

**ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ**

Δημήτριος Α. Μάρκου και Βασίλειος Α. Τσιχριντζής*

Εργαστήριο Οικολογικής Μηχανικής και Τεχνολογίας
Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνική Σχολή
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, 67100 Ξάνθη
*Τηλ./Fax: 25410-78113, E-mail: tsihrin@otenet.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Παρουσιάζεται μια σύγκριση ανάμεσα σε συμβατικά και διάφορα φυσικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, με εφαρμογή στην υπό ανέγερση Πανεπιστημιούπολη της Ξάνθης στα Κιμμέρια. Η περίπτωση της Πανεπιστημιούπολης είναι ιδανική για τη χρήση Φυσικών Συστημάτων, επειδή ο εξυπηρετούμενος πληθυσμός είναι σχετικά μικρός (5.000 άτομα για τα επόμενα 30 χρόνια και 10.000 κατά την ολοκλήρωση όλων των έργων) και διατίθεται μεγάλη έκταση για την εγκατάσταση (25 στρέμματα τουλάχιστον). Έτσι, εξετάστηκαν αναλυτικά οι εναλλακτικές με Δεξαμενές Σταθεροποίησης, Τεχνητούς Υγροβιότοπους και Εδαφικά Συστήματα. Το οικονομικότερο και πιο συμφέρον από πλευράς απαιτούμενης έκτασης σύστημα βρέθηκε το Εδαφικό Σύστημα Επιφανειακής Ροής.

**COMPARISON OF VARIOUS NATURAL SYSTEMS
FOR WASTEWATER TREATMENT**

Dimitrios A. Markou and Vassilios A. Tsihrintzis*

Laboratory of Ecological Engineering and Technology
Department of Environmental Engineering, School of Engineering
Democritus University of Thrace, 67100 Xanthi, Greece
*Ph./Fax: +30-25410-78113, E-mail: tsihrin@otenet.gr

ABSTRACT

A comparison is presented between conventional and natural systems for wastewater treatment, with an application on the campus of Democritus University of Thrace in Xanthi, Greece. The University Campus is an ideal place for natural system use, because the population which will be served is relatively small (5,000 habitants for the next thirty years and 10,000 at full development of the campus), and there is available space for the construction of the wastewater treatment system (about 2.5 ha). Alternatives were evaluated, including stabilization ponds, constructed wetlands and land treatment systems. The conclusion is that the best alternative is the overland flow (land treatment) system.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Πανεπιστημιούπολη της Ξάνθης βρίσκεται ανατολικά της πόλης και διασχίζεται από την επαρχιακή οδό Ξάνθης – Κιμμερίων. Έχει σχεδόν ολοκληρωθεί η κατασκευή του τμήματος που βρίσκεται βόρεια της επαρχιακής οδού και περιλαμβάνει κτίρια όπως το αμφιθέατρο, το εστιατόριο, ένα μέρος των φοιτητικών εστιών και τα προσωρινά κτίρια του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος. Στη νότια πλευρά της οδού έχει κατασκευαστεί μόνο το κτίριο της κεντρικής βιβλιοθήκης.

Σύμφωνα με τη μελέτη που έχει εκπονηθεί για λογαριασμό του Τμήματος Μελετών της Διεύθυνσης Τεχνικών Έργων II, με τίτλο “Έργα υποδομής της Πανεπιστημιούπολης Ξάνθης” (Γραφείο Δοξιάδη, 1999), διακρίνονται δύο φάσεις για την κατασκευή των έργων. Κατά την Α΄ Φάση αναμένεται να έχει ολοκληρωθεί ένα μεγάλο μέρος των κτιρίων φοίτησης και σίτισης για ένα δυναμικό (φοιτούντων και υπαλλήλων) της τάξης των 5.000 ατόμων περίπου. Το διάστημα που θα ολοκληρωθεί η Α΄ Φάση υπολογίζεται περίπου στα 30 έτη. Κατά την ολοκλήρωση της Β΄ Φάσης το αντίστοιχο δυναμικό θα ανέλθει στα 10.000 άτομα.

