



# **ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**Εκτίμηση της Εξατμισοδιαπνοής και της Υδραυλικής κατά την Επεξεργασία Αστικών  
Λυμάτων με Τεχνητό Υγροβιότοπο Υποεπιφανειακής Ροής.**

Πτυχιακή εργασία

του

**ΑΝΔΡΕΑΔΑΚΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ**

**Εισηγητές: ΜΑΝΙΟΣ ΘΡΑΣΥΒΟΥΛΟΣ**

Ηράκλειο, Απρίλιος 2016

## Περίληψη

---

Το νερό είναι ένα από τα βασικότερα στοιχεία επιβίωσης των οργανισμών που κατοικούν αυτόν τον πλανήτη. Δυστυχώς όμως η ζήτηση του νερού ήδη ξεπέρα την προσφορά σε πολλά μέρη του κόσμου, καθώς ο παγκόσμιος πληθυσμός συνεχίζει να αυξάνεται, και επομένως το ίδιο και η παγκόσμια ζήτηση για νερό. Εξαιτίας της ραγδαίας αύξησης του πληθυσμού της Γης, της μαζικής κατανάλωσης, της κατάχρησης των φυσικών πόρων, της ρύπανσης και μόλυνσης του νερού η διαθεσιμότητα του πόσιμου νερού δεν επαρκεί για να καλύψει τις ανάγκες της σύγχρονης εποχής και διαρκώς μειώνεται. Για αυτό το λόγο, το νερό αποτελεί στρατηγικής σημασίας αγαθό σε όλη την υφήλιο και άρχισε ήδη να αποτελεί αιτία για πολλές πολιτικές διενέξεις. Πολλοί έχουν προβλέψει ότι το καθαρό νερό θα γίνει το πετρέλαιο του μέλλοντος καθιστώντας τον Καναδά, με τα πλεονάζοντα αποθέματα «γλυκού» νερού, την πιο πλούσια χώρα του πλανήτη. Σύμφωνα με την έρευνα της UNESCO που πραγματοποιήθηκε το 2003 για τα παγκόσμια αποθέματα νερού, υπολογίζεται ότι στα επόμενα 20 χρόνια η ποσότητα του νερού που αναλογεί στον καθένα προβλέπεται να μειωθεί κατά 30%. Επομένως, έχουμε ανάγκη να στραφούμε σε τεχνολογικές και μη μεθόδους για την ανακύκλωση και τον καθαρισμό του νερού. Στη παρούσα διπλωματική εργασία, μελετάμε την εξατμισοδιαπνοή και υδραυλική κατά την επεξεργασία λυμάτων μέσω τεχνητών υγροβιότοπων που είναι μια φυσική μέθοδος, ελάχιστα διαδεδομένη στην Ελλάδα. Για την υλοποίηση αυτής της εργασίας, χρησιμοποιούμε τον τεχνητό υγροβιότοπο του αγροκτήματος του Τ.Ε.Ι. Κρήτης, στον οποίο έγιναν οι εργασίες επεξεργασίας των λυμάτων για την πόλη του Ηρακλείου. Τέλος, πραγματοποιούμε μια ανασκόπηση της βιβλιογραφίας σχετικά με το θεωρητικό υπόβαθρο της παραπάνω μεθόδου και παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα που αφορούν την ηλεκτρική αγωγιμότητα και τη μέτρηση χλωρίου για την εκτίμηση της Εξατμισοδιαπνοής και της Υδραυλικής σε έναν Τεχνητό Υγροβιότοπο Υποεπιφανειακής Ροής.

**Λέξεις Κλειδιά:** Τεχνητός Υγροβιότοπος Υποεπιφανειακής ροής, Εξατμισοδιαπνοή, Υδραυλική

## Abstract

---

Water is one of the most basic elements of survival of organisms inhabit this planet. Unfortunately, the water demand already exceeds supply in many parts of the world, as the world population continues to grow, and therefore so is the global demand for water. Because of the rapid growth of the world population, mass consumption, abuse of natural resources, pollution and contamination of water availability of drinking water is insufficient to meet the needs of modern times and constantly decreasing. For this reason, water is a strategic asset across the globe and has already begun to cause many political conflicts. Many have predicted that clean water will become the oil of the future making Canada, with surplus stocks "sweet" water, the richest country on the planet. According to a UNESCO survey conducted in 2003 on global water reserves, estimated that in the next 20 years the amount of water that corresponds to each set to decrease by 30%. Therefore, we need to turn to technological and non methods for recycling and water purification. In this thesis, we study the evapotranspiration and hydraulics during waste water treatment by artificial wetlands which is a natural process, hardly widespread in Greece. For the realization of this work, we use the artificial wetland farm of TEI Crete, where the work of wastewater treatment for the city of Heraklion was done. Finally, we carry out a review of the theoretical background of the above method and we present the results concerning the electrical conductivity and chlorine measurement for estimating Evapotranspiration and Hydraulics in an artificial wetland subsurface flow.

**Keywords:** Artificial Wetland subsurface flow, Evapotranspiration, Hydraulic

## Ευχαριστίες

---

Ολοκληρώνοντας τις σπουδές μου στο ΤΕΙ Κρήτης καθώς και τη διπλωματική μου εργασία θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν στην ολοκλήρωσή της. Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Μανιό Θρασύβουλο για την εμπιστοσύνη που έδειξε στις δυνατότητές μου, τη συνεργασία μας και την ουσιαστική καθοδήγησή

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους και την οικογένειά μου, για όσα μου έχουν προσφέρει μέχρι τώρα, αλλά και για τη στήριξη τους σε αυτή την τόσο σημαντική προσπάθεια.

# Περιεχόμενα

---

1. Εισαγωγή .....	6
2. Θεωρητικό Υπόβαθρο .....	8
2.1 Τεχνητοί υγροβιότοποι.....	8
2.1.1 Τεχνητοί Υγροβιότοποι Υποεπιφανειακής Ροής (SSF).....	10
2.1.2 Τεχνητοί Υγροβιότοποι Επιφανειακής Ροής (FWS) .....	12
2.2 Φυτά κάλυψης.....	14
2.2.1 Καλάμια (Arundo donax) .....	14
2.2.2 Αλόφυτα (Halophytes).....	15
2.3 Υδραυλικός χρόνος παραμονής .....	22
3. Πειραματικό μέρος .....	25
3.1 Πειραματικοί τεχνητοί υγροβιότοποι ΤΕΙ Κρήτης .....	25
3.2 Πειράματα προσδιορισμού υδραυλικού χρόνου παραμονής .....	27
3.3 Μέτρηση εξατμισο-διαπνοής .....	28
3.4 Φυσικοχημικές Αναλύσεις .....	29
3.4.1 Ηλεκτρική αγωγιμότητα .....	29
3.4.2 Μέτρηση χλωριόντων.....	31
4. Αποτελέσματα και Συμπεράσματα.....	33
4.1 Υπολογισμός υδραυλικού χρόνου παραμονής.....	33
4.2 Υπολογισμός εξατμισοδιαπνοής .....	36
4.3 Συμπεράσματα .....	37
Βιβλιογραφία .....	38

# 1. Εισαγωγή

Η μετάβαση των ανθρωπίνων κοινωνιών από νομαδικές κοινότητες σε πιο μόνιμες δομές έφερε στο φως την ανάγκη να διευθετηθεί το πρόβλημα της διάθεσης των στερεών και υγρών αποβλήτων που παράγονταν στις κοινωνίες αυτές. Όσο ο άνθρωπος ζούσε ως κυνηγός και ως συλλέκτης, τα απόβλητα διαθέτονταν ελεύθερα στη φύση όπου αποσυνθέτονταν με φυσικό τρόπο. Με το σχηματισμό των πρώτων πόλεων, παρουσιάστηκε η ανάγκη ανεύρεσης εναλλακτικών τρόπων και μεθόδων για την διάθεση των αποβλήτων.

Μέχρι προσφάτως, όσον αφορά την υγιεινή των αποβλήτων δινόταν έμφαση στην ελαχιστοποίηση των κινδύνων υγείας, από μολυσματικές ασθένειες. Σήμερα η υγιεινή αποβλήτων, εστιάζεται επίσης στο να αντιμετωπίσει τους χρόνιους κινδύνους υγείας και τις επιπτώσεις των ρύπων στο περιβάλλον. Η διαχείριση των υγρών αποβλήτων και ιδιαίτερα η επεξεργασία και η διάθεση τους, συνδέονται άμεσα με την υδατική ρύπανση, τη χρήση και γενικότερα με την διαχείριση των υδατικών πόρων και αποτελεί σημαντικό αντικείμενο της προστασίας του περιβάλλοντος στις σημερινές κοινωνίες. Για την διασφάλιση της ποιότητας των λυμάτων που καταλήγουν στο περιβάλλον, τα λύματα επεξεργάζονται με στόχο την απομάκρυνση μη επιθυμητών σωματιδίων, βαρέων μετάλλων και θρεπτικών ουσιών. Τα συστήματα που χρησιμοποιούνται διαφέρουν ανάλογα με τον όγκο των λυμάτων. Πάντα όμως η επεξεργασία των αποβλήτων υπακούει σε οδηγίες και κανονισμούς που έχουν στόχο την εξασφάλιση της ποιότητας των αποβλήτων ώστε να μην δημιουργεί η απόρριψή τους πρόβλημα στο περιβάλλον.

Αποτελεί λοιπόν επιτακτική ανάγκη να υιοθετήσουμε ως στάση ζωής την επιστροφή του ανθρώπου στο φυσικό περιβάλλον. Να υιοθετήσουμε την εφαρμογή μιας περιβαλλοντικής πολιτικής, η οποία με την συμβολή και αξιοποίηση των νέων τεχνολογιών θα προωθήσει την φιλοσοφία επαναχρησιμοποίησης υλικών, διαφυλάττοντας τις φυσικές πρώτες ύλες του πλανήτη αλλά και την χρήση ήπιων, εναλλακτικών μορφών ενέργειας, (ηλιακή, αιολική, γεωθερμική) οι οποίες είναι οι πρώτες μορφές ενέργειας, που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος και είναι ανεξάντλητες, οικονομικές και φιλικές προς το περιβάλλον. Να υιοθετήσουμε μια τέτοια πολιτική πρακτική, η οποία θα διευκολύνει την ενημέρωση του πολίτη και την πρόσβασή του σε

πηγές πληροφόρησης, που σχετίζονται με την προστασία του φυσικού περιβάλλοντος και η οποία θα προάγει την ενεργό συμμετοχή του σε μείζονος σημασίας περιβαλλοντικά θέματα. Το γεγονός αυτό αποτελεί υποχρέωση της Πολιτείας και θα συμβάλει στο χτίσιμο της εμπιστοσύνης μεταξύ του πολίτη και των Δημοσίων Αρχών.

## 2. Θεωρητικό Υπόβαθρο

Σε αυτό το κεφάλαιο εμφανίζουμε την έννοια του τεχνητού υγροβιότοπου, παρουσιάζουμε τα είδη στα οποία διακρίνεται και αναλύουμε τον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων. Παράλληλα, εμβαθύνουμε στη μελέτη της προέλευσης των φυτών κάλυψης (καλάμια και αλόφυτα) αλλά και στον τρόπο με τον οποίο τα χρησιμοποιήσαμε για την εκτέλεση του πειραματικού μέρους της εργασίας. Τέλος, κάνουμε μια αναφορά στον υδραυλικό χρόνο παραμονής.

### 2.1 Τεχνητοί υγροβιότοποι

Υγροβιότοπος (κατά την Βιολογία), ή αλλιώς υγρότοπος (κατά την Εδαφολογία) ονομάζεται κάθε τόπος που καλύπτεται μόνιμα ή εποχικά από ρηγά νερά ή που δεν καλύπτεται ποτέ από νερά αλλά έχει υγρό υπόστρωμα για μεγάλο διάστημα του έτους.

