκινήσει η είσοδος του απόβλητου.

Πίνακας 1: Αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων.  
Table 1: Results of chemical analyses.

	Νερό Γεώτρησης		Υγρό Απόβλητο (12 δειγματοληψίες)						Αύξηση-Μείωση Τιμών
	Είσοδος	Έξοδος	Είσοδος			Έξοδος			
			min	max	aver	min	max	aver	
Θερμοκρασία °C	19,3	19,2	11,9	36,2	24,1	10,7	36,6	20,8	-14%
EC μS/cm	806	795	902	2590	1459	860	3010	1833	20%
pH	7,8	7,3	6,9	7,7	7,4	7,1	7,5	7,3	-1%
TDS mg/l	618	609	752	1728	1115	684	2071	1328	16%
Ολική Σκλ. °dH	20,5	18,5	5,6	34,0	20,4	22,1	64,6	37,9	46%
Ανθρακ. Σκλ. °dH	17,3	15,6	14,0	32,2	21,5	19,6	64,4	29,0	26%
Μόνιμη Σκλ. °dH	3,2	2,9	0,0	13,0	3,1	0,0	34,8	9,7	68%
Ca <sup>2+</sup> mg/l	104,0	104,0	8,0	168,0	86,5	84,0	272,0	178,2	52%
Mg <sup>2+</sup> mg/l	26,0	17,3	17,2	64,5	36,0	13,6	121,7	53,5	33%
Na <sup>+</sup> mg/l	18,6	29,1	57,5	317,5	170,4	33,7	218,4	113,3	-34%
K <sup>+</sup> mg/l	1,2	6,2	0,6	24,0	9,0	0,6	14,0	3,0	-67%
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	378,2	341,6	305,0	701,5	468,9	439,2	1403,0	632,6	26%
Cl <sup>-</sup> mg/l	14,2	17,7	46,1	595,7	200,8	53,2	585,1	232,6	14%
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/l	32,0	56,1	6,7	115,2	55,6	3,7	202,0	59,5	6%
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	43,1	36,1	5,4	136,4	65,4	1,3	140,8	46,4	-29%
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> mg/l	0,008	0,005	0,070	0,340	0,126	0,013	0,260	0,096	-24%
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/l	0,12	0,04	0,00	22,96	8,11	0,00	10,30	3,50	-57%
PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> mg/l	0,24	0,34	1,00	8,90	3,74	0,10	5,00	1,83	-51%
O <sub>2</sub> mg/l	7,8	12,4	1,7	6,7	3,5	2,5	12,9	7,9	126%
KMnO <sub>4</sub> mg/l	2,6	2,5	44	568	297	12	202	108	-64%
COD mg/l	0,0	0,0	33	2270	884	5	180	112	-88%
BOD <sub>5</sub> mg/l	0,0	0,0	12	540	373	3	38	20	-92%
SAR	0,8	0,7	1,3	6,6	4,0	1,0	4,1	2,0	-50%

Η χημική σύσταση του απόβλητου στην έσοδο ποικίλει έντονα, ανάλογα με τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην παραγωγική διαδικασία της μονάδας και την χρήση των διαφόρων υλικών καθαριότητας. Η ολική συγκέντρωση αλάτων για το προαναφερόμενο διάστημα των παρατηρήσεων, κυμαίνεται από 752 mg/l έως 1728 mg/l και μέση τιμή 1115mg/l. Μεταξύ των ιόντων που διακρίνονται για τις υψηλές συγκεντρώσεις τους, είναι το Na<sup>+</sup> (57,5-317,5 mg/l), το Cl<sup>-</sup> (46,1-595,7 mg/l) και τα θρεπτικά στοιχεία: NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (5,4-136,4 mg/l), NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (0,00-22,96 mg/l) και PO<sub>4</sub><sup>-</sup> (1,00-8,90 mg/l).



Σχήμα 4: Μεταβολές του TDS (A) και της χημικής σύστασης (B) του απόβλητου στα σημεία εισόδου - εξόδου της εγκατάστασης.