Σκοπός της εργασίας είναι να μελετηθούν, ως εναλλακτική πρόταση για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων της Πανεπιστημιούπολης, τα κυριότερα Φυσικά Συστήματα, όπως οι Δεξαμενές Σταθεροποίησης, οι Τεχνητοί Υγροβιότοποι και τα Εδαφικά Συστήματα και να συγκριθούν με το σύστημα Περιστρεφόμενων Βιοδίσκων (RBCs) που προτείνεται από την υπάρχουσα μελέτη. Ο σχεδιασμός γίνεται και για τις δύο φάσεις. Στον Πίνακα 1 φαίνονται οι παράμετροι σχεδιασμού.

Πίνακας 1. Στοιχεία για το Σχεδιασμό των Φυσικών Συστημάτων.

| Στοιχεία | Εισροή | | Εκροή |
|--|-----------------|-----------------|-------|
| | Α΄ Φάση | Β΄ Φάση | |
| Πληθυσμός | 5.000 | 10.000 | -- |
| Μέση Παροχή (m ³ /d) | 347 | 705 | -- |
| Συγκέντρωση Βιοχημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου (mg/L) | 317 | 468 | 20 |
| Συγκέντρωση Αιωρούμενων Στερεών (mg/L) | 403 | 595 | 25 |
| Συγκέντρωση Ολικού Αζώτου (mg/L) | 70 | 70 | 5 |
| Συγκέντρωση Φωσφόρου (mg/L) | 15 | 15 | 2 |
| Αριθμός Κολοβακτηριδίων (αρ./100 mL) | 10 ⁷ | 10 ⁷ | 500 |
| Θερμοκρασία Αποβλήτου (°C) | 15 | 15 | -- |
| Θερμοκρασία Αέρα (°C) | 4 | 4 | -- |

2. ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗΣ

Οι Δεξαμενές Σταθεροποίησης (ή Οξείδωσης) είναι χωμάτινες δεξαμενές στις οποίες εισέρχεται το υγρό απόβλητο, όπου επιδέχεται επεξεργασία με βιολογική μετατροπή. Αποτέλεσμα της βιολογικής μετατροπής είναι η ιλύς που συσσωρεύεται στον πυθμένα με βραδύ ρυθμό (συνήθως απαιτείται απομάκρυνση της ιλύος κάθε 10-15 χρόνια).

Τα είδη των δεξαμενών σταθεροποίησης είναι τα εξής (Τσιχριντζής, 2000): (1) Αερόβιες δεξαμενές, οι οποίες είναι μεγάλες χωμάτινες και σχετικά ρηχές δεξαμενές και περιέχουν κυρίως φύκη και βακτήρια που συντελούν στη βιολογική οξείδωση.

Υπάρχουν τρεις τύποι: (α) Υψηλού ρυθμού με πολύ μικρό βάθος (15-45 cm), ώστε να μεγιστοποιείται η παραγωγή φυκών επιτρέποντας στο φως να εισχωρεί σε όλο το βάθος. (β) Χαμηλού ρυθμού, όπου μεγιστοποιείται η παραγωγή οξυγόνου και το βάθος φτάνει μέχρι το 1,5 m. (γ) Τριτοβάθμιες δεξαμενές ωρίμανσης, όπου το οργανικό φορτίο είναι πολύ χαμηλό. Χρησιμοποιούνται για αφαίρεση παθογόνων μικροοργανισμών (συνήθως στο τελικό στάδιο καθαρισμού). (2) Επαμφοτερίζουσες δεξαμενές, οι οποίες είναι αερόβιες-αναερόβιες δεξαμενές. Στο ανώτερο στρώμα επικρατούν αερόβιες συνθήκες, στο μεσαίο επικρατούν αερόβιες-αναερόβιες και στο κατώτερο επικρατούν αναερόβιες συνθήκες. Το βάθος τους κυμαίνεται από 1,2 έως 2,5 m. (3) Αναερόβιες δεξαμενές, οι οποίες χρησιμοποιούνται μόνο σε ειδικές περιπτώσεις, όπως π.χ. για την επεξεργασία ισχυρών οργανικών αποβλήτων. Έχουν μεγάλο βάθος, συνήθως 2-5 m.