Πιο αναλυτικά, οι υγρότοποι είναι φυσικές ή τεχνητές περιοχές αποτελούμενες από έλη με πλώδη βλάστηση, από μη αποκλειστικώς ομβροδίατα έλη με τυρφώδες υπόστρωμα, από τυρφώδεις γαίες ή από νερό. Οι περιοχές αυτές είναι μόνιμα ή προσωρινά κατακλυζόμενες από νερό το οποίο είναι στάσιμο ή τρεχούμενο, γλυκό, υφάλμυρο ή αλμυρό και περιλαμβάνουν επίσης εκείνες τις εκτάσεις που καλύπτονται από θαλασσινό νερό το βάθος του οποίου κατά τη ρηχία δεν υπερβαίνει τα έξι μέτρα. Ουσιώδη γνωρίσματα της μεταβατικής ζώνης που παρεμβάλλεται μεταξύ των μόνιμα κατακλυσμένων και των καθαρά χερσαίων περιοχών είναι η παρουσία υδροχαρούς βλάστησης και η ύπαρξη υδρομορφικών εδαφών, δηλαδή εδαφών που ανέπτυξαν ειδικά γνωρίσματα ως αποτέλεσμα της υψηλής υπόγειας στάθμης νερού (Ramsar).

Οι φυσικοί και οι τεχνητοί υγροβιότοποι επιδρούν στην παγκόσμια ισορροπία των σημαντικών αερίων θερμοκηπίων, CO<sub>2</sub> και CH<sub>4</sub>. Τα συστήματα αυτά ενεργούν ως αποταμιευτές CO<sub>2</sub> μέσω της φωτοσυνθετικής αφομοίωσης από την ατμόσφαιρα και της αποδόμησης του οργανικού υλικού που παράγεται στο έδαφος του υγροβιότοπου. Από την άλλη μεριά, οι υγροβιότοποι μπορεί να είναι πηγές εκπομπών μεθανίου και υποξειδίου του αζώτου.

Τα συστήματα των υδροβιότοπων χρησιμοποιούνται ευρέως για την επεξεργασία λυμάτων όπου τα θρεπτικά και το οργανικό φορτίο απομακρύνονται μέσω διαφόρων



μηχανισμών. Στα συστήματα τα οργανικό υλικό και το άζωτο απομακρύνεται τελικά μέσω της εξάτμισης διαφόρων αερίων όπως CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>, κλπ. Τα αέρια εκπέμπονται από το κατακλυσμένο με νερό έδαφος είτε με διάχυση από το νερό είτε με ενεργή μεταφορά από τα φυτά. Τα φυτά μεταφέρουν το οξυγόνο στις ρίζες και τα μικροβιακά αέρια παραπροϊόντα εκπέμπονται από τις ρίζες στην ατμόσφαιρα. Ο μηχανισμός μεταφοράς των αερίων από τα φυτά είναι ταχύτερος από την διάχυση στο νερό. Γι αυτό η παρουσία φυτών στα συστήματα πιθανόν να αυξάνει τις εκπομπές αερίων από το έδαφος. Τα φυτά επίσης επιδρούν στο μικροβιακή διαδικασία και τα παραπροϊόντα τους μέσω της απελευθέρωσης οξυγόνου και της έκκρισης του διαθέσιμου άνθρακα στο έδαφος.

Το κόστος κατασκευής των τεχνητών υγροβιότοπων, όπως και το λειτουργικό κόστος τους ανέρχονται περίπου στο 1/2 και στο 1/5 αντίστοιχα των άλλων συμβατικών λύσεων. Η οικονομικότητα αυτών των συστημάτων οφείλεται στο γεγονός ότι δεν απαιτούνται μεγάλες και δαπανηρές κατασκευές, μηχανικά και κινούμενα τμήματα, καθώς και πολύπλοκα ηλεκτρονικά συστήματα ελέγχου. Απαιτούν την ελάχιστη ανθρώπινη παρουσία για συντήρηση, η οποία μετά τον πρώτο χρόνο λειτουργίας τους αυτή μπορεί να περιοριστεί και σε μια μόνο μηνιαία επίσκεψη. Η απομάκρυνση της ιλύος που συγκεντρώνεται σε δεξαμενές προεπεξεργασίας (και όχι μέσα στον ίδιο τον υγροβιότοπο) γίνεται μια φορά το χρόνο ή και κάθε δεύτερο χρόνο, ανάλογα με το σχεδιασμό. Από πλευράς αποτελεσματικότητας η απομάκρυνση των μολυντών από τα προς επεξεργασία λύματα, σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία, μπορεί να φτάσει μέχρι και το 98% για το οργανικό φορτίο, το 99% για τα στερεά και το 99% για τους παθογόνους μικροοργανισμούς. Εξαρτάται φυσικά από το αρχικό φορτίο, το σχεδιασμό, τον υδραυλικό χρόνο παραμονής των αποβλήτων στον υγροβιότοπο και το επίπεδο συντήρησης της μονάδας γενικότερα.

Οι δύο πιο συνηθισμένες μορφές των τεχνητών υγροβιότοπων είναι τα συστήματα υποεπιφανειακής ροής (subsurface flow systems) και τα συστήματα ελεύθερης επιφάνειας ή επιφανειακής ροής (free water surface systems).

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

Τα συστήματα τύπου (SSF) 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 αναπτυσσόμενης (επιφανειακά) φυτικής βλάστησης.

Σ' αυτόν τον τύπο των υγροβιότοπων, η επεξεργασία των λυμάτων γίνεται μέσα στο έδαφος από τούς μικροοργανισμούς που αναπτύσσονται στο εδαφικό πορώδες. Το βάθος του υγροβιότοπου κυμαίνεται μεταξύ των 30 και 60 cm, αλλά έχουν καταγραφεί συστήματα με βάθος μέχρι και 1 m. Το σύστημα απαιτεί προεπεξεργασία των αποβλήτων όπως είναι μια απλή σηπτική δεξαμενή. Χωρίς την προεπεξεργασία αυτή, οι πόροι του εδάφους θα κλείσουν με αποτέλεσμα την μείωση της απόδοσης του συστήματος. Οι κροκάλες (μεγάλα χαλίκια) τοποθετημένες στην είσοδο του συστήματος έχουν μεγάλες διαστάσεις (τουλάχιστον 60 mm) και χρησιμοποιούνται για την ομοιόμορφη διάχυση των λυμάτων.

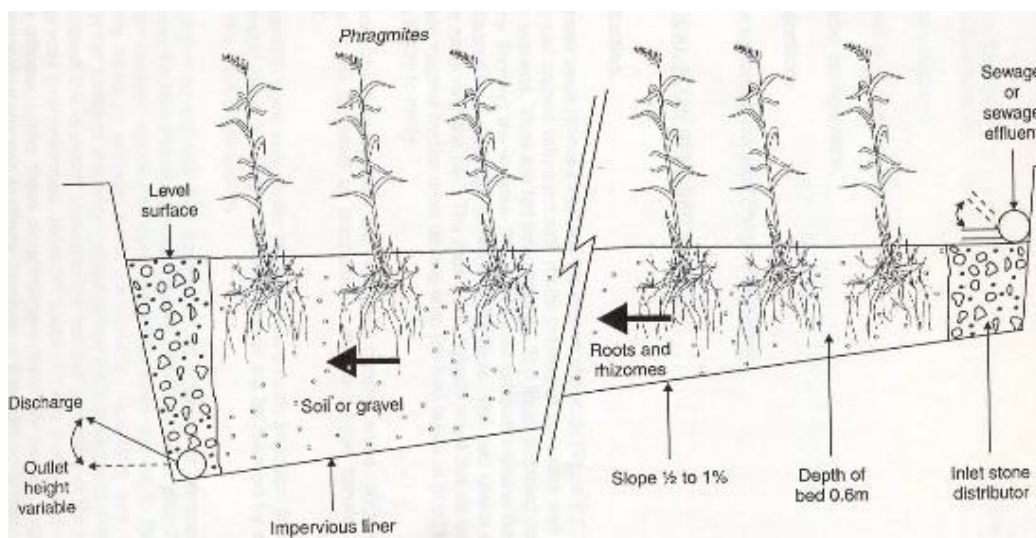
Η φυτική βλάστηση από πολλούς ειδικούς στο χώρο δε θεωρείται αναγκαία για τη λειτουργία του συστήματος. Η παρουσία της όμως, συμβάλλει σημαντικά στην αισθητική αναβάθμιση του συστήματος και στην προσέλευση πτηνών και άλλων ειδών της τοπικής πανίδας και έτσι διαμορφώνεται ουσιαστικά ένας υγροβιότοπος. Οι οσμές είναι σχεδόν ανύπαρκτες, δεδομένου ότι η κίνηση των λυμάτων γίνεται υπο-επιφανειακά και ελάχιστες οχλήσεις επίσης παρατηρούνται από πλευράς εντόμων. Ως προς το υπόστρωμα αυτών των συστημάτων θα πρέπει να αποφεύγεται η χρήση λεπτόκοκκων αργιλωδών ή αργιλο-πηλωδών εδαφών δεδομένου ότι το λεπτό πορώδες τους κλείνει πολύ εύκολα και μηδενίζεται η λειτουργία του συστήματος. Ενδείκνυται η χρήση χαλικιών διαφόρων διαστάσεων (από άμμο μέχρι και χαλίκια 60 mm) σε στρώματα. Η απαιτούμενη έκταση φτάνει περίπου τα 4 με 6 m<sup>2</sup> ανά ισοδύναμο κάτοικο, μέγεθος που ποικίλλει σημαντικά στη σχετική διεθνή βιβλιογραφία.

Επίσης, οι τεχνητοί υγροβιότοποι υποεπιφανειακής ροής διακρίνονται σε δυο υποκατηγορίες τους τεχνητούς υγροβιότοπους οριζόντιας ροής (HF) και τους τεχνητούς υγροβιότοπους κατακόρυφης ροής (VF).

Στους υγροβιότοπους οριζόντιας ροής τα υγρά απόβλητα τροφοδοτούνται από τη μία άκρη του υγροβιότοπου και οδηγούνται στην έξοδο (αντιδιαμετρικά της εισόδου) καλύπτοντας μία οριζόντια πορεία. Κατά τη διάρκεια αυτής της πορείας έρχονται σε επαφή με ένα σύστημα αερόβιων, ανοξικών και αναερόβιων ζωνών. Οι αερόβιες ζώνες βρίσκονται γύρω από τις ρίζες των αναπτυσσόμενων φυτών του υγροβιότοπου. Το φυτό που συνήθως χρησιμοποιείται είναι το *Phragmites australis*, το κοινώς λεγόμενο καλάμι, το οποίο έχει την ικανότητα να μεταφέρει οξυγόνο από τα φύλλα και μέσω των ριζωμάτων στις ρίζες. Φαίνεται ότι στην περιοχή γύρω από τα ριζώματα, στη λεγόμενη ριζόσφαιρα, αναπτύσσονται οι πληθυσμοί των βακτηρίων. Το οργανικό φορτίο οξειδώνεται από τους ετεροτροφικούς μικροοργανισμούς, ενώ οι νιτροποιητές οξειδώνουν την αμμωνία σε νιτρώδη και νιτρικά. Σε περιοχές γύρω και μακριά από τις ρίζες, όπου οι συνθήκες είναι ανοξικές γίνεται η απονιτροποίηση, δηλαδή η μετατροπή των νιτρικών και νιτρωδών ενώσεων σε αέριο άζωτο. Αυτός είναι και ο κύριος μηχανισμός απομάκρυνσης αζώτου αφού η πρόσληψή του από τα φυτά θεωρείται αμελητέα. Τα αιωρούμενα στερεά απομακρύνονται μέσω καθίζησης και σε μικρές αποστάσεις από το σημείο εισροής του αποβλήτου στο σύστημα, ενώ η απομάκρυνση φωσφόρου σε τέτοια συστήματα είναι εξαιρετικά περιορισμένη, λόγω της περιορισμένης επαφής του αποβλήτου με το έδαφος. Τα αιωρούμενα στερεά σε συστήματα υγροβιότοπων ελεύθερης επιφάνειας απομακρύνονται αφενός μεν με καθίζηση, που ευνοείται από τις επικρατούσες μικρές ταχύτητες ροής και το μικρό βάθος νερού και αφετέρου δε με διήθηση διαμέσου του εδαφικού βιολογικού φίλτρου και της φυτικής βλάστησης. Οι υγροβιότοποι οριζόντιας ροής έχουν περιορισμένη δυνατότητα μεταφοράς οξυγόνου και δεν μπορούν να νιτροποιήσουν σε υψηλούς ρυθμούς, ούτε και να επεξεργαστούν αποτελεσματικά απόβλητα με μεγάλες συγκεντρώσεις οργανικού φορτίου. Η αδυναμία αυτή οδήγησε τα τελευταία χρόνια στον σχεδιασμό υγροβιότοπων κατακόρυφης ροής.

