Εθνικο Μετσοβιο Πολυτεχνειο

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΓΓΕΙΟΒΕΛΤΙΩΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σχεδιασμός συστήματος τεχνητού υγροβιότοπου κατακόρυφης ροής για την επιτόπια επεξεργασία οικιακών αποβλήτων

Φίλιππος Γκουμάς

Επιβλέπων: Βασίλειος Α. Τσιχριντζής, Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Οκτώβριος 2017

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε υπό την επίβλεψη του τομέα των Ἑργων Υποδομής και Αγροτικής Ανάπτυξης, της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου κατά το ακαδημαϊκό έτος 2016-2017.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Τσιχριντζή που δέχτηκε να πραγματοποιήσω την διπλωματική μου εργασία υπό την επίβλεψη του. Τον ευχαριστώ για την καθοδήγηση του και την υποστήριξη που μου έδωσε. Ευχαριστώ θερμά τα υπόλοιπα μέλη της τριμελούς επιτροπής, τον κ. Τσακίρη και τον κ. Ναλμπάντη, για την προσοχή που έδωσαν στον έλεγχο της εργασίας μου και τις χρήσιμες συμβουλές τους.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον κ. Χάρη Βαγγέλη, μέλος ΕΔΙΠ του Εργαστηρίου Εγγειοβελτιωτικών Έργων και Διαχείρισης Υδατικών Πόρων του ΕΜΠ, για τη βοήθεια του στην απόκτηση δεδομένων.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου για την διαρκή υποστήριξη τους και ιδιαίτερα τον συμφοιτητή μου Σπύρο Καπερώνη για την σημαντική του βοήθεια καθ’ όλη την διάρκεια της φοίτησης μου στην Σχολή.

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, εξετάσθηκε το πρόβλημα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων μιας μεμονωμένης κατοικίας στην περιοχή της Αρτέμιδας, Αττικής, που δεν διαθέτει αποχετευτικό σύστημα, παρά μόνο έναν απορροφητικό σηπτικό βόθρο.

Για την αντιμετώπιση αυτής της κατάστασης, η προτεινόμενη τεχνολογία εντοπίζεται στα λεγόμενα Φυσικά Συστήματα Επεξεργασίας, τα οποία χαρακτηρίζονται από απλότητα, χαμηλή ενεργειακή απαίτηση, μικρό κόστος κατασκευής και λειτουργίας και αξιόλογες αποδόσεις.

Πιο συγκεκριμένα, προτείνεται ένα σύστημα με τεχνητό υγροβιότοπο κατακόρυφης ροής ως κύριο στάδιο επεξεργασίας, δύο σηπτικές δεξαμενές ως πρώτο στάδιο επεξεργασίας και μια δεξαμενή με πέτρωμα ζεόλιθου για περαιτέρω απομάκρυνση αζώτου και φωσφόρου. Έγιναν οι κατάλληλοι υπολογισμοί για το σχεδιασμό του συστήματος επεξεργασίας καθώς και η εκτίμηση της αναμενόμενης περιεκτικότητας σε ρύπους της τελικής εκροής.

Επίσης για την επαναχρησιμοποίηση της επεξεργασμένης ροής, σχεδιάστηκε με την χρήση του λογισμικού EPANET 2 και προτείνεται ένα υδραυλικό σύστημα παροχής του επεξεργασμένου νερού για τα καζανάκια του σπιτιού και για αρδευτικούς λόγους εντός της ιδιοκτησίας.

Ακόμη εκτιμήθηκε το απαιτούμενο κόστος κατασκευής της εγκατάστασης, καθώς επίσης και τα ετήσια λειτουργικά έξοδα. Η λειτουργία θα συνέβαλε πρωτίστως στην προστασία των υπόγειων υδάτων της περιοχής και επακόλουθα στην διαφύλαξη της κοντινής ακτής που αποτελεί πόλο έλξης για λουόμενους.

ABSTRACT

The following thesis elaborates on the problem of wastewater management on a household in Artemida, Attica. The area misses the appropriate infrastructure for a sewage system, so wastewater, of our study household, is absorbed into a septic tank.

The technology recommended for this situation is Constructed Wetlands. This technology comes along with many benefits such as simplicity, the fact that it doesn't require great amounts of energy, it is economic to be installed and lastly, shows remarkable results on the pollutant's removal.

In particular, the system which is recommended to be used, consists of a Vertical flow constructed wetland, two septic tanks and a tank equipped with zeolite. In this small scale vertical flow constructed wetland, the two septic tanks are placed in series and are used as first stage of treatment. In the second stage of treatment, septic tank's effluent flows to a Vertical Flow constructed Wetland. Finally, for further removal of nitrogen and phosphorus, a zeolite tank is used as third stage of treatment. The dimensions of this installation and its' efficiency in the pollutant's removal were calculated and are presented in the following project.

Furthermore, the outflow, of the main treatment installation, is transported via a plumbing system and is used for the household's flushes and for the property's irrigation system. The design and simulation of this plumbing system was completed with the use of a water distribution system modeling software package, EPANET 2.

In addition, there has been made an economic assessment of the whole system. The costs of installation, of the annual operation and also the costs needed for the annual maintenance are taken into account in this assessment.

In conclusion, the treatment system will lead to the prevention of wastewater leakage in the subsoil and therefore the pollution of the area's aquifer.

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΛΙΣΤΑ ΣΧΕΔΙΩΝ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΣΤΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΥΓΡΟΒΙΟΤΟΠΩΝ

1.1 ΦΥΣΙΚΟΙ ΥΓΡΟΒΙΟΤΟΠΟΙ

Οι φυσικοί υγροβιότοποι συνεισφέρουν τόσο στον άνθρωπο όσο και στην φύση με διάφορους τρόπους. Η φίλτρανση του νερού αποτελεί έναν από τους τρόπους. Συγκεκριμένα, όπως το νερό ρέει μέσα στον υγροβιότοπο, ένα ιδιαίτερα σημαντικό ποσοστό των αιωρούμενων σωματιδίων παγιδεύεται από την βλάστηση και καθιζάνει, ενώ παράλληλα άλλοι ρύποι μετατρέπονται σε λιγότερο ευδιάλυτες μορφές οι οποίες απορροφώνται από τα φυτά. Επίσης, τα φυτά διαμορφώνουν όλες τις απαραίτητες συνθήκες ώστε οι μικροοργανισμοί να μπορέσουν να αναπτυχθούν. Μέσω μιας σειράς σύνθετων διαδικασιών, οι μικροοργανισμοί μετατρέπουν και αφαιρούν τους ρύπους από το νερό (USEPA 2004).

Οι υγροβιότοποι είναι μεταξύ των πιο σημαντικών οικοσυστημάτων. Στο παρελθόν, λόγω της ανάγκης για επέκταση των αστικών καθώς και αγροτικών περιοχών, καταστράφηκαν αρκετοί φυσικοί υγροβιότοποι (Tsihrintzis 1999). Σήμερα η κατάσταση έχει αλλάξει προς το καλύτερο. Με την θέσπιση νόμων τόσο σε Ευρωπαϊκό όσο και Παγκόσμιο επίπεδο, παύει η αλόγιστη εκμετάλλευση των Φυσικών υγροβιότοπων. Πλέον, υπάρχουν σχετικά λίγα παραδείγματα φυσικών υγροβιότοπων για την επεξεργασία ρυπασμένου ύδατος. Κάθε εκροή σε έναν φυσικό υγροβιότοπο θα πρέπει να ικανοποιεί τα όρια του Εθνικού Μολυσματικού Συστήματος Απαλλαγής Αποβολών (NPDES). Έτσι λοιπόν, κατασκευάζονται σήμερα τεχνητοί υγροβιότοποι με σκοπό την επεξεργασία υγρών αστικών, βιομηχανικών, γεωργικών και κτηνοτροφικών λυμάτων (Tsihrintzis 2004).

1.2. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΥΓΡΟΒΙΟΤΟΠΩΝ

Τα φυσικά συστήματα συχνά αναφέρονται σαν παραδείγματα πράσινης τεχνολογίας, κυρίως λόγω της χρήσης φυτών. Ο όρος αυτός δικαιολογείται με το ότι οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται είναι λιγότερο επιβλαβείς σε σχέση με τις συμβατικές τεχνολογίες και με τεχνολογίες που απαιτούν μικρότερη χρήση μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Οι παράγοντες που χαρακτηρίζουν το πόσο πράσινο είναι ένα σύστημα, προστέθηκαν από τον Brix (1999):

- Υψηλή απόδοση της επεξεργασίας σε σχέση με αποδεκτά όρια εκροής
- Χαμηλή εκπομπή πολλαπλών ρύπων στο περιβάλλον.
- Ελάχιστη παραγωγή παραπροϊόντων (π.χ. ιλύς).
- Δυνατότητες ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης.
- Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας.
- Χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.
- Ελάχιστη ή μηδενική χρήση χημικών.
- Ελάχιστες περιβαλλοντικές οχλήσεις και πολλαπλά περιβαλλοντικά οφέλη.

Οι τεχνητοί υγροβιότοποι που εμπεριέχονται στα πράσινα συστήματα έχουν μεγαλύτερη απόδοση στην απομάκρυνση των ρύπων σε σύγκριση με τους τους φυσικούς, επειδή ο σχεδιασμός τους έχει γίνει με τέτοιον τρόπο ώστε να ενισχύονται οι επιθυμητές διεργασίες. Επίσης, οι τεχνητοί υγροβιότοποι θεωρούνται χαμηλού κόστους εναλλακτικές λύσεις για την επεξεργασία αστικών, βιομηχανικών και αγροτικών υγρών αποβλήτων (Kadlec and Wallace 2009). Η απόδοση ενός τεχνητού υγροβιότοπου εξασφαλίζεται, εφόσον η βλάστηση μπορεί να υποστεί την απαραίτητη διαχείριση. Οι περισσότεροι τύποι τεχνητών υγροβιότοπων περιέχουν αναδυόμενα υδροχαρή φυτά. Η κατασκευή Τ.Υ. έχει αυξηθεί τόσο στις ΗΠΑ όσο και στην Ευρώπη.

Για την επεξεργασία ρυπασμένων υδάτων, έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιηθεί δύο συστήματα τεχνητών υγροβιότοπων: τα συστήματα ελεύθερης επιφανειακής ροής (Free Water System, FWS) και τα συστήματα υποεπιφανειακής ροής. Με την σειρά τους οι υποεπιφανειακής ροής χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: τα συστήματα υποεπιφανειακής οριζόντιας ροής (Horizontal subsurface flow, HSSF) και τα συστήματα κατακόρυφης υποεπιφανειακής ροής (Vertical flow system, VFS) υποεπιφανειακής κατακόρυφης ροής.

1.2.1. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΡΟΗΣ

Η χρήση των τεχνητών υγροβιότοπων αυτής της μορφής, είναι συνήθεις στην Βόρεια Αμερική (Kadlec and Wallace 2009). Στην πληθώρα των περιπτώσεων, χρησιμοποιούνται για την διαχείριση αστικών αποβλήτων (Kadlec and Wallance 2009). Το χαρακτηριστικό αυτών των συστημάτων, είναι ότι η ροή είναι κατά μήκος της λεκάνης, όπου βρίσκονται διάφορα υδροχαρή φυτά. Το βάθος της λεκάνης είναι μικρό με αποτέλεσμα να είναι ορατή η ροή του νερού. Στην λεκάνη υπάρχουν εδαφικά υλικά της περιοχής εγκατάστασης, μαζί με άργιλο και αδιαπέραστα γεωτεχνικά υλικά, (γεωμεμβράνες, γεωυφάσματα) (Reed et al. 1995). Το μικρό βάθος του νερού (0,4-0,6 cm), η χαμηλή ταχύτητα ροής και ειδικά τα μεγάλου μήκους και μικρού πλάτους κανάλια εξασφαλίζουν την εμβολοειδή ροή.

Τα συστήματα ελεύθερης επιφανειακής ροής με μακρόφυτα σχεδιάζονται και λειτουργούν ως βιολογικά συστήματα επεξεργασίας μεγάλης έκτασης. Το νερό κοντά στον πυθμένα βρίσκεται σε αναερόβια κατάσταση, ενώ στην επιφάνεια επικρατούν αερόβιες συνθήκες (Kadlec and Wallace 2009). Έχει αποδειχτεί ότι είναι ιδιαίτερα αποδοτικοί στην αφαίρεση των στερεών σωματιδίων καθώς και στην αφαίρεση του βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου (BOD_5). Η αφαίρεση του αζώτου, οι παθογόνοι μικροοργανισμοί καθώς και άλλες μορφές επιβαρύνσεων όπως βαρέα μέταλλα είναι σε υψηλά επίπεδα, ενώ στον αντίποδα, η αφαίρεση του φωσφόρου δεν είναι σημαντική (Kadlec and Knight 1996, Kotti et al. 2010, Tsihrintzis and Gikas 2010). Οι τεχνητοί υγροβιότοποι ελεύθερης επιφανειακής ροής είναι ιδιαίτερα αποδοτικοί στην απομάκρυνση των ρύπων, όταν η εγκατάσταση τους βρίσκεται σε περιοχή με Μεσογειακό κλίμα (Tsihrintzis et al. 2007).

Οι μηχανισμοί απομάκρυνσης των αιωρούμενων στερεών είναι οι: φίλτρανση, καθίζηση και συσσωμάτωση. Η βλάστηση βοηθάει στην καθίζηση και εμποδίζει την επαναιώρηση των ιζημάτων στο υγρό λύμα από την επιφάνεια του πυθμένα. Την χειμερινή περίοδο όπου η θερμοκρασία είναι χαμηλή, ενισχύεται η διαλυτότητα του οξυγόνου στο νερό. Στον αντίποδα, η χαμηλή θερμοκρασία έχει ως αποτέλεσμα την επιβράδυνση ή ακόμα και την αναστολή της μικροβιακής δραστηριότητας εντός του συστήματος (Vymazal 2009).

Η ανάπτυξη μικροβίων, λειτουργεί ως μηχανισμός αφαίρεσης ευδιάλυτων οργανικών ενώσεων. Η αποσύνθεση αυτών των ενώσεων γίνεται με αερόβιες διεργασίες κοντά στην επιφάνεια και αναερόβια κοντά στον πυθμένα. Το άζωτο αφαιρείται στα συστήματα οριζόντιας επιφανειακής ροής με την νιτροποίηση και την απονιτροποίηση.

Η αμμωνία οξειδώνεται από νιτροποιητικά βακτήρια στις αερόβιες ζώνες του υγροβιότοπου και το νιτρικό άλας μετατρέπεται σε ελεύθερο άζωτο ή σε οξείδιο του αζώτου στις ανοξικές ζώνες με τη βοήθεια των απονιτροποιητικών βακτηρίων. Η αμμωνία αφαιρείται με την εξαέρωση. Το οξυγόνο εκτός από την διάχυση παρέχεται και μέσω της φωτοσύνθεσης των μακροφύτων και της άλγης. Σε περιπτώσεις όπου η επιφάνεια του υγροβιότοπου καλύπτεται εξ' ολοκλήρου από επιπλέοντα μακρόφυτα, εμποδίζοντας έτσι την ηλιακή ακτινοβολία, η ανάπτυξη των αλγών είναι περιορισμένη και για αυτό το λόγο στο σύστημα επικρατούν ανοξικές/ αναερόβιες συνθήκες. Η αφαίρεση του φωσφόρου πραγματοποιείται μέσω των διεργασιών της προσρόφησης, συσσωμάτωσης και καθίζησης (Tsihrintzis 2004).

1.2.2. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΡΟΗΣ

Οι τεχνητοί υγροβιότοποι οριζόντιας υπόγειας ροής (HSF CW Systems), είναι κλίνες με χαλίκι ή χώμα όπου φυτεύονται καλαμιές (Vymazal et al. 2006). Η κύρια διαφορά με τα συστήματα ελεύθερης επιφανειακής ροής, είναι ότι η ροή δεν είναι στην επιφάνεια του εδάφους, είναι υπόγεια και σχεδόν οριζόντια, διαπερνά την κλίνη μέσω του πορώδους υλικού που τοποθετείται και των ρίζων των φυτών (Vymazal et al. 1998). Επειδή η ροή δεν είναι εκτεθειμένη στην ατμόσφαιρα, η συγκέντρωση κουνουπιών αποτρέπεται (Kadlec and Wallace 2009).

Η σύσταση του περιεχομένου της κλίνης αποτελείται από χαλίκι ή χαλίκι με άμμο ώστε να υποστηριχθεί η ανάπτυξη της βλάστησης. Το βάθος της κλίνης κυμαίνεται μεταξύ 40 και 60 cm από την επιφάνεια. Για να επιτευχθεί η οριζόντια ροή, απαιτείται η κατασκευή του πυθμένα υπό κλίση (1-3%) (USEPA 1988, Kadlec and Wallace 2009). Στον πυθμένα βρίσκεται ένα στρώμα αργίλου ή αδιαπέρατων μεμβρανών που αποτρέπει τη διαρροή στο υπέδαφος, προστατεύοντας τους υπόγειους υδροφορείς. Η παροχή του νερού δεν γίνεται ορατή και το νερό διατηρείται 5 με 15 cm κάτω από το επίπεδο εισροής και εκροής (Vymazal et al. 2006). Σε αυτά τα συστήματα το λύμα εισέρχεται στο σύστημα και ρέει αργά μέσα από το πορώδες μέσο κάτω από την επιφάνεια μέχρι να φτάσει στη ζώνη εκροής. Αφού το νερό εισέλθει από τον αγωγό εισροής, μέσω ενός διάτρητού αγωγού, διανέμεται ομοιόμορφα κατά πλάτος της δεξαμενής (Ladegaard et al. 2005).

Η οργανική ύλη στους υγροβιότοπους υπόγειας οριζόντιας ροής διασπάται, μέσω αερόβιων και αναερόβιων διεργασιών, καθώς και μέσω της καθίζησης και της φίλτρανσης απομακρύνονται τα σωματίδια. Οι αναερόβιες συνθήκες επικρατούν στο μεγαλύτερο κομμάτι του τεχνητού υγροβιότοπου σε σχέση με τις αερόβιες, λόγω του ισχυρού φορτίου και του συνεχούς κορεσμού του υποστρώματος φίλτρανσης. Ένας από τους κύριους μηχανισμούς αφαίρεσης/ κατακράτησης αιωρούμενων σωματιδίων στον συγκεκριμένο τύπο τεχνητών υγροβιότοπων είναι η κροκίδωση και κατακρήμνιση κολλοειδών σωματιδίων. Η νιτροποίηση και η απονιτροποίηση είναι οι διεργασίες μέσω των οποίων γίνεται η αφαίρεση του αζώτου. Λόγω των μη ευνοϊκών συνθηκών, η νιτροποίηση περιορίζεται με αποτέλεσμα η απομάκρυνση της αμμωνίας να μην είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική. Τέλος, ο φωσφόρος αφαιρείται με την απορρόφηση και την κατακρήμνιση. Για την ενίσχυση της αφαίρεσης του φωσφόρου, επιλέγονται υλικά υψηλής προσρόφησης. Στην επιφάνεια αυτών των υλικών μπορεί να υπάρχει σίδηρος ή ασβεστώδη υλικά ή ομάδες οξειδίων που ενισχύουν την κατακρήμνιση του ασβεστοφωσφορικού άλατος.

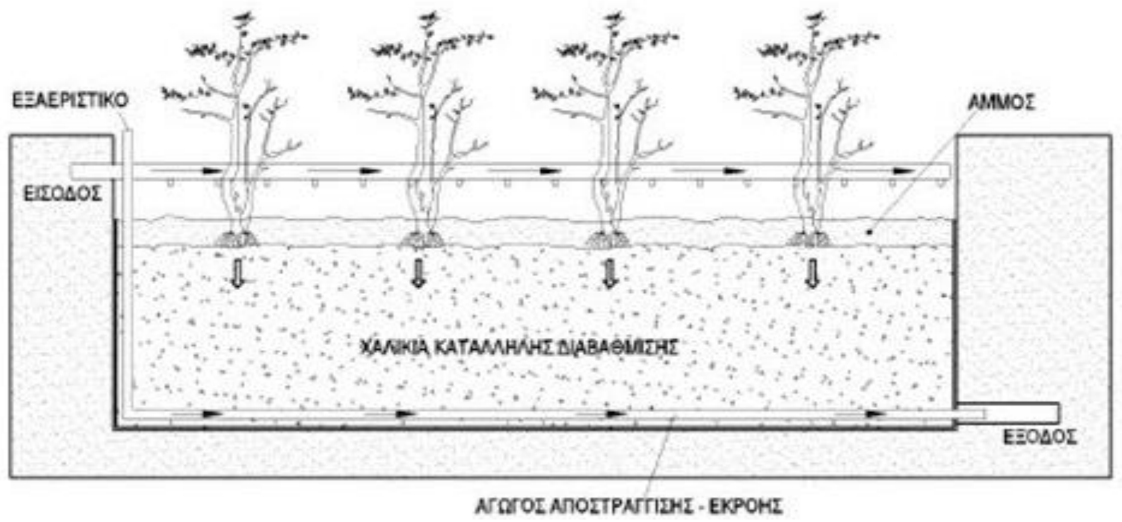
1.2.3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗΣ ΡΟΗΣ

Οι τεχνητοί υγροβιότοποι κατακόρυφης ροής, αναπτύχθηκαν από την Seidel το 1965 ως ενδιάμεσο στάδιο επεξεργασίας, μετά από σηπτική δεξαμενή και πριν από τεχνητό υγροβιότοπο οριζόντιας υπόγειας ροής (Vymazal et al. 2006). Οι τεχνητοί υγροβιότοποι κατακόρυφης ροής αποτελούνται από μία επίπεδη υπόστρωση διαβαθμισμένου χαλικιού στο πυθμένα της κατασκευής πάνω από την οποία βρίσκεται ένα στρώμα άμμου στο οποίο φυτεύονται τα μακρόφυτα (Σχήμα 1.1, Vymazal et al. 2006).

Τις τελευταίες 3 δεκαετίες έχει αρχίσει η συστηματική έρευνα βελτιστοποίησης λειτουργίας του συγκεκριμένου τύπου υπόγειας ροής. Παρά το μεγαλύτερο κόστος λειτουργίας σε σχέση με τα συστήματα ελεύθερης επιφανειακής ροής (Tsihrintzis et al. 2007), παρατηρήθηκε ότι τα συστήματα κατακόρυφης ροής είναι πιο αποδοτικά στην μεταφορά οξυγόνου που χρειάζεται για την οξείδωση του αμμωνιακού αζώτου (Tsihrintzis et al. 2007). Ένα ακόμα σημείο που τα συστήματα κατακόρυφης ροής υπερτερούν, είναι ότι χρειάζονται μικρότερο χώρο, περίπου 2 τετραγωνικά μέτρα ανά κάτοικο. Έτσι, τα συστήματα αυτά σήμερα είναι ιδιαίτερα διαδεδομένα στην Ευρώπη (USEPA 1995, Rousseau 2005) και έχουν αποδειχθεί ιδιαίτερα επιτυχημένα στην επεξεργασία λυμάτων από κοινότητες μικρότερες των 4000 ισοδύναμων κατοίκων.

Η κλίνη στους Τ.Υ. κατακόρυφης ροής γεμίζεται με 3-4 πληρωτικά υλικά διαφορετικής κοκκομετρίας (λεπτομερούς, μέσης ή αδρομερούς) και στο άνω μέρος καλύπτεται με άμμο (Vymazal 2011). Το μέγεθος του χαλικιού είναι μεγαλύτερο στον πυθμένα (30-60 mm) και μικρότερο στο ανώτερο στρώμα (6 mm). Η ροή γίνεται με την βοήθεια της βαρύτητας. Σε πρώτη φάση τα υγρά απόβλητα τροφοδοτούνται στην επιφάνεια, πλημμυρίζοντας την, στην συνέχεια διέρχονται μέσω του υλικού πλήρωσης και κατόπιν αφήνονται να στραγγίσουν (Kadlec and Wallace 2009). Το πληρωτικό υλικό γεμίζει αργά και σταθερά με το υγρό απόβλητο, παρέχοντας έτσι μέγιστη επαφή αποβλήτου και μέσου πλήρωσης. Αφού κορεστεί το υπόστρωμα, γίνεται η στράγγιση και αέρας από την ατμόσφαιρα εισέρχεται και ενισχύει τον αερισμό, άρα και τη μικροβιακή δραστηριότητα. Όπως επισημάνθηκε παραπάνω, το είδος αυτό της τροφοδοσίας, επιτρέπει την καλή μεταφορά οξυγόνου (Cooper 1999) και ενισχύεται η διεργασία της νιτροποίησης (Cooper et al. 1997, Vymazal et al. 2006). Τα συστήματα κατακόρυφης ροής έχουν αρκετές παραλλαγές (Kadlec and Wallace 2009):

- Διαλείπουσα καθοδική ροή: Εφαρμογή του υγρού στην επιφάνεια με πλημμύρα για σύντομο διάστημα. Επιλέγεται για την ενίσχυση της μεταφοράς οξυγόνου στη κλίνη. Διαδεδομένη σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες (Stefanakis and Tsihrintzis 2009b, 2012a). Συγκεκριμένα, η πολλή γρήγορη παροχέτευση του λύματος στην κλίνη του τεχνητού υγροβιότοπου, κάνει το νερό να λιμνάζει προσωρινά.
- Κορεσμένη ανοδική: Λειτουργούν με συνεχή κορεσμένη ροή διαμέσου των ριζών.
- Παλιρροιακής ροής (γέμισμα και στράγγιση): γίνεται περιοδικό γέμισμα και στράγγιση του πορώδους μέσου. Η τροφοδοσία γίνεται από τον πυθμένα και η ροή κινείται ανοδικά, γεμίζοντας την κλίνη. Το υγρό παραμένει για ένα διάστημα στην κλίνη (π.χ. 2 ώρες) και μετά η κλίνη αδειάζει (Tidal Flow).



Σχήμα 1.1. Τεχνητός υγροβιότοπος κατακόρυφης υπόγειας ροής (ΠΗΓΗ: USEPA 1995)

1.3. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ Τ.Υ.

Τα τελευταία χρόνια έχει αποδειχθεί ότι οι τεχνητοί υγροβιότοποι αποτελούν αξιόπιστη τεχνολογία για την επεξεργασία λυμάτων, ειδικά για περιοχές με μικρό πληθυσμό. Συγκρινόμενοι με τα συμβατικά συστήματα βιολογικού καθαρισμού οι τεχνητοί υγροβιότοποι επιφανειακής ροής παρουσιάζουν συγκεκριμένα πλεονεκτήματα (USEPA 2000):

- Τα συστήματα υγροβιότοπων ελεύθερης επιφανειακής ροής παρέχουν μηχανικό εξοπλισμό, την ενέργεια και εξειδικευμένους εξοπλισμούς για τον χειριστή.
- Τα συστήματα υγροβιότοπων ελεύθερης επιφανειακής ροής είναι λιγότερο ακριβά στην κατασκευή και κοστίζουν λιγότερο στο χειρισμό και στη συντήρηση.
- Η λειτουργία τους καθ' όλη τη διάρκεια του έτους για δευτερογενή επεξεργασία είναι πιθανή σε όλους τους κλιματικούς τύπους, εκτός των ιδιαίτερα ψυχρών κλιμάτων. Η λειτουργία τους καθ' όλη τη διάρκεια του έτους για προχωρημένη ή τριτογενή επεξεργασία είναι πιθανή σε θερμά έως μέτρια κλίματα.

- Δεν παράγουν υπολείμματα βιοστερεών που απαιτούν επιπρόσθετη επεξεργασία ή απόθεση.

Ωστόσο, παρουσιάζουν και ορισμένα μειονεκτήματα σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα (USEPA 2000):

- Η έκταση της γης που απαιτείται για υγροβιότοπους επιφανειακής ροής πρέπει να είναι μεγάλη, ειδικά όταν απαιτείται απομάκρυνση αζώτου ή φωσφόρου. Η απαιτούμενη έκταση για διαφορετικές διατάξεις και διαφορετικούς σκοπούς επεξεργασίας (απομάκρυνση BOD, αζώτου κτλ.) έχει προσδιορισθεί από τους Cooper και Findlater (1990) ότι κυμαίνεται από 1,3 έως 10,3 m^2.
- Η απομάκρυνση BOD, COD και αζώτου είναι βιολογικές διαδικασίες και κατά βάση διαρκώς ανανεώνονται. Ο φωσφόρος, τα μέταλλα και ορισμένα επίμονα οργανικά απομακρυνόμενα κατευθύνονται στα ιζήματα του υγροβιότοπου και συσσωρεύονται με το πέρασμα του χρόνου.
- Σε ψυχρά κλίματα, οι χαμηλές χειμερινές θερμοκρασίες περιορίζουν το ρυθμό απομάκρυνσης του BOD και τις βιολογικές αντιδράσεις που είναι υπεύθυνες για την νιτροποίηση και την απονιτροποίηση. Ο αυξημένος χρόνος κράτησης μπορεί να αντισταθμίσει αυτό.
- Το μεγαλύτερο μέρος του νερού στην πλειονότητα των συστημάτων βρίσκεται σε αναερόβια κατάσταση, κάτι που περιορίζει την τάση για ταχεία βιολογική νιτροποίηση της αμμωνίας.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα συμπεράσματα από την σύγκριση των συστημάτων ελεύθερης επιφανειακής ροής με τα συστήματα κατακόρυφης ροής όπως προέκυψε από συναφή μελέτη (Tsihrintzis et al. 2007):

- Οι τεχνητοί υγροβιότοποι αποτελούν ιδανική τεχνολογία σε περιοχές όπου το κλίμα είναι μεσογειακό. Στο σύστημα ελεύθερης επιφανειακής ροής, η αφαίρεση του BOD_5 και των στερεών ήταν σχεδόν ίδια, ενώ η αφαίρεση του COD ήταν συγκριτικά μεγαλύτερη από το σύστημα κατακόρυφης ροής. Ακόμη φάνηκε ότι τα συστήματα κατακόρυφης ροής, αποδίδουν καλύτερα στην απομάκρυνση του αζώτου και του φωσφόρου.

- Η απαιτούμενη έκταση για τις εγκαταστάσεις των δύο τύπων τεχνητού υγροβιότοπου διαφέρει πολύ. Συγκεκριμένα, το απαιτούμενο εμβαδό ανά κάτοικο στο σύστημα επιφανειακής ελεύθερης ροής, είναι διπλάσιο από το σύστημα κατακόρυφης ροής.
- Το κόστος κατασκευής του συστήματος κατακόρυφης ροής φαίνεται να είναι λίγο μεγαλύτερο από αυτό του συστήματος ελεύθερης επιφανειακής ροής.
- Ο σχεδιασμός και η κατασκευή του τεχνητού υγροβιότοπου κατακόρυφης ροής θα πρέπει να γίνεται με μεγάλη προσοχή. Το σύστημα αυτό, όντας πιο περίπλοκο από το σύστημα ελεύθερης επιφανειακής ροής, εμφάνιζε περισσότερα προβλήματα στην λειτουργία και στην συντήρηση.

1.4. ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Οι πρώτες προσπάθειες να χρησιμοποιηθεί η βλάστηση υγροβιότοπων για την απομάκρυνση διάφορων ρύπων από το νερό διεξήχθησαν από την Seidel στη Γερμανία στις αρχές του 1950 (Vymazal 2005a). Ο πρώτος πλήρους κλίμακας ελεύθερης επιφάνειας (FWS, Surface flow) τεχνητός υγροβιότοπος κατασκευάσθηκε στην Ολλανδία για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων από τοποθεσία κατασκηνώσεων κατά τη διάρκεια της περιόδου 1967-1969. Εντός πολλών ετών, κατασκευάσθηκαν περίπου 20 τεχνητοί υγροβιότοποι επιφανειακής ροής στην Ολλανδία. Εντούτοις, οι υγροβιότοποι επιφανειακής ροής δεν διαδόθηκαν σε ολόκληρη την Ευρώπη, αλλά αυτοί με οριζόντια υπόγεια ροή έγιναν ο κύριος τύπος τεχνητών υγροβιότοπων στην Ευρώπη. Ο πρώτος πλήρους κλίμακας οριζόντιας υπόγειας ροής τεχνητός υγροβιότοπος κατασκευάσθηκε το 1974 στο Othfresen στη Γερμανία. Οι πρώτοι τεχνητοί υγροβιότοποι οριζόντιας ροής στη Γερμανία και τη Δανία χρησιμοποίησαν επικρατέστερα βαρέα εδάφη, συχνά με υψηλό περιεχόμενο αργίλου. Αυτά τα συστήματα έχουν πολύ υψηλή αποτελεσματικότητα επεξεργασίας, αλλά λόγω της χαμηλής υδραυλικής διαπερατότητας, συμβαίνουν εμφράξεις σε σύντομο χρονικό διάστημα και τα συστήματα μοιάζουν περισσότερο ή λιγότερο με συστήματα ελεύθερης επιφάνειας (Vymazal 2005a). Στο τέλος της δεκαετίας του 1980 στο Ηνωμένο Βασίλειο, το έδαφος αντικαταστάθηκε με χοντρά υλικά (χαλίκι που είχε υποστεί έκπλυση) και αυτή η δομή θεωρείται επιτυχημένη από τότε. Τη δεκαετία του

1980, η τεχνολογία επεξεργασίας τεχνητών υγροβιότοπων ταχύτατα διαδόθηκε σε όλο τον κόσμο.