Διάφορα από τα παραπάνω είδη δεξαμενών τοποθετούνται σε σειρά ή παράλληλα με σκοπό την επεξεργασία ειδικής σύστασης αποβλήτων ή την αύξηση της απόδοσης καθαρισμού. Έτσι, επιλέχθησαν το σύνθετο σύστημα που αποτελείται από μία αναερόβια, μία επαμφοτερίζουσα, ορισμένες δεξαμενές ωρίμανσης και ένα φίλτρο άμμου σε σειρά. Το φίλτρο άμμου τοποθετείται γιατί στην εκροή του συστήματος υπάρχει αυξημένη συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών και φυκών. Το σύστημα αυτό δεν απαιτεί πρωτοβάθμια επεξεργασία (προεπεξεργασία, καθίζηση) πριν από την είσοδο του αποβλήτου (Τσιχριντζής, 2000).

Ο σχεδιασμός (διαστασιολόγηση) του συστήματος γίνεται σύμφωνα με τη μεθοδολογία που παρουσιάζεται από τον Τσιχριντζή (2000) και τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2. Διαστασιολόγηση Δεξαμενών Σταθεροποίησης.

| Είδος δεξαμενής (δεξαμενές σε σειρά) | Α' Φάση | | Β' Φάση | |
|---|---------|--------------------------|---------|--------------------------|
| | Αριθμός | Έκταση (m ²) | Αριθμός | Έκταση (m ²) |
| Αναερόβια | 1 | 780 | 1 | 1.450 |
| Επαμφοτερίζουσα | 1 | 4.950 | 1 | 19.800 |
| Ωρίμανσης | 9 | 1.470 | 11 | 2.630 |

3. ΤΕΧΝΗΤΟΙ ΥΓΡΟΒΙΟΤΟΠΟΙ

Οι Τεχνητοί Υγροβιότοποι που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία υγρών αστικών αποβλήτων είναι του τύπου των αναδυομένων υδροχαρών φυτών και χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: (1) επιφανειακής ροής και (2) υποεπιφανειακής ροής. Στην πρώτη περίπτωση υπάρχει υπόστρωμα εδάφους όπου είναι φυτεμένα τα φυτά και η ροή γίνεται πάνω από το στρώμα του εδάφους με ένα βάθος 10-60 cm. Στη δεύτερη κατηγορία υπάρχει ένα υπόστρωμα πορώδους υλικού με πάχος 30-60 cm, μέσα στο οποίο παροχετεύεται το απόβλητο και στο ανώτερο στρώμα του οποίου διεισδύουν οι ρίζες των φυτών. Ανάλογα με τον τρόπο που εισέρχεται το απόβλητο στους υγροβιότοπους υποεπιφανειακής ροής, αυτοί διαχωρίζονται σε οριζόντιας και κατακόρυφης ροής.

Οι Τεχνητοί Υγροβιότοποι Κατακόρυφης Υποεπιφανειακής Ροής γενικά έχουν μεγαλύτερη απόδοση σε αφαίρεση ρύπων (κυρίως αζώτου), οπότε για τη συγκεκριμένη περίπτωση προτάθηκε ένα τέτοιο σύστημα. Αυτό αποτελείται από παράλληλες μονάδες, που στη κάθε μία συμπεριλαμβάνονται τρία επίπεδα. Τα δύο πρώτα είναι κατακόρυφης, ενώ το τρίτο είναι οριζόντιας υποεπιφανειακής ροής. Ο λόγος που υπάρχουν