Οι υγροβιότοποι κατακόρυφης ροής αποτελούνται συνήθως από στρώσεις διαβαθμισμένων υλικών (έδαφος, άμμος, χονδρόκοκκα, αδρανή, πλαστικά κ.λπ.), ενώ τα καλάμια φυτεύονται στην άνω στρώση που είναι συνήθως από άμμο. Τα υγρά απόβλητα διερχόμενα κατακόρυφα του υγροβιότοπου συλλέγονται σε ένα δίκτυο αποστράγγισης τοποθετημένο στη βάση του. Οι στρώσεις διαβαθμισμένων υλικών αποστραγγίζουν πλήρως και έτσι επιτρέπεται η είσοδος νέου αέρα ανάμεσα στους πόρους των υλικών. Η επόμενη δόση υγρών αποβλήτων που θα διέλθει του υγροβιότοπου, παγιδεύει τον αέρα στους πόρους, που σε

συνδυασμό με τον αερισμό που δημιουργείται από την απότομη εφαρμογή της δόσης δημιουργεί άριστες συνθήκες οξυγόνωσης, διάσπασης του οργανικού φορτίου και νιτροποίησης. Η απομάκρυνση του αζώτου επιτυγχάνεται και στην περίπτωση αυτή μέσω νιτροποίησης - απονιτροποίησης, ενώ η απομάκρυνση φωσφόρου εξαρτάται από τη φύση του εφαρμοζόμενου υποστρώματος. Η απομάκρυνση μετάλλων ποικίλει και επιτυγχάνεται κυρίως με κατακρήμνιση και προσρόφηση, ενώ η απομάκρυνση των παθογόνων οργανισμών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη δομή του υποστρώματος και την ταχύτητα ροής. Τα αιωρούμενα στερεά απομακρύνονται κυρίως με φιλτράρισμά τους στο έδαφος ή το υπέδαφος. Οι υγροβιότοποι κατακόρυφης ροής πλεονεκτούν ως προς τη μεταφορά οξυγόνου, ωστόσο απαιτείται προσεκτική μελέτη της ποσότητας των υγρών αποβλήτων που θα εφαρμοστεί και της χρονικής περιόδου εφαρμογής της επόμενης δόσης. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι το σύστημα δεν είναι και τόσο αποτελεσματικό, σε ό,τι αφορά την απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών, με αποτέλεσμα συχνά να συνδυάζεται με υγροβιότοπο οριζόντιας ροής.



Εικόνα 1: Σχηματική παρουσίαση συστήματος τεχνητών υγροβιότοπων υποεπιφανειακής ροής (SSF) (Tchobanoglous and Burton, 1996)

### 2.1.2 Τεχνητοί Υγροβιότοποι Επιφανειακής Ροής (FWS)

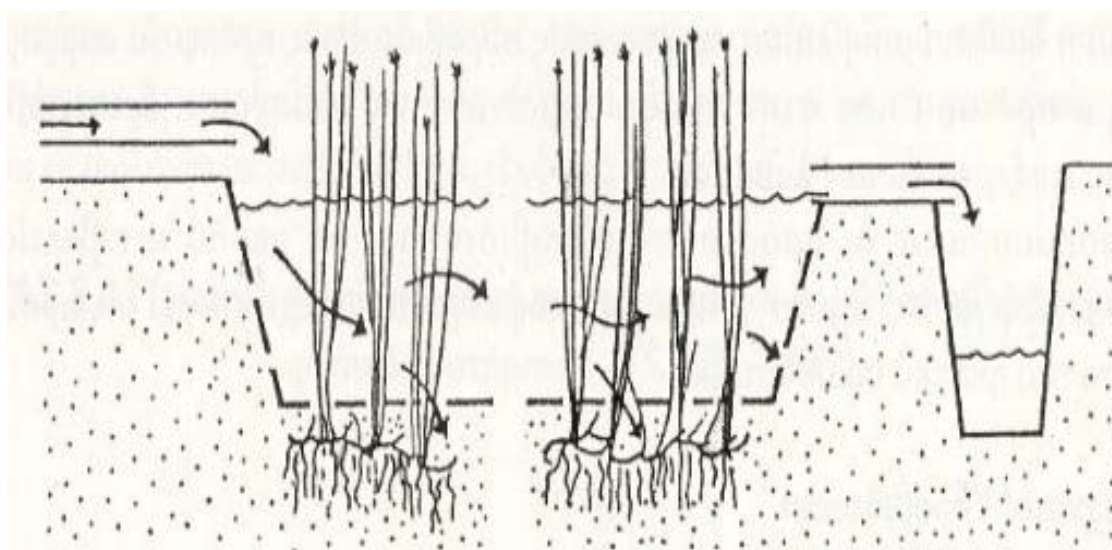
Τα συστήματα επιφανειακής ροής FWS αποτελούνται, συνήθως, από παράλληλες λεκάνες, κανάλια ή τάφρους με αδιαπέρατους πυθμένες, με αναφυόμενη φυτική βλάστηση και

μικρό βάθος νερού (0,1-0,6 m). Πρόκειται για συστήματα στα οποία τα λύματα κινούνται επιφανειακά και σε ένα στρώμα πάχους 10 - 30 cm. Η κίνηση των λυμάτων γίνεται τόσο με τη βοήθεια της βαρύτητας, λόγω της μικρής (< 1 %) κλίσης της επιφάνειας του εδάφους, όσο και λόγω της συνεχούς εισροής λυμάτων στην είσοδο του συστήματος. Το σύστημα απαιτεί την ύπαρξη προεπεξεργασίας (συνήθως σηπτική δεξαμενή) και φυτικής βλάστησης και για να είναι πλήρως λειτουργικό θα πρέπει η βλάστηση να έχει αναπτυχθεί ικανοποιητικά με την έναρξη πλήρους λειτουργίας του. Στην είσοδο του συστήματος απαιτείται η παρουσία κροκάλων όπως και στα συστήματα υποεπιφανειακής ροής. Επίσης, τα συστήματα αυτά μπορούν να σχεδιάζονται με σκοπό τη δημιουργία νέων εθίμων και την ευαισθητοποίηση της κοινής γνώμης για την αποδοχή υδροβιότοπων ή ενίσχυση υφιστάμενων φυσικών υδροβιότοπων. Σε τέτοιες περιπτώσεις, αναπτύσσεται ένας συνδυασμός υδατικών επιφανειών, με βλάστηση και ανοικτών και μικρών νησίδων με την κατάλληλη βλάστηση και ενίσχυση της ροής του νερού με αναζωογόνηση των υφιστάμενων εθίμων.

Σ' αυτό τον τύπο τεχνητού υδροβιότοπου η φυτική βλάστηση είναι απολύτως αναγκαία για την ικανοποιητική λειτουργία του συστήματος. Οι μικροοργανισμοί αναπτύσσονται πάνω στους βλαστούς και τα φύλλα των υδροχαρών φυτών. Η απομάκρυνση της βλάστησης δεν ενδείκνυται, τουλάχιστον για τα τρία με πέντε πρώτα χρόνια λειτουργίας. Στην περίπτωση που η ανάπτυξη των φυτών έχει καθυστερήσει μέχρι την έναρξη λειτουργίας του συστήματος η τοποθέτηση πλαστικών πλεγμάτων για προσωρινή αντικατάσταση των φυτών ενδείκνυται. Η απομάκρυνση της παλαιάς φυτικής μάζας είναι δυνατή αρκεί να γίνει με προσοχή για να μην καταστραφεί η υδατοστεγής μεμβράνη στον πυθμένα του συστήματος. Η παρουσία των φυτών σε αυτό το σύστημα εξυπηρετεί και την αντιμετώπιση των οσμών που δημιουργούνται λόγω της ελεύθερης επιφάνειας των λυμάτων, αλλά γενικότερα δεν παρατηρείται πρόβλημα οσμών.

Η χρήση εντομοφάγων ψαριών θεωρείται αναγκαία για την αντιμετώπιση των κουνουπιών. Προσοχή πρέπει να δοθεί στο να διατηρηθεί η κίνηση των λυμάτων σε όλη την επιφάνεια του συστήματος καθώς και ένα ελάχιστο ύψος νερού έτσι ώστε τα ψάρια να έχουν το απαιτούμενο νερό και αρκετό οξυγόνο για να επιβιώσουν. Η απαιτούμενη έκταση υπολογίζεται περίπου σε 4,5 με 6,5 m<sup>2</sup> ανά ισοδύναμο κάτοικο, αλλά και αυτή ποικίλλει στη διεθνή βιβλιογραφία.

Συνοψίζοντας λοιπόν, τα πλεονεκτήματα του FWS είναι: 1) Χαμηλό κόστος κατασκευής, 2) Χαμηλό λειτουργικό κόστος, 3) Αντοχή σε διακυμάνσεις υδραυλικού και ρυπαντικού φορτίου (πολύ μικρές παροχές – έως αρκετά μεγάλες), 4) Προσαρμογή στο ευρύτερο οικοσύστημα και την αισθητική της περιοχής, 5) Φυσική διεργασία → πράσινη τεχνολογία ενώ τα μειονεκτήματα είναι: 1) Επιτυγχάνεται μειωμένη απομάκρυνση αζώτου και φωσφόρου, 2) Πραγματοποιείται φτωχή οξυγόνωση της υγρής στήλης, 3) Δημιουργούνται προβλήματα οσμών και κουνουπιών, 4) Απαιτούνται μεγάλες εκτάσεις για την κατασκευή.



Εικόνα 2: Σχηματική παρουσίαση συστημάτων ελεύθερης επιφάνειας νερού (FWS) (Tchobanoglous and Burton, 1996)

## 2.2 Φυτά κάλυψης

### 2.2.1 Καλάμια (*Arundo donax*)

Η καλάμια ανήκει στην οικογένεια Αγραωστίδες. Χρησιμοποιούνται σαν φράχτες για την προφύλαξη των καλλιεργειών από τους ισχυρούς ανέμους (ανεμοθραύστες), στην καλαθοπλεκτική και γενικά στην κατασκευή πολλών αντικειμένων και οργάνων, όπως τελάρα, φλογέρες, αλιευτικά καλάμια (καλαμίδια), στηρίγματα φυτών, καλαμοτές (για ξήρανση καρπών), στην κατασκευή χωρισμάτων και οροφών κτλ.

Η καλαμιά είναι ένα πολυετές φυτό με C3 φωτοσυνθετικό μηχανισμό και ανήκει στην οικογένεια Poaceae. Με πιθανή καταγωγή την Ασία, θεωρείται επίσης φυτό ενδημικό των Μεσογειακών χωρών. Το φυτό έχει επεκταθεί σε πολλές υποτροπικές και θερμές-εύκρατες περιοχές και ευρίσκεται αναπτυσσόμενο στις ΗΠΑ, στην Κίνα, στην Αυστραλία και στη Ν. Αφρική. Τα νεαρά φύλλα του φυτού είναι κατάλληλα για ζωοτροφή, ενώ στην Ευρώπη χρησιμοποιείται και σαν καλλωπιστικό φυτό. Άλλες χρήσεις του φυτού περιλαμβάνουν την στήριξη και αντιανεμική προστασία διαφόρων καλλιεργειών, την κατασκευή πρόχειρων υποστέγων, ράβδων μετρήματος, μπαστουνιών, μουσικών οργάνων, καλάθιων και ψαθών, καθώς και την παραγωγή χαρτιού και πλαστικών. Τέλος, το καλάμι λόγω της υψηλής του απόδοσης σε βιομάζα, θεωρείται κατάλληλο ως στερεό βιοκαύσιμο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας.

