



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ  
ΚΡΗΤΗΣ**

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΥΠΟΛΛΕΙΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΥΓΡΩΝ  
ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**«Σχεδιασμός και κατασκευή τεχνητού υγροβιότοπου για την  
επεξεργασία υδάτινων απορροών αυτοκινητοδρόμων:  
Η διαχείριση του φυτικού υλικού»**



ΡΟΥΣΗ ΚΑΛΛΙΟΠΗ

ΒΕΡΤΟΥΔΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΤΜΗΜΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΘΡΑΣΥΒΟΥΛΟΣ ΜΑΝΙΟΣ  
ΗΡΑΚΛΕΙΟ  
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2005

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

	Σελ.
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή-Σκοπός</b>	
1.1 Σκοπός	2
1.2 Φυσικά συστήματα	3
1.2.1 Ιστορική αναδρομή	4
1.2.2 Τρόποι επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στα φυσικά συστήματα	5
1.2.3 Κατηγορίες φυσικών συστημάτων	7
1.3 Χαρακτηριστικά αστικών υγρών αποβλήτων και μηχανισμοί επεξεργασίας	9
1.3.1 Χαρακτηριστικά αστικών υγρών αποβλήτων	9
1.3.2 Μηχανισμοί απομάκρυνσης των μολυντών	11
1.3.3 Απόδοση	16
1.4 Υγροβιότοποι	16
1.4.1 Τεχνητοί υγροβιότοποι υποεπιφανειακής ροής (SSF)	17
1.4.2 Τεχνητοί υγροβιότοποι επιφανειακής ροής (FWS)	22
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Ο σχεδιασμός των πειραματικών υγροβιότοπων</b>	
2.1 Διαστασιολόγηση	27
2.1.1 Χώρος εγκατάστασης	28
2.2 Σχεδιαστικά δεδομένα	28
2.2.1 Διαθέσιμη έκταση	28
2.2.2 Δεξαμενή προσωρινής αποθήκευσης	30
2.2.3 Χαρακτηριστικά δρόμου	30
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Κατασκευή</b>	
3.1 Τοπογραφικό και λήψη υψομετρικών διαφορών οικοπέδου	39
3.2 Χάραξη όλου του συστήματος υγροβιότοπων στο οικόπεδο	41
3.3 Εκσκαφή δεξαμενών, υγροβιότοπων, φρεατίων και τάφρων	42
3.4 Κατασκευή συστήματος υπερχειλίσης και εκροής υδάτων από τους υγροβιότοπους	45

3.5	Επιχωμάτωση τάφρων από όπου διέρχεται το σύστημα υπερχειλίσης και δημιουργία αναχώματος γύρω από τους υδροβιότοπους	47
3.6	Τοποθέτηση σωλήνας από υπάρχον τεχνικό εκροής υδάτων της Εθνικής οδού προς τη δεξαμενή προσωρινής αποθήκευσης	49
3.7	Κατασκευή δεξαμενής προσωρινής αποθήκευσης, φρεατίων εισροής-εκροής, Parshal	51
3.8	Προμήθεια-μεταφορά και τοποθέτηση μεμβράνης-γεωυφάσματος για τη στεγάνωση των υδροβιότοπων	57
3.9	Πλήρωση υδροβιότοπων υποεπιφανειακής ροής	60
3.10	Πλήρωση υδροβιότοπων ελεύθερης ροής ή επιφανειακής ροής	63
3.11	Φύτευση των υδροβιότοπων	64

#### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Η διαχείριση του φυτικού υλικού**

4.1	Προϋποθέσεις επιλογής φυτών	69
4.2	Επιλογή φυτικής βλάστησης	71
4.2.1	Η διαχείριση του φυτικού υλικού	71
4.2.2	ARUNDO DONUX	72
4.2.3	PHRAGMITES AUSTRALIS	74
4.3	Η σημασία των φυτών στους τεχνητούς υδροβιότοπους	76

#### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Κόστος κατασκευής**

5.1	Κόστος εκσκαφών	78
5.2	Κόστος δεξαμενής προσωρινής συγκέντρωσης και Parshall	79
5.3	Κόστος συστήματος υπερχειλίσης και σωληνωτού αγωγού	80
5.4	Κόστος τοποθέτησης μεμβράνης	81
5.5	Κόστος πλήρωσης υδροβιότοπων	82
5.6	Κόστος φύτευσης υδροβιότοπων	83

5.7	Κόστος ελέγχου ροής, συστήματος ελέγχου, περίφραξης και διακόσμησης	84
5.8	Συνολικό κόστος	85

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Συμπεράσματα**

		86
	Βιβλιογραφία	88

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα ελληνικά εθνικά οδικά δίκτυα είναι κατά τέτοιο τρόπο σχεδιασμένα έτσι ώστε να επιτρέπουν τη γρήγορη και απ'ευθείας διοχέτευση των εκροών που δημιουργούνται από τις βροχές στο κοντινότερο ποτάμι, χείμαρρο ή ρυάκι. Ένα τέτοιο σύστημα αγνοεί εντελώς την πιθανή μόλυνση που προκαλούν οι εκροές των κατακρημνισμάτων αυτών στους υγρότοπους που τελικά καταλήγουν. Εκτιμάται ότι οι εκροές αυτές μπορούν να συνεισφέρουν μέχρι και το 50% των αιωρούμενων στερεών, 16% των ολικών υδρογονανθράκων και μεταξύ του 35 και 75 % των βαρέων μετάλλων που καταλήγουν τελικά στους υγρότοπους αυτούς. Οι τεχνητοί υγροβιότοποι έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία στη βόρεια Ευρώπη για την επεξεργασία των εκροών των εθνικών δικτύων. Παρ'όλα αυτά δεν υπάρχουν στοιχεία σχετικά με την εφαρμογή των συστημάτων αυτών στη Νότια Ευρώπη και ειδικότερα στην περιοχή της Μεσογείου που χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα ξηρικά καλοκαίρια και δυνατές βροχοπτώσεις-καταιγίδες τον χειμώνα.

### 1.1 Σκοπός

Τμήμα της εργασίας αυτής αποτελεί ο σχεδιασμός των υγροβιότοπων, η ανάπτυξη των φυτών που θα χρησιμοποιηθούν και η κατασκευή αυτών των συστημάτων με σκοπό να εκτιμηθεί η πιθανή χρήση των τεχνητών υγροβιότοπων για την επεξεργασία των εκροών των αυτοκινητοδρόμων και παράλληλα να καθοριστεί ο καλύτερος τύπος υγροβιότοπου και ο καλύτερος τρόπος λειτουργίας του ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη επεξεργασία των εκροών.

Για να επιτευχθεί αυτό προτάθηκε ο σχεδιασμός και η κατασκευή τεσσάρων πειραματικών τεχνητών υγροβιότοπων επιφάνειας περίπου 35m<sup>2</sup> ο καθένας. Δύο

τεχνητούς υγροβιότοπους ελεύθερης επιφάνειας νερού ή επιφανειακής ροής (Free Water Surface Wetlands, FWS1&2) και δύο τεχνητούς υγροβιότοπους υποεπιφανειακής ροής (Subsurface Flow Wetlands, SSF1&2). Χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικές ροές

(τροφοδοσίες), μία κοινή για τα συστήματα FWS1 και SSF1 και μια κοινή ( η μισή της πρώτης) για τα FWS2 και SSF2, έτσι ώστε να εκτιμηθεί:

- Ποιο από τα δύο συστήματα είναι το καταλληλότερο (πλέον αποδοτικό).
- Ποιο σύστημα λειτουργεί καλύτερα σε κάθε μία από τις δύο ροές.

Μια ποικιλία παραμέτρων (COD, TSS, βαριά μέταλλα, υδραυλικός χρόνος παραμονής κλπ) θα χρησιμοποιηθούν ως εργαλεία εκτίμησης λειτουργίας των τεχνητών υγροβιότοπων.

## **1.2 Φυσικά Συστήματα**

Όπως είναι γνωστό διάφορες φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες συμβαίνουν στο φυσικό περιβάλλον με την αλληλεπίδραση του νερού, του εδάφους, της ατμόσφαιρας και φυτικών και ζωικών οργανισμών. Τα φυσικά συστήματα επεξεργασίας σχεδιάζονται έτσι, ώστε να χρησιμοποιούν τα πλεονεκτήματα τέτοιων φυσικών διεργασιών, στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων. Πολλές φορές οι διεργασίες που εμπλέκονται στα φυσικά συστήματα επεξεργασίας είναι οι ίδιες με αυτές που συμβαίνουν στα μηχανικά ή συμβατικά συστήματα επεξεργασίας, όπως είναι η καθίζηση, το φιλτράρισμα, η μεταφορά αερίων, η προσρόφηση, η ιοντική εναλλαγή, η χημική κατακρήμνιση, η χημική οξειδωση και αναγωγή και η βιολογική μετατροπή και αποδόμηση και άλλες, που είναι μοναδικές στα φυσικά συστήματα διεργασίες, όπως είναι η φωτοσύνθεση, η φωτοοξείδωση, και η πρόσληψη από τα φυτά.

Γενικά θα μπορούσε κανείς να ορίσει ως φυσικό σύστημα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων (τεχνητό ή μη) μια περιοχή στην οποία φυτά, μικροοργανισμοί, ζώα και έδαφος συνδυάζονται για την εξουδετέρωση όλων των πιθανών μολυντών που βρίσκονται στα υγρά απόβλητα που διοχετεύονται εκεί για επεξεργασία με ή χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση. Η επεξεργασία του υγρού αποβλήτου διενεργείται με φυσικά μέσα και διεργασίες, όπως είναι οι φυσικές, χημικές, και βιολογικές διεργασίες ή συνδυασμός τους που συμβαίνει στο περιβάλλον.

### ***1.2.1 Ιστορική αναδρομή***

Το γεγονός ότι τα φυσικά συστήματα επεξεργασίας συχνά χαρακτηρίζονται ως μη συμβατικά ή ακόμη και ως καινοτομικά αυτό δεν σημαίνει ότι είναι μια ανακάλυψη των τελευταίων χρόνων. Αντίθετα αποτελούν μια αρκετά παλιά πρακτική που εφαρμόζεται σε Ευρώπη και Αμερική για περισσότερο από έναν αιώνα.

Τα πρώτα συστήματα δεν ήταν τίποτα άλλο από την απευθείας εφαρμογή των υγρών αποβλήτων σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις κοντά σε αστικά κέντρα της Γερμανίας στις αρχές της δεκαετίας του 1870. Στην Αγγλία το σύστημα αυτό υιοθετήθηκε λίγο πριν την αλλαγή του αιώνα (1896) σε αντίθεση με τις ΗΠΑ που το πρώτο σύστημα λειτούργησε το 1888.

Στις αρχές της προηγούμενης δεκαετίας στις ΗΠΑ λειτουργούσαν πάνω από 1000 τέτοια συστήματα. Το 1996 στη Μεγάλη Βρετανία υπήρχαν καταγραμμένα πάνω από 150 συστήματα. Συγκεκριμένα στην Αγγλία τα συστήματα αυτά είχαν δοκιμαστεί και αποτύχει στα μέσα της δεκαετίας του 1980 λόγω κακού και πρόχειρου σχεδιασμού. Μετά την ιδιωτικοποίηση των εταιριών νερού επανήλθαν σε χρήση με μεγάλη μάλιστα επιτυχία, που βασίστηκε στην εισαγωγή τεχνογνωσίας και εμπειρίας από το εξωτερικό. Στη Γερμανία τα συστήματα αυτά ξεπερνούν τα 200. Γενικότερα στην Ευρώπη τα φυσικά συστήματα χρησιμοποιούνται για να επεξεργαστούν υγρά απόβλητα μικρών κοινοτήτων (λιγότερο από 2000 κάτοικοι), ενώ στην Αμερική η χρήση τους είναι διαδεδομένη και σε βιομηχανικά απόβλητα αλλά και σε συστήματα τριτοβάθμιας επεξεργασίας.

### ***1.2.2 Τρόποι επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στα φυσικά συστήματα***

Οι διεργασίες που εμπλέκονται στα φυσικά συστήματα είναι η καθίζηση, το φιλτράρισμα, η μεταφορά αερίων, η απορρόφηση, η προσρόφηση, η ανταλλαγή αερίων, η χημική καθίζηση, η χημική οξειδωση, η χημική μείωση, η βιολογική (μικροβιολογική) μετατροπή και αποδόμηση που συναντώνται άλλωστε και σε συμβατικά συστήματα επεξεργασίας. Σε αυτά προστίθενται και κάποιες ιδιαίτερες και μοναδικές δραστηριότητες των φυσικών συστημάτων όπως είναι η φωτοσύνθεση, η φωτοοξειδωση και η απορρόφηση από τα φυτά. Οι συνθήκες σε ένα φυσικό σύστημα μπορεί να είναι είτε αερόβιες είτε αναερόβιες, φαινόμενο που εξαρτάται από τη ροή του νερού, τον τύπο του συστήματος, την παρουσία ή όχι βλάστησης και από τον τύπο του εδάφους που χρησιμοποιήθηκε. Στα φυσικά συστήματα οι διάφορες διεργασίες λαμβάνουν χώρα σε φυσικούς ρυθμούς και συνήθως ταυτόχρονα σε ένα μοναδικό «οικολογικό αντιδραστήρα» (ecosystem reactor) σε αντίθεση με τα μηχανικά συστήματα στα οποία οι διάφορες διεργασίες λαμβάνουν χώρα σε «σειρά» και η επιτάχυνση των φυσικών διεργασιών επιτυγχάνεται με την προσθήκη ενέργειας. Στον πίνακα 1.1 παρουσιάζονται οι βασικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στα φυσικά συστήματα.



**Πίνακας 1.1 Βασικές αρχές των διεργασιών που υπάρχουν σε ένα φυσικό σύστημα**

<b>Διεργασίες</b>	<b>Ρόλος ή δραστηριότητα</b>
<b><u>Φυσικές</u></b>	
<b>Φιλτράρισμα</b>	Καθώς το νερό περνά μέσα από το σύμπλεγμα των φυτών και το υπόστρωμά τους, κολλοειδή και άλλα σωματίδια φιλτράρονται. Οι ρίζες των φυτών ανοίγουν διαδρόμους μέσα στο έδαφος δημιουργώντας οδούς κίνησης του νερού.
<b>Καθίζηση</b>	Συσσωμάτωση και καθίζηση με τη βοήθεια της βαρύτητας στερεών
<b>Προσρόφηση</b>	Προσρόφηση κολλοειδών στερεών μέσω διασωματειακών μοριακών δυνάμεων.
<b><u>Χημικές</u></b>	
<b>Κατακρήμιση</b>	Δημιουργία και κατακρήμιση αδιάλυτων μορίων όπως $\text{CaPO}_4$ . η προσθήκη Al, Fe ή Ca θα οδηγήσει στην καθίζηση του φωσφόρου.
<b>Αποσύνθεση</b>	Οξείδωση και μείωση των λιγότερο σταθερών μορίων
<b>Προσρόφηση</b>	Προσρόφηση βαρέων μετάλλων από το έδαφος
<b><u>Βιολογικές</u></b>	
<b>Μικροβιακός μεταβολισμός</b>	Μικροβιακή αποδόμηση οργανικής ουσίας, νιτροποίηση-απονιτροποίηση. Αποτελεί το βασικό μηχανισμό για την απομάκρυνση BOD5 και N
<b>Χρόνος παραμονής</b>	Φυσική θανάτωση των παθογόνων μικροοργανισμών.

---

<b>Αύξηση των φυτών</b>	Προσωρινή και εποχιακή απορρόφηση θρεπτικών στοιχείων και μετάλλων από τα φυτά η οποία μπορεί να γίνει μόνιμη αν υπάρχει απομάκρυνση μέσω συλλογής της φυτικής μάζας
-------------------------	--

---

### *1.2.3 Κατηγορίες φυσικών συστημάτων*

Υπάρχουν διάφορες φιλοσοφίες γύρω από τον τρόπο που θα πρέπει να κατηγοριοποιηθούν τα φυσικά συστήματα. Σύμφωνα με τους Αγγελάκη και Tchobanoglou (1995) χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- Αυτά που βασίζονται στο έδαφος ή τα γήινα συστήματα επεξεργασίας (soil based or land treatment),  
και
- Τα συστήματα με κύρια παράμετρο το νερό ή υδροχαρή συστήματα (aquatic based systems), όπως είναι οι φυσικοί και τεχνητοί υγροβιότοποι και τα συστήματα των επιπλεόντων υδροχαρών φυτών.

Στην πρώτη κατηγορία συγκαταλέγονται τα συστήματα:

- Βραδείας εφαρμογής (slow rate)
- Ταχείας διήθησης (rapid infiltration)
- Επιφανειακής ροής (overland flow), και
- Συνδυασμένοι τύποι (combined)

Στα συστήματα υδατικού χαρακτήρα συγκαταλέγονται:

- Υγροβιότοποι ελεύθερης επιφάνειας νερού ή επιφανειακής ροής (free water surface constructed wetlands)
- Υγροβιότοποι υποεπιφανειακής ροής (subsurface flow constructed wetlands)

- Επιπλέοντα υδροχαρή φυτά (floating aquatic plant system)
- Φυσικοί υγροβιότοποι (natural wetland), και
- Συνδυασμένα συστήματα επιπλεόντων υδροχαρών φυτών (combination of aquatic plant system and the free water surface system)

Υπάρχει ωστόσο και η άλλη προσέγγιση στο ζήτημα όπως αυτή παρουσιάζεται από τους Reed, S.C., Middlebrooks, E.J. and Crites, R.W. (1998 – Natural systems for waste management and treatment. McGraw-Hill Book Company).

Στο βιβλίο αυτό οι συγγραφείς χρησιμοποίησαν ως κριτήριο διαχωρισμού την κύρια (χαρακτηριστική) βιολογική παράμετρο που χαρακτηρίζει την κάθε διεργασία. Έτσι προτείνουν τρεις κατηγορίες φυσικών συστημάτων.