Figure 4: Changes of TDS (A) and of the chemical constitution (B) of the wastewater in the entry – outlet points of the plant.

Στο σχήμα 4(A) παρουσιάζεται η μεταβολή του TDS μεταξύ των δυο σημείων δειγματοληψίας. Κατά την δειγματοληψία του Ιουνίου παρουσιάζεται μια ισορροπία στο

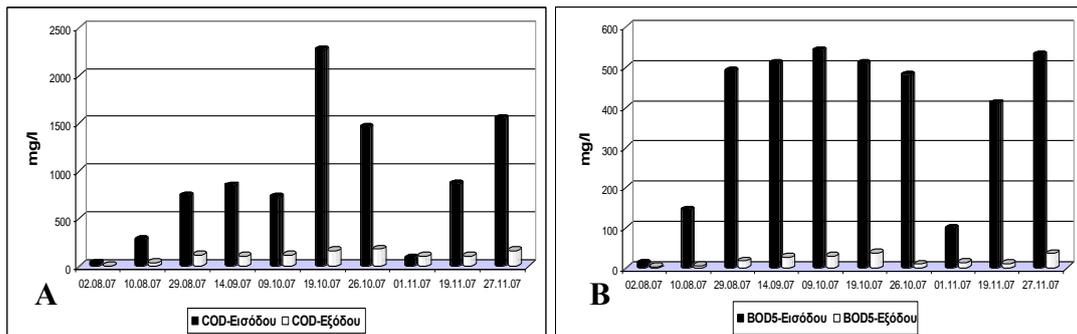
σύνολο των αλάτων μεταξύ εισόδου και εξόδου, εφόσον η εδαφική κλίση δέχονταν μόνο φυσικό υπόγειο νερό της γεώτρησης. Κατά την χρονική περίοδο Οκτωβρίου-Νοεμβρίου γίνεται χαρακτηριστική η αύξηση των ολικών αλάτων στο σημείο εξόδου του αποβλήτου. Η παρατηρούμενη αύξηση των ολικών αλάτων συνδέεται προφανώς με το φαινόμενο της εξατμισοδιαπνοής που πραγματοποιείται, ιδιαίτερα κατά την ξηρή περίοδο του έτους που μπορεί να φθάσει υψηλά ποσοστά. Η εκροή του απόβλητου υπήρξε κατά την ξηρή περίοδο σημαντικά περιορισμένη.

Οι μεταβολές της χημικής σύστασης του απόβλητου σχετίζονται απόλυτα με τις διαφορές βιολογικές και γεωχημικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα εντός της εδαφικής κλίσης.

Στο σχήμα 4(B) παρουσιάζονται γραφικά οι μεταβολές όλων των παραμέτρων που διερευνήθηκαν σε ποσοστά αύξησης ή μείωσης σε σχέση με το αρχικό εισερχόμενο απόβλητο. Η σκληρότητα (ΤΗ:ολική, CH:ανθρακική και ΡΗ:μόνιμη) και τα ιόντα  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  και  $\text{SO}_4^{2-}$ , χαρακτηρίζονται για τις αυξητικές τους τάσεις, ενώ οι υπόλοιποι παράμετροι,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{PO}_4^-$ ,  $\text{KMnO}_4$ , COD και  $\text{BOD}_5$  φανερώνουν σημαντική μείωση του φορτίου τους. Οι μεταβολές που παρατηρούνται στη χημική σύσταση του απόβλητου μεταξύ εισόδου-εξόδου της εγκατάστασης συνοψίζονται στα ακόλουθα:

- Πλήρης διαύγεια του εκρέοντος απόβλητου, γεγονός που φανερώνει την ολική κατακράτηση των αιωρούμενων συστατικών του εντός της εδαφικής κλίσης.
- Μείωση του οργανικού φορτίου που αντικατοπτρίζεται στην μείωση του  $\text{KMnO}_4$  κατά 64%, του COD κατά 88% και του  $\text{BOD}_5$  κατά 63%.
- Μείωση των θρεπτικών στοιχείων  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$  και  $\text{PO}_4^-$  κατά 29%, 57%, 24% και 51% αντίστοιχα. Η αποικοδόμηση των αζωτούχων ενώσεων σχετίζεται με φαινόμενα νιτροποίησης των αμμωνιακών ενώσεων και απονιτροποίησης των νιτρικών ενώσεων σε αδρανείς μορφές του αζώτου.
- Μείωση των συγκεντρώσεων  $\text{Na}^+$  και  $\text{K}^+$  κατά 34% και 67% αντίστοιχα. Η μεταβολή σχετίζεται με φαινόμενα κατιοανταλλαγής.
- Αύξηση της ανθρακικής σκληρότητας (CH) και των  $\text{HCO}_3^-$  κατά 26%. Η μεταβολή σχετίζεται με την διάλυση της οργανικής ύλης και την παραγωγή  $\text{CO}_2$ .
- Αύξηση της μόνιμης σκληρότητας (PH) που σχετίζεται κυρίως με την αύξηση των θεικών ιόντων.
- Αύξηση της ολικής σκληρότητας (ΤΗ) κατά 46% και των κατιόντων  $\text{Ca}^{2+}$  και  $\text{Mg}^{2+}$  κατά 52% και 33% αντίστοιχα. Η μεταβολή σχετίζεται με την αύξηση των οξυανθρακικών και την διάλυση των ανθρακικών υλικών.
- Αύξηση του  $\text{O}_2$  κατά 126%. Ο εμπλουτισμός του απόβλητου σε  $\text{O}_2$  σχετίζεται με την μεταφορά αυτού από την ατμόσφαιρα προς την εδαφική ζώνη μέσω των φυτών.
- Αύξηση της EC κατά 20% που σχετίζεται με την αύξηση των αλάτων και ιδιαίτερα του NaCl.
- Διατήρηση του pH του διαλύματος σε επίπεδα ελαφρώς αλκαλικού περιβάλλοντος που φανερώνει την βιοδιασπαστικότητα των αποβλήτων.

Γενικά διαπιστώνεται ότι η μονάδα επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων που λειτουργεί με την Μέθοδο του Ριζικού Συστήματος αποδίδει εξ' αρχής σχεδόν 80-90% της μέγιστης απόδοσης, μολονότι οι προδιαγραφές ορίζουν ως απαιτούμενο χρονικό διάστημα τα 3 έτη για την επίτευξη της λειτουργίας με μέγιστη απόδοση. Η ικανότητα αυτή του συστήματος αντικατοπτρίζεται με τον πλέον καλύτερο τρόπο στην μείωση του οργανικού φορτίου που φθάνει, σε μέση τιμή για το σύνολο των αναλύσεων, για το COD στα 88% και για το  $\text{BOD}_5$  στα 92%. Οι τιμές που παρατηρήθηκαν στην εκροή για το COD και για το  $\text{BOD}_5$  κυμαίνονται μεταξύ 5 mg/l και 180 mg/l (μ.τ. 112 mg/l) και μεταξύ 3 mg/l και 38 mg/l (μ.τ. 20 mg/l) αντίστοιχα. Με βάση τα στοιχεία που δίδονται στην βιβλιογραφία οι προαναφερόμενες τιμές μπορούν να αγγίξουν το 99%, όταν πλέον η λειτουργία του συστήματος φθάσει στην μέγιστη απόδοση (Kickuth 1970, 1981, 1983; Wathugala et al. 1987; Winter et al. 1989). Στο σχήμα 5 παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα των δυο παραμέτρων σε όλο το φάσμα των δειγματοληψιών.



Σχήμα 5: Η μεταβολή του οργανικού φορτίου, του COD (A) και του BOD<sub>5</sub> (B) μεταξύ εισόδου και εξόδου της εγκατάστασης.

Figure 5: The change of organic charge, of COD (A) and of BOD<sub>5</sub> (B) between entry and outlet of the plant.