### **2.2.2 Αλόφυτα (*Halophytes*)**

Ως αλόφυτα, χαρακτηρίζονται τα φυτά, τα οποία φύονται και ευδοκούν σε αλμυρά - αλατούχα εδάφη. Τα αλατούχα εδάφη είναι εχθρικοί βιότοποι για τα υπόλοιπα φυτά, γιατί, αν και είναι υγρά, πολλές φορές συμπεριφέρονται σαν ξηρά από φυσιολογική άποψη. Αυτό συμβαίνει α) γιατί το νερό, που βρίσκεται μέσα σ'αυτά, συγκρατείται από πολλά ιόντα με φυσικοχημικές δυνάμεις (άλατα) και δεν είναι διαθέσιμο στα φυτά και β) γιατί τα άλατα σε μεγάλη συγκέντρωση είναι τοξικά για τα περισσότερα φυτά.

Η προέλευση των αλμυρών εδαφών μπορεί να είναι εδαφική, όπως τα παραθαλάσσια αλίπεδα, τα οποία περιέχουν πολύ NaCl από το θαλασσίνο νερό, που τα πλημμυρίζει σε ορισμένες περιόδους, αλλά μπορεί να είναι και κλιματική, όπως τα αλίπεδα των ερήμων και των στεπών. Εκεί η έντονη ξηρασία προκαλεί μεγάλη εξάτμιση και έτσι προκύπτει αύξηση της περιεκτικότητας σε θειικά και ανθρακικά άλατα νατρίου, μαγνησίου και ασβεστίου. Τα αλόφυτα μπορούν να ζήσουν στα παραπάνω δυσμενή περιβάλλοντα με προσαρμογές και μηχανισμούς τέτοιους, ώστε να μπορούν να αντλούν νερό από τα φυσιολογικώς ξηρά εδάφη, αλλά και να εξουδετερώνουν την τοξική υπερτονική δράση των διαφόρων αλάτων και ιόντων που είναι διαλυμένα μέσα σε αυτά.

Τα αλόφυτα διακρίνονται σε γνήσια ή υποχρεωτικά αλόφυτα και σε προαιρετικά. Τα γνήσια φυτρώνουν αποκλειστικά σε αλατούχα εδάφη και σε αλμυρά ή υφάλμυρα νερά, ενώ τα προαιρετικά ευδοκιμούν και σε εδάφη απαλλαγμένα από άλατα.

Τα γνήσια αλόφυτα παρουσιάζουν ορισμένες διαφοροποιήσεις και προσαρμογές, προκειμένου να ανταπεξέλθουν στο τοξικό περιβάλλον και στη φυσιολογική ξηρασία των αλατούχων εδαφών, δηλαδή να μπορούν να αντλούν νερό από τα φυσιολογικώς ξηρά εδάφη, αλλά και να εξουδετερώνουν την τοξική υπερτονική δράση των διαφόρων αλάτων και ιόντων, τα οποία είναι διαλυμένα μέσα σε αυτά. Έτσι υπάρχει η άποψη, ότι τα αλόφυτα ανυψώνουν την ωσμωτική τους πίεση αποθηκεύοντας άλατα. Όσο περισσότερο μπορεί το πρωτόπλασμα να υποφέρει άλατα, τόσο περισσότερο νερό μπορεί να απορροφήσει το φυτό. Αυτό ακριβώς συμβαίνει με τα είδη των γενών Σαλικόρνια (*Salicornia*), Αρθρόκνημον (*Arthrocnemum*) και Σουαίδα (*Suaeda*) τα κοινά αρμιρίδια. Συγκεκριμένα, αυξάνουν την ωσμωτική πίεσή τους περισσότερο από την πίεση των διαλύσεων του εδάφους, αποθηκεύοντας μέσα στον κυτταρικό χυμό τους διάφορα άλατα. Αποτέλεσμα αυτής της προσαρμογής είναι η σαρκώδης μορφή, την οποία παίρνουν τα φυτά αυτά (π.χ. κρίταμο), όπως επίσης και οι ανατομικές και μορφολογικές διαφοροποιήσεις τους. Μερικά είδη μπορούν να καταλήξουν στο ίδιο αποτέλεσμα με παραγωγή οργανικών ουσιών, δηλαδή η αύξηση της ωσμωτικής πίεσης γίνεται με συγκέντρωση οργανικών ουσιών και όχι αλάτων.

Άλλα γνήσια αλόφυτα αντιδρούν στην τοξική δράση των αλατούχων εδαφών με τους εξής τρόπους: α) ελαττώνουν την είσοδο των αλάτων, β) επιλέγουν ορισμένα μόνο ιόντα, και γ) δεν αποθηκεύουν - αν και απορροφούν άλατα στον κυτταρικό χυμό τους, αλλά τα εκκρίνουν με πολυάριθμους αδένες (με απέκκριση των αλάτων). Παραδείγματα τέτοιων αλοφύτων είναι διάφορα είδη Λειμώνιου (*Limonium*), Στατικής (*Statice*) το κοινό αμάραντο ή θαλασσόγαμπρος, και Ταμάριξ (*Tamarix*), ήτοι τα κοινά αρμυρίκια. Αυτά τα είδη φυτών δεν αποθηκεύουν τα άλατα στο χυμό τους, αλλά τα εκκρίνουν με πολλούς αδένες των βλαστών και των φύλλων, όπου και κρυσταλλώνονται και είναι εμφανή ακόμη και με γυμνό μάτι. Πράγματι, επάνω σε αυτά τα φυτά διακρίνονται κρυσταλλωμένα επανθίσματα αλάτων, που επιδρούν και από αυτή τη θέση στην απορρόφηση του νερού από το έδαφος. Τα περισσότερα από αυτά τα φυτά έχουν ανατομικές και μορφολογικές ομοιότητες με τα Ξηρόφυτα.



Τα κυρίως ή γνήσια αλόφυτα ή αλλιώς «υποχρεωτικά αλόφιλα» όπως λέγονταν παλαιότερα, είναι σχετικά λίγα και ανήκουν σε ορισμένες οικογένειες, όπως οι χηνοποδιίδες, οι φραγκενίδες, οι πλουμβαγινίδες, οι λιθρίδες, τα σύνθετα, οι κυπερίδες και οι αγρωστίδες. Τα είδη αυτά είναι πόες - ποώδη ή θάμνοι. Δενδρώδη αλόφυτα αναπτύσσονται σε τροπικές, αβαθείς και υφάλμυρες παραλίες. Είναι συνήθως είδη των γενών Αβικέννια (Avicennia) και Ριζοφόρα (Rhizophora), τα οποία σχηματίζουν δενδρώδεις διαπλάσεις, γνωστές ως μαγκρόβια δάση. Στις εύκρατες περιοχές - ζώνες τα δενδρώδη αλόφυτα είναι λίγα. Εκεί αναπτύσσονται, κυρίως, τα δενδρύλλια των γενών Ταμάριξ (Tamarix) και Αλόξυλον (Haloxylon).

Εκτός από τα παραπάνω κυρίως ή γνήσια αλόφυτα, υπάρχουν και άλλα φυτά, τα λεγόμενα «προαιρετικά αλόφυτα», που ζουν τόσο σε αλμυρά, όσο και σε μη αλμυρά εδάφη. Αυτά τα φυτά παρουσιάζουν σε αλατούχα εδάφη τους μηχανισμούς των αλοφύτων, κυρίως ως προς την παραγωγή οργανικών ουσιών.

Η μορφολογία των αλοφύτων ποικίλλει. Άλλοτε τα φυτά αυτά είναι σαρκώδη (Σαλικόρνια, Κρίταμα), λόγω της αποθηκεύσεως αλάτων στο χυμό τους, και άλλοτε έχουν μορφή ξηροφύτων (Στατική). Εξάλλου και η ανατομική κατασκευή τους παρουσιάζει μεγάλες ομοιότητες με εκείνη των ξηροφύτων. Τα αλόφυτα δημιουργούν χαρακτηριστικές φυτοκοινωνίες σε παραλιακά αλίπεδα και αλμυρά έλη, καθώς και σε αλμυρές περιοχές της ενδοχώρας των ηπείρων, όπως είναι οι αλμυρές έρημοι της Β. Αφρικής (π.χ. στις Αλμυρές Λίμνες μεταξύ των δύο οροσειρών του Άτλαντα), της Ουγγαρίας (στις ουγγρικές πεδιάδες), της Κασπίας, της Περσίας, της Βορείου Αμερικής (π.χ. περιοχή Μεγάλης Αλμυρής Λίμνης) και οι πάμπας της Ν. Αμερικής. Αλόφυτα, επίσης, αναπτύσσονται και στα γύρω από τα αλμυρά έλη χορτολίβαδα. Εδώ υπερτερούν συνήθως τα προαιρετικά αλόφυτα, τα οποία αντιμετωπίζουν το αλατούχο έδαφος, κυρίως, με συγκέντρωση οργανικών ουσιών μέσα στον κυτταρικό χυμό τους. Στην Ελλάδα υπάρχουν αλόφυτα σε όλες τις ακτές, αλλά ιδιαίτερα ανεπτυγμένες φυτοκοινωνίες υπάρχουν στην Ηλεία, στη Λακωνία, στην Άρτα (Αμβρακικός κόλπος – δέλτα Αράχθου), στο Μεσολόγγι, στο Σχοινιά, στο Μαραθώνα, στις εκβολές του Σπερχειού, στο δέλτα των ποταμών της Βορείου Ελλάδας (π.χ. Έβρου, κλπ.), κ.α.

Τέλος, τα αλόφυτα έχουν αναπτύξει δύο κύριους μηχανισμούς για την αντιμετώπιση της υψηλής αλατότητας: την Ανθεκτικότητα (salt tolerance) δηλαδή την ικανότητα να διατηρούν

φυσιολογικούς μεταβολικούς ρυθμούς ακόμα και με την παρουσία, ενδοκυτταρικά, υψηλών επιπέδων αλάτων και την Αποφυγή (salt avoidance) κατά την οποία τα φυτά δεν επιτρέπουν την είσοδο των ιόντων μέσα στα κύτταρά τους. Η αντοχή των φυτών στην υψηλή αλατότητα δεν καθορίζεται από συγκεκριμένα γονίδια ή από μία συγκεκριμένη μεταβολική διαδικασία αλλά από την απόκριση του φυτού συνολικά, όπου πολλές και σύνθετες διεργασίες λαμβάνουν μέρος.

Όσον αφορά τον μηχανισμό της ανθεκτικότητας τα φυτά που έχουν επιλέξει τη στρατηγική της ανθεκτικότητας στηρίζονται στην πρόσληψη και συσσώρευση αλάτων εντός των κυττάρων τους, ώστε να αντισταθμιστεί το χαμηλό δυναμικό νερού του εδάφους και να επιτυγχάνονται ικανοποιητικές πιέσεις σπαργής. Τα φυτά αυτά αντιμετωπίζουν την τοξικότητα των υψηλών συγκεντρώσεων των ιόντων μέσα στα κύτταρά τους είτε προσλαμβάνοντας μεγαλύτερη αναλογία νερού ως προς την ξηρή τους βιομάζα (succulence), είτε μεταφέροντας τα ιόντα  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$  στα χυμοτόπια (salt compartmentation). Τα φυτά θα πρέπει να έχουν και πρόσθετους μηχανισμούς άντλησης άλλων ιόντων, κυρίως  $\text{K}^+$  το οποίο είναι συνήθως σε έλλειψη, σε αλατούχα εδάφη. Έχει παρατηρηθεί ότι ο μεταφορέας υψηλής συγγένειας  $\text{K}^+$ , ο HKT1, δρα επίσης ως ισχυρός συμμεταφορέας  $\text{K}^+/\text{Na}^+$ . Σε υψηλές συγκεντρώσεις εξωγενούς  $\text{Na}^+$ , όμως, η μεταφορά  $\text{K}^+$  σταματά και ο HKT1 συμπεριφέρεται ως χαμηλής συγγένειας σύστημα πρόσληψης  $\text{Na}^+$ . Εφόσον όμως υπάρχει στο έδαφος αρκετό  $\text{Ca}^{2+}$ , αυτό ενεργοποιεί έναν υψηλής συγγένειας μηχανισμό για το  $\text{K}^+$ , οπότε τα φυτά προσλαμβάνουν  $\text{K}^+$  παρά  $\text{Na}^+$ . Έπειτα, το δυναμικό του νερού του κυτοπλάσματος με αυτό του χυμοτοπίου εξισορροπείται με μηχανισμούς οσμωρύθμισης ή οσμωτικής εξισορρόπησης. Η οσμωρύθμιση στο κυτόπλασμα επιτυγχάνεται με τη σύνθεση συμβατών οσμωλυτών χαμηλού μοριακού βάρους. Είναι επίσης γνωστό ότι κάποια Αλόφυτα μπορούν να αλλάζουν τη φωτοσύνθεσή τους από  $\text{C}_3$  σε CAM (Crassulacean Acid Metabolism) φωτοσύνθεση, όταν αντιμετωπίσουν υψηλή αλατότητα ή έλλειψη νερού. Το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το *Mesembryanthemum crystallinum*, στο οποίο έπειτα από 10 μέρες στρες ενεργοποιείται η CAM φωτοσύνθεση, τα στόματα μένουν ανοιχτά μόνο το βράδυ και η σπαργή των κυττάρων επανέρχεται.

