

Φυσικά Συστήματα Επεξεργασίας Λυμάτων στη Β. Ελλάδα

Μ. Γκράτζιου, Μ. Χαλάτση, Μ. Τσαλκατίδου, Ν. Κωτσοβίνος

Δημοκρίτειο Παν. Θράκης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Βασ. Σοφίας 12, 67100, Ξάνθη

Περίληψη

Στην εργασία αυτή γίνεται μια καταγραφή, της υπάρχουσας κατάστασης, των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας λυμάτων που βρίσκονται στην Β. Ελλάδα, αναφερόμενοι και στις κυριότερες αιτίες για τις οποίες κάποια από τα συστήματα δεν είναι σήμερα σε λειτουργία ή υπολειπόμενα. Αξιολογείται η απόδοση τους και προτείνονται τρόποι βελτίωσης. Οι παράμετροι που αναλύθηκαν είναι: SS, BOD₅, COD, N-total, N-NH₄, P-PO₄, pH, DO, E.coli και T.coliforms. Καταγράφηκαν επίσης θερμοκρασία και βροχοπτώσεις. Τα συστήματα συγκρίνονται μεταξύ τους ως προς την απόδοση και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των εκροών τους. Οι τεχνητοί υγρότοποι υπερέχουν των λιμνών σταθεροποίησης (Λ.Σ.) στην απομάκρυνση COD και αζώτου, ενώ οι Λ.Σ. υπερτερούν στην απομάκρυνση του μικροβιακού φορτίου. Όλα τα συστήματα έδωσαν ικανοποιητικές συγκεντρώσεις SS, BOD₅, αζωτούχων και φωσφορικών στις εκροές τους. Η αφαίρεση E.coli και T.colif ήταν σχεδόν 99,9%.

Natural Wastewater Systems in North Greece

M. Gratziou, M. Xalatsi, M.Tsalkatidou, N. Kotsovinos

*Democritus University of Thrace, Dept. of Civil Engineering,
12 Vas.Sofias St., Xanthi 67100, Greece,*

Abstract

This paper registers the current state of natural wastewater systems located in N. Greece, and underlines the main reasons due to which certain systems are not presently in operation or operate faulty. The systems' efficiency is evaluated and proposals for their improvement are put forward. The parameters analyzed were: SS, BOD₅, COD, N-total, N-NH₄, pH, P-PO₄, DO, E.coli and T. coliforms. Temperature and weather conditions were also recorded. The systems' efficiency and qualitative characteristics was compared its other. Wetland systems (W.S) excel stabilization ponds system (S.P.) to COD and nitrogen removal, but S.P. excel to coliforms re-

moval. All systems exhibited satisfactory SS and COD outflow concentrations. Nitrogen and phosphorus removal over 64-85% and 30-53% respectively, was satisfied too. *E.coli* and *T.coliforms* removal were estimated at approximately 99.9%.

1. Εισαγωγή

Τα Φυσικά Συστήματα (Φ.Σ.) χρησιμοποιούνται, ευρέως διεθνώς, για την επεξεργασία τόσο των αστικών όσο και των βιομηχανικών λυμάτων. Στην Ελλάδα όμως η χρήση τους είναι περιορισμένη, αντιστοιχούν σε λιγότερο από το 8% των συστημάτων διαχείρισης λυμάτων. Από αυτά το 90% βρίσκεται σε περιοχές της Β. Ελλάδος. Η παρούσα εργασία καταγράφει τα συστήματα αυτά του Βορειοελλαδικού χώρου και αξιολογεί τη λειτουργία τους καθώς και την ποιότητα των εκροών τους.

2. Υπάρχουσα κατάσταση

Το πρώτο φυσικό σύστημα που κατασκευάστηκε στη Β. Ελλάδα βρίσκεται στην κοινότητα Σιτοχωρίου του Ν. Σερρών (Γκράτζιου κ.α., 2006). Κατασκευάστηκε το 1982 για δυναμικότητα 1000 ι.κ. Αποτελείται, από τρεις λίμνες στη σειρά, μια επαμφοτερίζουσα ακολουθούμενη από δυο ωρίμανσης. Το σύστημα σήμερα είναι εκτός λειτουργίας. Στον ίδιο νομό κατασκευάστηκαν άλλα 9 παρόμοια συστήματα αλλά λειτουργούν μόνο τα 6, τα υπόλοιπα εγκαταλείφθηκαν. Σήμερα είναι υπό κατασκευή ένα νέο σύστημα, 4 λιμνών, στα Ίβηρα, δυναμικότητας 800 ι.κ. Στον πίνακα 1 παρουσιάζονται πληροφορίες σχετικά με την δυναμικότητα, τον αριθμό των λιμνών και την κατάσταση λειτουργίας των συστημάτων αυτών.

Η λίμνη σταθεροποίησης που βρίσκεται στα Θερμά του Ν. Σερρών είναι το μοναδικό σύστημα που ο πυθμένας της δεξαμενής του μονώθηκε με γεωϋφασμα, αφού στην ευρύτερη περιοχή υπάρχουν θερμά λουτρά, πηγές με νερό που εμφιαλώνεται (Νιγρίτα). Οι περισσότερες εκροές στον Ν. Σερρών διοχετεύονται σε αποστραγγιστικές τάφρους. Στον Ν. Καβάλας αν και μελετήθηκαν 8 συστήματα λιμνών σταθεροποίησης για την επεξεργασία λυμάτων αγροτικών οικισμών τελικά μόνο 2 κατασκευάστηκαν και λειτουργούν. Τα συστήματα αυτά διαθέτουν και χαλικόφιλτρο πριν την τελική εκροή και οι εκροές χρησιμοποιούνται από τους αγρότες της περιοχής για άρδευση χωρίς κανέναν έλεγχο ως προς την ποιότητα εκροής.

