



**Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης**

**Εργαστήριο Διαχείρισης Στερεών Υπολειμμάτων & Υγρών  
Αποβλήτων**

# **Τεχνητοί Υγροβιότοποι**



**Δρ Θρασύβουλος Μανιός  
Επίκουρος Καθηγητής**

**Μάιος 2009**

## Πίνακας περιεχομένων

<b>1. Φυσικά συστήματα</b>	1
<i>Ορισμοί</i>	1
<b>2. Συστήματα Υποεπιφανειακής Ροής (Subsurface Flow)</b>	3
2.1 Περιγραφή του συστήματος	3
2.2 Επιλογή του υποστρώματος	3
2.3 Η επιλογή και ο ρόλος των φυτών	4
2.3.1. Αισθητικός	5
2.3.2. Επεξεργασία των λυμάτων	5
2.3.3. Έλεγχος οσμών	5
2.4 Καθορισμός του βαθμού προεπεξεργασίας	5
2.5 Καθορισμός του συστήματος διανομής και απομάκρυνσης των λυμάτων	6
2.6 Διαστασιολόγηση του συστήματος	7
<b>3. Συστήματα Ελεύθερης Επιφάνειας ή Επιφανειακής Ροής (Free Water Surface Systems)</b>	9
3.1 Περιγραφή του συστήματος	9
3.2 Καθορισμός του βαθμού προεπεξεργασίας	10
3.3 Διαστασιολόγηση του συστήματος	11

## 1. Φυσικά συστήματα

Το πρόβλημα με τα υγρά απόβλητα δεν εντοπίζεται τόσο στη σύνθεσή τους, όσο στην ποσότητα που παράγεται στο μικρό σχετικά χώρο που καταλαμβάνει μια σύγχρονη πόλη ή χωριό καθώς και την περιορισμένη ικανότητα της φύσης να επεξεργαστεί όλη αυτή την ποσότητα σε μικρή σχετικά έκταση.

Τα συμβατικά συστήματα επεξεργασίας, όπως τα συστήματα ενεργού ιλύος, αφορούν μεγάλα αστικά κέντρα με πάνω από 10.000 ι.κ.. Τι γίνεται όμως όταν μιλάμε για κοινότητες μικρότερες των 10.000 ι.κ. ή και μικρότερες των 2.000 ή 1.000 ι.κ; Σε αυτήν την περίπτωση, τίθεται το ερώτημα αν τα συστήματα αυτά είναι λειτουργικά και κυρίως αν είναι βιώσιμα από οικονομική άποψη. Από την άλλη πλευρά, υπάρχει έντονη η ανάγκη της τριτοβάθμιας επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων, επιδιώκοντας τον όσο το δυνατόν καλύτερο ποιοτικά καθαρισμό τους. Ποια είναι αυτά τα συστήματα που θα καταφέρουν να καλύψουν αυτές τις ανάγκες με οικονομικό και αποτελεσματικό τρόπο; Μια επιλογή που προτείνεται και στις δύο περιπτώσεις είναι τα φυσικά συστήματα.

### *Ορισμοί*

Στο περιβάλλον λαμβάνουν χώρα διάφορες φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες, όταν το νερό, το έδαφος, τα φυτά και ο αέρας αλληλεπιδρούν. Τα **φυσικά συστήματα (ΦΣ)** λειτουργούν ή έχουν σχεδιαστεί να λειτουργούν με τέτοιο τρόπο, ώστε να εκμεταλλευτούν αυτές τις διαδικασίες στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων.

Γενικά, θα μπορούσε κανείς να ορίσει ως **φυσικό σύστημα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων**, μια περιοχή στην οποία φυτά, μικροοργανισμοί, ζώα και έδαφος συλλειτουργούν για την εξουδετέρωση όλων των πιθανών μολυντών που βρίσκονται στα υγρά απόβλητα, τα οποία διοχετεύονται εκεί για επεξεργασία με ή χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση.

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 οξείδωση, η χημική μείωση, η βιολογική (μικροβιολογική) μετατροπή και αποδόμηση, που συναντιόνται και σε συμβατικά συστήματα επεξεργασίας. Σε αυτά προστίθενται και κάποιες ιδιαίτερες και μοναδικές δραστηριότητες των φυσικών συστημάτων, όπως είναι η φωτοσύνθεση, η φωτοοξείδωση και η απορρόφηση από τα φυτά. Οι συνθήκες σε ένα ΦΣ 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 το τύπο του εδάφους που χρησιμοποιήθηκε.

Στα ΦΣ 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** παρουσιάζονται οι βασικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στα ΦΣ.