Ο μηχανισμός της Αποφυγής πραγματοποιείται, είτε επειδή οι ρίζες του φυτού παρουσιάζουν χαμηλή περατότητα στα άλατα (salt exclusion) π.χ. όπως στο είδος *Rhizophora mangle*, είτε με την είσοδο των αλάτων και την έκκρισή τους (salt evasion) από εξειδικευμένους αλατώδεις αδένες ή κύστες των φύλλων, π.χ. στο είδος *Tamarix*. Η ικανότητα των φυτών να

ρυθμίζουν την απορρόφηση και τη μεταφορά των αλάτων εξαρτάται από τους εξής μηχανισμούς: α) την επιλεκτικότητα των κυττάρων των ριζών, β) την τάση να προσλαμβάνουν  $K^+$  παρά  $Na^+$  μέσα στο ξύλωμα (xylem) από τα κύτταρα της στήλης (stele), γ) την απομάκρυνση των αλάτων, διαμέσου του ξυλώματος, από τα ανώτερα τμήματα των ριζών, τον βλαστό και τα φύλλα, μέσω της ανταλλαγής του  $Na^+$  με το  $K^+$  και δ) της επαναμεταφοράς των ιόντων διαμέσου του φλοιώματος από τον βλαστό προς τις ρίζες.

**Τα είδη αλοφύτων που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση της εργασίας είναι τα παρακάτω:**

**Κρητικό αλμυρίκι (*Tamarix parviflora* - Ταμαρίς η μικρανθής, συνών. *Tamarix cretica*):** Θάμνος ή μικρό δέντρο που δεν ξεπερνά τα 3 μέτρα ύψος. Τα φύλλα του είναι στενόμακρα, σκούρα πράσινα και τα άνθη του ρόδινα. Φύεται στις όχθες ρυακιών, ρεμάτων και ποταμών της Κρήτης.



*Εικόνα 3: Κρητικό αλμυρίκι*

**Βούρλο:** Ποώδες αειθαλές υδρόφιλο φυτό του γένους *Juncus*, με κυλινδρικό βλαστό και φύλλα μακρόστενα και συνήθως κυλινδρικά επίσης· τα άνθη του είναι μικρά, και από τα φύλλα του φτιάχνονται καλάθια.



*Εικόνα 4: Βούρλο*

**Αρμυρήθρες:** Είναι ένα φυτό που φυτρώνει σε υγροτόπους, κυρίως κοντά στη θάλασσα, και δευτερευόντως κοντά σε ποτάμια και λίμνες. Είναι συγγενικό είδος με τα αρμυρίκια που φυτρώνουν στις αμμουδιές. Ευδοκίμει στο θερμό και ξηρό μεσογειακό κλίμα. Για να αντεπεξέλθει στις υψηλές τιμές άλατος στο έδαφος, αποθηκεύει στις ρίζες της μέχρι και 17% αλάτι. Επίσημα στοιχεία για τη θρεπτική αξία του φυτού δεν υπάρχουν. Ωστόσο, όπως όλα τα χόρτα περιέχουν μικρές συγκεντρώσεις βιταμινών C και E και οι αρμυρήθρες που φυτρώνουν κοντά στη θάλασσα είναι πλούσιες σε ιώδιο και μεταλλικά στοιχεία..



*Εικόνα 5: Αρμυρήθρες*

**Λιμονιάστρο:** Είναι το φυτό που ανήκει στην οικογένεια των Πλουμβαγινίδων, είναι αειθαλής θάμνος, πυκνής βλάστησης, ύψους 0,3 – 1 m και διπλάσιας διαμέτρου. Έχει έντονα

διακλαδιζόμενους βλαστούς με φύλλα απλά, ακέραια, κυματοειδή, ασημόχρωμα. Τα φύλλα του είναι άμισχα και φαρδύτερα προς τις άκρες, ενώ λεπταίνουν στην ένωση με τον βλαστό. Τα άνθη είναι αρχικά ροζ με λεπούς ποδίσκους και γίνονται μωβ κατά την απάνθισή τους.



*Εικόνα 6: Λιμονιάστρο*

Στην παρακάτω φωτογραφία μπορούμε να δούμε τα αλόφυτα που προαναφέρθηκαν κατά την περίοδο της συλλογής δειγμάτων από τον τεχνητό υγροβιότοπο:



*Εικόνα 7: Αλόφυτα αγροκτήματος ΤΕΙ Κρήτης*

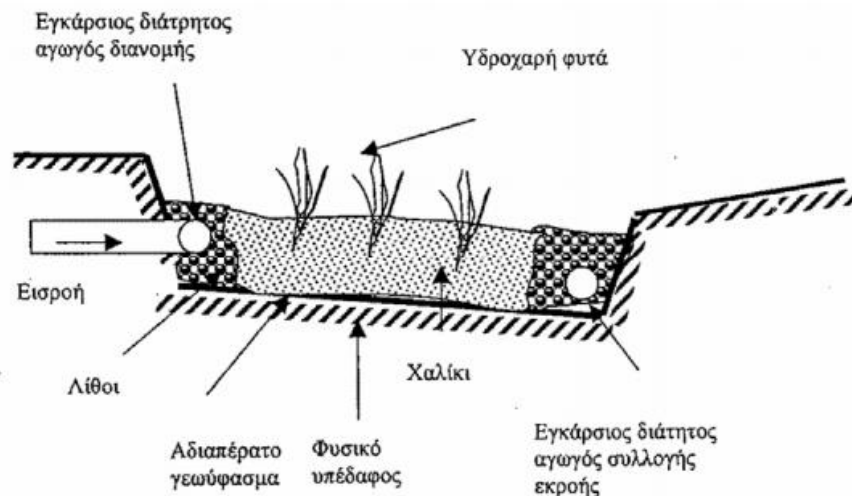
### 2.3 Υδραυλικός χρόνος παραμονής

Η υδραυλική και η υδρολογία των συστημάτων τεχνητών υγροβιότοπων είναι πολύ σημαντικές παράμετροι σχεδιασμού για την απόδοση του συστήματος στην απομάκρυνση ρύπων. Κατάλληλος σχεδιασμός πρέπει να γίνει για α) ροή με ελεύθερη επιφάνεια σε υγροβιότοπους επιφανειακής ροής όπου η αντίσταση στην ροή προκαλείται από την βλάστηση και τα φυτικά υπολείμματα στον πυθμένα., β) ροή σε πορώδες μέσο, η οποία επηρεάζεται από την υδραυλική αγωγιμότητα του μέσου, τις ρίζες των φυτών και τα συγκρατημένα στερεά στα κενά του πορώδους μέσου, γ) κατάλληλο υπολογισμό των απωλειών σε εξατμισοδιαπνοή, οι οποίες, αν είναι σημαντικές, μπορεί να προκαλέσουν αισθητή μείωση του όγκου του νερού, και επομένως και του χρόνου παραμονής, και συγχρόνως αύξηση της συγκέντρωσης των ρύπων (Τσιχριντζής, 2004).

Τα πρωταρχικής σημασίας βήματα για τον επιτυχημένο σχεδιασμό ενός τεχνητού υγροβιότοπου περιλαμβάνουν τα ακόλουθα (Metcalf and Eddy, 1991): Την ακριβή εκτίμηση των παροχών εισροής και των φορτίων ρύπων που εισέρχονται στον υγροβιότοπο. Την εκτίμηση απόδοσης του υγροβιότοπου καθώς και της έκτασης και του όγκου που είναι απαραίτητα για την επίτευξη των ελάχιστων ορίων ποιότητας της εκροής. Το σχεδιασμό ελέγχων των υδρολογικών και υδραυλικών χαρακτηριστικών του υγροβιότοπου με σκοπό να επιτευχθεί επίπεδο απόδοσης συγκρίσιμο με την απόδοση των λειτουργούντων συστημάτων τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή εμπειρικών τοπικών σταθερών. Τη δημιουργία και διατήρηση των χημικών, φυσικών και βιολογικών στοιχείων του συστήματος του υγροβιότοπου που είναι αναγκαία για την επίτευξη των αναμενόμενων ρυθμών επεξεργασίας των ρύπων. Αρκετά συμπληρωματικά ζητήματα είναι σημαντικά στο σχεδιασμό και στη λειτουργία τεχνητών υγροβιότοπων επεξεργασίας. Αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν τάφρους και αναχώματα, διατάξεις ελέγχου της εισόδου και εξόδου του νερού, συμπίεση και διαβάθμιση του εδάφους, στεγανοποίηση και άλλα. Επίσης, μηχανολογικά ζητήματα σχετικά με διατάξεις ελέγχου της ροής, θέματα κατασκευής και λειτουργίας είναι επίσης σημαντικά και περιλαμβάνουν απαιτήσεις σχετικές με την αποψίλωση των φυτών και τον καθαρισμό τους, τεχνικές επιλογής των φυτών, έλεγχο του επιπέδου της επιφάνειας του νερού, αποφυγή ενοχλητικών συνθηκών λόγω κουνουπιών ή

οσμών, ασφάλεια τόσο του κοινού όσο και του προσωπικού και διαχείριση της άγρια ζωής (Prescott and Tsanis, 1997).

Τέλος, ένα σημαντικό πλεονέκτημα των υδροβιοτόπων στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων είναι και αυτό που εξετάζουμε δηλαδή οι απώλειες λόγω εξατμισοδιαπνοής. Ως εξατμισοδιαπνοή ορίζεται το μέρος εκείνο των κατακρημνισμάτων που επανέρχεται στην ατμόσφαιρα εξατμιζόμενο είτε από την ελεύθερη επιφάνεια του υδροβιοτόπου είτε από τη διαπνοή των φυτών (Διαμαντής, 1999). Οι απώλειες αυτές δύναται να είναι αρκετά σημαντικές, επομένως είναι αναγκαίο να τις λαμβάνουμε σοβαρά υπ' όψιν για το σωστό σχεδιασμό του συστήματος. Η εξατμισοδιαπνοή αυξάνει το χρόνο παραμονής και τη συγκέντρωση των διαλυμένων συστατικών των αποβλήτων, ενώ σημαντικό πρόβλημα μπορεί να προκληθεί όταν η εισερχόμενη παροχή των αποβλήτων είναι μικρότερη της εξατμισοδιαπνοής και δεν έχουμε βροχοπτώσεις (Ντεντιδάκης, 2000).



