



*Σχεδιασμός Εγκατάστασης Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων με τη Μέθοδο των  
Τεχνητών Υγροβιότοπων*

---

*Διπλωματική Εργασία*



Εκπόνηση: Κωνσταντίνος Δουληγέρης

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

Αθήνα, Ιούλιος 2016





*Σχεδιασμός Εγκατάστασης Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων με τη Μέθοδο των  
Τεχνητών Υγροβιότοπων*

---

*Διπλωματική Εργασία του Κωνσταντίνου Δουληγέρη*

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

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 8<sup>η</sup> Ιουλίου 2016.

*(Υπογραφή)*

.....  
Β. Τσιχριντζής  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

*(Υπογραφή)*

.....  
Γ. Τσακίρης  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

*(Υπογραφή)*

.....  
Ι. Ναλμπάντης  
Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2016



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα της διπλωματικής μου εργασίας καθ. Βασίλειο Τσιχριντζή για την ανάθεση της διπλωματικής εργασίας με θέμα «Σχεδιασμός Εγκατάστασης Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων με τη Μέθοδο των Τεχνητών Υγροβιότοπων», καθώς και για τη στενή και συνεχή καθοδήγηση που μου παρείχε καθόλη τη διάρκεια της εκτέλεσης της διπλωματικής αυτής. Χωρίς τη συνεχή ενθάρρυνσή του, την επιστημονική του συνδρομή και τις εύστοχες παρεμβάσεις του δε θα ήταν δυνατή η ολοκλήρωση της εργασίας αυτής στα στενά περιθώρια του ενός ακαδημαϊκού εξαμήνου. Θα ήθελα, επίσης, να τον ευχαριστήσω για την αμέριστη συμπαράστασή του και την καθοδήγησή του στην αναζήτηση κατάλληλων μεταπτυχιακών προγραμμάτων.

Ο καθ. Γεώργιος Τσακίρης αποτέλεσε για μένα πηγή έμπνευσης καθόλη τη διάρκεια των προπτυχιακών μου σπουδών και συνέβαλε σημαντικά στην επιλογή της κατεύθυνσης των Υδατικών Πόρων, καθώς και στο γενικότερο επιστημονικό μου προσανατολισμό. Του οφείλω, επίσης, ένα μεγάλο ευχαριστώ για την απεριόριστη στήριξή του κατά την περίοδο των αιτήσεών μου για μεταπτυχιακές σπουδές.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ακόμα τον καθ. Ιωάννη Ναλμπάντη, ο οποίος δέχτηκε να είναι μέλος της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής της διπλωματικής μου εργασίας. Θα θυμάμαι πάντα τις διαλέξεις του στα μαθήματα των Ανοικτών Αγωγών και της Υγειονομικής Τεχνολογίας οι οποίες κέντρισαν το ενδιαφέρον μου για τους υδατικούς πόρους και μου άνοιξαν το δρόμο που με οδήγησε στην επιλογή του αντικειμένου αυτού για την διπλωματική μου εργασία. Τέλος, οι εύστοχες παρατηρήσεις του για τη δομή και το περιεχόμενο της διπλωματικής αυτής εργασίας βοήθησαν σημαντικά στην τελική της εμφάνιση και ολοκλήρωση.

Στο μοναχικό δρόμο της διπλωματικής εργασίας, βρήκα πολύτιμους συμπαραστάτες και υποστηρικτές, εκλεκτούς φίλους και συναδέλφους και διαπίστωσα για μία ακόμη φορά την ειλικρινή και άδολη συμπαράσταση, βοήθεια, κατανόηση και ενθάρρυνση της οικογένειάς μου. Σας ευχαριστώ όλους.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζει το πρόβλημα της επεξεργασίας υγρών αποβλήτων σε μικρούς οικισμούς και πιο συγκεκριμένα σε οικισμούς στους οποίους δεν έχει προβλεφθεί η δημιουργία αποχετευτικού συστήματος.

Ένας τέτοιος οικισμός είναι ο Ράφτης Γορτυνίας, ένας ορεινός οικισμός 107 μόνιμων κατοίκων που βρίσκεται στο Νομό Αρκαδίας της Πελοποννήσου. Η πρόσφατη δημιουργία στον οικισμό αθλητικού κέντρου, πισίνας και ξενώνα προσελκύει τους θερινούς μήνες επισκέπτες τόσο από την Αθήνα όσο και από τα γύρω χωριά, με αποτέλεσμα ο πληθυσμός στα μέσα Αυγούστου να αγγίζει τα 500 άτομα.

Ο Ράφτης δε διαθέτει δίκτυο αποχέτευσης, γεγονός που σε συνδυασμό με τα γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής (έδαφος με μικρή υδροπερατότητα) καθιστά προβληματική την επεξεργασία και τη διάθεση των υγρών αποβλήτων με σηπτικούς και με απορροφητικούς βόθρους ή με άλλα ιδιωτικά συστήματα αποχέτευσης.

Σκοπός της διπλωματικής αυτής εργασίας είναι ο σχεδιασμός μιας εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων (Ε.Ε.Α.), η οποία θα επεξεργάζεται τα αστικά υγρά απόβλητα (λύματα) του οικισμού με ένα αποτελεσματικό, αλλά και συνάμα περιβαλλοντικά αποδεκτό τρόπο. Η προτεινόμενη εγκατάσταση δε θα είναι όμοια με τα συμβατικά συστήματα (εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού) που χρησιμοποιούνται έως σήμερα στην ευρύτερη περιοχή, αλλά θα αξιοποιεί τις φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες που πραγματοποιούνται σε συστήματα υγροβιότοπων για την επεξεργασία των λυμάτων. Οι τεχνητοί υγροβιότοποι χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, έχουν μηδαμινές περιβαλλοντικές επιπτώσεις και το κόστος κατασκευής και λειτουργίας τους είναι εξαιρετικά χαμηλό, καταστάσεις που εντάσσουν το προτεινόμενο έργο στο πλαίσιο της αειφορίας και της βιώσιμης ανάπτυξης.

Η διπλωματική αυτή εργασία αποτελεί μια ολοκληρωμένη προμελέτη (ανάλυση υφιστάμενης κατάστασης, σχεδιασμό και κοστολόγηση) της δημιουργίας Ε.Ε.Α. στον οικισμό του Ράφτη, η υλοποίηση της οποίας θα συμβάλει στην προστασία του περιβάλλοντος και κυρίως των υδατικών οικοσυστημάτων, καθώς και θα δημιουργήσει τις προϋποθέσεις για την αναβάθμιση της κοινωνικής ζωής και τη συγκράτηση του ντόπιου πληθυσμού.

**Λέξεις-Κλειδιά:** Επεξεργασία αστικών υγρών αποβλήτων, τεχνητοί υγροβιότοποι, οριζόντια υπόγεια ροή, κατακόρυφη ροή.

## **ABSTRACT**

This diploma thesis deals with the problem of wastewater treatment in small settlements, and specifically, in settlements where there is no drainage system.

One such settlement is Raftis in the municipality of Gortynia, a mountainous village of 107 residents, which is located in the prefecture of Arkadia in Peloponnisos. The recent construction of a sports center, a swimming pool and a guest house in the region of the settlement attracts numerous visitors from both Athens and the nearby villages during the summer period, resulting in a population growth, which can reach an equivalent population of 500 people in mid-August.

The fact that Raftis does not possess a sewage drainage system, combined with the geological features of the study area (soil with low permeability) makes the disposal of wastewater in septic tanks and leaching cesspools or in other private sewer systems, problematic and hazardous.

The aim of this diploma thesis is the design of a wastewater treatment plant, which will treat the municipal wastewater in an efficient and environmentally friendly way. The proposed facility will not be similar to the conventional systems (i.e., the commonly used biological treatment plants) used to date in the surrounding area, but it will utilize the natural, chemical and biological processes which take place in wetlands. Constructed wetlands use renewable energy sources, have minimal environmental impact and their construction and operation costs are extremely low, factors which place the proposed project in the context of sustainable development.

This diploma thesis constitutes a complete preliminary design (analysis of the current situation, design and costing) of a wastewater treatment plant in Raftis settlement, whose implementation will contribute to the protection of the environment and particularly of aquatic ecosystems and will create the conditions for the upgrading of social life and the welfare and retention of the local population.