παράλληλες μονάδες είναι ότι το απόβλητο εισάγεται σε κάθε παράλληλη μονάδα για 2 ημέρες και μετά ακολουθεί περίοδος αναμονής 4 ημερών. Κατά την Α΄ Φάση προτείνονται 3 παράλληλα συστήματα, ενώ κατά τη Β΄ φάση 6, όπου όμως το απόβλητο εισέρχεται σε δύο διπλανά ταυτόχρονα. Δηλαδή στην Α΄ Φάση κάθε μονάδα αποτελείται από ένα παράλληλο σύστημα, ενώ στη Β΄ Φάση από δύο. Επίσης απαιτείται πρωτοβάθμια επεξεργασία του αποβλήτου πριν την είσοδο στο σύστημα, ή οποία γίνεται με δεξαμενές Imhoff. Τα αποτελέσματα της διαστασιολόγησης φαίνονται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3. Διαστασιολόγηση Τεχνητών Υγροβιότοπων Κατακόρυφης Υποεπιφανειακής Ροής.

| Μέρος συστήματος | Απαιτούμενη επιφάνεια (m ²) | |
|------------------|---|---------|
| | Α΄ Φάση | Β΄ Φάση |
| Επίπεδο I | 5.000 | 10.000 |
| Επίπεδο II | 3.500 | 7.000 |
| Επίπεδο III | 1.500 | 3.000 |
| Σύνολο | 10.000 | 20.000 |

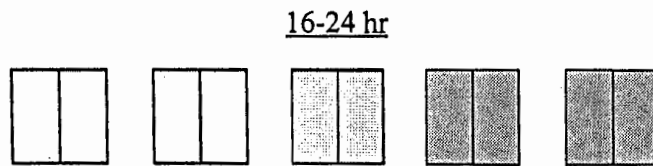
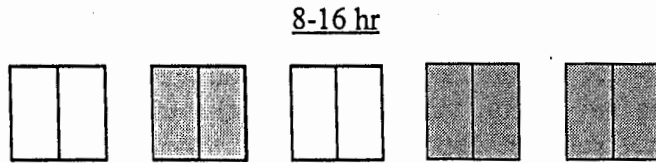
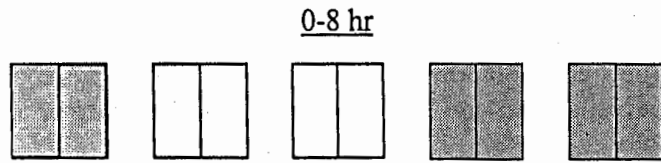
4. ΕΔΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Τα εδαφικά συστήματα είναι φυσικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, τα οποία βασίζονται στην εφαρμογή του αποβλήτου (συνήθως μετά από πρωτοβάθμια επεξεργασία) απευθείας στο έδαφος. Οι διεργασίες που λαμβάνουν χώρα σε τέτοιου είδους συστήματα είναι κυρίως η εξάτμιση μέσω των φυτών και η προσρόφηση των ρύπων στο εδαφικό υλικό. Υπάρχουν τρεις κατηγορίες εδαφικών συστημάτων τα: Ταχείας Διήθησης ή Εφαρμογής, Επιφανειακής Ροής και Βραδείας Εφαρμογής.

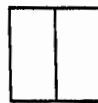
Από τη διαστασιολόγηση που έγινε για τους τρεις παραπάνω τύπους Εδαφικών Συστημάτων, σύμφωνα με τους Αγγελάκη και Tchobanoglous (1995), προέκυψε ότι το Σύστημα Βραδείας Εφαρμογής απαιτεί μεγάλη έκταση και απαιτείται επιπλέον επεξεργασία για την αφαίρεση του αζώτου. Οπότε είναι και αντιοικονομικό. Έτσι, εξετάστηκαν και διαστασιολογήθηκαν τα άλλα δύο συστήματα, στα οποία πραγματοποιείται πρωτοβάθμια επεξεργασία με δεξαμενές Imhoff (όπως και στους Τεχνητούς Υγροβιότοπους).