### Υπο-επιφανειακής ροής

Για τα συστήματα υδροβιοτόπου SSF χρησιμοποιείται η εξίσωση σχεδιασμού (Tchobanoglous και Burton (1991)):

$$t_p = (L W a d) / Q$$

Όπου:

$t_p$  = χρόνος παραμονής στο πορώδες υπόστρωμα (σε αυτήν την περίπτωση HRT), d

$L$  = μήκος λεκανών, m

$W$  = πλάτος λεκανών, m

$\alpha$  = περατότητα δια μέσου των λεκανών ως ποσοστό, 0.45

$d$  = βάθος της λεκάνης, με μέση τιμή 0.45m

$Q$  = παροχή ροής ( $m^3/d$ )

### Επιφανειακής ροής

Ο θεωρητικός υδραυλικός χρόνος παραμονής στον υγροβιότοπο υπολογίζεται με βάση την εξίσωση :

$$HRT = \frac{A \times d \times n}{Q}$$

Όπου:

HRT = θεωρητικό HRT, σε d

$A$  = η επιφάνεια του υγροβιότοπου σε  $m^2$

$d$  = το μέσο βάθος ύδατος, 0.20 m

$n$  = συντελεστής σχετικός με την περατότητα των υγροβιότοπων, με μέση τιμή 0.80

$Q$  = η παροχή σε  $m^3 /d$



### 3. Πειραματικό μέρος

Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύουμε τα χαρακτηριστικά του τεχνητού υγροβιότοπου του ΤΕΙ Κρήτης που φιλοξένησε τα πειράματά μας ενώ περιγράφουμε όλες τις μεθόδους και τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για να εκτελεστεί η πειραματική διαδικασία.

#### 3.1 Πειραματικοί τεχνητοί υγροβιότοποι ΤΕΙ Κρήτης

Στόχος της εργασίας αυτής ήταν η μελέτη του υδραυλικού χρόνου παραμονής και της εξατμισοδιαπνοής ενός τεχνητού υγροβιότοπου υποεπιφανειακής ροής (1<sup>ο</sup> και 2<sup>ο</sup> Πείραμα) και ενός τεχνητού υγροβιότοπου επιφανειακής ροής (3<sup>ο</sup> Πείραμα), οι οποίοι περιέχουν αλόφυτα. Τα πειράματά μας πραγματοποιήθηκαν στο Αγρόκτημα του Τ.Ε.Ι. Κρήτης και είχαν διάρκεια περίπου 4 μήνες. Εντός αυτής της περιόδου συλλέγαμε δείγματα σε πλαστικά δοχεία του 1,5 lt από την είσοδο και την έξοδο των τεχνητών υγροβιότοπων ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Στα δείγματα αυτά πραγματοποιούσαμε αναλύσεις ηλεκτρικής αγωγιμότητας και μέτρησεις χλωριόντων.

##### **Υγροβιότοπος υποεπιφανειακής ροής (SSF):**

Ο υγροβιότοπος υποεπιφανειακής ροής έχει συνολική επιφάνεια 45,36 m<sup>2</sup>. Αρχικά 1 m κατά μήκος είναι με χαλίκι 60-100mm καθώς και το τελευταίο 1 m (ζώνη εξόδου). Στην μέση τοποθετήθηκε χαλίκι 30 mm με την κορυφή να καλύπτεται για 5 cm με χαλίκι 10 mm για την φύτευση των αλόφυτων.



*Εικόνα 8. Υγροβιότοπος υπο-επιφανειακής ροής με αλόφυτα*

**Υγροβιότοπος υποεπιφανειακής ροής (FWS):**

Ο υγροβιότοπος επιφανειακής ροής έχει συνολική επιφάνεια  $45,36 \text{ m}^2$ . Αρχικά 1 m κατά μήκος είναι με χαλίκι 60-100mm καθώς και το τελευταίο 1 m (ζώνη εξόδου). Το υπόστρωμα στον υγροβιότοπο είναι χώμα. Το ύψος του νερού ρυθμίστηκε στα 20 cm.



*Εικόνα 9. Υγροβιότοπος επιφανειακής ροής με αλόφυτα*

### **3.2 Πειράματα προσδιορισμού υδραυλικού χρόνου παραμονής**

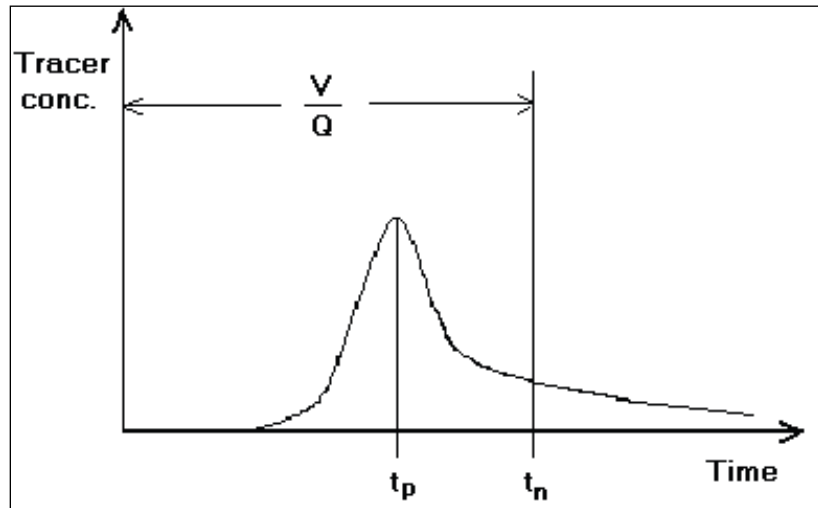
Για τον προσδιορισμό του πραγματικού υδραυλικού χρόνου παραμονής σε ένα υγροβιότοπο χρησιμοποιείται κάποια χημική ουσία που δεν μεταβάλλεται κατά την διάρκεια παραμονής στον υγροβιότοπο. Στην παρούσα πτυχιακή εργασία χρησιμοποιήθηκε αλάτι. Συγκεκριμένα διαλύουμε 20 κιλά αλάτι και τα εκχύουμε με τη βοήθεια αντλίας στην δεξαμενή που κάνουμε το πείραμα. Παίρνουμε μετά καθημερινά δείγματα από την δεξαμενή και τα αναλύουμε στο εργαστήριο όπου προσδιορίζονται τα χλωριόντα και η ηλεκτρική αγωγιμότητα.

Η υδραυλική απόδοση του υγροβιότοπου προσδιορίζεται από το διάγραμμα μεταβολής της ουσίας σε σχέση με το χρόνο (Διάγραμμα 1) ως εξής

$$\lambda = t_p/t_n$$

όπου  $t_p$  : χρόνος μέγιστης συγκέντρωσης της ουσίας

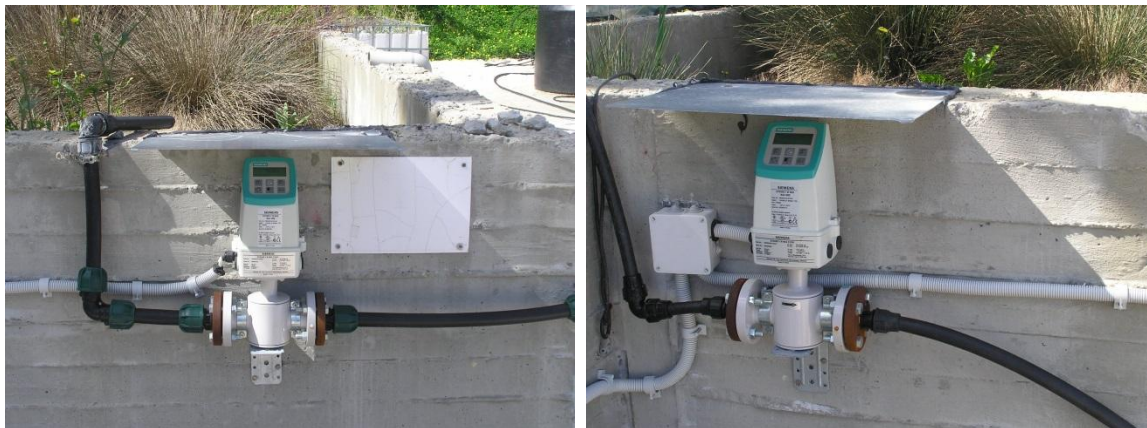
$t_n$  : θεωρητικός υδραυλικός χρόνος παραμονής



Διάγραμμα 1. Τυπική μεταβολή της ουσίας (tracer) που προστέθηκε στον υγροβιότοπο σε σχέση με τον χρόνο

### 3.3 Μέτρηση εξατμισο-διαπνοής

Για την μέτρηση της εξατμισο-διαπνοής καταγραφόταν καθημερινά η ποσότητα των λυμάτων που εισέρχονταν και εξέρχονταν από τον υγροβιότοπο υπο-επιφανειακής ροής με τη χρήση ηλεκτρονικών παροχόμετρων λυμάτων (Εικόνα 10).



Εικόνα 10. Παροχόμετρο εισόδου και εξόδου λυμάτων στον υγροβιότοπο υπο-επιφανειακής ροής

Εφαρμόζοντας ένα απλό ισοζύγιο μάζας στον υγροβιότοπο έχουμε ότι η εξατμισοδιαπνοή είναι:

$$ET = \frac{Q_i}{A} + P - \frac{D_v}{A}$$

Όπου:

$ET$  = Εξατμισοδιαπνοή ( $\text{mm day}^{-1}$ )

$Q_i$  = όγκος εισροής ( $\text{m}^3 \text{day}^{-1}$ ),

$A$  = επιφάνεια υγροβιότοπου ( $\text{m}^2$ ),

$P$  = Βροχόπτωση ( $\text{mm day}^{-1}$ )

$D_v$  = όγκος εκροής ( $\text{m}^3 \text{day}^{-1}$ ).

### 3.4 Φυσικοχημικές Αναλύσεις

#### 3.4.1 Ηλεκτρική αγωγιμότητα

Αγωγιμότητα  $G$  είναι το ρεύμα  $I$  προς την διαφορά δυναμικού  $E$  που εφαρμόζεται σε δυο ηλεκτρόδια μέσα σε ένα διάλυμα. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (electrical conductance) διαλύματος είναι μια μαθηματική έκφραση της ικανότητας ενός υδατικού διαλύματος να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα. Η ικανότητα αυτή εξαρτάται από την παρουσία ιόντων, το σθένος τους, την κινητικότητά τους, τη συγκέντρωσή τους, τη θερμοκρασία και το ιζώδες του διαλύματος, καθώς και το μέγεθος της διαφοράς δυναμικού, με την οποία γίνεται η μέτρηση. Έτσι λοιπόν, όσο υψηλότερη είναι η συγκέντρωση των αλάτων τόσο μεγαλύτερη είναι η αγωγιμότητα. Τα διαλύματα των περισσότερων ανόργανων οξέων και βάσεων και όλων των αλάτων είναι σχετικά καλοί αγωγοί του ρεύματος. Αντίθετα, τα μόρια των οργανικών ενώσεων που δεν δίστανται όταν διαλυθούν στο νερό, άγουν ελάχιστα ή καθόλου το ηλεκτρικό ρεύμα. Σε ένα υδατικό διάλυμα, η αγωγιμότητα είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των διαλυμένων αλάτων στο υγρό. Ανάλογα λοιπόν με την τιμή της ηλεκτρικής του αγωγιμότητας, ένα υλικό χαρακτηρίζεται ως αγωγός, μονωτής ή ημιαγωγός.

Μονάδα μέτρησης της αγωγιμότητας σύμφωνα με το Διεθνές σύστημα μονάδων (SI) είναι το Ζήμενς (Siemens), διεθνές σύμβολο S. Οι Αγγλοσάξωνες συνηθίζουν να χρησιμοποιούν για την μέτρηση της αγωγιμότητας και την μονάδα mho (Ω), της οποίας η γραφή προκύπτει από την αντιστροφή των γραμμάτων της μονάδας μέτρησης της ηλεκτρικής αντίστασης Ωμ (Ohm) για αυτό και διαβάζεται "αντίστροφο Ωμ".