1. Τα συστήματα με κύρια παράμετρο το νερό ή υδροχαρή συστήματα (aquatic based systems) που βασίζονται στην παρουσία άλγερων ή άλλων επιπλεόντων φυτών. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν:
  - Δεξαμενές οξειδωσης (oxidation ponds)
  - Δεξαμενές αερισμού (aeration ponds)
  - Συστήματα υάκινθων
  
2. Τους υγροβιότοπους που περιλαμβάνουν:
  - Υγροβιότοπους ελεύθερης επιφάνειας νερού ή επιφανειακής ροής (free water surface constructed wetlands)
  - Υγροβιότοπους υποεπιφανειακής ροής (subsurface flow constructed wetlands), και
  - Φυσικοί υγροβιότοποι (natural wetlands)
  
3. Τα συστήματα με κύρια παράμετρο το έδαφος (soil based-system or land treatment or terrestrial treatment)
  - βραδείας εφαρμογής (slow rate)
  - ταχείας διήθησης (rapid infiltration)
  - επιφανειακής ροής (overland flow)

Τέλος, υπάρχουν και κάποια συστήματα που ορισμένοι διακεκριμένοι ερευνητές χαρακτηρίζουν ως φυσικά συστήματα. Αυτά είναι οι δεξαμενές σταθεροποίησης (stabilization ponds). Η αλήθεια είναι ότι στα συστήματα αυτά δεν υπάρχουν καθόλου μακρόφυτα (δηλαδή φυτά) και με βάση τον ορισμό των φυσικών συστημάτων δεν μπορούν να εξομοιωθούν και με τα άλλα συστήματα. Παρόλα αυτά οι δεξαμενές σταθεροποίησης βασίζονται σε κάποιες πολύ βασικές κοινές αρχές με τα φυσικά συστήματα όπως είναι η μη κατανάλωση ενέργειας για τον καθαρισμό των λυμάτων, η φυσική και μικροβιακή διαδικασία που κυριαρχεί, το χαμηλό κόστος λειτουργίας και το ακόμα χαμηλότερο κόστος κατασκευής.

Από την άλλη στα συστήματα των υδροχαρών φυτών περιλαμβάνονται και οι υδατοκαλλιέργειες που δεν είναι τίποτε άλλο από μια διαφορετική μορφή ιχθυοκαλλιέργειας. Μικρά ψάρια χρησιμοποιούνται για το μεταβολισμό και επεξεργασία υγρών αποβλήτων.

Όλοι οι τύποι των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας προϋποθέτουν προεπεξεργασία των χρησιμοποιούμενων υγρών αποβλήτων, με κάποια μηχανική ή συμβατική διεργασία. Η ελάχιστη προεπεξεργασία που συνίσταται είναι η εσχάρωση ή πρωτοβάθμια καθίζηση, με σκοπό την απομάκρυνση των στερεών, που θα μπορούσαν να προξενήσουν προβλήματα στα δίκτυα διανομής ή να δημιουργήσουν ενοχλητικές συνθήκες στον περιβάλλοντα χώρο. Η ανάγκη για πιο υψηλού επιπέδου προεπεξεργασία εξαρτάται από τα αντικείμενα και τους σκοπούς του συστήματος και τους σχετικούς κανονισμούς που ισχύουν. Τέλος, κατά τον σχεδιασμό αυτών των συστημάτων πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι έχουν περιορισμένη δυνατότητα επεξεργασίας ιλύος.

### 1.3 Χαρακτηριστικά αστικών υγρών αποβλήτων και μηχανισμοί επεξεργασίας

#### 1.3.1 Χαρακτηριστικά των αστικών υγρών αποβλήτων

Τα χαρακτηριστικά των αστικών υγρών αποβλήτων μπορεί να είναι φυσικά, χημικά και βιολογικά.

Τα φυσικά χαρακτηριστικά των αποβλήτων αποτελούν το χρώμα, που προέρχεται από την αποδόμηση της οργανικής ουσίας, την οσμή που προέρχεται από την αερόβια αλλά κυρίως την αναερόβια αποδόμηση της οργανικής ουσίας, στερεά σωματίδια οργανικής και ανόργανης προέλευσης και την θερμοκρασία που εξαρτάται από την προέλευση των υγρών αποβλήτων (οικιακά ή βιομηχανικά) και από τις περιβαλλοντικές συνθήκες.

Τα χημικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων μπορεί να έχουν οργανική προέλευση και είναι υδατάνθρακες, λίπη και έλαια από προϊόντα του ανθρώπινου μεταβολισμού, φυτοφάρμακα (κυρίως στα γεωργικά υγρά απόβλητα), πρωτεΐνες που εκτός από προϊόντα ανθρώπινου και ζωικού μεταβολισμού μπορεί να προέρχονται από πλειάδα άλλων δραστηριοτήτων, πτητικές οργανικές ουσίες και φαινόλες βιομηχανικής κυρίως προέλευσης. Επίσης μπορεί να έχουν ανόργανη προέλευση και είναι το άζωτο, φώσφορος, βαριά μέταλλα και θεικές ενώσεις.

Τέλος τα βιολογικά χαρακτηριστικά τα οποία είναι φυτικοί και ζωικοί οργανισμοί, που αναπτύσσονται λόγω της ύπαρξης της οργανικής ουσίας στα απόβλητα και μικροοργανισμοί, κυρίως μύκητες, βακτήρια και ιοί που προέρχονται από τους ανθρώπινους οργανισμούς και αναπτύσσονται λόγω της ύπαρξης της αποδομούμενης οργανικής ουσίας στα απόβλητα. Στον πίνακα 1.2 αναγράφεται ποσοτικά η σύσταση των αστικών υγρών αποβλήτων.

**Πίνακας 1.2 Σύσταση αστικών λυμάτων**

Ρυπαντής	Εκροή σηπτικού	Λίμνη καθίζησης	Λίμνη
----------	----------------	-----------------	-------

	<b>βόθρου</b>	<b>επαμφοτερίζουσα</b>	
<b>Ολικό BOD, mg/l</b>	129-147	40-200	11-35
<b>Διαλυτό BOD, mg/l</b>	100-118	35-460	7-17
<b>COD, mg/l</b>	310-344	90-400	7-17
<b>VSS, mg/l</b>	32-39	45-180	25-65
<b>TSS, mg/l</b>	44-54	55-230	20-80
<b>TN, mg/l</b>	41-49	20-85	8-22
<b>NH3</b>	28-34	15-40	0,6-16
<b>TP, mg/l</b>	12-14	4-15	3-4
<b>PO4, mg/l</b>	10-12	3-10	2-3
<b>Κολοβακτηρίδια log/100ml</b>	5,4-6	5,0-7,0	0,8-5,6

### 1.3.2 Μηχανισμοί απομάκρυνσης των ρυπαντών

Η εμφάνιση του ευτροφισμού (αύξηση των αυτοτροφικών-φωτοσυνθετικών οργανισμών (φυτοπλαγκτόν)), η αποξυγόνωση του νερού (λόγω κατανάλωσης του διαλυμένου οξυγόνου κατά τον μεταβολισμό της άφθονης οργανικής ύλης από τους ετεροτροφικούς οργανισμούς), η τοξικότητα (από οξέα, βάσεις, βαριά μέταλλα και οργανικά δηλητήρια), η θολότητα των νερών, η δυσοσμία κλπ, είναι οι κυριότερες από τις συνέπειες στα οικοσυστήματα των φυσικών αποδεκτών. Από την άλλη υπάρχουν οι επιπτώσεις στη δημόσια υγεία των κατοίκων μιας περιοχής λόγω των ασθενειών που προκαλούνται από τη παθογένεια των νερών που οφείλεται στην ύπαρξη παθογόνων βακτηριδίων (κύρια κολοβακτηριδίων), πρωτόζωων και ιών στα απόβλητα (Δ. Χριστούλας, 2001).

Οι τεχνολογίες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων που προτείνονται είναι πολλές και έχουν αναπτυχθεί κυρίως για την επεξεργασία των αστικών υγρών αποβλήτων. Έτσι υπάρχει:

- Ο συμβατικός βιολογικός καθαρισμός με τη μέθοδο του αερισμού, της καθίζησης και της ενεργού ιλύος.
- Η αναερόβια επεξεργασία, κύρια ως πρώτο στάδιο επεξεργασίας για βιομηχανικά απόβλητα με υψηλό βιολογικό φορτίο.

- Οι τεχνητοί υδροβιότοποι όπου γίνεται μια προσομοίωση των διαδικασιών των φυσικών υδροβιότοπων (παραλίμνιες ή παραποτάμιες περιοχές, λιμνοθάλασσες κλπ) που απαντώνται στη φύση.

Η πρώτη μέθοδος είναι και η πιο διαδεδομένη τόσο για υγρά αστικά απόβλητα κυρίως μεγάλων πόλεων όσο και μεγάλων βιομηχανιών (μεγάλο υδραυλικό φορτίο). Με τη μέθοδο των τεχνητών υδροβιότοπων έχουν γίνει εγκαταστάσεις επεξεργασίας κύρια για αστικά απόβλητα μικρών περιοχών (οικισμοί ή χωριά κάτω των 2000 κατοίκων κλπ). (Manios T. et al., 2000), (Merlin G. et al., 2002), (Solano ML et al., 2004).

Τα φυσικά συστήματα επεξεργασίας είναι ικανά για απομάκρυνση σε ικανοποιητικό βαθμό όλων σχεδόν των κύριων και δευτερευόντων ρυπαντικών συστατικών των υγρών αποβλήτων. Τέτοια είναι:

- Αιωρούμενα στερεά. Η απομάκρυνση των στερεών σωματιδίων (συνήθως μετρούμενα ως ολικά αιωρούμενα στερεά) απομακρύνονται από τα υγρά απόβλητα είτε μέσω της καθίζησης είτε μέσω του φιλτραρίσματος. Η καθίζηση διευκολύνεται από τις χαμηλές ταχύτητες ροής που επικρατούν στα φυσικά συστήματα ενώ το φιλτράρισμα μέσα στο δίκτυο που σχηματίζεται είτε από το υπόστρωμα και τις ρίζες είτε από τα φυτικά υπολείμματα, είτε και από τα δυο. Στη συνέχεια τα στερεά αυτά αποδομούνται από τους μικροοργανισμούς μια και πάνω από το 75% της μάζας τους είναι οργανικής προέλευσης. Η σημασία του φιλτραρίσματος σε σχέση με την καθίζηση εξαρτάται από τον τύπο του συστήματος. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι στους υδροβιότοπους υποεπιφανειακής ροής το μεγαλύτερο ποσοστό απομάκρυνσης των στερεών λαμβάνει χώρα στα πρώτα μέτρα του συστήματος (60% των TSS απομακρύνονται στο πρώτο ένα τρίτο του συστήματος. Πιθανή μείωση της ικανότητας του συστήματος να απομακρύνει στερεά από τα υγρά απόβλητα οφείλεται σε φράξιμο του πορώδους του φυσικού συστήματος και την ύπαρξη φαινομένων ανεπιθύμητης επιφανειακής ροής.

- Οργανικό φορτίο. Η αποδομούμενη οργανική ουσία, διαλυμένη ή σε αιώρηση που αποτελεί συστατικό των υγρών αποβλήτων, απομακρύνεται με τη διεργασία της βιολογικής αποδόμησης. Οι μικροοργανισμοί, που διενεργούν βιολογική αποδόμηση, αναπτύσσονται υπό μορφή λεπτών μεμβρανών ή γλοιωδών εκκρίσεων τους στις επιφάνειες των εδαφικών σωματιδίων, της φυτικής βλάστησης ή των χρησιμοποιούμενων υποστρωμάτων και προϋποθέτουν την επικράτηση ακόρεστων συνθηκών.
- Άζωτο. Η απομάκρυνση του αζώτου από το νερό έχει γίνει ένα από τα πιο σημαντικά νομοθετικά θέματα στην Ευρωπαϊκή νομοθεσία. Αιτία αυτού είναι όχι το τόσο γνωστό σε όλους μας φαινόμενο του ευτροφισμού αλλά και η προστασία της δημόσιας υγείας. Η απομάκρυνση του αζώτου γίνεται είτε μέσα από τη μετατροπή του σε αέριο άζωτο (N<sub>2</sub>) και την ελευθέρωσή του στην ατμόσφαιρα ή τη μετατροπή του σε τέτοια μορφή ανόργανου αζώτου που να είναι άμεσα προσλήψιμο από τα φυτά όπως η αμμωνία και τα νιτρικά. το άζωτο απελευθερώνεται από την οργανική ουσία μέσω της διαδικασίας αμμωνιοποίησης που πραγματοποιείται από μια μεγάλη ποικιλία από ετερότροφους μικροοργανισμούς κάτω από διάφορες συνθήκες. Το άζωτο μπορεί να χαθεί από το σύστημα ως αέριο άζωτο κάτω από μια αναερόβια διαδικασία, που είναι γνωστή ως απονιτροποίηση.

Γενικά τα φυσικά συστήματα έχουν μικρές αποδόσεις στην απομάκρυνση αζώτου. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε μια σειρά παραμέτρων που επηρεάζουν τη διαδικασία απομάκρυνσης όπως:

- υψηλή συγκέντρωση οργανικής ουσίας στο υπόστρωμα
- η απομάκρυνση του αζώτου είναι ανάλογη του χρόνου παραμονής των υγρών αποβλήτων στο φυσικό σύστημα
- η τιμή του pH του υποστρώματος που φαίνεται ότι μεγάλες τιμές δρουν αρνητικά
- χαμηλές θερμοκρασίες δρουν ανασταλτικά και
- η παροχή και παρουσία οξυγόνου



- Οργανικό άζωτο. Η απομάκρυνσή του γίνεται σε μεγάλο ποσοστό με καθίζηση και φιλτράρισμα, καθώς επίσης και με απευθείας ενσωμάτωσή του στην οργανική μάζα ή στο χούμο του εδάφους.
- Αμμωνιακό άζωτο. Το αμμωνιακό άζωτο μπορεί να ακολουθεί διάφορες διόδους απομάκρυνσής του στα φυσικά συστήματα επεξεργασίας: απομάκρυνση με εξάχνωση, προσωρινή προσρόφηση δια μέσου αντιδράσεων εναλλαγής ιόντων σε εδαφικά, οργανικά και αργιλικά σωματίδια, πρόσληψη από τα φυτά ή μικροοργανισμούς και απευθείας μετατροπή σε νιτρικό άζωτο δια μέσου της βιολογικής νιτροποίησης.
- Νιτρικό άζωτο. Το νιτρικό άζωτο φέρει αρνητικό φορτίο, δεν συγκρατείται με αντιδράσεις εναλλαγής και συνήθως παραμένει σε διάλυση και μεταφέρεται με τη ροή του νερού. Έτσι, όταν δεν συγκρατείται από τα φυτά ή δεν απονιτροποιείται καταλήγει στους υποκείμενους υπόγειους υδροφορείς.
- Φωσφόρος. Η απομάκρυνσή του φωσφόρου από τα φυσικά συστήματα γίνεται ως ακολούθως:
  - απορρόφηση από τα φυτά
  - προσρόφηση στο υπόστρωμα
  - κατακρήμνιση και
  - δέσμευση σε μικροβιολογικά φιλμ

Οι διαδικασίες αυτές μπορούν να χωριστούν σε βιοτικές και αβιοτικές. Οι Βιοτικές διαδικασίες περιλαμβάνουν:

- δέσμευση από τα φυτά και
- δέσμευση από τους μικροοργανισμούς

Αβιοτικές διεργασίες περιλαμβάνουν:

- κατακρήμνιση και ταφή και
- προσρόφηση και καθίζηση

Οι μηχανισμοί προσρόφησης του φωσφόρου είναι πολύπλοκοι αλλά γενικά και απλά φωσφορικά ιόντα προσροφούνται χημικά στην επιφάνεια άνυδρων οξειδίων του σιδήρου και του αλουμινίου σε όξινα εδάφη και από πετρώματα Ca σε αλκαλικά εδάφη. Ο ρυθμός της προσρόφησης εξαρτάται από το pH του υποστρώματος, τη διαθέσιμη επιφάνεια για προσρόφηση και τη θερμοκρασία.

- Ίχνη Ανόργανων Στοιχείων. Η απομάκρυνσή τους, κυρίως των μετάλλων, διενεργείται με πρόσφηση, και σε μικρότερο βαθμό με πρόσληψή τους από τις ρίζες των φυτών. Γενικά, τα μέταλλα παραμένουν στο έδαφος ή στα ιζήματα των συστημάτων υδροχαρών φυτών.
- Ίχνη Οργανικών Στοιχείων. Τα ίχνη των οργανικών στοιχείων απομακρύνονται από τα υγρά απόβλητα που εφαρμόζονται στα φυσικά συστήματα με τις διεργασίες της εξάχνωσης, της προσρόφησης, και των βιολογικών ή φωτοχημικών διασπάσεων.
- Μικροοργανισμοί. Οι μηχανισμοί απομάκρυνσης των βακτηρίων και παρασίτων, όπως πρωτόζωα και έλμινθοι, που είναι συνήθη στα περισσότερα φυσικά συστήματα επεξεργασίας, περιλαμβάνουν καθίζηση, προσρόφηση, ακτινοβολία, ξήρανση, εμπλοκή, ανταγωνιστικές επιδράσεις, φυσική φθορά και γενικά έκθεση τους σε διάφορες αντίξοες περιβαλλοντικές συνθήκες. Οι ιοί απομακρύνονται μόνο με φυσική φθορά και καταστροφή τους.

Η μέτρηση του οργανικού φορτίου των υγρών αποβλήτων γίνεται με την χρησιμοποίηση δύο παραμέτρων, του BOD5 (five day biochemical Oxygen Demand), και ουσιαστικά είναι η μέτρηση της κατανάλωσης του διαλυμένου στο νερό οξυγόνου από τους μικροοργανισμούς σε μια περίοδο 5 ημερών, και του COD (Chemical Oxygen Demand – Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο), με τον οποίο γίνεται υπολογισμός της συγκέντρωσης της οργανικής ουσίας μετρώντας την ισότιμη ποσότητα οξυγόνου με αυτή της οργανικής ουσίας που οξειδώνεται με την χρήση ενός χημικού μέσου. Η μέτρηση του μικροβιακού φορτίου γίνεται με την χρήση ομάδας μικροοργανισμών δεικτών (κολοβακτηρίδια –

*Escherechia Coli*) που η ύπαρξή τους ή όχι στα νερά είναι ενδεικτικά της ύπαρξης και άλλων παθογόνων μικροοργανισμών. Τέλος, η μέτρηση του αζώτου γίνεται με την χρήση της μεθόδου Kjeldalh και η μέτρηση βαρέων μετάλλων με την ατομική απορρόφηση.