Τη δεκαετία του 1990, η αυξανόμενη απαίτηση για απομάκρυνση θρεπτικών συστατικών από υγρά απόβλητα οδήγησαν σε μεγαλύτερη χρήση κατακόρυφης ροής τεχνητών υγροβιότοπων που εξασφαλίζουν μεγαλύτερο βαθμό οξυγόνωσης της κλίνης φίλτρανσης και απορρέουσα απομάκρυνση αμμωνίας μέσω νιτροποίησης (Vymazal 2005). Ουσιαστικά, η εφαρμογή φυσικών συστημάτων επεξεργασίας στις ΗΠΑ και άλλες χώρες χρονολογείται από τη δεκαετία του 1870. Όπως στην Ευρώπη, έτσι και στις ΗΠΑ και άλλες περιοχές η γεωργία με λύματα (sewage farming) έγινε γνωστή ως μια πρώτη προσπάθεια ελέγχου της υδατικής ρύπανσης. Στο πρώτο μισό του εικοστού αιώνα, αυτά τα συστήματα αντικαταστάθηκαν είτε με επιτόπια συστήματα επεξεργασίας είτε με:

- Εφαρμογή σε ειδικές γεωργικές εκμεταλλεύσεις (φάρμες), όπου οι επεξεργασμένες εκροές χρησιμοποιούνταν για φυτική παραγωγή.
- Συστήματα άρδευσης διαφόρων περιβαλλόντων και κοινόχρηστων χώρων.
- Εγκαταστάσεις εμπλουτισμού υπόγειων υδροφορέων.

Αυτά τα σχετικά νέα συστήματα επεξεργασίας τείνουν να επικρατήσουν κυρίως στις δυτικές και νότιες πολιτείες των ΗΠΑ, όπου η αξία του νερού των υγρών αποβλήτων αποτελούσε ένα πρόσθετο πλεονέκτημα (Angelakis and Tchobanoglous 1995).

Με την ψήφιση νομοθεσίας στις ΗΠΑ που αφορά το καθαρό νερό στις αρχές της δεκαετίας του 1970 το ενδιαφέρον για τα φυσικά συστήματα επεξεργασίας, που βασίζονται στο έδαφος, έχει αναθεωρηθεί σημαντικά, ως αποτέλεσμα της έμφασης που δίνεται στην επαναχρησιμοποίηση του νερού, της ανακύκλωσης του νερού, των θρεπτικών στοιχείων και τη χρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων για την άρδευση φυτικών καλλιεργειών. Συγχρόνως, άρχισε να παρέχεται νομοθετικά οικονομική υποστήριξη για έρευνα και ανάπτυξη τεχνολογίας στα αντικείμενα των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας. Αυτό οδήγησε στην ισότιμη αναγνώρισή της, ως τεχνικής διαχείρισης στον τομέα μηχανικής υγρών αποβλήτων (Metcalf and Eddy 1991).

Η γενική ιδέα του συνδυασμού διαφόρων τύπων κλινών φίλτρανσης στην πραγματικότητα προτάθηκε από την Seidel στη Γερμανία τη δεκαετία του 1960, αλλά μόνο ελάχιστα πλήρους κλίμακας συστήματα κατασκευάσθηκαν αρχικά (π.χ. Saint Bohaire στη Γαλλία ή Oaklands Park στο Ηνωμένο Βασίλειο) τη δεκαετία του 1980 και στις αρχές του 1990. Στις μέρες μας, υβριδικοί τεχνητοί υγροβιότοποι συνήθως χρησιμοποιούνται σε ολόκληρη την Ευρώπη, όπως και σε άλλα μέρη του κόσμου. Η κύρια δομή που εμφανίζεται είναι συνδυασμός κατακόρυφης οριζόντιας ροής (VF–HF) (Vymazal 2005). Επίσης, χρησιμοποιείται ο συνδυασμός οριζόντιας–κατακόρυφης ροής (HF–VF), ενώ και οι ελεύθερης επιφάνειας τεχνητοί υγροβιότοποι χρησιμοποιούνται σε υβριδικά συστήματα.

1.5. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΟΝ ΚΟΣΜΟ

ΕΥΡΩΠΗ: Αρκετές ευρωπαϊκές χώρες έχουν δείξει αυξανόμενο ενδιαφέρον για μικρές εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων κατά την πάροδο των τελευταίων χρόνων. Οι τεχνητοί υγροβιότοποι φαίνεται να είναι πρακτικά καλή επιλογή για επεξεργασία επιτόπου λόγω της απλής τους κατασκευής και της μεγάλης ικανότητας αποθήκευσης (Gikas and Tsihrintzis 2012). Ο μικρός απαιτούμενος χώρος που χρειάζονται τα συστήματα υπόγειας ροής, ενισχύει την επιλογή αυτών έναντι συστημάτων επιφανειακής ελεύθερης ροής. Τα συστήματα οριζόντιας ροής είναι αυτά που επιλέγονται περισσότερο, όμως λόγω της αυστηρής νομοθεσίας για την ποιότητα εκροής, έχουν οδηγήσει στην επιλογή συστημάτων κατακόρυφης ροής. Βέβαια οι τεχνητοί υγροβιότοποι μπορούν να εξυπηρετήσουν ακόμα και μεμονωμένες κατοικίες 4-20 ανθρώπων.

Στη βόρεια Ευρώπη, η Δανία είναι η κορυφαία χώρα στην εφαρμογή τεχνητών υγροβιότοπων υπόγειας ροής. Περισσότεροι από 130 τεχνητοί υγροβιότοποι λειτουργούν στην χώρα σε σχέση με άλλες χώρες της Βόρειας Ευρώπης όπως η Σουηδία τον 1996, είχε 6 επιφανειακής ροής και 8 υπόγειας ροής. Η Νορβηγία έχει δώδεκα υγροβιότοπους, η πλειονότητα των οποίων είναι εγκαταστάσεις υπόγειας ροής (Brix and Arias 2005). Επίσημες οδηγίες για επεξεργασία οικιακών λυμάτων έχουν πρόσφατα δημοσιευθεί από το Υπουργείο Περιβάλλοντος της Δανίας ως συνέπεια των νέων απαιτήσεων επεξεργασίας για σπίτια και κατοικίες σε αγροτικές περιοχές (Brix and Arias 2005).

Η μελέτη στο Colomieu της Γαλλίας έδειξε ότι μια αποσπασματική υπερφόρτιση μεγαλύτερη από 4 m/day (μεγαλύτερη 10 φορές από την υδραυλική ροή ξηρού καιρού) και συνεχείς υπερφορτίσεις πάνω από 5 μήνες με 1,8 m/day (μεγαλύτερη 5 φορές από την υδραυλική ροή ξηρού καιρού) μπορούν να διέλθουν μέσω των φίλτρων, επιδέχονται επεξεργασία και ικανοποιούν τους ποιοτικούς στόχους της Γαλλίας (COD: 125 mg/L, BOD: 25 mg/L) (Molle et al. 2006). Οι τεχνητοί υγροβιότοποι κατακόρυφης ροής έχουν εφαρμοστεί επιτυχώς στη Γαλλία τα είκοσι τελευταία έτη. Η Γαλλική διάταξη αφορά συστήματα δύο σταδίων.

Στην Ελλάδα, υπάρχουν εγκαταστάσεις τεχνητών υγροβιότοπων για την επιτόπια επεξεργασία λυμάτων που προέρχονται από χωριά, κοινότητες, είτε μεμονωμένων κατοικιών που δεν έχουν συνδεθεί με το αποχετευτικό δίκτυο της περιοχής (Gikas and Tsihrintzis 2012). Στην Βόρεια Ελλάδα και συγκεκριμένα στην κωμόπολη Αβδήρα Ξάνθης, λειτουργεί ένα επιτόπιο σύστημα επεξεργασίας λυμάτων που προέρχονται από δύο κατοικίες των 8 ατόμων. Το σύστημα αποτελείται από τρία στάδια επεξεργασίας. Στο πρώτο στάδιο, 2 σηπτικές δεξαμενές σε σειρά, στο δεύτερο στάδιο ένας τεχνητός υγροβιότοπος κατακόρυφης ροής και στο τρίτο στάδιο μια δεξαμενή με πετρώματα ζεόλιθου. Η συγκέντρωση σε ρύπους στην εκροή του συστήματος ήταν εντός των επιτρεπόμενων ορίων για άρδευση. Συγκεκριμένα, η αφαίρεση σε BOD και COD έφτασε το 96%, η αφαίρεση του αζώτου 89,3% και η αφαίρεση του φωσφόρου 67,3% (Gikas and Tsihrintzis 2012).

Στην πρώην ανατολική Ευρώπη, η διάδοση των τεχνητών υγροβιότοπων είναι ευρεία στην Τσεχία. Μεταξύ 1989 και 1996, κατασκευάστηκαν 26 συστήματα, ενώ τα επόμενα χρόνια κατασκευάστηκαν 54 επιπλέον συστήματα. Όλα τα συστήματα είναι οριζόντιας υπόγειας ροής και επεξεργάζονται δημοτικά υγρά απόβλητα (μετά από αρχική προεπεξεργασία). Η Ουγγαρία και η Εσθονία είναι γνωστό ότι κατασκευάζουν τεχνητούς υγροβιότοπους, αλλά δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα (Vymazal 2005a).

Πίνακας 1.1. Συστήματα στον Κόσμο (ΠΗΓΗ: Stefanakis, Akratos, Tsihrintzis 2014).

Υπεύθυνοι	**Τύπος Τ.Υ. Συστήματος**	**Έτος**	**Χώρα**
Weedon	Κατακόρυφης ροής	2010	UK
Luederitz et al.	Κατακόρυφης ροής	2001	Germany
Prochaska et al.	Κατακόρυφης, οριζόνταις ροής	2007	Greece
Arias et al.	Κατακόρυφης ροής	2003	Denmark
Brix and Arias	Κατακόρυφης ροής	2005	Denmark
Vymazal and Kro¨pfelova´	Κατακόρυφης, οριζόντιας ροής	2011	Czech Republic
Gikas and Tsihrintzis	Κατακόρυφης ροής	2012	Greece
Jia et al.	Κατακόρυφης ροής	2011	Germany
Foladori et al.	Κατακόρυφης, οριζόντιας ροής	2012	Italy
Abou-Elela and Hellal	Κατακόρυφης ροής	2012	Egypt
Wu et al.	Κατακόρυφης ροής	2011	China
Molle et al.	Κατακόρυφης ροής	2004	France
Stefanakis and Tsihrintzis	Κατακόρυφης ροής	2012	Greece

ΗΠΑ: Στο παρελθόν αρκετοί φυσικοί υγροβιότοποι δεχόντουσαν μεγάλες ποσότητες τοξικών απορροών και χρησιμοποιόντουσαν ως φυσικοί τρόποι επεξεργασίας λυμάτων. Οι υγροβιότοποι αυτοί έχουν δεχθεί εκροές βιομηχανικών, γεωργικών και οικιακών λυμάτων, επιφανειακές αρδευτικές, γεωργικές και αστικές απορροές, καθώς επίσης και λύματα από άλλες πηγές ρύπανσης των υδάτων. Πολλές μελέτες τα τελευταία χρόνια έχουν δείξει ότι οι τεχνητοί υγροβιότοποι ανταποκρίνονται πλήρως στην επεξεργασία των λυμάτων, χωρίς να τίθεται σε κίνδυνο η ακεραιότητα του οικοσυστήματος. Βέβαια, υπάρχει ανησυχία για τις επιπτώσεις των τοξικών στοιχείων και παθογόνων μικροοργανισμών τα οποία βρίσκονται στα υγρά λύματα που εισέρχονται στον υγροβιότοπο. Έτσι λοιπόν, τίθεται το ζήτημα της ακεραιότητας του υγροβιότοπου, με την πιθανότητα υποβάθμισης να είναι μεγάλη, καθώς και την διαταραχή του φυσικού υδρολογικού κύκλου των οικοσυστημάτων (USEPA 1993).

Σύμφωνα με μελέτη της Εταιρείας για την Προστασία του Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών, το 2003 βρίσκονταν σε λειτουργία τουλάχιστον χίλιοι τεχνητοί υγροβιότοποι στις ΗΠΑ. Αυτή η μέθοδος επεξεργασίας λυμάτων και αποβλήτων είναι ιδιαίτερα συνηθισμένη στις νοτιοδυτικές πολιτείες εξαιτίας του ξηρού κλίματος που υποστηρίζει ιδιαίτερα τέτοιες εγκαταστάσεις (USEPA 2004). Ένας από τους μεγαλύτερους τεχνητούς βρίσκεται στην πόλη Arcata στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής. Κάποια από τα συστήμα στην Ευρώπη αλλά και στον υπόλοιπο κόσμο παρουσιάζονται στον Πίνακας 1.1.

1.6. ΦΥΤΙΚΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗ ΤΕΧΤΗΤΩΝ ΥΓΡΟΒΙΟΤΟΠΩΝ

Στους τεχνητούς υγροβιότοπους υπόγειας ροής (κατακόρυφης και οριζόντιας) χρησιμοποιούνται συνήθως μακρόφυτα, σε αντίθεση με ελεύθερης ροής που τοποθετούνται όλων των ειδών τα φυτά. Γενικά τα πιο συνηθισμένα είδη είναι:

1. Phragmites (καλάμι)

2. Typha latifolia (ψαθία ή τύφες)

3. Scirpus (βούρλα)

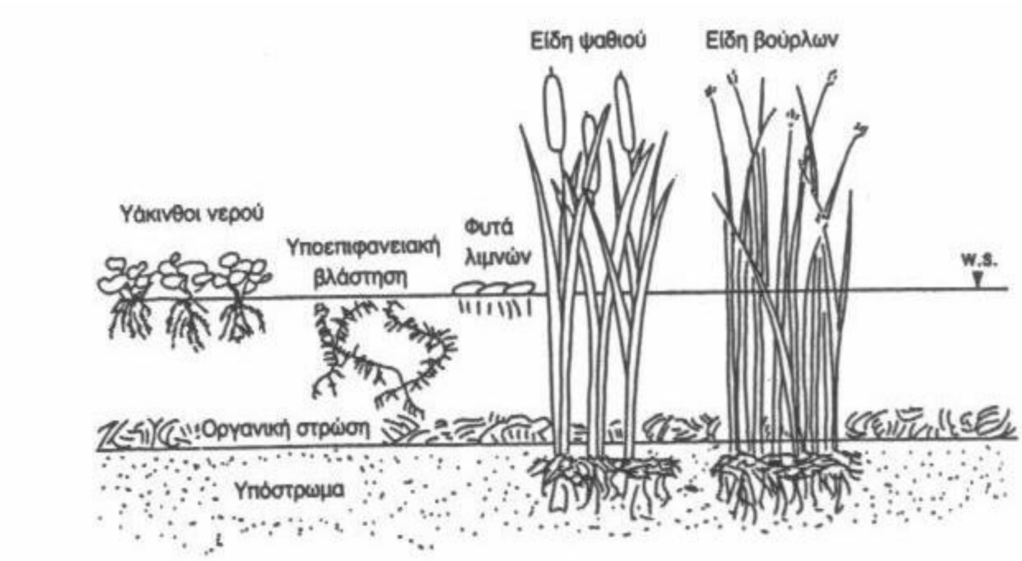
4. Scoenoplectus (σχηνόπλεκτος)

Το πιο χρησιμοποιημένο φυτό στην Ευρώπη είναι το κοινό καλάμι (*Phragmites australis*) και έπειτα η τύφα ή το ψαθί (*Typha latifolia*). Τα ίδια φυτά συναντάμε και στην Αμερική (USEPA 2000a).

Τα φυτά αρχίζουν να μεγαλώνουν στις πρώτες μέρες της άνοιξης. Στο τέλος της άνοιξης τα φυτά έχουν πλήρως αναπτυχθεί. Κατά την χειμερινή περίοδο, όπου η θερμοκρασία πέφτει, τα φυτά ξεραίνονται και το τμήμα πάνω από το χώμα είναι πρακτικά ανενεργός. Είναι σύνηθες να κόβεται και να απομακρύνεται το ξερό μέρος του φυτού στα τέλη του φθινοπώρου.

Τα κύρια χαρακτηριστικά αυτών των φυτών είναι (USEPA 1995, 1988):

1. Common reeds (*P. australis*): είναι το πιο ευρέως διαδεδομένο αγγειόσπερμο και εμφανίζεται σε περιοχές με ζεστό κλίμα και σε περιοχές με τροπικό κλίμα. Προσαρμόζονται εύκολα στις απαιτήσεις μια και μπορούν να αναπτυχθούν ακόμα και σε υφάλμυρο. Ο πληθυσμός του συρρικνώνεται στην Ευρώπη, ενώ γίνονται προσπάθειες για την αύξησή του.
2. Τύφα-Cattails (*Typha spp.*): Είναι ακόμα ένα κοινό είδος φυτού. Εμφανίζονται σε διάφορες περιοχές ανά τον κόσμο και έχουν την δυνατότητα να αναπτυχθούν σε διάφορες κλιματικές συνθήκες. Τον χειμώνα ο μεταβολισμός τους μειώνεται για να αποφευχθεί η υπεροξυγόνωση μιας και το απαιτούμενο οξυγόνο είναι μικρότερο. Είναι ικανά να μεταφέρουν μεγάλες ποσότητες οξυγόνου στο υπόστρωμα. Υπάρχουν 2 είδη (*T. Latifolia, Typha angustifolia*) όπου τα πρώτα βρίσκονται σε βάλτους, ενώ τα δεύτερα σε ανάλογα βαθύτερα νερά. Και τα δύο είδη είναι ικανά να αφομοιώνουν άζωτο και φωσφόρο και να παράγουν μεγάλες ποσότητες βιομάζας. Τέλος, στο υπέδαφος δημιουργούν ένα εκτεταμένο σύστημα ριζών (Σχήμα 1.2).



Σχήμα 1.2. Σχηματική απεικόνιση συστήματος υδροχαρών φυτών (ΠΗΓΗ: USEPA 1995).

Η χρήση φυτών στους τεχνητούς υγροβιότοπους είναι αποδεδειγμένο ότι έχουν θετική επίδραση στην λειτουργία και την απόδοση του συστήματος (Gikas and Tsihrintzis 2012). Τα φυτά, δημιουργούν ένα μεγάλο και βαθύ σύστημα ριζών στο υπόστρωμα, μειώνοντας την ταχύτητα του νερού, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η επαφή του υποστρώματος με τα λύματα, εξασφαλίζοντας την κατακόρυφη ροή. Παράλληλα υποστηρίζεται το υπόστρωμα από τις ρίζες και δεν υπάρχουν μετακινήσεις. Η μετακίνηση των φυτών από τον αέρα αποτρέπει την έμφραξη του υποστρώματος δημιουργώντας ρωγμές. Το εκτεταμένο σύστημα ριζών σταδιακά αναπτύσσει ένα υπόστρωμα που εξυπηρετεί την ανάπτυξη μικροβιακού φορτίου (Brix 1997, Vymazal et al. 1998). Αυτό το λεπτό βιοφίλμ, είναι σημαντικό για την αποδοτικότητα του συστήματος, μιας και ενεργοποιείται εκεί μεγάλο μέρος της μικροβιακής λειτουργίας στα λύματα.

Σε χώρες με θερμά κλίματα, η χρήση φυνταniών επιτρέπει τη φύτευση από αρχές Απρίλη έως τέλη Οκτώβρη για το είδος Typha και από τέλη Απρίλη μέχρι τέλη Σεπτέμβρη για το Phragmites. Αυτή η μέθοδος εξασφαλίζει την ταχεία κάλυψη της επιφάνειας της κλίνης με την απαραίτητη βλάστηση. Η προτεινόμενη πυκνότητα είναι 4 με 8 φυντάνια ανά m^2. Σύμφωνα μάλιστα με τις τσέχικες οδηγίες, στις περισσότερες περιπτώσεις δεν προτείνεται θερισμός της βλάστησης. Και αυτό διότι τα νεκρά φυτά παραμένουν στην επιφάνεια στους κατακόρυφους υγροβιότοπους με αποτέλεσμα να λειτουργούν ως μόνωση τις περιόδους όπου το κλίμα είναι ψυχρό (Vymazal 2000).

Οι Gikas και Tsihrintzis (2012), σύγκριναν την εκροή από δύο τεχνητούς υγροβιότοπους κατακόρυφης ροής, όπου ο ένας είχε φυτευτεί με καλάμι (*common reed*), ενώ ο δεύτερος παρέμεινε χωρίς βλάστηση. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η εκροή από τον πρώτο είχε μικρότερη συγκέντρωση σε BOD, COD μιας και τα φυτά μεταφέρουν οξυγόνο στο υπόστρωμα ενισχύοντας έτσι την μικροβιακή δραστηριότητα. Επίσης, η βλάστηση έπαιξε σημαντικό ρόλο και στην αφαίρεση του αζώτου και του φωσφόρου.

Οι μέσες αποστάσεις φύτευσης είναι 60 cm για τα ψαθιά, και για τα Phragmites, 30-60 cm τα για Sciprus. Το βάθος των ριζών είναι και 30-40 cm για τα ψαθιά και 60-80 cm για τα Phragmites. Τα βάθος ουσιαστικά καθορίζει το πάχος του πορώδους υλικού με το οποίο πληρούνται οι λεκάνες επεξεργασίας των λυμάτων. Επειδή το κυρίαρχο φυτικό είδος είναι οι καλαμιές, αυτά τα συστήματα επεξεργασίας λυμάτων ονομάζονται πολλές φορές και κλίνες καλαμιών (*reed beds*) (Karamouzis 2003).

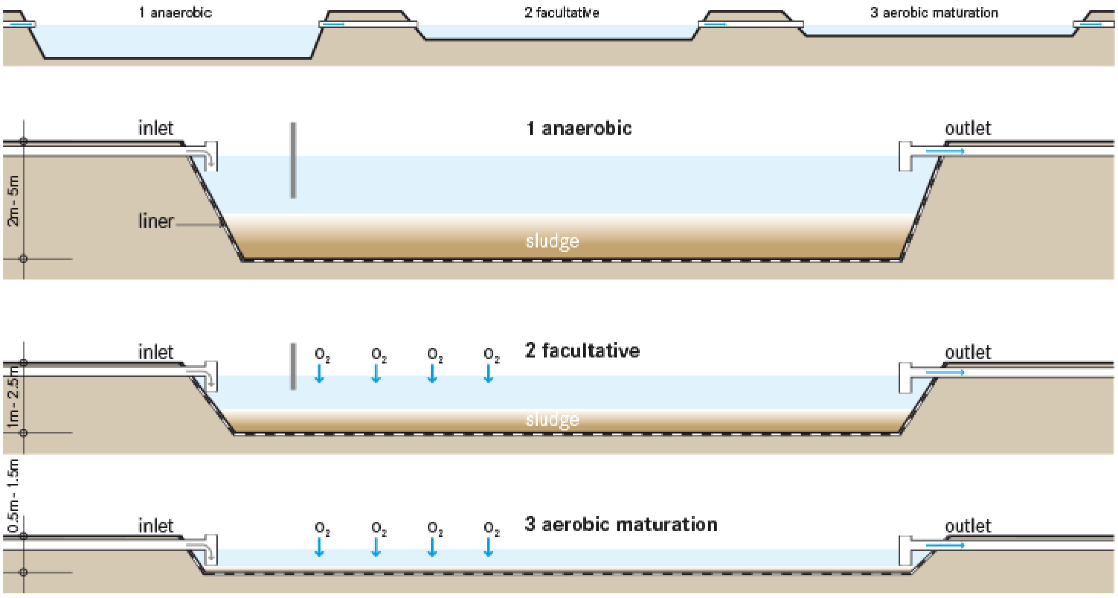
1.7. ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗΣ

Οι δεξαμενές σταθεροποίησης συνήθως έχουν μικρό βάθος με επίπεδο πυθμένα και κυκλική, τετραγωνική ή συνήθως ορθογωνική μορφή. Χρησιμοποιούνται για βιολογική επεξεργασία και λειτουργούν κάτω από φυσικές ή τεχνητές συνθήκες αερισμού ή και αναερόβια. Οι διεργασίες αυτές δεν έχουν απαίτηση εξωτερικής ενέργειας πέρα από αυτήν της ηλιακής ακτινοβολίας. Η συγκέντρωση σε ρύπους της εκροής από δεξαμενές σταθεροποίησης, εξαρτάται από τον σωστό σχεδιασμό με βάση το οργανικό φορτίο στην εισροή, το χρόνο παραμονής του λύματος στην δεξαμενή και το μέγιστο βάθος της δεξαμενής. Οι βιοχημικές διεργασίες που αναπτύσσονται εντός της δεξαμενής εξαρτώνται από την θερμοκρασία του λύματος. Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία του περιβάλλοντος, τόσο αυξάνεται και η θερμοκρασία του λύματος, με αποτέλεσμα να ενισχύονται οι βιοχημικές διεργασίες. Αντίθετα, όσο μικραίνει η θερμοκρασία του περιβάλλοντος τόσο μικραίνει και του λύματος με αποτέλεσμα οι βιοχημικές διεργασίες να επιβραδύνονται (Tsihrintzis 2004).

Οι δεξαμενές σταθεροποίησης, αναλόγως με τον τρόπο λειτουργίας τους, χωρίζονται σε 3 υποκατηγορίες (Σχήμα 1.3).

1) Αναερόβιες (anaerobic)
2) Επαμφοτερίζουσες (facultative)
3) Ωρίμανσης (tertiary maturation ponds)

Κάθε μία από τις παραπάνω κατηγορίες έχουν συγκεκριμένη λειτουργία, μέθοδο σχεδιασμού και συμβολή στην επεξεργασία των λυμάτων. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε μεμονωμένα, είτε σε σειριακή διάταξη (π.χ. από αναερόβια σε επαμφοτερίζουσα δεξαμενή. Οι δεξαμενές ωρίμανσης είθισται να χρησιμοποιούνται ως τριτοβάθμια επεξεργασία. Οι δύο πρώτες κατηγορίες χρησιμοποιούνται κυρίως για την αφαίρεση του βιοχημικώς απαιτούμενου οξυγόνου (BOD), ενώ η τρίτη κατηγορία αναλαμβάνει συνήθως την αφαίρεση διαφόρων παθογόνων μικροοργανισμών (Mara et al. 1993).



Σχήμα 1.3. Κατηγορίες δεξαμενών σταθεροποίησης (ΠΗΓΗ: Tilley et al. 2014).

1.7.1. ΑΝΑΕΡΟΒΙΕΣ ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ

Οι αναερόβιες δεξαμενές χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις επεξεργασίας υγρών οργανικών αποβλήτων. Η λειτουργία των αναερόβιων δεξαμενών χωρίζεται σε δύο ξεχωριστές φάσεις (Dinges 1982):

1. Ζύμωση των οργανικών οξέων. Επαμφοτερίζοντα και αναερόβια βακτήρια, τα οποία χρησιμοποιούν οξυγόνο από νιτρικές και νιτρώδεις ρίζες και από θειϊκές και ανθρακικές ρίζες. Κατά τις διεργασίες ελευθερώνεται υδρόθειο (H_2S) και διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), καθώς και άλλες πτητικές οργανικές ενώσεις του θείου και του αζώτου. Εν τέλει η ζύμωση καταλήγει στην παραγωγή, κυρίως πτητικών, οργανικών οξέων και λαμβάνει χώρα σε μερικές ώρες.
2. Μεθανογέννεση. Κατά την φάση της μεθανογέννεσης, κύριο ρόλο έχουν τρία μεθανοβακτήρια (Methanobacterium, Methanococcus και Methanosarcina), όπου γίνεται η μετατροπή των οργανικών οξέων σε μεθάνιο (CH_4). Το παραγόμενο αέριο περιέχει περίπου 70% μεθάνιο και 30% διοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο, άζωτο και υδρόθειο. Τέλος, για να εξασφαλιστεί η αποδοτικότητα της δεξαμενής, θα πρέπει να αποφεύγονται λύματα που περιέχουν θειούχες και θειϊκές ρίζες, αμμωνία, κλπ. (Dinges 1982).

1.8. ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΜΕ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΖΕΟΛΙΘΟΥ

Ο ζεόλιθος ανήκει στην οικογένεια των αργυλοπυριτικών ορυκτών, η οποία ανήκει στην ομάδα των τεκτοπυριτικών. Το πλέγμα τους σχηματίζει διαύλους ή κοιλότητες με διάμετρο 2-7 nm, εντός των οποίων συγκρατούνται, συνήθως χαλαρά, μόρια νερού και ιόντα (κυρίως Ca, Na, K), υπό ανταλλάξιμη μορφή. Η ύπαρξη των μεγάλων κενών στο ζεόλιθο που γεμίζουν με μόρια νερού, διαφοροποιεί τους ζεόλιθους από τις άλλες ομάδες των τεκτοπυριτικών ορυκτών (άστριους και αστριοειδή), τα οποία, σε αντίθεση με τους ζεόλιθους, έχουν συμπαγή δομή. Ο όρος ζεόλιθος επινοήθηκε αρχικά τον 18^{O} αιώνα από τον Σουηδό μεταλλειολόγο Axel Fredrik Cronstedt, ο οποίος παρατήρησε ότι όταν θερμαίνεται ο ζεόλιθος, χάνει άμεσα το νερό του υπό μορφή φυσαλίδων, δίνοντας έτσι την εντύπωση ότι βράζει. Το όνομά του το πήρε από τις λέξεις Ζέω= βράζω και λίθος= πέτρα (Karasavvidis et al. 2012).

Οι ζεόλιθοι είναι λευκοί ή άχρωμοι όταν είναι καθαροί, ενώ η παρουσία προσμίξεων (π.χ. οξειδίων σιδήρου) καθιστά πολλούς από αυτούς έγχρωμους. Η πυκνότητα τους κυμαίνεται από 2-2.3 g/cm^3, ενώ ποικιλίες ζεόλιθων πλούσιες σε Ba έχουν πυκνότητα που κυμαίνεται από 2.5-2.8 g/cm^3. Η μικρή σχετικά πυκνότητά τους οφείλεται στην παρουσία του νερού στα κενά (Mumpton 1999).

Οι βασικές ιδιότητες των ζεόλιθων είναι α) η ικανότητα προσρόφησης, β) η ιοντοανταλλακτική ικανότητα, γ) η ικανότητα αναγέννησης και δ) η ικανότητα κατάλυσης (Mumpton 1999).

α) Οι ζεόλιθοι είναι προσροφητικά υλικά. Τα μόρια του νερού πληρούν τα κενά του πλέγματος σχηματίζοντας υδατικές σφαίρες γύρω από τα ανταλλάξιμα κατιόντα. Όταν το νερό απομακρυνθεί, προσροφώνται επιλεκτικά, από τα άδεια κανάλια, μόρια μικρής διαμέτρου, ενώ τα μεγαλύτερου μεγέθους μόρια εκδιώκονται. Η λειτουργία αυτή τους προσδίδει τον χαρακτηρισμό “μοριακά κόσκινα”.

β) Τα ανταλλάξιμα κατιόντα ζεόλιθων, ως χαλαρά συνδεδεμένα στο πλέγμα τους, είναι εύκολο να ανταλλαχθούν ή να απομακρυνθούν, αν εκπλυθούν με διάλυμα κάποιου άλλου ιόντος. Η ικανότητα αυτή ονομάζεται ιοντοανταλλακτική και μετριέται σε χιλιοστοισοδύναμα ανταλλασσόμενου ιόντος ανά 100 g προσροφητικού μέσου (meq/100g).

γ) Οι ζεόλιθοι μπορούν εύκολα να αναγεννηθούν εφόσον ξεπλυθούν με όξινα διαλύματα, όπως το υδροχλώριο και αυτό αποτελεί ένα επιπλέον πλεονέκτημα μιας και δεν χάνεται η προσροφητική τους ιδιότητα.

δ) Οι καταλυτικές ικανότητες των ζεόλιθων εξαρτώνται από το μέγεθος των επιφανειακών τους πόρων, όπως και από το μέγεθος των εσωτερικών τους κοιλοτήτων, όπου λαμβάνουν χώρα οι αντιδράσεις. Το μέγεθος των πόρων προσδιορίζει ποιά μόρια είναι δυνατό να εισέλθουν στις κοιλότητες και να υποστούν κατάλυση και ποια μόρια είναι δυνατό να εξέλθουν από τις κοιλότητες ως προϊόν των καταλυτικών αντιδράσεων.

Η χρήση του ζεόλιθου είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική στην επεξεργασία υγρών λυμάτων καθώς μειώνει ιδιαίτερα πολύ την συγκέντρωση του νερού σε αμμωνία και φωσφόρο. Εκτός αυτού, συμβάλει στην αύξηση του διαλυμένου οξυγόνου στα λύματα, άρα και στην μείωση του οργανικού φορτίου, καταστρέφει τα μικρόβια και τους μύκητες, μειώνει την θολότητα και την σκληρότητα του νερού, ρυθμίζει το pH και κατακρατεί όλες τις οργανικές και οργανομεταλλικές ενώσεις. Αυτό σημαίνει ότι το νερό της εξόδου καθίσταται κατάλληλο για πότισμα. Τέλος, μειώνει αισθητά τα επίπεδα οσμής παρέχοντας ένα ασφαλέστερο και πιο άνετο περιβάλλον για τον άνθρωπο και την γύρω περιοχή (Filippidis 2015).

Η χρήση πετρωμάτων ζεόλιθου ως μέσο φίλτρανσης της εκροής τεχνητών υγροβιότοπων έχει δοκιμαστεί στο παρελθόν για περαιτέρω αφαίρεση αζώτου και φωσφόρου (Arias et al. 2003, Stefanakis et al. 2009, Stefanakis and Tsihrintzis 2012b, Gikas and Tsihrintzis 2012). Ακόμη, έχει χρησιμοποιηθεί ως πορώδες μέσω σε τεχνητό υγροβιότοπο, αυξάνοντας έτσι την απόδοση του τεχνητού υγροβιότοπου (Stefanakis and Tsihrintzis 2012b). Η χρήση πετρωμάτων ζεόλιθου για την επεξεργασία της εκροής τεχνητών υγροβιότοπων, έδειξε ότι αποφέρει ικανοποιητικά αποτελέσματα στην αφαίρεση της οργανικής ύλης, της αμμωνίας και του φωσφόρου. Συγκριτικά με τους παραπάνω ρύπους, τα επίπεδα αφαίρεσης φωσφόρου ήταν μικρότερα (Stefanakis et al. 2009). Η αποδοτικότητα του ζεόλιθου στην αφαίρεση των ρύπων (φωσφόρος, αμμωνία) φαίνεται να είναι ανάλογη με την θερμοκρασία των λυμάτων. Επίσης, με την πάροδο του χρόνου η ικανότητα αυτού του πετρώματος να αφαιρεί τον φωσφόρο και το άζωτο μειώνεται (7,8% για τον φωσφόρο και 10,6% για το άζωτο, σύμφωνα με τους Gikas and Tsihrintzis 2012).