**Key Words:** Municipal wastewater treatment, constructed wetlands, horizontal subsurface flow, vertical flow.

<b>ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ</b>	<b>ΣΕΛ.</b>
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1. Γενικά.....	1
1.2. Αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας .....	3
1.3. Δομή της Διπλωματικής Εργασίας .....	3
2. ΦΥΣΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	7
2.1. Ιστορική Αναδρομή στα Φυσικά Συστήματα Επεξεργασίας.....	7
2.2. Σύγκριση Φυσικών και Συμβατικών Συστημάτων Επεξεργασίας.....	9
2.2.1. Προβλήματα και αδυναμίες συμβατικών συστημάτων επεξεργασίας.....	9
2.2.2. Πλεονεκτήματα φυσικών συστημάτων.....	10
3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΥΓΡΟΒΙΟΤΟΠΩΝ.....	15
3.1. Φυσικοί Υγροβιότοποι.....	15
3.2. Τεχνητοί Υγροβιότοποι.....	16
3.2.1. Τεχνητοί υγροβιότοποι επιφανειακής ροής .....	20
3.2.2. Τεχνητοί υγροβιότοποι οριζόντιας υπόγεια ροής.....	21
3.2.3. Τεχνητοί υγροβιότοποι κατακόρυφης υπόγεια ροής.....	22
3.2.4. Υβριδικά συστήματα τεχνητών υγροβιότοπων.....	25
4. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΤΟΥΣ ΤΕΧΝΗΤΟΥΣ ΥΓΡΟΒΙΟΤΟΠΟΥΣ .....	27
4.1. Βασικά Βήματα Σχεδιασμού.....	27
4.2. Χωροθέτηση .....	28
4.3. Βλάστηση.....	30
4.3.1. Τα χρησιμοποιούμενα είδη φυτών .....	30
4.3.2. Ο ρόλος των φυτών.....	33
4.4. Υπόστρωμα και Πορώδη Υλικά .....	35
4.5. Μηχανισμοί Απομάκρυνσης Ρύπων .....	36
4.5.1. Απομάκρυνση αιωρούμενων στερών.....	37
4.5.2. Απομάκρυνση οργανικού φορτίου.....	38
4.5.3. Απομάκρυνση αζώτου .....	41
4.5.4. Απομάκρυνση φωσφόρου .....	43
4.5.5. Απομάκρυνση παθογόνων μικροοργανισμών.....	44
4.5.6. Απομάκρυνση μετάλλων .....	44
4.6. Νομοθετικό Πλαίσιο για τη Διαχείριση των Υγρών Αποβλήτων.....	45
4.6.1. Κοινοτικό δίκαιο .....	46
4.6.2. Ελληνική Νομοθεσία .....	47



5. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ: ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ....	49
5.1. Φυσικό Περιβάλλον .....	49
5.1.1. Γεωγραφική θέση.....	49
5.1.2. Γεωμορφολογία.....	50
5.1.3. Γεωλογία .....	51
5.1.4. Υδρογεωλογία της ευρύτερης περιοχής.....	53
5.1.5. Κλιματικά Στοιχεία .....	53
5.1.6. Χλωρίδα - Πανίδα.....	54
5.2. Εδαφοκάλυψη - Χρήσεις Γης .....	56
5.2.1. Προστατευόμενες Περιοχές.....	58
5.3. Ανθρωπογενές Περιβάλλον .....	59
5.3.1. Διάρθρωση Οικονομικής Δραστηριότητας.....	60
5.3.2. Βασικές Υποδομές .....	62
5.4. Υφιστάμενες πηγές ρύπανσης.....	63
6. ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ .....	65
6.1. Δημογραφικά Στοιχεία.....	65
6.2. Υπολογισμός Παροχών.....	67
6.3. Ποιοτική Σύσταση Λυμάτων .....	67
7. ΔΙΑΤΑΞΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ.....	71
7.1. Περιγραφή Διαγράμματος Ροής Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων .....	71
7.2. Εσχάρωση .....	73
7.3. Αναερόβια Δεξαμενή Σταθεροποίησης .....	75
7.4. Κλίνες Κατακόρυφης Ροής.....	79
7.4.1. Διαδικασία κατασκευής .....	82
7.4.2. Επιλογή υλικών πλήρωσης .....	83
7.4.3. Φυτεύσεις.....	85
7.4.4. Απόδοση αφαίρεσης ρύπων .....	86
7.4.5. Στρατηγική τροφοδοσίας και διανομής λυμάτων στις κλίνες.....	88
7.4.6. Φαινόμενα έμφραξης των πόρων.....	89
7.5. Σίφωνας Διακοπτόμενης Ροής .....	90
7.6. Κλίνες Οριζόντιας Υπόγειας Ροής (HFSW).....	91
7.6.1. Βασικές παράμετροι σχεδιασμού.....	91
7.6.2. Εκτίμηση απαιτούμενης επιφάνειας και χρόνου παραμονής.....	93

7.6.3. Υπολογισμός θερμικών απωλειών.....	94
7.6.4. Υδραυλικοί Υπολογισμοί .....	95
7.7. Αφαίρεση Ρύπων.....	101
8. ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ ΕΡΓΟΥ .....	105
9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ .....	111
10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ .....	113
11. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: ΤΕΛΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ .....	120

**ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ**

ΣΕΛ.

Εικόνα 2.1: Το σύστημα αποχέτευσης στο παλάτι της Κνωσσού .....	8
Εικόνα 2.2: Ενέργεια σε φυσικά και συμβατικά συστήματα.....	11
Εικόνα 3.1: Διάκριση ΤΥ για επεξεργασία λυμάτων με βάση τη κατεύθυνση ροής ..	18
Εικόνα 3.2: Διάκριση ΤΥ για επεξεργασία λυμάτων με βάση τα χρησιμοποιούμενα μακρόφυτα .....	19
Εικόνα 3.3 : Τεχνητός υγροβιότοπος επιφανειακής ροής.....	20
Εικόνα 3.4: Αναπαράσταση τεχνητού υγροβιότοπου οριζόντιας υπόγειας ροής .....	21
Εικόνα 3.5: Τεχνητός υγροβιότοπος κατακόρυφης υπόγειας ροής .....	23
Εικόνα 3.6: Οι δύο συνηθέστεροι συνδυασμοί διαφορετικών τύπων ΤΥ σε υβριδικά συστήματα.....	25
Εικόνα 4.1: Ψαθί ( <i>Typha</i> spp.) .....	31
Εικόνα 4.2: Σήφη ( <i>Scirpus</i> spp.).....	31
Εικόνα 4.3: Καλάμι ( <i>Phragmites</i> spp.).....	32
Εικόνα 4.4: Βούρλο ( <i>Juncus</i> spp.) .....	33
Εικόνα 4.5: Σπαθόχορτο ( <i>Carex</i> spp.) .....	33
Εικόνα 4.6: Κύκλος άνθρακα σε συστήματα υγροβιότοπων .....	40
Εικόνα 4.7: Κύκλος αζώτου σε συστήματα υγροβιότοπων .....	43
Εικόνα 4.8: Κύκλος φωσφόρου σε συστήματα υγροβιότοπων .....	44
Εικόνα 5.1: Χάρτης Δημοτικών Ενοτήτων του Δήμου Γορτυνίας.....	50
Εικόνα 5.2: Κατανομή γης Δήμου Γορτυνίας.....	58
Εικόνα 5.3: Διάρθρωση των τομέων παραγωγής στο Δήμο Γορτυνίας .....	60
Εικόνα 5.4: Είδη καλλιέργειας στο Δήμο Γορτυνίας .....	61
Εικόνα 7.1: Σχηματική παράσταση λειτουργίας αναερόβιας δεξαμενής .....	76
Εικόνα 7.2: Η διάταξη των στρώσεων στις κλίνες 1ου και 2ου σταδίου .....	84
Εικόνα 7.3: Υδραυλικές παράμετροι σε υγροβιότοπο υπόγειας ροής.....	97
Εικόνα 7.4: Πρώτο κριτήριο σχεδιασμού για το πορώδες μέσο.....	99

**ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ**

ΣΕΛ.

Πίνακας 2.1: Σύγκριση συμβατικών και φυσικών συστημάτων επεξεργασίας.....	12
Πίνακας 4.1: Συνοπτική παρουσίαση διεργασιών απομάκρυνσης των διάφορων ρύπων .....	45
Πίνακας 4.2: Παράμετροι και τιμές ρύπων έπειτα από επεξεργασία των λυμάτων ....	46
Πίνακας 4.3: Απαιτήσεις διάθεσης λυμάτων κατόπιν βιολογικής επεξεργασίας για ευαίσθητες περιοχές.....	47
Πίνακας 4.4: Προτεινόμενα όρια για μικροβιολογικές και συμβατικές παραμέτρους στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης λυμάτων για άρδευση και βιομηχανική χρήση στην Ελλάδα .....	48
Πίνακας 5.1: Θερμοκρασίες και βροχοπτώσεις.....	54
Πίνακας 5.2: Χρήσεις Γης κατά Corine 2000.....	57
Πίνακας 6.1: Πληθυσμιακές καταγραφές για τα έτη 1991, 2001 και 2011 .....	65
Πίνακας 6.2: Διακύμανση μόνιμου πληθυσμού .....	66
Πίνακας 6.3: Διακύμανση πληθυσμού σχεδιασμού για τις διαφορετικές περιόδους ..	66
Πίνακας 6.4: Περιοχή τιμών και τυπικές τιμές ποιοτικών χαρακτηριστικών αποβλήτων (g/κάτοικο/ημέρα).....	68
Πίνακας 6.5: Συγκεντρώσεις των ρυπαντικών φορτίων που θα εισέρχονται στην Ε.Ε.Α τη χειμερινή περίοδο .....	69
Πίνακας 6.6: Συγκεντρώσεις των ρυπαντικών φορτίων που θα εισέρχονται στην Ε.Ε.Α. την καλοκαιρινή περίοδο .....	69
Πίνακας 7.1: Τυπικές παράμετροι σχεδιασμού για χειροκαθαριζόμενες χονδρές σχάρες .....	73
Πίνακας 7.2: Αφαίρεση BOD5 συναρτήσει του χρόνου παραμονής .....	77
Πίνακας 7.3: Τιμές σχεδιασμού (m <sup>2</sup> /ι.π.) σε διαφορετικές χώρες της Ευρώπης .....	80
Πίνακας 7.4: Στοιχεία σχεδιασμού σε εγκαταστάσεις στην ελληνική επικράτεια .....	81
Πίνακας 7.5: Αντιπροσωπευτικές τιμές πορωδών μέσων .....	84
Πίνακας 7.6: Βάθος ριζών και εκτιμώμενη ποσότητα που μεταφέρεται στα απόβλητα .....	85
Πίνακας 7.7: Βασικές παράμετροι σχεδιασμού κλίνης οριζόντιας υπόγειας ροής.....	93
Πίνακας 7.8: Βασικές παράμετροι σχεδιασμού της κλίνης με τη μέθοδο Reed et al. (1995).....	97
Πίνακας 7.9: Τιμές υδραυλικών παραμέτρων σε διαφορετικές καταστάσεις λειτουργίας του υγροτόπου με τη μέθοδο Reed et al. (1995).....	98
Πίνακας 7.10: Βασικές παράμετροι σχεδιασμού της κλίνης με τη μέθοδο Kadlec and Knight (1996).....	100
Πίνακας 7.11: Τιμές υδραυλικών παραμέτρων σε διαφορετικές καταστάσεις λειτουργίας του υγροτόπου με τη μέθοδο Kadlec and Knight (1996).....	101
Πίνακας 7.12: Αφαίρεση ρύπων στην εγκατάσταση τεχνητών υγροβιότοπων στο Γόματι .....	102
Πίνακας 7.13: Αφαίρεση ρύπων στην εγκατάσταση τεχνητών υγροβιότοπων στη Νέα Μάδυτο .....	102