### **1.3.3 Απόδοση**

Η απομάκρυνση των μολυντών από τα προς επεξεργασία λύματα σύμφωνα με την διεθνή βιβλιογραφία μπορεί να φτάσει μέχρι και το 98% για το οργανικό φορτίο, το 99% για τα στερεά και το 99% για τα παθογόνα. Εξαρτάται από το αρχικό φορτίο, το σχεδιασμό, τη ροή και το χρόνο παραμονής.

### **1.4 Υγροβιότοποι**

Οι υγροβιότοποι είναι τμήματα εδάφους κατακλυζόμενα με νερό συνήθως μικρού βάθους (<0,6m), στα οποία αναπτύσσονται φυτά όπως είναι: διάφορα είδη κύπερης (φυτά της οικογένειας Cyperaceae, κυρίως του γένους *Carex* spp.), καλάμια (φυτά του γένους *Phragmites*, κυρίως του είδους *P. Communis*), είδη βούρλων (φυτά του γένους *Scirpus*) και άλλα όπως είναι είδη ψαθιού και αφράτου (φυτά του γένους *Typha*). Η φυτική βλάστηση προσφέρει το βασικό υπόστρωμα ανάπτυξης των βακτηριακών μεμβρανών, βοηθά στο φιλτράρισμα και την προσρόφηση συστατικών του αποβλήτου, μεταφέρει οξυγόνο στη μάζα νερού και περιορίζει την ανάπτυξη αλγών με τον έλεγχο της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων έχουν χρησιμοποιηθεί τόσο οι τεχνητοί όσο και οι φυσικοί υγροβιότοποι.

Φυσικοί υγροβιότοποι: από μια κανονιστική άποψη οι φυσικοί υγροβιότοποι μπορούν να θεωρηθούν ως υδατικοί αποδέκτες, έτσι, στις περισσότερες περιπτώσεις πληρούν κανονιστικές απαιτήσεις. Τροποποιήσεις σε υπάρχοντες υγροβιότοπους με σκοπό τη βελτίωση επεξεργασίας πρέπει να αποφεύγονται, γιατί μπορεί να προξενήσουν προβλήματα στο φυσικό οικοσύστημα.

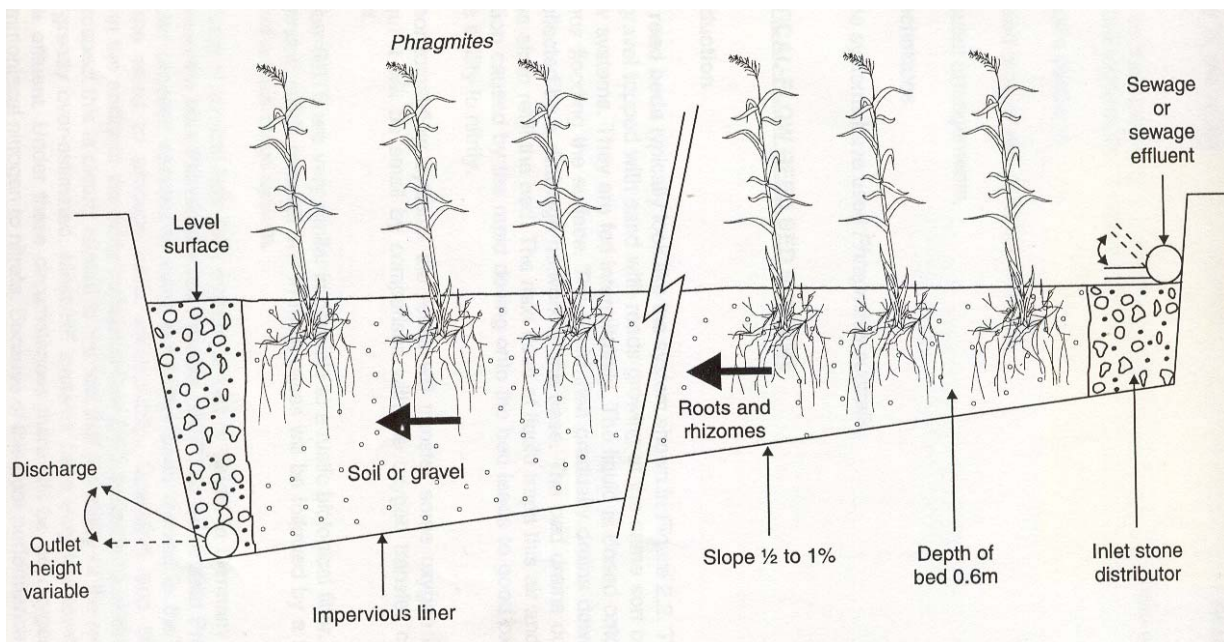
Τεχνητοί υγροβιότοποι: Οι τεχνητοί υγροβιότοποι ανήκουν στην κατηγορία συστημάτων επεξεργασίας που ονομάζονται «φυσικά συστήματα». Όπως άλλωστε προδιαγράφεται από την ίδια την ονομασία, οι τεχνητοί υγροβιότοποι αποτελούν την προσομοίωση των συστημάτων που υπάρχουν στη φύση (φυσικοί υγροβιότοποι), και η κατασκευή τους γίνεται από τον άνθρωπο με σκοπό την επεξεργασία ρύπων που βρίσκονται στα επιφανειακά νερά, στα υπόγεια νερά ή σε αστικά και βιομηχανικά απόβλητα, όπως απόβλητα ορυχείων ή στραγγίδια χωματερών. Αναπαριστούν τη δομή και τη λειτουργία των φυσικών υγροβιότοπων που περιέχουν μια πλούσια μικροβιακή κοινότητα που επιτυγχάνει τη βιοχημική καταστροφή των ρυπαντών με χαρακτηριστικά την αναπαραγωγή και την αυτοσυντήρηση. Οι υγροβιότοποι αυτοί αποτελούν κλειστά συστήματα (με την έννοια ότι μολυντές δεν διαφεύγουν προς το περιβάλλον) στα οποία το έδαφος, οι μικροοργανισμοί, τα φυτά και φυσικά το νερό, αλληλεπιδρούν μειώνοντας το ρυπογόνο φορτίο των λυμάτων. Οι τεχνητοί υγροβιότοποι έχουν όλες τις δυνατότητες των φυσικών υγροβιότοπων, αλλά χωρίς τους περιορισμούς, που αφορούν τη διάθεση των εκροών σε φυσικά οικοσυστήματα. Για την περαιτέρω επεξεργασία προεπεξεργασμένων υγρών αποβλήτων με συστήματα τεχνητών υγροβιότοπων έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιηθεί δύο τύποι: α) αυτά της ελεύθερης επιφάνειας (FWS) και β) τα υποεπιφανειακής ροής (SFS).

#### ***1.4.1 Τεχνητοί Υγροβιότοποι Υποεπιφανειακής Ροής (SSF)***

##### Γενική περιγραφή

Τα συστήματα τύπου SFS σχεδιάζονται με σκοπό την επίτευξη δευτεροβάθμιας ή προωθημένης επεξεργασίας. Αυτά τα συστήματα ονομάζονται επίσης συστήματα «ριζόσφαιρας» ή «φίλτρων εδάφους-καλαμιών» και αναπτύσσονται μέσα σε κανάλια ή τάφρους με σχετικά στεγανούς πυθμένες που περιέχουν άμμο ή άλλα γήινα μέσα υποστήριξης της επιφανειακά αναπτυσσόμενης φυτικής βλάστησης. Είναι ένα είδος τεχνητών υγροβιότοπων οριζόντιας ροής (Horizontal Flow Wetlands – HFWs).

Τα λύματα κινούνται κάτω από τη φυσική επίδραση της βαρύτητας εξαιτίας της κλίσης του πυθμένα του συστήματος. Αντικειμενικός σκοπός του συστήματος είναι ο κορεσμός του υποστρώματος με νερό έτσι ώστε να επιτυγχάνετε ο πλέον καλός βαθμός επεξεργασίας. Μια από τις σημαντικότερες παραμέτρους για την επιτυχημένη κατασκευή και λειτουργία των συστημάτων αυτών είναι η επιλογή του υποστρώματος. Όσο αφορά το βάθος του υποστρώματος αυτό εξαρτάται από τις ρίζες των φυτών που θα τοποθετηθούν αλλά γενικά ποικίλει από 30 έως 60 cm.



**Σχήμα 1.1** Σχηματική παρουσίαση συστήματος τεχνητών υγροβιότοπων υποεπιφανειακής ροής (SFS) (Tchobanoglous and Burton, 1996)

## Διαδικασία λειτουργίας - απομάκρυνση ρύπων

Η επεξεργασία των λυμάτων γίνεται μέσα στο έδαφος από τους μικροοργανισμούς που αναπτύσσονται στο εδαφικό πορώδες. Το απόβλητο στην είσοδό του ρέει κάτω από την επιφάνεια του τελικού επάνω στρώματος, με αποτέλεσμα να έρχεται σε επαφή με το μεγαλύτερο μέρος του ριζικού συστήματος των φυτών αλλά και να διηθείται μέσα από τα υποστρώματα χώματος, άμμου, χαλικιού ή οποιουδήποτε άλλου υλικού είναι γεμάτος ο υδροβιότοπος. Η υδραυλική αγωγιμότητα των υποστρωμάτων αυτών ποικίλει αλλά γενικά οι τιμές είναι της τάξης των  $10^{-3}$  m/sec.

### Προεπεξεργασία:

Το σύστημα απαιτεί την παρουσία προεπεξεργασίας όπως σηπτική δεξαμενή. Χωρίς την προεπεξεργασία οι πόροι του εδάφους θα κλείσουν με αποτέλεσμα τη μείωση της απόδοσης του συστήματος. Οι κροκάλες (μεγάλα χαλίκια) τοποθετημένες στην είσοδο του συστήματος έχουν μεγάλες διαστάσεις (τουλάχιστον 60mm) και χρησιμοποιούνται για την ομοιόμορφη διάχυση των λυμάτων.

### Φυτική βλάστηση:

Μη αναγκαία για την ικανοποιητική λειτουργία του συστήματος. Το σύστημα μπορεί να ενεργήσει πολύ καλά εντελώς γυμνό από φυτά. Η παρουσία των φυτών θα πρέπει να θεωρείται περισσότερο αισθητική παρά ουσιαστική. Η απομάκρυνση της βλάστησης μετά την εγκατάσταση του συστήματος δεν ενδείκνυται μια και κινδυνεύει να καταστραφεί τόσο το πορώδες του εδάφους, όσο και η υδατοστεγής μεμβράνη στον πυθμένα.

### Οσμές:

Οι οσμές είναι ελάχιστες μια και η κίνηση των λυμάτων γίνεται υποεπιφανειακά

### Έντομα:

Ελάχιστες ενοχλήσεις

#### Υπόστρωμα:

Ένα από τα βασικά στοιχεία τέτοιου είδους συστημάτων είναι το είδος του υποστρώματος που θα χρησιμοποιηθεί μέσα στο οποίο θα κινηθούν τα λύματα και θα γίνει η μικροβιακή επεξεργασία τους. Η χρήση αργιλωδών εδαφών ή και αργιλοπηλωδών εδαφών θα πρέπει να αποφεύγονται γιατί τα συστήματα θα φράξουν πολύ γρήγορα. Η χρήση χαλικιών διαφόρων διαστάσεων (από άμμο μέχρι και χαλίκια 60mm) ενδείκνυται.

#### Εκτατικές ανάγκες:

Περίπου 2,5 με 4m<sup>2</sup> ανά ισοδύναμο κάτοικο.

#### Χαρακτηριστικά παραδείγματα εφαρμογών και αποδόσεις τους

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει μία τάση να χρησιμοποιούνται περισσότερο αυτού του τύπου υγροβιότοποι (SFS) έναντι των ελεύθερης επιφάνειας νερού (FWS) διότι, πιστεύεται, ότι είναι πιο αποτελεσματικοί στην επεξεργασία των αποβλήτων (*Rousseau DPL et al., 2004*).

Στη Βόρεια Ευρώπη, η Δανία είναι ο ηγέτης στην εφαρμογή των τεχνητών υγροβιότοπων. Είναι πρωτοπόρος των υγροβιότοπων υποεπιφανειακής ροής (SFS), και έχει τουλάχιστον 130 μονάδες οι περισσότερες από τις οποίες διαχειρίζονται δημοτικά-αστικά απόβλητα (*Rousseau DPL et al., 2004*).

Συγκριτικά, η Σουηδία και η Νορβηγία έχουν επιδείξει πολύ λιγότερο ενδιαφέρον για τέτοια συστήματα. Το 1996 η Σουηδία είχε 6 FWS (επιφανειακής ροής) και 8 υγρότοποι SFS (υποεπιφανειακής ροής) για την επεξεργασία των αστικών αποβλήτων. Στις

περισσότερες περιπτώσεις εγκαταστάθηκαν μόνο για να ενισχύσουν την αφαίρεση του αζώτου, ή στον περαιτέρω καθαρισμό του νερού που είχε επεξεργαστεί με άλλα μέσα. Η Νορβηγία είχε σχεδόν είκοσι υγρότοπους, στη πλειοψηφία τους εγκαταστάσεις τύπου SFS (*Vanrolleghem PA et al., 2004*)

Χαρακτηριστικά παραδείγματα τεχνητών υγροβιότοπων υποεπιφανειακής ροής έχουν γίνει επίσης στη Σαξονία της Γερμανίας (*Luederitz V. et al., 2001*).

Συγκεκριμένα το σύστημα επεξεργασίας λυμάτων στο **Loburg** κατασκευάστηκε το 1992. Χρησιμοποιείται για την επεξεργασία 6 m<sup>3</sup> ανά ημέρα καταλαμβάνοντας έκταση 300 m<sup>2</sup>, σε μια απόσταση 4m και βάθος υποστρώματος (αμμώδες αμμοχάλικο) 0,8 m. Τα φυτά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ο κοινός κάλαμος (*Phragmites australis*). Στον υγροβιότοπο τα αστικά απόβλητα φτάνουν μετά από μια προεπεξεργασία τους σε αναερόβιο χωνευτή. Τα δείγματα λήφθηκαν από το 1992 ως το 1999.

Μια παραλλαγή ενός συστήματος SFS είναι οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας στο **Schlanstedt** που έχουν μια κλίση 3%. Οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας κατασκευάστηκαν τον Απρίλιο του 1998 και αντιμετωπίζει τα λύματα 20 ισοδύναμων κατοίκων. Διαφέρει στην παράμετρο της κλίσης του 3% που έχει ο πυθμένας της λεκάνης. Καλύπτει επιφάνεια 100 m<sup>2</sup>, με βάθος 1m, με μήκος ροής 10 m. Υπάρχει μια αεροβική προεπεξεργασία που αφαιρεί ένα μερίδιο των θρεπτικών ουσιών. Η απόδοση καθαρισμού μετρήθηκε κάθε μήνα μεταξύ του Νοεμβρίου του 1998 και του Οκτωβρίου του 1999. Ο Πίνακας 1.3 δίνει τα αποτελέσματα των δύο αυτών χαρακτηριστικών συστημάτων υποεπιφανειακής ροής (SFS).

**Πίνακας 1.3 Αποτελέσματα μετρήσεων στα συστήματα SFS του Loburg και του Schlanstedt Γερμανίας (*Elsevier, Ecological Engineering 18, 2001*)**



	Loburg			Schlanstedt		
	Είσοδος	Έξοδος	% απόδοση	Είσοδος	Έξοδος	% απόδοση
COD	250,60	21,90	93,90	390,30	25,20	95,60
BOD <sub>5</sub>	123,50	8,50	95,20	162,30	8,10	96,60
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	54,10	3,40	95,60	77,50	20,20	82,10
NO <sub>3</sub> -N	10,20	10,50		2,50	24,50	
Συνολικό N	70,50	15,20	84,60	85,20	25,90	79,70
Συνολικό P	12,00	0,50	97,10	15,50	0,70	97,00

#### 1.4.2 Τεχνητοί Υδροβιότοποι Ελεύθερης Επιφάνειας ή Επιφανειακής Ροής (FWS)

##### Γενική περιγραφή

Τα συστήματα ελεύθερης επιφάνειας νερού είναι ένα είδος τεχνητών υδροβιότοπων οριζόντιας ροής (Horizontal Flow Wetlands – HFWs). αποτελούνται, συνήθως, από παράλληλες λεκάνες, κανάλια ή τάφρους με αδιαπέραστους πυθμένες, με αναφυόμενη φυτική βλάστηση και μικρό βάθος νερού (0,1-0,6 m). Είναι το πιο διαδεδομένο σύστημα τεχνητών υδροβιότοπων. Η πλέον κοινή χρήση των συστημάτων αυτών είναι η δευτεροβάθμια επεξεργασία αστικών υγρών αποβλήτων που προέρχονται κυρίως από μικρούς οικισμούς μικρότερους των 2.000 ισοδυνάμων κατοίκων.