2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ

Ανάλογα με τη χρήση από όπου προέρχονται, χωρίζουμε τα υγρά απόβλητα στις παρακάτω κατηγορίες:

- Οικιακά υγρά απόβλητα, απόβλητα που παράγονται από τις διάφορες ατομικές δραστηριότητες όπως είναι το μπάνιο και τα απόνερα τόσο σε οικιακό και ξενοδοχειακό επίπεδο όσο και σε εμπορικό, για παράδειγμα υγρά απόβλητα αεροδρομίων και εμπορικών καταστημάτων.
- Βιομηχανικά υγρά απόβλητα, απόβλητα που παράγονται σε διάφορες βιομηχανίες, για παράδειγμα μεταλλουργικές, ηλεκτροπαραγωγικές ή κλωστοϋφαντουργικές.
- Γεωργικά υγρά απόβλητα, απόβλητα που παράγονται από κάθε γεωργική δραστηριότητα, όπως για παράδειγμα οι εντατικές κτηνοτροφικές μονάδες.

Τα λύματα είναι ένα θολό υγρό που συνιστάται κατά 99.9% από νερό και περιέχει σύμπλοκα οργανικά και ανόργανα συστατικά (Reed et al. 1995). Τα συστατικά αυτά εμφανίζονται ως αιωρούμενα στερεά σωματίδια ή πολύ λεπτόκοκκα στερεά κολλοειδή σωματίδια, ως διαλυμένα συστατικά και ως μικροοργανισμοί. Η δυσάρεστη οσμή και το χρώμα των λυμάτων, κατά μεγάλο μέρος, προκαλείται από το οργανικό υλικό που υφίσταται αναερόβια βακτηριακή διάσπαση. Τα οργανικά υλικά στα λύματα είναι συνήθως χαρτί, κόπρανα, ούρα, σαπούνι, απορρυπαντικά, λίπη, έλαια, και υπολείμματα τροφών. Στα ανόργανα συστατικά τους περιλαμβάνονται άμμος, άργιλος και άλατα αμμωνίου, που προέρχονται από τη διάσπαση των ούρων, των μεταλλικών, των νιτρικών, των φωσφορικών και άλλων αλάτων. Τα οικιακά και τα αστικά λύματα προέρχονται από τις χρήσεις του νερού που καταναλώνει ο άνθρωπος για τις ανάγκες του.Ο όρος αστικά λύματα αναφέρεται στα υγρά απόβλητα από τις κατοικίες και τα υγρά απόβλητα από τις συνήθεις δραστηριότητες μια πόλης. Τα οικιακά λύματα παράγονται από τις ανάγκες των ανθρώπων σε καθημερινή βάση. Κατά μέσο όρο παράγονται 150 λίτρα ανά άτομο κάθε ημέρα. Η ποιότητα των οικιακών λυμάτων δεν είναι εύκολο να προσδιοριστεί καθώς μεταβάλλεται ανάλογα με διάφορους παράγοντες (π.χ. περιοχή, διατροφικές συνήθεις κλπ.). Η σύνθεση των λυμάτων μπορεί να προσδιορισθεί χρησιμοποιώντας φυσικές, χημικές και βιολογικές μεθόδους (Akylas et al. 1998). Στον Πίνακα 2.1 αναφέρονται οι ρύποι που υπάρχουν στα ανεπεξέργαστα οικιακά λύματα.

Πίνακας 2.1. Τυπικές τιμές συγκέντρωσής ρύπων σε λύματα. (ΠΗΓΗ: Αγγελάκης και Tchobanoglous 1995).

Συγκέντρωση				
ΡΥΠΟΙ	Μονάδες	Ασθενές	Ενδιάμεσο	Ισχυρό
Στερεά, ολικά (TS)	mg/L	350	720	1200
BOD_5	mg/L	110	220	400
TOC	mg/L	80	160	290
Άζωτο	mg/L	20	40	85
Οργανικό άζωτο	mg/L	8	15	35
Αμμωνία	mg/L	12	25	50
Νιτρώδη	mg/L	0	0	0
Νιτρικά	mg/L	0	0	0
Φωσφόρος	mg/L	4	8	15
Οργανικός φωσφόρος	mg/L	1	3	5
Ανόργανος φωσφόρος	mg/L	3	5	10
Χλώριο	mg/L	30	50	100

2.1. ΑΖΩΤΟ

Το άζωτο είναι απαραίτητο θρεπτικό στοιχείο για την διατροφή των φυτών αλλά και των ζώων. Όμως, στην περίπτωση όπου το άζωτο βρίσκεται σε μεγάλες συγκεντρώσεις στο υδάτινο σώμα, τότε επιδρά αρνητικά στο περιβάλλον και στον άνθρωπο. Το άζωτο διαχωρίζεται αναλόγως με τη μορφή που βρίσκεται. Συγκεκριμένα το νιτρικό ιόν το νιτρώδες ιόν και η αμμωνία περιέχουν άζωτο το οποίο προσλαμβάνεται από τα φυτά. Το 90% του αζώτου του εδάφους είναι οργανικής μορφής και προέρχεται από τα κατάλοιπα φυτικών και ζωικών ιστών και μικροοργανισμών. Ωστόσο, το οργανικό αυτό άζωτο είναι αδιάλυτο και τα φυτά και οι διάφοροι ζωντανοί οργανισμοί δεν μπορούν να το προσλάβουν άμεσα. Για να μπορέσει το άζωτο να προσληφθεί, θα πρέπει να μετατραπεί σε κατάλληλες μορφές. Οι διαδικασίες για την μετατροπή είναι απαραίτητες ώστε να επιτευχθεί ο κύκλος του αζώτου. Οι διάφορες μορφές του αζώτου που συναντάμε φαίνονται στον Πίνακα 1.2 (Sfiroera 2005).

Επιπτώσεις αζώτου στον άνθρωπο: Στις περιπτώσεις όπου τα επίπεδα αζωτούχων ενώσεων και νιτρικών είναι υψηλά, τότε το άζωτο καταλογίζεται ως ρύπος. Ιδιαίτερα επικίνδυνα είναι τα νιτρικά (NO_3^-), τα οποία έχουν αυξημένη κινητικότητα και συμβάλουν στο φαινόμενο του ευτροφισμού των υδάτινων σωμάτων. Ακόμη, όταν μπουν στο ανθρώπινο στομάχι, τα νιτρικά μετατρέπονται σε νιτρώδη και στη συνέχεια κάτω από ειδικές συνθήκες σε νιτροζαμίνες. Οι χημικές αυτές ενώσεις έχουν αναγνωριστεί ως ηπατοτοξικές και έχουν χαρακτηριστεί σαν μια καρκινογενής ομάδα ενώσεων σε πολλά ζωικά είδη. Σήμερα έχει γίνει ευρέως αποδεκτό ότι αυτές αναπτύσσουν πιθανώς καρκίνο και στον άνθρωπο (Bastviken 2006). Υπάρχουν ενδείξεις ότι οι υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών στο νερό και στα τρόφιμα σχετίζονται με τα εξής προβλήματα υγείας στον άνθρωπο:

- Αυξημένη συχνότητα λεμφώματος και καρκίνου.
- Αποβολή εμβρύου.
- Αύξηση της συχνότητας μεταλλάξεων στα λεμφοκύτταρα.

- Μεθαιμοσφαιριναιμία: blue baby syndrome (κυάνωση της επιδερμίδας και των νυχιών των βρεφών).

Πίνακας 2.2. Μορφές αζώτου, (ΠΗΓΗ: Metcalf and Eddy 1991).

Μορφή αζώτου	**Σύντμηση**	**Προσδιορισμός**
Αέρια αμμωνία	NH_3	NH_3
Αμμώνιο	NH_4	NH_4
Ολικό αμμωνιακό άζωτο	TAN	NH_3+NH_4^+
Νιτρώδη	NO_2^-	NO_2^-
Νιτρικά	NO_3^-	NO_3^-
Ολικό ανόργανο άζωτο	TIN	NH_3+ NH_4^++ NO_2^-+ NO_3^-
Ολικό άζωτο Kjeldahl	TKN	Οργανικό N+ NH_3+ NH_4^+
Οργανικό άζωτο	Οργανικό N	TKN- (NH_3+ NH_4^+)
Ολικό άζωτο	TN	Οργανικό N+NH_3+ NH_4^++ NO_2^-+ NO_3^-

Επιπτώσεις αζώτου στο Περιβάλλον: Η ποσότητα ολικού Ν στα συνήθη οικιακά λύματα κυμαίνεται από 6,8 g/ισοδύναμο κάτοικο/ημέρα έως και 19,3 g/ισοδύναμο κάτοικο/ημέρα), σε συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 35 – 100 mg/L. Αυτό σημαίνει ότι μέσω των λυμάτων διοχετεύονται στο περιβάλλον από 2,5 kg/ισοδύναμο κάτοικο/έτος έως 7 kg/ισοδύναμο κάτοικο/έτος. Όταν η συγκέντρωση του αζώτου και του φωσφόρου είναι αυξημένη σε ένα υδάτινο σώμα, τότε οδηγεί στον ευτροφισμό.

Συγκεκριμένα, ο ευτροφισμός αναφέρεται στην υπέρογκη αύξηση της φυτικής βιομάζας σε ένα υδάτινο περιβάλλον, λόγω της προσθήκης θρεπτικών συστατικών. Ο ευτροφισμός αναπτύσσεται σε υδάτινες επιφάνειες με αβαθή νερά και γίνεται εμφανής λόγω της θολότητας του νερού και τους σχηματισμούς διαφορετικού χρώματος από την υπόλοιπη υδάτινη μάζα, όπως στην Εικόνα 2.1 (Rybicki 1997).

Οι επιπτώσεις που δημιουργούνται από τον ευτροφισμό είναι:

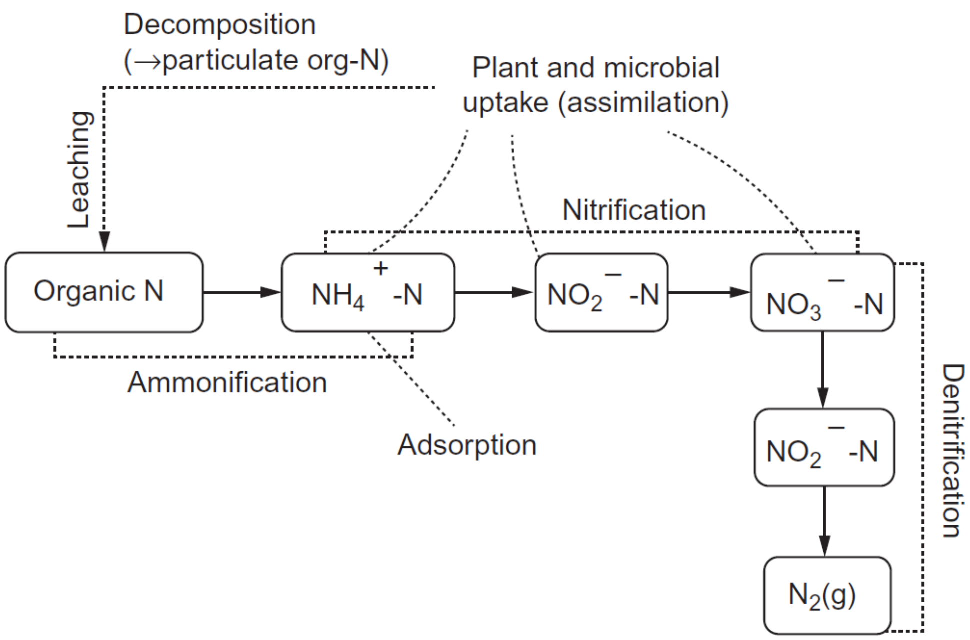
- Τοξικότητα
- Αποξυγόνωση
- Οσμή, χρώμα, γεύση
- Γλοιώδης επικάλυψη

Εικόνα 2.1. Φαινόμενο ευτροφισμού (ΠΗΓΗ: www.ecy.wa.gov/programs/eap/fw_lakes/bloom.html).

2.1.1. ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΑΖΩΤΟΥ ΣΤΟΥΣ Τ.Υ.

Το άζωτο μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την ποιότητα της εκροής του νερού. Ακόμη, επηρεάζει την ποσότητα του διαλυόμενου οξυγόνου (DO) σε τέτοιο βαθμό που είναι ανεπαρκής για τους οργανισμούς στο νερό (μέσω της αναερόβιας μετατροπής του αζώτου). Είναι πιθανό να προκαλέσει σημάδια ευτροφισμού σε ανοικτά υδατικά συστήματα.

Για την μετατροπή και αφαίρεση του αζώτου λαμβάνουν χώρα βιολογικοί, χημικοί και φυσικοί μηχανισμοί ειδικά στους Τ.Υ. κατακόρυφης ροής. Στο Σχήμα 2.1, βλέπουμε τις διεργασίες που συμβαίνουν.



Σχήμα 2.1. Μετατροπή και αφαίρεση αζώτου σε Τ.Υ. κατακόρυφης ροής, (ΠΗΓΗ: Stefanakis et al. 2014).

Το μεγαλύτερο μέρος του οργανικού αζώτου μετατρέπεται σε αμμωνία από τους συμβιωτικούς οργανισμούς που βρίσκονται στις ρίζες των φυτών. Αυτό συμβαίνει στο αερόβιο αλλά και στο αναερόβιο τμήμα της κλίνης, αλλά πιο γρήγορα στο πρώτο. Η αμμωνιοποίηση γίνεται νωρίτερα από την νιτροποίηση (Kadlec and Knight 1996, Vymazal 2007). Η διαδικασία αυτή επηρεάζεται από την θερμοκρασία, το pH, τα θρεπτικά στοιχεία, και την κατάσταση του εδάφους. Το επιδιωκόμενο pH είναι μεταξύ του 6,5 και του 8,5 και η θερμοκρασία μεταξύ 40 και 60 ^{o} C (Gikas and Tsihrintzis 2010, 2012). Επίσης, η αμμωνιοποίηση διπλασιάζεται ανά 10 ^{o} C (Kadlec and Knight 1996).

Η πιο σημαντική διεργασία σε όλη την διαδικασία αφαίρεσης, είναι η νιτροποίηση (Cooper 1999, Vymazal 2007). Αρχικά, η αμμωνία οξειδώνεται σε νιτρώδη ιόντα από τα βακτήρια και συγκεκριμένα, σε αερόβιες συνθήκες, βακτήρια όπως τα Nitrosomonas, Nitrosococcus, Nitrosolobus και Nitrosospira. Στην συνέχεια τα οξείδια του αζώτου μετατρέπονται με την βοήθεια άλλων νιτροτροποιητικών βακτηρίων (Nitrospira, Nitrospina, Nitrococcus, Nitrobacter) σε νιτρικά ιόντα. (Vymazal 2007 Kadlec and Wallace 2009).

Τέλος, λαμβάνει χώρα η απονιτροποίηση όπου τα νιτρικά ιόντα μετατρέπονται σε νιτρώδη και εν συνεχεία σε αέριο άζωτο από τα απονιτροποιητικά βακτήρια. Παρόλο που η απονιτροποίηση είναι εξίσου σημαντική με την νιτροποίηση, στους Τ.Υ. λόγω της χαμηλής συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων στα αστικά λύματα, χρησιμοποιείται σαν συνδυαστική λειτουργία μαζί με την νιτροποίηση. Ο Vymazal (2007) αναφέρει ότι η αφαίρεση του αζώτου (40-60%) αλλά και του φωσφόρου (40-55%) είναι σε χαμηλά επίπεδα, σε σχέση με την αφαίρεση της οργανικής ύλης και των στερεών. Αυτό οφείλεται στην αδυναμία των τεχνητών υγροβιότοπων υπόγειας κατακόρυφης και οριζόντιας ροής να παρέχουν τις κατάλληλες συνθήκες για τις διαδικασίες της νιτροποίησης και της απονιτροποίησης.

2.2. ΦΩΣΦΟΡΟΣ

Ο φωσφόρος εμφανίζεται στα υγρά απόβλητα με διάφορες μορφές φωσφορικού άλατος σε διαλυμένη ή στερεά μορφή. Το μεγαλύτερο ποσοστό του φωσφόρου στα αστικά απόβλητα είναι στη μορφή του διαλυμένου φωσφορικού άλατος. Η εισρέουσα συγκέντρωση του συνολικού φωσφόρου μπορεί να κυμανθεί από 6 –8 mg/L/pe. Περίπου 50% είναι στη μορφή ορθοσφωρικών αλάτων, 35% είναι με την μορφή συμπυκνωμένων φωσφορικών αλάτων (π.χ. pyrophosphate, tripolyphosphate, trimetaphosphate), και 15 % είναι στη μορφή οργανικών φωσφορικών αλάτων (π.χ. φωσφολιπίδια, νουκλεοτίδια) (Vymazal 2005). Οι συγκεντρώσεις φωσφόρου δύναται να ελεγχθούν προτού εισέλθουν στα λύματα. Τα απορρυπαντικά είναι μια σημαντικότατη πηγή φωσφόρου. Υπάρχουν πολλά υποκατάστατα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν αντί των συμβατικών απορρυπαντικών, όπως: νιτριλοξικό οξύ, ακόρεστα θειούχα οργανικά οξέα κ.α. (Wentzel 1991).

2.2.1. ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΦΩΣΦΟΡΟΥ ΣΤΟΥΣ Τ.Υ.

Οι τεχνητοί υγροβιότοποι έχουν την δυνατότητα να αφαιρούν ικανοποιητικές ποσότητες αζώτου. Αντίθετα, η αφαιρετική τους ικανότητα στον φωσφόρο είναι μικρή (Brix and Arias 2005, Rousseau et al. 2008, Stefanakis and Tsihrintzis 2012a).

Στους υγροβιότοπους, συναντάμε πολλές μορφές φωσφόρου. Τα διαλυμένα οργανικά φωσφορικά και τα μη διαλυμένα οργανικά και ανόργανα φωσφορικά δεν είναι συνήθως διαθέσιμα για τη βλάστηση μέχρις ότου μετασχηματιστούν σε διαλυτή ανόργανη μορφή. Οι μετασχηματισμοί αυτοί πραγματοποιούνται στη στήλη του νερού από αιωρούμενους μικροοργανισμούς, από τα στρώματα των μικροοργανισμών στην επιφάνεια των φυτών και στα ιζήματα. Οι διάφοροι μετασχηματισμοί φωσφόρου στους υγροβιότοπους είναι οι εξής: προσρόφηση, εκρόφηση, ιζηματοποίηση/ διάλυση, πρόσληψη από φυτά, διήθηση, ορυκτοποίηση και ταφή.

Προσρόφηση: Είναι η διαδικασία κατά την οποία ο ευδιάλυτος ανόργανος φωσφόρος μετατοπίζεται και επικάθεται στην επιφάνεια του εδαφικού υποστρώματος. Η δυνατότητα προσρόφησης στο έδαφος αυξάνεται με τη προσθήκη αργίλου και αργιλικών ενώσεων στο υπόστρωμα. Η ρόφηση είναι μια διαδικασία δύο σταδίων. Στο πρώτο στάδιο ανταλλάσσεται φωσφορικό άλας μεταξύ του υγρού λύματος και του εδαφικού υποστρώματος και στο δεύτερο στάδιο το φωσφορικό άλας εισέρχεται στο στερεό υπόστρωμα. Ομοίως και η εκρόφηση μπορεί να περιγραφεί ως διαδικασία δύο σταδίων (Dunne and Reddy 2005).

Καθίζηση: Τα ιόντα του φωσφορικού άλατος αντιδρούν με μεταλλικά κατιόντα σιδήρου, αλουμινίου, ασβεστίου ή μαγνησίου με συνέπεια να σχηματίζονται άμορφα στερεά. Η προσρόφηση και η καθίζηση του φωσφόρου φέρει αποτελέσματα σε συστήματα όπου το υγρό απόβλητο έρχεται σε επαφή με υπόστρωμα φίλτρανσης. Αυτό σημαίνει ότι υγροβιότοποι υπόγειας ροής αξιοποιούν στο μέγιστο βαθμό τον μηχανισμό αυτό για δέσμευση και απομάκρυνση φωσφόρου.

Μικροβιακή πρόσληψη: Η λήψη από τους μικροοργανισμούς αποτελεί ένα γρήγορο κυκλικό μηχανισμό. Με το θάνατο και την αποσύνθεση της βλάστησης η μεγαλύτερη ποσότητα των φωσφορικών επιστρέφει πίσω στην υδάτινη στήλη, ενώ κάποια ποσότητα απομακρύνεται στα καινούρια σχηματιζόμενα ιζήματα (Kadlec and Knight 1996).

Η σημαντικότερη αφαίρεση φωσφόρου στους τεχνητούς υγροβιότοπους οφείλεται στην πρόσληψη από το ριζικό σύστημα των φυτών, ενώ η απορρόφηση από τα φύλλα και τον βλαστό είναι αρκετά περιορισμένη. Η λήψη φωσφορικών από τα μακρόφυτα πραγματοποιείται μέσω του ριζικού συστήματος. Η λήψη πραγματοποιείται κατά την περίοδο ανάπτυξης της βλάστησης ενώ κάποια ποσότητα φωσφορικών αποδεσμεύεται κατά τη γήρανση των φυτών κατά το τέλος του καλοκαιριού ή το φθινόπωρο, συνοδευόμενη από την αποσύνθεση των φυτικών κατάλοιπων. Οι άλγες επιδρούν στον κύκλο του φωσφόρου σε μεγάλο βαθμό είτε άμεσα μέσω της πρόσληψης και της απελευθέρωσης είτε έμμεσα μέσω των αλλαγών που προκαλούνται στο νερό από την φωτοσύνθεση (Vymazal 2007).

2.3. ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΟΡΓΑΝΙΚΗΣ ΥΛΗΣ ΣΤΟΥΣ Τ.Υ.

Η οργανική ύλη είναι βασικός ρύπος, ιδίως στα αστικά λύματα, και εκφράζεται από την βιοχημική απαίτηση σε οξυγόνο (BOD). Για να μπορούμε να έχουμε μία βάση κοινή, το οργανικό φορτίο μετριέται μέσω την βιοχημικής απαίτησης σε οξυγόνο στην διάρκεια των 5 ημερών. Επίσης ο όγκος της οργανικής ύλης μπορεί να μετρηθεί και μέσω την χημικής απαίτησης σε οξυγόνο (COD). Η αφαίρεση της οργανικής ύλης επιτυγχάνεται με την καθίζηση και την φίλτρανση από το υπόστρωμα και εν συνεχεία μέσω της υδρόλυσης. Το διαλυτό/ κολλοειδές τμήμα της οργανικής ύλης αποικοδομείται μέσω αερόβιων αλλά και αναερόβιων διεργασιών (Vymazal et al. 1998, Gikas and Tsihrintzis 2012). Η αερόβια αποικοδόμηση της οργανικής ύλης επιτυγχάνεται από ομάδες χημειοετερότροφων και χημειοαυτότροφων μικροοργανισμών. Οι αυτότροφοι μικροοργανισμοί δρουν πιο γρήγορα και ευθύνονται για την κύρια αφαίρεση της οργανικής ύλης. Επίσης, τα αυτότροφα βακτήρια, μπορούν να αποικοδομήσουν αερόβια τα οργανικά στοιχεία που περιέχουν άζωτο (νιτροποιητικά βακτήρια). Όταν η τροφοδοσία του τεχνητού υγροβιότοπου κατακόρυφης ροής είναι συνεχής, τότε η επιφάνεια πλημυρίζει. Η βαρύτητα αναγκάζει τα λύματα να διαπεράσουν το πορώδες μέσο παρέχοντας έτσι υψηλά επίπεδα οξυγόνου για τις αερόβιες διεργασίες (Vymazal 2007, Stefanakis and Tsihrintzis 2012a). Για τον λόγο αυτό οι τεχνητοί υγροβιότοποι κατακόρυφης ροής είναι εξαιρετικά αποδοτικά συστήματα για την αφαίρεση της οργανικής ύλης. Η αποικοδόμηση της οργανικής ύλης γίνεται στο βιοφίλμ, που όπως αναλύθηκε αποτελεί την κύρια περιοχή για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Η αναερόβια αποικοδόμηση, υλοποιείται υπό την απουσία οξυγόνου, με μεθανοβακτήρια και γίνεται σε πιο αργό ρυθμό απ' ότι η αερόβια.

Η αποικοδόμηση της οργανικής ύλης εξαρτάται επίσης από τα χαρακτηριστικά της, καθώς και από τον μέσο υδραυλικό ρυθμό φόρτισης (HLR). Το μεγαλύτερο μέρος της οργανικής ύλης αφαιρείται στα πρώτα 10-20 cm του Τ.Υ. κατακόρυφης ροής όπου είθισται να υπάρχει το στρώμα άμμου, μιας και στο πρώτο στρώμα επικρατούν αερόβιες συνθήκες και αυτό περιέχει μεγάλο μικροβιακό φορτίο (Kadlec and Wallace 2009, Stefanakis and Tsihrintzis 2012a). Το νερό που φεύγει από τον υγροβιότοπο θα περιέχει το ελάχιστο 3-5 mg/L μιας και τα νεκρά φυτά παράγουν οργανική ύλη (Stottmeister et al. 2003).

2.4. ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΟΙ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ

Στα συστήματα τεχνητών υγροβιότοπων παρατηρούνται διαφοροποιημένα ποσοστά απομάκρυνσης μικροοργανισμών, αλλά γενικά όχι σε τέτοιο βαθμό που να μην απαιτείται συμπληρωματική απολύμανση των λαμβανομένων από αυτά τελικών εκροών, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις που επιδιώκεται επαναχρησιμοποίησή τους (Angelakis and Tchobanoglous 1995). Πέντε τεχνητοί υγροβιότοποι στη Δημοκρατία της Τσεχίας μελετήθηκαν κατά τη διάρκεια των ετών 1994 και 1995 με σκοπό να προσδιορισθεί η απομάκρυνση ολικών, περιττωματικών κολοβακτηριδίων και εντεροβακτηριδίων (Ottovà et al. 1997). Επιπροσθέτως, ο συνολικός αριθμός αερόβιων και αναερόβιων βακτηρίων προσδιορίσθηκαν στο νερό. Οι πληθυσμοί βακτηρίων του κύκλου αζώτου παρακολουθήθηκε στις ρίζες και ριζώματα του Glyceria maxima στο σύστημα αυτό. Τα αποτελέσματα απέδειξαν ότι η κατακράτηση κολοβακτηριδίων ήταν πολύ υψηλή και ξεπέρασε τα συνήθη επίπεδα κράτησης των συμβατικών συστημάτων. Οι μετρήσεις επίσης υπέδειξαν ότι τα νιτροποιημένα βακτήρια δεν ήταν παρόντα στο υγρό απόβλητο, ενώ σχετικά μεγάλος αριθμός τους βρέθηκε στην επιφάνεια ριζών και ριζωμάτων της Glyceria (Ottovà et al. 1997).

2.5. ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ

Το 1989 ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (W.H.O.) με την υποστήριξη της Παγκόσμιας Τράπεζας και άλλων διεθνών οργανισμών), όπως ο Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών (FAO), διερευνήθηκαν οι ακόλουθες τέσσερις κατηγορίες μέτρων για τη μείωση ή εξάλειψη των κινδύνων μετάδοσης ασθενειών:

1. Επεξεργασία των λυμάτων
2. Επιλογή μεθόδου άρδευσης
3. Περιορισμός των τύπων των αρδευόμενων καλλιεργειών
4. Έλεγχος της ανθρώπινης έκθεσης στους παθογόνους μικροοργανισμούς.

Η Οδηγία του W.H.O. βασίζεται, κυρίως, στα δεδομένα επιδημιολογικών ερευνών με προσπάθεια αντιμετώπισης της δυνατότητας επαναχρησιμοποίησης λυμάτων στις αναπτυσσόμενες χώρες. Πολλές φορές στις χώρες αυτές χρησιμοποιούνταν λύματα εντελώς ακατέργαστα για άρδευση ακόμη και φρέσκων λαχανικών, πράγμα το οποίο είναι εντελώς απαράδεκτο για τη δημόσια υγεία. Έτσι, ο W.H.O. δεν έθεσε ιδιαίτερα αυστηρά κριτήρια για την άρδευση με εκροές επεξεργασμένων λυμάτων, που μπορούν να επιτευχθούν με απλές και όχι δαπανηρές διαδικασίες επεξεργασίας. Στα κριτήρια της Οδηγίας του W.H.O. (1989) δίνεται ιδιαίτερη σημασία στην επιλογή του τύπου των αρδευομένων καλλιεργειών και στον διαχωρισμό της άρδευσης σε δύο κατηγορίες:

α) Στην “περιορισμένη άρδευση”, η οποία αφορά καλλιέργειες με προϊόντα που δεν τρώγονται ωμά.
β) Την “απεριόριστη άρδευση”, η οποία μπορεί να εφαρμοσθεί σε κάθε τύπο καλλιέργειας.

ΕΥΡΩΠΗ

Η διαχείριση των υγρών αποβλήτων στα κράτη –μέλη της Ε.Ε. διέπεται από την οδηγία 91/271/ΕΟΚ. Η οδηγία 91/271/ΕΟΚ του συμβουλίου των αστικών λυμάτων εγκρίθηκε στις 21 Μαΐου 1991. Στόχος της είναι η προστασία του περιβάλλοντος από τις αρνητικές επιπτώσεις της απόρριψης των αστικών λυμάτων αναφέρεται στη συλλογή, στην επεξεργασία και στην απόρριψη:

- Οικιακών λυμάτων
- Μιγμάτων λυμάτων
- Των υγρών αποβλήτων από ορισμένους βιομηχανικούς τομείς

Συγκεκριμένα, η οδηγία απαιτεί: Συλλογή και επεξεργασία των λυμάτων σε όλους τους οικισμούς με ισοδύναμο πληθυσμό μικρότερο των 2000 κατοίκων τουλάχιστον. Δευτεροβάθμια επεξεργασία λυμάτων από οικισμούς με περισσότερους από 2000 κατοίκους και πιο προηγμένη επεξεργασία για οικισμούς με παραπάνω από 10.000 ισοδύναμου πληθυσμού σε συγκεκριμένες ευαίσθητες περιοχές και τις λεκάνες απορροής τους. Παρακολούθηση της απόδοσης των εγκαταστάσεων επεξεργασίας και τέλος ελέγχους της διάθεσης της ιλύος.

Η ισχύουσα νομοθεσία στην Ελλάδα βασίζεται στην ευρωπαϊκή οδηγία 91/271/ΕΟΚ, <<Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και άλλες διατάξεις>>. Το κατώφλι έχει οριστεί στις εξής τιμές: BOD=10 mg /L, N=15 mg /L και Π=1 mg /L, τιμές που αντιστοιχούν σε ποιότητα εκροής τριτοβάθμιας επεξεργασίας λυμάτων, για απεριόριστη επαναχρησιμοποίηση (ΚΥΑ Αριθμ. οικ.145116/2011, ΦΕΚ 354Β/2011). Επιμέρους νομαρχιακές αποφάσεις περιορίζουν ακόμα περισσότερο τα ανώτερα όρια εφαρμόζοντας αυστηρότερες τιμές διάθεσης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για τους φυσικούς αποδέκτες κάθε νομού. Στο Παράρτημα Α ο Πίνακα Α.1 , δείχνει το όρια περιεκτικότητας του επεξεργασμένου νερού.

3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

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).

3.1. ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Οι σηπτικές δεξαμενές χρησιμοποιούνται στο πρώτο στάδιο για την μείωση του φορτίου των ολικών στερεών (TSS). Υψηλή συγκέντρωση σε αιωρούμενα σωματίδια είναι επιβλαβής για το σύστημα γιατί φράζει το εδαφικό στρώμα και προκαλεί επιφανειακή ροή που δεν είναι επιθυμητή. Για την διατήρηση των αναερόβιων συνθηκών, οι δεξαμενές αυτές πρέπει να κατασκευάζονται με μικρή επιφάνεια (2-5 m^2) και μεγάλο βάθος (1,5-5 m). Τέλος, ο χρόνος που παραμένουν τα απόβλητα μέσα στη δεξαμενή είναι αρκετά σύντομος (1-5 μέρες) σε σχέση με άλλους τύπους δεξαμενών. (Tsihrintzis 2000). Οι μηχανισμοί προεπεξεργασίας απαιτούν σωστή συντήρηση (αφαίρεση αιωρούμενων σωματιδίων και ιλύς κλπ.) (Vymazal 2001).

3.1.1. ΣΗΠΤΙΚΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗ

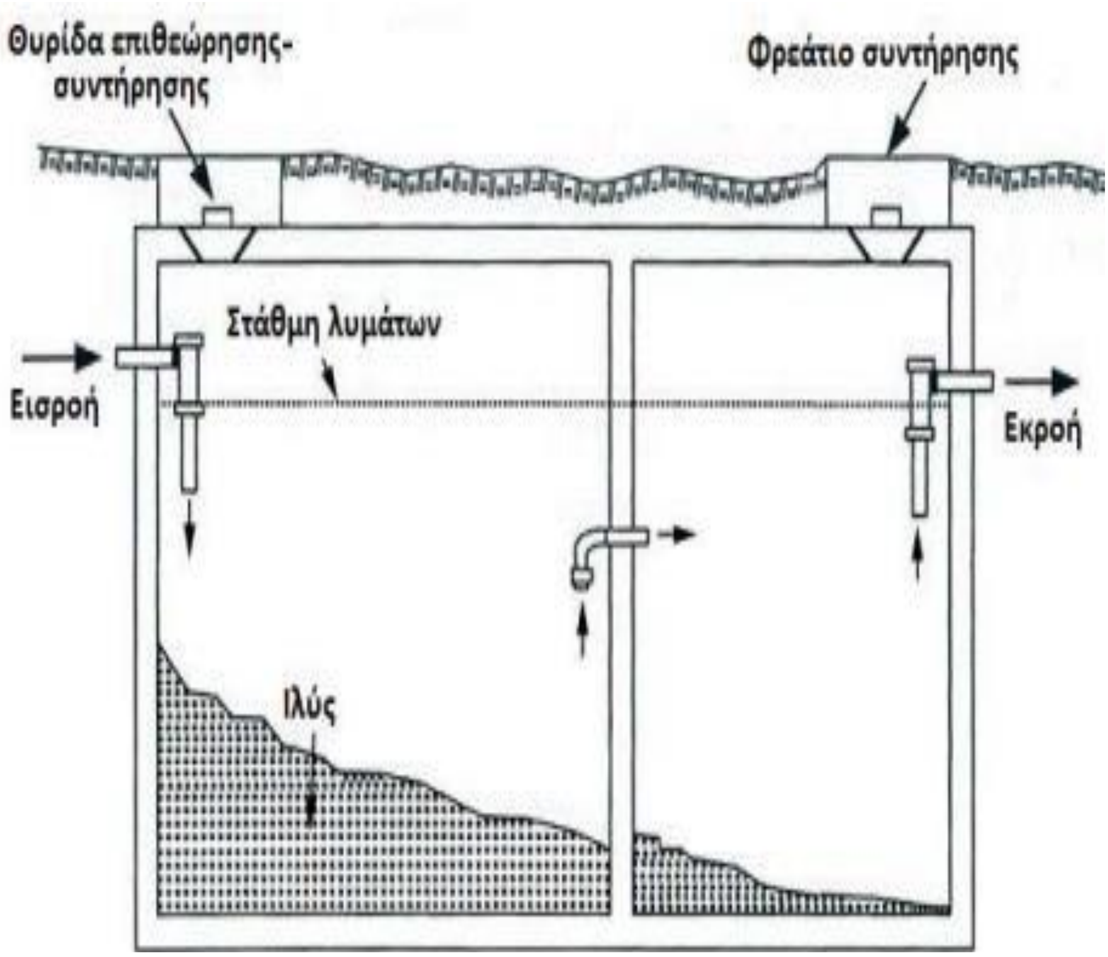
Οι σηπτικές δεξαμενές είναι σπουδαία μέθοδος πρωτοβάθμιας επεξεργασίας με ιδιαίτερη χρησιμότητα σε μικρής κλίμακας τεχνητούς υγροβιότοπους σε όλο τον κόσμο (Gikas and Tsihrintzis 2010, 2012). Τα είδη σηπτικής δεξαμενής είναι η μονοθάλαμη και διθάλαμη. Η μονοθάλαμη σηπτική δεξαμενή είναι σκεπασμένη δεξαμενή που αποτελείται από είσοδο/έξοδο λυμάτων, και έχει τρία χαρακτηριστικά επίπεδα που δημιουργούνται από τη συσσώρευση των λυμάτων και ακάθαρτων υδάτων: τον αφρό, τα υγρά λύματα και τη λάσπη (ιλύς). Η διθάλαμη σηπτική δεξαμενή/βόθρος προσφέρει ένα πλεονέκτημα σε σχέση με τη μονοθάλαμη, τον παραπάνω θάλαμο που χρησιμεύει για την πρωτόλεια και καλύτερη επεξεργασία των λυμάτων και έχει μεγαλύτερη χωρητικότητα (Σχήμα 3.1). Επίσης, υπάρχουν δύο κατακόρυφα πλαστικά φρεάτια (θυρίδες επιθεώρησης, συντήρησης) για την απομάκρυνση των λιπών και της ιλύος που καθιζάνουν, του επιφανειακού αφρού και της ενδιάμεσης στρώσης των υγρών αποβλήτων, αλλά και για τις εργασίες συντήρησης της δεξαμενής. Οι σηπτικές δεξαμενές απαιτούν συντήρηση προκειμένου να διατηρήσουν την αποδοτικότητα τους. Δηλαδή πρέπει να αφαιρείται η λάσπη, ειδάλλως αδυνατούν να αφαιρέσουν αιωρούμενα σωματίδια που είναι επιζήμια για τον τεχνητό υγροβιότοπο (προκαλούν φράξιμο στον πυθμένα). Η αφαίρεση πρέπει να γίνεται περιοδικά, όταν ο όγκος της λάσπης και του επιπλέοντος ρύπου ξεπεράσει το 30% του όγκου της δεξαμενής (Karamouzis 2006). Έτσι, τα λύματα μπαίνουν στη σηπτική δεξαμενή, τα στερεά καθιζάνουν στον πυθμένα και τα λίπη και ο αφρός ανέρχονται στην επιφάνεια. Το διαυγές νερό των λυμάτων, που καταλαμβάνει τη μεσαία στρώση της σηπτικής δεξαμενής, ρέει μέσα από μικρές οπές του τοιχώματος που περιβάλλει το φίλτρο προς το εσωτερικό του και από εκεί προς το σωλήνα εκροής της δεξαμενής. Επίσης, έχει παρατηρηθεί ότι υπάρχει κάποια ικανότητα αφαίρεσης φωσφόρου στις σηπτικές δεξαμενές. Ο φωσφόρος προσκολλάται πάνω στα αιωρούμενα στερεά τα οποία αφαιρούνται μέσω της καθίζησης στον πυθμένα της δεξαμενής (Gikas and Tsihrintzis 2012).

Στις Η.Π.Α υπάρχουν μικρές πόλεις, μέχρι 10.000 κατοίκους, που εξυπηρετούνται από ατομικές σηπτικές δεξαμενές, όπου προεπεξεργασμένα με αυτόν τον τρόπο λύματα, μεταφέρονται με αποχετευτικό αγωγό από τη σηπτική δεξαμενή προς το σημείο διάθεσης ή προς μία επακόλουθη μονάδα επεξεργασίας. Συνήθως τοποθετείται ένα φίλτρο στην έξοδο της σηπτικής δεξαμενής, περιορίζοντας έτσι την έξοδο των στερεών των λυμάτων από τη δεξαμενή.

Οι σηπτικές δεξαμενές (Σχήμα 3.1) εμπίπτουν στις αναερόβιες δεξαμενές και επακόλουθα υπολογίζονται ως αναερόβιες. Η διαστασιολόγηση γίνεται με βάση το ογκομετρικό οργανικό φορτίο και τον χρόνο παραμονής, τη θερμοκρασία της ενδιαφερόμενης περιοχής. Κατά τη χειμερινή περίοδο, όπου η θερμοκρασία είναι μιρκότερη από 15 ^{O}C, τα μεθανοβακτήρια παύουν τη λειτουργία τους. Ετσι λοιπόν, το οργανικό φορτίο σχεδιασμού για τον χειμώνα θα πρέπει να τίθεται στα 100 g BOD_5 / m^3/ d, ενώ το καλοκαίρι το οργανικό φορτίο σχεδιασμού μπορεί να αυξηθεί στα 300 g BOD_5/ m^3/ d (Tsihrintzis 2004). Στον Πίνακα 3.1 αναφέρονται οι συνδυασμοί θερμοκρασίας, υδραυλικού χρόνου παραμονής- ποσοστού μείωσης του BOD_5.

Πίνακας 3.1. Αφαίρεση BOD_5 συναρτήσει χρόνου παραμονής και θερμοκρασίας (ΠΗΓΗ: WHO 1987).

Θερμοκρασία (^{0}C)	Υδραυλικός χρόνος παραμονής (ημέρες)	Μείωση BOD_5 (%)
< 10	5	0 – 10
10 -15	4 -5	30 – 40
15 - 20	2 – 3	40 – 50
20 – 25	1 – 2	40 – 60
25 – 30	1 – 2	60 – 80
> 30	1	50
	2,5	60
	5	70



Σχήμα 3.1 Διθάλαμη συμβατική σηπτική δεξαμενή (ΠΗΓΗ: Καραμούζης 2006).

Για την διαστασιολόγηση των σηπτικών δεξαμενών χρησιμοποιείται η Εξίσωση (3.1) (Tsihrintzis 2004).

$$V = \frac{Ci * Q}{\lambda_{\nu}} \quad (3.1)$$

όπου:

Ci, η συγκέντρωση του BOD_5 στα υγρά απόβλητα εισόδου, mg/L.

Q, η παροχή εισόδου των υγρών αποβλήτων για χειμώνα και καλοκαίρι, m^3/d.

λ_v, το επιτρεπόμενο οργανικό φορτίο mg/L.

Η παροχή εισόδου Q αντιστοιχεί στην μέση ημερήσια παροχή και προκύπτει:

$$Q = pe * q \tag{3.2}$$

όπου:

pe, το σύνολο των κατοίκων.

q, η ποσότητα των λυμάτων που παράγει κάθε άτομο ημερησίως.

3.2. ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

3.2.1. ΜΟΝΤΕΛΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Η διαστασιολόγηση των τεχνητών υγροβιότοπων κατακόρυφης ροής γίνεται κυρίως με ανάλυση δεδομένων εισροής και εκροής από λειτουργούσες εγκαταστάσεις. Ένας τρόπος αξιοποίησης των δεδομένων εισόδου και εξόδου είναι οι εξισώσεις γραμμικής παλινδρόμησης (Kadlec and Knight 1999, Rousseau et al. 2004a). Το μειονέκτημα των γραμμικών αυτών εξισώσεων είναι ότι αντιμετωπίζουν το σύστημα των τεχνητών υγροβιότοπων σαν μαύρο κουτί, χωρίς να λαμβάνουν υπόψη τις εσωτερικές διεργασίες. Οι εξισώσεις αυτές καταλήγουν να περιγράφουν ένα περίπλοκο σύστημα με τη χρήση μόνο δύο ή τριών παραμέτρων (Rousseau et al. 2004a).

Ένας άλλος τρόπος για τη μοντελοποίηση συστημάτων τεχνητών υγροβιότοπων είναι τα μοντέλα πρώτης τάξης, τα οποία είναι ευρέως διαδεδομένα και χρησιμοποιούνται στο σχεδιασμό (Rousseau et al. 2004b). Τα μοντέλα πρώτης τάξης ενσωματώνουν την επίδραση διαφόρων παραμέτρων, όπως είναι η συγκέντρωση εισροής, η παροχή και η θερμοκρασία, ενώ υποθέτουν ότι η συμπεριφορά των συστημάτων προσομοιώνεται από έναν αντιδραστήρα εμβολώδους ροής.

Τα τελευταία χρόνια, αρκετές προσπάθειες έχουν γίνει για να μοντελοποιηθεί ο τρόπος σχεδιασμού των τεχνητών υγροβιότοπων μέσω διαφορετικών προσεγγίσεων. Μεταξύ αυτών των προσεγγίσεων υπάρχουν ιδιαίτερα προχωρημένες τεχνικές όπως artificial neural networks (ANNs) ή τα fuzzy models.

Σε έναν υγροβιότοπο κατακόρυφης ροής, τα υγρά απόβλητα εφαρμόζονται ομοιόμορφα στην επιφάνεια της κλίνης και η εκροή συλλέγεται μέσω διάτρητων αγωγών στον πυθμένα. Η ιδέα βασίζεται σε εργασία της Seidel (1966) και είναι σε χρήση σε πολλές τοποθεσίες στην Ευρώπη. Το σύστημα τυπικά αποτελείται από δύο γκρουπ, ή στάδια, κελιών κατακόρυφης ροής σε σειρά ακολουθούμενα από ένα ή περισσότερα οριζόντιας ροής κελιά τελικού καθαρισμού. Κάθε στάδιο μονάδας κατακόρυφης ροής αποτελείται από πολλά κελιά εν παραλλήλω και το υγρά απόβλητα εφαρμόζονται περιοδικά με τη σειρά. Στα συγκεκριμένα συστήματα υγροβιότοπων κατακόρυφης ροής στην Ευρώπη, εφαρμόζονται είτε πρωτοβάθμιες εκροές (τυπικά από σηπτική δεξαμενή) (Gikas and Tsihrintzis 2010,2012), είτε σε ορισμένες περιπτώσεις ακατέργαστα λύματα.

3.2.2. ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΒΑΣΕΙ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟΥ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ

Η κύρια παράμετρος διαστασιολόγησης του τεχνητού υγροβιότοπου κατακόρυφης ροής είναι ο λόγος της απαιτούμενης επιφάνειας/ αριθμό κατοίκων. Διαφορετικές τιμές έχουν χρησιμοποιηθεί ανάλογα με τη χώρα εφαρμογής, ενώ ακόμα και οι επιστήμονες σε ίδιες χώρες είναι δυνατό να χρησιμοποιήσουν διαφορετικές τιμές. Τα κλιματικά χαρακτηριστικά είναι αυτά που επηρεάζουν στην διαμόρφωση του λόγου.

Οι Τ.Υ. κατακόρυφης ροής είναι ιδιαίτερα διαδεδομένοι στην Ευρώπη. Στον Πίνακα 3.2, παρουσιάζονται οι διάφορες τιμές ανά χώρα.

Πίνακας 3.2. Λόγος επιφάνειας υγροβιότοπου/κάτοικο (ΠΗΓΗ: Stefanakis et al. 2014).

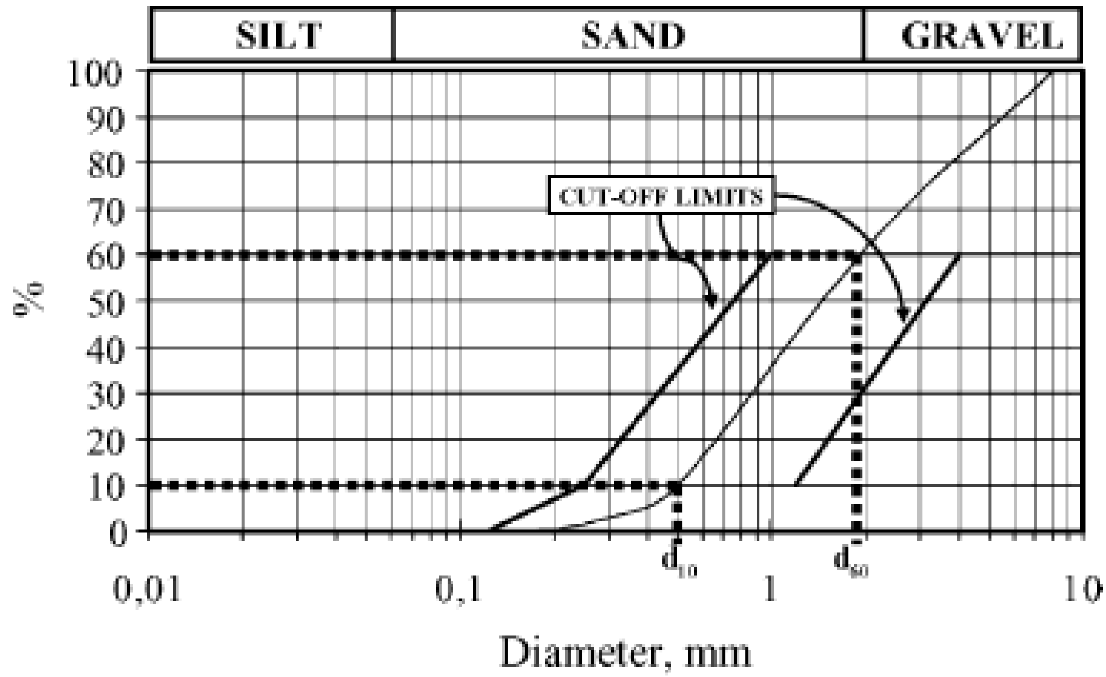
ΧΩΡΑ	**ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ** (m^2/pe)	**ΑΝΑΦΟΡΕΣ**
ΔΑΝΙΑ	3,2	Brix and Arias (2005)
ΗΝΩΜΕΝΟ ΒΑΣΙΛΕΙΟ	1,0-2,0	Cooper et al. (1997), Cooper (1999, 2005), Weedon (2010)
ΑΥΣΤΡΙΑ	0,75-6,0	Haberl et al. (1998), Langergraber et al. (2007
ΤΣΕΧΙΑ	1,5	Vymazal and Kropfelova´ (2011)
ΓΕΡΜΑΝΙΑ	1.6	Olsson (2011)
	3	von Felde and Kunst (1997)
	2,0-3,0	Bahlo and Wach (1995)
ΒΕΛΓΙΟ	3,8	Rousseau et al. (2004a)
ΓΑΛΛΙΑ	2,0-2,5	Molle et al. (2005), Paing (2005)
ΕΛΛΑΔΑ	1,0-1,5 3,0	Stefanakis and Tsihrintzis (2012a), Gikas and Tsihrintzis (2012)
ΙΤΑΛΙΑ	1,3-3,2	Foladori et al. (2012)
ΙΣΠΑΝΙΑ	1,0-3,2	Puigagut et al. (2007)

3.2.3. ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ

Τα δύο σημαντικά χαρακτηριστικά που λαμβάνονται υπόψιν κατά την εκλογή του κατάλληλου μέσου για το υπόστρωμα των Τ.Υ. κατακόρυφης ροής, είναι:

- η ενεργή διάμετρος κόκκου D_{10}. Η τιμή D_{10}, η οποία είναι η διάμετρος από την οποία διέρχεται το 10% του δείγματος, είναι χρήσιμη καθώς συνδέεται με τη δυνατότητα ροής του νερού μέσα στο έδαφος. Μικρή τιμή της ενεργού διαμέτρου δείχνει ότι το έδαφος περιέχει μεγάλο ποσοστό λεπτόκοκκου υλικού. Το λεπτόκοκκο υλικό επηρεάζει σημαντικά τις ιδιότητες του εδάφους.
- ο συντελεστής ομοιομορφίας Cu. Ο συντελεστής Cu ισούται με το πηλίκο της διαμέτρου από την οποία διέρχεται το 50% του δείγματος D_{50}, προς την ενεργή διάμετρο κόκκου D_{10}. Μεγάλη τιμή του συντελεστή δηλώνει την καλή διαβάθμιση των κόκκων από τους μικρότερους προς τους μεγαλύτερους. Όταν ο συντελεστής ισούται με την μονάδα, υπάρχουν κόκκοι ίδιας διαμέτρου, ενώ όταν είναι μεγαλύτερος του 5 τότε έχει γίνει καλή διαβάθμιση.

Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία, η ενεργή διάμετρος κόκκου πρέπει να είναι μεταξύ 0,2 και 1,2 mm, ενώ ο συντελεστής ομοιομορφίας πρέπει να λαμβάνει τιμές μεταξύ 3 και 6. Η υδραυλική αγωγιμότητα συνίσταται να κυμαίνεται μεταξύ 10^{-3} και 10^{-4} m/s (UN-Habitat 2008). Ο ρυθμός μείωσης της διαπερατότητας για παρόμοια χαρακτηριστικά λύματος είναι υψηλότερος για λεπτόκοκκα υλικά. Σε σύγκριση με το χαλίκι, η άμμος εμφανίζει ταχύτερα μειούμενη διαπερατότητα εξαιτίας συγκράτησης ιζημάτων, οργανικών στερεών και βιοφίλμ σε αυτήν. Εν τούτοις, το βάθος έμφραξης είναι μεγαλύτερο για πιο χονδρόκοκκα υλικά. Συστήνεται η χρησιμοποίηση άμμου (0-4mm) ως κύριο υλικό υποστρώματος με D_{50}>0.3mm, D_{50}/D_{10}<4 και διαπερατότητα από 10^{-3} έως 10^{-4}. Στο Σχήμα 3.2, βλέπουμε την καμπύλη διαβάθμισης. Η καμπύλη θα πρέπει να κινείται μεταξύ των ορίων που είναι σχηματισμένα στο διάγραμμα.



Σχήμα 3.2. Κοκκομετρικό διάγραμμα, φαίνεται η σχέση μεταξύ της ενεργούς διαμέτρου και του συντελεστή ομοιομορφίας Cu. Η καμπύλη της κοκκομετρικής διαβάθμισης πρέπει να κινείται μεταξύ των ορίων που είναι σχηματισμένα στο διάγραμμα (ΠΗΓΗ: Brix and Arias 2005).

Για την αποφυγή της εισόδου της άμμου στην ζώνη στράγγισης, απαιτείται η τοποθέτηση ενός διαβαθμισμένου στρώματος υλικού ή η χρήση γεωυφάσματος. Είναι σημαντικό να μην συμπυκνωθεί η άμμος διότι θα μειωθεί το πορώδες και επομένως και η υδραυλική αγωγιμότητα. Έτσι, σύμφωνα με τους Brix και Arias (2005), δεν θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν βαριά μηχανήματα εντός την κλίνης, τόσο κατά την κατασκευή όσο και κατά την συντήρηση της.

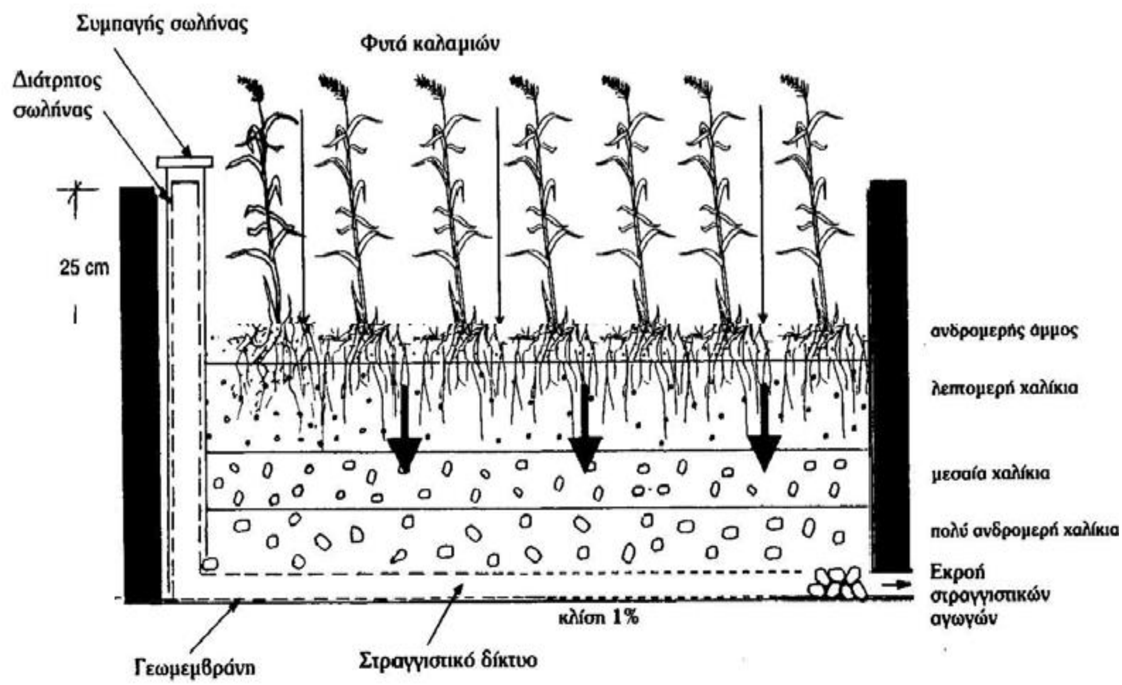
Για τον υπολογισμό της μέσης τιμής του πάχους του στρώματος, της υδραυλικής αγωγιμότητας, του ενεργού πορώδους και της ειδικής απόδοσης του πορώδους μέσου της λεκάνης κατακόρυφης ροής, δίνονται οι τύποι (Burka and Knight 1996):

$B = \Sigma(B_i)$ όπου B_i ο πάχος κάθε στρώματος (3.2)

$$K = \frac{B}{\Sigma\left(\frac{B_i}{K_i}\right)}$$ όπου K_i η υδραυλική αγωγιμότητα κάθε στρώματος (3.3)

$$n = \Sigma \frac{(B_i \times n_i)}{B}$$ όπου $n_ι$ το ενεργό πορώδες του κάθε στρώματος (3.4)

$$\varepsilon = \frac{\Sigma(B_i * \varepsilon_i)}{B}$$ όπου $ε_ι$ η ειδική απόδοση του πορώδους κάθε στρώματος (3.5)



Σχήμα 3.3 Παράδειγμα υποστρώματος Τ.Υ. κατακόρυφης ροής (ΠΗΓΗ: Αγγελάκης και Tchobanoglous 1995).

3.2.4 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ ΕΜΦΡΑΞΗΣ ΤΟΥ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

Πέραν πάσης αμφιβολίας, το μεγαλύτερο λειτουργικό πρόβλημα των τεχνητών υγροβιότοπων στις ημέρες μας είναι οι εμφράξεις (clogging) της επιφάνειας του φίλτρου κλινών κατακόρυφης ροής. Ο όρος «έμφραξη υποστρώματος» περιλαμβάνει πολλές διεργασίες που οδηγούν σε μείωση της ικανότητας διήθησης της επιφάνειας του υποστρώματος. Η έμφραξη υποστρώματος οδηγεί σε εξαιρετικά γρήγορη αποτυχία της απόδοσης επεξεργασίας του συστήματος. Η αιτία της αποτυχίας είναι το περιορισμένο απόθεμα οξυγόνου σε έναν φραγμένο τεχνητό υγροβιότοπο. Η λειτουργία των τεχνητών υγροβιότοπων σε υψηλούς ρυθμούς φόρτισης χωρίς τη δημιουργία προβλημάτων έμφραξης για μεγάλη περίοδο μπορεί συνεπώς να θεωρηθεί ως μια από τις σημαντικότερες μελλοντικές έρευνες στην τεχνολογία τεχνητών υγροβιότοπων (Langergraber et al. 2003).

Οι κύριοι λόγοι που οδηγούν σε έμφραξη είναι η συσσώρευση αιωρούμενων στερεών και η ανάπτυξη βιοφίλμ μικροοργανισμών. Επίσης, η χημική κατακρήμνιση και εναπόθεση στους πόρους, η ανάπτυξη ριζωμάτων και ριζών μπορούν να φράξουν ένα μέρος του υδραυλικά ενεργού όγκου πόρων. Ο σχηματισμός και η συσσώρευση χημικών ουσιών επίσης θεωρείται ότι παίζει ρόλο έως ένα ορισμένο σημείο. Όλοι οι μηχανισμοί οδηγούν σε εσωτερικό και εξωτερικό μπλοκάρισμα του υποστρώματος του φίλτρου με τη μείωση του ενεργού όγκου πόρων, και επομένως, τη μείωση της υδραυλικής αγωγιμότητας του υποστρώματος. Έτσι, οι πόροι δεν μπορούν να αεριστούν όπως θα ήταν απαραίτητο για την επεξεργασία του υγρού αποβλήτου με νιτροποίηση.

Οι ακόλουθες παράμετροι επηρεάζουν την έμφραξη υποστρώματος (Langergraber et al. 2003):

- Υπόστρωμα: Είναι φανερό ότι η κατανομή του μεγέθους των κόκκων έχει καθοριστική επίδραση στην κατανομή μεγέθους των πόρων, στον υδραυλικά ενεργό όγκο πόρων και συνεπώς στη διεργασία έμφραξης.

- Οργανικό φορτίο: Το οργανικό υλικό οδηγεί σε παραγωγή ιλύος (περίσσεια ιλύος μικροοργανισμών) που θα συσσωρεύονται εντός του άνω στρώματος του τεχνητού υγροβιότοπου.

- Στρατηγικές τροφοδοσίας: Φαίνεται να υπάρχει σημαντική επίδραση του αριθμού τροφοδοσιών ανά ημέρα και της ποσότητας μιας απλής τροφοδοσίας στην ικανότητα φίλτρανσης του υποστρώματος.

3.2.5. ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΡΥΠΩΝ

Ακόμη, οι ακόλουθες εξισώσεις αναπτύχθηκαν για τον υπολογισμό της αφαίρεσης της οργανικής ύλης και βασίζονται στη λειτουργία ενός συστήματος τεχνητού υγροβιότοπου κατακόρυφης ροής στο Ηνωμένο βασίλειο με 2 ημέρες υγρή περίοδο και 4 μέρες ξερή περίοδο (Burka and Knight 1996, IWA 2000).

$$\frac{C}{C_i} = e^{(-k_{1,v}*y\ *t)} \ = \ e^{\left(-k_1*\frac{y}{q_d}\right)} \quad (3.6)$$

$$\frac{C_e}{C_i} = e^{(-k_{1,v}\ *t)} = e^{(\frac{-k_1}{q_d})} \quad (3.7)$$

$$k_1 = \varepsilon * h * k_{1,v} \quad (3.8)$$

όπου:

C, η συγκέντρωση εντός του υγροβιότοπου, mg/L

Ce, συγκέντρωση BOD στην εκροή, mg/L

Ci, η συγκέντρωση BOD στην εισροή, mg/L

$k_{1,}$ η σταθερά πρώτης τάξης, d^{-1}

h, το βάθος υγροβιότοπου, m

q_d= Q/A υδραυλικός ρυθμός φόρτισης, m/d

Q, μέση παροχή λυμάτων, m^3/d

A, Η επιφάνεια του υγροβιότοπου, m

L, μήκος υγροβιότοπου, m

t, χρόνος αναύπασης των λυμάτων στον υγροβιότοπο, d

ε, η ειδική απόδοση του πορώδους

Οι τιμές της σταθεράς πρώτης τάξης για αφαίρεση του BOD, COD, TKN, N, TP, κυμαίνονται από : 0.055 έως 0.160, 0.027 έως 0.110, 0.033 έως 0.055, 0.027 έως 0.110, 0.0027 έως 0.033, d^{-1} (Vymazal 1998). Επίσης, οι Gikas και Tsihrintzis (2012) έδωσαν μια εκτίμηση για τις τιμές της σταθεράς πρώτης τάξης για την αφαίρεση του BOD, COD, TKN, N, TP, TC, TSS και είναι: 0.040, 0.030, 0.033, 0.035, 0.020, 0.015, 0.023, d^{-1}.

Αφαίρεση ολικών αιωρούμενων στερεών

Τα ανόργανα και αιωρούμενα στερεά απομακρύνονται με φυσικές μεθόδους. Ο κύριος μηχανισμός απομάκρυνσης των ολικών αιωρούμενων στερεών στους Τ.Υ. κατακόρυφης ροής, είναι η καθίζηση μέσω της βαρύτητας και η φίλτρανση από το υπόστρωμα της κλίνης. Όπως το νερό περνάει από το πορώδες υπόστρωμα κατακόρυφα, η ταχύτητα κίνησης του νερού μικραίνει. Τα στερεά δεν μπορούν να διαπεράσουν το υπόστρωμα και παγιδεύονται είτε μηχανικά είτε λόγω πρόσφυσης (Kadlec and Wallace 2009).

Είναι γνωστό ότι το κύριο πρόβλημα που υπάρχει στους Τ.Υ. είναι η έμφραξη από τα στερεά. Τα στερεά συσσωρεύονται στην επιφάνεια του πρώτου υποστρώματος , που είναι αυτό με την μικρότερη διάμετρο, συνήθως άμμος και δημιουργείται ένα λεπτό στρώμα λάσπης. Επίσης, λάσπη θα υπάρχει και μέσα στο υπόστρωμα. Στους Τ.Υ. κατακόρυφης ροής, η περιοδική παροχέτευση συντελεί στον σωστό αερισμό της κλίνης και στον αερισμό των συσσωρευμένων οργανικών στερεών, ώστε να αποτρέπεται η έμφραξη.

3.3. ΤΡΙΤΟΒΑΘΜΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

3.3.1. ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΖΕΟΛΙΘΟΥ

Για την εκλογή των διαστάσεων δεξαμενών με πετρώματα ζεόλιθου δίνεται η ακόλουθη εξίσωση (Stefanakis and Tsihrintzis 2009, 2012b):

$$V_{ZT} = \frac{\mathrm{Q}}{(\mathrm{n} * \mathrm{t})} \quad (3.9)$$

όπου:

Q, η μέση ημερήσια παροχή, m^3/d

n, το πορώδες του ζεόλιθου, n= 0.25

t, ο χρόνος παραμονής στην δεξαμενή, d

Οι διαστάσεις (L÷W) των δεξαμενών που χρησιμοποιούνται για περαιτέρω αφαίρεση ρύπων με την βοήθεια κάποιου πετρώματος κυμαίνονται από 1÷1 έως 2÷1.

3.4 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

Οι οδηγίες που έχουν εκδοθεί στη Δανία αναφέρουν ορισμένες ενέργειες που είναι απαραίτητες για την σωστή λειτουργία του συστήματος και βρίσκουν εφαρμογή σε συστήματα σε ολόκληρο τον πλανήτη. Αυτές είναι:

- Ετήσια αφαίρεση της λυματολάσπης που διασφαλίζει την αρμονική και αποδοτική λειτουργία της πρωτοβάθμιας επεξεργασίας.
- Ετήσιος καθαρισμός των σωληνώσεων του συστήματος για την απομάκρυνση λάσπης και βιοφίλμ που εμποδίζει τη ροή και μειώνει την εσωτερική διάμετρο των αγωγών.
- Καθαρισμός και επιθεώρηση της κατάστασης των θυροφραγμάτων σχήματος V στο σημείο εκροής και ανακυκλοφορίας κάθε τρίμηνο (εάν έχει γίνει πρόβλεψη για ανακυκλοφορία λύματος στο σύστημα).
- Αφαίρεση αγριόχορτων με ιδιαίτερη προσοχή την περίοδο που αναπτύσσονται τα φυτά.
- Εάν παρατηρηθεί βραχυκύκλωμα, δηλαδή φράξει το στρώμα φίλτρανσης λόγω υπερβολικής φόρτισης, τότε το σύστημα πρέπει να τεθεί εκτός λειτουργίας για κάποιες εβδομάδες. Εάν ούτε και αυτό βοηθήσει τότε προτείνεται να αφαιρεθεί ένα στρώμα πάχους 10 εκατοστών από την επιφάνεια του φίλτρου άμμου (Brix and Arias 2005).