**Πίνακας 1. Βασικές αρχές των διεργασιών που υπάρχουν σε ένα φυσικό σύστημα**

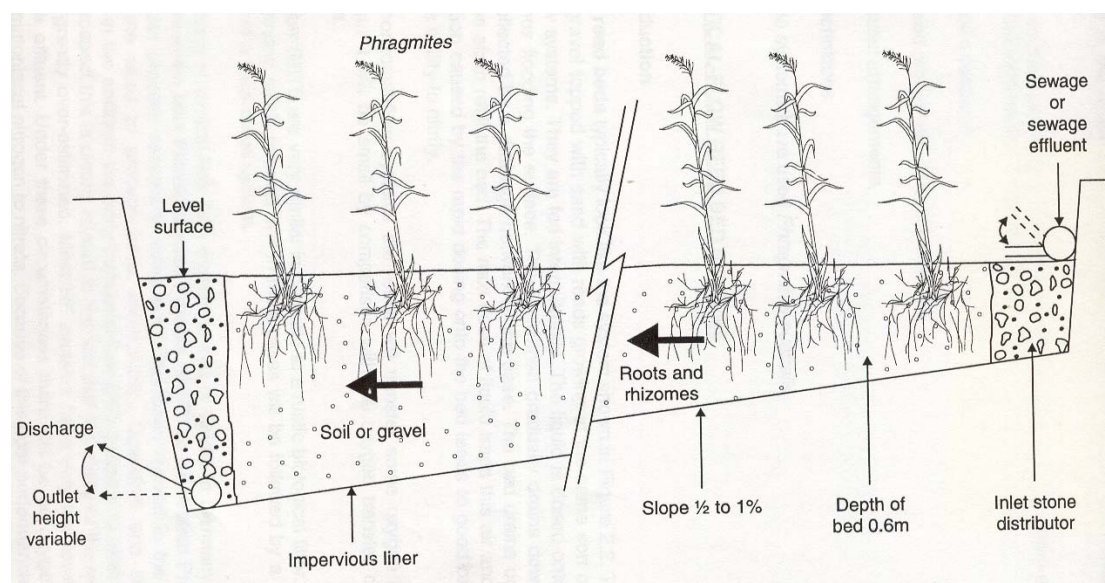
<b>Διεργασίες</b>		<b>Ρόλος ή δραστηριότητα</b>	
<b>Φυσικές</b>			
Φιλτράρισμα		Καθώς το νερό περνά μέσα από το σύμπλεγμα των φυτών και το υπόστρωμα τους κολλοειδή και άλλα σωματίδια φιλτράρονται. Οι ρίζες των φυτών ανοίγουν διαδρόμους μέσα στο έδαφος δημιουργώντας οδούς κίνησης του νερού.	
Καθίζηση		Συσσωμάτωση και καθίζηση με τη βοήθεια της βαρύτητας στερεών	
Προσρόφηση		Προσρόφηση κολλοειδών στερεών μέσω διασωματειακών μοριακών δυνάμεων	
<b>Χημικές</b>			
Κατακρήμνιση		Δημιουργία και κατακρήμνιση αδιάλυτων μορίων όπως $\text{CaPO}_4$ . Η προσθήκη Al, Fe ή Ca θα οδηγήσει στην καθίζηση του φωσφόρου	
Αποσύνθεση		Οξείδωση και μείωση των λιγότερο σταθερών μορίων	
Προσρόφηση		Προσρόφηση βαρέων μετάλλων από το έδαφος	
<b>Βιολογικές</b>			
Μικροβιακός μεταβολισμός		Μικροβιακή αποδόμηση οργανικής ουσίας, νιτροποίηση – απονιτροποίηση. Αποτελεί το βασικό μηχανισμό για την απομάκρυνση $\text{BOD}_5$ και N.	
Χρόνος παραμονής		Φυσική θανάτωση των παθογόνων μικροοργανισμών	
Αύξηση των φυτών		Προσωρινή και εποχιακή απορρόφηση θρεπτικών στοιχείων και μετάλλων από τα φυτά η οποία μπορεί να γίνει μόνιμη αν υπάρχει απομάκρυνση μέσω συλλογή της φυτικής μάζας.	

## 2. Συστήματα Υποεπιφανειακής Ροής (Subsurface Flow)

Όπως ακριβώς περιγράφει ο τίτλος τα συστήματα αυτά έχουν ως κύριο χαρακτηριστικό την κίνηση του νερού (ροή) κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Τα **συστήματα υποεπιφανειακής ροής** - που για συντομία θα αναφέρονται ως **SF**, από τη συντομογραφία του αγγλικού ονόματος τους **Subsurface Flow** - χαρακτηρίζονται ως **τεχνητοί υγροβιότοποι (constructed wetlands)**. Μαζί με τα **συστήματα επιφανειακής ροής ή ελεύθερης επιφάνειας νερού (Free Water Surface, FWS)** αποτελούν την πλέον κοινή επιλογή φυσικών συστημάτων κυρίως στην Ευρώπη.