Πίνακας 1: Λίμνες Σταθεροποίησης στην Β. Ελλάδα

Περιοχή	Έτος λειτουργίας	Δυναμικότητα ι.κ. *	Λίμνες**	Κατάσταση
Ν. Σερρών				
Άνω Πορόια	1992	2000	Ε.Ω.Ω.ΧΦ	Σε λειτουργία
Βαμβακόφυτο	1989	2000	Ε.Ω.Ω.ΧΦ	Σε λειτουργία
Θερμά	1989	600	Ε.Ω	Σε λειτουργία
Ίβηρα	2007	800	Ε.Ω.Ω.Ω.ΧΦ	Σε λειτουργία
Λευκοθέα	1987	500	Ε.Ω	Σε λειτουργία
Μαυρόλοφος	1991	500	Ε.Ω.	Δε λειτουργεί
Μεσοράχη	1999	500	Ε.Ω.Ω.	Δε λειτουργεί
Ν. Σκοπός	1980	1000	Ε.Ω.Ω	Σε λειτουργία
Πεντάπολη	1989	3000	Ε.Ω.Ω	Δε λειτουργεί
Σιτοχώρι	1982	1000	Ε.Ω.Ω	Δε λειτουργεί
Χαρωπό	1994	2300	Ε.Ω.Ω	Σε λειτουργία
Ν. Καβάλας				
Κοκκινόχωμα 1	1995	900	Ε.Ω.Ω.ΧΦ	Σε λειτουργία
Κοκκινόχωμα 2	1998	900	Ε.Ω.Ω.ΧΦ	Σε λειτουργία
Ν. Θεσσαλονίκης (Πιλοτική Μονάδα)				
Σίνδος 1	1996	200	Α.Ε.Ω.Ω.Χ.Φ	Σε λειτουργία
Σίνδος 2	1996	600	Α.Ε.Ω.Ω.Χ.Φ	Σε λειτουργία
Σίνος 3	1996	330	Ε.Ω.Ω.Χ.Φ	Σε λειτουργία
Ν. Φλώρινας (12 υπό κατασκευή)				
Βεγόρα	2001	800	Α.Ε.Ω.Ω.Χ.Φ	Σε λειτουργία
Φαράγγι	2001	400	Α.Ε.Ω.Ω.Χ.Φ	Σε λειτουργία
Ν. Λήμνου				
Δ.Μούδρου	2002	4000	2Α.Ε.Ω.Ω.Χ.Φ	Σε λειτουργία
Ν. Ξάνθης				
ΣΕΒΑΘ	1985	βιομηχανικά	2 Αεριζόμενες, Ω	Σε λειτουργία

* Μελέτης, **Α: Αναερόβια, Ε: επαμφοτερίζουσα, Ω: Ωρίμανσης, ΧΦ: Χαλικόφιλτρο

Όλα σχεδόν τα ανωτέρω συστήματα σχεδιάστηκαν με τις ακόλουθες παραδοχές: ημερήσια παροχή 120 L/κάτ., οργανικό φορτίο λυμάτων εισροής BOD₅ 45 g/κάτ./d, αιωρούμενα στερεά SS στην εισροή 60 gr/κάτοικο/d, κολοβακτηρίδια στην εισροή 5*10⁶/100 ml, ελάχιστη θερμοκρασία λυμάτων (χειμώνα) 10-12 °C, χρόνος παραμονής στην 1^η λίμνη 15-30 ημέρες, για απομάκρυνση BOD₅ 30%, συχνότητα απομάκρυνσης λάσπης κάθε 5 έτη, συγκέντρωση στερεών στον πυθμένα 6%. Για τον σχεδιασμό των λιμνών ωρίμανσης ο χρόνος παραμονής επιλέχθηκε 8 ημέρες, τα δε απαιτούμενα χαρακτηριστικά εκροής ήταν: BOD₅ 30 mg/L και κολοβακτηρίδια 5,000 /100 ml. Οι επαμφοτερίζουσες λίμνες κατασκευάστηκαν με βάθος 2.40-2.50 m και οι λίμνες ωρίμανσης με 1.5 m. Αν και η μελέτη των συστημάτων προέβλεπε την δημιουργία 4 λιμνών (μία επαμφοτερίζουσα και τρεις ωρίμανσης) με χαλικόφιλτρο πριν την τελική εκροή των λυμάτων για διήθηση των αλγών, στην κατασκευή υπήρξαν διαφοροποιήσεις από την εφαρμογή της μελέτης (βλέπε Πίνακα 1). Για παράδειγμα, στο σύστημα λιμνών του Βαμβακόφυτου αντί να κατασκευασθούν 4 λίμνες συνολικού εμβαδού 7,200 m², κατασκευάστηκαν 3 λίμνες συνολικού εμβαδού 4,934 m². Στο σύστημα του Κοκκινοχώματος αντί να κατασκευαστούν 4 λίμνες συνολικού εμβαδού 4 στρ. όπως προέβλεπε η μελέτη, κατασκευάστηκαν 3 λίμνες συνολικού εμβαδού 5 στρεμμάτων (2-2-1). Σε όλα τα συστήματα δεν υπάρχει ανακυκλοφορία και η λάσπη δεν έχει απομακρυνθεί, στα χρόνια λειτουργίας τους. Τα λύματα συγκεντρώνονται μέσω των υπάρχοντων παντοροϊκών δικτύων αποχέτευσης και μέσω κεντρικών αγωγών οδηγούνται στις λίμνες. Διαπιστώθηκε, γενικώς, ανεπαρκής κατασκευή, λειτουργία των έργων εισόδου, συντήρηση των λιμνών και τήρηση των κανόνων ασφάλειας.