4. EPANET 2

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το EPANET είναι ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο πρόγραμμα το οποίο προσομοιώνει τη χρονική διακύμανση των υδραυλικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών της ροής σε δίκτυα διανομής υπό πίεση κάθε μεγέθους και οποιασδήποτε τοπολογίας. Το πρόγραμμα αυτό αναπτύχθηκε από την Υπηρεσία Περιβαλλοντικής Προστασίας των ΗΠΑ (U.S. Environmental Protection Agency), και είναι ελεύθερα διαθέσιμο στην ακόλουθη ηλεκτρονική διεύθυνση.

http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/wswrd/epanet.html.

Είναι ένα εύχρηστο εργαλείο, το οποίο βοηθάει τον χρήστη στην εξοικείωση και την καλύτερη κατανόηση της κίνησης και μορφή μεταφοράς του νερού μέσα στα δίκτυα διανομής του. Μπορεί να προσομοιώσει διάφορα είδη εφαρμογών και να παρέχει την ανάλυση των δικτύων διανομής του νερού. Ειδικότερα το EPANET με τις πολύ εξελιγμένες δυνατότητες προσομοίωσης του, μπορεί να επιλύσει υδραυλικά αλλά και ποιοτικά το δίκτυο, δίνοντας τα αποτελέσματα σε διάφορες μορφές, όπως για παράδειγμα χάρτες, γραφήματα, πίνακες κ.τ.λ.

Στην συνέχεια θα αναλυθούν όλες οι απαραίτητες διαδικασίες που έλαβαν χώρα στην εφαρμογή αυτή.

4.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ EPANET 2

Η ολοκληρωμένη και ακριβής υδραυλική προσομοίωση αποτελούν προϋποθέσεις για να γίνει αποτελεσματική η μοντελοποίηση της ποιότητας του νερού. Το EPANET περιέχει μια μηχανή ανάλυσης υδραυλικής που περιλαμβάνει τις ακόλουθες δυνατότητες (USEPA 2000):

- δεν θέτει όριο στο μέγεθος του δικτύου που μπορεί να αναλυθεί
- υπολογίζει τις απώλειες χρησιμοποιώντας τους τύπους κατά Hazen-Williams, Darcy-Weisbach, ή Chezy-Manning
- περιλαμβάνει τοπικές απώλειες για κάμψεις, εξαρτήματα, κ.λπ.

- υποδεικνύει την σταθερή ή μεταβλητή ταχύτητα στις αντλίες
- υπολογίζει την ενέργεια και το κόστος άντλησης
- υποδεικνύει διαφόρων τύπων βαλβίδες συμπεριλαμβανομένων διακοπής, ελέγχου, ρύθμισης πίεσης και τη ροή ελέγχου των βαλβίδων
- επιτρέπει στις δεξαμενές αποθήκευσης να έχουν οποιοδήποτε σχήμα (δηλαδή η διάμετρος μπορεί να ποικίλει με το ύψος)
- θεωρεί πολλαπλές κατηγορίες ζήτησης στους κόμβους, το καθένα με το δικό του πρότυπο μεταβολής χρόνου

Εκτός από την μοντελοποίηση της υδραυλικής, το EPANET παρέχει και τις ακόλουθες ικανότητες μοντελοποίησης σχετικές με την ποιότητα νερού (USEPA 2000):

- μοντέλα της κίνησης ενός συντηρητικού υλικού-ιχνηθέτη στο δίκτυο με την πάροδο του χρόνου
- μοντέλα για τη διακίνηση και μοίρα ενός μη συντηρητικού υλικού, καθώς αυξάνεται (π.χ., ένα απολυμαντικό υποπροϊόν) ή διασπάται (π.χ., υπολειμματικό χλώριο) με τον καιρό
- μοντέλα της ηλικίας του νερού σε όλο το δίκτυο

Επίσης το EPANET 2:

- παρακολουθεί το ποσοστό της ροής από ένα δεδομένο κόμβο φθάνοντας σε όλους τους άλλους κόμβους με την πάροδο του χρόνου
- παρουσιάζει τις αντιδράσεις τόσο στην εκροή όσο και στο τοίχωμα του σωλήνα
- χρησιμοποιεί κινητική ν-νιοστής
- χρησιμοποιεί μηδενικής ή πρώτης τάξης κινητική για να υποδείξει αντιδράσεις στο τοίχωμα του σωλήνα
- κάνει υπολογισμούς σε σχέση με τα όρια της μαζικής μεταφοράς κατά την μοντελοποίηση των αντιδράσεων στα τοιχώματα του σωλήνα
- επιτρέπει τις αντιδράσεις ανάπτυξης ή αποσύνθεσης να προχωρήσουν μέχρι μία οριακή συγκέντρωση
- χρησιμοποιεί τους παγκόσμιους συντελεστές ταχύτητας αντίδρασης που μπορούν να τροποποιηθούν σε μία βάση σωλήνα με σωλήνα
- επιτρέπει στους συντελεστές ταχύτητας τοιχωμάτων της αντίδρασης να συσχετιστούν με την τραχύτητα των σωλήνων

- επιτρέπει τη χρονικά μεταβαλλόμενη συγκέντρωση ή τη μάζα να εισαχθεί σε οποιαδήποτε θέση στο δίκτυο
- μοντελοποιεί δεξαμενές αποθήκευσης

Έχοντας αυτά τα χαρακτηριστικά, το EPANET μπορεί να μελετήσει φαινόμενα ποιότητας νερού όπως (USEPA 2000):

- η ανάμειξη του νερού από διαφορετικές πηγές
- η ηλικία του νερού σε ένα σύστημα
- η απώλεια των υπολειμμάτων χλωρίου
- η αύξηση των υποπροϊόντων απολύμανσης
- η παρακολούθηση μολυσματικών εκδηλώσεων διάδοσης.

Το EPANET λοιπόν προσομοιώνει ένα δίκτυο διανομής νερού σαν μια συλλογή γραμμικών και σημειακών αντικειμένων. Τα σημειακά αντικείμενα (nodes) αναπαριστούν τις ενώσεις των αγωγών (junctions) και τις δεξαμενές (reservoirs, tanks) ενώ τα γραμμικά αντικείμενα αναπαριστούν τους αγωγούς του δικτύου (pipes) αλλά και τις ειδικές συσκευές, οι οποίες είναι οι αντλίες (pumps) και οι δικλείδες (valves) (USEPA 2000).

Junctions: Με τον όρο junctions νοούνται τα σημεία εκείνα στα οποία ενώνονται οι αγωγοί μεταξύ τους με απώτερο σκοπό την κίνηση του νερού μέσα στο δίκτυο. Ουσιαστικά αποτελούν τα σημεία διακλάδωσης των αγωγών και για το λόγο αυτό ονομάζονται junctions, δηλαδή ενώσεις. Δε χρησιμοποιούνται ως αποθηκευτικοί χώροι νερού αλλά αντιθέτως αποτελούν τα σημεία ζήτησης νερού. Είναι τα σημεία στα οποία το νερό φεύγει από το δίκτυο με σκοπό την κάλυψη των αναγκών για νερού, του συνόλου των καταναλωτών (USEPA 2000).

Pipes: Με τον όρο pipes νοούνται οι κλάδοι ή αγωγοί του δικτύου διανομής νερού. Ουσιαστικά νοείται κάθε τμήμα αγωγού μήκους L, που αποτελείται από σωλήνα ομοιόμορφης διαμέτρου D, κλάσης και τραχύτητας K, κατά μήκος του οποίου θεωρείται ενιαία παροχή Q, όπου δεν παρεμβάλλεται κανένα σημείο εισόδου ή εξόδου και καμία διακλάδωση. Κάθε αγωγός ορίζεται από δύο κόμβους (junctions). Ουσιαστικά αποτελούν το μέσο με το οποίο το νερό μεταφέρεται από το ένα σημείο του δικτύου στο άλλο. Το EPANET θεωρεί ότι κάθε χρονική στιγμή, όλοι οι αγωγοί του δικτύου είναι γεμάτοι νερό. Στην ουσία αποτελούν το μοναδικό μέσο με το οποίο το νερό μπορεί να μεταφερθεί από τον ένα κόμβο του δικτύου στον άλλο (USEPA 2000).

Reservoirs: Αποτελούν εξωτερικές πηγές νερού για το δίκτυο. Στην ουσία αποτελούν το χώρο στον οποίο συγκεντρώνεται το νερό και μέσω αγωγών (τροφοδοτικοί αγωγοί) διανέμεται στο δίκτυο. Χρησιμοποιούνται κυρίως για την προσομοίωση λιμνών, ποταμών, υδροφόρων στρωμάτων υπόγειων νερών κ.α. Επίσης χρησιμεύουν σαν πηγές ποιότητας νερού. Το υψόμετρο της επιφάνειας μιας δεξαμενής δεν αλλάζει καθώς το νερό εισρέει ή εκρέει από αυτό κατά τη διάρκεια μιας προσομοίωσης παρατεταμένης περιόδου (Extended Period Simulation) (USEPA 2000).

Tanks: Αποτελούν αποθηκευτικούς κόμβους. Το υψόμετρο της επιφάνειας μιας δεξαμενής αλλάζει καθώς το νερό εισρέει ή εκρέει από αυτό κατά τη διάρκεια μιας προσομοίωσης παρατεταμένης περιόδου (Extended Period Simulation). Οι δεξαμενές μπορούν να έχουν είτε κυκλική είτε μη κυκλική διατομή (USEPA 2000).

Pumps: Με τον όρο αυτό ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να εισάγει στο δίκτυο αντλίες. Οι αντλίες αποτελούν τις συσκευές, οι οποίες μεταδίδουν ενέργεια σε ένα ρευστό, αυξάνοντας το πιεζομετρικό του φορτίο. Με λίγα λόγια προσθέτουν ενέργεια στο δίκτυο. Αποτελούν τις συσκευές εκείνες οι οποίες βοηθούν το νερό να κινηθεί από σημεία με χαμηλή πίεση σε σημεία με υψηλότερη πίεση (USEPA 2000).

Valves: Με τον όρο αυτό νοούνται οι βαλβίδες οι οποίες αποτελούν ειδικές συσκευές των δικτύων ύδρευσης. Στην Ελλάδα για την ονομασία τους χρησιμοποιούνται και οι όροι βάνα ή δικλείδα. Αποτελούν συσκευές ρύθμισης της παροχής και τοποθετούνται στις διακλαδώσεις, ώστε σε περίπτωση βλάβης να εξασφαλίζουν απομόνωση του υπόλοιπου δικτύου. Ουσιαστικά αποτελούν συσκευές οι οποίες ανοίγουν και κλείνουν με σκοπό να ικανοποιήσουν μια συνθήκη που ορίζεται από το χρήστη. Πιο συγκεκριμένα ρυθμίζουν την ύπαρξη ή όχι ροής στους αγωγούς (USEPA 2000).

Χαρακτηριστικές καμπύλες (curves): Οι καμπύλες αυτές αποτελούν μια γραφική αναπαράσταση της σχέσης μεταξύ δύο ποσοτήτων. Πριν την επίλυση του δικτύου από το πρόγραμμα ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να εισάγει κάποιες χαρακτηριστικές καμπύλες οι οποίες περιγράφουν τη σχέση μεταξύ δύο χαρακτηριστικών μεγεθών ενός στοιχείου του δικτύου. Χαρακτηριστικές καμπύλες μπορούν να εισαχθούν τόσο για τις συσκευές του δικτύου, όσο και για τις δεξαμενές του. Αφού οριστούν οι καμπύλες αυτές, το πρόγραμμα θα επιλύσει το δίκτυο και θα υπολογίσει τα αποτελέσματα για τα στοιχεία του δικτύου, βάση των καμπύλων αυτών. Στο EPANET μπορούν να εισαχθούν από το χρήστη καμπύλες που περιγράφουν τη σχέση της ροής και του ύψους ενέργειας του νερού που μεταφέρεται από μια αντλία (pump curve), χαρακτηριστικές καμπύλες βαθμού απόδοσης των αντλιών (efficiency curves), καμπύλες που καθορίζουν τη χωρητικότητα των δεξαμενών συναρτήσει του ύψους στάθμης τους (volume curve) και καμπύλες που περιγράφουν τις απώλειες ενέργειας σε μια δικλείδα συναρτήσει της παροχής (Headloss Curve) (USEPA 2000).

Χρονικά πρότυπα (time patterns): Τα πρότυπα αυτά αποτελούν μια σειρά συντελεστών, γνωστοί ως πολλαπλασιαστές, οι οποίοι πολλαπλασιαζόμενοι με μία ποσότητα (π.χ. ζήτηση στους κόμβους του δικτύου, ύψος στάθμης της δεξαμενής κ.α.), εκφράζουν τη διακύμανσή της στο χρόνο. Αρχικά θα πρέπει να οριστεί από το χρήστη του προγράμματος, το χρονικό βήμα σύμφωνα με το οποίο θα ελεγχθεί η διακύμανση της ποσότητας που επιθυμεί. Το πιο συνηθισμένο χρονικό βήμα, είναι αυτό της μίας ώρας. Συνεπώς με τη χρήση των time patterns, ο χρήστης είναι σε θέση να ελέγξει τη διακύμανση της ποσότητας που τον ενδιαφέρει, σύμφωνα με το χρονικό βήμα που έχει επιλέξει. Για παράδειγμα, τα time patterns (χρονικά πρότυπα) παρέχουν ένα αποτελεσματικό εργαλείο για τον έλεγχο της διακύμανσης της ζήτησης στους κόμβους ενός δικτύου, ανά μία ώρα (USEPA 2000).

Έλεγχοι (controls): Αποτελούν κανόνες λειτουργίας των δικτύων. Πρόκειται για αλγόριθμους οι οποίοι καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί το δίκτυο. Στην ουσία, καθορίζουν την κατάσταση των αγωγών (κλειστοί, ανοιχτοί) σύμφωνα με διάφορες παραμέτρους όπως για παράδειγμα την πίεση σε συγκεκριμένα σημεία του δικτύου, το ύψος στάθμης των δεξαμενών ή σύμφωνα με κάποια συγκεκριμένη ώρα κατά τη διάρκεια της ημέρας. Για παράδειγμα μέσω των αλγόριθμων αυτών ο χρήστης μπορεί να προγραμματίσει τη διακοπή της ροής του νερού σε έναν ή περισσότερους αγωγούς, εάν η πίεση σε συγκεκριμένο κόμβο ή κόμβους είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη από μια τιμή που ο ίδιος επιθυμεί. Επίσης μπορεί να προγραμματίσει τη διακοπή της ροής του νερού, κλείνοντας συγκεκριμένο αγωγό ή αγωγούς, κάποια συγκεκριμένη ώρα της ημέρας (USEPA 2000).

Εισαγωγή των απαραίτητων δεδομένων των στοιχείων του δικτύου. Για κάθε στοιχείο του δικτύου υπάρχουν κάποιες βασικές ποσότητες οι οποίες θα πρέπει να εισαχθούν ως δεδομένα στο πρόγραμμα. Οι ποσότητες αυτές παρουσιάζονται παρακάτω (USEPA 2000):

Για τις συνδέσεις (junctions), ως δεδομένα εισάγονται:

- Το υψόμετρό τους (elevation), υπολογισμένο σε σχέση με κάποιο σημείο αναφοράς. Συνήθως είναι υπολογισμένο από τη μέση στάθμη της θάλασσας.
- Η κατανάλωση νερού (base demand).

Για τους αγωγούς (pipes), ως δεδομένα εισάγονται:

- Η εσωτερική τους διάμετρος (diameter).
- Το μήκος τους (length).
- Ο συντελεστής τραχύτητας (roughness coefficient).

Για τις δεξαμενές (reservoirs), ως δεδομένα εισάγονται:

Το υψόμετρο της δεξαμενής (total head), το οποίο αντιστοιχεί στο υψόμετρο της επιφάνειας του νερού στη δεξαμενή, όταν αυτή δε βρίσκεται υπό πίεση.

Για τις δεξαμενές αποθήκευσης (tanks), ως δεδομένα εισάγονται:

- Το υψόμετρο πυθμένα στο οποίο αντιστοιχεί μηδενική στάθμη νερού (elevation).
- Η διάμετρος της δεξαμενής (diameter).
- Το υψόμετρο της στάθμης του νερού πάνω από τον πυθμένα της, στην αρχή της προσομοίωσης (initial level).
- Το ελάχιστο υψόμετρο της στάθμης του νερού πάνω από τον πυθμένα της, κάτω από το οποίο η δεξαμενή δε μπορεί να λειτουργήσει (minimum level).
- Το μέγιστο υψόμετρο της στάθμης του νερού πάνω από τον πυθμένα της, το οποίο η δεξαμενή δε μπορεί να ξεπεράσει (maximum level).

Για τις αντλίες (pumps), ως δεδομένα εισάγονται:

- Οι χαρακτηριστικές τους καμπύλες (pump curves), οι οποίες στην ουσία αναπαριστούν τη σχέση μεταξύ ύψους ενέργειας και ροής που μπορούν να παράγουν οι αντλίες.

Για τις βαλβίδες (valves), ως δεδομένα εισάγονται:

- Η διάμετρος τους (diameter).
- Η κατάστασή τους, δηλαδή αν είναι ανοιχτές ή κλειστές (status).
- Ο τύπος βαλβίδας (setting).

Στο EPANET, σύμφωνα με τον τρόπο λειτουργίας τους, συναντώνται διάφοροι τύποι βαλβίδων, οι οποίοι είναι οι εξής (USEPA 2000):

- Βαλβίδες μείωσης της πίεσης (Pressure Reducing Valve - PRV)
- Βαλβίδες διατήρησης της πίεσης (Pressure Sustaining Valve - PSV)
- Πιεζοθραυστικά φρεάτια (Pressure Breaker Valve - PBV)
- Βαλβίδες ελέγχου παροχής (Flow Control Valve - FCV)
- Ρυθμιστικές βαλβίδες ελέγχου (Throttle Control Valve - TCV)
- Άλλες βαλβίδες ελέγχου (General Purpose Valve - GPV)

5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΠΙΤΟΠΙΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ Τ.Υ. ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗΣ ΡΟΗΣ

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα μελέτη εξετάζει το ζήτημα τοποθέτησης ενός συστήματος επεξεργασίας οικιακών λυμάτων. Η εγκατάσταση πρόκειται να επεξεργάζεται τα λύματα μιας διώροφης κατοικίας, χωρισμένη σε 2 ανεξάρτητες οικίες, στην Περιοχή Αρτέμιδα Αττικής. Το σύστημα θα εξυπηρετεί 6 άτομα και συγκεκριμένα μια οικογένεια 4 ατόμων και μία 2 ατόμων. Το νερό αφού υποστεί την απαραίτητη επεξεργασία θα παροχετεύεται μέσω ενός εξωτερικού συστήματος αγωγών στα 5 καζανάκια της οικίας και σε αρδευτικούς σκοπούς εντός των ορίων του οικοπέδου. Το σύστημα θα παρέχει νερό με βάση τις προδιαγραφές που έχουν τεθεί σε εθνικό και ευρωπαϊκό επίπεδο (ΚΥΑ Αριθμ. οικ.145116/2011, ΦΕΚ 354Β/2011). Στην συνέχεια πρόκειται να αναλυθούν όλοι οι απαιτούμενοι παράγοντες που συντελούν στην ορθή διαμόρφωση του συστήματος επεξεργασίας των οικιακών λυμάτων.

5.2 ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΡΟΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Ένας από τους σκοπούς εγκατάστασης ενός συστήματος επεξεργασίας, είναι η αποφυγή εκχείλισης των λυμάτων μέσα στον απορροφητικό βόθρο που διατίθεται στο οικόπεδο της οικίας. Η περιοχή όντας ένας δήμος της Αττικής χωρίς αποχετευτικό σύστημα, χρήζει της αναγκαίας εξεύρεσης τρόπων αποφυγής ρύπανσης των υπόγειων νερών της. Εκτός αυτού, προσφέρει επιτόπια επεξεργασία και εκμετάλλευση υγρών λυμάτων για οικιακούς σκοπούς.

Τα λύματα σήμερα, οδηγούνται μέσω του αποχετευτικού συστήματος του σπιτιού στον αποχετευτικό βόθρο. Επειδή ο βόθρος είναι απορροφητικός, τα λύματα θα παρακάμπτονται πριν τον τελευταίο στο σύστημα επεξεργασίας. Τα λύματα θα πηγαίνουν σε δύο σηπτικές δεξαμενές, σε σειρά. Από εκεί, θα περνούν σε φρεάτιο αντλιοστασίου όπου θα υπάρχει μια βυθιζόμενη αντλία η οποία θα στέλνει τα λύματα σε τεχνητό υγροβιότοπο κατακόρυφης ροής. Έπειτα, τα λύματα θα κυλούν σε μια δεξαμενή που θα περιέχει πετρώματα ζεόλιθου για περαιτέρω απομάκρυνση φωσφόρου και αζώτου. Τέλος, μια δεύτερη αντλία θα στέλνει ένα μέρους του επεξεργασμένου νερού στα πέντε καζανάκια της οικίας και το υπόλοιπο για αρδευτικούς σκοπούς εντός της ιδιοκτησίας όπως φαίνονται στο Παράρτημα Β (Σχέδιο Β1, Β2, Β3).

5.3. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

5.3.1 ΠΕΡΙΟΧΗ

Γενικά

Η ευρύτερη περιοχή της Δημοτικής Κοινότητας Αρτέμιδας βρίσκεται στις ακτές του Νότιου Ευβοϊκού Κόλπου, 25 km. ανατολικά των Αθηνών και μόλις 5 km από τα Σπάτα στη Μεσογαία, της οποίας αποτελεί επίνειο. Διοικητικά υπάγεται στην Περιφέρεια Αττικής Η πόλη είναι χτισμένη δίπλα στη θάλασσα, στον κόλπο της Αρτέμιδας. Η πόλη της Αρτέμιδος αναπτύσσεται πέριξ της παραθαλάσσιας ζώνης της Λούτσας που αποτελεί και το κέντρο της. Η οικιστική ζώνη εκτείνεται κατακόρυφα της παραλιακής προς τα βόρεια και τα νότια του κέντρου, ενώ δυτικά εκτείνονται οι πευκόφυτοι λόφοι της περιοχής. Οι συνοικίες της είναι αρκετά αραιοκατοικημένες. Μερικές από τις συνοικίες και περιοχές της Αρτέμιδος είναι οι εξής: Λούτσα, Βραυρώνα, Βελανιδέζα, Πράσινος Λόφος, Βρύση, Υπαπαντή, Άγιος Νικόλαος, Αλυκή, Γαλήνη Η κεντρική παραλία της Αρτέμιδος επεκτείνεται από την συνοικία των Αλυκών μέχρι τον ναό της Ταυροπόλου Αρτέμιδας με μεγάλη κίνηση τους θερινούς μήνες λόγω του ότι τα νερά είναι καθαρά και πολύ ρηχά με εύκολη πρόσβαση σε μικρά παιδιά και ηλικιωμένους με κινητικά προβλήματα.

Η περιοχή της Αρτέμιδας είναι αρκετά εκτεταμένη. Κάποιοι αριθμοί δίνουν μια ιδέα του μεγέθους. Έχει έκταση περίπου 21,2 km^2, 480 km οδικό δίκτυο, πάνω από 650 km δίκτυο ύδρευσης, 18 km παραλία, ενώ η δημοτική κοινότητα διαιρείται σε 14 πολεοδομικές ενότητες (13 νέες εντάξεις και το παλιό κέντρο). Η γειτνίαση με το αεροδρόμιο αλλά και το λιμάνι της Ραφήνας δημιουργεί πλεονεκτήματα αλλά και προβλήματα.

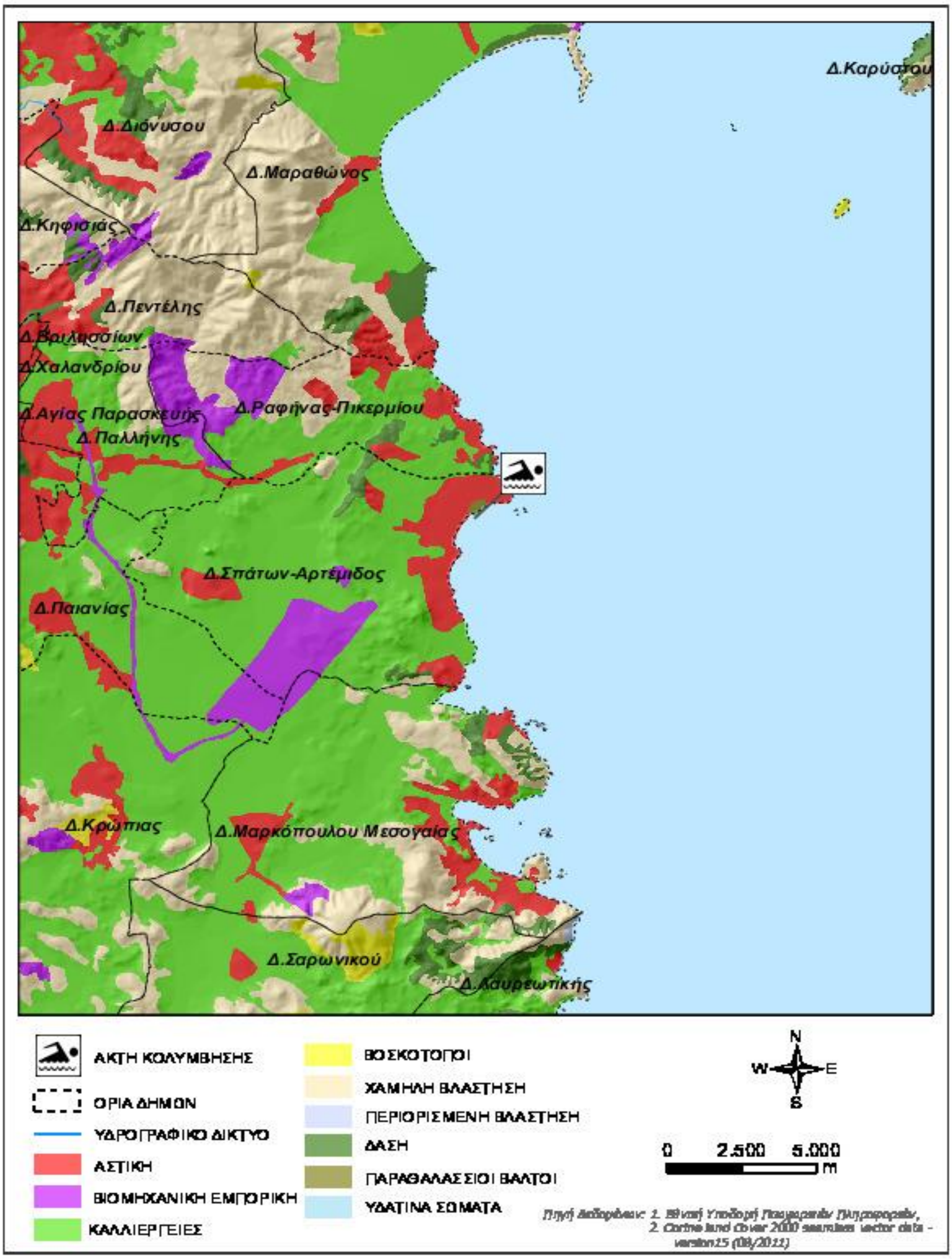
Πληθυσμός: Παρουσίασε μεγάλη αύξηση τη δεκαετία του '90, καθώς και την τελευταία πενταετία. Η οικιστική ανάπτυξη συνεχίζεται με έντονους ρυθμούς, δημιουργώντας όμως προβλήματα, κυρίως γιατί η πόλη δεν έχει τις υποδομές να εξυπηρετήσει τόσο πληθυσμό. Άλλο ένα πρόβλημα είναι η έλλειψη σχολικών κτιρίων. Το λιμάνι εξυπηρετεί κυρίως αλιευτικά και ιδιωτικής χρήσεως σκάφη. Η παραλία είναι δημοφιλής προορισμός το καλοκαίρι, συγκεντρώνει χιλιάδες λουόμενους και σε πολύ μικρή απόσταση υπάρχουν αρκετές καφετέριες και μπαρ. Μεταξύ αυτών και της παραλίας βρίσκεται το Πάρκο Αρτέμιδος, το οποίο αποπερατώθηκε τον Ιούλιο του 2006.

Στα οικοσυστήματα που απαντώνται στη παραπάνω ζώνη, την καλοκαιρινή περίοδο όπου οι βροχοπτώσεις είναι ιδιαίτερα λίγες, είναι ιδιαίτερα πιθανό να προκύψει κάποια πυρκαγιά, όπως στις φυτοκοινωνίες όπου επικρατεί η Χαλέπιος Πεύκη (χαρακτηρίζονται ως πυρόφιλα με την έννοια πως η φωτιά είναι τρόπος φυσικής αναγέννησης).

Προβλήματα: Ένα φλέγον ζήτημα περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος, είναι η διέλευση των αεροπλάνων πάνω από την πόλη σε χαμηλό ύψος, κι ένα δεύτερο εξίσου σημαντικό η ανυπαρξία μονάδας επεξεργασίας αστικών λυμάτων (βιολογικός καθαρισμός). Ο παραθαλάσσιος οικισμός της Λούτσας, δε διαθέτει αποχετευτικό δίκτυο και εξυπηρετείται στο σύνολό του μέσω ιδιωτικών συστημάτων αποχέτευσης. Η παρουσία των συστημάτων αυτών αποτελεί δυνητική πηγή ρύπανσης, καθώς πιθανή διαρροή τους μπορεί να επιφέρει εισροή αυξημένου οργανικού και μικροβιακού φορτίου και φορτίου θρεπτικών στη θάλασσα. Η έλλειψη οργανωμένου συστήματος αποχέτευσης και επεξεργασίας λυμάτων, σε συνδυασμό με τον πληθυσμό του οικισμού (με βάση την απογραφή του 2001 ο συνολικός πληθυσμός των οικισμών Σπάτα και Λούτσα ανέρχεται σε 7.738 μόνιμους κατοίκους), ο οποίος πολλαπλασιάζεται κατά τους θερινούς μήνες, καθιστά σημαντική την πιθανότητα επιβάρυνσης της ποιότητας των υδάτων.

Τα ύδατα κολύμβησης επηρεάζονται εν δυνάμει από την απορροή ρυπαντικών φορτίων των κύριων θρεπτικών συστατικών αζώτου και φωσφόρου, τα οποία προέρχονται με τη σειρά τους από τα αστικά λύματα της ευρύτερης αστικής περιοχής. Επιπλέον, το μικρό βάθος των υδάτων αποτελεί ευνοϊκό παράγοντα για την εμφάνιση ευτροφικών φαινομένων. Ωστόσο, η θέση της ακτής εντός του ανοιχτού όρμου Λούτσας εξασφαλίζει την απαραίτητη ανανέωση των υδάτων. Αξίζει να αναφερθεί πως στην ακτή δεν έχουν παρατηρηθεί κατά το παρελθόν περιστατικά ανάπτυξης αλγών ή φυτοπλαγκτόν, ενώ τα ύδατα είναι υπό κανονικές συνθήκες διαυγή και καθαρά. Συνεκτιμώντας τα παραπάνω εκτιμάται χαμηλός βαθμός επικινδυνότητας ανάπτυξης μακροφυκών ή αλγών στην ακτή.

Αναφορικά με τη διαχείριση λυμάτων της ευρύτερης αστικής περιοχής τονίζεται πως η ρύπανση από υπερχειλίσεις ή διαρροές βόθρων είναι μακροπρόθεσμη και για την αντιμετώπισή της είναι απαραίτητη η επεξεργασία και διάθεση των λυμάτων, σύμφωνα με τις απαιτήσεις της Οδηγίας 91/271/ΕΟΚ. Στην Εικόνα 5.1 εμφανίζονται οι χρήσεις γης της ευρύτερης περιοχής.



Εικόνα 5.1. Χάρτης κτήσεων γης Ανατολικής Αττικής, (ΠΗΓΗ: http://wwwbathingwaterprofiles.gr).

5.3.2 ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Η Αρτέμιδα ανήκει στον ασθενή θερμομεσογειακό τύπο κλίματος (Mesomediterraneed attenue) με αριθμό ξηρών ημερών κατά τη θερινή περίοδο από 100-125 ημέρες, ήπιους χειμώνες με μέση θερμοκρασία ψυχρότερου μήνα περίπου 10 °C. Η μέση μηνιαία θερμοκρασία της ατμόσφαιρας κατά την κολυμβητική περίοδο είναι 25 °C, με τη μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία να καταγράφεται κατά το μήνα Ιούλιο και να είναι της τάξης των 28 °C. Η επικρατέστερη διεύθυνση ανέμου είναι η βορειοανατολική ακολουθούμενη από νότια με μικρή ή μέση ένταση (Ε.Μ.Υ. Έτος 1972- 1983). Το μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης στην περιοχή είναι 410 mm, με το μέγιστο και το ελάχιστο μηνιαίο ύψος να είναι αντίστοιχα 141,6 mm και 0,1 mm. (Ε.Μ.Υ. Μετεωρολογικός Σταθμός Ραφήνας, έτη 1972-1981).

Η ακτή, λόγω του προσανατολισμού και της μορφολογίας, είναι προστατευμένη έναντι των επικρατέστερων ανέμων που πνέουν στην περιοχή, με μόνη εξαίρεση τους ανέμους νότιας διεύθυνσης. Η στάθμη της θάλασσας δεν μεταβάλλεται σημαντικά λόγω παλίρροιας, ενώ δεν παρατηρούνται ισχυρά ρεύματα στην περιοχή. Στον Πίνακας 5.1 δίνονται οι τιμές της ελάχιστης, μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας αέρα ανά μήνα.