Πίνακας 7.14: Αφαίρεση ρύπων σε εγκαταστάσεις τεχνητών υγροβιότοπων στη Γαλλία .....	103
Πίνακας 7.15: Αναμενόμενες συγκεντρώσεις ρυπαντικών φορτίων στην εκροή της εγκατάστασης.....	103
Πίνακας 8.1: Κατασκευαστικό και λειτουργικό κόστος του προτεινόμενου έργου..	108
Πίνακας 8.2: Κατανομή του κόστους κατασκευής στα επιμέρους στάδια και λειτουργίες .....	109



## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα ενότητα αποτελεί την εισαγωγική ενότητα της διπλωματικής εργασίας. Ξεκινώντας την ενότητα, γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση του προβλήματος της εσφαλμένης μεταχείρισης των υδατικών πόρων σε παγκόσμιο επίπεδο. Στη συνέχεια, αναφέρονται συστήματα και τεχνολογίες που αναπτύσσονται στις μέρες μας προς την ορθή επεξεργασία και διαχείριση του ρυπασμένου νερού. Στο τέλος της ενότητας, πραγματοποιείται αναφορά στο αντικείμενο και στη δομή που διέπουν αυτήν τη διπλωματική εργασία.

### 1.1. Γενικά

Είναι αδιαμφισβήτητο πως το νερό αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς φυσικούς πόρους. Ιστορικά, η ζωή και η εξέλιξη του ανθρώπου ήταν πάντα συνδεδεμένη με τη διαχείριση του νερού. Δεν μπορεί να παραβλέψει κανείς το γεγονός πως οι πρώτοι πολιτισμοί αναπτύχθηκαν σε περιοχές κοντά σε μεγάλα ποτάμια: στο Νείλο στην Αίγυπτο, στον Τίγρη και στον Ευφράτη στη Μεσοποταμία, στον Ινδό ποταμό στη Δυτική Ινδία (σημερινό Πακιστάν) κτλ. Παρόλα αυτά, η διαχείριση της ποιότητας και της ποσότητας του νερού από τον άνθρωπο δεν ήταν πάντα η καλύτερη.

Είναι προφανές, πως την τελευταία δεκαετία το περιβάλλον, και ειδικότερα τα υδάτινα οικοσυστήματα του πλανήτη, υφίστανται τις συνέπειες από την εσφαλμένη μεταχείριση και την κατάχρηση των υδατικών πόρων. Τα προβλήματα που έχουν σχέση με τη διαχείριση των υδατικών πόρων μπορεί να διακριθούν στις εξής κατηγορίες (Μήτρακας 2001):

1. Προβλήματα που σχετίζονται με την άνιση κατανομή της φυσικής προσφοράς και ζήτησης νερού.
2. Προβλήματα που σχετίζονται με τον ελλιπή σχεδιασμό για τη διαχείριση των υγρών αποβλήτων σε πολλούς οικισμούς και πόλεις, όπως επίσης και με την έλλειψη συντονισμού και ενιαίας πολιτικής.
3. Προβλήματα που σχετίζονται με την έλλειψη ευαισθησίας και παιδείας του απλού πολίτη – χρήστη.

Στο πλαίσιο αυτό, καθίσταται αδήριτη στις μέρες μας η ανάγκη για ορθή επεξεργασία και διαχείριση του ρυπασμένου νερού και η ανάπτυξη τεχνολογιών που θα επιτρέπουν την ασφαλή επαναχρησιμοποίηση του νερού.

Σήμερα, αναπτύσσονται σύγχρονες τεχνολογίες και συστήματα προς αυτήν την κατεύθυνση, αποσκοπώντας στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων και στην απομάκρυνση των επιβλαβών συστατικών τους, με απώτερο σκοπό τη μετατροπή των λυμάτων σε μια μορφή που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε μία ευρεία γκάμα δραστηριοτήτων. Πιο συγκεκριμένα, η επεξεργασία των αποβλήτων αποβλέπει στην απομάκρυνση, εξουδετέρωση ή κατάλληλη τροποποίηση των επιβλαβών χαρακτηριστικών τους, ώστε να εξαλειφθούν ή να ελαττωθούν σε αποδεκτό επίπεδο οι δυσμενείς για τον τελικό αποδέκτη (έδαφος, επιφανειακά νερά κ.λπ.) συνέπειες. Ως επιβλαβή συστατικά των αποβλήτων θεωρούνται τα ογκώδη αντικείμενα, η άμμος, τα μικρού μεγέθους στερεά που αιωρούνται στη μάζα των αποβλήτων (αιωρούμενα στερεά), τα οργανικά – φυσικά συστατικά (υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, λίπη), οι παθογόνοι μικροοργανισμοί και τα θρεπτικά στοιχεία, όπως το άζωτο και ο φωσφόρος. Οι δύο βασικοί παράγοντες που αναστέλλουν το παραπάνω εγχείρημα είναι η απαιτούμενη εισροή ενέργειας στα συστήματα επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων, καθώς και το κόστος κατασκευής τους. Δεδομένης της συνεχούς αύξησης της τιμής της ενέργειας ιδίως κατά τη διάρκεια των δύο τελευταίων δεκαετιών, καθώς και του αυξημένου ενδιαφέροντος για περιβαλλοντικά φιλικές εναλλακτικές («πράσινη τεχνολογία»), οι τεχνολογίες με χαμηλές ενεργειακές απαιτήσεις κερδίζουν όλο και περισσότερο έδαφος. Σε αυτό το πλαίσιο, έγινε τα τελευταία χρόνια σταδιακά σαφές πως η χρήση φυσικών, αλλά παράλληλα τεχνητά τροποποιημένων, οικοσυστημάτων, όπως οι λίμνες και οι υγροβιότοποι, αποτελεί κατάλληλη και συνάμα ελκυστική εναλλακτική λύση για την οικονομική και περιβαλλοντικά φιλική επεξεργασία των λυμάτων.

Την τελευταία δεκαετία, η τεχνολογία γύρω από τους τεχνητούς υγροβιότοπους (ΤΥ) έχει σημειώσει αξιοσημείωτη εξέλιξη, τόσο σε ερευνητικό επίπεδο, όσο και σε εφαρμογές ευρείας κλίμακας, καθώς παρουσιάζει πλημμυρίδα πλεονεκτημάτων.

Το βασικό επιχείρημα για τη γενικά περιορισμένη εφαρμογή της τεχνολογίας των ΤΥ είναι ότι τα φυσικά συστήματα απαιτούν μεγαλύτερη έκταση για την εγκατάσταση και τη λειτουργία τους σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα. Εντούτοις, ο περιορισμός αυτός έχει ξεπεραστεί σε πολλές περιοχές με τη χρήση πολλαπλών συνδυασμών



υβριδικών συστημάτων, όπως αυτό που θα προταθεί στο Κεφάλαιο 7 της παρούσας εργασίας για τον οικισμό του Ράφτη Γορτυνίας.

## **1.2. Αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας**

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο σχεδιασμός μιας εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων (Ε.Ε.Λ.), η οποία θα επεξεργάζεται τα αστικά υγρά απόβλητα (λύματα) ενός μικρού οικισμού, του Ράφτη Γορτυνίας, ο οποίος βρίσκεται στο Νομό Αρκαδίας της Πελοποννήσου. Η προτεινόμενη εγκατάσταση δε θα είναι όμοια με τα συμβατικά συστήματα που χρησιμοποιούνται έως σήμερα στην ευρύτερη περιοχή, αλλά θα αξιοποιεί τις φυσικές διεργασίες που πραγματοποιούνται σε συστήματα υδροβιότοπων για την επεξεργασία των λυμάτων.