Το 1996 το Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας (ΕΘΙΑΓΕ) κατασκεύασε ένα πιλοτικό έργο επεξεργασίας λυμάτων με λίμνες σταθεροποίησης στην Σίνδο του Ν. Θεσσαλονίκης, πλησίον της μονάδας επεξεργασίας λυμάτων της Θεσσαλονίκης, το οποίο λειτουργεί έως σήμερα για ερευνητικούς σκοπούς σχετικά με την απόδοση των συστημάτων αυτών καθώς και την δυνατότητα χρησιμοποίησης των εκροών τους για άρδευση, ελέγχοντας την απόδοση και ποιότητα των καλλιεργειών που αρδεύονται, συμβάλλοντας στην εξοικονόμηση νερού και λιπασμάτων (Parisopoulos G. et al, 2002). Το σύστημα περιλαμβάνει μία πρισματική αναερόβια δεξαμενή, ωφέλιμου βάθους 4m, συνολικού όγκου 570 m³, ημερήσιας παροχής Q=120 m³/d και μέσο υδραυλικό χρόνο παραμονής (t) 5d, 9 συνολικά λίμνες σε τρεις σειρές δεξαμενών σταθεροποίησης (1 επαμφοτερίζουσα και 2 ωρίμανσης σε σειρά, διαστάσεων 60x20 m εκάστη και ωφέλιμο βάθος 1,75 m) και ένα ταμιευτήρα με αμμόφιλτρο ωφέλιμης επιφάνειας 100 m². Όλες οι λιμνοδεξαμενές έχουν επένδυση γεωμεμβράνης. Το 1/4 της παροχής (Q=30 m³/d) τροφοδοτεί την πρώτη σειρά λιμνών και τα υπόλοιπα 3/4 την δεύτερη σειρά, με t=46 d. Η δεύτερη διάταξη έχει ανακυκλοφορία (180 m³/d) από την τελευταία λίμνη προς την πρώτη. Η ποιότητα των εκροών ήταν παρόμοια και

στις δύο διατάξεις. Η τρίτη διάταξη, έως το 2003, δεχόταν λύματα ($Q=50 \text{ m}^3/\text{d}$) μετά από πρωτοβάθμια επεξεργασία σε πιλοτικό τεχνητό υγρότοπο. Τα επεξεργασμένα απόβλητα από τις τρεις διατάξεις αποθηκευόταν σε δεξαμενή και μετά από την αφαίρεση των αλγών μέσω ενός αμμοφίλτρου χρησιμοποιούταν για άρδευση καλλιεργειών (Parisopoulos et al, 2002). Από το 2004 η τρίτη διάταξη δέχεται μόνο βοθρολύματα με σκοπό να διερευνηθεί η δυνατότητα επεξεργασίας βοθρολυμάτων από λίμνες σταθεροποίησης. Οι εκροές δεν παροχετεύονται πλέον στην δεξαμενή αποθήκευσης, καθώς η μείωση των SS, BOD₅, και των κολοβακτηριδίων, αν και φτάνει στο 66%, 92% και 99% αντίστοιχα, παραμένει σε υψηλά επίπεδα για ασφαλή χρησιμοποίηση στην άρδευση (Παπαδόπουλος Α., 2006).

Το 2001 άρχισαν να λειτουργούν δυο συστήματα λιμνών σταθεροποίησης στα χωριά, του Ν. Φλώρινας, Βεγόρα δυναμικότητας 800 ι.κ. και Φαράγγι 400 ι.κ., που βρίσκονται στις όχθες μιας λίμνης. Η έκταση που καταλαμβάνουν είναι 12 και 6 στρ. αντίστοιχα. Και τα δυο συστήματα αποτελούνται από μια αναερόβια κλειστή δεξαμενή από σκυρόδεμα, όπου εισέρχονται τα ανεπεξέργαστα λύματα, ακολουθούμενη από 3 χωμάτινες Λ.Σ. σε σειρά (Ε,Ω,Ω), επενδεδυμένων με γεωμεμβράνη. Τα επεξεργασμένα λύματα συγκεντρώνονται σε μια χωμάτινη επενδεδυμένη δεξαμενή προκειμένου να διατεθούν για άρδευση καλλιεργειών (Παπαδόπουλος Α.2006). Τα συστήματα αυτά έγιναν με πρωτοβουλία του ΕΘΙΑΓΕ, όπως και ένα άλλο παρόμοιο έργο στην νήσο Λήμνο που άρχισε να λειτουργεί το 2002. Το σύστημα αυτό είναι δυναμικότητας 4000 ι.κ., εκτείνεται σε 10 στρ. περίπου και εξυπηρετεί οικισμούς του Δ. Μούδρου. Αποτελείται από δυο καλυμμένες αναερόβιες δεξαμενές από σκυρόδεμα και τρεις λίμνες σταθεροποίησης σε σειρά. Μελέτες για παρόμοια έργα έχουν εκπονηθεί από το ΕΘΙΑΓΕ για οικισμούς των Νομών Τρικάλων, Μαγνησίας, Πέλλας, Καστοριάς, και αναμένεται η κατασκευή τους.