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα δίνεται αριθμητικά εάν διαιρέσουμε την ένταση του ρεύματος που διαρρέει ένα αντικείμενο (σε amperes) προς την διαφορά δυναμικού/τάση που εφαρμόζεται στα άκρα του (σε volts). Πρόκειται δηλαδή για ένα μέγεθος αντίστροφο της ηλεκτρικής αντίστασης. Ο αντίστοιχος τύπος είναι:

$$G = \frac{1}{R} = \frac{I}{V} \quad \text{όπου:}$$

G: Η αγωγιμότητα που εμφανίζει το αντικείμενο (σε Siemens)

R: Η αντίσταση που εμφανίζει το αντικείμενο (σε Ohms)

V: Η διαφορά δυναμικού που εφαρμόζεται στα άκρα του αντικειμένου (σε Volts)

I: Η ένταση του ρεύματος που διαρρέει το αντικείμενο (σε Amperes)

**Υλικά και Όργανα:** Η μέτρηση της Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας των δειγμάτων μας πραγματοποιήθηκε με αγωγιμόμετρο.

**Εκτέλεση:** Σε αυτή εδώ την φάση πραγματοποιείται καθαρισμός των πόλων με αποστειρωμένο νερό και έπειτα βύθιση τους, σε ένα ποτήρι που περιείχε το δείγμα. Το αγωγιμόμετρο μας έδινε μια τιμή η οποία έπρεπε να πολλαπλασιαστεί με ένα συντελεστή f (συντελεστής διόρθωσης λόγω θερμοκρασίας), ώστε να πάρουμε την κανονική αγωγιμότητα.



Εικόνα 11: Αγωγιμόμετρο CRISON (Conductivity Meter S25).

### 3.4.2 Μέτρηση χλωριόντων

Για τον προσδιορισμό των χλωριόντων το δείγμα ογκομετρείται με διάλυμα νιτρικού αργύρου ( $\text{AgNO}_3$ ), με δείκτη τελικού σημείου το χρωμικό κάλιο (ογκομέτρηση καθίζησης).

#### Υλικά και Όργανα:

- Ογκομετρικός κύλινδρος 250ml (για αραιώση διαλυμάτων)
- Ογκομετρικός κύλινδρος 10ml
- Υδροβολέας με απιον. Νερό
- Δείγμα απο τον υδροβιότοπο.
- Διάλυμα  $\text{AgNO}_3$  0,05 M
- Διάλυμα  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  5%w/v
- Μαγνητικός αναδευτήρας μικρού μεγέθους
- Προχοΐδα
- Πιπέτα ρυθμιζόμενου όγκου.



Εικόνα 12. Όργανα για τη μέτρηση χλωριόντων

### Εκτέλεση:

Παρακάτω παρουσιάζονται τα βήματα που πρέπει να γίνουν αναλυτικά, για να γίνει σωστά η πειραματική διαδικασία.

- 1. Ξεπλύνετε την προχοΐδα μια φορά με το με διάλυμα  $\text{AgNO}_3$ . Να γεμίσετε την προχοΐδα με διάλυμα  $\text{AgNO}_3$ .
- 2. Να αναρροφήσετε 25 ml του πρότυπου διαλύματος  $\text{NaCl}$  και να το μεταφέρεται στην κωνική φιάλη των 250 ml.
- 3. Χρησιμοποιώντας την πιπέτα ρυθμιζομένου όγκου να προσθέσετε 1ml του κίτρινου δείκτη χρωμικό κάλιο.
- 4. Να προσθέσετε 75 ml αποσταγμένο νερό στο περιεχόμενο της κωνικής φιάλης μετρώντας με ογκομετρικό κύλινδρο.
- 5. Να ογκομετρήσετε το μείγμα με το διάλυμα  $\text{AgNO}_3$ . Το τελικό σημείο αναγνωρίζεται όταν το χρώμα του διαλύματος μετατραπεί από χλωμό (νεφελώδες) σε ζωηρό (έντονο) κοκκινοπορτοκαλί χρώμα το οποίο διατηρείται και μετά την ανάδευση.

Καταγράφουμε τους όγκους (σε ml) του  $\text{AgNO}_3$  , που καταναλώθηκαν κατά την τιτλοδότηση.

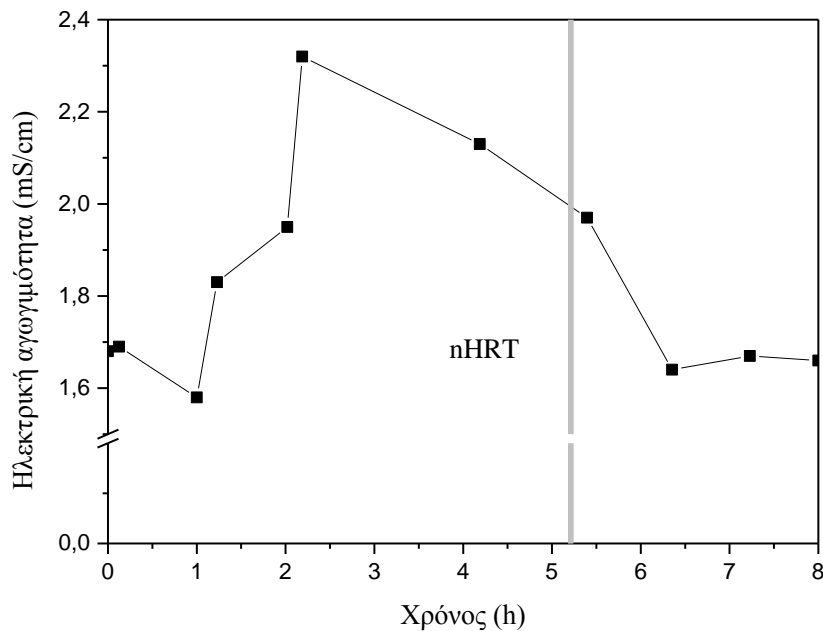


## 4. Αποτελέσματα και Συμπεράσματα

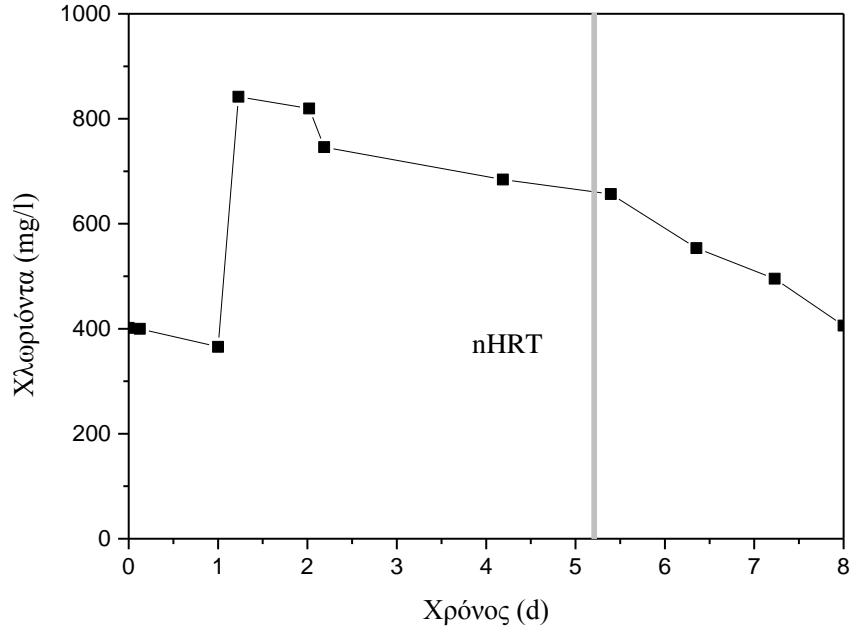
Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα των μετρήσεων που κάναμε ακολουθώντας την πειραματική διαδικασία στο κεφάλαιο 3 και κάποια συμπεράσματα:

### 4.1 Υπολογισμός υδραυλικού χρόνου παραμονής

Στα διαγράμματα 2 και 3 παρουσιάζεται η μεταβολή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και των χλωριόντων στην εκροή του υδροβιότοπου υπο-επιφανειακής ροής. Παρατηρούμε ότι η συγκέντρωση παρουσιάζει σημαντικές διακυμάνσεις που αναδεικνύουν την παρουσία φαινομένων έμφραξης (clogging) στον υδροβιότοπο και την ανισοκατανομή της ροής σε αυτόν.

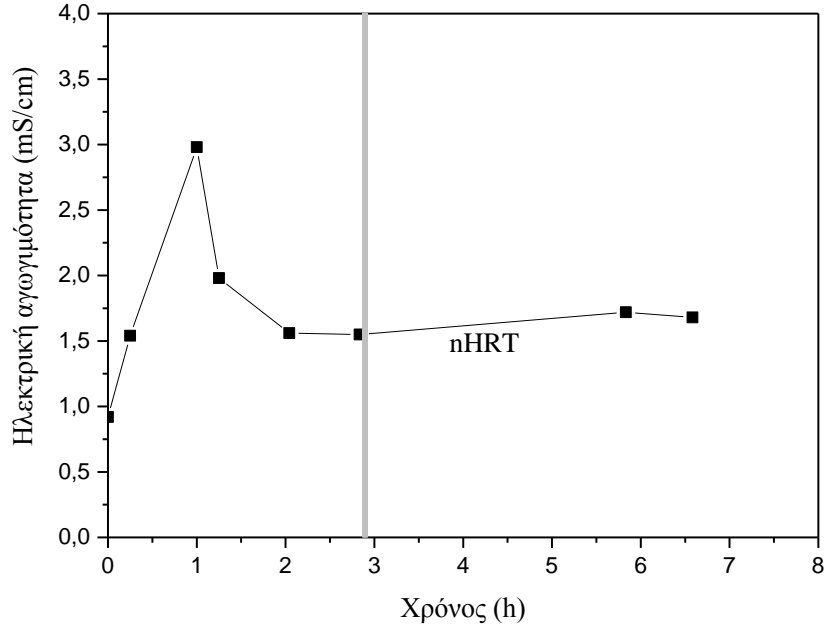


Διάγραμμα 2: Μεταβολή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στην εκροή του υδροβιότοπου υπο-επιφανειακής ροής

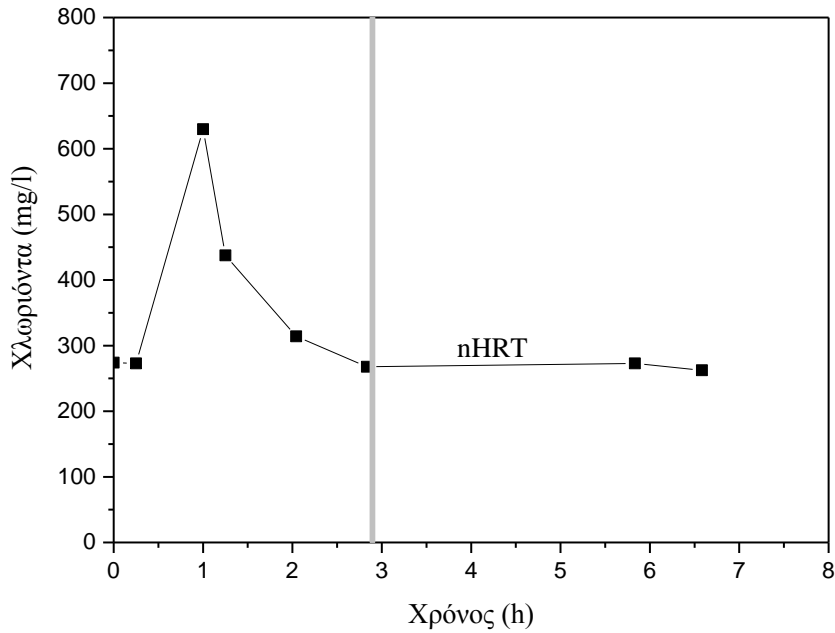


*Διάγραμμα 3: Μεταβολή των χλωριόντων στην εκροή του υγροβιότοπου υπο-επιφανειακής ροής*

Στα διαγράμματα 4 και 5 παρουσιάζεται η μεταβολή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και των χλωριόντων στην εκροή του υγροβιότοπου επιφανειακής ροής. Παρατηρούμε ότι η συγκέντρωση δεν παρουσιάζει σημαντικές διακυμάνσεις αλλά ο πραγματικός χρόνος παραμονής είναι πολύ μικρότερος από τον θεωρητικό αναδεικνύοντας την παρουσία φαινομένων έμφραξης (clogging) στον υγροβιότοπο.