Το εγχείρημα αυτό εντάσσεται σε μια συνολικότερη προσπάθεια ορθής, αλλά και συνάμα περιβαλλοντικά αποδεκτής, διαχείρισης των υγρών αποβλήτων και θα μπορούσε να αποτελέσει την απαρχή για τη δημιουργία αντίστοιχων έργων σε μικρούς οικισμούς, στους οποίους δεν προβλέπεται βιώσιμη εναλλακτική λύση για τη διαχείριση των υγρών τους αποβλήτων.

Η διπλωματική αυτή εργασία εκπονήθηκε σε συνεννόηση με το Δήμο Γορτυνίας και τα αποτελέσματά της θα παραδοθούν στις υπηρεσίες του Δήμου Γορτυνίας,

## **1.3. Δομή της Διπλωματικής Εργασίας**

Η εν λόγω διπλωματική εργασία έχει διαμορφωθεί σε οκτώ επιμέρους ενότητες, συμπεριλαμβανομένης της εισαγωγής. Το περιεχόμενο κάθε ενότητας παρουσιάζεται συνοπτικά ως εξής:

*Κεφάλαιο 1:* Όπως προαναφέρθηκε, η ενότητα αυτή αποτελεί την εισαγωγή της εργασίας στην οποία γίνεται συνοπτική παρουσίαση του προβλήματος της εσφαλμένης μεταχείρισης των υδατικών πόρων σε παγκόσμιο επίπεδο. Στη συνέχεια, αναφέρονται συστήματα και τεχνολογίες που αναπτύσσονται στις μέρες μας προς την ορθή επεξεργασία και διαχείριση του ρυπασμένου νερού. Τέλος, πραγματοποιείται αναφορά στο αντικείμενο και τη δομή της διπλωματικής εργασίας.

*Κεφάλαιο 2:* Πραγματοποιείται εισαγωγή στις βασικές έννοιες και στη σημασία των φυσικών συστημάτων, προκειμένου να γίνει αντιληπτή η σημασία τους στην

επεξεργασία των υγρών αποβλήτων σε μικρούς οικισμούς. Αναδεικνύονται, ακόμη, οι αδυναμίες και τα μειονεκτήματα των συμβατικών συστημάτων επεξεργασίας που χρησιμοποιούνται στις ημέρες μας.

*Κεφάλαιο 3:* Υπογραμμίζεται η ανάγκη αξιοποίησης των πλεονεκτημάτων των φυσικών υγροβιότοπων, καθώς και οι περιορισμοί που καθιστούν απαγορευτική τη χρήση τους για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων, καταστάσεις που οδήγησαν στην ανάπτυξη φυσικών, αλλά συνάμα και τεχνητά τροποποιημένων, συστημάτων, τους τεχνητούς υγροβιότοπους. Στο τέλος της ενότητας αυτής, κατηγοριοποιούνται οι διαφορετικοί τύποι τεχνητών υγροβιότοπων και αναλύονται οι δυνατότητες και οι αδυναμίες του κάθε συστήματος.

*Κεφάλαιο 4:* Παρουσιάζονται και αναλύονται τα βασικά υλικά που χρησιμοποιούνται και οι μέθοδοι που ακολουθούνται για τη δημιουργία ενός τεχνητού υγροβιότοπου. Στο τελευταίο κεφάλαιο της ενότητας, περιγράφεται αναλυτικά ο τρόπος με τον οποίο οι τεχνητοί υγροβιότοποι επιτυγχάνουν την απομάκρυνση των ρύπων που εντοπίζονται στα υγρά απόβλητα.

*Κεφάλαιο 5:* Παρουσιάζεται η υφιστάμενη κατάσταση στην ενδιαφερόμενη περιοχή μελέτης, δηλαδή τόσο στον οικισμό Ράφτη, όσο και στην ευρύτερη περιοχή στην οποία εντάσσεται ο οικισμός. Η μελέτη του φυσικού και του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος είναι απαραίτητη, για να διασφαλισθεί πως η περιοχή μελέτης παρουσιάζει τα επιθυμητά χαρακτηριστικά γνωρίσματα για την χωροθέτηση ενός τέτοιου έργου.

*Κεφάλαιο 6:* Γίνεται ο υπολογισμός των βασικών παραμέτρων, στις οποίες θα βασιστεί ο σχεδιασμός της εγκατάστασης.

*Κεφάλαιο 7:* Περιγράφονται όλα τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων (Ε.Ε.Λ.) και αναλύονται τα διαδοχικά στάδια που απαιτούνται για τη διαχείριση και την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων του οικισμού Ράφτη.

*Κεφάλαιο 8:* Πραγματοποιείται εκτίμηση του κόστους που θα έχει η υλοποίηση του προτεινόμενου έργου.

*Κεφάλαιο 9: Πραγματοποιείται η σύνοψη της προμελέτης και των αποτελεσμάτων της και παρουσιάζονται συνοπτικά τα συμπεράσματα που προκύπτουν. Τέλος, γίνονται ορισμένες προτάσεις σχετικά με το πρόβλημα της μελέτης.*



## 2. ΦΥΣΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σε αυτήν την ενότητα πραγματοποιείται μια σύντομη εισαγωγή στις βασικές έννοιες των φυσικών συστημάτων, προκειμένου να γίνει αντιληπτή η σημασία τους στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων σε μικρούς οικισμούς.

Ως φυσικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων μπορεί να χαρακτηριστούν τα συστήματα στα οποία η επεξεργασία του υγρού αποβλήτου διενεργείται με φυσικά μέσα και διεργασίες, όπως είναι φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες ή συνδυασμός τους, οι οποίες λαμβάνουν χώρα στο περιβάλλον “γήινοι σχηματισμοί-φυτό-υγρό απόβλητο” (Αγγελάκης and Tchobanoglous 1995). Σε γενικές γραμμές, τα φυσικά συστήματα κατατάσσονται σε τέσσερις βασικές κατηγορίες (Reed, Crites and Middlebrooks 1995, Kadlec and Knight, 1996):

1. Δεξαμενές σταθεροποίησης ή οξείδωσης.
2. Εδαφικά συστήματα.
3. Συστήματα με επιπλέοντα υδροχαρή φυτά.
4. Συστήματα τεχνητών υγροβιότοπων.

### 2.1. Ιστορική Αναδρομή στα Φυσικά Συστήματα Επεξεργασίας

Σύμφωνα με ιστορικές έρευνες, οι πρώτες εφαρμογές υδραυλικής και υγειονομικής τεχνολογίας απαντώνται στον Μινωικό πολιτισμό (3000 έως 1000 π.Χ.). Οι Μινωίτες ανέπτυξαν τα πρώτα φυσικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, κατασκευάζοντας εγκαταστάσεις αποχέτευσης στα Μινωικά παλάτια με αξιοσημείωτα, ακόμα και για τα σημερινά δεδομένα, κατασκευαστικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά. Ακριβείς περιγραφές της πορείας και της μορφής των αγωγών που παρέχουν πλήρη εικόνα του αποχετευτικού δικτύου έδωσαν με σχέδιά τους ο Evans (1964) και οι MacDonald and Driessen (1988). Πρόκειται για ένα καλά οργανωμένο και περίπλοκο δίκτυο ύδρευσης και αποχέτευσης, στην κατασκευή του οποίου χρησιμοποιήθηκαν τεχνικές που ακόμη και σήμερα εντυπωσιάζουν και προξενούν το θαυμασμό, αποδεικνύοντας την άρτια κατάρτιση των υδρολόγων και μηχανικών της εποχής και την εις βάθος γνώση των επιστημών των υδατικών πόρων και του περιβάλλοντος. Οι ιστορικές πηγές αναφέρουν, επίσης, πως συχνά γινόταν εφαρμογή των υγρών αποβλήτων στο έδαφος προκειμένου να επιτευχθεί η επεξεργασία των αποβλήτων, και η χρήση τους για άρδευση των εδαφών (Αγγελάκης and

Tchobanoglous 1995). Στην Εικόνα 2.1 φαίνεται το σύστημα αποχέτευσης στο παλάτι της Κνωσού.



**Εικόνα 2.1: Το σύστημα αποχέτευσης στο παλάτι της Κνωσού  
Πηγή: Προσωπικό αρχείο**

Η συστηματική και ευρεία εφαρμογή φυσικών συστημάτων σε πολλές χώρες χρονολογείται τη δεκαετία του 1870. Σε μια πρωταρχική προσπάθεια ελέγχου της υδατικής ρύπανσης, εφαρμόστηκε σε διάφορες περιοχές ανά τον κόσμο η «γεωργία λυμάτων» ή «sewage farming», όπως απαντάται συνηθέστερα στη βιβλιογραφία (Αγγελάκης and Tchobanoglous 1995).

Έναν αιώνα αργότερα, και ειδικότερα στο πρώτο μισό του 20<sup>ου</sup> αιώνα, τα συστήματα αυτά αντικαθίστανται 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 κοινοχρήστων χώρων.
- Εγκαταστάσεις εμπλουτισμού υπόγειων υδροφορέων.