5.4. ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΟΙΚΙΑΣ

Για γίνει κατανοητός ο χώρος του οικοπέδου που περιέχει την κατοικία, μελετήθηκαν τα αρχιτεκτονικά σχέδια, ώστε να γίνουν γνωστές οι διαστάσεις και το ύψος των ορόφων και γενικά όλων των ενδιαφερόμενων σημείων (Παράρτημα Α, Εικόνα Α1 έως Α4).

Το εμβαδόν του οικοπέδου είναι 220,00 m^2 και η κάλυψη του κτίσματος 88,00 m^2. Στην δεξιά πλευρά του οικοπέδου υπάρχει κήπος και χώρος (parking) 86.24 m^2. Για την εγκατάσταση του συστήματος επεξεργασίας, χρειάζονται 33m^2 μιας και τα 53 m^2 αρκούν για τον υπαίθριο χώρο στάθμευσης. Το σπίτι έχει συνολικό ύψος 8.04 m από την φυσική επιφάνεια. ο πρώτος όροφος βρίσκεται 1.5 m από το έδαφος και ο δεύτερος 4.7 m από το έδαφος. Τέλος το δάπεδο του ημί-υπογείου βρίσκεται 1.3 m κάτω από την φυσική επιφάνεια.

Πίνακας 5.1. Θερμοκρασίες στην περιοχή Αρτέμιδα, (ΠΗΓΗ: meteo.gr).

1ο Εξάμηνο	**ΙΑΝ**	**ΦΕΒ**	**ΜΑΡ**	**ΑΠΡ**	**ΜΑΙ**	**ΙΟΥΝ**
Ελάχιστη Μηνιαία Θερμοκρασία	8,9	9.2	9,4	11,4	15,8	20,1
Μέση Μηνιαία Θερμοκρασία	12,1	12.5	13,3	15,9	20,7	25,2
Μέγιστη Μηνιαία Θερμοκρασία	15,3	15,8	16,7	19,4	24,1	28,7
2ο Εξάμηνο	**ΙΟΥΛ**	**ΑΥΓ**	**ΣΕΠ**	**ΟΚΤ**	**ΝΟΕ**	**ΔΕΚ**
Ελάχιστη Μηνιαία Θερμοκρασία	22,8	22,8	19,6	15,6	12	8,9
Μέση Μηνιαία Θερμοκρασία	28	27,8	24,2	19,5	15,4	12,2
Μέγιστη Μηνιαία Θερμοκρασία	31,8	31,7	28,2	23,2	18,8	15,4

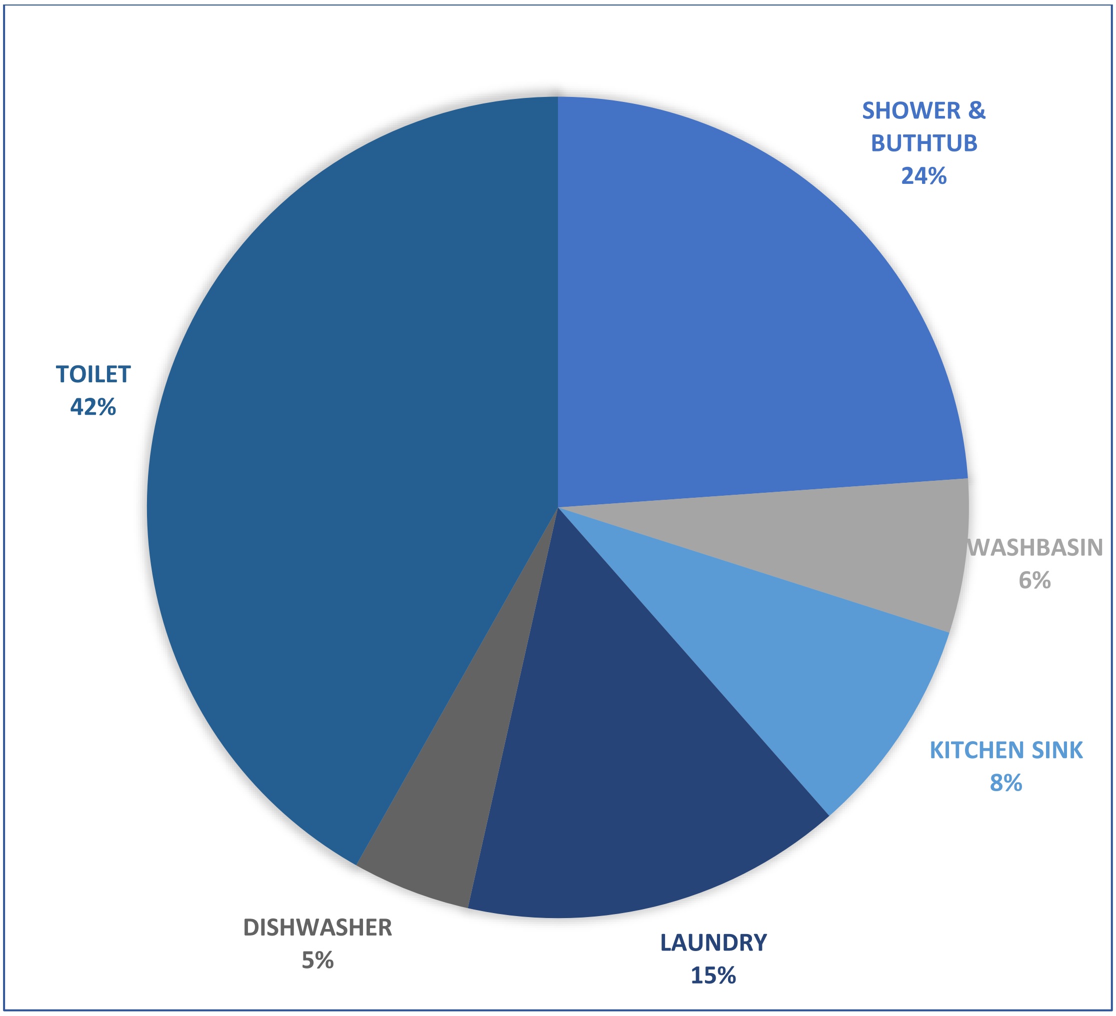
6. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

6.1. ΠΑΡΟΧΗ

Η ημερήσια κατανάλωση, αποτελεί έναν συνδυασμό διαφόρων πηγών μέσα στο σπίτι. Στον Πίνακα 6.1 δίνονται οι ημερήσιες καταναλώσεις λίτρων νερού ανά άτομο την ημέρα, ενώ στο Σχήμα 6.1 δίνονται τα ποσοστά διαφόρων χρήσεων πόσιμου νερού ως προς τη συνολική κατανάλωση ανά κάτοικο (Antonopoulou et al. 2013).

Πίνακας 6.1. Ημερήσιες πήγες ανηγμένης παροχής νερού ανά κάτοικο (ΠΗΓΗ: Antonopoulou et al. 2013).

Πηγές L/pe/d	**Μέση τιμή**	**Διάμεσος**
Ντουζ και μπανιέρα	33,9	21.9
Νιπτήρας	8,6	5.6
Νεροχύτης κουζίνας	12,2	7.5
Πλυντήριο ρούχων	21,3	14.6
Πλυντήριο πιάτων	6,6	4.1
Άλλες πηγές γκρίζου νερού	-	-
Τουαλέτα	59,4	54
Σύνολο μαύρου νερού	59,4	54
Σύνολο γκρίζου νερού	82,6	68,1
Σύνολο	142,0	129



Σχήμα 6.1, Επί τοις εκατό παροχές ημερήσιας κατανάλωσης ανά κάτοικο.

Για να υπολογιστεί η ποσότητα λυμάτων που θα δέχεται το σύστημα ημερησίως, θεωρήθηκε ότι κάθε κάτοικος καταναλώνει 200 λίτρα νερού ανά ημέρα και ότι το 75% του νερού καταλήγει στο δίκτυο αποχέτευσης, δηλαδή 150 λίτρα ανά ημέρα (Tsakiris 2010). Στον πίνακα (6.2) φαίνονται οι ημερήσιες πηγές παροχής που θα χρησιμοποιηθούν στην συνέχεια.

Η μέση ημερήσια κατανάλωση για την οικία υπολογίζεται από την Εξίσωση (3.1):

$$Q = pe * q = 6 * 150 = 900 \text{ L/d}$$

Πίνακας 6.2. Παροχή σχεδιασμού ανά κάτοικο.

Πηγές	**Παροχές (L/pe/d)**
Ντουζ και μπανιέρα	35,8
Νιπτήρας	9,1
Νεροχύτης κουζίνας	12,9
Πλυντήριο ρούχων	22,5
Πλυντήριο πιάτων	7,0
Άλλες πηγές γκρίζου νερού	-
Τουαλέτα	62,7
Σύνολο μαύρου νερού	62,7
Σύνολο γκρίζου νερού	87,3
Σύνολο	150,0

6.2. ΡΥΠΑΝΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ

Τα ρυπαντικά φορτία που χρησιμοποιήθηκαν ως αρχική εισροή δόθηκαν από την USEPA (2002) και αναγράφονται στον Πίνακα 6.3.

Πίνακας 6.3. Παραγόμενοι ρύποι ανά άτομο ανά ημέρα.

Ρύποι	**g/pe/d**
Βιοχημική απαίτηση (BOD_5)	60
Στερεά (TSS)	55
Ολικό άζωτο (TN)	12
Ολικός φωσφόρος (TP)	1,3

Μα βάση τις παραπάνω τιμές, υπολογίστηκε η συγκέντρωση των ρύπων στο νερό. Για τον υπολογισμό έγινε η αναγωγή των τιμών του Πίνακα 6.3 ώστε να βρεθεί η συγκέντρωση σε mg/L. Η εξίσωση που χρησιμοποιήθηκε για την αναγωγή είναι ο εξής:

$$\text{Συγκέντρωση Ρύπου}\left(\frac{\mathrm{mg}}{\mathrm{L}}\right) = \text{Φορτίο Ρύπου}\left(\frac{\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{pe}}}{\mathrm{d}}\right) * \frac{Q\left(\frac{\mathrm{L}}{\mathrm{d}}\right)}{1000} \quad (6.1)$$

οπότε έχουμε

$$\mathrm{BOD5}\left(\frac{\mathrm{mg}}{\mathrm{L}}\right) = 60 * \frac{900}{1000} = 400\ \frac{\mathrm{mg}}{\mathrm{L}}$$

$$\mathrm{TSS}\left(\frac{\mathrm{mg}}{\mathrm{L}}\right) = 55 * \frac{900}{1000} = 366{,}7\ \frac{\mathrm{mg}}{\mathrm{L}}$$

$$\mathrm{TN}\left(\frac{\mathrm{mg}}{\mathrm{L}}\right) = 12 * \frac{900}{1000} = 80\ \frac{\mathrm{mg}}{\mathrm{L}}$$

$$\mathrm{TP}\left(\frac{\mathrm{mg}}{\mathrm{L}}\right) = 1{,}3 * \frac{900}{1000} = 8{,}7\ \frac{\mathrm{mg}}{\mathrm{L}}$$

6.3 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΣΗ

6.3.1 ΣΗΠΤΙΚΕΣ ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ

Για την διαστασιολόγηση των σηπτικών δεξαμενών εφαρμόστηκε η Εξίσωση (3.1). Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η διαστασιολόγηση έγινε με βάση το οργανικό φορτίο της εισροής των σηπτικών δεξαμενών και με βάση τον Πίνακα 5.1 όπου φαίνονται οι θερμοκρασίες της περιοχής.

Πρώτη σηπτική δεξαμενή:

Η θερμοκρασία του νερού της δεξαμενής θεωρήθηκε ως η ελάχιστη μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα μειωμένη κατά 2^o C Με αυτή την παραδοχή και τον Πίνακα 5.1, θα έχουμε $T_{αέρα}$=12,3 ^{o}C, επομένως $T_{νερού}$= 10,3 ^{o}C.

Οργανικό φορτίο (BOD_5):

Απαιτούμενος όγκος σχεδιασμού για τον χειμώνα:

$$V= \frac{Ci*Q}{\lambda\nu} = \left(400 * \frac{0,9}{100}\right)=3,6 \text{ m}^3$$

όπου λ_ν=100, το επιτρεπόμενο οργανικό φορτίο σχεδιασμού για τον χειμώνα.

Απαιτούμενος όγκος σχεδιασμού για το καλοκαίρι:

$$V= \frac{Ci*Q}{\lambda_\nu} = \left(400 * \frac{0,9}{300}\right)=1,2 \text{ m}^3$$

Η δεξαμενή πρέπει να σχεδιαστεί για όγκο μεταξύ 3.6 και 1.2 m^3.

Ο χρόνος παραμονής της δεξαμενής υπολογίζεται ως ακολούθως:

Για όγκο 3.6 m^3: $\mathrm{T} = \frac{\mathrm{V}}{\mathrm{Q}} = \frac{3,6}{0,9} <=> \mathrm{T} = 4 \text{ d}$

Για όγκο 1.2 m^3 : $\mathrm{T} = \frac{\mathrm{V}}{\mathrm{Q}} = \frac{1,2}{0,9} <=> \mathrm{T} = 1,33 \text{ d}$

Με βάση τον Πίνακα 3.1, για τον όγκο 3.6 m^3 και θερμοκρασία η οποία είναι κοντά στους 10^o C, ο χρόνος παραμονής είναι επαρκής για αφαίρεση 40% για τον χειμώνα, ενώ για τον ίδιο όγκο το καλοκαίρι με μέση ελάχιστη θερμοκρασία νερού 18.1 ^oC για τον μήνα Ιούνιο, η αφαίρεση σε BOD θα είναι 60%.

Το βάθος της δεξαμενής θα είναι 1.5 m. Άρα η απαιτούμενη επιφάνεια είναι:

$$A = \frac{V}{h} = \frac{3{,}6}{1{,}5} = 2{,}4m^2$$

Η δεξαμενή θα είναι χωρισμένη σε δύο τμήματα. Οι διαστάσεις της δεξαμενής θα είναι μήκος 2.7 m πλάτος 0.9 m και ύψος 1.5 m, . Συνήθως το πρώτο τμήμα είναι μεγαλύτερο από το δεύτερο ώστε να παραμένει η λάσπη από την αναερόβια επεξεργασία. Μάλιστα σύμφωνα με το (ΦΕΚ 138/Β/24-2-65), στις περιπτώσεις όπου η δεξαμενή έχει παραπάνω από ένα διαμέρισμα τότε το πρώτο δεν μπορεί να είναι μικρότερο των 2/3 της ολικής χωρητικότητας. Άρα ο πρώτος θάλαμος θα έχει όγκο 1.6 m^2, με διαστάσεις: μήκος 1.8 m, πλάτος 0,9 m και ύψος 1.5 m. Ο δεύτερος θάλαμος θα έχει διαστάσει: μήκος 0.9 m, πλάτος 0.9 m και ύψος 1.5 m. Από το 1.5 m βάθος τα 40 cm δεν θα συμπεριλαμβάνονται στον ωφέλιμο όγκο, διότι θα είναι πάνω από το σημείο υπερχείλισης.

Δεύτερη σηπτική δεξαμενή: Η δεύτερη σηπτική δεξαμενή θα έχει ακριβώς τις ίδιες διαστάσεις με την πρώτη.

Αφαίρεση BOD_5: Για την επίτευξη των στόχων, οι παραδοχές θα ληφθούν με τις δυσμενέστερες συνθήκες, άρα η αναμενόμενη συγκέντρωση της εκροής της πρώτης δεξαμενής θα είναι η αρχική εισροή μειωμένη κατά 40% και η εκροής της δεύτερης δεξαμενής θα είναι η εκροή της πρώτης μειωμένη κατά 40%. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 6.4.

Για την αφαίρεση των ολικών αιωρούμενων στερεών (TSS), του ολικού αζώτου (TN), και του ολικού φωσφόρου (TP), θα γίνει προσέγγιση σύμφωνα με τα δεδομένα από άλλες εφαρμογές σε μεσογειακό κλίμα. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, στον Ελλαδικό χώρο έχουν γίνει αρκετές εφαρμογές (Tsihrintzis et al. 2007, Tsihrintzis and Gikas 2010, Gikas and Tsihrintzis 2012), δίνοντας έτσι την δυνατότητα να προβλέψουμε την απόδοση των σηπτικών δεξαμενών. Για τα ολικά αιωρούμενα στερεά αναμένεται μείωση της συγκέντρωσης ανάλογη με αυτή της οργανικής ύλης, δηλαδή 40%. Για το ολικό άζωτο (TN) 15% μείωση, ενώ για τον ολικό φωσφόρο 30% (Πίνακας 6.4.).

Πίνακας 6.4. Συγκέντρωση BOD_5, TSS, TN, TP στις εισροές και εκροές των σηπτικών δεξαμενών.

	BOD_5		**TSS**		**TN**		**TP**	
	C_i (mg/L)	C_e (mg/L)	C_i (mg/L)	C_e (mg/L)	C_i (mg/L)	C_e (mg/L)	C_i (mg/L)	C_e (mg/L)
ST1	400	240	366,7	219,6	80	68	8,67	6,1
ST2	240	144	219,6	109,8	68	57,8	6,1	4,25

6.3.2 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΣΗ Τ.Υ. ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗΣ ΡΟΗΣ

Για την διαστασιολόγηση της κλίνης του Τ.Υ., ορίστηκε η απαιτούμενη επιφάνεια. Συγκεκριμένα ο σχεδιασμός έγινε με βάση τον ισοδύναμο πληθυσμό που στην προκειμένη περίπτωση είναι οι κάτοικοι. Θεωρήθηκε ότι η απαιτούμενη επιφάνεια που απαιτείται για την εύρυθμη λειτουργία του τεχνητού υγροβιότοπου είναι 2,0 m^2/pe.

Το απαιτούμενο εμβαδό της κλίνης θα είναι: $A = 2{,}0\left(\frac{m^2}{pe}\right) * 6\ (pe) = 12m^2$

Οι διαστάσεις θα είναι 1÷1, με μήκος L=3,5 m και πλάτος W=3,5 m. Το βάθος της κλίνης θα είναι 1,3 m και η βλάστηση που θα τοποθετηθεί θα είναι καλαμιές (*Phragmites australis*) με φύτευση 4 φυτά ανά τετραγωνικό μέτρο. Η φόρτιση θα γίνεται μέσω ενός επιφανειακού συστήματος 6 αγωγών και η αποφόρτιση και ο αερισμός, θα γίνεται με ένα πλέγμα από διάτρητούς αγωγούς τύπου PVC. Η κλίνη θα περιέχει μία στρώση 30 cm στον πυθμένα με καλά πλυμένο χοντρό χαλίκι D_{50}=25 mm, (20-40 mm) με πορώδες n_1=0.28, υδραυλική αγωγιμότητα K_1=150 m/d και ειδική απόδοσή στο νερό ε_1=0.23. Από πάνω μια στρώση 70 εκατοστών λεπτό χαλίκι D_{50}=6 mm (2-10mm) με πορώδες n_2=0.34, υδραυλική αγωγιμότητα K2=450 m/d και ειδική απόδοσή στο νερό ε_2=0.25. Για να υπολογίσουμε τη μέση τιμή του πάχους, της υδραυλικής αγωγιμότητας, του ενεργού πορώδους και της ειδικής απόδοσης σε νερό του πορώδους μέσου της λεκάνης κατακόρυφης ροής, χρησιμοποιούμε τις Εξισώσεις 3.2 έως 3.5.

$$\mathrm{B} = \Sigma \mathrm{B_i} = 0.30 + 0.70 \Leftrightarrow \mathrm{B} = 1 \text{ m}$$

$$\mathrm{K} = \frac{\mathrm{B}}{\Sigma\left(\frac{\mathrm{B_i}}{\mathrm{K_i}}\right)} = \frac{1}{0.3*150 + \frac{0.7}{450}} = 281.25 \text{ m/d}$$

$$\mathrm{n} = \Sigma\frac{(\mathrm{B_i} \times \mathrm{n_i})}{\mathrm{B}} = \frac{0.3 * 0.28 + 0.7 * 0.34}{1} = 0.322$$

$$\varepsilon = \frac{\Sigma(\mathrm{B_i} * \varepsilon_\mathrm{i})}{\mathrm{B}} = \frac{0.3 * 0.23 + 0.7 * 0.5}{1} = 0.244$$

Για να προσδιορίσουμε την συγκέντρωση της εκροή του Τ.Υ., αρχικά εφαρμόζουμε τις εξισώσεις (3.7) και (3.8).

$$\mathrm{k_1} = \varepsilon * \mathrm{h} * \mathrm{k_{1,v}} = 0{,}244 * 1 * 0.25 = 0.061 \text{ d}^{-1}$$

Συγκέντρωση BOD_5:

$$\mathrm{C_e} = \mathrm{C_i} * \mathrm{e}^{(-\mathrm{k_{1,v}} * \mathrm{t})} = \mathrm{C_i} * \mathrm{e}^{\left(\frac{-\mathrm{k_1}}{\mathrm{q_d}}\right)} = 144 * \mathrm{e}^{\left(\frac{-0{,}061}{0{,}0375}\right)} = 62{,}8 \text{ mg/L}$$

Συγκέντρωση ολικού αζώτου (TN):

$$\mathrm{C_e} = \mathrm{C_i} * \mathrm{e}^{(-\mathrm{k_{1,v}} * \mathrm{t})} = \mathrm{C_i} * \mathrm{e}^{\left(\frac{-\mathrm{k_1}}{\mathrm{q_d}}\right)} = 57{,}8 * \mathrm{e}^{\left(\frac{-0{,}061}{0{,}0375}\right)} = 25{,}2 \text{ mg/L}$$

Η Εξίσωση (3.7), μπορεί να δώσει μια ικανοποιητική προσέγγιση μόνο των τιμών του BOD_5 και του ολικού αζώτου (TN). Δεν ενδείκνυται για άλλες μορφές ρύπων. Για τον λόγο αυτό, ακολουθεί μια άλλη μέθοδος προσέγγισης με την Εξίσωση (3.7). Για την επίλυση της εξίσωσης, όπως έχει ήδη αναφερθεί, θα χρησιμοποιηθούν ως σταθερά πρώτης τάξης οι τιμές που έχουν εξαχθεί από εφαρμογές τεχνητών υγροβιότοπων κατακόρυφης ροής (Vymazal 1998, Gikas and Tsihrintzis 2012). Οι προσεγγιστικές τιμές της εκροής παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.5.

Πίνακας 6.5. Προσεγγιστικές τιμές συγκέντρωσης ρύπων στην εκροή του Τ.Υ. σύμφωνα με εφαρμογές.

Περίπτωση 1 K_1 **Vymazal 1998**		Ρύποι	C_e ελάχιστο	C_e μέγιστο
0,055	0,160	BOD_5	69,2	17,0
0,033	0,055	TN	35,7	11,8
0,0027	0,033	TP	4.1	2,7
Περίπτωση 2 K_1 **Gikas and Tsihrintzis 2012**		Ρύποι	C_e	
0,040		BOD_5	84,47	
0,030		TN	30.8	
0,035		TP	3.25	
0,023		TSS	48.5	

6.3.3. ΔΙΑΣΤΑΣΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΣΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΖΕΟΛΙΘΟΥ

Για την διαστασιολόγηση της δεξαμενής ζεόλιθου, χρησιμοποιείται η Εξίσωση (3.9). Το ενεργό πορώδες του ζεόλιθου είναι n=0,25, ενώ ο χρόνος παραμονή των λυμάτων στην δεξαμενή έχει οριστεί στην 1 ημέρα.

$$\mathrm{VZT} = \frac{\mathrm{Q}}{(\mathrm{n} * \mathrm{t})} = \frac{0{,}9}{0.25 * 1} = 3{,}6\ \mathrm{m}^2$$

Η δεξαμενή, θα έχει διαστάσεις L=2,27 m, W=1,58 m, h=1 m.

Για την προσέγγιση της συγκέντρωσης στην εκροή της δεξαμενής χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα από εφαρμογές που έχουν γίνει στο παρελθόν (Gikas and Tsihrintzis 2012, 2010, Stefanakis et al. 2009). Η αφαιρετική ικανότητα του ζεόλιθου είναι ιδιαίτερα υψηλή. Η μικρότερη αφαίρεση του BOD ήταν 44,9% η μεγαλύτερη 82,9%, ενώ για το ολικό άζωτο και ολικό φωσφόρο 59,3% και 76,8%, 16,0% και 68,3% αντίστοιχα. Οι τιμές παρουσιάζουν διακύμανση μη μπορώντας να καθοριστούν προσεγγιστικές τιμές σε αυτό το στάδιο επεξεργασίας. Παρόλα αυτά, αναμένεται να υπάρξουν ικανοποιητικά αποτελέσματα σε αυτό το στάδιο επεξεργασίας, μιας και η αφαιρετική ικανότητα του ζεόλιθου είναι ανάλογη της θερμοκρασίας. Οι θερμοκρασίες της περιοχής κυμαίνεται στους 10^{o} C.

6.4 ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

6.4.1 ΡΟΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ

Πριν αρχίσει η εισαγωγή των δεδομένων, καθορίστηκαν οι στόχοι για την κατασκευή του συστήματος. Τα ζητήματα, λοιπόν, που θα εξετασθούν σε αυτό το κεφάλαιο είναι τα εξής:

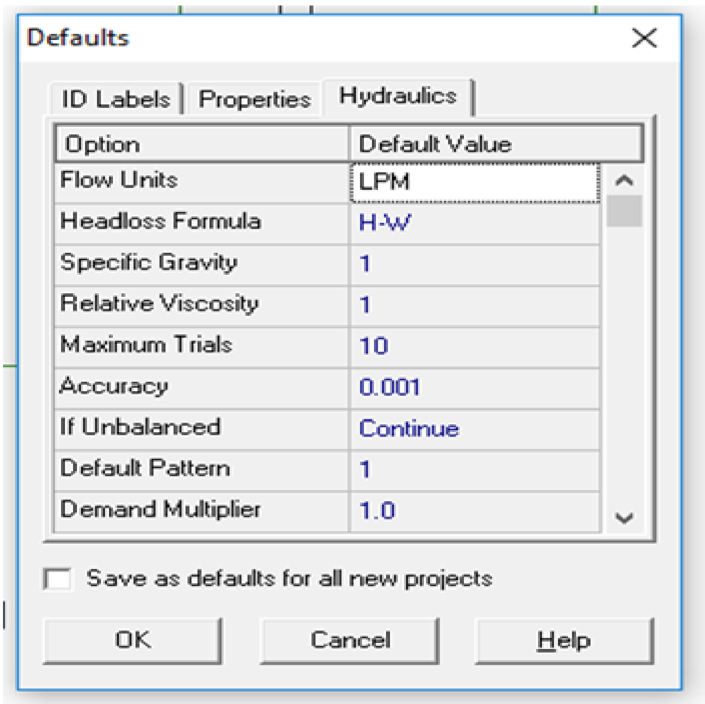
- Τύπος (είδος αγωγών)
- Μήκος αγωγών
- Εκλογή εσωτερικής διαμέτρου αγωγών
- Προσδιορισμός αντλίας υδροδότησης
- Εξασφάλιση αποδεκτών πιέσεων μέσα στους αγωγούς

Αρχικά προσδιορίστηκε η χωρητικότητα στο κάθε καζανάκι και ο χρόνος που χρειάζεται το καζανάκι να γεμίσει. Τα καζανάκια είναι χωρητικότητας 8 λίτρων και ο χρόνος πλήρωσης είναι ένα λεπτό, άρα θα πρέπει όταν ένα καζανάκι αδειάζει να γεμίζει σε ένα λεπτό μέσω της αντλίας. Ο αριθμός των φορών που τραβιέται ένα καζανάκι ημερησίως είναι 5. Η πίεση του συστήματος υδροδότησης έχει μεγαλύτερη πίεση από το σύστημα επεξεργασίας. ο λόγος είναι ότι δεν απαιτείται μεγάλη πίεση, για παράδειγμα τα καζανάκια χαμηλής πίεσης, έχουν ελάχιστη απαιτούμενη πίεση 8 psi (Toto 2009). Παρόλα αυτά, ο σχεδιασμός θα γίνει για πιέσεις σύμφωνα με τα ελληνικά δεδομένα (Τσακίρης 2010):

- Μονώροφα: 12-15 m
- Διώροφα: 16-19 m
- Τριώροφα: 20-23 m

Έτσι, ο σχεδιασμός θα γίνει για αποδεκτές πιέσεις μεταξύ 16 και 19 m

Αρχικά, ορίστηκαν οι μονάδες μέτρησης. πατώντας στην επιλογή Project → Defaults, ανοίγει το παράθυρο επιλογών των προκαθορισμένων στοιχείων (Εικόνα 6.1).



Εικόνα 6.1. Πίνακας επιλογών υδραυλικών στοιχείων.

Εκεί γίνεται η επιλογή των υδραυλικών στοιχείων. Συγκεκριμένα, η παροχή ορίστηκε σε L/min, ενώ για τον υπολογισμό των απωλειών χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο Hazzen-Williams. Μια μορφή εξίσωσης είναι (Hammer 2008):

$$\mathrm{hf} = \mathrm{K_c} * \mathrm{L} * \left(\frac{\mathrm{Q}}{\mathrm{C}}\right)^{1.852} * \mathrm{d}^{-4,87}$$

όπου:

Q: Παροχή, L/min

C: Συντελεστής τραχύτητα

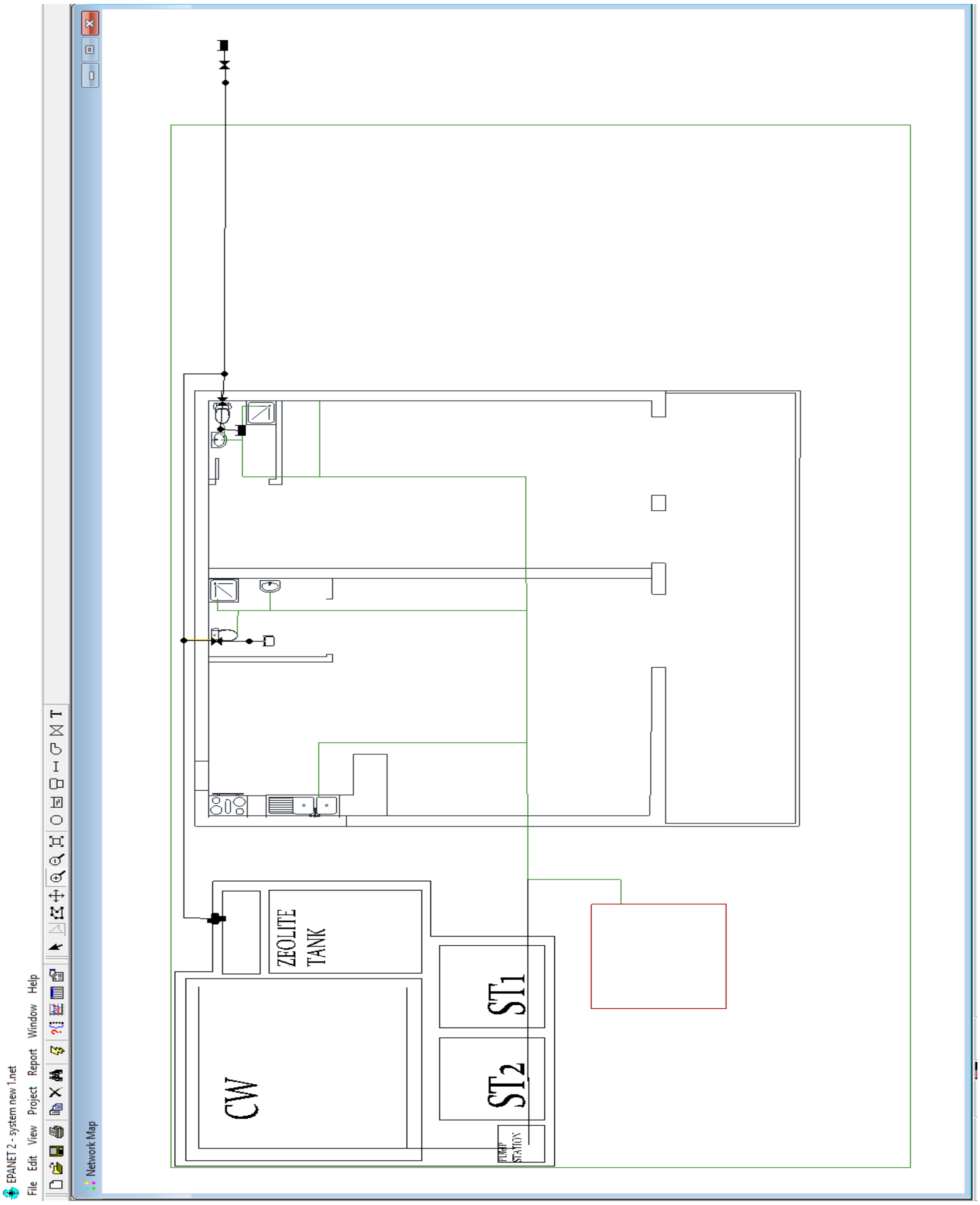
D: Διάμετρος αγωγών, mm

hf: Το ισοδύναμο μανομετρικό ύψος απωλειών, m

K_c: συντελεστής προσαρμογής

Η εξίσωση Hazen-Williams είναι πολύ απλή στην εφαρμογή της διότι συνδέει άμεσα (σε μια μικρή σχέση) τη διάμετρο ενός αγωγού με την πτώση πίεσης και την παροχή, και αποτελεί ένα πολύ ισχυρό εργαλείο για την άμεση διαστασιολόγηση μιας εγκατάστασης. Ισχύει για ροή νερού σε κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας 20^{o}C (ή για οποιοδήποτε άλλο υγρό με σχετική πυκνότητα ρ= 1.0 και δυναμικό ιξώδες μ= $1.002 * 10^{-3}$ kg/m-s) δηλαδή για τις πιο συνηθισμένες εφαρμογές προβλημάτων υδραυλικής.