Γενικά η διάθεση του συγκεκριμένου υγρού απόβλητου που προκύπτει μετά την επεξεργασία του, μπορεί να διατίθεται στο φυσικό επιφανειακό αποδέκτη, χωρίς να δημιουργεί προβλήματα ευτροφισμού. Ιδιαίτερα με την πάροδο του χρόνου και την συμπλήρωση της τριετίας, όταν πλέον η λειτουργία του συστήματος θα έχει φθάσει στην μέγιστη απόδοση, τα φορτία των θρεπτικών στοιχείων θα περιορίζονται σε υψηλό ποσοστό. Με βάση τον συντελεστή SAR το υγρό απόβλητο παρουσιάζει τόσο στην είσοδο όσο και στην έξοδο χαμηλές τιμές επικινδυνότητας ως προς την προσρόφηση Na<sup>+</sup> (πίνακας 1). Το υγρό ταξινομείται στην κατηγορία των νερών άρδευσης μέτριας ποιότητας (Richards 1954). Το επεξεργασμένο απόβλητο της συγκεκριμένης ποιοτικής σύστασης προσφέρεται για αρδευτικούς σκοπούς, με προϋπόθεση την λήψη ορισμένων μέτρων για την προστασία του εδαφικού αποδέκτη, όπως της καλής στράγγισης.

## 7. Συμπεράσματα

Σε χώρες όπου το υδατικό δυναμικό περιορίζεται σημαντικά και οι δυσόιωνες προβλέψεις των επερχόμενων κλιματικών αλλαγών, συνηγορούν σε μια θεώρηση της μεταχείρισης των υγρών αποβλήτων, όπως αυτή την γνωρίζουμε σήμερα στη χώρα μας. Η ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων θα πρέπει να είναι ένας από τους βασικούς στόχους κατά τον προγραμματισμό της διαχείρισής τους. Η φυσική κατεργασία των υγρών αποβλήτων με τη χρήση τεχνητών υγρότοπων αποκτά σταδιακά ιδιαίτερο ενδιαφέρον, καθότι αυτοί διακρίνονται για την μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα, τη συμβολή τους στην προστασία του περιβάλλοντος, το φθινό κατασκευαστικό και λειτουργικό κόστος, την άριστη ποιοτική αναβάθμιση του απόβλητου που μπορεί να χρησιμοποιηθεί τουλάχιστον για αρδευτικούς σκοπούς. Η εφαρμογή της μεθόδου του Ριζικού Συστήματος, για την επεξεργασία των παραγόμενων υγρών αποβλήτων σε μονάδα παραγωγής προϊόντων εστίασης στην περιοχή του Αυλώνα, έδειξε αξιόλογα αποτελέσματα, μολονότι οι παρατηρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο πρώτο στάδιο ανάπτυξης των ειδικών υβριδίων *Phragmites australis*, ενώ η μέγιστη απόδοση του συστήματος συντελείται μετά από μια περίοδο 3 ετών ανάπτυξης τους.

Διαπιστώθηκε μείωση του οργανικού φορτίου κατά 88% σε COD, κατά 92% σε BOD<sub>5</sub>, εμπλουτισμός του απόβλητου σε O<sub>2</sub> κατά 126%. Τα θρεπτικά στοιχεία NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> και PO<sub>4</sub><sup>-</sup> αποικοδομήθηκαν κατά 29%, 57%, 24% και 51% αντίστοιχα. Στην εκροή παρατηρείται αύξηση της σκληρότητας και των αντίστοιχων στοιχείων που την προξενούν, Ca<sub>2</sub><sup>+</sup> και Mg<sub>2</sub><sup>+</sup>, καθώς και σε NaCl. Η αύξηση της σκληρότητας και γενικά της αλατότητας σχετίζεται με την παραγωγή CO<sub>2</sub> και την διάλυση των ανθρακικών ορυκτών, την προσφορά σε ανόργανο φορτίο του εισερχόμενου υγρού και σε σημαντικό ποσοστό με το φαινόμενο της εξεταμισοδιαπνοής. Συγκρινόμενη η σύσταση του επεξεργασμένου απόβλητου και αυτής που προτείνονται για τα νερά άρδευσης, μικρές μόνο αποκλίσεις προκύπτουν, που εντοπίζονται κυρίως στην συγκέντρωση των αλάτων. Η ποιοτική σύσταση του συγκεκριμένου επεξεργασμένου απόβλητου προσφέρεται για αρδευτικούς σκοπούς. Μέσω των παρατηρήσεων αυτών επιβεβαιώνεται η σημαντική αξία της φυσικής κατεργασίας των υγρών