Από το 1985, σε εργοστάσιο επεξεργασίας ντομάτας (ΣΕΒΑΘ) του Ν. Ξάνθης, λειτουργεί μονάδα επεξεργασίας βιομηχανικών λυμάτων με σύστημα δυο αεριζόμενων λιμνών και μιας ωρίμανσης, που λειτουργεί και ως δεξαμενή αποθήκευσης. Σχεδιάστηκε να δέχεται ημερησίως, κατά την δίμηνη περίοδο αιχμής, $8,000 \text{ m}^3$ λύματα με ρυπαντικό φορτίο $1520 \text{ kg BOD}/\text{d}$. Όλες οι λίμνες έχουν βάθος 5m και επιφάνεια 4000 m^2 , 3200 m^2 , 3200 m^2 αντίστοιχα. Η ελάχιστη συγκέντρωση του O₂ στην 1^η αεριζόμενη λίμνη, που έχει ανακυκλοφορία, είναι 2 mg/L, ενώ η 2^η λίμνη είναι μερικώς αεριζόμενη.

Το πρώτο σύστημα Τεχνητών Υγροτόπων στην Ελλάδα άρχισε να λειτουργεί το 1995 στην Νέα Μάδυτο του Ν.Θεσσαλονίκης εξυπηρετώντας τις κοινότητες Ν. Μαδύτου και Μοδίου που διαθέτουν χωριστικό αποχετευτικό σύστημα. Είναι δυναμικότητας 3000 ι.κ. Η πρωτοβάθμια επεξεργασία των λυμάτων γίνεται σε δυο δεξαμενές Imhoff μετά από εσχάρωση. Τα λύματα οδηγούνται σε 14 κλίνες φυτών, κατακόρυφης ροής, έκτασης 162 m^2 εκάστη και μέσου βάθους 1,45 m εκ των οποίων το

1m είναι αδρανές υλικό πλήρωσης, για δευτεροβάθμια επεξεργασία. Τα επεξεργασμένα λύματα οδηγούνται για τριτοβάθμια επεξεργασία σε δύο λίμνες ωρίμανσης σε σειρά, συνολικής επιφάνειας 5,000 m², μέγιστου βάθους 2 m, και χρόνο παραμονής 13 ημέρες. Τα λύματα της δεύτερης λίμνης ανακυκλοφορούν προς την πρώτη. Στα σημεία εξόδου και οι δύο λίμνες διαθέτουν βραχόφιλτρο πάχους 1 m που ξεκινά εξωτερικά με χαλίκι 15 ως 50 mm για να καταλήξει στο σημείο του αγωγού εξόδου σε λίθους λίγο μεγαλύτερους από την διάμετρο του αγωγού 200 mm. Η διαδικασία κυκλοφορίας του αερισμού των λυμάτων στις λίμνες επιβληθείται από την ροή των λυμάτων μέσα από τρεις σειρές μορφορών 5 τεμαχίων, διαστάσεων 0.65 m × 0.55 m × 0.22 m έκαστο, που προσδίνουν στο νερό ταλαντούμενη κλιμακωτή ροή. Η υψομετρική διαφορά της διαδρομής είναι περίπου 1 m. Με κατάλληλους χειρισμούς στη λειτουργία των μορφορών μπορεί να ρυθμιστεί η περιεκτικότητα οξυγόνου και να επιτευχθεί νιτροποίηση ή απονιτροποίηση του λύματος. Η ιλύς από τις δεξαμενές Imhoff αφυδατώνεται και σταθεροποιείται σε 10 κλίνες ξήρανσης 140 m² έκαστη. Οι κλίνες φυτών είναι από οπλισμένο σκυρόδεμα και οι λίμνες χωμάτινες. Η στεγανοποίηση των λιμνών επετεύχθη με συμπυκνωμένη αργιλική στρώση πάχους 50 cm. Η εγκατάσταση έχει περιφραχτεί με φράκτη ύψους 1,20 m και το πρόβλημα της αποχέτευσης των ομβρίων αντιμετωπίστηκε με την κατασκευή περιμετρικού αναχώματος. Τα διάφορα πρηνή, που σχηματίζονται, έχουν φυτευτεί καταλλήλως, για την προστασία τους. Η εκροή καταλήγει σε παρακείμενο χείμαρρο (Κατσώνης, 2004).