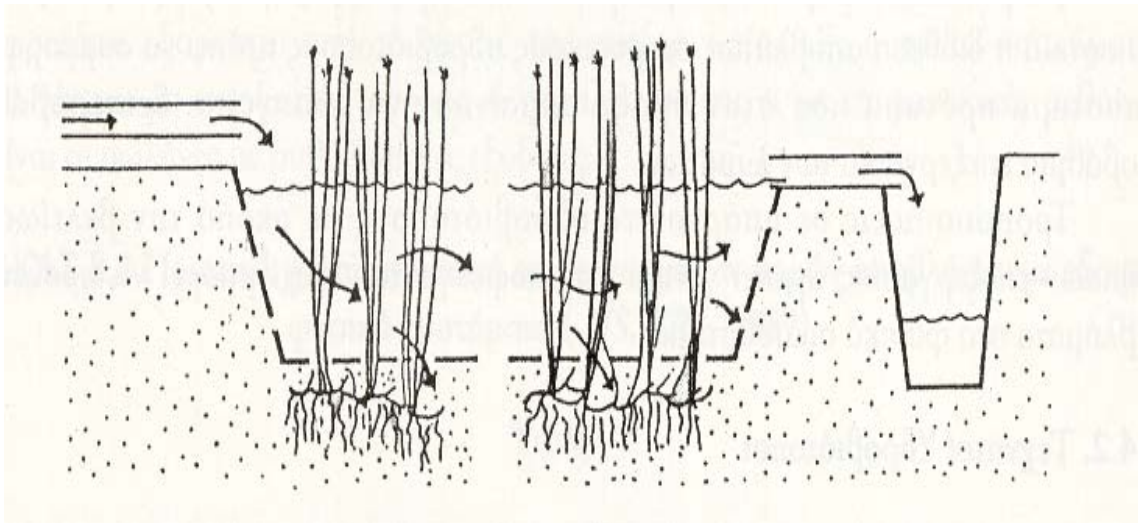
Σε τέτοια συστήματα εφαρμόζονται συνεχώς προεπεξεργασμένα υγρά απόβλητα και η περαιτέρω επεξεργασία τους διενεργείται, καθώς η εφαρμοζόμενη εκροή του ρέει με μικρή ταχύτητα δια μέσου των στελεχών των ριζωμάτων της υφιστάμενης φυτικής βλάστησης και του υφιστάμενου υποστρώματος.

Τα συστήματα αυτά έχουν ως χαρακτηριστικό την κίνηση του νερού κυρίως πάνω από την επιφάνεια του εδάφους και σε ύψος που καθορίζετε από τις λειτουργικές ανάγκες του συστήματος. Η ποσότητα του νερού που διέρχεται μέσα από το υπόστρωμα είναι περιορισμένη. Περιορισμένο επίσης είναι και το ποσοστό του συνολικού καθαρισμού του νερού που οφείλετε στην παρουσία και τα χαρακτηριστικά του υποστρώματος.

Αποκλειστικός ρόλος του υποστρώματος είναι η δημιουργία ενός ιδανικού περιβάλλοντος για την υγιή και εύκολη ανάπτυξη των φυτών. Μάλιστα θα πρέπει να είναι και σχετικά συμπαγές έτσι ώστε να ελαχιστοποιεί την κίνηση του νερού μέσα από το αυτό.

Τα προς επεξεργασία υγρά απόβλητα κινούνται κάτω από τη φυσική επίδραση της βαρύτητας εξαιτίας της μικρής κλίσης της επιφάνειας του συστήματος αλλά κυρίως από την εισροή στο σύστημα νέων ποσοτήτων λυμάτων που ωθούν τα υπάρχοντα λύματα προς την έξοδο του συστήματος.

Στο είδος αυτό των τεχνητών υδροβιότοπων τα απόβλητα ρέουν οριζόντια διαμέσου συστάδας καλαμιών και άλλων εμφυτευμένων φυτών σε κατασκευασμένο ρηχό σκάμμα-λεκάνη (βάθους έως 60 cm) με τη βοήθεια μικρής κλίσης που είναι συνήθως της τάξης του 1%. (Σχήμα 1.2)



**Σχήμα 1.2 Σχηματική παρουσίαση συστημάτων ελεύθερης επιφάνειας νερού (FWS) ( Tchobanoglous and Burton, 1996).**

Τα μειονεκτήματά τους είναι:

- Η μικρή αποτελεσματικότητα ανά μονάδα επιφάνειας και επομένως η μεγάλη απαίτηση των συστημάτων αυτών σε επιφανειακή κάλυψη.
- Η παρουσία κουνουπιών λόγω της ελεύθερης επιφάνειας του νερού. Όμως η έντονη παρουσία καλά ανεπτυγμένων φυτών έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία σκιασμένων περιοχών οι οποίες μειώνουν την δυνατότητα ανάπτυξης κουνουπιών (*Knight RL et al., 2003*).
- Η εμφάνιση οσμών λόγω των αποσυνθετικών διαδικασιών που πραγματοποιούνται στο στρώμα του νερού. Επειδή η επιφάνεια των λυμάτων είναι ελεύθερη τα συστήματα αυτά έχουν ένα σημαντικό πρόβλημα οσμών. Όμως το πρόβλημα δεν είναι και τόσο σημαντικό γιατί η δράση των φυτών να μειώνουν τη διαρροή των οσμών αλλά και να επεξεργάζονται τις οσμές που ελευθερώνονται αποτελεί μια πολύ καλή λύση στο πρόβλημα (*Griffin P., Upton J., 1999*).

#### Διαδικασία λειτουργίας - απομάκρυνση ρύπων

Η λειτουργία τους βασίζεται στην παρουσία μικροοργανισμών – βακτηριδίων στους μίσχους και τις ρίζες των εμφυτευμένων φυτών και στην εξατμισοδιαπνοή. Τα φυτά λειτουργούν επίσης και ως ένα είδος παρεμπόδισης της ροής του νερού έτσι ώστε να παραμείνουν περισσότερο χρόνο στο βιότοπο.

Η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων επέρχεται κατά την επαφή των αποβλήτων με τη βιομάζα των φυτών που έχει αναπτυχθεί. Η δράση αυτή είναι φυσική, μικροβιακή – βιολογική αλλά και χημική. Αντικειμενικός σκοπός του συστήματος είναι η ανάπτυξη μια πλούσιας βιομάζας ή καλύτερα συμπλέγματος φυτικών ιστών από ζωντανά αλλά και

νεκρά φυτά. Άρα κορυφαία παράμετρος επιτυχίας του συστήματος αποτελεί η ανάπτυξη μιας πλούσιας φυτικής βλάστησης.

Οι παράγοντες που μπορούν να αλλάξουν είναι η κλίση της επιφάνειας του τελικού επάνω εδαφικού στρώματος, η διάταξη των στρωμάτων του χώματος ή του αμμοχάλικου ή οτιδήποτε άλλο υλικού χρησιμοποιείται για την πλήρωση του σκάμματος και η διευθέτηση της εισόδου και της εξόδου

Το ύψος των λυμάτων πάνω από την επιφάνεια του συστήματος εξαρτάται από τις λειτουργικές ανάγκες του συστήματος και στα καλά σχεδιασμένα συστήματα μπορεί να μεταβάλλεται από εποχή σε εποχή. Η ρύθμιση του ύψους του νερού καθορίζεται από τη γωνία κλίσης των σωλήνων εκροής, με βάση την αρχή των συγκοινωνούντων δοχείων. Ως ελάχιστο ύψος του νερού θεωρείται αυτό των 10 cm ενώ μπορεί να φτάνει και τα 60 cm. Ο Tchobanoglous αναφέρει ως ιδανικό ύψος νερού αυτό των 10 έως 30 cm (Tchobanoglous and Burton, 1996). Το ύψος του νερού μέσα στο σύστημα καθορίζει μια σειρά από παραμέτρους όπως

- Το χρόνο παραμονής των λυμάτων για μια καθορισμένη ροή. Αυξάνοντας το ύψος του νερού αυξάνετε και ο ενεργός όγκος του συστήματος.
- Η κυριαρχία αερόβιων η αναερόβιων συνθηκών μέσα στο σύστημα. Καθώς το ύψος του νερού αυξάνει μειώνετε η δυνατότητα ικανών ποσοτήτων οξυγόνου να διηθηθούν μέσα στα λύματα. Από την άλλη η αυξημένη παραμονή των λυμάτων σε λιμνάζουσα κατάσταση οδηγεί στην πιο γρήγορη κατανάλωση οξυγόνου.

Χαρακτηριστικά παραδείγματα εφαρμογών και αποδόσεις τους

Στις Η.Π.Α. τα δύο τρίτα των τεχνητών υδροβιότοπων είναι επιφανειακής ροής (FWS). Από την άλλη στο σχεδιαστικό manual της Seven Trent Water plc και το Water Research Council γίνεται ελάχιστη αναφορά στα συστήματα αυτά. Αυτό είναι χαρακτηριστικό της σχεδόν ανύπαρκτης παρουσίας των συστημάτων αυτών στη Μεγάλη Βρετανία. Αντίθετα μια σειρά από δημοσιεύσεις σε επιστημονικά περιοδικά αναφέρουν εκτεταμένη χρήση των συστημάτων αυτών στη Βόρεια Ευρώπη και κυρίως σε περιοχές με σκληρό χειμώνα όπως Σουηδία και Νορβηγία (*Dialynas G. et al., 2002*), (*Wittgren HB, Maehlum T., 1997*).

Από τα δύο αυτά φυσικά συστήματα, το σύστημα Επιφανειακής Ροής υπερτερεί σε σχέση με το σύστημα Υπο-επιφανειακής Ροής στα εξής σημεία:

- \* η διεθνής εμπειρία έχει δείξει ότι στα συστήματα αυτά παρουσιάζονται τα λιγότερα προβλήματα, μια και τα συστήματα υποεπιφανειακής ροής κινδυνεύουν με φράξιμο των πόρων του υποστρώματος.
- \* το κόστος κατασκευής είναι χαμηλότερο μια και δεν απαιτείται η μεταφορά χαλκικών για την πλήρωση των υδροβιότοπων, όπως στα υποεπιφανειακής ροής.
- \* υπάρχει η δυνατότητα πλήρους αντιμετώπισης πιθανών οσμών όσο και των εντόμων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Ο ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΥΓΡΟΒΙΟΤΟΠΩΝ

Σε αυτό το κεφάλαιο δίνονται οι ακριβείς διαστάσεις των υγροβιότοπων οι οποίες εξαρτώνται από την εκτίμηση της ποσότητας του νερού το οποίο θα συλλέγουμε από το τοπικό οδικό δίκτυο και θα διοχετεύουμε στον υγροβιότοπο.

### 2.1 Διαστασιολόγηση

#### Εισαγωγή

Σκοπός της μελέτης αυτής είναι η κατασκευή τεσσάρων πειραματικών υγροβιότοπων στην περιοχή της Χερσονήσου για την επεξεργασία των υδάτινων εκροών του παρακείμενου αυτοκινητοδρόμου. Για την πειραματική αυτή διάταξη απαιτήθηκαν:

- Δύο υγροβιότοποι υποεπιφανειακής ροής
- Δύο υγροβιότοποι ελεύθερης επιφάνειας νερού ή επιφανειακής ροής
- Μία δεξαμενή προσωρινής συγκράτησης εισροών

- Ένας μετρητής εισερχόμενης ροής (Parshall)
- Μία βαλβίδα ελεγχόμενης λειτουργίας με χρονοδιακόπτη
- Ένας αγωγός απομάκρυνσης εκροών
- Ένα βροχόμετρο
- Περίφραξη

Η συγκεκριμένη μελέτη περιλαμβάνει το σχεδιασμό και τον καθορισμό των τεχνικών χαρακτηριστικών του συνόλου των προαναφερθέντων μονάδων

### **2.1.1 Χώρος εγκατάστασης**

Τα βασικά χαρακτηριστικά του κατάλληλου χώρου εγκατάστασης των υδροβιότοπων που αναζητήθηκαν ήταν:

- i) Σχετικά κοντινή απόσταση από το ΑΤΕΙ Κρήτης
- ii) Ύπαρξη σχετικά νέου οδικού δικτύου που συνοδεύετε και από τα απαραίτητα συστήματα στράγγισης
- iii) Επίπεδο γήπεδο της τάξης των 1500 με 2000 τετραγωνικών μέτρων παρακείμενη του οδικού δικτύου
- iv) Εύκολη πρόσβαση του γηπέδου

Συνολικά εξετάστηκαν 11 διαφορετικά γήπεδα σε μια περίοδο μιας εβδομάδας, με την επιλογή τελικά ενός χώρου στην περιοχή του Δήμου Χερσονήσου κατάντη της Εθνικής Οδού Ηρακλείου-Αγίου Νικολάου, κοντά στον οικισμό του Πισκοπιανού. Πέρα από τα ιδανικά χαρακτηριστικά και θέση του γηπέδου, ρόλο στην επιλογή έπαιξε και η ένθερμη υποστήριξη της συνεργασίας από το Δήμαρχο, κ. Σπυρίδων Δανέλη.

## **2.2 Σχεδιαστικά δεδομένα**

### **2.2.1 Διαθέσιμη έκταση**

Η περιοχή της τοποθέτησης των τεχνητών υγροβιότοπων είναι περιορισμένης εκτάσεως.

Τοπογραφικό



### **2.2.2 Δεξαμενή προσωρινής αποθήκευσης**

Η ύπαρξη της δεξαμενής προσωρινής αποθήκευσης είναι αναγκαία κι αυτό γιατί τα προς επεξεργασία λύματα προέρχονται από την βροχή, δηλαδή από μία μη σταθερής ροής πηγή.

### **2.2.3 Χαρακτηριστικά δρόμου**

Το μήκος του δρόμου που απομονώθηκε για την συλλογή των εκροών είναι 1300m. Χρησιμοποιήθηκε όμως μόνο το  $\frac{1}{2}$  της κατά μήκους τομής (4m). Δηλαδή η συλλογή των εκροών έγινε από επιφάνεια  $1300 \times 4 = 5.200\text{m}^2$ .

Υγροβιότοποι υποεπιφανειακής ροής (SFS).

Τεχνικά χαρακτηριστικά:

- Σχέση Πλάτους - Μήκους: 2:1
- Διαστάσεις (ΠxΜ):  $8 \times 4 = 32 \text{ m}^2$
- Ωφέλιμο βάθος: 0,45 m
- Μέσο Ύψος Πληρωτικού Υποστρώματος (Χαλίκι) στο Κέντρο: 0,50 m
- Μέσο Ύψος Πληρωτικού Υποστρώματος (Κροκάλες) στα Άκρα: 0,60 m
- Συνολικό Βάθος: 1,06 -1,10 m

- Μέγιστο Βάθος Εκσκαφών: 1,0 m
- Πληρωτικά Υλικά: Πίνακας 1.

**Πίνακας 2.1 Μέγεθος, πορώδες, διαστάσεις και αναγκαία ποσότητα πληρωτικών υλικών**

Χαρακτηριστικά	Υλικό		
	10 – 20 mm	30 – 40 mm	50 - 100 mm
Πορώδες	0,35	0,42	0,48
Αριθμός κελιών	1	1	2
Διαστάσεις κελιών (Π x Μ x Υ)	8 x 2,6 x 0,1	8 x 2,6 x 0,4	8 x 0,7 x 0,6
Συνολικός όγκος υλικού	2,08 m <sup>3</sup>	8,32 m <sup>3</sup>	6,72 m <sup>3</sup>
Ωφέλιμες διαστάσεις κελιών (Π x Μ x Υ)	8 x 2,6 x 0,05	8 x 2,6 x 0,4	8 x 0,7 x 0,45
Συνολικός ωφέλιμος όγκος υλικού	1,04 m <sup>3</sup>	3,5 m <sup>3</sup>	5,04 m <sup>3</sup>
Ωφέλιμος κενός όγκος	0,364 m <sup>3</sup>	3,5 m <sup>3</sup>	2,42 m <sup>3</sup>
<b>Σύνολο ωφέλιμου κενού όγκου</b>	<b>0,364 + 3,50 + 2,42 = 6,3 m<sup>3</sup></b>		

Για τον SSF1 ο ελάχιστος υδραυλικός χρόνος παραμονής ορίζεται στις 24 ώρες. Ως αποτέλεσμα η μέγιστη επιτρεπόμενη ροή είναι αυτή των **6,3 m<sup>3</sup>/d**. Για τον SSF2 ο ελάχιστος υδραυλικός χρόνος παραμονής ορίζεται στις 12 ώρες. Ως αποτέλεσμα η μέγιστη επιτρεπόμενη ροή είναι αυτή των **12,6 m<sup>3</sup>/d**. Συνολικά η μέγιστη επιτρεπόμενη εισερχόμενη ροή και στους δύο υποεπιφανειακούς υδροβιότοπους είναι αυτή των **18,9**

**m<sup>3</sup>/d.** Στον πίνακα 2.2 καταγράφονται τα απαραίτητα υλικά και οι ποσότητες που απαιτούνται για την κατασκευή των δύο αυτών υδροβιότοπων.

**Πίνακας 2.2 Υλικά κατασκευής δύο υδροβιότοπων υποεπιφανειακής ροής.**

<b>Υλικό</b>	<b>Τεχνικά χαρακτηριστικά</b>	<b>Ποσότητα</b>
<b>Χαλίκι Α</b>	10 – 20 mm	2,5 m <sup>3</sup>
<b>Χαλίκι Β</b>	30 – 40 mm	7,5 m <sup>3</sup>
<b>Κροκάλες</b>	50 – 100 mm	11,0 m <sup>3</sup>
<b>Μεμβράνη</b>	1 – 3 mm	160 m <sup>2</sup>
<b>Αγωγός απορροής</b>	Φ 150	24 m
<b>Αρθρωτή Σωληνοειδής Γωνία</b>	Φ 150	2
<b>Φυτά</b>	Πέντε / διαθέσιμο m <sup>2</sup>	90

(αναλυτική παρουσίαση σχεδίων)  
τομή υποεπιφανειακής ροής

### Υγροβιότοποι ελεύθερης επιφάνειας νερού ή επιφανειακής ροής (FWS)

#### Τεχνικά χαρακτηριστικά

- Σχέση Πλάτους – Μήκους :  $\approx 1: 3,5$
- Διαστάσεις (Π x Μ):  $3 \times 11 = 33 \text{ m}^2$
- Μέσο Ωφέλιμο Βάθος Νερού: 0,20 m
- Μέσο Ύψος Υποστρώματος (Εδαφος) στο Κέντρο: 0,40 m
- Μέσο Ύψος Κροκάλων (50 – 100 mm) στα Άκρα: 0,80 m
- Συνολικό Βάθος: 1,10 m
- Μέγιστο Βάθος εκσκαφών: 1,0m

Για τον FWS1 ο ελάχιστος υδραυλικός χρόνος παραμονής ορίζεται στις 24 ώρες. Ως αποτέλεσμα η μέγιστη επιτρεπόμενη ροή είναι αυτή των **6,3 m<sup>3</sup>/d**. Για τον FWS2 ο ελάχιστος υδραυλικός χρόνος παραμονής ορίζεται στις 12 ώρες. Ως αποτέλεσμα η μέγιστη επιτρεπόμενη ροή είναι αυτή των **12,6 m<sup>3</sup>/d**. Συνολικά η μέγιστη εισερχόμενη επιτρεπόμενη ροή είναι αυτή των **18,9 m<sup>3</sup>/d**. Στον πίνακα 2.3 καταγράφονται τα απαραίτητα υλικά και οι ποσότητες που απαιτούνται για την κατασκευή των δύο αυτών υγροβιότοπων.