### 2.1 Περιγραφή του συστήματος

Στην **Εικόνα 1** παρουσιάζετε μια τομή των συστημάτων αυτών όπως παρουσιάζετε στο σχεδιαστικό manual που δημιουργήθηκε στην Αγγλία από την Seven Trent Water plc (ιδιωτική εταιρεία ύδατος) και το Water Research Council. 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 η πλέον καλός βαθμός επεξεργασία. Μια από τις πλέον σημαντικές παραμέτρους για την επιτυχημένη κατασκευή και λειτουργία των συστημάτων αυτών είναι η επιλογή του υποστρώματος.



**Εικόνα 1** Τομή ενός συστήματος υποεπιφανειακής ροής

### 2.2 Επιλογή του υποστρώματος

Ο αρχικός σκοπός της εφαρμογής των συστημάτων αυτών ήταν η δημιουργία ενός σταθερού πορώδους και αυτοκαθαριζόμενου φίλτρου. Η σταθερότητα του πορώδους στηρίχθηκε στην υπόθεση ότι η δημιουργία και επέκταση του ριζικού συστήματος των φυτών θα προκαλούσε μια σταθεροποίηση της υδραυλικής αγωγιμότητας του συστήματος. Από την άλλη, η δράση των φυτών και των μικροοργανισμών θα ήταν τόσο έντονη, ώστε η οργανική ουσία που θα συσσωρευόταν στους πόρους του υποστρώματος, θα απομακρυνόταν εξίσου γρήγορα. Η χημική σύσταση του

υποστρώματος αποτελούσε δευτερευούσης σημασίας χαρακτηριστικό σε σχέση με τα φυσικά του χαρακτηριστικά.

Με βάση τις δύο αυτές αποδοχές, επιλέχθηκε αρχικά η τοποθέτηση εδάφους - χώματος στο υπόστρωμα των συστημάτων αυτών, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός αποτελεσματικού πορώδους εδαφικού φίλτρου. Το βασικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε, ήταν κυρίως το χώμα που εκσκάφτηκε για τη δημιουργία του συστήματος, δηλαδή γόνιμο επιφανειακό στρώμα (top soil), η υδραυλική αγωγιμότητα του οποίου ήταν μικρότερη από 10-5 m/sec. Η πρακτική αυτή είχε ως αποτέλεσμα και τη μείωση του κόστους κατασκευής, μια και δεν υπήρχε η ανάγκη μεταφοράς υλικών από μακρινές περιοχές.

Όμως, καμία από τις παραδοχές αυτές δεν πραγματοποιήθηκε. Έτσι πολύ γρήγορα το πορώδες των συστημάτων αυτών άρχισε να «γεμίζει», με αποτέλεσμα το φράξιμο του φίλτρου και τη δημιουργία φαινομένων επιφανειακής ροής των λυμάτων, καθώς αυτά αδυνατούσαν να εισέλθουν στο εδαφικό στρώμα. Ως κυριότερες αιτίες του φαινομένου αυτού καταγράφονται οι εξής:

- Το μικρό μέγεθος των πόρων του υποστρώματος.
- Η συγκράτηση στερεών που με την πάροδο του χρόνου έκλεινε τους πόρους.
- Η αύξηση μικροβιακών «φιλμ» στην επιφάνεια των πόρων που οδήγησε στο φράξιμο τους.
- Η καθίζηση των κολλοειδών του εδάφους κάτω από την κίνηση του νερού που οδήγησε στη κατάρρευση των μεγάλων πόρων.
- Η έλλειψη αυτόματου καθαρισμού των πόρων όταν η κίνηση του νερού γινόταν με μικρούς ρυθμούς.

Απάντηση στο πρόβλημα αυτό δόθηκε με τη χρησιμοποίηση εναλλακτικών τύπων υποστρωμάτων και κυρίως χαλικιών, αν και οι διάφορες δοκιμές δε έφεραν πάντα ικανοποιητικά αποτελέσματα.