Για το Σύστημα Ταχείας Διήθησης απαιτούνται 4 παράλληλες λεκάνες των 6.000 m² η κάθε μία για την Α΄ Φάση και 8 της ίδιας έκτασης για τη Β΄ Φάση, όπου όμως το απόβλητο εισέρχεται σε δύο διπλάνες ταυτόχρονα. Δηλαδή στην Α΄ Φάση η μονάδα αποτελείται από μία λεκάνη, ενώ στη Β΄ Φάση από δύο λεκάνες. Η λειτουργία είναι διακοπτόμενη. Το απόβλητο εισέρχεται σε κάθε παράλληλη μονάδα για 2 ημέρες και υπάρχει περίοδος αναμονής 6 ημερών.

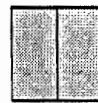
Για το Σύστημα Επιφανειακής Ροής απαιτούνται 5 ζώνες εφαρμογής για την Α΄ Φάση και 10 για τη Β΄ Φάση. Δύο από αυτές για την Α΄ Φάση και τέσσερις για τη Β΄ Φάση θα είναι εφεδρικές λόγω αναγκών συντήρησης. Η κάθε ζώνη εφαρμογής αποτελείται (σύμφωνα με τη διαστασιολόγηση) από δύο ίσες κεκλιμένες επιφάνειες, κάθε μία από τις οποίες έχει μήκος 45 m και πλάτος 29 m. Οπότε κατά την Α΄ Φάση το απόβλητο θα εισέρχεται σε κάθε ζώνη για 8 hr και θα υπάρχει περίοδος αναμονής 16 hr. Κατά τη Β΄ Φάση το απόβλητο θα εισέρχεται για 8 hr σε δύο ζώνες ταυτόχρονα. Δηλαδή στην Α΄ Φάση η μονάδα αποτελείται από μία ζώνη, ενώ στη Β΄ Φάση από δύο. Στο Σχήμα 1 φαίνεται ο τρόπος λειτουργίας του συστήματος κατά την Α΄ φάση.