Το 2003 άρχισε να λειτουργεί η εγκατάσταση της κοινότητας Γοματίου Χαλκιδικής με σύστημα Τ.Υ. Η εγκατάσταση σχεδιάστηκε για 1000 ι.κ. και αποτελείται από εσχάρωση περιστρεφόμενου τυμπάνου, διθάλαμη δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης 48 m³, τετράχωρη κλίνη φυτών κατακόρυφης ροής 160 × 4 = 640 m² για 1^ο στάδιο επεξεργασίας (κάθε χώρος φορτίζεται περιοδικά ανά 2 ημέρες), τετράχωρη κλίνη φυτών κατακόρυφης ροής 90 × 4 = 320 m² για 2^ο στάδιο επεξεργασίας (με αντίστοιχη φόρτιση ανά χώρο), κλίνη φυτών οριζόντιας υποεπιφανειακής ροής 800 m² για 3^ο στάδιο επεξεργασίας, δεξαμενή χώνευσης για την πρωτοβάθμια ιλύ συνολικού όγκου 48 m³ με χρόνο παραμονής τρεις μήνες, και τέσσερις κλίνες φυτών κατακόρυφης ροής 60 m² έκαστη για ξήρανση της ιλύος. Η εκροή της εγκατάστασης καταλήγει ομοίως σε παρακείμενο ρέμα.

Πρόσφατα, στα πλαίσια του προγράμματος LIFE για τον ποταμό Νέστο, κατασκευάστηκε ένας τεχνητός υγρότοπος (Τ.Υ.) για την αφαίρεση θρεπτικών αλάτων αγροτικών απορροών από παρακείμενο αποστραγγιστικό κανάλι, προκειμένου να επαναφορτιστεί η λιμνοθάλασσα Βάσσοβα με γλυκό νερό. Ο Τ.Υ είναι επιφανειακής ροής, συνολικής έκτασης 38,400 m² δίπλα στην λιμνοθάλασσα και είναι χωρισμένος κατά μήκος σε τρία κελιά, μέσω αναχωμάτων από χαλίκι, ώστε να πραγματοποιείται ομοιόμορφη ροή σε όλο το πλάτος του υγροβιότοπου (Ακράτος κ.α., 2006).

Πίνακας 2: Τεχνητοί Υγρότοποι επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στην Β. Ελλάδα

Περιοχή	Έτος λειτουργίας	Δυναμικότητα ι.κ.		Τύπος*	Κατάσταση
		Μελέτης	Σημερινή		
Ν. Θεσσαλονίκης					
Ν.Μάδυτος	1995	3000	2500	Κ.Ρ, Λ.Ω	Λειτουργεί
Ν. Χαλκιδικής					
Γομάτι	2003	1000	800	Κ.Ρ, Κ.Ρ, Ο.Υ.Ρ	Λειτουργεί
Λ. Βάσσοβα	2004	Αγροτικές απορροές		Επιφανειακής Ρ	Λειτουργεί
Δ. Κορεστέϊων (Ν. Καστοριάς)					
		600		Ο.Υ.Ρ.	Μελέτη**

* Κ.Ρ: κατακόρυφης ροής, Ο.Υ.Ρ: οριζόντιας υποεπιφανειακής ροής, Λ.Ω: Λ.Ωρίμανσης

** Γ.Γκίκας et al, 2006

3. Ποιότητα Εκροής

Μετρήσεις και αναλύσεις, σχετικές με την ποιότητα των λυμάτων και την απόδοση των ανωτέρω συστημάτων, έγιναν από διάφορες ερευνητικές ομάδες και εργαστήρια (Μάδυτος: Γ. Κατσώνης, Ν. Κωτσοβίνος, 2004-Χ. Ακρατος, Γ.Γκίκας, Β. Τσιχριντζής, 2006), (Βαμβακόφυτο, Κοκκινόχωμα: Μ. Χαλάτση, Μ. Γκράτζιου, Ν. Κωτσοβίνος, 2006), (Γομάτι: Χ. Ακράτος, Β. Τσιχριντζής, 2006), (Σίνδος: Γ. Παρισόπουλος, Α. Παπαδόπουλος, 2002-Μ. Τσαλκατίδου, Μ. Γκράτζιου, Ν. Κωτσοβίνος, 2007), (Βεγόρα, Μούδρος: Α. Παπαδόπουλος, Γ. Παρισόπουλος, 2006), (ΣΕΒΑΘ: Σ. Γιαλαμίδης, 1990).

Τα δείγματα λαμβάνονταν στην είσοδο και έξοδο της εγκατάστασης επεξεργασίας καθώς και στο τέλος κάθε σταδίου. Επί τόπου μετρούνταν η θερμοκρασία, το pH, DO και η αγωγιμότητα του λύματος. Οι δειγματοληψίες είχαν διάρκεια πέραν του έτους, για όλα τα συστήματα, με εβδομαδιαία ή δεκαπενθήμερη συχνότητα. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μέσω των ποιοτικών χαρακτηριστικών και του ποσοστού αφαιρέσεως των διαφόρων ρυπαντών παρουσιάζονται στον Πίνακα 3. Η τιμή του DO στις εκροές των λιμνών κυμάνθηκε μεταξύ 2.4 και 10.7, με μέση τιμή 5 mg/L, ενώ στους τεχνητούς υγρότοπους μεταξύ 0.7 και 5.5, με μέση τιμή 3.5 mg/L.