### **2.3 Η επιλογή και ο ρόλος των φυτών**

Τα φυτά που χρησιμοποιούνται στα συστήματα αυτά πρέπει να είναι υδροχαρή, με την ικανότητα να αντέχουν σε δύσκολες συνθήκες και κυρίως σε βεβαρημένα με μολυντές και οργανική ουσία λύματα. Πιο ειδικά, πρέπει να πληρούν όλα τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Απόλυτα προσαρμοσμένα στο τοπικό περιβάλλον και θερμοκρασίες.
- Δυνατότητα ανάπτυξης και λειτουργίας σε υπόστρωμα πλήρως κορεσμένο με νερό σε όλη τη διάρκεια του χρόνου.
- Αντοχή στις υψηλές ηλεκτρικές αγωγιμότητες των λυμάτων (μερικές φορές μεγαλύτερες και από 3 mS / cm).
- Αντοχή σε ακραίες τιμές του pH, ακόμα και μεταξύ 4 με 10.
- Αντοχή σε υψηλές συγκεντρώσεις οργανικής ουσίας με BOD μεγαλύτερο από 200 mg/l.
- Δυνατότητα μεταφοράς στις ρίζες μεγάλων ποσοτήτων οξυγόνου.
- Μεγάλους αυξητικούς ρυθμούς που θα βοηθήσουν στην απομάκρυνση θρεπτικών στοιχείων από τα λύματα.

Φυτά που συγκεντρώνουν τα χαρακτηριστικά αυτά θεωρούνται τα παρακάτω:

1. *Typha latifolia*
2. *Typha angustifolia*
3. *Phragmites australis*

Όταν τα συστήματα αυτά άρχισαν να κατασκευάζονται, διατυπώθηκαν πολλές υποθέσεις γύρω από το ρόλο των φυτών. Πιο συγκεκριμένα και για τα SF υποστηρίχθηκε ότι τα φυτά θα:

- Διατηρούσαν σταθερή και ίσως αύξαναν την υδραυλική αγωγιμότητα του υποστρώματος με την ανάπτυξη της ριζικής τους μάζας.
- Θα επιδρούσαν δραματικά στην απομάκρυνση των θρεπτικών στοιχείων από τα λύματα και κυρίως του αζώτου.
- Θα προωθούσαν μεγάλες ποσότητες οξυγόνου στο υπόστρωμα, βοηθώντας στη διατήρηση των αερόβιων συνθηκών σε αυτό.
- Θα πρόσδιδαν επιφάνεια ανάπτυξης μικροοργανισμών πάνω στο ριζικό τους σύστημα που θα λειτουργούσε σε αερόβιες συνθήκες.

Από όλα αυτά κάποια επιβεβαιώθηκαν και κάποια απέτυχαν. Πιο συγκεκριμένα, μετά από μελέτες πολλών ετών και καθώς οι γνώμες ακόμα δίστανται, πιστεύεται ότι ο ρόλος των φυτών στα SF έχει ως εξής:

#### *2.3.1. Αισθητικός*

Μια από τις πλέον σημαντικές παραμέτρους αυτού του συστήματος είναι η εύκολη εγκατάστασή του, ακόμα και κοντά σε κατοικημένες περιοχές, όπου αναπτύσσεται μια πλούσια πανίδα και χλωρίδα, με αποτέλεσμα την ουσιαστική αναβάθμιση της περιοχής.

#### *2.3.2. Επεξεργασία των λυμάτων*

Ακόμα και αν αποδεχτεί κανείς τη δυνατότητα παροχής οξυγόνου στο υπόστρωμα (οι γνώμες δίστανται), έχει αποδειχθεί ότι η σημασία των φυτών στην επεξεργασία των λυμάτων είναι μηδαμινή. Η πιθανή απομάκρυνση των θρεπτικών στοιχείων από τα λύματα είναι περιορισμένη σε σύγκριση με άλλους τρόπους (π.χ. απονιτροποίηση) και μη ολοκληρωμένη, αν δεν υπάρχει απομάκρυνση της φυτικής βιομάζας, κάτι το οποίο σπάνια συμβαίνει. Όσο για την υδραυλική αγωγιμότητα, έχει γίνει καθολικά αποδεκτό ότι δεν ισχύει. Αυτό που συμβαίνει είναι η δημιουργία αερόβιων συνθηκών πάνω στην επιφάνεια των ριζών, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη αερόβιων μικροοργανισμών πάνω τους.

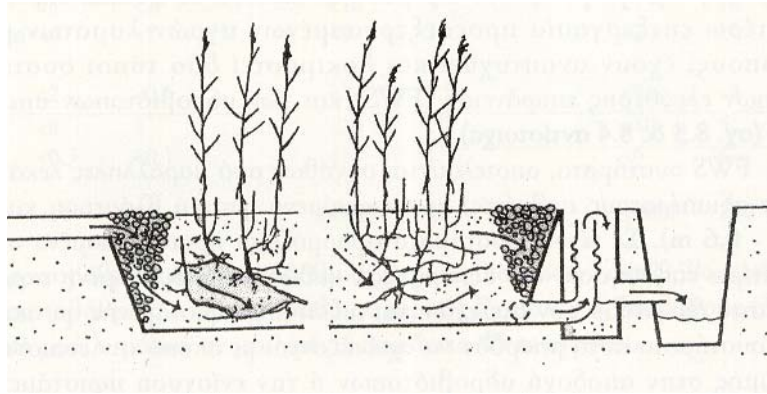
#### *2.3.3. Έλεγχος οσμών*

Μια εξίσου σημαντική παράμετρος, καθώς η βιομάζα που καλύπτει το σύστημα, έχει ως αποτέλεσμα τη συγκράτηση και επεξεργασία των οσμών.