Οι νέες αυτές τεχνολογίες επικράτησαν κυρίως στις νότιες και δυτικές πολιτείες των Η.Π.Α., για τις οποίες η διαχείριση του νερού και των υγρών αποβλήτων αποτελούσαν,

όπως βεβαίως και σήμερα, ζητήματα υψίστης σημασίας (Αγγελάκης and Tchobanoglous 1995).

Τη δεκαετία του 1970, οι Η.Π.Α., αντιλαμβανόμενες τη σημασία των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας, προχώρησαν σε αναθεώρηση της νομοθεσίας τους, δίνοντας έμφαση στην επαναχρησιμοποίηση και στη ανακύκλωση του νερού και των θρεπτικών του στοιχείων και στη χρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων για την άρδευση φυτικών καλλιεργειών. Οι Η.Π.Α δεν τήρησαν απλά μια παθητική στάση, αλλά προχώρησαν ακόμη στην παροχή οικονομικής υποστήριξης για ερευνητικούς σκοπούς και για την ανάπτυξη τεχνολογίας στο πεδίο των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας. Αυτή η ενέργεια ουσιαστικά οδήγησε στην αναγνώριση των μεθόδων επεξεργασίας με χρήση φυσικών συστημάτων, ως ισότιμη τεχνική διαχείρισης στον τομέα μηχανικής υγρών αποβλήτων (Metcalf and Eddy 1991).

## **2.2. Σύγκριση Φυσικών και Συμβατικών Συστημάτων Επεξεργασίας**

Παρόλο που στην ελληνική επικράτεια τα φυσικά συστήματα επεξεργασίας των αποβλήτων δεν είναι διαδεδομένα, σε πολλές χώρες της Ευρώπης, όπως στη Γερμανία, στην Αυστρία, στην Τσεχία και στη Δανία, καθώς επίσης και στις Η.Π.Α., τέτοια συστήματα χρησιμοποιούνται σε ευρεία κλίμακα για την επεξεργασία υγρών οικιστικών αποβλήτων σε μικρούς οικισμούς, συνήθως έως 3000 ατόμων. Σε αυτό το κεφάλαιο, θα παρουσιασθούν οι αδυναμίες των συμβατικών συστημάτων, και τα βασικότερα πλεονεκτήματα των φυσικών μεθόδων επεξεργασίας και θα γίνει σύγκριση των φυσικών συστημάτων με τα συμβατικά συστήματα τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί κατά κύριο λόγο μέχρι σήμερα για την επεξεργασία των αστικών αποβλήτων. Αυτή η αντιπαράθεση αποσκοπεί να αιτιολογήσει την αύξηση της παρουσίας των φυσικών συστημάτων τα τελευταία χρόνια, αλλά και να αναδείξει την άμεση αναγκαιότητα χρήσης και διάδοσής τους στην ελληνική επικράτεια.

### **2.2.1. Προβλήματα και αδυναμίες συμβατικών συστημάτων επεξεργασίας**

Τα συμβατικά συστήματα υπήρξαν για πολλές δεκαετίες αποδοτικά στην επεξεργασία των λυμάτων. Εν τούτοις, ενέχουν ένα σύνολο από προϋποθέσεις και ανεπιθύμητες συνέπειες. Η φιλοσοφία τους έγκειται στην κατασκευή ενός εκτεταμένου συστήματος μεταφοράς και συγκέντρωσης των λυμάτων, προκειμένου τα υγρά απόβλητα από

διαφορετικές περιοχές να συλλέγονται σε μία κεντρική μονάδα επεξεργασίας. Η διαδικασία αυτή είναι επιζήμια τόσο περιβαλλοντικά όσο και οικονομικά.

Τα συμβατικά συστήματα έχουν συνήθως μια έντονα βιομηχανική όψη και είναι χωροθετημένα μακριά από κατοικημένες περιοχές. Η κατασκευή τους περιλαμβάνει ογκώδη μηχανικά μέρη (εξαεριστήρες, αντλίες) και εκτεταμένη χρήση σκυροδέματος και χάλυβα. Ως εκ τούτου, η λειτουργία τους καταναλώνει μεγάλα ποσά ηλεκτρικής ενέργειας, εκπέμπει στο περιβάλλον αξιοσημείωτες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα, προκαλεί σημαντική ηχορύπανση και εκπέμπει έντονες δυσοσμίες. Επιπλέον, το αρχικό κόστος επένδυσης για τη δημιουργία τους είναι συνήθως ιδιαίτερα υψηλό, όπως επίσης και το κόστος για τη συνεχή συντήρηση και την ορθή λειτουργία της μονάδας, στο οποίο συμπεριλαμβάνονται οι αμοιβές του εξειδικευμένου προσωπικού που απαιτείται. Λόγω της εκτεταμένης χρήσης μηχανικών μερών, δυσλειτουργίες και βλάβες αποτελούν συνήθη φαινόμενα, τα οποία συντελούν στο υψηλό κόστος συντήρησης. Σε όλα τα παραπάνω προβλήματα προστίθεται η καθημερινή παραγωγή υποπροϊόντων, όπως η ιλύς, η οποία αυξάνει σημαντικά το συνολικό λειτουργικό κόστος. Τέλος, τα συμβατικά συστήματα έχουν σχετικά περιορισμένη διάρκεια ζωής (συνήθως έως 20-30 χρόνια) και δεν μπορούν να διαχειριστούν με ευκολία απότομες αυξήσεις της εισερχόμενης παροχής. Γίνεται, λοιπόν, αντιληπτό πως τα συμβατικά συστήματα επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων έχουν αρνητικό περιβαλλοντικό πρόσημο, παρόλο που ο βασικός λόγος ύπαρξής τους είναι η διαμόρφωση ενός καλύτερου περιβάλλοντος. (Stefanakis, Akratos and Tsihrintzis 2014).

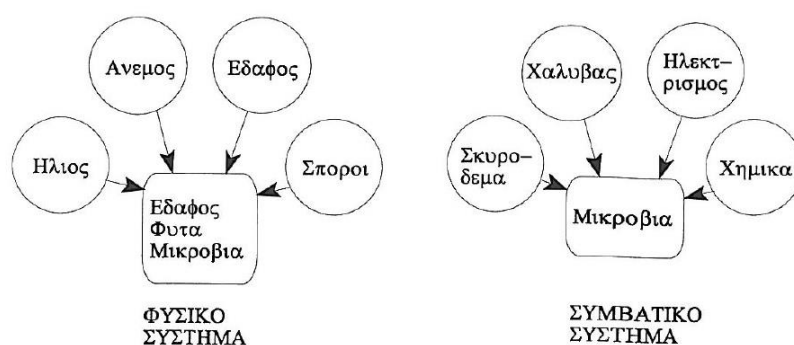
### **2.2.2. Πλεονεκτήματα φυσικών συστημάτων**

Η εφαρμογή φυσικών μεθόδων επεξεργασίας, όπως η χρήση ΤΥ που προτείνεται στην παρούσα εργασία, παρουσιάζει μια άρδην διαφορετική φιλοσοφία για τη διαχείριση των υγρών αποβλήτων. Η βασική τους διαφορά έγκειται στο γεγονός πως ο σχεδιασμός τους βασίζεται σε ένα αποκεντρωτικό πρότυπο· κατά την εφαρμογή των φυσικών μεθόδων επεξεργασίας, η εγκατάσταση σχεδιάζεται κοντά στον οικισμό που εξυπηρετεί. Η προσέγγιση αυτή είναι σύμφωνη με την έννοια της βιωσιμότητας. Εξυπηρετεί, δηλαδή, τον ίδιο σκοπό (αποτελεσματική επεξεργασία των λυμάτων) με έναν περισσότερο οικονομικό, περιβαλλοντικά φιλικό, και ενεργειακά αποδοτικό τρόπο (Stefanakis et al. 2014).

Από οικονομικής άποψης, τα φυσικά συστήματα, όπως οι ΤΥ, αποτελούν μια συμφέρουσα εναλλακτική τεχνολογία/λύση για την επεξεργασία των υγρών



αποβλήτων. Στις περισσότερες περιπτώσεις, το κόστος της αρχικής τους εγκατάστασης είναι μικρότερο συγκριτικά με το αντίστοιχο των συμβατικών συστημάτων. Οι εγκαταστάσεις δεν παρουσιάζουν κατασκευαστικές δυσκολίες, καθώς δεν κατασκευάζονται πολύπλοκες υποδομές και έχουν περιορισμένη ανάγκη για σκυρόδεμα και χάλυβα. Δεν είναι λίγες οι φορές, μάλιστα, που πολλά από τα υλικά κατασκευής αντλούνται από το κοντινό περιβάλλον της εγκατάστασης. Το βασικό τους χαρακτηριστικό, ωστόσο, που τα διαφοροποιεί από τις υπόλοιπες εναλλακτικές, είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους λειτουργίας και συντήρησης. Οι ενεργειακές απαιτήσεις είναι πολύ χαμηλές και το μεγαλύτερο μέρος τους καλύπτεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως είναι η ηλιακή και η αιολική ενέργεια που χρησιμοποιούνται από τα φυτά. Το μικρό ποσοστό ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται στις φυσικές μονάδες επεξεργασίας, χρησιμοποιείται για το φωτισμό και πιθανώς για τη χρήση ορισμένων αντλιών για τους λειτουργικούς σκοπούς της εγκατάστασης (Τσιχριντζής 2000).