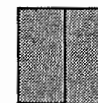
Εκτός λειτουργίας



Σε λειτουργία



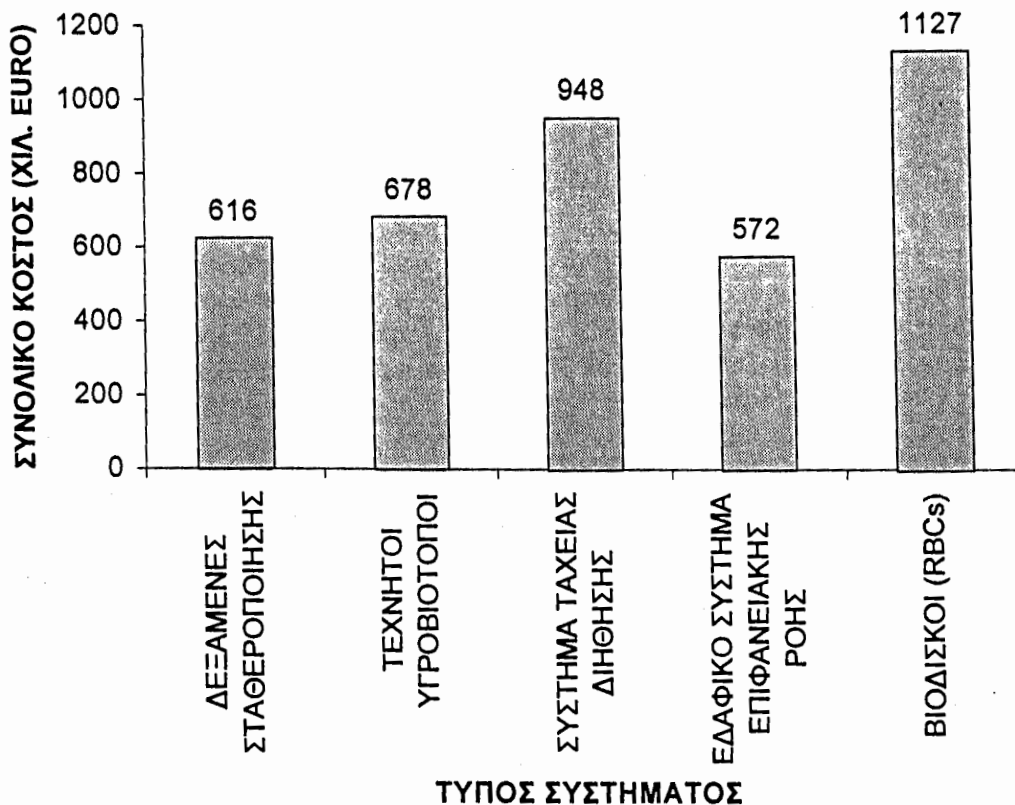
Εφεδρικό



Σχήμα 1. Λειτουργία Εδαφικού Συστήματος Επιφανειακής Ροής.

5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

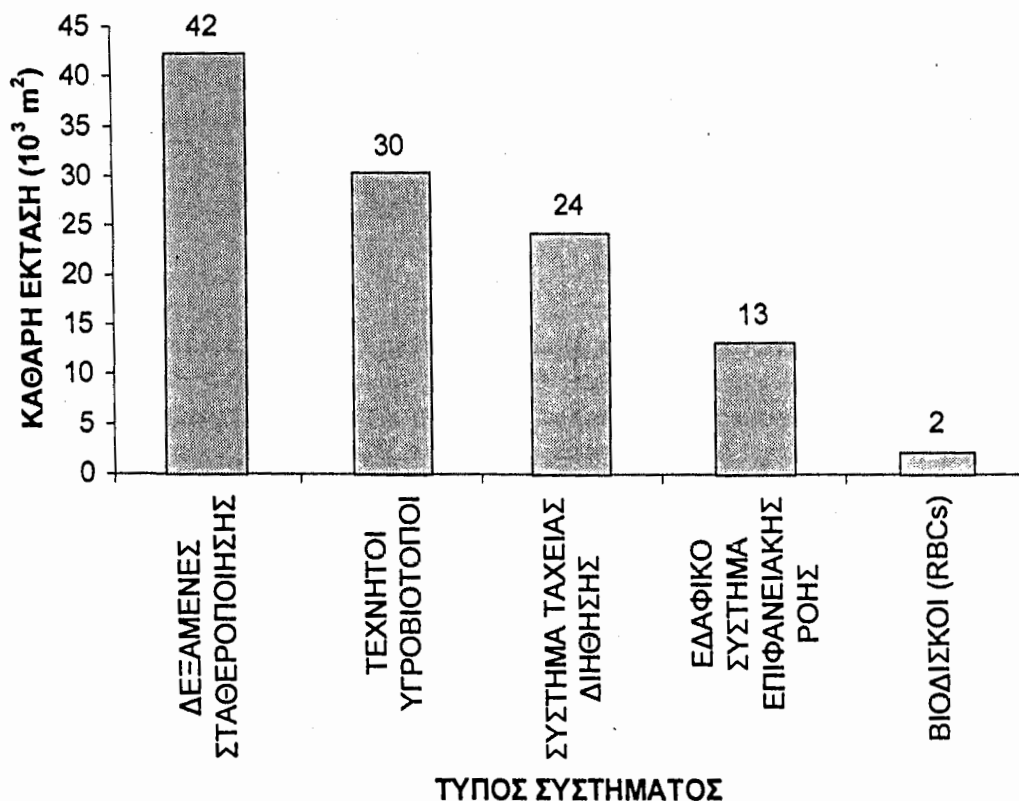
Οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του επιμέρους κόστους των ενεργειών για την αποπεράτωση του κάθε εξεταζόμενου συστήματος προέρχονται από την Τεχνική Υπηρεσία Δήμων και Κοινοτήτων της Υπηρεσίας (Τ.Υ.Δ.Κ., 1999) του Υπουργείου Εσωτερικών της Περιφερειακής Διεύθυνσης Ν. Σερρών, είναι προσεγγιστικές και χρησιμεύουν μόνο στην επιλογή της οικονομικότερης λύσης. Στη σύγκριση συμπεριλαμβάνεται και η προτεινόμενη από την υπάρχουσα μελέτη πρόταση για εγκατάσταση περιστρεφόμενων βιοδίσκων (RBCs). Πρέπει να τονισθεί ότι ο υπολογισμός του κόστους για κάθε εναλλακτική γίνεται μόνο για την Α' φάση, εφόσον είναι προσεγγιστικός και γίνεται για την επιλογή της βέλτιστης εναλλακτικής. Το υπολογιζόμενο κόστος συμπεριλαμβάνει κόστος κατασκευής και λειτουργίας για 30 χρόνια για κάθε εναλλακτική. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών φαίνονται στα Σχήματα 2 και 3.