### **2.4 Καθορισμός του βαθμού προεπεξεργασίας**

Όπως αναφέρθηκε και στις πρώτες παραγράφους, τα συστήματα SF έχουν σχεδιαστεί κυρίως για δευτεροβάθμια και τριτοβάθμια επεξεργασία. Για μικρούς οικισμούς η προτεινόμενη προεπεξεργασία είναι μια σηπτική δεξαμενή (δεξαμενή Immhof). Ο συνδυασμός αυτός παρουσιάζεται σχηματικά στην **Εικόνα 2**. Η τριτοβάθμια επεξεργασία μέσω SF μπορεί να έπεται όλων των ειδών επεξεργασίας, με κυριότερη αυτή της ενεργού ιλύος.





**Εικόνα 2** Τομή συστήματος SF και ειδικότερα διάγραμμα διαμόρφωσης του συστήματος εισροής και εκροής.

### **2.5 Καθορισμός του συστήματος διανομής και απομάκρυνσης των λυμάτων**

Η διανομή των υγρών αποβλήτων γίνεται κατά μήκος της πλευράς της εισόδου. Τις περισσότερες φορές πραγματοποιείται με τη χρήση διάτρητων σωλήνων με πόρους των 5 με 20mm ανά 2 - 3m. Στην εκροή των οπών αυτών βρίσκεται ένα στρώμα από χαλίκια μεγάλης διαμέτρου (50 με 200mm), τα οποία συμβάλλουν στην επεξεργασία αλλά και την ισοδιανομή των λυμάτων σε όλο το σύστημα. Οι διαστάσεις του χώρου αυτού εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά του συστήματος, όπως το πλάτος και το μήκος του. Συνήθως προτείνεται να είναι το 10 % του μήκους.

Η εκροή αυτή βασίζεται στην ακριβώς αντίστροφη διάταξη ενός συστήματος εκροής. Ο σωλήνας που βρίσκεται βυθισμένος μέσα στα χαλίκια της διάταξης εκροής είναι και αυτός διάτρητος, όμως με οπές μεγαλύτερες από αυτές του σωλήνα στην εκροή. Οι οπές έχουν διάμετρο 20 με 30mm και βρίσκονται κάθε 10 με 20 πόντους σε διάφορα σημεία του σωλήνα. Το στρώμα από χαλίκια πάνω από τον αγωγό αυτό χρησιμεύει με τέτοιο τρόπο, ώστε να σταματάει την είσοδο ογκωδών σωματιδίων στο σωλήνα και να τον προστατεύει από τυχόν φραξίματα.

Το ύψος του νερού στο σύστημα αυτό καθορίζετε με βάση την αρχή των συγκοινωνούντων δοχείων. Ο σωλήνας συλλογής των λυμάτων συνδέεται με ένα σωλήνα, στον οποίο το ύψος του στομίου καθορίζει το ύψος του νερού μέσα στο σύστημα. Αυτό βοηθάει στην αυξομείωση του χρόνου παραμονής των υγρών αποβλήτων στο σύστημα, ελέγχοντας έτσι την απόδοση του συστήματος και την ικανότητα του να δέχεται διαφορετικές ποσότητες λυμάτων σε διαφορετικές εποχές. Γενικά, ο χρόνος παραμονής των λυμάτων στα SF κυμαίνεται από 1 έως 10 ημέρες, με πιο συνηθισμένη τιμή αυτή των 3 με 5 ημερών. Στο **Σχήμα 1** παρουσιάζονται οι διάφοροι τύποι σωλήνων εκροής που χρησιμοποιούνται στα συστήματα αυτά.