Πίνακας 3: Ποιοτικά χαρακτηριστικά και απόδοση απομάκρυνσης ρύπων (Μέσος Όρος)

Παράμετρος	SS (mg/L)			BOD (mg/L)		
	Είσοδος	Έξοδος	Απόδοση	Είσοδος	Έξοδος	Απόδοση
Σύστημα						
Βαμβακόφυτο (Λ.Σ.)	78	25	68%	330	40	88%
Κοκκινόχωμα (Λ.Σ)	240	22	91%	417	2	99.5%
Σίνδος (1 ^η) (Λ.Σ)	565	70	87.6%	387	8	98%
Σίνδος (2 ^η) (Λ.Σ)	565	95	83.2%	387	14	96.4%
Σίνδος (3 ^η) (Τ.Υ,Λ.Σ)	565	93	83.5%	387	11	97%
Σίνδος (βοθρολύματα)	320	109	66%	501	39	92%
Βεγόρα (Λ.Σ)				158	14	91%
Μούδρος (Λ.Σ)				147	11.5	92%
Μάδυτος(Τ.Υ)-(+Λ.Σ)	143	14.6-3.1	90-98%	344	25-13.4	93-96%
Γομάτι (Τ.Υ)			92%			93%
ΣΕΒΑΘ (Λ.Σ)				250	14	94.4%

Παράμετρος	COD (mg/L)			FC (CFU /100ml)		
	Είσοδος	Έξοδος	Απόδοση	Είσοδος	Έξοδος	Απόδοση
Σύστημα						
Βαμβακόφυτο (Λ.Σ.)	485	85	83%	10.4×10 ⁴	2.7×10 ³	97.4%
Κοκκινόχωμα (Λ.Σ)	660	146	78%	1.6×10 ⁵	1.1×10 ³	99.31%
Σίνδος (1 ^η) (Λ.Σ)	860	133	84.5%	1.4×10 ⁷	4×10 ²	99.99%
Σίνδος (2 ^η) (Λ.Σ)	860	104	87.9%	1.4 ×10 ⁷	3.4×10 ³	99.99%
Σίνδος (3 ^η) (Τ.Υ,Λ.Σ)	860	118	86.3%	1.4×10 ⁷	5×10 ²	99.99%
Σίνδος (βοθρολύματα)				4.1 ×10 ⁵	8.6×10 ²	99.79%
Βεγόρα (Λ.Σ)				4×10 ⁵	1.1×10 ²	99.99%
Μούδρος (Λ.Σ)				3.2×10 ⁶	8.5×10 ²	99.99%
Μάδυτος(Τ.Υ)-(+Λ.Σ)	700	54-49	92-93%	1.7×10 ⁷	9.7×10 ³	90-99.99%
Γομάτι (Τ.Υ)			91%			99.9%
ΣΕΒΑΘ (Λ.Σ)	532	50	90.6%			

Παράμετρος	TKN (mg/L)			TC (CFU /100ml)		
	Είσοδος	Έξοδος	Απόδοση	Είσοδος	Έξοδος	Απόδοση
Σύστημα						
Βαμβακόφυτο (Λ.Σ.)	25.3	9.1	64%	1.9×10 ⁵	5.5×10 ⁴	71%
Κοκκινόχωμα (Λ.Σ)	112.5	36	68%	1.7×10 ⁵	9.3×10 ²	99.99%
Σίνδος (1 ^η) (Λ.Σ)				1.5×10 ⁵	8×10 ²	99.99%
Σίνδος (2 ^η) (Λ.Σ)				1.9×10 ⁵	4.7×10 ³	99.99%
Σίνδος (3 ^η) (Τ.Υ,Λ.Σ)				1.9 ×10 ⁵	1.2×10 ³	99.99%
Μάδυτος(Τ.Υ)-(+Λ.Σ)	97.8	13.6	86%	3.1×10 ⁷	9.4×10 ⁴	90-99.99%
Γομάτι (Τ.Υ)			85%			99%

Πίνακας 3: (Συνέχεια)

Παράμετρος	N-NH ₄ (mg/L)			N-NO ₃ (mg/L)		
	Είσοδος	Έξοδος	Απόδοση	Είσοδος	Έξοδος	Απόδοση
Σύστημα						
Βαμβακόφυτο (Λ.Σ.)	18.3	2.4	87%		1.4	
Κοκινόχωμα (Λ.Σ)	101	32.4	68%		3.3	
Μάδυτος (Τ.Υ)-(+Λ.Σ)	76.3	9.1-3.4	88-95.5%		1.9-2.1	
Γομάτι (Τ.Υ)			85%			

Παράμετρος	PO ₄ (mg/L)			pH		
	Είσοδος	Έξοδος	Απόδοση	Είσοδος	Έξοδος	Απόδοση
Σύστημα						
Βαμβακόφυτο (Λ.Σ.)	7.3	3.7	49.3%	7.36	7.74	
Κοκινόχωμα (Λ.Σ)	36.3	21.4	41%	8.12	7.80	
Μάδυτος(Τ.Υ)-(+Λ.Σ)	8.2-67	5.6-31.7	31.7-53%	7.6	8-7.4	
Γομάτι (Τ.Υ)			48%			

4. Αξιολόγηση της Απόδοσης

Κατά τις μετρήσεις, παρατηρήθηκε ότι η ελάχιστη θερμοκρασία λυμάτων, που καταγράφηκε, ήταν 5°C, με μέση θερμοκρασία λύματος κατά την χειμερινή περίοδο 8.5 °C, ενώ ο σχεδιασμός, εν γένει, είχε γίνει για μεγαλύτερες θερμοκρασίες (12 °C). Παρόλα αυτά η απόδοση των συστημάτων θεωρείται αρκετά ικανοποιητική ως προς την αφαίρεση SS, BOD, COD, TKN, αμμωνίας και φωσφόρου.