#### **Πίνακας 2.3 υλικά κατασκευής δύο υγροβιότοπων επιφανειακής ροής**

<b>Υλικό</b>	<b>Τεχνικά χαρακτηριστικά</b>	<b>Ποσότητα</b>
<b>Έδαφος (Υπόστρωμα)</b>	Από τις εκσκαφές	15 m <sup>3</sup>
<b>Κροκάλες</b>	50 – 100 mm	8 m <sup>3</sup>
<b>Μεμβράνη</b>	1 – 3 mm	180 m <sup>2</sup>
<b>Αγωγός απορροής</b>	Φ 150	10 m
<b>Αρθρωτή Σωληνοειδής Γωνία</b>	Φ 150	2
<b>Φυτά</b>	Πέντε / διαθέσιμο m <sup>2</sup>	140

(αναλυτική παρουσίαση σχεδίων)

τομή επιφανειακής ροής

### Δεξαμενή προσωρινής συγκράτησης εισροών

#### Τεχνικά χαρακτηριστικά

- Μέγιστο Ωφέλιμο Πλάτος: 2,5 m
- Μέγιστο Ύψος: 1,8 m
- Μέγιστο Ωφέλιμο Ύψος: 1,6 m
- Μέγιστος Ωφέλιμος Όγκος: 38,6 m<sup>3</sup>
- Συνολικός Όγκος: 40 m<sup>3</sup>

### Μετρητής εισερχόμενης ροής - Σύστημα Parshall

Η κατασκευή του Parshal έγινε για να μπορεί να υπολογιστεί η ροή (m<sup>3</sup>/h) νερού που εισρέει στην δεξαμενή προσωρινής αποθήκευσης από το τμήμα της Εθνικής Οδού.

(αναλυτική παρουσίαση δεξαμενής)  
όλο το σύστημα κάτοψη



(αναλυτική παρουσίαση συστήματος)

Parshall

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ**

### **3.1 Τοπογραφικό και λήψη υψομετρικών διαφορών οικοπέδου**

Τα βασικά χαρακτηριστικά του κατάλληλου χώρου εγκατάστασης των υδροβιότοπων που αναζητήθηκαν ήταν:

- i) Σχετικά κοντινή απόσταση από το ΑΤΕΙ Κρήτης
- ii) Ύπαρξη σχετικά νέου οδικού δικτύου που συνοδεύεται και από τα απαραίτητα συστήματα στράγγισης
- iii) Επίπεδο γήπεδο της τάξης των 1500 με 2000 τετραγωνικών μέτρων παρακείμενη του οδικού δικτύου
- iv) Εύκολη πρόσβαση του γηπέδου

Συνολικά εξετάστηκαν 11 διαφορετικά γήπεδα σε μια περίοδο μιας εβδομάδας ,με την επιλογή τελικά ενός χώρου στην περιοχή του Δήμου Χερσονήσου κατάντη της Εθνικής Οδού Ηρακλείου-Αγίου Νικολάου, κοντά στον οικισμό του Πισκοπιανού.

Πέρα από τα ιδανικά χαρακτηριστικά και θέση του γηπέδου, ρόλο στην επιλογή έπαιξε και η ένθερμη υποστήριξη της συνεργασίας από το Δήμαρχο, κ. Σπυρίδων Δανέλη.

Αφού έγινε η επιλογή του οικοπέδου, μετέβη στην τοποθεσία εξειδικευμένο προσωπικό με τον απαραίτητο εξοπλισμό (ταχύμετρο, χωροβάτη, σταδία και μετροταινία), έτσι ώστε να κάνουν το τοπογραφικό του οικοπέδου και την λήψη υψομετρικών διαφορών για να έχουμε ακριβή εικόνα του γηπέδου.



**Φώτο 3.1 Χωροβάτης (όργανο λήψης υψομετρικών διαφορών)**



**Φώτο 3.2 Σταδία**

### **3.2 Χάραξη όλου του συστήματος των υγροβιότοπων στο οικόπεδο**

Μετά την λήψη των υψομετρικών διαφορών και την επίσκεψη μας στο οικόπεδο, διαπιστώσαμε ότι το μεγαλύτερο τμήμα του, βρίσκεται υψομετρικά χαμηλότερα από την στάθμη της Εθνικής Οδού. Από την πλευρά της Εθνικής Οδού υπάρχει πρανές το οποίο συνδέει αυτή την ανισοσταθμία. Εκεί αποφασίστηκε να τοποθετηθεί η δεξαμενή προσωρινής συγκέντρωσης, έτσι ώστε οι εκροές να κυλούν με φυσική ροή προς τους υγροβιότοπους. Στα όρια του οικοπέδου υπάρχει σύστημα στράγγισης εκροής των υδάτων ενός σημαντικού τμήματος της Εθνικής Οδού, όπου εκεί θα κατασκευαστεί ένα φρεάτιο συλλέκτης και με αγωγό οι εκροές θα οδηγούνται προς στην δεξαμενή προσωρινής συγκέντρωσης.

Μετά την ολοκλήρωση του τοπογραφικού και με βάση τον σχεδιασμό και την διαστασιολόγηση των δεξαμενών έγινε η χάραξη όπως φαίνεται στην εικόνα 3.4.

Κατά την χάραξη χρησιμοποιήθηκαν χαλύβδινοι πάσσαλοι οι οποίοι τοποθετήθηκαν στις γωνίες των υδροβιότοπων με την βοήθεια της μετροταινίας και του ταχύμετρου, χρωματιστή κορδέλα τοποθετώντας την στους χαλύβδινους πασσάλους. Με αυτόν τον τρόπο τοποθετήθηκε όλο το σύστημα των υδροβιότοπων στο γήπεδο.



**Φώτο 3.3 Διαδικασία χάραξης εκσκαφών**



**Φότο 3.4 Ολοκλήρωση διαδικασίας χάραξης**

### **3.3 Εκσκαφή δεξαμενών, υγροβιότοπων, φρεατίων και τάφρων**

Η εκσκαφή είναι απαραίτητη ώστε να επιτευχθούν οι απαραίτητες κλίσεις από την δεξαμενή προσωρινής συγκέντρωσης προς τους υγροβιότοπους, (λόγω ανεπαρκούς κλίσης) για την φυσική ροή των υδάτων.

Η έναρξη της εκσκαφής ξεκίνησε στα μισά του Αυγούστου 2004, όμως κάτω από ένα επιφανειακό στρώμα εδάφους, υπήρχε πέτρα που ανάγκασε τη χρήση σφύρας (βλέπε εικόνα 3.7).

Το πέτρωμα ήταν πορώδες, κι αυτό είχε ως συνέπεια να απορροφά τους κραδασμούς, δυσχεραίνοντας την ταχύτητα κατασκευής του έργου και αυξάνοντας σημαντικά το κόστος του. Όπως παρατηρούμε στην εικόνα 3.3 το οικόπεδο βρίσκεται σε τουριστική περιοχή, γεγονός που οδήγησε στην προσωρινή διακοπή του έργου μέχρι το πέρας της τουριστικής περιόδου, λόγω ηχορύπανσης (δεν επιτρέπει την πραγματοποίηση έργων σε

τουριστικές περιοχές πριν τις 25 Σεπτεμβρίου), με αποτέλεσμα την επανέναρξη της εργασίας αυτής μετά από ένα μήνα περίπου, όπου και περαιώθηκε τέλος Οκτώβρη. Η εκσκαφή πραγματοποιήθηκε με μηχανικά μέσα (Εκσκαφέας με σφύρα, JCB, φορτηγό αυτοκίνητο). Μετά την ολοκλήρωση της εργασίας των μηχανημάτων, η εξομάλυνση της επιφάνειας εκσκαφής έγινε χειρονακτικά.



**Φώτο 3.5 Μηχάνημα που χρησιμοποιήθηκαν κατά την εκσκαφή**



**Φότο 3.6 Ολοκλήρωση εργασίας μηχανημάτων**



**Φότο 3.7 Πέτρωμα που συναντήσαμε κατά την εκσκαφή**



### 3.4 Κατασκευή συστήματος υπερχειλίσης και εκροής υδάτων από τους Υγροβιότοπους

Με βάση τον σχεδιασμό, το σύνολο των υδάτων που θα συγκεντρωθεί από το τμήμα της Εθνικής Οδού θα πρέπει να ογκομετρηθεί. Επειδή όμως η δεξαμενή προσωρινής συγκέντρωσης, έχει πεπερασμένες δυνατότητες (λόγω μικρής χωρητικότητας) και στην Κρήτη όπως είναι γνωστό υπάρχουν έντονες βροχοπτώσεις, κρίθηκε απαραίτητη η κατασκευή συστήματος υπερχειλίσης. Για λόγους εξοικονόμησης χρημάτων ανά ζεύγος υγροβιότοπων τοποθετήθηκε σωλήνας που οδηγήθηκε προς το σύστημα υπερχειλίσης όπου και εκρέει στον τεχνικό αγωγό που είχε κατασκευαστεί με την κατασκευή της Εθνικής Οδού.

Για την τοποθέτηση του συστήματος υπερχειλίσης, χρησιμοποιήθηκαν σωλήνα P.V.C. Φ315 (ίδια διατομή σωλήνα που χρησιμοποιήσαμε και στην εισροή των υδάτων, έτσι ώστε να μην έχουμε πρόβλημα στην λειτουργία του συστήματος), ειδικά εξαρτήματα για την σύνδεση των σωλήνων (γωνίες κλειστές, γωνίες ανοιχτές, καμπύλα τμήματα κ.τ.λ) και ειδικευμένο προσωπικό.

Για την τοποθέτηση των σωληνώσεων από τους υγροβιότοπους προς την σωλήνα υπερχειλίσης χρησιμοποιήθηκαν σωλήνα P.V.C. Φ200, ειδικά εξαρτήματα (καπέλο) για την σύνδεση των σωλήνων και ειδικευμένο προσωπικό.



**Φώτο 3.8** Σύνδεση συστήματος υπερχειλίσης με ζεύγος υγροβιότοπων



**Φώτο 3.9** Σύνδεση συστήματος υπερχειλίσης με δεξαμενή προσωρινής αποθήκευσης



**Φώτο3.10** Σύνδεση συστήματος υπερχειλίσης με τεχνικό αγωγό

### **3.5 Επιχωμάτωση τάφρου από όπου διέρχεται σύστημα υπερχειλίσης και δημιουργία αναχώματος γύρω από τους υδροβιότοπους**

Με βάση τον σχεδιασμό οι υδροβιότοποι έπρεπε να έχουν συγκεκριμένο ύψος , λόγω του πετρώματος αποφασίσθηκε η εκσκαφή να πραγματοποιηθεί σε τέτοιο βάθος, όσο είναι απαραίτητο για να έχουμε επαρκείς κλίση για την εκροή των υδροβιότοπων και το ύψος τους να το δημιουργήσουμε με αναχώματα γύρω από αυτούς, προσδοκώντας πάντα την μείωση του κόστους του έργου.

Για την δημιουργία αναχώματος χρησιμοποιήθηκε καθαρό χώμα το οποίο μεταφέρθηκε από κοντινό σημείο εκσκαφής. Το ανάχωμα έγινε με εργατικό προσωπικό. Λόγω έντονων και συνεχών βροχοπτώσεων (την εποχή που έγινε η εργασία αυτή, ήταν χειμώνας), είχαμε πολτοποίηση των αναχωμάτων με συνέπεια να μεταφερθούν μάζες χώματος εντός των υδροβιότοπων και τον αναγκασμό για την επαναδημιουργία αυτών και τον καθαρισμό των δεξαμενών, με αποτέλεσμα την χρονική καθυστέρηση του έργου.

Για την επιχωμάτωση της τάφρου χρησιμοποιήθηκε, καθαρό χώμα διότι η σωλήνα του συστήματος υπερχειλίσης είναι πλαστική και κύριο μέλημά μας ήταν να μην την τραυματίσουμε και μας παρουσιάσει στο μέλλον τυχόν διαρροή, μεταφέρθηκε με φορτηγό αυτοκίνητο. Η επιχωμάτωση έγινε με εργατικό προσωπικό. Χρησιμοποιήσαμε δονητική πλάκα έτσι ώστε να εξασφαλίσουμε την δυνατή συμπίκνωση για τυχόν καθίζηση στο μέλλον.



**Φώτο 3.11 Δημιουργία αναχώματος γύρω από τους υδροβιότοπους ελεύθερης επιφάνειας**



**Φώτο 3.12 Δημιουργία αναχώματος γύρω από τους υδροβιότοπους υπό επιφανειακής ροής**



**Φώτο 3.13 Επιχωμάτωση συστήματος υπερχείλισης**

### **3.6 Τοποθέτηση σωλήνας από υπάρχον τεχνικό εκροής υδάτων της Εθνικής οδού προς την δεξαμενή προσωρινής αποθήκευσης.**

Ύστερα από επίσκεψή μας στο γήπεδο διαπιστώθηκε ότι δεν υπήρχε κάποιος λόγος η σωλήνα που θα οδηγούσε τα ύδατα από το ήδη υπάρχον τεχνικό εκροής υδάτων Εθνικής Οδού προς την δεξαμενή προσωρινής συγκέντρωσης, να εγκυβωτιστεί στο έδαφος διότι τοποθετώντας την στο πρανές του οικοπέδου (ενώνει την ανισοσταθμία του οικοπέδου με την Εθνική Οδό) έχουμε λιγότερη οικονομική επιβάρυνση για το έργο, δεν υπάρχει περίπτωση κατολίσθησης, είναι δύσκολη η πρόσβαση για κάποιον άνθρωπο και έτσι αποφασίστηκε να τοποθετηθεί στο πρανές.

Για την τοποθέτηση του σωλήνα χρησιμοποιήθηκαν σωλήνα P.V.C. Φ315, (ίδια διατομή με την διατομή του συστήματος υπερχείλισης) ειδικά εξαρτήματα (γωνίες κλειστές, γωνίες ανοιχτές, καμπύλα τμήματα κ.τ.λ) για την σύνδεση των σωλήνων, ανοξειδωτοι (για την αποφυγή διάβρωσής τους) πάσσάλιοι μήκους ενός μέτρου για την στερέωση του σωλήνα και ειδικευμένο προσωπικό.



**Φώτο 3.14 Τεχνικό φρεάτιο απορροής υδάτων Εθνικής Οδού**



**Φώτο 3.15 Σωλήνας εισροής υδάτων από φρεάτιο Εθνικής Οδού προς δεξαμενή προσωρινής αποθήκευσης**

### **3.7 Κατασκευή δεξαμενής προσωρινής αποθήκευσης, φρεατίων εκροής-εισοής, Parshal**

Η κατασκευή της δεξαμενής προσωρινής αποθήκευσης εκροών του Εθνικού Οδικού δικτύου εσωτερικών διαστάσεων 6.00 μέτρα μήκους, 4.00 μέτρα πλάτους, 2.30 μέτρα βάθους, οφείλεται στην αναγκαιότητα διατήρησης ενός ελάχιστου υδραυλικού χρόνου παραμονής των εκροών, πριν την είσοδο τους στους υγροβιότοπους, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η επιθυμητή επεξεργασία.

Η καταρρακτώδη όμως μορφή των βροχοπτώσεων στην Κρήτη δεν θα επέτρεπε κάτι τέτοιο χωρίς την ύπαρξη μιας δεξαμενής προσωρινής αποθήκευσης και στην συνέχεια ελεγχόμενης διαρροής στις μονάδες επεξεργασίας. Λόγω της περιορισμένης υψομετρικής διαφοράς που είχαμε στο οικόπεδο μας, αποφασίσαμε να κατασκευαστεί η δεξαμενής προσωρινής αποθήκευσης υπέργεια, στο φρύδι του πρανούς, έτσι ώστε τα ύδατα εισροής και εκροής των πειραματικών μονάδων, να μετακινούνται με φυσική ροή, με σκοπό την μείωση του κόστους του έργου.

Λόγω του ότι η δεξαμενής προσωρινής αποθήκευσης είναι υπέργεια, τα φορτία που συγκεντρώνονται από τα ύδατα είναι από εσωτερικά της δεξαμενής προς τα έξω, γι' αυτό στην εσωτερική σχάρα τοποθετήθηκε οπλισμός Φ14/15 ενώ στην εξωτερική σχάρα Φ12/15. Τα πρόσθετα σίδηρα του οπλισμού ήταν Φ12/15 που τοποθετήθηκαν στις γωνίες της δεξαμενής και τα στηρίγματα Φ8 τα οποία έχουν σκοπό να κρατούν, ίδια απόσταση μεταξύ των δύο εσχάρων. Ο οπλισμός και η κατασκευή του ξυλότυπου (καλούπι από ξύλο) πραγματοποιήθηκαν από ειδικευμένα συνεργεία όπως βλέπουμε στην εικόνα 3.16.

Κατασκευαστικά πρώτα τοποθετήθηκε ο εξωτερικός ξυλότυπος μετά τοποθετήθηκε ο σιδηρός οπλισμός με επικάλυψη 2,5 cm από τον ξυλότυπο και αναμονή σύνδεσης δύο ράβδων μεταξύ τους μήκους ενός μέτρου και στην συνέχεια τοποθετήθηκε ο εσωτερικός ξυλότυπος σε απόσταση 30 cm από τον εξωτερικό ξυλότυπο και επικάλυψη από τον σιδηρό οπλισμό 2,5 cm.

Κατά την σκυροδέτηση χρησιμοποιήθηκε σκυρόδεμα C16/20, αντλία σκυροδέματος, μεταφορέα σκυροδέματος (μπετονιέρα), δονητής σκυροδέματος για την καλύτερα δυνατή συμπύκνωση του σκυροδέματος (σημαντικός ρόλος στην αντοχή του σκυροδέματος) και εργατικό προσωπικό για την διάστρωσή του στον πυθμένα.