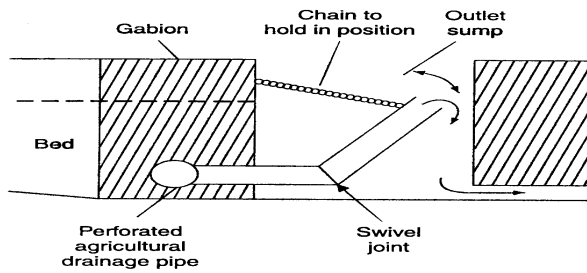


Figure 4.6 Swivelling elbow

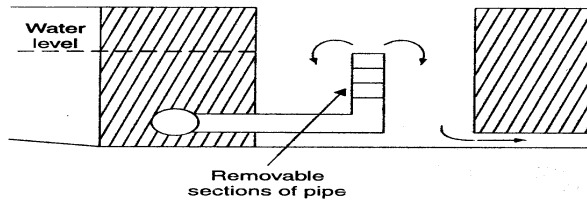


Figure 4.7 Socketted pipe

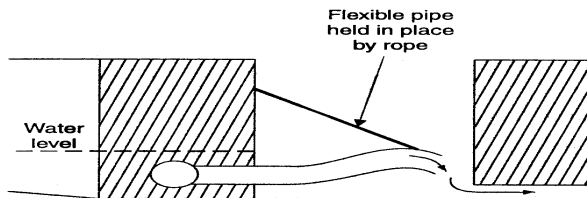


Figure 4.8 Flexible plastic pipe

## Σχήμα 1 Σύστημα εκροής

### 2.6 Διαστασιολόγηση του συστήματος

Η βασική εξίσωση διαστασιολόγησης είναι η (1). Ζητούμενο είναι κάθε φορά να εκτιμηθεί η επιφάνεια των συστημάτων που θα μπορέσει να φέρει το κατάλληλο αποτέλεσμα στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων.

$$A_h = \frac{Q (\ln C_i - \ln C_e)}{k_{BOD} d n} \quad (1)$$

Όπου:

- $A_h$  : η επιφάνεια του συστήματος σε  $m^2$
- $Q$  : ροή σε  $m^3/day$
- $C_i$  : η συγκέντρωση BOD στην εισροή σε  $mg/l$
- $C_e$  : η συγκέντρωση BOD στην εκροή σε  $mg/l$
- $k_{BOD}$  : η σταθερά που εξαρτάται από τη θερμοκρασία και εκφράζεται σε  $d^{-1}$ ,
- $d$  : βάθος του υποστρώματος σε μέτρα
- $n$  : πορώδες του υποστρώματος σε ποσοστό

Από τις παραπάνω παραμέτρους, το  $Q$  υπολογίζεται ως ο αριθμός των ισοδύναμων κατοίκων ενός οικισμού επί 150 L που εκτιμάται ως η μέση ημερήσια κατανάλωση για κάθε κάτοικο. Το  $C_e$  (η συγκέντρωση του οργανικού φορτίου στην εκροή) καθορίζεται από τη νομοθεσία και ουσιαστικά αφορά τον τελικό αποδέκτη. Στις περισσότερες περιπτώσεις θα έχει τιμές που κυμαίνονται από 20 μέχρι και 30  $mg / L$ .

Η  $k_{BOD}$  είναι μια σταθερά που καθορίζεται από τη θερμοκρασία (με βάση μια άλλη εξίσωση) και οι τιμές της διαφοροποιούνται μεταξύ καλοκαιριού και χειμώνα αρκετά. Στην προκειμένη περίπτωση η τιμή της θα θεωρείται ίση με 0,45.

Το βάθος του υποστρώματος ποικίλει από 0,4m μέχρι και 1,0m, με πλέον συνηθισμένη τιμή αυτή των 0,5 ή 0,6m. Για το πορώδες, η τιμή καθορίζεται ανάλογα το υπόστρωμα αλλά για ένα υπόστρωμα από χαλίκια διαφορετικών διαμέτρων (από 30mm μέχρι και 100mm) εκτιμάται μεταξύ 50 και 60 %.

Για να γίνει κατανοητός ο τρόπος που λειτουργεί η εξίσωση, ακολουθεί σχετικό παράδειγμα.

### Άσκηση

Εκτιμήστε την επιφάνεια ενός υδροβιότοπου υπο-επιφανειακής ροής που καλείται να επεξεργαστεί τα απόβλητα 1.200 κατοίκων. Τα παρακάτω δεδομένα δίνονται:

$C_i$  : 158 mg/l  
 $C_e$  : 20 mg/l  
 $d$  : 0,5 m  
 $n$  : 55 %

Αν οι κάτοικοι είναι 1.200, καλό είναι να αυξηθούν κατά ένα ποσοστό 10 % για να εκτιμηθούν οι ισοδύναμοι κάτοικοι που ανέρχονται έτσι σε 1.320.

Η εισροή είναι  $1.320 \text{ ι.κ.} \times 150L = 198m^3 / d$

Με βάση όλα τα παραπάνω και την εξίσωση (1) η απαιτούμενη επιφάνεια του ΤΥ εκτιμάται στα  $3.306,6m^2$ . Για καθαρά λόγους ασφάλειας στρογγυλοποιούμε την τιμή αυτά στα  $3.400m^2$ .