Γενικά η απόδοση στην αφαίρεση στερεών είναι μεγαλύτερη του 83% και μπορεί να φτάσει έως 98%. Η μοναδική μικρή απόδοση στην αφαίρεση στερεών (68%), στο σύστημα του Βαμβακόφυτου, ενδεχομένως να οφείλεται στο γεγονός ότι δεν έχει γίνει απομάκρυνση της λάσπης τα 16 έτη λειτουργίας του συστήματος, ενώ η μελέτη προέβλεπε απομάκρυνση κάθε 5 έτη, αλλά και στην μικρότερη, από την προβλεπόμενη από την μελέτη, έκταση των λιμνών. Ωστόσο η συγκέντρωση SS στην εκροή του συστήματος δεν υπερέβη τα 55 mg/L, με μέση τιμή 25.6 mg/L. Παρατηρείται ότι, όπου προηγείται εσχαρισμός και επεξεργασία με αναερόβια δεξαμενή, η απόδοση στην αφαίρεση στερεών είναι βελτιωμένη (Σίνδος 1^η, Μάδυτος 90-98%, Γομάτι 92%, με συγκέντρωση SS στην έξοδο μικρότερη των 15 mg/L). Μετά από έντονες βροχοπτώσεις, παρατηρήθηκε ότι υπήρξε σημαντική αύξηση του ρυπαντικού φορτίου των SS και COD στην είσοδο των λιμνών, ενώ το φορτίο του αζώτου έδειξε να είναι μικρότερο έως και 50% (Γκράτζιου κ.α., 2006).

Η απόδοση στην αφαίρεση του BOD₅ είναι, γενικά, μεγαλύτερη του 90%, με συγκεντρώσεις στην έξοδο μικρότερες των 15 mg/L. Εξαίρεση αποτελεί το σύστημα του

Βαμβακόφυτου με απόδοση 75% και συγκέντρωση 40 mg/L. Αυτό οφείλεται στην μη εφαρμογή της μελέτης. Στην κατασκευή υπήρξε μείωση της απαιτούμενης έκτασης κατά 32% περίπου. Η μελέτη προέβλεπε 4 λίμνες συνολικής έκτασης 7.2 στρ., ενώ κατασκευάστηκαν 3 λίμνες συνολικού εμβαδού 4.9 στρ. (2.45 m²/ι.κ.). Σε γειτονική περιοχή, με παρόμοιες κλιματολογικές συνθήκες, κατασκευάστηκαν οι λίμνες Κοκκινόχωματος, με αναλογία 5.5 m²/ι.κ., που παρουσίασαν άριστη απόδοση (99.5%).

Η απόδοση στην αφαίρεση του COD, στις περισσότερες περιπτώσεις, είναι ικανοποιητική (πάνω από 83% για τις Λ.Σ. και 90% για τους Τ.Υ.) καθώς οι συγκεντρώσεις του διηθημένου COD στην έξοδο των λυμάτων είναι μικρότερες του επιτρεπτού ορίου.

Η αφαίρεση του αζώτου και φωσφόρου είναι επίσης ικανοποιητική. Η αφαίρεση του αζώτου ήταν πάνω από 64% για τις Λ.Σ. και 85% για τους Τ.Υ. με συγκεντρώσεις μικρότερες των ορίων. Η αφαίρεση του φωσφόρου ήταν πάνω από 31% φτάνοντας έως 53% στον συνδυασμό Τεχνητών Υγροτόπων με Λίμνη Σταθεροποίησης.

Η αφαίρεση του μικροβιακού φορτίου, με εξαίρεση το σύστημα Βαμβακόφυτου, ήταν πάνω από 99,9% και οι συγκεντρώσεις μικρότερες των ορίων. Στο Βαμβακόφυτο η αφαίρεση των FC και TC είναι της τάξης του 97% και 71% αντίστοιχα. Εκτιμάται ότι αν οι λίμνες είχαν τον σωστό σχεδιασμό και κατασκευή η απόδοση θα ήταν πολύ μεγαλύτερη. Παρόλα αυτά μέγιστη συγκέντρωση 8300 περιττωματικών βακτηρίων ανά 100 ml στις εκροές και μέση τιμή 2750/100 ml δίνουν ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα.

Όσον αφορά τα βοθρολύματα, φάνηκε ότι η επεξεργασία τους με Λ.Σ. δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα. Αυτό θα δώσει την δυνατότητα σε πολλές μικρές αγροτικές κοινότητες να αποφύγουν την κατασκευή ενός δαπανηρού αποχετευτικού συστήματος, διατηρώντας το σύστημα βόθρων που διαθέτουν, επιτυγχάνοντας στην συνέχεια την επεξεργασία των βοθρολυμάτων με Λ.Σ. (Παπαδόπουλος κ.α., 2006).