Στην συνέχεια επιλέχθηκε το είδος των αγωγών που θα τοποθετηθούν. Για το σύστημα συστήνονται σωλήνες από δικτυωμένο πολυαιθυλένιο (PE-X) το οποίο παράγεται από πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE) ειδικής σύνθεσης. Η χρήση των σωλήνων είναι για μεταφορά κρύου και ζεστού νερού. Είναι πολύ φτηνότεροι σε σύγκριση με τους χάλκινους σωλήνες. Το PE είναι υλικό που δεν αντιδρά με το νερό ή τα συστατικά του (τελείως αδρανές), δεν εκχυλίζει κανένα χημικό προϊόν που μπορεί να βλάψει την ποιότητα του νερού, δεν αναπτύσσονται μικροβιολογικοί και βακτηριδιακοί παράγοντες στην επιφάνεια του, δε διαβρώνεται από χημικούς παράγοντες, τσιμέντο, ασβέστη ή όξινα νερά και διαθέτει πολύ χαμηλή τραχύτητα (μέση τιμή επιφανειακών ανωμαλιών σε mm), με αποτέλεσμα σωλήνες και εξαρτήματα να προστατεύονται από τις φθορές που προκαλούνται από την τριβή του νερού με τα εσωτερικά τοιχώματα του σωλήνα, ενώ παράλληλα οι τιμές της πτώσης πίεσης είναι πολύ χαμηλές. Ο συντελεστής τραχύτητας χρησιμοποιείται για αυτό το είδος των αγωγών είναι C= 150 (Cuenca 1989).

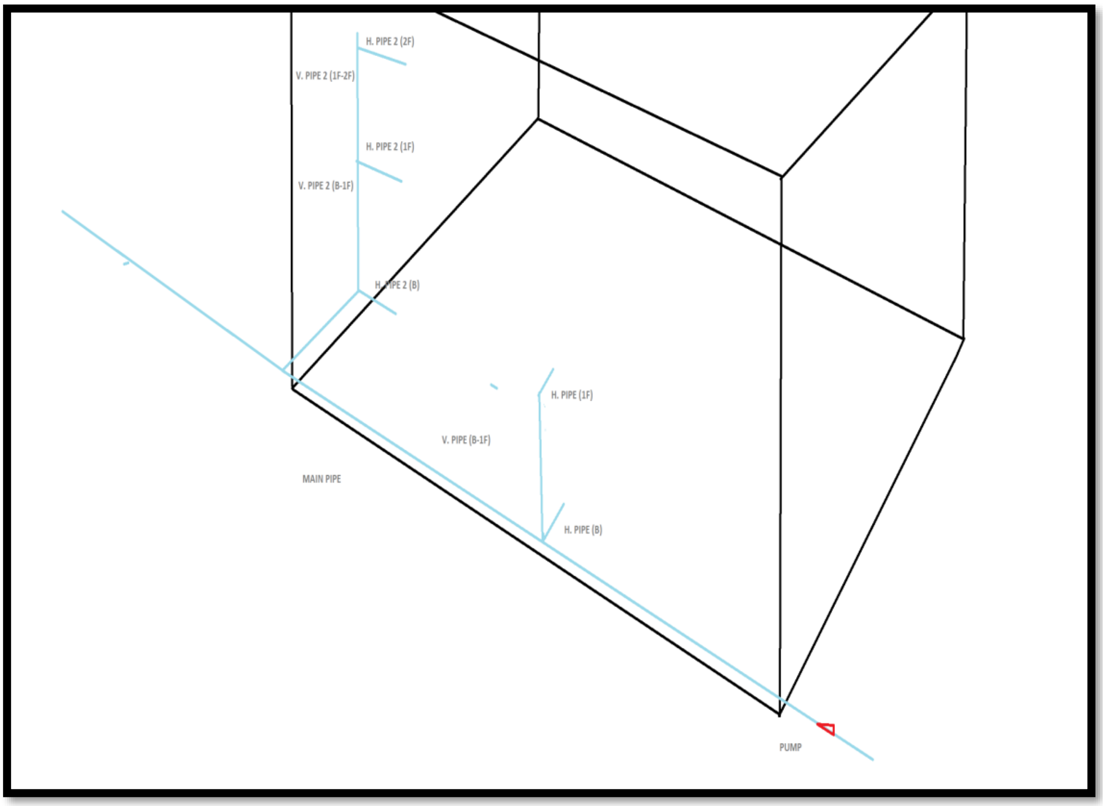


Εικόνα 6.2. Ψηφιοποιημένη κάτοψη υπογείου στο EPANET2

Το λογισμικό EPANET δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να εισάγει το σχέδιο της περιοχής για ακριβή σχεδιασμό των αγωγών διανομής. Για τον σχεδιασμό του συστήματος, ψηφιοποιήθηκε το υπόγειο της οικίας, με το πρόγραμμα AutoCAD 2017.

Στην συνέχεια, μέσω της εντολής View→Dimensions, δόθηκε στο σχέδιο η σωστή κλίμακα (1/50) ώστε οι μετρούμενες αποστάσεις να είναι σωστές (Εικόνα 6.2). Στην εικόνα φαίνεται η κάτοψη του υπογείου, η πράσινη γραμμή συμβολίζει τους αγωγούς ακαθάρτων. Το νερό αντί να καταλήγει στον σηπτικό βόθρο, παρακάμπτεται στο σύστημα επεξεργασίας.

Το σύστημα αγωγών επιλέχθηκε να γίνει από την πίσω πλευρά του σπιτιού Οι τουαλέτες στα 3 επίπεδα, βρίσκονται στα ίδια σημεία, οπότε το σύστημα θα αποτελείται από αγωγούς σε οριζόντια και κατακόρυφη διάταξη (Εικόνα 6.3).



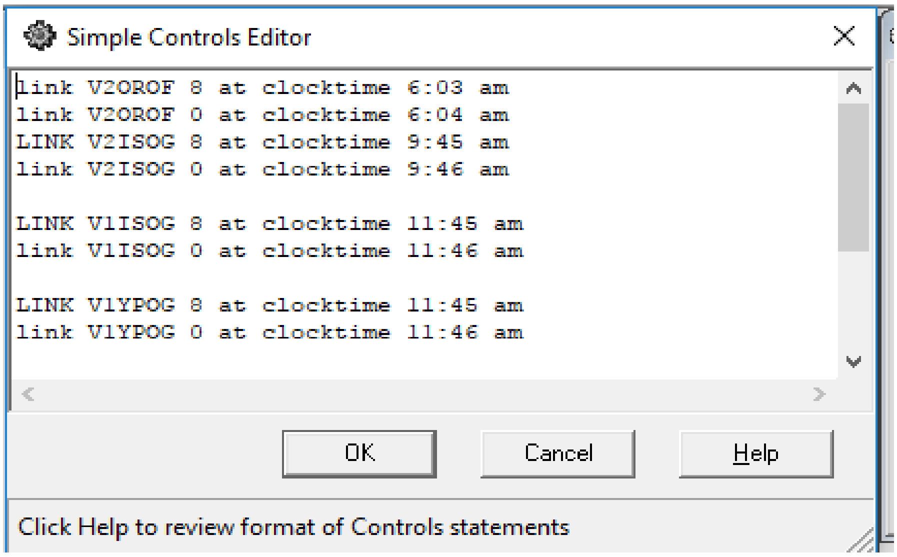
Εικόνα 6.3. Σκαρίφημα συστήματος διανομής επεξεργασμένου νερού (πίσω πλευρά σπιτιού).

Θεωρήθηκε ότι το καζανάκι γεμίζει σε 1 λεπτό και η χωρητικότητά του είναι 8L. Ζητείται από το υδραυλικό σύστημα να παροχετεύει 8L σε ένα λεπτό σε κάθε καζανάκι που αδειάζει. Θα απαιτηθεί αντλία η οποία θα διατηρεί το ύψος της πίεσης του συστήματος. Η αντλία όταν αντιλαμβάνεται μείωση πίεσης αρχίζει να λειτουργεί ώστε να φτάσει την πίεση που έχει το σύστημα όταν δεν υπάρχει κίνηση του νερού στους αγωγούς. Η επιλογή της θα γίνει μέσω του EPANET2 όπως επίσης, θα οριστεί το μήκος και η εσωτερική διάμετρος κάθε αγωγού.

Το σύστημα προσομοιώθηκε στον EPANET2. Συγκεκριμένα, έγινε ο έλεγχος της απόδοσης του συστήματος στην περίπτωση όπου υπάρχει:

- Ζήτηση σε δύο καζανάκια, στο δεύτερο καζανάκι του υπογείου (J2OROF) και σε δεύτερο καζανάκι του ισογείου (J2ISOG). Η πίεση στον δεύτερο όροφο, που είναι το δυσμενέστερο σημείο, δεν έπεσε κάτω από 14.8 m (Παράρτημα Β Πίνακας Β.1, Β.2).
- Ζήτηση σε τρία καζανάκια, στο καζανάκι του δευτέρου ορόφου (J2OROF), στο πρώτο καζανάκι του ισογείου (J1ISOG) και στο δεύτερο καζανάκι του υπογείου (J2YPOG). η Πίεση στο δυσμενέστερο σημείο ήταν 7.07 m (Παράρτημα Β Πίνακας Β.3, Β.4).
- Ζήτηση για πότισμα και καζανάκι. Ο αυτόματος μηχανισμός ποτίσματος είναι προγραμματισμένος να λειτουργεί για 60 λεπτά την ημέρα, χωρισμένα σε δύο διαστήματα, δύο των 30 λεπτών. Η πίεση στο δυσμενέστερο καζανάκι έφτασε μέχρι τα 15.7 m (Παράρτημα Β Πίνακας Β.5, Β.6).

Ο έλεγχος έγινε κατά την διάρκεια μιας ημέρας και οι εντολές δόθηκαν από τον πίνακα (*Simple Controls Editor*) (Εικόνα 6.4).



Εικόνα 6.4. Ορισμός των χρονικών σημείων όπου θα υπάρχει παροχή (*Simple control editor*).

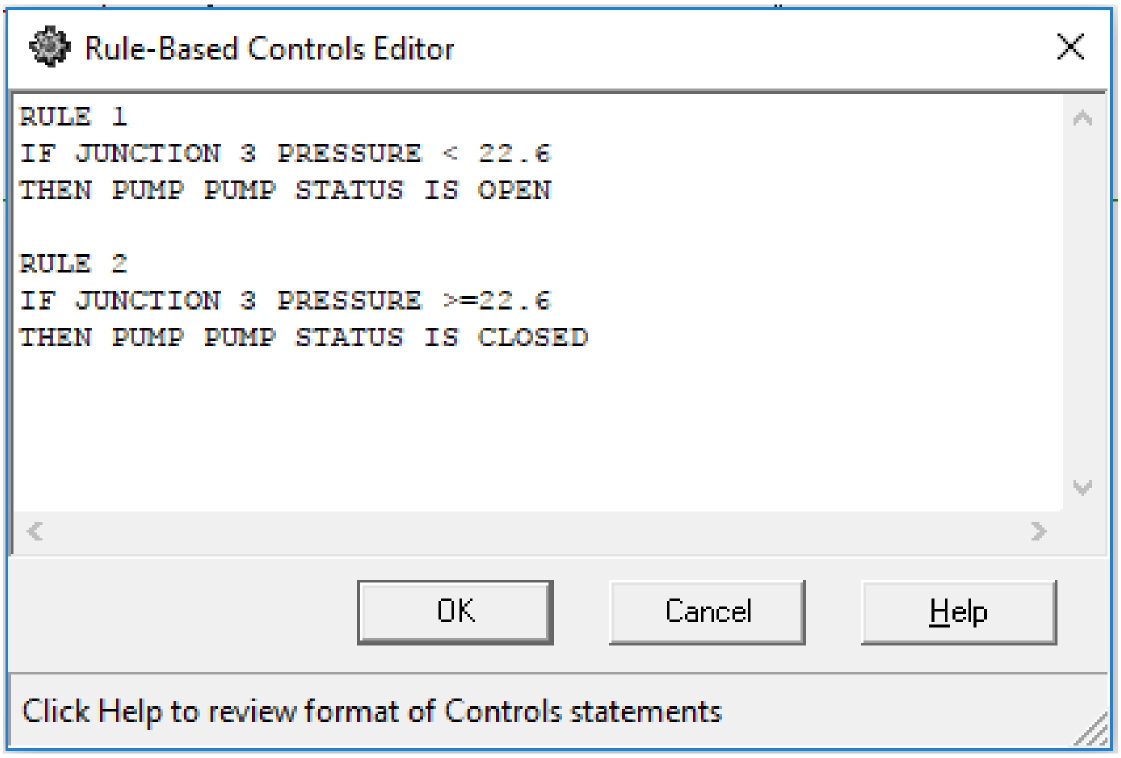
Με βάση τους Πίνακες Α.2 έως Α.7 του Παραρτήματος Α, επιλέχθηκαν οι κατάλληλες διαστάσεις των αγωγών που προτείνεται να χρησιμοποιηθούν στο σύστημα (Πίνακας 6.6).

Πίνακας 6.6. Προτεινόμενες διαστάσεις αγωγών του συστήματος επαναχρησιμοποίηση.

	$D_{εσωτερικό}$ (mm)	**Πάχος (mm)**	**L (m)**	**C**	**TYPE**
Main pipe	40	4	5.51	150	PEX
Main pipe 2	32	3	5.42	150	PEX
H.PIPE (B)	12	2	0.33	150	PEX
H.PIPE (1F)	12	2	0.33	150	PEX
H.PIPE 2 (B)	12	2	0.33	150	PEX
H. PIPE 2 (1F)	12	2	0.33	150	PEX
H. PIPE 2 (2F)	12	2	0.33	150	PEX
V. PIPE (B-1F)	26	2	2.5	150	PEX
V. PIPE 2 (B-1F)	26	2	2.5	150	PEX
V. PIPE 2 (1F-2F)	26	2	2.5	150	PEX
Irrigation pipe	26	2	5.28	150	PEX

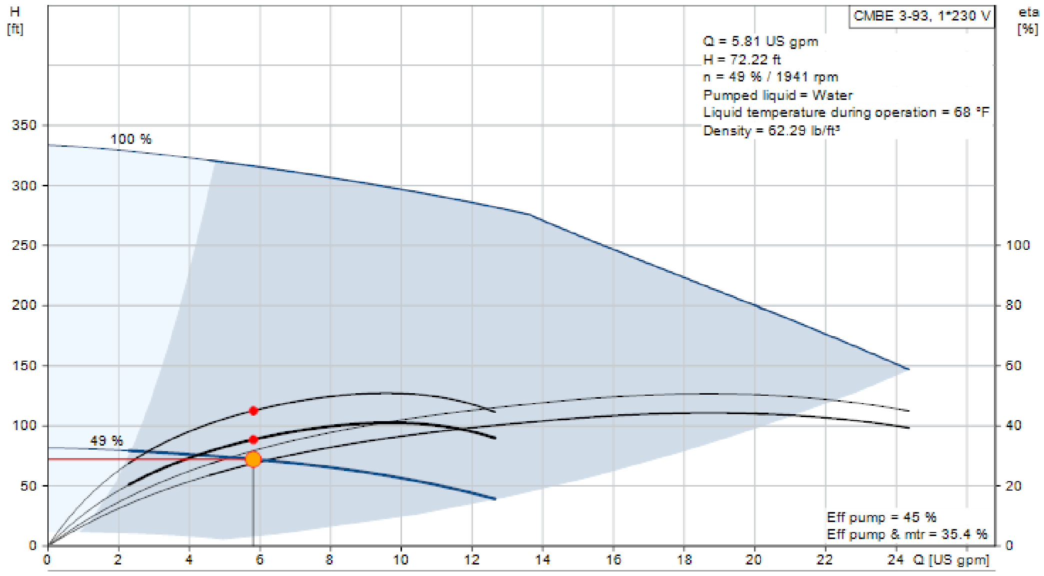
Επιλογή αντλίας

Η αντλία θα τίθεται σε λειτουργία όταν η πίεση πέσει κάτω από ένα προκαθορισμένο όριο. Το όριο θα είναι στο σημείο μετά την αντλία (JUNCTION 3). Όταν η πίεση πέσει κάτω από τα 22.6m, τότε η αντλία ενεργοποιείται έως ότου να φτάσει ξανά αυτή την πίεση. Ο προγραμματισμός αυτής της λειτουργίας γίνεται μέσω του περιβάλλοντος του EPANET 2 στην επιλογή CONTROL →RULED-BASED (Εικόνα 6.5).



Εικόνα 6.5. Περιορισμοί στην λειτουργία της αντλίας.

Η αντλία που θα χρησιμοποιηθεί, ανήκει στο είδος BOOSTER SET για νερό και λέγεται SCALA2 3-45 A – 98562817 (Εικόνα 6.6).



Εικόνα 6.6. Διάγραμμα λειτουργίας της αντλίας (ΠΗΓΗ: http://product selection.grundfos.com).

Άλλη μια αντλία θα χρειαστεί για να τροφοδοτεί την κλίνη του υγροβιότοπου. Θα τοποθετηθεί σε ένα αντλιοστάσιο (0.7 x 0.7 x 1.5) όπου θα υπερχειλίζει το νερό από τις σηπτικές δεξαμενές. Η αντλία θα είναι βυθισμένη στο νερό. Ο υπολογισμός της απαιτούμενης ισχύος έγινε με τον παρακάτω τύπο:

$$\mathrm{N} = \mathrm{g} * \ \mathrm{Q} * \frac{\mathrm{H\mu\alpha\nu}}{\mathrm{n}} \tag{6.1}$$

N, ισχύς της αντλίας, KW

g, επιτάχυνση της βαρύτητας, m/ s^2

Q, παροχή σχεδιασμού για τον καταθλιπτικό αγωγό, m^3/ s

Hf, Μανομετρικό ύψος, m

n, Βαθμός απόδοσης του αντλητικού συγκροτήματος

Η απόδοση της αντλίας θα είναι: $\mathrm{N} = \mathrm{g} * \ \mathrm{Q} * \frac{\mathrm{Hf}}{\mathrm{n}} = 0.817$ KW

6.5 ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Για την ολοκλήρωση του έργου, θα πρέπει να προσδιοριστεί το κόστος του συστήματος. Ο υπολογισμός κόστους και συντήρησης της εγκατάστασης έγινε σύμφωνα με τα δεδομένα της Επιτροπής Διαπιστώσεως Τιμών Δημοσίων. Η πιο πρόσφατη ενημέρωση του τιμοκαταλόγου αναφέρεται στο 2012. Οι τιμές σήμερα, δεν έχουν αυξηθεί σημαντικά σε σχέση με το 2012, οπότε η χρήση των πρακτικών αυτών θα ανταποκριθούν στα σημερινά δεδομένα.

Κόστος εκσκαφών

Ο υπολογισμός του κόστους των χωματουργικών έργων έγινε με το κόστος να είναι 35 ευρώ/ m^3 (Πίνακας 6.7).

Πίνακας 6.7. Κοστολόγηση εκσκαφών.

	Όγκος εκσκαφής m^3	**Τιμή ευρώ**
Σηπτικές δεξαμενές	7,400	259
Τεχνητός υγροβιότοπος	15,912	556,92
Δεξαμενή ζεόλιθου	3,60	126
Αντλιοστάσιο	0,735	25,73
ΣΥΝΟΛΟ	27,647	967,65

Οι κλίνες επενδύθηκαν με σκυρόδεμα και τα τοιχώματα είναι κατακόρυφα. επίσης, τοποθετήθηκαν γεωμεμβράνες και γεωυφάσματα για την πλήρη στεγανοποίηση της. Η γεωμεμβράνη τοποθετείται στον πυθμένα και στα τοιχώματα των κλινών και εκατέρωθεν της τοποθετήθηκε γεωύφασμα για την προστασία της από φθορές. Το κόστος για τις γεωμεμβράνες ανέρχεται στα 3.38 ευρώ/ m^2 και για τα γεωυφάσματα 1.7 ευρώ/ m^2 (Πίνακας 6.8).

Πινακας 6.8. Κοστολόγηση υλικών κλίνης.

Υλικό	**Επιφάνεια κάλυψης m^2**	**Τιμή ευρώ**
Γεωύφασμα	14,00	23,80
Γεωμεμβράνη	12,24	41,37
ΣΥΝΟΛΟ	26,24	65,15

Το εσωτερικό τμήμα της κλίνης του Τ.Υ, περιέχει σωλήνες κατακόρυφης ροής για την τροφοδοσία, εσωτερικής διαμέτρου 160 mm με ισοαπόσταση 50 cm κόστους 5,63 ευρώ/ m. Για την αποστράγγιση των κλινών κατακόρυφης ροής τοποθετήθηκαν σωλήνες εσωτερικής διαμέτρου 160 mm με ισοαπόσταση 50 cm. Τέλος, θα τοποθετηθούν σωλήνες αερισμού εσωτερικής διαμέτρου 10 cm ανά 1.2 m κόστους 5,63 ευρώ/ m . Οι σωλήνες που θα τοποθετηθούν (PEX) για την επαναχρησιμοποίηση του νερού κοστίζουν 2,1 ευρώ/ m. Ένα 20% θα προστεθεί στο σύνολο για να καλύψει το κόστος αγοράς περαιτέρω υδραυλικών εξαρτημάτων (Πίνακας 6.9).

Πίνακας 6.9. Κοστολόγηση σωλήνων.

Τύπος	**Μήκος m**	**Τιμή ευρώ**
Αγωγοί μεταφορας PEX	25,21	52.94
Σωλήνες Τροφοδοσίας PVC	14,40	81.07
Σωλήνες Αποστράγγισης PVC	14,40	81.07
Σωλήνες αερισμού	13,20	29.17
Σύνολο	67,21	244,26

Η αντλία που επιλέχθηκε για την υδροδότηση στο σπίτι κοστίζει 690 ευρώ. Η αντλία για τον Τ.Υ δεν έχει επιλεχθεί συγκεκριμένα μιας και οποιαδήποτε αντλία με την συγκεκριμένη ισχύ μπορεί να ανταποκριθεί. Στην συνολική τιμή προστίθεται 20% για τις ανάγκες διαμόρφωσης του αντλιοστασίου (Πίνακας 6.10).

Πίνακας 6.10. Κοστολόγηση αντλιών.

Τύπος Αντλίας	**Τιμή ευρώ**
SCALA2 3-45 A – 98562817	690
Αντλία υγροβιότοπου	230
Μερικό σύνολο	820
Ολικό σύνολο	984

Το κόστος για τα υλικά του υποστρώματος είναι 105 ευρώ/ m^3 και 92 ευρώ/ m^3 για τα δύο είδη χαλικιών. Ακόμη το κόστος των πετρωμάτων ζεόλιθου ανέρχεται στα 140 ευρώ/ m^3. Το συνολικό κόστος φαίνεται στον πίνακα (6.11).

Πίνακας 6.11. Κοστολόγηση υποστρώματος.

Πετρώματα	**Όγκος m^3**	**Τιμή ευρώ**
Λεπτό χαλίκι	9,07	952,35
Καλά πλυμένο χαλίκι	3,88	356,96
Ζεόλιθος	3,60	540,00
Μερικό σύνολο	12,96	1849,31
Σύνολο		2219,17

Το σύνολο του έργου υπολογίστηκε ότι ανέρχεται στα 3681.58 ευρώ.

Έγινε προσπάθεια προσδιορισμού του ετήσιου κόστους συντήρησης και λειτουργίας. Θεωρήθηκαν οι εξής παραδοχές:

- Ότι η αντλία λειτουργεί για 1 ώρα και 20 λεπτά και η ισχύς της είναι 550 W. Το κόστος της KWh είναι 0.15 ευρώ.
- Συντήρηση: 10 ευρώ/ pe/ χρόνο

Το συνολικό ετήσιο κόστος είναι 50 ευρώ.

6.6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συστήματα Τ.Υ. κατακόρυφης ροής αποτελούν σπουδαία μέθοδο απομάκρυνσης ρύπων από τα λύματα. Στην προκειμένη περίπτωση, απαραίτητη προϋπόθεση για την λειτουργία του συστήματος, είναι η εξασφάλιση της ποιότητας της εκροής από το σύστημα επεξεργασίας. Πριν την εγκατάσταση του υδραυλικού συστήματος θα πρέπει να υπάρξει μια περίοδος επιτήρησης ώστε να εξεταστεί η απόδοση του συστήματος. Μπορεί με τις υπάρχοντες μεθόδους να φτάνουμε σε ένα προσεγγιστικό αποτέλεσμα, όμως η φύσης της συγκεκριμένης μορφής Τ.Υ. εξαρτάται από πολλές μεταβλητές και που αλλάζουν από εφαρμογή σε εφαρμογή. Βέβαια, τα ενθαρρυντικά αποτελέσματα από άλλες εφαρμογές σε συνάρτηση με το ευνοϊκό κλίμα, δίνει την αυτοπεποίθηση ότι θα επιτευχθεί ο στόχος.

Το κόστος εγκατάστασης είναι ένα σημαντικό ποσό, αν αναλογιστεί κανείς ότι δεν συμπεριλαμβάνει τις εργατοώρες των εργατών. Παρόλα αυτά, με τον σχεδιασμό του υδραυλικού συστήματος, θα εξασφαλίζεται ημερησίως ένας μεγάλος όγκος νερού που προορίζεται για την χρήση στα καζανάκια και για πότισμα. Πρέπει να σημειωθεί ότι ο σηπτικός απορροφητικός βόθρος θα σφραγιστεί. Το πραγματικό όφελος είναι το περιβαλλοντικό αντίκτυπο που θα έχει ένα τέτοιο σύστημα στην παρούσα ταλαιπωρημένη περιοχή με το ανύπαρκτο αποχετευτικό σύστημα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ

Ανδρεαδάκης, Α., Πανταζίδου, Μ., Σταθόπουλος, Α. 2008, Περιβαλλοντική Τεχνολογία, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα

Καραμούζης Δ. 2003. Φυσικά Συστήματα Επεξεργασίας Λυμάτων Τεύχος 1: Τεχνητοί Υγροβιότοπο. Εκδόσεις Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Τσιχριντζής, Β.Α 2000. Οικολογική Μηχανική και Τεχνολογία, Τόμος Ι Διαχείριση Απορροής Ρύπων και Φερτών και Τόμος ΙΙ Φυσικές Μέθοδοι Επεξεργασίας Αποβλήτων- Πρόληψη Ρύπανσης. Εκδόσεις Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης

Γιώργος Τσακίρης 2010. Τόμος Ι Υδραυλικά έργα- Σχεδιασμός και Διαχείριση. Εκδόσεις Συμμετρία.

ΑΓΓΛΙΚΗ

Akratos, C.S., Tsihrintzis, V.A. 2007. Effect of temperature, HRT, vegetation and porous media on removal efficiency of pilot-scale horizontal subsurface flow constructed wetlands. Ecol. Eng. 29, 173–191.

Antonopoulou G., Kirkou A, Stasinakis A.S. 2013. Quantitative and qualitative greywater characterization in Greek households and investigation of their treatment using physicochemical methods, science of the Total Environment 454-455 426–432

Arias, C.A., Brix, H., Johansen, N.H. 2003. Phosphorus removal from municipal wastewater in an experimental two-stage vertical flow constructed wetland system equipped with a calcite filter. Water Sci. Technol. 48 (5), 51–58.

Arias, C.A., Brix, H., Marti, E. 2005. Recycling of treated effluents enhances removal of total nitrogen in vertical flow constructed wetlands. Journal of Environmental Science and Health 40, 1431–1443.

Bastviken Sophia (2006), *Nitrogen removal in treatment wetlands - Factors influencing spatial and temporal variations*, Department of Biology, Linköping University Institute of Technology, Dissertation No 1041, Linköping.

Brix, H. 1999. How green are aquaculture, constructed wetlands and conventional wastewater treatment systems? Water Science and Technology 40 (3), 45–50.

Brix, H. Arias, C.A. 2005. The use of vertical flow constructed wetlands for onsite treatment of domestic wastewater: New Danish guidelines. Ecol. Eng. 25, 491–500.

Cooper, P. 1999. A review of the design and performance of vertical-flow and hybrid reed bed treatment systems. Water Science and Technology 40 (3), 1–9.

Cooper, P.F., Job, G.D., Green, M.B., Shutes, R.B.E. 1996. Reed Beds and Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. Water Research Center Publications, Swindon, UK, 184p.

Cooper, P., Smith, M., Maynard, H. 1997. The design and performance of a nitrifying vertical-flow reed bed treatment system. Water Science and Technology 35 (5), 215 221.

Filippidis A. 2013. Industrial and municipal wastewater treatment by zeolitic tuff, Water Today 5 3 34–38.

Gikas, G.D., Tsihrintzis, V.A. 2010. On-site treatment of domestic wastewater using a small-scale horizontal subsurface flow constructed wetland. Water Science and Technology 62 (3), 603–614.

Gikas, G.D., Tsihrintzis, V.A. 2012. A small-size vertical flow constructed wetland for on-site treatment of household wastewater. Ecological Engineering 44, 337–343.

Karasavvidis Ch., Ioannou Z., Dimirkou A., Antoniadis V. 2012. Adsorption Of Dyes From Aqueous Solutions Onto Modified Zeolites, Wastewater Purification And Reuse Conference, Heraklion

Knight, R.L. 1997. Wildlife babitat and public use benefits of treatment wetlands. Water Science and Technology 35 (5), 35–43.

Knight, R.L., Kadlec, R.H., Ohlendorf, H.M. 1999. The use of treatment wetlands for petroleum industry effluents. Environmental Science and Technology 33 (7), 973–980.

Kotti, I.P., Gikas, G.D., Tsihrintzis, V.A. 2010. Effect of operational and design parameters on removal efficiency of pilot-scale FWS constructed wetlands and comparison with HSF systems. Ecol. Eng. 36, 862–875.

Langergraber, G., Haberl, R., Laber, J., Pressl, A. 2003. Evaluation of substrate clogging processes in vertical flow constructed wetlands. Water Science and Technology 48 (5), 25–34.

Langergraber, G., Prandtstetten, C., Pressl, A., Rohrhofer, R., Haberl, R. 2007a. Optimization of subsurface vertical flow constructed wetlands for wastewater treatment. Water Science and Technology 55 (7), 71–78.

Mara, D.D., Pearson, H.W. 1987. Wate Stabilization Ponds-Design Manual for Mediterranenan Europe, World Health Organization, Regional Office for Europe, EUR/ICP/CWS 053

Molle, P., Lie´nard, A., Grasmick, A., Iwema, A. 2006. Effect of reeds and feeding operations on hydraulic behavior of vertical flow constructed wetlands under hydraulic overloads. Water Research 40, 606–612.

Rybicki Stanislaw (1997), Report no 1. Phosphorus removal from wastewater: A Literature review, Division of Water Resources Engineering, Department of Civil and Environmental Engineering, Royal Institute of Technology, Stockholm

Seidel, K. 1953. Pflanzungen zwischen Gewa¨ssern und Land. Mitteilungen Max-Planck Gesselschaft, 17–20.

Seidel, K. 1965. Neue Wege zur Grundwasseranreicherung in Krefeld, Vol. II. Hydrobotanische Reinigungsmethode. GWF Wasser/Abwasser 30, 831–833.

Seidel, K. 1966. Reinigung von Gewassern durch hohere Pflanzen. Deutsche Naturwissenschaft 12, 297–298.

Stefanakis, A.I., Tsihrintzis, V.A. 2009a. Effect of outlet water level raising and effluent recirculation on removal efficiency of pilot-scale horizontal subsurface Flow Constructed Wetlands. Desalination 248 (1–3), 961–976.

Stefanakis, A.I., Tsihrintzis, V.A. 2009b. Performance of pilot-scale vertical flow constructed wetlands treating simulated municipal wastewater: effect of various design parameters. Desalination 248, 753–770.

Stottmeister, U., Wiessner, A., Kuschk, P., Kappelmeyer, U., Ka¨stner, M., Bederski, O., Muller, R.A., Moormann, H. 2003. Effects of plants and microorganisms in constructed wetlands for wastewater treatment. Biotechnology Advances 22, 93–117.

Tsihrintzis, V.A., Vasarhelyi, G.M., Lipa, J. 1995a. Hydrodynamic and constituent transport modeling of coastal wetlands. Journal of Marine Environmental Engineering 1 (4), 295–314.

Tsihrintzis, V.A., Vasarhelyi, G.M., Lipa, J. 1995b. Multiobjective approaches in freshwater wetland restoration and design. Water International 20 (2), 98–105.

Tsihrintzis, V.A., Vasarhelyi, G.M., Lipa, J. 1996. Ballona Wetland: A multi-objective salt marsh restoration plan. Water, Maritime and Energy 118 (2), 131–144.

Tsihrintzis, V.A., Akratos, C.S., Gikas, G.D., Karamouzis, D., Angelakis, A.N. 2007. Performance and cost comparison of a FWS and a VFS constructed wetlands system. Environmental Technology 28, 621–628.

USEPA 1993. Standards for the Use and Disposal of Sewage Sludge, 40 CFR Part 503,

USEPA 1995. A Handbook of Constructed Wetlands – Volume 1: General Considerations, USEPA Region III with USDA, NRCS. 28, 621–628.

USEPA 2000. EPANET2, MANUAL. EPA/600/R-00/057. September. U.S. Environmental Protection Agency: Office of Water, Washington, D.C., USA.

USEPA 2002. Onsite Wastewater Treatment Systems Manual. EPA/625/R-00/008, U.S. Environmental Protection Agency: Office of Water, Washington, D.C., USA.

USEPA 2004. Constructed Treatment Wetlands. EPA 843-F-03-013. U.S. Environmental Protection Agency: Office of Water, Washington, D.C., USA.

Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P.F., Green, M.B., Haberl, R. 1998. Constructed Wetlands for wastewater treatment in Europe. Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands.

Vymazal, J. 2009. The use constructed wetlands with horizontal sub-surface flow for various types of wastewater. Ecological Engineering 35, 1–17.