### **3. Συστήματα Ελεύθερης Επιφάνειας ή Επιφανειακής Ροής (Free Water Surface Systems)**

Όπως ακριβώς περιγράφει ο τίτλος, τα συστήματα αυτά έχουν ως χαρακτηριστικό την κυρίως κίνηση του νερού πάνω από την επιφάνεια του εδάφους, σε ύψος που καθορίζεται 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 οφείλεται στην παρουσία και τα χαρακτηριστικά του υποστρώματος.

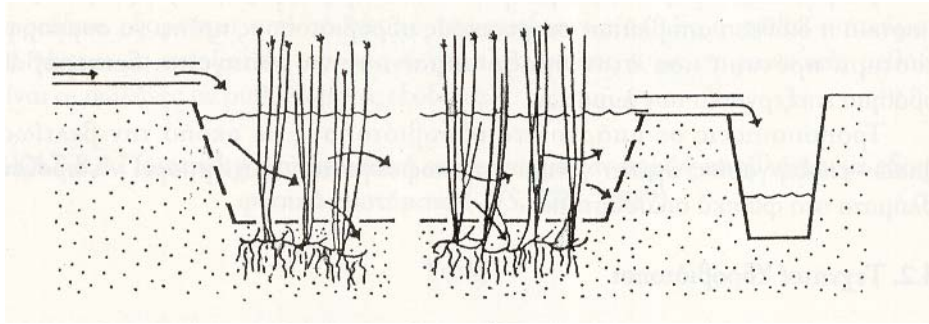
Τα **συστήματα ελεύθερης επιφανειακής ροής** - που για συντομία θα αναφέρονται ως **FWS**, από τη συντομογραφία του αγγλικού ονόματος τους **Free Water Surface** - χαρακτηρίζονται και αυτά ως **υγροβιότοποι (wetlands)** και πιο συγκεκριμένα ονομάζονται **τεχνητοί υγροβιότοποι (constructed wetlands)**, για να γίνεται διάκριση μεταξύ των συστημάτων αυτών και των φυσικών υγροβιότοπων που επίσης (κυρίως στην Αμερική) χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων. Τα **FWS** αποτελούν την πλέον κοινή επιλογή φυσικών συστημάτων στην Αμερική και φαίνεται ότι η χρήση τους θα είναι εκτεταμένη και στην Ελλάδα. Το πρώτο σύστημα που λειτουργεί στη χώρα μας και ανήκει σε αυτή την κατηγορία, είναι αυτό της Πόμπιας.

Στις Η.Π.Α. τα δύο τρίτα των τεχνητών υγροβιότοπων είναι 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.

Η πλέον κοινή χρήση των συστημάτων αυτών είναι και εδώ η δευτεροβάθμια επεξεργασία αστικών υγρών αποβλήτων που προέρχονται κυρίως από μικρούς οικισμούς μικρότερους των 2.000 ι.κ.. Παρόλα αυτά η χρήση των συστημάτων αυτών έχει επεκταθεί και σε άλλες λειτουργίες ανάλογες αυτών που αναφέρθηκαν στα υποεπιφανειακής ροής. Τα συστήματα τα οποία θα μελετήσουμε αναφέρονται σχεδόν αποκλειστικά στη δευτεροβάθμια επεξεργασία αστικών λυμάτων.

#### **3.1 Περιγραφή του συστήματος**

Τα προς επεξεργασία υγρά απόβλητα κινούνται κάτω από τη φυσική επίδραση της βαρύτητας, εξαιτίας της μικρής κλίσης της επιφάνειας του συστήματος αλλά κυρίως λόγω της εισροής στο σύστημα νέων ποσοτήτων λυμάτων που ωθούν τα υπάρχοντα λύματα προς την έξοδο του συστήματος. Στην **Εικόνα 3** παρουσιάζετε μια διαγραμματική απεικόνιση του συστήματος FWS.



**Εικόνα 3** Σχηματική παρουσίαση ενός FWS

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. Όπως και στα συστήματα υποεπιφανειακής ροής, έτσι και εδώ 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 10cm ενώ μπορεί να φτάσει και τα 0,6m. Ο Tchobanoglous αναφέρει ως ιδανικό ύψος νερού αυτό των 0,1 έως 0,3m. Το ύψος του νερού μέσα στο σύστημα καθορίζει μια σειρά παραμέτρων όπως:

- Ο χρόνος παραμονής των λυμάτων για μια καθορισμένη ροή. Αυτό είναι εύκολα κατανοητό, καθώς αυξάνοντας το ύψος του νερού, αυξάνεται και ο ενεργός όγκος του συστήματος.
- Η κυριαρχία αερόβιων ή αναερόβιων συνθηκών μέσα στο σύστημα. Καθώς το ύψος του νερού αυξάνει, μειώνεται 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.