5. Συμπεράσματα

Τα Φ.Σ. για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων αρχίζουν να εφαρμόζονται και στη χώρα μας. Οι επεξεργασμένες εκροές πληρούν τα προτεινόμενα όρια. Τα συστήματα των Τ.Υ. έδειξαν σαφή υπεροχή έναντι των Λ.Σ. ως προς την απομάκρυνση του COD και του αζώτου, ενώ οι Λ.Σ. υπερτερούν ως προς την απομάκρυνση του μικροβιακού φορτίου. Ο συνδυασμός σειράς Τεχνητών Υγροτόπων με λίμνη ωρίμανσης έδειξε καλύτερες αποδόσεις από τον συνδυασμό Τ.Υ ή Λ.Σ ή ενός Τ. Υ. με σειρά λιμνών σταθεροποίησης. Βελτίωση της απόδοσης και της λειτουργίας των Λ.Σ. μπορεί να επιτευχθεί με τον συνδυασμό ενεργειών όπως: ολοκληρωτική επισκευή (ή και επανασχε-

διασμός) των έργων εισόδου και εξόδου (Μ. Χαλάτση, 2006), καθαρισμός των συνδετηρίων αγωγών, τοποθέτηση συσκευών μέτρησης και κατανομής παροχής, απομάκρυνση της επιπλέονσας ή αναδυόμενης βλάστησης, απομάκρυνση της ιλύος από την επαμφοτερίζουσα λίμνη. Τα Φ.Σ. μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επεξεργασία βοθρολυμάτων, με ικανοποιητικά αποτελέσματα, προσφέροντας έτσι μια ταχεία και οικονομική λύση, για την επεξεργασία λυμάτων αγροτικών οικισμών χωρίς αποχετευτικό σύστημα.

Βιβλιογραφία

1. Ακράτος Χ., Τσιχριντζής, Β., Γκίκας, Γ. και Κώττη, Ε., 2006. *Φυσικά Συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων : εφαρμογές τεχνητών υγροβιοτόπων στην Β.Ελλάδα*. Πρακτικά 1^{ου} Συνεδρίου Μονάδες Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων Μικρής Κλίμακας, Πορταριά-Βόλου, pp. 169-175.
2. Ακράτος, Χ., Τσιχριντζής, Β. και Γκίκας, Γ., 2006. *Παρακολούθηση της Εγκατάστασης Τεχνητών Υγροβιοτόπων κατακόρυφης ροής της Ν.Μαδύτου*. Πρακτικά 1^{ου} Συνεδρίου Μονάδες Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων Μικρής Κλίμακας, Πορταριά, pp. 193-199.
3. Γκράτζιου, Μ., Χαλάτση, Μ. και Κωτσοβίνος, Ν., 2006, *Λίμνες Σταθεροποίησης στην περιοχή της Α. Μακεδονίας*. Πρακτικά 1^{ου} Συνεδρίου Μονάδες Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων Μικρής Κλίμακας, Πορταριά-Βόλου, pp. 241-249.
4. Κατσώνης, Γ., 2004. *Περιγραφή του Τεχνητού Υγροτόπου για την επεξεργασία αστικών λυμάτων Ν.Μαδύτου και Μοδίου*. Διπλ. Εργ., Τμ. Πολιτικών Μηχ. ΔΠΘ. 150 σελ.
5. Παπαδόπουλος, Α., Παπαδόπουλος, Φ., Παρισόπουλος, Γ. και Μεταξά Ε., 2006. *Ερευνα και Εφαρμογή φυσικών συστημάτων επεξεργασίας λυμάτων και βοθρολυμάτων σε αγροτικές περιοχές της Ελλάδας*. Πρακτικά 1^{ου} Συνεδρίου Μονάδες Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων Μικρής Κλίμακας, Πορταριά-Βόλου, σελ. 177-185.
6. Parisopoulos, G., Papadopoulos, A., Papadopoulos, F. and Karteris, A., 2002. *Comparative design and performance analysis of three waste stabilization ponds pilot units, different in configuration, in a Mediterranean-temperate climate*. Wat. Sci. Tech. Wat. Supl., 3(4): 193-200.
7. Pearson, H.W., Mara, D.D., Smallman, D.J. and Mills, S., 1987. *Physicochemical parameters influencing faecal coliform survival in waste stabilization ponds*. Water Sci. Technol., 19(12): 145-152.
8. Tsalkatidou, M., Gratziou, M. and Kotsovinos, N., 2007. *Combined stabilization ponds- constructed wetland system: an initial approach*. 1st Conf. on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics (CEMEPE 2007), June 24-28, Skiathos island, Greece.
9. Χαλάτση, Μ., Γκράτζιου, Μ. και Κωτσοβίνος, Ν., 2006. *Αξιολόγηση λειτουργίας Λι-*

μνών Σταθεροποίησης Βαμβακοφύτου Σερρών-Δυνατότητα Επαναχρησιμοποίησης των εκροών, Πρ. 10^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου ΕΥΕ Διαχείριση Υδατικών Πόρων και Προστασία Περιβάλλοντος, Σύγχρονες θεωρήσεις, Προβλήματα και Προοπτικές, Ξάνθη, Vol A, pp 961-968.

10. Χαλάτση, Μ., 2006. *Αξιολόγηση λειτουργίας Λίμνης Σταθεροποίησης Βαμβακόφυτου Σερρών*. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Πολ. Μηχ., Δημοκρίτειο Παν. Θράκης.