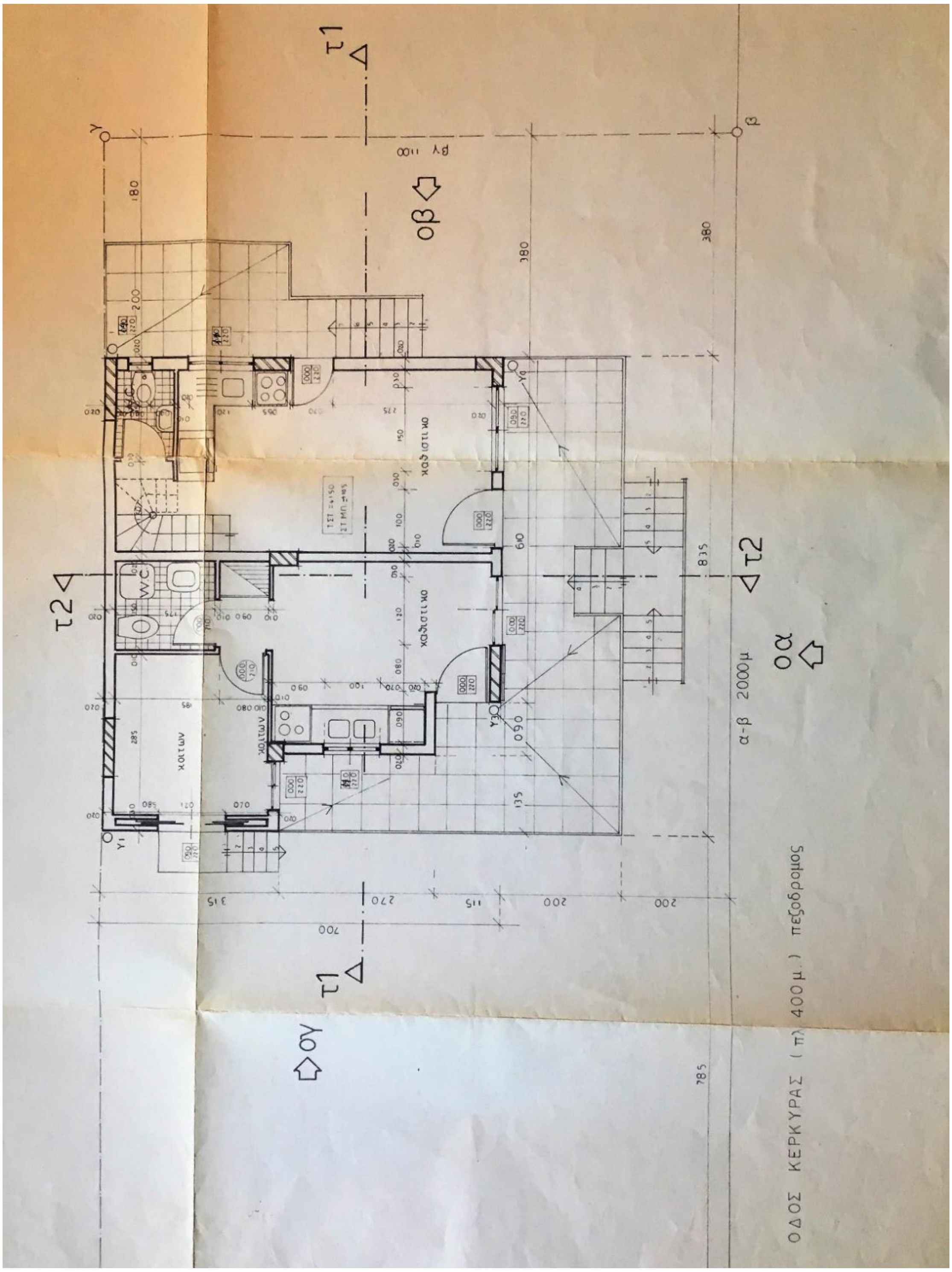
Vymazal, J., Greenway, M., Tonderski, K., Brix, H., Mander, U. 2006. Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. In: Verhoeven, J.T.A., Beltman, B., Bobbink, R., Whigham, D.F.

Vymazal, J. 2005a. Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment. Ecological Engineering 25, 478–490.

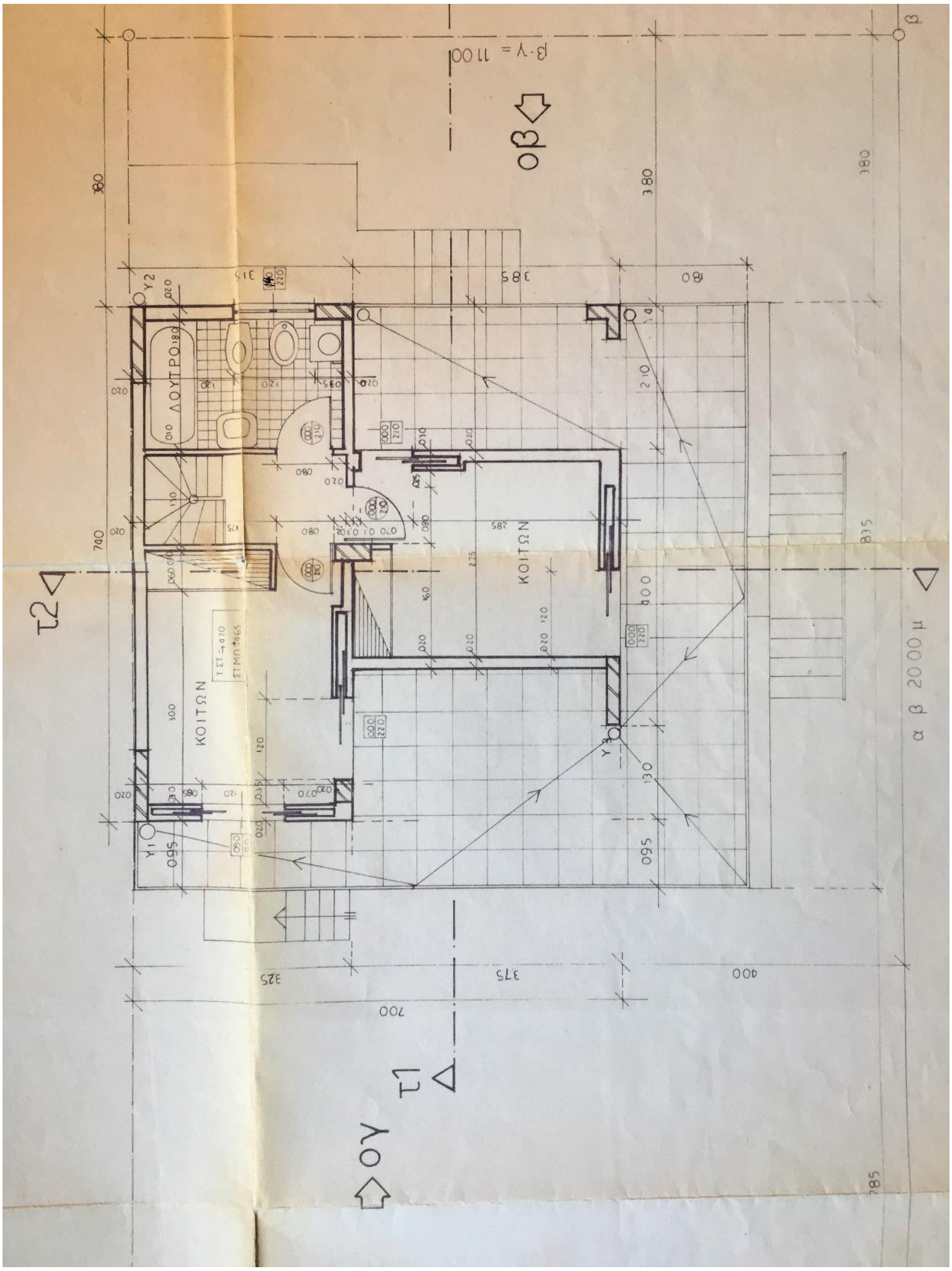
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Πίνακας Α.1 επιτρεπόμενες τιμές νερού, (ΠΗΓΗ: http://www.ypeka.gr/).

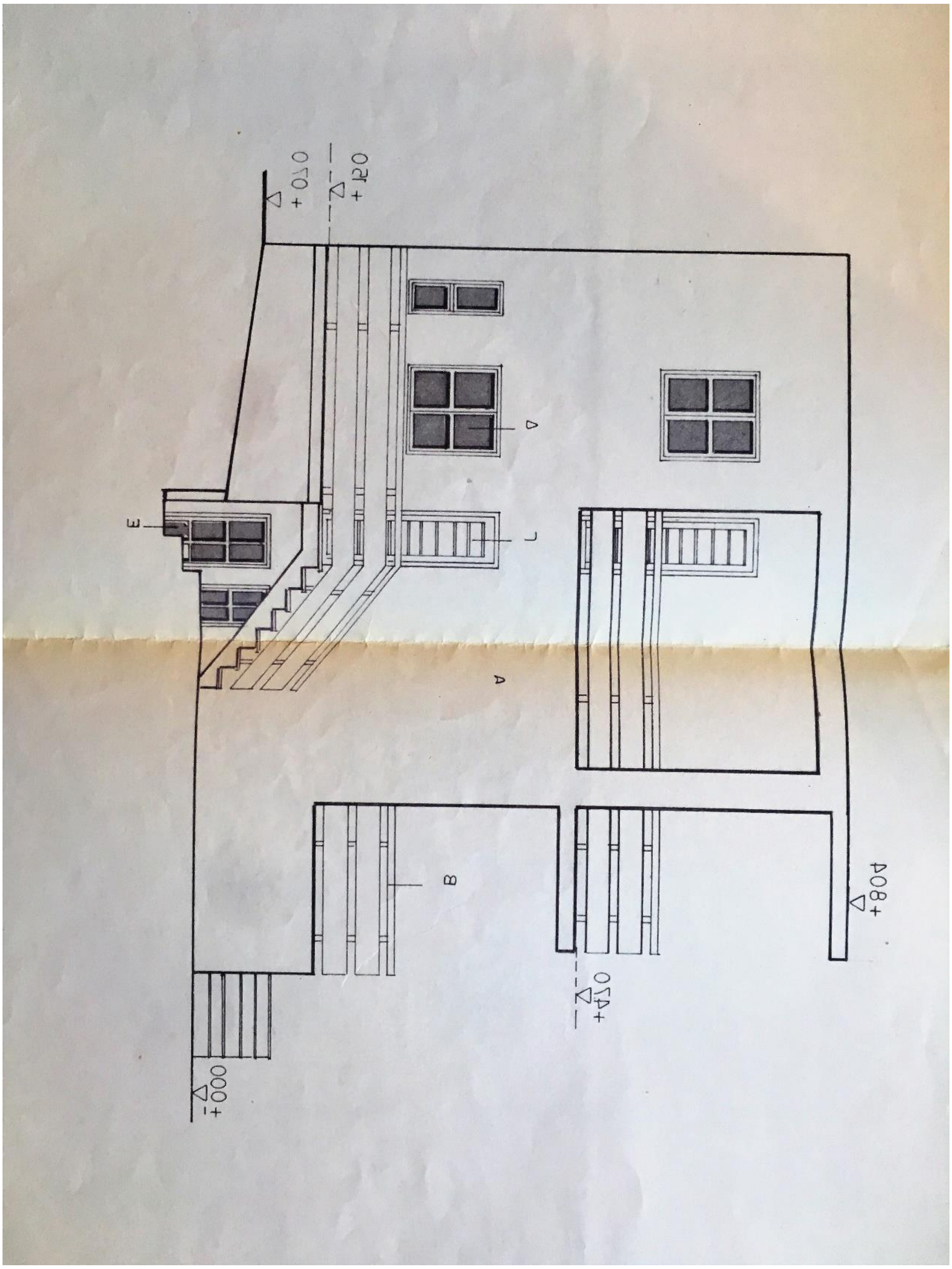
Τύπος επαναχρησιμοποίησης	**Ολικά κολοβακτηρίδια (TC/100 mL)**	**BOD5 (mg/L)**	**SS (mg/L)**	**Θολότητα (NTU)**	**Κατελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία**	**Ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων νερού προς επαναχρησιμοποίηση**
Αστική χρήση Μεγάλες εκτάσεις (νεκροταφεία, πρανή αυτοκινητόδρομων, γήπεδα γκόλφ, δημόσια πάρκα), εγκαταστάσεις αναψυχής, κατάσβεση πυρκαγιών, συμπύκνωση εδαφών, καθαρισμός οδών και πεζοδρομίων, διακοσμητικά σιντριβάνια. Πότισμα με καταιονισμό απαγορεύεται.	≤ 2 για το 80% των δειγμάτων και <= 20 για το 95% των δειγμάτων	≤10 για το 80% των δειγμάτων	≤2 για το 80% των δειγμάτων	≤ 2 διάμεση τιμή	Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία ακολουθούμενη από προχωρημένη επεξεργασία και απολύμανση	BOD5, SS, N, P (σύμφωνα με το ΦΕΚ 192/Β/14.3.97), Θολότητα διαπερατότητα, TC 2 φορές ανά εβδομάδα,



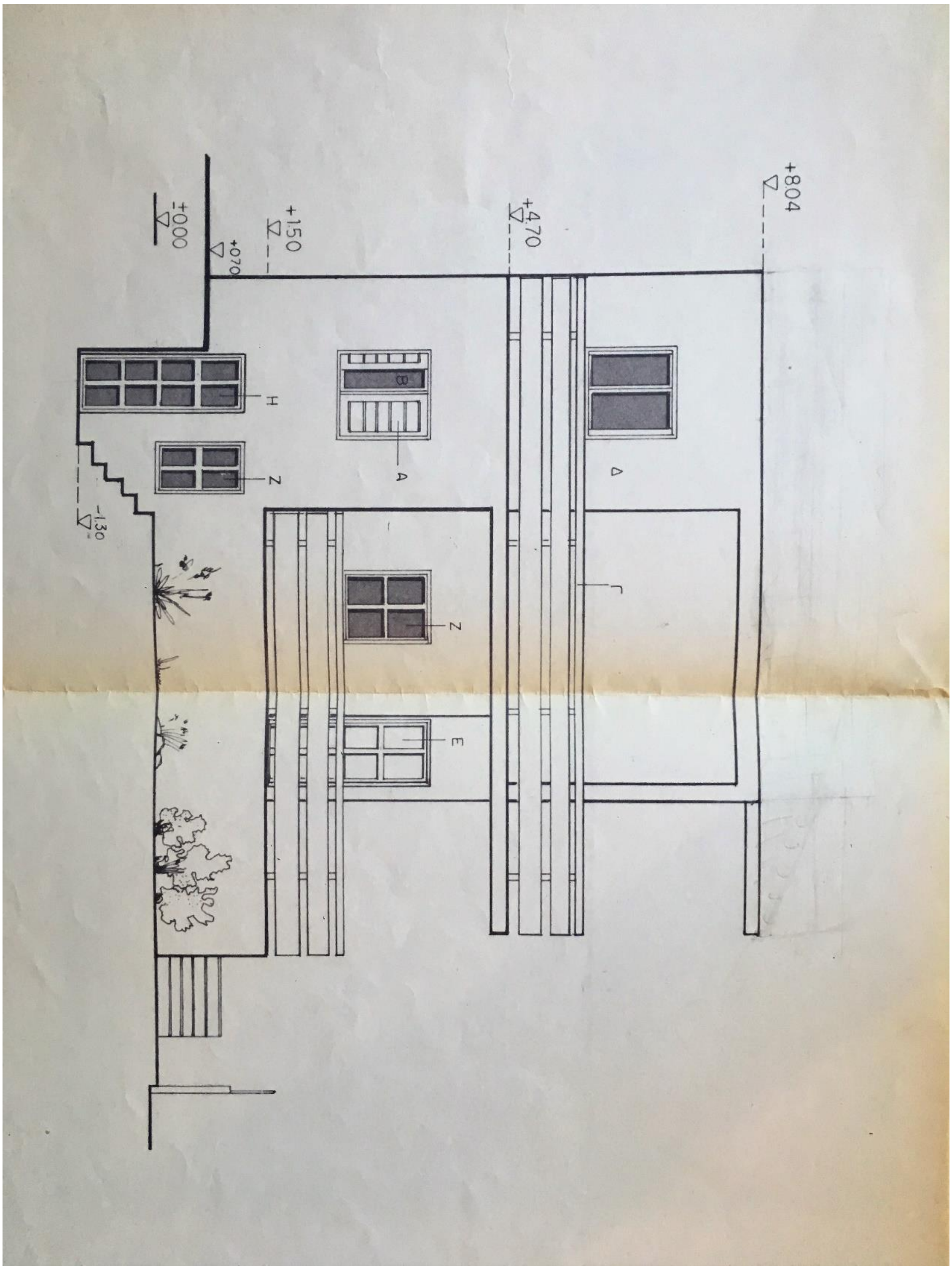
Εικόνα Α1. Κάτοψη ισογείου.



Εικόνα Α2. Κάτοψη ορόφου



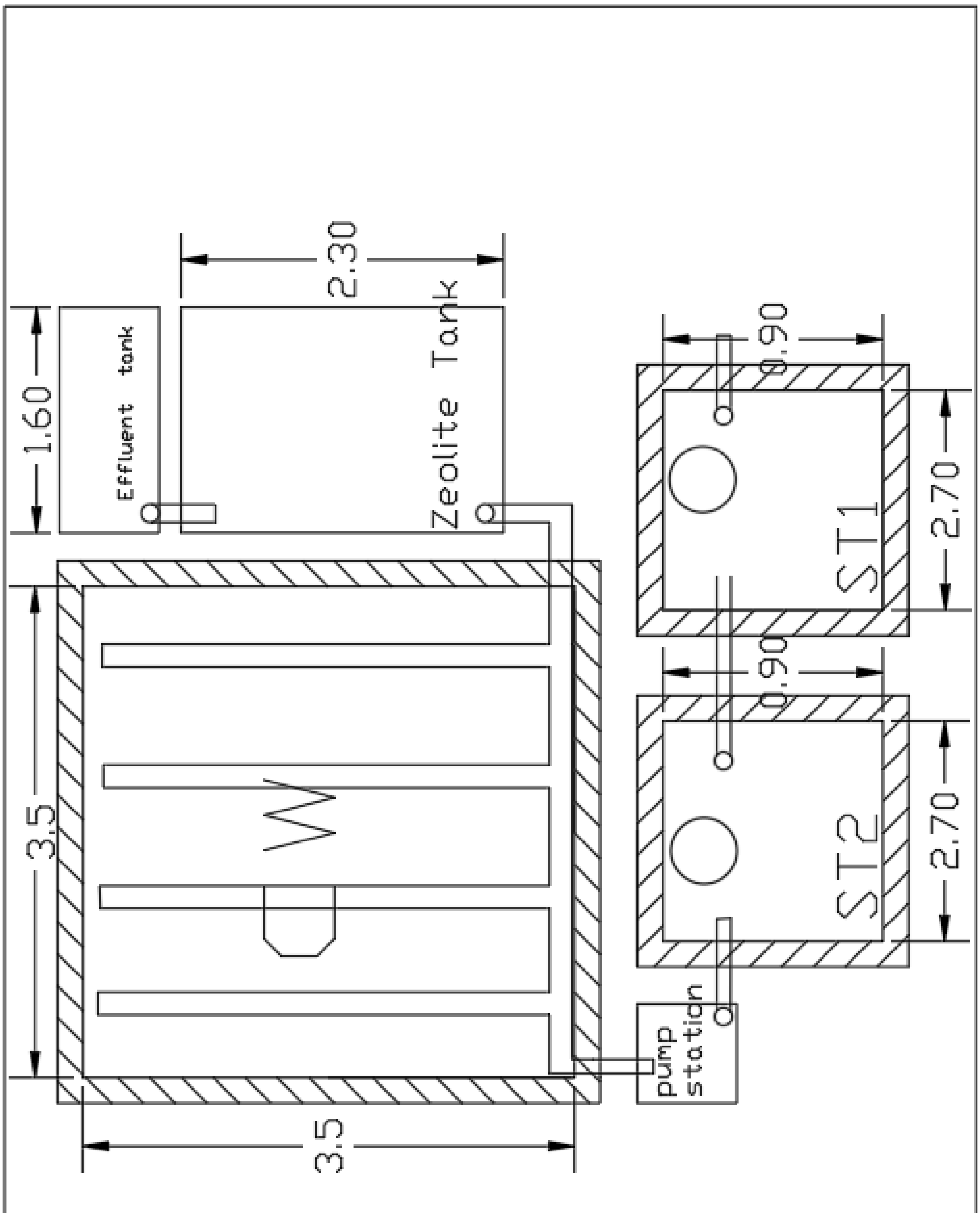
Εικόνα Α3. Όψη οικίας ΟΓ



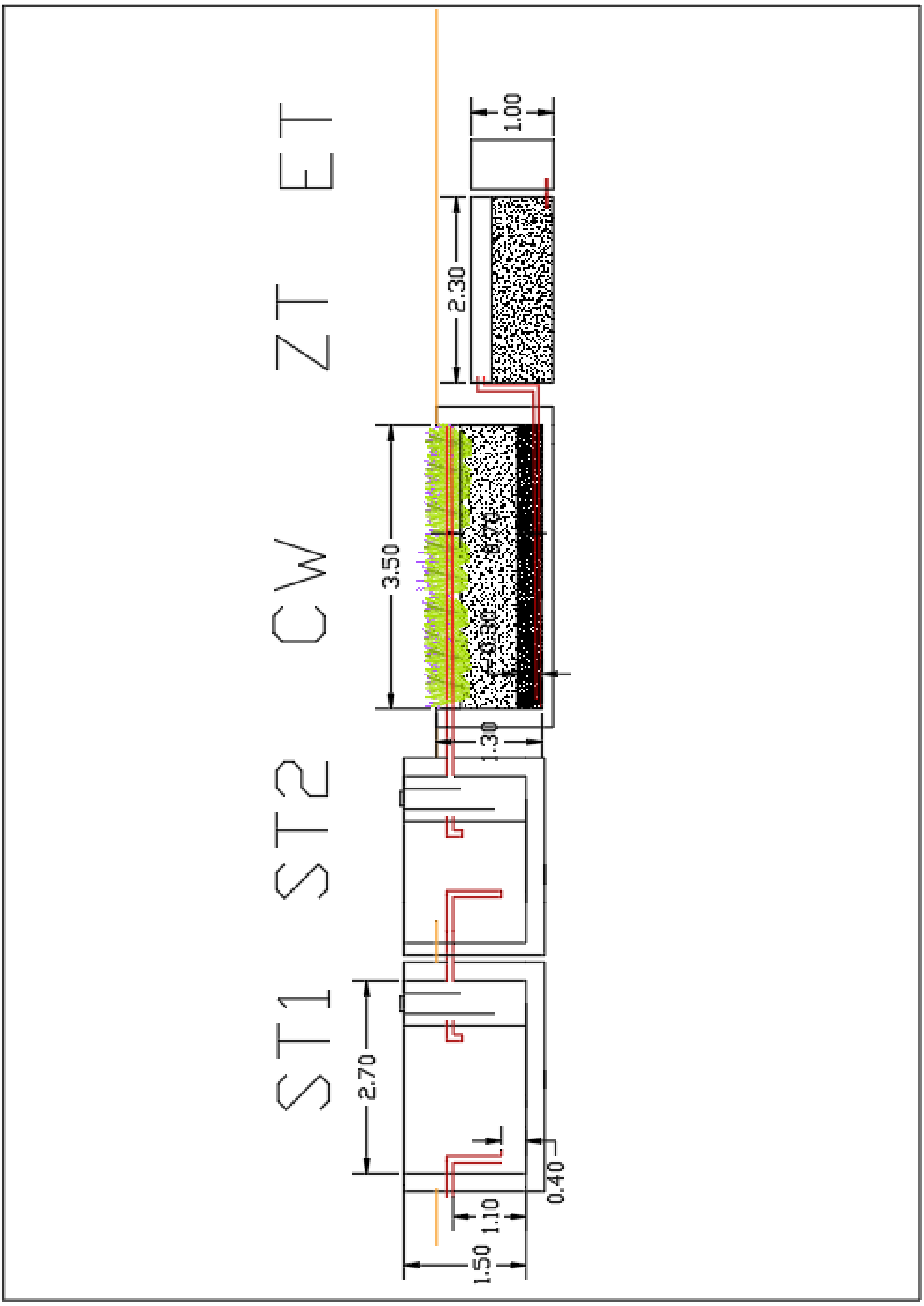
Εικόνα Α4. Όψη ΟΒ.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

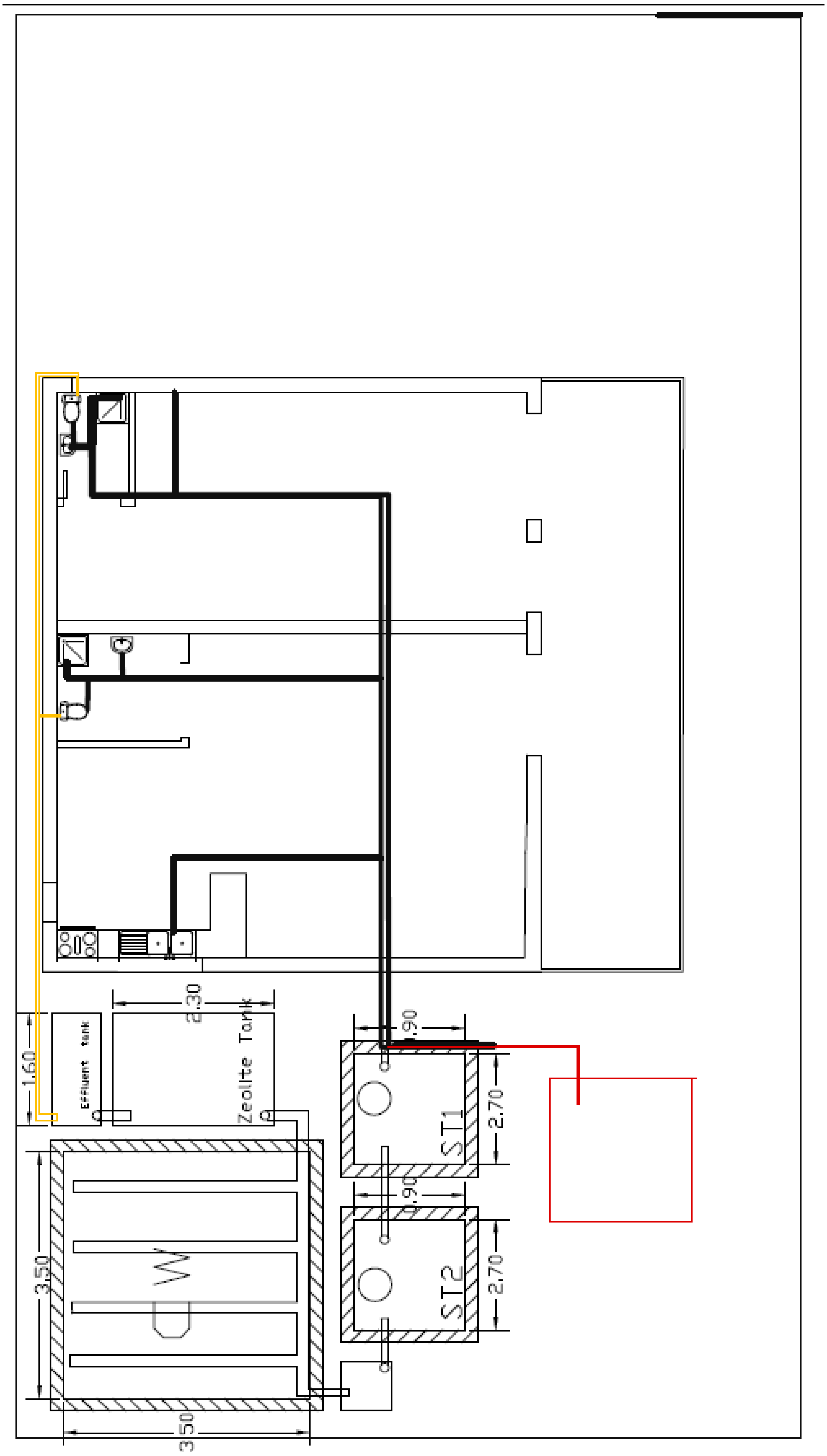
Σχέδιο Β1. Κάτοψης συστήματος τεχνητού υγροβιότοπου.



Σχέδιο Β2. Τομή συστήματος τεχνητού υγροβιότοπου.



Σχέδιο Β3. Κάτοψη χωροθέτησης του συστήματος τεχνητού υγροβιότοπου.



Περίπτωση Α

Πίνακας Β.1. Κόμβοι συστήματος όπου το δεύτερο καζανάκι του ισογείου και το καζανάκι του ορόφου τίθενται σε λειτουργία.

	Elevation	Head	Pressure
Node ID	m	m	m
Junc J1YPOG	1	20.94	19.94
Junc J2YPOG	1	20.87	19.87
Junc J1ISOG	2.7	20.94	18.24
Junc J2ISOG	2.7	20.84	18.14
Junc J2OROF	6	20.8	14.8
Junc PUMP1	1	20.94	19.94
Junc Jirrigation	1	20.87	19.87

Πίνακας B.2. Αγωγοί συστήματος. Το δεύτερο καζανάκι του ισογείου και το καζανάκι του ορόφου τίθενται σε λειτουργία.

Network Table - Links at 16:41 Hrs						
	L	D	Rough.	Flow	V	U. Headloss
Link ID	m	mm		LPM	m/s	m/km
Pipe Pmain2	5.42	26	150	16	0.5	12.58
Pipe PV1(YP-IS)	2.5	20	150	0	0	0
Pipe PV2(YP-IS)	2.5	20	150	8	0.42	12.51
Pipe PV2(IS-OROF)	2.5	20	150	8	0.42	12.5
Pipe Pirrigation	5.28	12	150	0	0	0
Pipe Pmain1	5.51	32	150	16.00	0.33	4.58
Pipe PT1ISOG	0.33	12	150	0	0	0
Pipe PT1YPOG	0.33	12	150	0	0	0
Pipe PT2YPOG	0.33	12	150	8	1.18	150.57
Pipe PT2ISOG	0.33	12	150	0	0	0
Pipe PT2OROF	0.33	12	150	8	1.18	150.56

Περίπτωση Β

Πίνακας Β.3. Κόμβοι συστήματος όπου το καζανάκι του ορόφου και το πρώτο καζανάκι του ισογείου και το δεύτερο καζανάκι του υπογείου τίθενται σε λειτουργία.

Network Table - Nodes at 15:28 Hrs			
	Elevation	Head	Pressure
Node ID	m	m	m
Junc J1YPOG	1	13.35	12.35
Junc J2YPOG	1	13.21	12.21
Junc J1ISOG	2.7	13.32	10.62
Junc J2ISOG	2.7	13.1	10.4
Junc J2OROF	6	13.07	7.07
Junc PUMP1	1	13.44	12.44
Junc Jirrigation	1	13.21	12.21

Πίνακας Β.4. Αγωγοί συστήματος. Το καζανάκι του ορόφου και το πρώτο καζανάκι του ισογείου και το δεύτερο του υπογείου τίθενται σε λειτουργία.

Network Table - Links at 15:28 Hrs						
	L	D	Rough.	Flow	V	U. Headloss
Link ID	m	mm		LPM	m/s	m/km
Pipe Pmain2	5.42	26	150	24	0.75	26.65
Pipe PV1(YP-IS)	2.5	20	150	8	0.42	12.5
Pipe PV2(YP-IS)	2.5	20	150	16	0.85	45.14
Pipe PV2(IS-OROF)	2.5	20	150	8	0.42	12.5
Pipe Pirrigation	5.28	12	150	0	0	0
Pipe Pmain1	5.51	32	150	32	0.66	16.51
Pipe PT1ISOG	0.33	12	150	8	1.18	150.55
Pipe PT1YPOG	0.33	12	150	0	0	0
Pipe PT2YPOG	0.33	12	150	8	1.18	150.55
Pipe PT2ISOG	0.33	12	150	8	1.18	150.55
Pipe PT2OROF	0.33	12	150	8	1.18	150.54

Περίπτωση Γ

Πίνακας Β.5. Κόμβοι συστήματος όπου ο μηχανισμός ποτίσματος και το δεύτερο καζανάκι του υπογείου τίθενται σε λειτουργία.

Network Table - Nodes at 23:45 Hrs			
	Elevation	Head	Pressure
Node ID	m	m	m
Junc J1YPOG	1	21.75	20.75
Junc J2YPOG	1	21.7	20.7
Junc J1ISOG	2.7	21.75	19.05
Junc J2ISOG	2.7	21.7	19
Junc J2OROF	6	21.7	15.7
Junc PUMP1	1	21.77	20.77
Junc Jirrigation	1	21.35	20.35

Πίνακας Β.6. Αγωγοί του συστήματος. Ο μηχανισμός ποτίσματος και το δεύτερο καζανάκι του υπογείου τίθενται σε λειτουργία.

Network Table - Links at 11:45 Hrs						
	L	D	Rough	Flow	V	U. Headloss
Link ID	m	mm		LPM	m/s	m/km
Pipe Pmain2	5.42	26	150	13.19	0.41	8.8
Pipe PV1(YP-IS)	2.5	20	150	0	0	0
Pipe PV2(YP-IS)	2.5	20	150	0	0	0
Pipe PV2(IS-OROF)	2.5	20	150	0	0	0
Pipe Pirrigation	5.28	12	150	5.19	0.77	67.57
Pipe Pmain1	5.51	32	150	13.2	0.27	3.2
Pipe PT1ISOG	0.33	12	150	0	0	0
Pipe PT1YPOG	0.33	12	150	0	0	0
Pipe PT2YPOG	0.33	12	150	8	1.18	150.57
Pipe PT2ISOG	0.33	12	150	0	0	0
Pipe PT2OROF	0.33	12	150	0	0	0