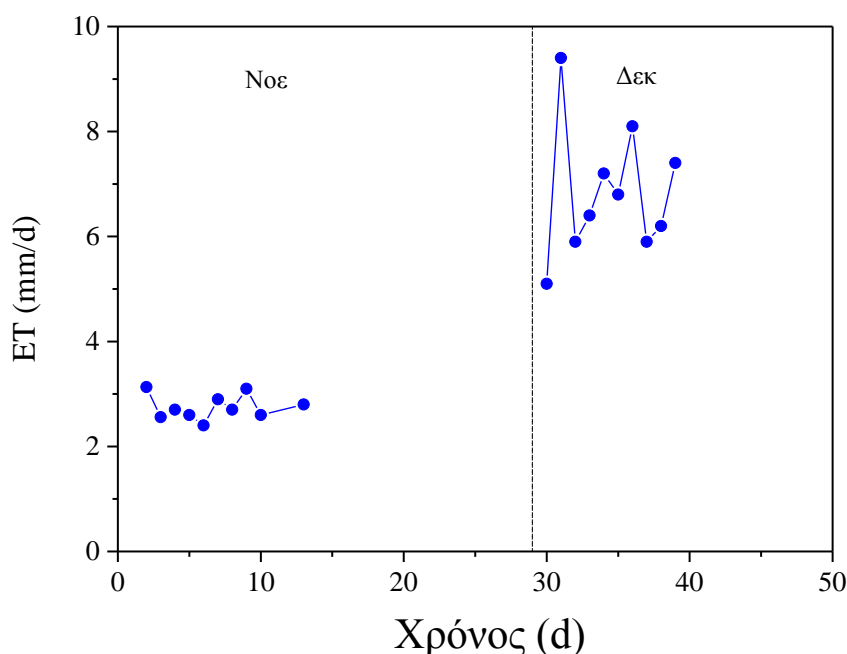
Διάγραμμα 4: Μεταβολή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στην εκροή του υδροβιότοπου επιφανειακής ροής



Διάγραμμα 5: Μεταβολή των χλωριόντων στην εκροή του υδροβιότοπου επιφανειακής ροής

## 4.2 Υπολογισμός εξατμισοδιαπνοής

Στο διάγραμμα 6 παρουσιάζεται η εξατμισοδιαπνοή (ET) του υγροβιότοπου υποεπιφανειακής ροής με τα αλόφυτα κατά την διάρκεια των πειραμάτων. Η εξατμισοδιαπνοή κυμάνθηκε από 2.4 έως 3.1 mm/d στο 1<sup>ο</sup> πείραμα το Νοέμβριο και από 5.1 έως 9.4 mm/d στο 2<sup>ο</sup> πείραμα το Δεκέμβριο.



Διάγραμμα 6: Εξατμισοδιαπνοή στο υγροβιότοπο υπο-επιφανειακής ροής με αλόφυτα.

Η εξατμισοδιαπνοή στους υγροβιότοπους οφείλεται στην απευθείας εξάτμιση του νερού και στην απορρόφηση του νερού από τα φυτά. Αποτελεί το μοναδικό τρόπο απωλειών νερού στα συστήματα καθώς αυτά είναι μονωμένα στον πυθμένα τους. Η εξατμισοδιαπνοή εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα κλιματικά δεδομένα. Έχει βρεθεί ότι η ηλιακή ακτινοβολία είναι ο σημαντικότερος παράγοντας που επηρεάζει την ET ενώ ο άνεμος ο λιγότερο σημαντικός (Yu et al., 2002). Επιπλέον η εξατμισοδιαπνοή αυξάνει την περίοδο ανάπτυξης των φυτών, για το λόγο αυτό είναι μεγαλύτερη το καλοκαίρι από ότι το χειμώνα. Διάφορες μελέτες στο παρελθόν αναφέρουν τιμές ET από 3-10 mm/d. Από την άλλη μεριά στο Ισραήλ αναφερθήκαν τιμές

εξατμισοδιαπνοής σε υγροβιότοπο με αλόφυτα που μπορούν να φτάσουν έως και 41.8 mm/d (Freedman et al., 2014)

### 4.3 Συμπεράσματα

Στόχος της εργασίας αυτής ήταν η μελέτη του υδραυλικού χρόνου παραμονής και της εξατμισοδιαπνοής ενός τεχνητού υγροβιότοπου υποεπιφανειακής ροής και ενός τεχνητού υγροβιότοπου επιφανειακής ροής οι οποίοι περιέχουν αλόφυτα. Με βάση τα αποτελέσματα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι:

- ✓ Οι υγροβιότοποι παρουσιάζουν φαινόμενα έμφραξης (clogging) με αποτέλεσμα ο χρόνος παραμονής των λυμάτων σε αυτούς να είναι μικρότερος από αυτών που είχαν σχεδιαστεί
- ✓ Από τα δύο συστήματα οι υγροβιότοποι υπο-επιφανειακής ροής παρουσιάζουν μεγαλύτερα προβλήματα έμφραξης
- ✓ Η εξατμισοδιαπνοή των αλόφυτων είναι σε υψηλά επίπεδα μειώνοντας σημαντικά τον όγκο των λυμάτων στην έξοδο που έχει σαν έμμεσο αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης των ρύπων
- ✓ Οι απώλειες νερού στον υγροβιότοπο υπο-επιφανειακής ροής κυμάνθηκε από 7-24% που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό των συστημάτων

## Βιβλιογραφία

---

- 1) Ελληνικό Ινστιτούτο Υγιεινής και Ασφάλειας της Εργασίας, “Εκτίμηση και Πρόληψη των επαγγελματικών κινδύνων στις Εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών λυμάτων”, Νοέμβριος 2007.
- 2) Φουντουλάκης Μ., “Επεξεργασία αστικών λυμάτων με καινοτόμα φυσικά συστήματα για την επαναχρησιμοποίηση τους ως νερό άρδευσης-ΚΥΠΕ 3487/159”, βιβλιογραφική ανασκόπηση, Ηράκλειο, Δεκέμβριος, 2014.
- 3) Δεληγιάννης Α, “Βιολογική επεξεργασία λυμάτων”. University Studio Press, Θεσσαλονίκη 2009.
- 4) Τσώνης Σ, «Επεξεργασία λυμάτων», Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 2004.
- 5) Βλυσίδης Α., “Τεχνικές επεξεργασίας υγρών αποβλήτων”. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Αθήνα, 2006.
- 6) Μαρκάκης Σ., “Πτυχιακή εργασία: Χρήση Αλόφυτων για την επεξεργασία Αστικών Λυμάτων σε Τεχνητό Υγροβιότοπο”. Φεβρουάριος, Ηράκλειο Κρήτης, 2014.
- 7) <http://www.ypeka.gr/>
- 8) Ειδική Γραμματεία Υδάτων-Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. “Κείμενο Κατευθυντήριων Γραμμών για τη διαχείριση Λυμάτων Μικρών Οικισμών”, Απρίλιος 2012,σελ. 61-65.
- 9) Τσιχριντζής Β., 2044. Οικολογική Μηχανική και Τεχνολογία, Φυσικές μέθοδοι επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, Ξάνθη, Άνοιξη 2004.

- 10) <http://www.dep.state.fl.us/evergladesforever/about/default.htm>.
- 11) Vymazal J, Kröpfelová L., “Types of Constructed Wetlands for Wastewater Treatment” Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow”, Vol. 14 of the series Environmental Pollution, p 121-202, 2008.
- 12) Kivaisi Amelia K. “The potential for constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in developing countries: a review”, Ecological Engineering, 16: (4), February 2001, Pag. 545–560.
- 13) [users.sch.gr/gpantakis/?p=3962](http://users.sch.gr/gpantakis/?p=3962)
- 14) [www.gaiapedia.gr/gaiapedia/index.php/Καλαμιά](http://www.gaiapedia.gr/gaiapedia/index.php/Καλαμιά)
- 15) [www.nhmc.uoc.gr/el/museum/photo/images/nhmc.image.59981](http://www.nhmc.uoc.gr/el/museum/photo/images/nhmc.image.59981)
- 16) Γαλανάκη Κ. “Φυτοεξυγίανση εδάφους από Cd και Pb με τα αλόφυτα: *Halimione portulacoides*(L.) Aellen, *Tamarix parviflora* (DC) και *Limoniastrum monopetalum* (L.) Boiss”. Μεταπτυχιακή Διατριβή: Περιβαλλοντική και Υγειονομική Μηχανική, Χανιά 2011.
- 17) Manousaki, E. and Kalogerakis, N., (2011). “Halophytes Present New Opportunities in Phytoremediation of Heavy Metals and Saline Soils”. Industrial & Engineering Chemistry Research, 50, 656-660. <http://dx.doi.org/10.1021/ie100270x>.
- 18) <http://hannagreece.gr/>
- 19) Nivala, J., Headley, T., Wallace, S., van Afferden, M., Müller, R.A. 2013. Comparative analysis of constructed wetlands: The design and construction of the ecotechnology research facility in Langenreichenbach, Germany. Ecological Engineering 61, 527-543.

- 20)** Βαρκάς Α., “Κατασκευή και λειτουργία συστημάτων τεχνητών υγροβιότοπων κατακόρυφης ροής πιλοτικής κλίμακας για την επεξεργασία αστικών αποβλήτων”. Μεταπτυχιακή διατριβή, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη, 2007.
- 21)** Αλμπαντάκης Δημήτριος, (2006) Προσδιορισμός των Βέλτιστων Σχεδιαστικών και Λειτουργικών Παραμέτρων Τεχνητών Υγροβιότοπων για την Επεξεργασία Υδάτινων Εκροών Αυτοκινητοδρόμων. Διπλωματική εργασία, Ελληνικό ανοικτό Πανεπιστήμιο.
- 22)** Μανιός Θρασύβουλος, (2007) Επεξεργασία και αξιοποίηση υγρών αποβλήτων. Σημειώσεις, ΤΕΙ Κρήτης.
- 23)** Τσώνης Στυλιανός, (2004) Επεξεργασία λυμάτων. Εκδόσεις Παπασωτηρίου Αθήνα.
- 24)** APHA, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th ed. American Public Health Association, 1995; Washington DC, USA.
- 25)** Maltais-Landry, G., Maranger, R., Brisson, J., Chazarenc, F. 2007. Greenhouse gas production and efficiency of planted and artificially aerated constructed wetlands. *Environmental Pollution* 157 (3), 748-754.
- 26)** Picek, T., Čížková, H., Dušek, J., 2007, Greenhouse gas emissions from a constructed wetland-Plants as important sources of carbon. *Ecological Engineering* 31 (2), 98-106.
- 27)** Søvik, A.K., Augustin, J., Heikkinen, K., Huttunen, J.T., Necki, J.M., Karjalainen, S.M., Kløve, B., Wachniew, P. 2006. Emission of the greenhouse gases nitrous oxide and methane from constructed wetlands in Europe. *Journal of Environmental Quality* 35 (6), 2360-2373.
- 28)** Freedman, A., Gross, A., Shelef, O., Rachmilevitch, S., Arnon, S. 2014. Salt uptake and evapotranspiration under arid conditions in horizontal subsurface flow constructed wetland planted with halophytes. *Ecological Engineering* 70, 282-286.
- 29)**



- 30)** Ευθύμιος Ντορακάς, (2010), «Διεργασίες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων», (Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδραυλικής & Τεχνικής Περιβάλλοντος ).
- 31)** Σπέντζα Ρωζάνη, (2010), «Αξιολόγηση της ανάπτυξης των αυτόφρων *Hyssopus officinalis*, *Limoniastrum monopetalum* & *Salvia triboia*, σε υποστρώματα λατομικών δραστηριοτήτων, για αποκατάσταση εδαφών της Μήλου. »
- 32)** Εγκυκλοπαίδεια Πάπυρος Λαρούς Μπριτάνικα
- 33)** Εκπαιδευτική Εγκυκλοπαίδεια Εκδοτικής Αθηνών, τόμος 12<sup>ος</sup>, Φυτολογία.
- 34)** [https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/4692/1/Chapter\\_10\\_Dasenakis.pdf](https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/4692/1/Chapter_10_Dasenakis.pdf)