Σχήμα 2. Σύγκριση Κόστους των Διάφορων Εναλλακτικών.

Το Σχήμα 2 δείχνει ότι η οικονομικότερη εγκατάσταση είναι το εδαφικό σύστημα επιφανειακής ροής (572.000 EUR), η δε προτεινόμενη λύση των βιοδίσκων είναι η ακριβότερη (1.127.000 EUR). Αντίθετα, όπως αναμενόταν, η προτεινόμενη λύση των βιοδίσκων καταλαμβάνει την μικρότερη έκταση (2 στρέμματα, Σχήμα 3). Μεταξύ των

φυσικών συστημάτων που εξετάστηκαν, αυτό που απαιτεί την μικρότερη επιφάνεια είναι το εδαφικό σύστημα επιφανειακής ροής (13 στρέμματα, Σχήμα 3).



Σχήμα 3. Σύγκριση της Απαιτούμενης Έκτασης των Διάφορων Εναλλακτικών.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Παρουσιάστηκε μια σύγκριση ανάμεσα σε συμβατικά και διάφορα φυσικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, με εφαρμογή στην υπό ανέγερση Πανεπιστημιούπολη της Ξάνθης στα Κιμμέρια. Εξετάστηκαν αναλυτικά οι εναλλακτικές με Δεξαμενές Σταθεροποίησης, Τεχνητούς Υγροβιότοπους και Εδαφικά Συστήματα. Έγινε σύγκριση και με το συμβατικό σύστημα των περιστρεφόμενων βιοδίσκων. Αν και το συμβατικό σύστημα καταλαμβάνει την μικρότερη έκταση είναι το λιγότερο οικονομικό σε κατασκευή και λειτουργία. Από τα φυσικά συστήματα που εξετάστηκαν, το οικονομικότερο και πιο συμφέρον από πλευράς απαιτούμενης έκτασης σύστημα βρέθηκε το Εδαφικό Σύστημα Επιφανειακής Ροής.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αγγελάκης, Α.Ν. και Tchobanoglous, G., 1995. *Υγρά Απόβλητα - Φυσικά Συστήματα Επεξεργασίας και Ανάκτηση, Επαναχρησιμοποίηση και Διάθεση Εκροών*, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.

- Γραφείο Δοξιάδη, 1999. *Έργα Υποδομής Πανεπιστημιούπολης Ξάνθης*, Διεύθυνση Τεχνικών Έργων II, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης.
- Τσιχριντζής, Β.Α., 2000. *Οικολογική Μηχανική και Τεχνολογία, Τόμος I (Διαχείριση Απορροής, Ρύπων και Φερτών) και Τόμος II (Φυσικές Μέθοδοι Επεξεργασίας και Πρόληψη Ρύπανσης)*, Εκδόσεις Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης.
- Τ.Υ.Δ.Κ. Νομού Σερρών, 1999. *Τιμολόγιο Έργων Υδρευσης-Αποχέτευσης*, Περιφερειακή Διεύθυνση Νομού Σερρών.