**Φώτο 3.16 Ξυλότυπος & σιδηρός οπλισμός δεξαμενής προσωρινής αποθήκευσης**

Η κατασκευή του Parshal έγινε για να μπορεί να υπολογιστεί η ροή ( $m^3/h$ ) νερού που εισρέει στην δεξαμενή προσωρινής αποθήκευσης από το τμήμα της Εθνικής Οδού. Τοποθετήθηκε κατά μήκος της δεξαμενής προσωρινής αποθήκευσης, απ' την πλευρά του πρανούς. Κατασκευάστηκε από σκυρόδεμα και το καλούπι του ήταν εξωτερικά από ξυλεία και εσωτερικά από felizol κομμένο στις διαστάσεις που απαιτούνταν, το οποίο μετά την σκυροδέτηση αφαιρέθηκε. Λόγω ότι σε διαστήματα έντονων βροχοπτώσεων θα υπάρχει μεγάλη εισροή υδάτων αμέσως μετά τον Parshal κατασκευάστηκε ένα επίπεδο υψομετρικά χαμηλότερο από την στάθμη του πυθμένα για να μην συγχέονται τα ύδατα και να μην επηρεάζεται η μέτρηση της ποσότητας των υδάτων που εισρέουν στην δεξαμενή προσωρινής συγκέντρωσης.





**Φώτο 3.17 Ογκομετρητής υδάτων Parshal**

Ήταν σημαντικό για την σωστή πειραματική λειτουργία να υπάρχει ελεγχόμενη εκροή των υδροβιότοπων, αυτός ήταν καταλυτικός λόγος για την απόφαση της κατασκευής των φρεατίων εκροής. Την εκροή των υδροβιότοπων την ελέγχουμε με σωλήνα που τοποθετώντας την στην διάτρητη σωλήνα εκροής των υδροβιότοπων και σηκώνοντας την προς τα πάνω δημιουργούμε συγκοινωνούντα δοχεία, σταματώντας με αυτό τον τρόπο την στάθμη των υδάτων εντός των υδροβιότοπων εκεί που θέλουμε, όπως βλέπουμε στην εικόνα 3.20.

Ως κύριο μέλημα ήταν η μείωση του κόστους του έργου για αυτό κατασκευάσαμε δυο φρεάτια ενώ έχουμε τέσσερις υδροβιότοπους. Ένα φρεάτιο εκροής για τους δυο υδροβιότοπους ελεύθερης ροής, διαστάσεων 1.00 μέτρο μήκους, 1.80 μέτρα πλάτους, 1.30 μέτρα βάθους και ένα φρεάτιο εκροής για τους δυο υδροβιότοπους υποεπιφανειακής ροής διαστάσεων 3.10 μέτρα μήκους, 1.20 μέτρα πλάτους, 1.30 μέτρα βάθους.

Κατασκευαστικά πρώτα τοποθετήθηκε ο εξωτερικός ξυλότυπος μετά τοποθετήθηκε ο σιδηρός οπλισμός με επικάλυψη 2,5 cm από τον ξυλότυπο, με εσωτερική σχάρα Φ10/15 και εξωτερική σχάρα Φ12/15 για το λόγο του ότι εξωτερικά ασκούνται φορτία από τις πιέσεις των γαιών, και στην συνέχεια τοποθετήθηκε ο εσωτερικός ξυλότυπος σε απόσταση 25 cm από τον εξωτερικό ξυλότυπο και επικάλυψη από τον σιδηρό οπλισμό 2,5 cm.

Κατά την σκυροδέτηση χρησιμοποιήθηκε σκυροδέμα C16/20, αντλία σκυροδέματος, μεταφορέα σκυροδέματος (μπετονιέρα), δονητής σκυροδέματος για την καλύτερα δυνατή συμύκνωση του σκυροδέματος (σημαντικός ρόλος στην αντοχή του σκυροδέματος) και εργατικό προσωπικό για την διάστρωσή του στον πυθμένα.

Παράλληλα τοποθετήθηκε και η διάτρητη σωλήνα εκροής P.V.C. Φ200 των υγροβιότοπων και η εξαέρωση του σωλήνα εκροής από P.V.C. Φ200 οι οποίοι τοποθετήθηκαν από ειδικευμένο προσωπικό με τα ειδικά εξαρτήματα τους.



**Φώτο 3.18 Ξυλότυπος & σιδηρός οπλισμός φρεατίων εκροής υγροβιότοπων**



**Φώτο 3.19 Τοποθέτηση σωλήνων (διάτρητοι) εκροής υγροβιότοπων**



**Φώτο 3.20 Ελεγχόμενη εκροή των υγροβιότοπων**

Ακόμα κατασκευάστηκε ένα φρεάτιο στον τεχνικό αγωγό εκροής των υδάτων από την Εθνική Οδό για την εισροή των υδάτων στην δεξαμενή προσωρινής αποθήκευσης το οποίο έχει εσωτερικές διαστάσεις 1 μέτρο μήκους 1,5 μέτρα πλάτος και 0,80 του μέτρου βάθος. Ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία κατασκευής με τα φρεάτια εκροής των υγροβιότοπων με επιπλέον σίδερα ύστερα από τρύπημα με τρυπάνι, για την σύνδεση του με τον τεχνικό αγωγό (το λεγόμενο χάνδρωμα του σπλισμού),βλέπε εικόνα 3.14.



**Φώτο 3.21 Ξυλότυπος & σιδηρός σπλισμός φρεατίου εισροής στον τεχνικό εκροής της Εθνικής Οδού**

### **3.8 Προμήθεια-μεταφορά και τοποθέτηση γεωφάσματος-μεμβράνης για την στεγάνωση των υδροβιότοπων**

Η μεμβράνη είναι πάχους δύο χιλιοστών και τοποθετήθηκε για την στεγάνωση των υδροβιότοπων.

Οι κυριότεροι λόγοι που αποφασίσαμε την χρησιμοποίηση της ήταν:

- i) Χαμηλό κόστος κατασκευής, άρα λιγότερη οικονομική επιβάρυνση στο έργο, και
- ii) Γρήγορη κατασκευή

Η μεμβράνη προμηθεύτηκε σε μορφή ρολό (βλέπε εικόνα 3.22) και η τοποθέτηση της έγινε από εξειδικευμένο προσωπικό το οποίο παρείχε ειδικά εξαρτήματα (λείζερ) για την συγκόλληση δυο μεμβρανών μεταξύ τους (βλέπε εικόνα 3.23). Ο περιορισμένος αριθμός τεχνιτών που γνωρίζουν και παρέχουν συγκολλητικό μηχάνημα που υπάρχουν στην Κρήτη μας ανάγκασε στην διακοπή του έργου για μικρό χρονικό διάστημα λόγω φόρτου εργασίας του συνεργείου συγκόλλησης.

Για την καλύτερη δυνατή στεγάνωση των υδροβιότοπων τοποθετήθηκε ένα στρώμα γεωφάσματος το οποίο εξυπηρετούσε στην δημιουργία ομαλότερης βάσης, για την αποφυγή σκισίματος της μεμβράνης η οποία τοποθετήθηκε αμέσως μετά. Μην ξεχνάμε άλλωστε ότι το έδαφος που συναντήθηκε στην εκσκαφή ήταν πετρώδες (βλέπε εικόνα 3.24).



**Φώτο 3.22** Μembrάνη πριν την τοποθέτηση της



**Φώτο 3.23** Ειδικό εξάρτημα συγκόλλησης μεμβρανών

Το γεωφάσμα και η μεμβράνη στρώθηκαν σε όλη την επιφάνεια των υδροβιότοπων και των αναχωμάτων, τοποθετήθηκαν κάτω από τους διάτρητους σωλήνες εκροής. Κατά την διάρκεια της εργασίας είχαμε βροχοπτώσεις και αυτό εμπόδιζε στην σωστή λειτουργία του συγκολλητικού μηχανήματος, καθώς έπρεπε οι μεμβράνες να είναι στεγνές. Λόγω ότι η Κρήτη έχει υγρό κλίμα δεν μπορούσε το συνεργείο να εργάζεται από το πρωί, με συνέπεια όλα τα παραπάνω να συντελέσουν στην καθυστέρηση κατασκευής του έργου.



**Φώτο 3.24 Τοποθέτηση γεωφάσματος-μεμβράνης**



**Φώτο 3.25 Προβλήματα των βροχοπτώσεων**

### **3.9 Πλήρωση υδροβιότοπων υποεπιφανειακής ροής**

Με βάση των σχεδιασμό, οι υδροβιότοποι υποεπιφανειακής ροής είναι δύο, διαστάσεων 8 μέτρα πλάτος (πλευρά εισόδου / εξόδου των εισροών / εκροών), 4 μέτρα μήκος και 1,2 μέτρα βάθος. Ωφέλιμο βάθος 0,5 m και πλήρωση του με κάθετα στη ροή (στρώση κατά πλάτος) στρώματα χαλικιών διαστάσεων 50 - 60 mm (για ένα μέτρο μήκους των υδροβιότοπων), διαστάσεων 30 - 40 mm με ύψος πλήρωσης 40 cm, διαστάσεων 10 mm με ύψος πλήρωσης 10 cm (για δύο μέτρα μήκους των υδροβιότοπων), διαστάσεων 50 - 60 mm (για ένα μέτρο μήκους των υδροβιότοπων), ο κάθε ένας.

Πριν την πλήρωση των υδροβιότοπων ελέγχθηκε η στεγανότητα τους γεμίζοντάς τους με νερό. Την επόμενη μέρα διαπιστώθηκε ότι δεν υπήρχε καμία διαρροή.

Με βάση των σχεδιασμό για την σωστή λειτουργία των υδροβιότοπων, απαιτούνταν η πλήρωση των θραυστών υλικών (χαλίκια). Ύστερα από την προμήθεια και μεταφορά των



θραυστών υλικών (το οποίο προμηθεύτηκε από λατομείο) χρησιμοποιήθηκε βυτίο νερού για την πλύση τους.

Κατασκευαστικά αντιμετωπίστηκε ένα ερώτημα-πρόβλημα <<Πως θα γινόταν η τοποθέτηση των θραυστών υλικών διαφορετικής διατομής χωρίς την ανάμιξή τους>>.

Το πρόβλημα λύθηκε με την δημιουργία ενός τεχνητού καλουπιού, το οποίο κατασκευάστηκε επί τόπου του έργου, με την βοήθεια έμπειρου προσωπικού με διαστάσεις 8 μέτρα πλάτος (όσο είναι οι υγροβιότοποι υπό επιφανειακής ροής), 2 μέτρα πλάτος και 0,50 μέτρα ύψος (βλέπε εικόνα 3.26).



**Φώτο 3.26 Κατασκευή τεχνητού καλουπιού για τον διαχωρισμό των υλικών στους υγροβιότοπους υπό επιφανειακής ροής**

Για την πλήρωση των υδροβιότοπων με θραυστών υλικών, χρησιμοποιήθηκε μηχανικός εκσκαφέας και εργατικό προσωπικό για την στρώση ενός στρώματος χαλικιών για την αποφυγή τραυματισμού ή σκισίματος της μεμβράνης, για την συγκράτηση του καλουπιού και για την διάστρωση των χαλικιών στην επιφάνεια πλήρωσης των υδροβιότοπων. Όλα τα παραπάνω συντέλεσαν στην σημαντική αύξηση του κόστους αυτής της εργασίας και συνάμα την οικονομική επιβάρυνση του έργου. Η στρώση των θραυστών υλικών διατομής 10 mm θα γίνει παράλληλα με την φύτευση των προεπιλεγμένων φυτών.



**Φώτο 3.27** Πλήρωση δεξαμενών με μηχανικό εκσκαφέα και διάστρωση υλικών με εργατικό προσωπικό



**Φώτο 3.28 Ολοκλήρωση πλήρωσης υγροβιότοπων υπό επιφανειακής ροής χωρίς την στρώση των 10 mm**

### **3.10 Πλήρωση υγροβιότοπων ελεύθερης ροής ή επιφανειακής ροής**

Με βάση τον σχεδιασμό, οι υγροβιότοποι ελεύθερης ροής ή επιφανειακής ροής είναι δύο, διαστάσεων 3,00 μέτρα πλάτους (πλευρά εισόδου / εξόδου των εισροών / εκροών), 11 μέτρα μήκους και 1,20 μέτρα βάθους. Ωφέλιμο βάθος 0,4 m και πλήρωση του με κάθετα στη ροή (στρώση κατά πλάτος) στρώματα χαλικιών διαστάσεων 50 - 60 mm (για ένα μέτρο μήκους και ενός μέτρου ύψους των υγροβιότοπων), στρώμα καθαρού χώματος (για 9 μέτρα μήκους των υγροβιότοπων) και χαλίκια διαστάσεων 50 - 60 mm (για ένα μέτρο μήκους και ενός μέτρου ύψους των υγροβιότοπων), ο κάθε ένας.

Πριν την πλήρωση των υγροβιότοπων ελέγχθηκε η στεγανότητα τους γεμίζοντάς τους με νερό. Την επόμενη μέρα διαπιστώθηκε ότι δεν υπήρχε καμία διαρροή.

Κατασκευαστικά για την πλήρωση των υγροβιότοπων χρησιμοποιήθηκε εργατικό προσωπικό για την στρώση των χαλικιών, για την αποφυγή τραυματισμού ή σκισίματος

της μεμβράνης και την διάστρωση του χώματος, του οποίου η τοποθέτηση πραγματοποιήθηκε με μηχανικό εκσκαφέα και η προμήθεια-μεταφορά του έγινε με φορτηγό αυτοκίνητο. Όλα τα παραπάνω συντέλεσαν στην σημαντική αύξηση του κόστους αυτής της εργασίας και συνάμα την οικονομική επιβάρυνση του έργου.



**Φώτο 3.29 Ολοκλήρωση πλήρωσης υγροβιότοπων επιφανειακής ή ελεύθερης ροής**

### **3.11 Φύτευση των υγροβιότοπων**

Με βάση σχετική βιβλιογραφική ανασκόπηση αλλά και με βάση της εμπειρίας της ομάδας εργασίας επιλέχθηκαν δύο φυτά: το γιγαντιαίο καλάμι *Arundo donax* (βλέπε εικόνα 3.30) και το *Phragmites australis* (βλέπε εικόνα 3.31). Με τη χρήση εκσκαφέα εκχερσώθηκαν παραπάνω από 300 ριζώματα από το κάθε φυτικό είδος. Στη συνέχεια καθαρίστηκαν και μεταφυτεύτηκαν σε γλάστρες. Για την περίοδο μέχρι την μεταφύτευσή τους ποτίζονταν μια φορά την εβδομάδα και μια φορά το μήνα με αραιό διάλυμα λιπάσματος. Τα φυτά μεταφέρθηκαν με τις γλάστρες στους υγροβιότοπους, εκεί αφαιρέθηκαν τα δοχεία και τα ριζώματα (μαζί με το υπόστρωμα τοποθετήθηκαν) στους υγροβιότοπους.



**Φώτο 3.30** Γιγαντιαίο καλάμι *Arundo donax*



**Φώτο 3.31** *Phragmites australis*

Στους υγροβιότοπους υπό επιφανειακής ροής φυτεύτηκαν τρεις κατά πλάτος σειρές φυτών, με 40 cm απόσταση το ένα φυτό από το άλλο.

Κατασκευαστικά ήταν δύσκολο να σκαφτεί το χαλίκι διαστάσεων 30 - 40 mm για την φύτευση των φυτών και μετά την πλήρωση του χαλικιού διαστάσεων 10 mm με εργατικό προσωπικό διότι απαιτήθηκαν πάρα πολλά ημερομίσθια για την ολοκλήρωση της εργασίας αυτής με συνέπεια την οικονομική επιβάρυνση του έργου.



**Φώτο 3.32 Φύτευση υγροβιότοπων υπό επιφανειακής ροής**



**Φώτο 3.33 Ολοκλήρωση φύτευσης υγροβιότοπων υπό επιφανειακής ροής και πλήρωσης αυτών με χαλίκι διαστάσεων 10 mm**

Στους υγροβιότοπους επιφανειακής ή ελεύθερης ροής φυτεύτηκαν τρεις κατά μήκος σειρές φυτών, με 50 cm απόσταση το ένα φυτό από το άλλο.

Εν αντίθεση με τους υγροβιότοπους υπό επιφανειακής ροής, οι υγροβιότοποι επιφανειακής ή ελεύθερης ροής κατασκευαστικά, η φύτευσή τους πραγματοποιήθηκε σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα με εργατικό προσωπικό.

Μετά την φύτευση των υγροβιότοπων ακολούθησε το πότισμα των φυτών (με την χρήση ποτιστικού λάστιχου) γεμίζοντας τους υγροβιότοπους με ύδατα της Εθνικής Οδού που είχαν συλλεχθεί στην δεξαμενή προσωρινής αποθήκευσης (βλέπε εικόνα 3.35).



**Φώτο 3.34 Πότισμα υγροβιότοπων με την χρήση ποτιστικού λάστιχου**



**Φώτο 3.35 Ολοκλήρωση φύτευσης υγροβιότοπων επιφανειακής ή ελεύθερης ροής**



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Η ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΦΥΤΙΚΟΥ ΥΔΙΚΟΥ

### 4.1 Προϋποθέσεις επιλογής φυτών

Η επιλογή της βλάστησης-κάλυψης που θα χρησιμοποιηθεί αποτελεί το πιο βασικό στάδιο μελέτης και σχεδιασμού ενός συστήματος βραδείας εφαρμογής υγρών αποβλήτων, όπως είναι και οι τεχνητοί υδροβιότοποι, αφού από αυτήν εξαρτώνται το επίπεδο προεπεξεργασίας του υγρού αποβλήτου, ο τύπος του δικτύου διανομής και το υδραυλικό φορτίο εφαρμογής. Σύμφωνα με τον Sorpet (1979), τα κυριότερα κριτήρια επιλογής της βλάστησης-κάλυψης είναι:

- η ανεκτικότητα στην εδαφική υγρασία και οι εξατμισοδιαπνευστικές ανάγκες
- οι ανάγκες σε θρεπτικά στοιχεία
- η προσαρμογή στις εδαφικές συνθήκες
- η εποχή ανάπτυξης και οι ανάγκες σε λίθαργο
- η ευαισθησία και η ανεκτικότητα τους σε τοξικά μέταλλα και άλατα
- η χρησιμοποίηση θρεπτικών στοιχείων και η αποτελεσματικότητα ανάκτησης τους
- η σταθερότητα του οικοσυστήματος και η συχνότητα και ο βαθμός συγκομιδής και τέλος,
- πρέπει να θεωρούνται διάφορα προβλήματα σχετικά με τη φυτοπροστασία και τη φυσική προσαρμογή.