Το μέγιστο ύψος του νερού σε ένα σύστημα καθορίζεται:

- Από τη δυνατότητα των φυτών να αντέχουν και πόσο καλυμμένα κάτω από το νερό.
- Από το πάχος του στρώματος φυτικών ιστών που έχει δημιουργηθεί από την εναπόθεση φυτών στην πάροδο του χρόνου.
- Από τη θερμοκρασία μια και αν υπάρχει περίπτωση να δημιουργηθεί στρώμα πάγου τότε θα πρέπει να βρίσκεται σε τέτοιο ύψος έτσι ώστε από κάτω να μπορεί να γίνεται απρόσκοπτα η επεξεργασία των λυμάτων.

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 παράμετρο επιτυχίας του συστήματος αποτελεί η ανάπτυξη μιας πλούσιας φυτικής βλάστησης. Στην παράγραφο που ακολουθεί γίνεται μια προσέγγιση του σπουδαίου ρόλου των φυτών.

### **3.2 Καθορισμός του βαθμού προεπεξεργασίας**

Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη διάλεξη, οι υγροβιότοποι είναι κυρίως συστήματα σχεδιασμένα για δευτεροβάθμια και τριτοβάθμια επεξεργασία. Αν

πρόκειται για μικρούς οικισμούς τότε η προτεινόμενη προεπεξεργασία είναι μια σηπτική δεξαμενή (δεξαμενή Imhoff).

### 3.3 Διαστασιολόγηση του συστήματος

Η βασική εξίσωση διαστασιολόγησης είναι η (2) και είναι όμοια με αυτή των SSF συστημάτων, με κάποιες μόνο διαφορές στη σημασία κάποιων τεχνικών παραμέτρων.

$$A_h = \frac{Q (\ln C_i - \ln C_e)}{k_{BOD} d n} \quad (2)$$

Όπου:

- $A_h$  : η επιφάνεια του συστήματος σε  $m^2$
- $Q$  : ροή σε  $m^3/day$
- $C_i$  : η συγκέντρωση BOD στην εισροή σε  $mg/l$
- $C_e$  : η συγκέντρωση BOD στην εκροή σε  $mg/l$
- $k_{BOD}$  : η σταθερά που εξαρτάται από τη θερμοκρασία και εκφράζεται σε  $d^{-1}$ ,
- $d$  : βάθος / ύψος του νερού που περνά πάνω από το υπόστρωμα σε μέτρα
- $n$  : πορώδες του χώρου που ρέουν τα απόβλητα ανάμεσα στα φυτά και εκφράζεται ως ποσοστό

Η  $k_{BOD}$  είναι και εδώ μια σταθερά που καθορίζεται από τη θερμοκρασία (με βάση μια άλλη εξίσωση) και οι τιμές της διαφοροποιούνται μεταξύ καλοκαιριού και χειμώνα αρκετά. Στην προκειμένη περίπτωση η τιμή της θα θεωρείτε ίση με 0,45.

Το βάθος/ ύψος του νερού κυμαίνεται από 0,2m έως και 0,6m, με πιο συνηθισμένη τιμή αυτή των 0,2 ή 0,3m. Για το πορώδες των φυτών η τιμή εκτιμάται μεταξύ 60% και 80 %.

Για να γίνει κατανοητός ο τρόπος που λειτουργεί η εξίσωση ακολουθεί σχετικό παράδειγμα.

#### Άσκηση

Εκτιμήστε την επιφάνεια ενός υδροβιότοπου που καλείται να επεξεργαστεί τα απόβλητα 1.200 κατοίκους. Τα παρακάτω δεδομένα δίνονται:

- $C_i$  : 158  $mg/l$
- $C_e$  : 20  $mg/l$
- $d$  : 0,3 m
- $n$  : 75 %

Αν οι κάτοικοι είναι 1.200 καλό είναι να αυξηθούν κατά ένα ποσοστό 10 % για να εκτιμηθούν οι ισοδύναμοι κάτοικοι που ανέρχονται έτσι σε 1.320.

Η εισροή είναι  $1.320 \text{ ικ} \times 150 \text{ L} = 198 \text{ m}^3 / \text{d}$

Με βάση όλα τα παραπάνω και την εξίσωση (1) η απαιτούμενη επιφάνεια του ΤΥ εκτιμάται στα  $4.041,86 \text{ m}^2$ . Για καθαρά λόγους ασφάλειας στρογγυλοποιούμε την τιμή αυτά στα  $4.100 \text{ m}^2$ .