Εικόνα 2.2: Ενέργεια σε φυσικά και συμβατικά συστήματα  
Πηγή: Τσιχριντζής (2000)

Επιπλέον, δεν απαιτείται εξειδικευμένο προσωπικό να επιβλέπει τη λειτουργία των φυσικών εγκαταστάσεων. Περιοδικές επιτόπιες επισκέψεις για παρακολούθηση της ορθής λειτουργίας, διόρθωση δυσλειτουργιών και συντήρηση είναι επαρκείς, σε αντιδιαστολή με τη συνεχή παρακολούθηση που είναι απαραίτητη στα συμβατικά συστήματα. Ως παθητικά συστήματα, δεν χρειάζονται τακτική συντήρηση, γεγονός που τα καθιστά ως τα κατάλληλα συστήματα για τοποθεσίες που δεν τυγχάνουν υψηλής χρηματοδότησης και δεν μπορούν να διαθέσουν προσωπικό για πλήρη και μόνιμη εργασία.

Πίνακας 2.1: Σύγκριση συμβατικών και φυσικών συστημάτων επεξεργασίας  
 Πηγή: Στεφανάκης (2011)

	<b>Συμβατικά Συστήματα</b>	<b>Φυσικά συστήματα</b>
<i>Κόστος</i>	Υψηλό κόστος κατασκευής και λειτουργίας	Χαμηλό κόστος κατασκευής (αν υπάρχουν διαθέσιμες εκτάσεις), μηδαμινό λειτουργικό κόστος
<i>Ενέργεια</i>	Υψηλή κατανάλωση ενέργειας – χρήση μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην κατασκευή (σκυρόδεμα, χάλυβας κ.λπ.) και στη λειτουργία (ηλεκτρική ενέργεια, χημικά)	Μικρές απαιτήσεις ενέργειας - χρήση μόνο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ηλιακή, αιολική κ.λπ.) «οικολογικά» συστήματα
<i>Εγκατάσταση</i>	Πολλά μηχανικά μέρη	Δεν έχουν μηχανικά μέρη
<i>Απόδοση</i>	Ικανά για συνεχή παροχή εκροής υψηλής ποιότητας	Ικανοποιητική, μικρές διακυμάνσεις με τη θερμοκρασία
<i>Λειτουργία</i>	Απαιτείται περισσότερη παρακολούθηση από τον υπεύθυνο Διάρκεια ζωής 20-30 έτη	Δεν απαιτείται συνεχής παρακολούθηση. Μεγάλη διάρκεια ζωής (>30 έτη)
<i>Προσωπικό</i>	Απαιτείται εξειδικευμένο προσωπικό	Δεν απαιτείται εξειδικευμένο προσωπικό
<i>Συντήρηση</i>	Σημαντικός μηχανολογικός εξοπλισμός → υψηλό κόστος συντήρησης	Ελάχιστα μηχανικά μέρη → μικρό κόστος συντήρησης
<i>Οσμές</i>	Δυσάρεστες οσμές	Πιθανές μόνο σε συστήματα επιφανειακής ροής – μπορούν να περιοριστούν
<i>Διακυμάνσεις παροχής</i>	Υψηλές παροχές οδηγούν σε μειωμένη απόδοση, εκτός αν ελέγχονται με εξισορροπητική δεξαμενή	Ανθεκτικά σε μεγάλες διακυμάνσεις
<i>Ιλύς (λάσπη)</i>	Παραγωγή σημαντικών ποσοτήτων παραπροϊόντων – απαιτείται απομάκρυνση, επεξεργασία, αποθήκευση και διάθεση σε καθημερινή βάση	Αποθήκευση και επεξεργασία στο ίδιο το σύστημα → μηδενική παραγωγή
<i>Εμφάνιση</i>	Μη ελκυστική, αντισταθμίζεται με κατάλληλη διαμόρφωση περιβάλλοντος χώρου	Αισθητική αποδοχή, «πράσινη» εμφάνιση
<i>Έκταση γης</i>	Μικρές απαιτήσεις	Μεγάλες απαιτήσεις (κύριο μειονέκτημα)

Επιπρόσθετα, η λειτουργία των φυσικών συστημάτων δεν επιφέρει την παραγωγή ανεπιθύμητων υποπροϊόντων, σε αντίθεση με την παραγωγή ιλύος που, όπως προαναφέρθηκε, παρατηρείται στα συμβατικά συστήματα. Οι δυσάρεστες οσμές μπορεί να περιοριστούν με σχετική ευκολία και η λειτουργία τους δεν προκαλεί ηχορύπανση. Τέλος, έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής, παρουσιάζοντας τη δυνατότητα να επεξεργάζονται αυξημένο υδραυλικό φορτίο με το πέρασμα του χρόνου.

Το βασικό μειονέκτημα των φυσικών συστημάτων είναι πως απαιτούν μεγαλύτερη έκταση για την εγκατάσταση και τη λειτουργία τους σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα. Κατά συνέπεια, προτιμώνται σε περιοχές όπου υπάρχουν διαθέσιμες εκτάσεις με χαμηλό κόστος ιδιοκτησίας. Συνήθως, δεν είναι κατάλληλα για πυκνοκατοικημένες περιοχές και είναι οικονομικά εφικτά για πληθυσμούς μέχρι 10000 κατοίκους (γενικά ο σχεδιασμός τους συνιστάται για μικρούς οικισμούς μέχρι 3000 κάτοικους). Υπάρχουν, ακόμη, φυσικοί περιορισμοί που καθορίζουν την απόδοση ορισμένων, τουλάχιστον, φυσικών συστημάτων. Τέτοιοι περιορισμοί μπορεί να είναι οι κλιματικές συνθήκες ή τα χαρακτηριστικά του λύματος. Σε χαμηλές θερμοκρασίες μειώνεται η απόδοση ορισμένων συστημάτων, με αποτέλεσμα να μη μπορούν να χρησιμοποιηθούν ή η χρήση τους να μην είναι πρακτική (π.χ. σε περιπτώσεις χαμηλών θερμοκρασιών να απαιτείται μεγαλύτερος χρόνος παραμονής στο σύστημα). Γενικά, τα φυσικά συστήματα είναι τα πλέον κατάλληλα για σχετικά θερμά κλίματα και, επομένως, το ελληνικό μεσογειακό κλίμα κρίνεται ιδανικό για την ορθή λειτουργία τους (Οικονομοπούλου και Τσιχριντζής 1999, Τσιχριντζής 2000).

Στον Πίνακα 2.1 παρουσιάζεται μια συνοπτική, αλλά συνάμα ολοκληρωμένη, σύγκριση των συμβατικών και των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας.



### 3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΥΓΡΟΒΙΟΤΟΠΩΝ

Σε αυτήν την ενότητα γίνεται αρχικά μια σύντομη εισαγωγή στις έννοιες των φυσικών υγροβιότοπων ως φυσικά συστήματα επεξεργασίας. Στη συνέχεια, υπογραμμίζεται η ανάγκη αξιοποίησης των πλεονεκτημάτων των φυσικών υγροβιότοπων, αλλά και οι περιορισμοί που καθιστούν απαγορευτική τη χρήση τους για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων, καταστάσεις που οδήγησαν στην ανάπτυξη φυσικών, αλλά και συνάμα τεχνητά τροποποιημένων συστημάτων, τους τεχνητούς υγροβιότοπους. Στο τέλος της παρούσας ενότητας, κατηγοριοποιούνται οι διαφορετικοί τύποι τεχνητών υγροβιότοπων και αναλύονται οι δυνατότητες και οι αδυναμίες του κάθε συστήματος.

#### 3.1. Φυσικοί Υγροβιότοποι

Οι φυσικοί υγροβιότοποι (κατά τη Βιολογία), ή αλλιώς υγρότοποι (κατά την Εδαφολογία), αποτελούν μεταβατικές περιοχές μεταξύ χερσαίων και υδάτινων συστημάτων. Πρόκειται για περιοχές που είναι υγρές το μεγαλύτερο μέρος του έτους, λόγω της τοποθεσίας τους (Sundaravadivel and Vigneswaran 2001). Παρατηρείται πληθώρα διαφορετικών τύπων φυσικών υγροτόπων, γεγονός που δικαιολογεί την απουσία ενός κοινά αποδεκτού ορισμού. Οι Mitsch and Gosselink (1986) αναφέρουν τουλάχιστον 15 τύπους φυσικών υγροβιότοπων που απαντώνται στις Η.Π.Α. Άλλοι υγροβιότοποι (swamps) αποτελούνται από δένδρα, άλλοι (bogs) από βρύα και μούσκλια και άλλοι (marshes) από χορτάρια και αναδύμενα υδροχαρή φυτά. Παρόλα αυτά, όλοι οι τύποι υγροτόπων παρουσιάζουν ορισμένα κοινά χαρακτηριστικά (Τσιχριντζής 2000):

1. Το νερό βρίσκεται σε σχετικά μικρό βάθος κατά τη μεγαλύτερη διάρκεια του έτους, λόγω επιφανειακής στράγγισης ή υψηλού υδροφόρου ορίζοντα.
2. Τα εδάφη τους διαφέρουν χαρακτηριστικά από τα αντίστοιχα των γύρω περιοχών.
3. Η βλάστησή τους είναι ιδιαίτερη, καθώς είναι προσαρμοσμένη σε υγρές και πλημμυρικές συνθήκες.