Η επιλογή της κατάλληλης φυτικής βλάστησης μπορεί να πραγματοποιηθεί με την συνεργασία τοπικών αγροτών, γεωπόνων και εξειδικευμένων φορέων σε σχετικά θέματα.

Τα χαρακτηριστικά που πρέπει να πληρεί η φυτική βλάστηση είναι

- Η πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων. Η ικανότητα πρόσληψης θρεπτικών στοιχείων από τα φυτά εξαρτάται, κυρίως, από την φυτική παραγωγή, την περιεκτικότητα της σε θρεπτικά στοιχεία και την περίοδο συγκομιδής της.

- Οι εξατμισοδιαπνευστικές ανάγκες. Η εξατμισοδιαπνοή αποτελεί μια πολύ σημαντική παράμετρο του υδατικού ισοζυγίου, που χρησιμοποιείται στον υπολογισμό του υδραυλικού φορτίου επιλογής. Γενικά η εξατμισοδιαπνοή ορίζεται ως οι συνολικές απώλειες νερού από μια φυτική επιφάνεια με την μετάπτωσή του στην αέρια φάση από την υγρή επιφάνεια εδάφους, την ελεύθερη επιφάνεια νερού, ή τη φυτική επιφάνεια, που είναι εκτεθειμένες στην ατμόσφαιρα και στη συνέχεια τη μετακίνησή του στην υπερκείμενη τους ατμόσφαιρα.

- Η ανεκτικότητα στην αλατότητα. Συνήθως η αλατότητα των εκροών των υγρών αποβλήτων κυμαίνεται σε υψηλότερα επίπεδα από αυτήν των συνήθων αρδευτικών νερών. Η αλατότητα αντιμετωπίζεται με κατάλληλη απόπλυση και στράγγιση ή με σωστή επιλογή φυτών, που είναι ανεκτικά στα δεδομένα επίπεδα αλατότητας.

- Η ανεκτικότητα στην ειδική τοξικότητα. Η τοξικότητα που οφείλεται σε ένα ειδικό ιόν, προξενείται όταν το ιόν αυτό προσλαμβάνεται από τις ρίζες του φυτού και συσσωρεύεται στους ιστούς του σε οριακές συγκεντρώσεις, που είναι δυνατόν να έχουν ζημιογόνες επιδράσεις σε αυτούς ή την παραγωγή των φυτών. Συνήθως η ειδική τοξικότητα συνυπάρχει και περιπλέκει τα προβλήματα της αλατότητας. Τα πιο γνωστά ιόντα που σχετίζονται με τοξικότητα είναι το νάτριο, το χλώριο και το βόριο. Τα προβλήματα της ειδικής τοξικότητας παρατηρούνται πιο έντονα σε ξηρικές και ημιξηρικές περιοχές.

## 4.2 Επιλογή φυτικής βλάστησης

Τα φυτά που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτούς τους πειραματικούς υδροβιότοπους για την επεξεργασία των εκροών επιλέχθηκαν από καλαμιώνα στην περιοχή του αγροκτήματος του ΤΕΙ Ηρακλείου και ανήκαν στα είδη του *Phragmites australis* και του *Aruna donux*, ιθαγενή καλάμια της περιοχής, και γενικότερα της Κρήτης. Τοποθετήθηκαν, αφού πρώτα αφαιρέθηκε το υπέργειο τμήμα τους σε γλάστρες στο υπόστεγο του εργαστηρίου Διαχείρισης Στερεών Υπολειμμάτων και Υγρών Αποβλήτων, και ως υπόστρωμα χρησιμοποιήθηκε μείγμα από χώμα, τύρφη, στέμφυλα και κομπόστ που περιείχε ποσότητα κασιγάρου. Δεν δόθηκε βάση στην ποιότητα του υποστρώματος που θα χρησιμοποιούταν, καθώς είναι γνωστή η προσαρμοστικότητα αυτού του είδους των φυτών σε «δύσκολα» εδάφη. Η τοποθέτησή τους έγινε τον Ιούνιο του 2004.

### 4.2.1 Η διαχείριση του φυτικού υλικού

Η πρώτη εξαγωγή φυτών από τον γειτονικό καλαμιώνα πραγματοποιήθηκε στις αρχές του Ιουνίου του 2004. Η προσαρμοστικότητά τους ήταν καλή και είχαμε ελάχιστες απώλειες. Δεύτερη εξαγωγή για κάλυψη των απωλειών έγινε τον Σεπτέμβριο του ίδιου έτους. Τα φυτά καθ'όλη την διάρκεια της παραμονής τους στο υπόστεγο δεν χρειάστηκαν ιδιαίτερες περιποιήσεις, παρά το απαραίτητο πότισμα που πραγματοποιούταν καθημερινώς τους καλοκαιρινούς μήνες και κάθε δεύτερη μέρα τους υπόλοιπους. Αν και υδροχαρή φυτά είναι ανθεκτικά ακόμα και σε περιόδους ξηρασίας. Το καθημερινό πότισμα αποσκοπούσε στην σκληραγώγησή τους σε έδαφος κορεσμένο σε νερό, και αποτέλεσε την προετοιμασία τους για τοποθέτησή τους στους τεχνητούς υδροβιότοπους.

Τον Οκτώβριο του ίδιου έτους προσβλήθηκαν από αφίδες και χρειάστηκε επέμβαση με ριζοπότισμα με *Confidor*, σε δοσολογία 20ml/10lt. Η τοποθέτησή τους στους τεχνητούς υδροβιότοπους στην περιοχή της Χερσονήσου έγινε αρχές Μαΐου του 2005.

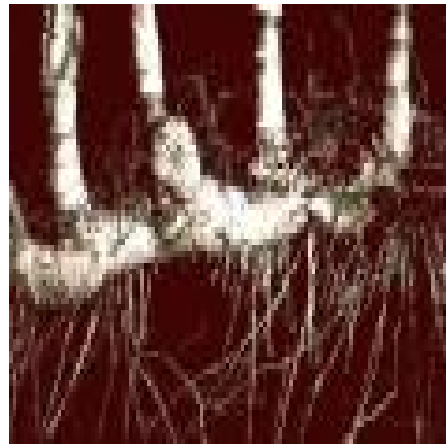
#### 4.2.2 *ARUNDO DONAX*

##### Γενική περιγραφή

Το *Arundo donax* είναι το ένα από τα δύο φυτά που χρησιμοποιήθηκαν στην πειραματική εφαρμογή στους τεχνητούς υγροβιότοπους. Είναι ένα πολυετές καλάμι, που φτάνει σε ύψος τα 2 έως 8 μέτρα, και είναι ένα από τα ψηλότερα του είδους φυτό, γι' αυτό και του αποδόθηκε η ονομασία «καλάμι γίγαντας» (giant reed). Οι ρίζες του είναι σαρκώδεις, βολβοειδής και φτάνουν σε βάθος 12 με 30cm μέσα στο έδαφος. Η βάση των φύλλων του είναι καρδιοειδή, με περισσότερο ή λιγότερο χνούδι, με αμφίπλευρη διάταξη. Τα άνθη εμφανίζονται μεταξύ Μαΐου και Σεπτεμβρίου. Η ταξιανθία είναι φόβη, μήκους 12mm. Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται το φυτό, η ρίζα, και η ταξιανθία του *Arundo donax*.



**Φώτο 4.1** *Arundo donax*



**Φώτο 4.2** Ρίζα *Arundo donax*



**Φώτο 4.3** Ταξιανθία *Arundo donax*

### Διαχείριση του *Arundo donax*

Παρόλο που το *Arundo donax* καλλιεργείται ευρέως για αρκετά χρόνια, λίγα έχουν δημοσιευτεί σχετικά με τη διαχείριση του. Είναι φυτό γρήγορης ανάπτυξης, και καταλαμβάνει γρήγορα νέες εκτάσεις, ασκώντας ισχυρό ανταγωνισμό στον τοπικό φυτικό πληθυσμό. Επίσης ελάχιστα γνωρίζουμε σχετικά με τους αποτελεσματικούς τρόπους ελέγχου της εξάπλωσής του.

### Φυσική ιστορία

Το *Arundo donax* είναι ιθαγενές φυτό των μεσογειακών χωρών. Από αυτές τις περιοχές και κυρίως με τη βοήθεια του ανθρώπου εξαπλώθηκε και σε όλες τις άλλες περιοχές του κόσμου με υποτροπικό και θερμό κλίμα. Καλλιεργείται ευρέως στις πιο θερμές περιοχές της Αμερικής σαν διακοσμητικό φυτό. Είναι πιο δημοφιλές στις νοτιοδυτικές Η.Π.Α. όπου χρησιμοποιείται κατά μήκος των τάφρων για τον έλεγχο της διάβρωσης (Perdue, 1958). Μέχρι το 1820 υπήρχε αφθονία του φυτού στο ποτάμι του Λος Άντζελες και χρησιμοποιούταν σαν υλικό κατασκευής σκεπών.

Το φυτό έχει άριστη ανάπτυξη στα καλά στραγγιζόμενα εδάφη με άφθονη υγρασία. Είναι ανεκτικό σε υψηλά ποσοστά αλατότητας του εδάφους. Κατά τον πρώτο χρόνο της ανάπτυξής του αντιμετωπίζει σοβαρό πρόβλημα σε περίπτωση ξηρασίας, κάτι που δεν ισχύει όμως μετά το δεύτερο χρόνο. Η ικανότητα επιβίωσης του σε μεγάλες περιόδους ξηρασίας οφείλεται στην ανάπτυξη του χονδρού, ανθεκτικού στην ξηρασία ριζώματος, ικανού για διείσδυση σε μεγάλο βάθος για αναζήτηση υγρασίας. Επίσης μπορεί να επιβιώσει σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, αλλά αντιμετωπίζει σοβαρό πρόβλημα σε παγετούς μετά την έναρξη της ανοιξιάτικης βλάστησης (Perdue, 1958).

Το *Arundo donax* έπαιξε σημαντικό ρόλο στον πολιτισμό του δυτικού κόσμου μέσω της επιρροής του στην ανάπτυξη της μουσικής, καθώς αποτέλεσε 5000 χρόνια πριν, τη βάση της κατασκευής των πρώτων πνευστών οργάνων. Πριν ακόμα χρησιμοποιηθεί στη μουσική βιομηχανία, οι Αιγύπτιοι το χρησιμοποίησαν σαν επίστρωμα στις υπόγειες αποθήκες σιταριού. Οι μούμιες των τέταρτο αιώνα τυλίγονταν σε φύλλα του *Arundo donax*. Επίσης χρησιμοποιήθηκε στην κατασκευή καλάθων, φρακτών, κοτετσιών, καταφύγιων, βελών, ψαροκάλαμων, για τον έλεγχο της διάβρωσης και σαν διακοσμητικό. Φαρμακευτικά, το ριζωμά του χρησιμοποιήθηκε σαν διουρητικό και εφιδρωτικό και στην κατασκευή επιδέσμων.

#### 4.2.3 PHRAGMITES AUSTRALIS

## Γενικά

Στη βιβλιογραφία αναφέρεται και ως *Phragmites communis* και *common reed*. Ανήκει στο φύλο των ανθόφυτων, είναι μονοκοτυλήδονο φυτό και ανήκει στην κλάση *Liliopsida*, στην υπόκλαση *Commelinidae*, στην οικογένεια των *Poaceae*.

Είναι ψηλό φυτό που φτάνει τα 4-6 μέτρα. Έχει πλούσιο ριζικό σύστημα που δύσκολα αποχωρίζεται του εδάφους, οι ρίζες είναι έρπουσες και έχει και στόλωνες. Το μήκος των ριζών είναι από 1 έως 10 μέτρα. Ο βλαστός στο εσωτερικό του είναι κενός. Τα φύλλα έχουν εναλλασσόμενη διάταξη και είναι μακρόστενα, λογχοειδή, λεία, χρώματος πράσινου ή γλαυκού. Η ταξιανθία είναι φόβη με άνθη χρώματος καφέ-πορτοκαλί ή και μοβ. Ανθίζει το καλοκαίρι. Ο καρπός είναι μικρός στάχυς.

Αναπτύσσεται σχεδόν σε όλα τα εδάφη με προτίμηση όμως στα πηλώδη. Πολλαπλασιάζεται με κομμάτι βλαστού αλλά και με στόλωνες. Αρχίζει την ανάπτυξή του τον Φεβρουάριο στα Νότια μέρη και αργότερα στον Βορρά. Στην εικόνα 4.2.3.1.1 φαίνεται η ταξιανθία και στην εικόνα 4.2.3.1.2 ένα σταχύδιο του *Phragmites australis*



Φώτο 4.4 Ταξιανθία *Phragmites australis*



Φώτο 4.5 Σταχύδιο *Phragmites australis*

Το *Phragmites australis* παρουσιάζει ανθεκτικότητα στην φωτιά, στις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, σε αλκαλικά εδάφη, στην αλατότητα και στην παρουσία ζιζανίων.

### Καταγωγή

το φυτό αυτό πρώτη φορά βρέθηκε σε εύκρατα κλίματα στη Βόρεια Αμερική σε λίμνες και καθαρά νερά, σε εκβολές ποταμών, σε φυσικούς υγροβιότοπους αλλά και σε μολυσμένα νερά και περιοχές με ρύπανση, βούρκα, έλη και εκβολές ποταμών. Μπορεί να ζήσει στο νερό με χαμηλά επίπεδα οξυγόνου αλλά και μολυσμένες έως και ελαφρά τοξικές συνθήκες. Αν και δεν είναι πολύ διαδεδομένο στον κόσμο, ευδοκμεί και συναντάται σε Ευρώπη, Ασία, Δυτικές Ινδίες, Χιλή, Αργεντινή και Αυστραλία.

### Οικολογία

Αποτελεί κρυψώνα αλλά και τροφή για πολλά ζώα όπως χελώνες, ψάρια και έντομα. Ο άνθρωπος στο παρελθόν το χρησιμοποιούσε για τροφή αλλά και για τις φαρμακευτικές του ιδιότητες. Χρησιμοποιούνταν για θεραπεία από κονδυλώματα, καρκίνο του μαστού και λευχαιμία. Υπάρχουν αναφορές για τις επιδρωτικές, διουρητικές, εμετικές, ψυκτικές, σιαλογονικές και στομαχικές του ιδιότητες. Τέλος, αποτελεί θεραπεία για αποστήματα ακμής, αρθριτικά, βρογχίτιδα, χολέρα, καρκίνο, ρευματισμούς, δίψα, βήχα και αιμορροΐδες. Επίσης κατασκεύαζαν με αυτό φράχτες και σκεπές.

### **4.3 Η σημασία των φυτών στους τεχνητούς υγροβιότοπους**

Μετά από μελέτες πολλών ετών και δισταμένες απόψεις τα φυτά αυτά πιστεύεται ότι έχουν τον εξής ρόλο στα συστήματα των τεχνητών υγροβιότοπων:

- Ρόλο αισθητικό

Μια από τις πιο σημαντικές παραμέτρους αυτών των συστημάτων μιας και κάνει πιο εύκολα αποδεκτή την εγκατάστασή τους ακόμα και κοντά σε κατοικημένες περιοχές. Τα συστήματα αυτά πολύ σύντομα γίνονται χώροι εγκατάστασης νιας πλούσιας χλωρίδας και πανίδας που έχει ως αποτέλεσμα την ουσιαστική αναβάθμιση της περιοχής.

- Έλεγχος οσμών

Μια εξίσου σημαντική δραστηριότητα με αυτή του αισθητικού ρόλου, μιας και η βιομάζα που καλύπτει το σύστημα έχει ως αποτέλεσμα τη συγκράτηση και την επεξεργασία των οσμών. Γενικά το πρόβλημα οσμών σε αυτά τα συστήματα είναι μικρό και μπορεί να υπάρξει μόνο αν λόγω κακής κατασκευής σε κάποιο σημείο υπάρξουν λιμνάζοντα νερά.

- Προστασία από δημιουργία πάγου

Η παρουσία της φυτικής βλάστησης που συσσωρεύεται με την πάροδο του χρόνου στην επιφάνεια του συστήματος λειτουργεί ευνοϊκά σε περιοχές με δύσκολους χειμώνες. Τα φυτά λειτουργούν ως παγίδες χιονιού με αποτέλεσμα να μην επιτρέπουν τη δημιουργία πάγου στο σύστημα αφήνοντας ανεπηρέαστη ουσιαστικά τη λειτουργία του συστήματος.

- Επεξεργασία των λυμάτων

Η μάλλον απογοητευτική πλευρά της ύπαρξης των φυτών. Ακόμα και μετά την παραδοχή της δυνατότητας των φυτών παροχής οξυγόνου στο υπόστρωμα έχει αποδειχτεί ότι η σημασία των φυτών στην επεξεργασία των λυμάτων είναι μηδαμινή. Η πιθανή απομάκρυνση των θρεπτικών στοιχείων από τα φυτά σε σχέση με άλλα φαινόμενα, όπως η κατακρήμνιση είναι περιορισμένη και μη ολοκληρωμένη αν δεν υπάρχει απομάκρυνση της φυτικής μάζας, που σπάνια συμβαίνει.

Τα φυτά συμβάλλουν στην απομάκρυνση των μολυντών ως εξής:

- Οργανική ουσία.

Η απομάκρυνση της οργανικής ουσίας επιτυγχάνεται από την μικροβιακή δράση των μικροοργανισμών που αναπτύσσονται σε κάθε ελεύθερη επιφάνεια του υποστρώματος και των φυτών. Οι συνθήκες ποικίλουν από αερόβιες και αναερόβιες μέχρι και ανοξικές.

- Άζωτο και φώσφορος.