αποβλήτων και αναδεικνύεται η συνεισφορά της μεθόδου όχι μόνο στην προστασία του περιβάλλοντος αλλά και στην υδροοικονομία σε τοπικό επίπεδο.

### **Βιβλιογραφία**

- ΓΚΡΑΤΖΙΟΥ, Μ., ΑΝΑΓΝΩΣΤΟΠΟΥΛΟΣ Κ., 1999. Κατασκευαστικό κόστος μονάδων επεξεργασίας αστικών λυμάτων με τη μέθοδο των τεχνητών υγροτόπων. Πρακτικά 6<sup>ου</sup> Διεθνούς Συνεδρίου Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας-Πυθαγόρειο Σάμου, 30/8 – 2/9/99, Γ:245-252.
- ΚΑΤΣΑΒΟΥΝΗ, Σ., ΖΑΛΙΔΗΣ, Γ., ΓΕΡΑΚΗΣ, Α., 1997. Πιλοτική εφαρμογή καθαρισμού και επανάκτησης αστικών λυμάτων με τεχνητούς υγρότοπους. Πρακτικά 5<sup>ου</sup> Συνεδρίου Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας- Μόλυβος Λέσβου, Σεπτ. 1997, Β:450-457.
- KICKUTH, R., 1970. Ökochemische Leistungen höherer Pflanzen. Naturwissensch.57: 55-61.
- KICKUTH, R., 1981. Awasserreinigung in Mosaikmatrizen auf aeroben und anaeroben Teilbezirken. In Moser F., (Hg) Grundlagen der Abwasserreinigung, Wasser-Abwasser 19: 639-665, München-Wien.
- KICKUTH, R., 1983. Einige Dimensionierungsgrundsätze für das Wurzelraumverfahren. Hamburger Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft 1:29-48, Hamburg.
- NIMETH, N., LAKNER, G. 2002. Some aspects of the purification efficiency of *Phragmites Australis* in a root zone system, Proceedings of the 7th Hungarian Congress on Plant Physiology, 2002.
- RICHARDS, I.A., 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils. U.S. Depart. Agric., 160p., Washington.
- ΣΕΡΕΤΑΚΗ, Θ., 2006. Μελέτη Βιολογικού Καθαρισμού και Διάθεσης Υγρών Αποβλήτων PALMIE CATERING ΑΕ, (αδημοσίευτη Τεχνική Έκθεση).
- WATHUGALA, A.G., SUZUKI, T., KURIHARA, Y., 1987. Removal of nitrogen, phosphorus and COD from wastewater using sand filtration system with *Phragmites australis*, Water Research 21/10: 1217-1224.
- WINTER, M., KICKUTH, R., 1989. Elimination of sulphur compounds from wastewater by the root zone process I. Performance of a large-scale purification plant at a textile finishing industry, Water Research 23/5: 535-546.

Παρουσίαση στο συνέδριο:

**8ο Διεθνές Υδρογεωλογικό Συνέδριο**

Οκτώβριος 2008 στην Αθήνα

Πρόκειται για μία εγκατάσταση του Ριζικού Συστήματος για τον καθαρισμό λυμάτων και ενσωματωμένη εδαφοποίηση πρωτογενούς ιλύος των υπολειμμάτων κουζίνας στο εργοστάσιο της Εταιρίας Palmie-Catering ΑΕΒΕ στον Αυλώνα Αττικής.

Η εγκατάσταση λειτουργεί από το 2007 και τώρα αρχίζει η συλλογή του εδαφοποιημένου υλικού προς κομποστοποίηση και περαιτέρω χρήση ως εδαφοβελτιωτικού προϊόντος.