Ένας σαφής και αναγνωρισμένος ορισμός για τους φυσικούς υγροβιότοπους δόθηκε από τη Σύμβαση Ραμσάρ για τους υγροβιότοπους το 1971 (Ramsar 2010). Η Σύμβαση υιοθέτησε ένα διεθνή και διακυβερνητικό ορισμό για τους υγροβιότοπους, βασισμένο σε μία ευρεία προσέγγιση για να περιγράψει με το βέλτιστο τρόπο τα βασικά τους χαρακτηριστικά. Σύμφωνα, λοιπόν, με τη Σύμβαση Ραμσάρ «οι υγρότοποι είναι φυσικές

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

Οι υγροβιότοποι μπορεί να καταταχθούν ανάμεσα στα σπουδαιότερα οικοσυστήματα του πλανήτη. Προσφέρουν το κατάλληλο περιβάλλον διαβίωσης για μια μεγάλη ποικιλία ειδών πανίδας και χλωρίδας, επιτρέπουν την πραγματοποίηση πολύτιμων διεργασιών των υδρολογικών και χημικών κύκλων με τελικό αποτέλεσμα τον καθαρισμό των ρυπασμένων υδάτων και συμβάλλουν στην αποτροπή πλημμυρών, στην προστασία των ακτογραμμών και στην επαναφόρτιση των υπόγειων υδροφορέων, παρουσιάζοντας σημαντική οικονομική αξία στην παραγωγή τροφής και ενέργειας. Μελέτες σε φυσικούς υγροβιότοπους έχουν δείξει ικανότητα σε αφαίρεση διάφορων ρύπων, όπως βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου – BOD (biochemical oxygen demand), αιωρούμενων στερεών (ΑΣ) και αζώτου (Dinges 1982, EPA 1995). Η αφαίρεση των ρύπων βασίζεται στις φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες που πραγματοποιούνται σε περιβάλλον υγροβιότοπου και οι οποίες είναι μεταξύ άλλων: καθίζηση, φίλτρανση, αποθήκευση, εναλλαγή ιόντων, ανάληψη θρεπτικών συστατικών, εξαέρωση, μεταφορά, αμμωνιοποίηση, νιτροποίηση, απονιτροποίηση, απορρόφηση, προσρόφηση, βιολογική διάσπαση, βιολογική μετατροπή κ.α. Οι διεργασίες αυτές αναλύονται στο κεφάλαιο 4.5.

### **3.2. Τεχνητοί Υγροβιότοποι**

#### Από τους φυσικούς στους τεχνητούς υγροβιότοπους

Τις τελευταίες δεκαετίες, η ικανότητα των υγροβιότοπων για επεξεργασία υγρών αποβλήτων γίνεται ολοένα και περισσότερο αναγνωρίσιμη. Η δυνατότητά τους να μειώνουν και να μετασχηματίζουν πλήθος ρύπων μέσω φυσικών, βιολογικών και χημικών διεργασιών αποφέρει ένα ευρύ φάσμα από οικολογικά και οικονομικά οφέλη,

τα οποία διεγείρουν το ενδιαφέρον σχετικά με τη δυνατότητα χρήσης των πλεονεκτημάτων τους σε ορισμένες τεχνολογικές εφαρμογές. Δεδομένης της προστασίας των φυσικών υγροβιότοπων από διεθνείς συμβάσεις, όπως η Σύμβαση Ραμσάρ και η Διάσκεψη του Ρίο για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη (Agenda 21), η δημιουργία τεχνητών υγροβιότοπων (ΤΥ) αποτέλεσε μια σύγχρονη εναλλακτική λύση για την επεξεργασία των λυμάτων.

#### Χαρακτηριστικά τεχνητών υγροβιότοπων

Η δημιουργία ενός υγροβιότοπου αναφέρεται στην κατασκευή του σε μια περιοχή όπου προηγουμένως δεν υπήρχε υγροβιότοπος (Ακράτος 2006). Η βασική φιλοσοφία της δημιουργίας ΤΥ είναι η αναπαραγωγή των πολλαπλών διεργασιών που παρατηρούνται στους φυσικούς υγροβιότοπους μέσα σε περιβαλλοντικά ελεγχόμενες συνθήκες, παρουσιάζοντας, μάλιστα, υψηλότερες αποδόσεις σε αφαίρεση ρύπων. Οι ΤΥ παρέχουν όλα τα πλεονεκτήματα που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 2.2.2 σχετικά με τα φυσικά συστήματα επεξεργασίας. Χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως την ηλιακή ακτινοβολία, την κινητική ενέργεια του ανέμου, την ενέργεια του νερού της βροχής, το επιφανειακό νερό, το έδαφος και την αποθήκευση ενδεχόμενης ενέργειας στη βιομάζα και στα εδάφη (Kadlec and Knight 1996).

Οι ΤΥ παρέχουν μοναδική καταλληλότητα εγκατάστασης σε ένα σύνολο διαφορετικών τοποθεσιών. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην ευελιξία του σχεδιασμού των συστημάτων, καθώς μπορούν εύκολα να κατασκευαστούν στα περισσότερα μέρη. Η κατασκευή τους συνιστάται ιδιαίτερος σε αγροτικές, απομακρυσμένες και ορεινές περιοχές, στις οποίες τις περισσότερες φορές δεν υπάρχει αποχετευτικό σύστημα, αλλά ούτε και εξυπηρετούνται από μια κεντρική μονάδα επεξεργασίας.

Οι ΤΥ δύνανται να επεξεργαστούν, στις μέρες μας, αστικά απόβλητα, αποστραγγίσεις ορυχείων, αστικές απορροές, υγρά απόβλητα κτηνοτροφίας, σηπτικές δεξαμενές που έχουν αστοχήσει, αγροτικές απορροές, βιομηχανικά υγρά απόβλητα, εκροές από διυλιστήρια πετρελαίου και διασταλάγματα χώρων υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (Ακράτος 2006).

#### Κατηγοριοποίηση των τεχνητών υγροβιότοπων

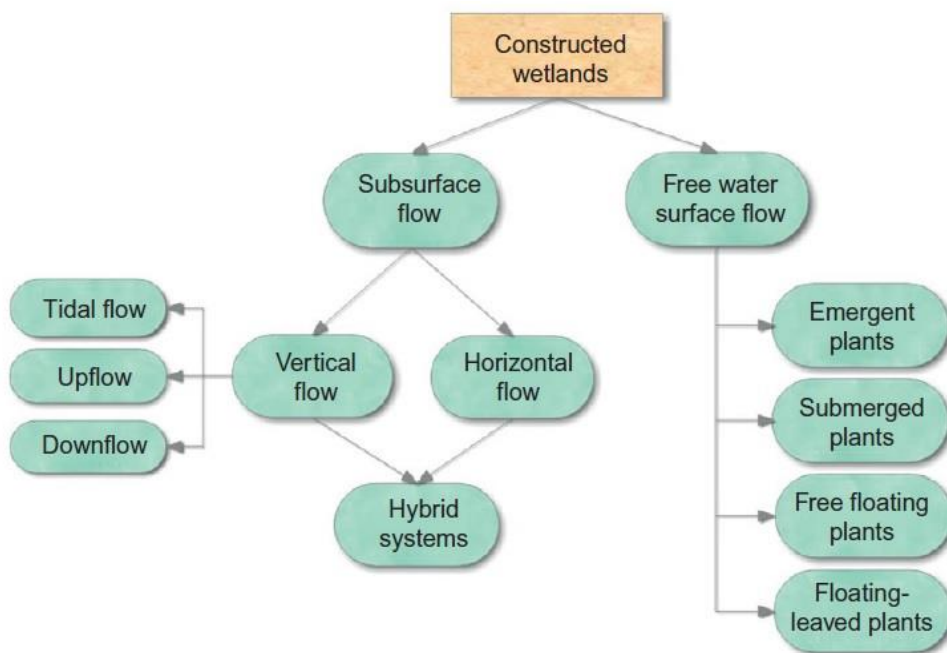
Το σύνολο των ΤΥ που δημιουργούνται για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων μπορεί να διαιρεθεί σε κατηγορίες βάσει συγκεκριμένων χαρακτηριστικών, όπως η κατεύθυνση ροής των λυμάτων μέσα στο σύστημα ή το είδος των φυτών που

χρησιμοποιούνται. Χρησιμοποιώντας ως κριτήριο την κατεύθυνση ροής των λυμάτων μέσα στον ΤΥ, μπορεί να διακριθούν σε δύο βασικές κατηγορίες (Sundaravadivel and Vigneswaran 2001, Vymazal 2007, Kadlec and Wallace 2009):

1. Οι τεχνητοί υγροβιότοποι επιφανειακής ροής (free water surface constructed wetlands) – FWSCW.
2. Οι τεχνητοί υγροβιότοποι υπόγειας (υποεπιφανειακής) ροής (subsurface flow constructed wetlands) - SFCW.