Η απομάκρυνση αυτών των στοιχείων από τα φυτά δεν έχει αποδειχτεί ποτέ, και παραμένει το αδύνατο σημείο των υδροβιότοπων, όπως γενικά όλων των φυσικών συστημάτων. Η απομάκρυνσή τους πραγματοποιείται μέσω κατακρήμνισης, προσρόφησης, νιτροποίησης και απονιτροποίησης, όπως περιγράφεται σε προηγούμενο κεφάλαιο.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

### 5.1 Κόστος εκσκαφών

	ΤΥΠΟΣ	ΚΟΣΤΟΣ € / ΩΡΑ	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΥΠΟΣΥΝΟΛΟ €
Μηχανήματα	Εκσκαφέας	25	20	500
	Σφύρα	50	25	1,250
	Φορτηγό	12	48	576
	Επάγγελμα	ΚΟΣΤΟΣ € / ΗΜΕΡΑ	ΗΜΕΡΕΣ*	ΥΠΟΣΥΝΟΛΟ €
Προσωπικό	Πολ. Μηχανικός	150	8	1,200
	Εργάτης	85	18	1,530
	ΕΙΔΟΣ	ΚΟΣΤΟΣ € / ΜΟΝΑΔΑ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΥΠΟΣΥΝΟΛΟ €
Υλικά	-	-	-	-
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ</b>				<b>5,056 €</b>

\* Αντιστοιχεί στην εργασία μιας πλήρους ημέρας

## 5.2 Κόστος δεξαμενής προσωρινής συγκέντρωσης και Parshall

	ΤΥΠΟΣ	ΚΟΣΤΟΣ	ΩΡΕΣ	ΥΠΟΣΥΝΟΛΟ
		€ / ΩΡΑ	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	€
Μηχανήματα	Μπετονιέρα	20	4	80
	Αντλία	20	2	40
	Επάγγελμα	ΚΟΣΤΟΣ	ΗΜΕΡΕΣ*	ΥΠΟΣΥΝΟΛΟ
		€ / ΗΜΕΡΑ		€
Προσωπικό	Πολ. Μηχανικός	150	8	1,200
	Εργάτης	85	35	2,975
	ΕΙΔΟΣ	ΚΟΣΤΟΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΥΠΟΣΥΝΟΛΟ
		€ / ΜΟΝΑΔΑ		€
Υλικά	Σκυρόδεμα	90 € / m <sup>3</sup>	26 m <sup>3</sup>	2,340
	Σιδηρός Οπλ.	100 € / t	4 t	400
	Σωλήνες PVC	2 € / m	30 m	60
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ</b>				<b>7,095 €</b>

\* Αντιστοιχεί στην εργασία μιας πλήρους ημέρας

## 5.3 Κόστος συστήματος υπερχειλίσης και σωληνωτού αγωγού

	ΤΥΠΟΣ	ΚΟΣΤΟΣ € / ΩΡΑ	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΥΠΟΣΥΝΟΛΟ €
Μηχανήματα	Μπετονιέρα	20	2	40
	Αντλία	20	2	40
	Επάγγελμα	ΚΟΣΤΟΣ € / ΩΡΑ	ΗΜΕΡΕΣ*	ΥΠΟΣΥΝΟΛΟ €
Προσωπικό	Πολ. Μηχανικός	150	6	900
	Εργάτης	85	9	765
	ΕΙΔΟΣ	ΚΟΣΤΟΣ € / ΜΟΝΑΔΑ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΥΠΟΣΥΝΟΛΟ €
Υλικά	Σκυρόδεμα	90 € / m <sup>3</sup>	5 m <sup>3</sup>	450
	Σιδηρός Οπλ.	100 € / t	0,25 t	25
	Σωλήνες PVC 315mm	2 € / m	60 m	120
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ</b>				<b>2,340 €</b>

\* Αντιστοιχεί στην εργασία μιας πλήρους ημέρας

#### 5.4 Κόστος τοποθέτησης μεμβράνης

	ΤΥΠΟΣ	ΚΟΣΤΟΣ € / ΩΡΑ	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΥΠΟΣΥΝΟΛΟ €
--	-------	-------------------	---------------------	-------------

Μηχανήματα	-	-	-	-
	Επάγγελμα	ΚΟΣΤΟΣ	ΗΜΕΡΕΣ*	ΥΠΟΣΥΝΟΛΟ
		€ / ΗΜΕΡΑ		€
Προσωπικό	Τεχνίτης	129	12	1,440
	ΕΙΔΟΣ	ΚΟΣΤΟΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΥΠΟΣΥΝΟΛΟ
		€ / ΜΟΝΑΔΑ		€
	Γεώφασμα	4 € / m <sup>2</sup>	400 m <sup>2</sup>	1,600
Υλικά	μεμβράνη πάχους 2mm Σωλήνα PVC	5 € / m <sup>2</sup>	400 m <sup>2</sup>	2,000
	200mm	2 € / m	40	80
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ				5,080 €

\* Αντιστοιχεί στην εργασία μιας πλήρους ημέρας

### 5.5 Κόστος πλήρωσης υγροβιότοπων

	ΤΥΠΟΣ	ΚΟΣΤΟΣ	ΩΡΕΣ	ΥΠΟΣΥΝΟΛΟ
		€ / ΩΡΑ	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	€
Μηχανήματα	JCB για Υ.Ε.Ρ.	16	6	96
	JCB για Υ.Υ.Ρ		16	256

	Επάγγελμα	ΚΟΣΤΟΣ € / ΗΜΕΡΑ	ΗΜΕΡΕΣ*	ΥΠΟΣΥΝΟΛΟ €
Προσωπικό	Πολ. Μηχ. για Υ.Ε.Ρ.	150	1	150
	Εργάτης για Υ.Ε.Ρ.	85	2	170
	Πολ. Μηχ. για Υ.Υ.Ρ	150	3	300
	Εργάτης για Υ.Υ.Ρ	85	6	510
	ΕΙΔΟΣ	ΚΟΣΤΟΣ € / ΜΟΝΑΔΑ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΥΠΟΣΥΝΟΛΟ €
Υλικά	Χώμα (Υ.Ε.Ρ.)	5 € / m <sup>3</sup>	35 m <sup>3</sup>	175
	Χαλίκι 100 mm	10 € / m <sup>3</sup>	20 m <sup>3</sup>	200
	Χαλίκι 40 mm	10 € / m <sup>3</sup>	20 m <sup>3</sup>	200
	Χαλίκι 20 mm	7 € / m <sup>3</sup>	5 m <sup>3</sup>	35
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ</b>				591 € για Υ.Ε.Ρ. 1,501 € για Υ.Υ.Ρ

### 5.6 Κόστος φύτευσης υγροβιότοπων

	ΤΥΠΟΣ	ΚΟΣΤΟΣ € / ΩΡΑ	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΥΠΟΣΥΝΟΛΟ €
Μηχανήματα	-	-	-	-
	Επάγγελμα	ΚΟΣΤΟΣ € / ΗΜΕΡΑ	ΗΜΕΡΕΣ*	ΥΠΟΣΥΝΟΛΟ €

Προσωπικό	Εργάτης για Υ.Ε.Ρ.	85	2	170	
	Εργάτης για Υ.Υ.Ρ	85	4	340	
		ΕΙΔΟΣ	ΚΟΣΤΟΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΥΠΟΣΥΝΟΛΟ
			€/ ΜΟΝΑΔΑ		€
Υλικά	Φυτά για Υ.Ε.Ρ	2 €/ δοχείο	150	300	
	Φυτά για Υ.Υ.Ρ	2 €/ δοχείο	150	300	
				470 € για Υ.Ε.Ρ	
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ				640 € για Υ.Υ.Ρ	

\* Αντιστοιχεί στην εργασία μιας πλήρους ημέρας

### 5.7 Κόστος ελέγχου ροής, συστήματος ελέγχου, περιφραξης και διακόσμησης

	ΤΥΠΟΣ	ΚΟΣΤΟΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΥΠΟΣΥΝΟΛΟ
		€/ ΜΟΝΑΔΑ		€
Μηχανήματα	Καταχωρητής	1,100	1	1,100
	δεδομένων			
	Βροχομετρητής	320	1	320
	Μετρητής ύψους	920	1	920
	στάθμης			

	Ηλεκτρική βαλβίδα	259	1	259
	ελέγχου ροής			
	Ηλιοσυλλέκτης	500	1	500
	Επάγγελμα	ΚΟΣΤΟΣ	ΗΜΕΡΕΣ*	ΥΠΟΣΥΝΟΛΟ
		€ / ΗΜΕΡΑ		€
Προσωπικό	Τεχνίτης	120	5	600
	ΕΙΔΟΣ	ΚΟΣΤΟΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΥΠΟΣΥΝΟΛΟ
		€ / ΜΟΝΑΔΑ		€
	Μικροϋλικά σωληνών PVC	Mean 2 € / m	100 m	200
Υλικά	Πλέγμα περίφραξης	5 € / m <sup>2</sup>	120 m <sup>2</sup>	600
	Διάφορα υλικά	1,000		1,000
			ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ	5,499 €

\* Αντιστοιχεί στην εργασία μιας πλήρους ημέρας

### 5.8 Συνολικό κόστος

ΕΡΓΑΣΙΑ	ΚΟΣΤΟΣ (€)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΟΣΤΟΥΣ
Εκσκαφών	5,056	17,88 %
Συστήματος υπερχειλίσης	7,095	8,28 %
Δεξαμενή αποθήκευσης και Parshall	2,340	25,10 %
Τοποθέτηση μεμβράνης	5,080	17,97 %
Πλήρωση Υ.Ε.Ρ	591	2,09 %
Πλήρωση Υ.Υ.Ρ	1,501	5,31 %

<b>Φύτευση Υ.Ε.Ρ</b>	470	1,66 %
<b>Φύτευση Υ.Υ.Ρ</b>	640	2,26 %
<b>Σύστημα παρακολούθησης</b>	2,240	7,92 %
<b>Σύστημα ελέγχου ροής</b>	1,359	4,81 %
<b>Κατασκευή περίφραξης και διακόσμηση χώρου</b>	1,900	6,72 %
<b>Συνολικό κόστος</b>	<b>28,272</b>	
<b>Κατασκευαστικό κόστος ζεύγους Υ.Ε.Ρ.</b>	5,611	19,85 %
<b>Κατασκευαστικό κόστος ζεύγους Υ.Υ.Ρ.</b>	6,691	23,67 %

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Κατά τη διάρκεια του έργου παρουσιάστηκαν διάφορες ιδιαιτερότητες, αλλάζοντας τα αρχικά σχέδια και καθυστερώντας την κατασκευή. Συγκεκριμένα, λόγω της μορφής των βροχοπτώσεων στην Κρήτη (καταρρακτώδης) απαιτήθηκε μια δεξαμενή προσωρινής αποθήκευσης ελεγχόμενης ροής στις μονάδες επεξεργασίας εξαιτίας της αναγκαιότητας διατήρησης ενός ελάχιστου υδραυλικού χρόνου παραμονής των εκροών, πριν την είσοδο τους στους υγροβιότοπους, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η επιθυμητή επεξεργασία.

Αυτή η κατασκευή οδήγησε σε μια αύξηση 25% στο συνολικό κόστος κατασκευής, ενώ επιπλέον 5% προστέθηκε για το εισρέον σύστημα ελέγχου και διανομής, από τη δεξαμενή στους υγρότοπους. Το συνολικό κόστος της κατασκευής είναι πολύ μεγάλο σε σχέση με τις ποσότητες που επεξεργάζεται, μία σχέση όχι γραμμική (η αύξηση της ποσότητας προς επεξεργασία δεν συνεπάγεται την ανάλογη αύξηση του κόστους).

Η ουσιαστική καθυστέρηση στην κατασκευή σημειώθηκε λόγω της παρουσίας βράχου κάτω από ένα λεπτό στρώμα του χώματος, όπου απαιτήθηκε η χρήση των βαρέων μηχανημάτων κατά τη



διάρκεια της ανασκαφής. Η ελληνική νομοθεσία δεν επιτρέπει τη χρήση τέτοιου εξοπλισμού από τις 15 Μαΐου – 15 Σεπτεμβρίου κοντά στα τουριστικά θέρετρα λόγω των προβλημάτων θορύβου.

Τα καιρικά προβλήματα (δυνατή βροχή) καθυστέρησαν το πρόγραμμα κατά τη διάρκεια της εισαγωγής των αδιάβροχων μεμβρανών, οι οποίες απαιτούσαν έλλειψη υγρασίας για την επιτυχή συγκόλλησή τους.

Η εισαγωγή των υποστρωμάτων στους δύο υγρότοπους ήταν επίσης μια δύσκολη διαδικασία. Για τον υγρότοπο υποεπιφανειακής ροής χρησιμοποιήθηκαν τρία διαφορετικά μεγέθη χαλικιού και απαιτήθηκε περισσότερος χρόνος για την πλήρωσή του σε σχέση με τον υγρότοπο επιφανειακής ροής. Γενικά τα συστήματα υποεπιφανειακής ροής κοστίζουν σχεδόν 20% περισσότερο από τα συστήματα ελεύθερης επιφάνειας.

Η άπειρη ομάδα κατασκευής αποδείχθηκε επίσης παράγοντας, που είχε επιπτώσεις στο πρόγραμμα τόσο οικονομικά όσο και στη διάρκεια περάτωσης του έργου (καθυστέρηση τουλάχιστον δύο μηνών). Υπολογίζεται ότι το πρόγραμμα κόστισε περίπου 25% περισσότερο από τον αρχικό προϋπολογισμό, λόγω της έλλειψης προηγούμενης εμπειρίας.

Μέχρι τώρα, η εμπειρία που αποκτήθηκε από τη χρήση των κατασκευασμένων υγρότοπων για την επεξεργασία των υδάτινων εκροών των αυτοκινητοδρόμων παρείχε τη βάση για το σχέδιο και την κατασκευή των συστημάτων επεξεργασίας απορροών εθνικών οδών. Η ανάγκη για το συγκεκριμένο σχέδιο των υγρότοπων που επεξεργάζονται τέτοια απόβλητα έχει καταδειχθεί στις πρόσφατες δημοσιεύσεις και συμπεριλαμβάνεται στις οδηγίες για τέτοια συστήματα. Εντούτοις, οι καιρικές διαφορές δεν εγγυώνται ότι αυτές οι οδηγίες θα οδηγήσουν στο σχεδιασμό και την κατασκευή ενός αποδοτικού υγρότοπου.

Με την ολοκλήρωση αυτής της κατασκευής αποκτήθηκε κάποια στοιχειώδης εμπειρία για καλύτερο σχεδιασμό ανάλογων συστημάτων με μικρότερο κόστος και καλύτερα αποτελέσματα.



## Βιβλιογραφία

A.N ΑΓΓΕΛΑΚΗΣ – G. TCOMBANOGLOU. ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ, φυσικά συστήματα επεξεργασίας και ανάκτηση – επαναχρησιμοποίηση και διάθεση εκροών

ΑΛΕΞΑΝΔΡΑ ΚΑΤΣΙΡΗ «Εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων μικρής κλίμακας»

ΘΡΑΣΥΒΟΥΛΟΣ ΜΑΝΙΟΣ Μόλυνση και ρύπανση του περιβάλλοντος

REED, S.C, MIDDLEBROOKS, E.J.and CRITES,R,W. 1998-natural systems for waste management and treatment. Mcgraw-hill book company

A.S MUNGUR, R.B.E. SHUTES, D.M REVITT and M.A HOUSE: an assessment of metal removal from highway runoff by a natural wetland

R.M GERSBERG, B.V ELKINS and C.R. GOLDMAN: nitrogen removal in artificial wetlands

A. DRIZO, C.A. FROST, K.A SMITH and J GRACE: Phosphate and ammonium removal by constructed wetlands with horizontal subsurface flow, using shale as a substrate

K.R. REDDY and E.M. D'ANGELO: Biogeochemical indicators to evaluate pollutant removal efficiency in constructed wetlands

PERDUE, R.E. 1958. Arundo Donax - source of musical reeds and industrial cellulose.

REZK, M.R. and T. EDANY, 1979. Comparative responses of two reed species to water table levels.

VASELACK, M.S. and J.J.NISBET, 1981. The distribution and uses of Arundo donax

WYND, F.L., G.P. STEINBAUER and N.R. DIAZ, 1948. Arundo donax as a forage grass in sandy soils, Lloydia

ARNOLD, W.J. and L.E. WARREN, 1966. Dowpon C.Grass Killer – a new product for controlling perennial grasses such as Johnson grass and Bermouda grass.

DAAR, S. 1983. Using goats for brush control.

FRATTEGIANNI – BIANCHI, R.1963. Possibilities of using the leaves of the common cane (A. donax) in animal feeding.

FULLER, T.C. and G.D. BARBE, 1985. The Bradley method of eliminating exotic plants from natural reserves.

HORNG, L.C. and L.S.LEU, 1979. Control of five upland perennial weeds with herbicides.

ANDRES, L. 1979. untitled. Unpublished manuscript. Copy on file at the nature Conservacy, California field office.

ROBBINS, W.W., M.K. BELLUEandW.S. BALL. 1951. Weeds of California. California Dept. Agric. Sacramento.

Weed Science Society of America. 1983. Herbicide handbook.

WYND, F.L., G.P.STEINBAUERand N.R. DIAZ, 1948. Arundo donax as a forage grass in sandy soils. Lloydia.

Manios, T., Millner P.A. and E.I. Stentiford, 2003 Manios, T., Millner P.A. and E.I. Stentiford, 2003

Mungur, A.S., Shutes, B.E., Revitt, D.M. and House, M.A. 1995 An assesment of metal from highway runoff by natural wetland. Water Science and Technology, 32 (3) : 169 - 175.

Scholes, L., Shutes, R.B.E., Revitt, D.M., Forshaw, M. and Purchase, D. 1998. The treatment of metal in urban runoff by constructed wetlands. *The Science of the Total Environment*, 214 : 211 - 219.

Shutes, R.B.E., Revitt, D.M., Mungur, A.S. and Scholes, L.N.L. 1997. Design of wetland systems for the treatment of urban runoff, *Water Quality International*, March/April, : 35 - 38.

Shutes, R.B.E., Revitt, D.M., Lageberg, I.M. and Barraud, V.C.E. 1999. The design of vegetated constructed wetlands for the treatment of highway runoff. *The Science of the Total Environment*, 235 : 189 - 187.

Scholz, M. and Xu, J. 2001, Comparison of vertical-flow constructed wetlands for the treatment of wastewater containing lead and copper, *J. Chartered Institution of Water and Environmental Management*, 15:287-293

WRc and Seven Trent Water Plc, 1996. *Reed Beds and Constructed Wetlands for waste water treatment*, WRc, Swindon, England..