Στους ΤΥ επιφανειακής ροής, υπάρχει υπόστρωμα εδάφους όπου είναι φυτεμένα τα υδροχαρή φυτά και η ροή γίνεται πάνω από το στρώμα του εδάφους, με ένα τυπικό βάθος μερικών εκατοστών (10-60 cm) και με ελεύθερη επιφάνεια στην ατμόσφαιρα. Τουναντίον, στους ΤΥ υπόγειας ροής κατασκευάζεται ένα υπόστρωμα πορώδους υλικού (συνήθως χαλικιού), πάχους 30-120 cm, μέσα στο οποίο παροχετεύεται το απόβλητο και στο ανώτερο στρώμα του οποίου διεισδύουν οι ρίζες των υδροχαρών φυτών.

Οι τεχνητοί υγροβιότοποι υπόγειας ροής, ανάλογα με τη διεύθυνση ροής των υγρών αποβλήτων, μπορεί να διαιρεθούν περαιτέρω σε ΤΥ οριζόντιας υπόγειας ροής και σε ΤΥ κατακόρυφης υπόγειας ροής. Στα κεφάλαια που ακολουθούν, παρουσιάζεται μια αναλυτική περιγραφή όλων αυτών των μορφών. Η κατάταξη των ΤΥ ανάλογα με την κατεύθυνση ροής απεικονίζεται στην Εικόνα 3.1.



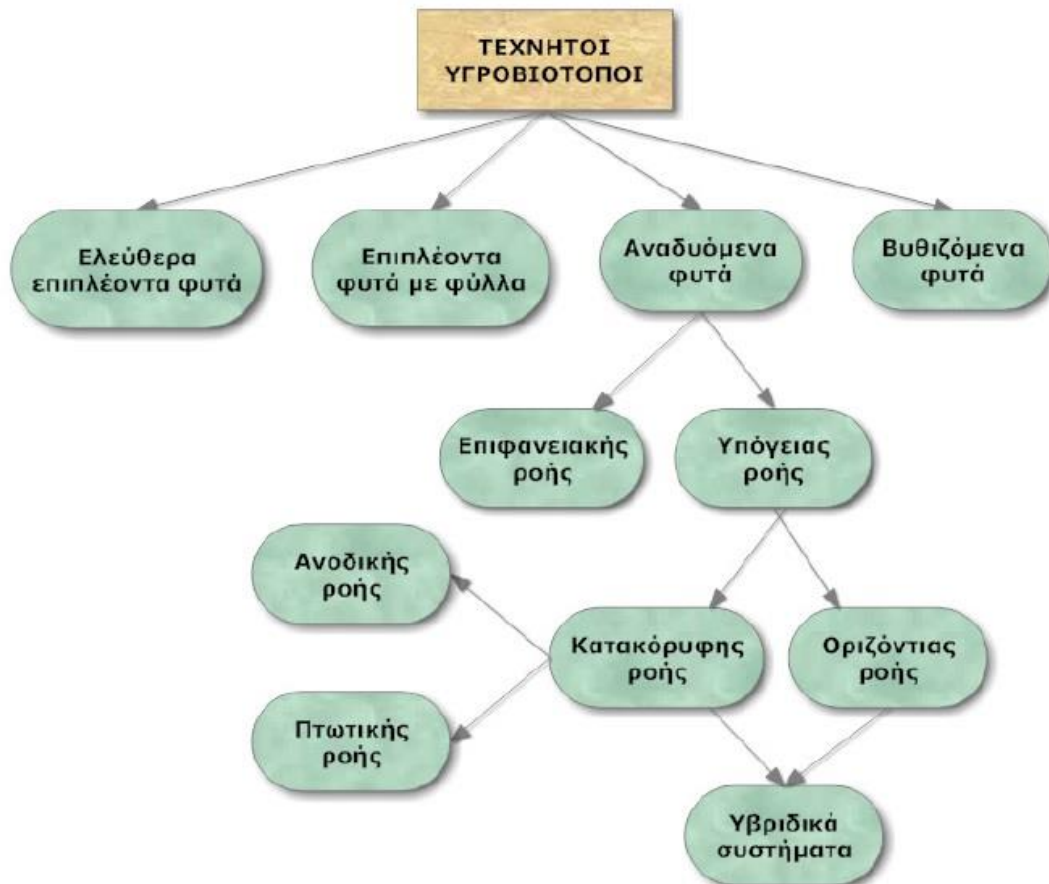
Εικόνα 3.1: Διάκριση ΤΥ για επεξεργασία λυμάτων με βάση τη κατεύθυνση ροής  
Πηγή: Stefanakis et al. (2014)



Μια διαφορετική διάκριση των ΤΥ μπορεί να πραγματοποιηθεί χρησιμοποιώντας ως κριτήριο τα μακρόφυτα που χρησιμοποιούνται. Έτσι, μπορεί κάποιος να διακρίνει τις εξής κατηγορίες (Vymazal 2007):

1. Τεχνητοί υγροβιότοποι με ελεύθερα επιπλέοντα φυτά.
2. Τεχνητοί υγροβιότοποι με επιπλέοντα φυτά με φύλλα.
3. Τεχνητοί υγροβιότοποι με αναδυόμενα φυτά
4. Τεχνητοί υγροβιότοποι με βυθιζόμενα φυτά.

Στην Εικόνα 3.2 παρουσιάζεται μια εποπτική απεικόνιση της προαναφερθείσας κατάταξης:



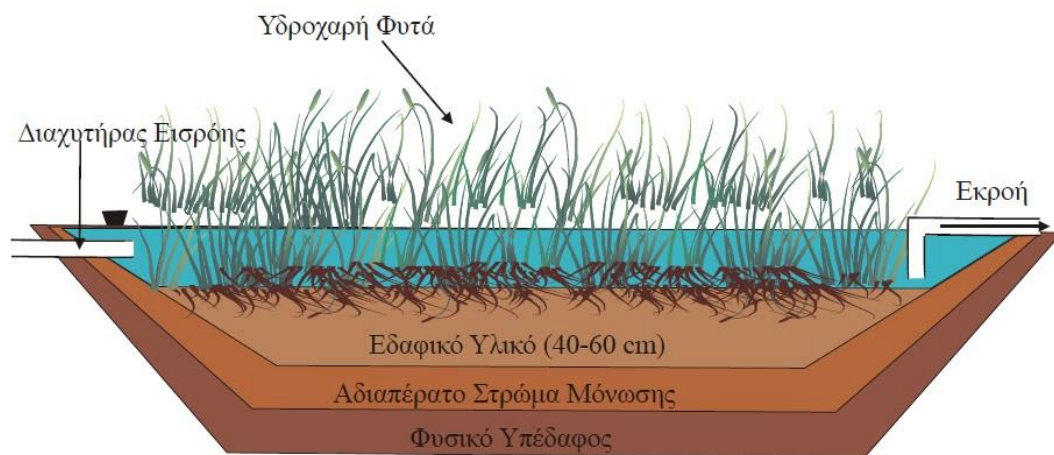
Εικόνα 3.2: Διάκριση ΤΥ για επεξεργασία λυμάτων με βάση τα χρησιμοποιούμενα μακρόφυτα  
Πηγή: Vymazal (2007)

### 3.2.1. Τεχνητοί υγροβιότοποι επιφανειακής ροής

Για τη δημιουργία ΤΥ επιφανειακής ροής, κατασκευάζονται αρχικά στεγανές λεκάνες ή τάφροι. Η στεγανότητα του υγροβιότοπου, προκειμένου να αποφευχθεί το ενδεχόμενο ρύπανσης του υποκείμενου υδροφόρου ορίζοντα, επιτυγχάνεται με τη χρήση μονώσεων (π.χ. αργιλική στρώση ή μονωτικές γεωμεμβράνες), ή και με τη χρήση του ίδιου του φυσικού εδάφους των λεκανών, όταν η μηχανική του σύσταση εξασφαλίζει μικρή διαπερατότητα. Στις λεκάνες προστίθεται στη συνέχεια έδαφος ή άλλο κατάλληλο πληρωτικό υλικό για τη φύτευση και την ανάπτυξη της υδροχαρούς βλάστησης, καθώς επίσης και το νερό των προς επεξεργασία λυμάτων, το οποίο είναι σχετικά μικρού βάθους και ρέει κατά την οριζόντια διεύθυνση πάνω στην επιφάνεια του εδαφικού υλικού (Reed et al. 1995, Kadlec and Knight 1996).

Στα συστήματα ΤΥ με ελεύθερη επιφάνεια νερού, τα υγρά απόβλητα τροφοδοτούνται στη μία άκρη του υγροβιότοπου και οδηγούνται στην έξοδο, η οποία βρίσκεται αντιδιαμετρικά της εισόδου (Εικόνα 3.3), ακολουθώντας οριζόντια πορεία. Κατά τη διάρκεια αυτής της πορείας, έρχονται σε επαφή με ένα σύνολο αερόβιων, ανοξικών και αναερόβιων ζωνών. Οι αερόβιες ζώνες βρίσκονται γύρω από τις ρίζες των αναπτυσσόμενων φυτών του υγροβιότοπου. Η οριζόντια ροή του νερού με μικρή ταχύτητα πάνω από το εδαφικό υλικό δημιουργεί ένα μέσο βάθος της τάξης των 20-40 cm, το οποίο μπορεί να φτάσει και τα 80 cm (Akratos, Jerrentrup, Pechlivanidis, Sylaios and Tsihrintzis 2006), και, επομένως, το νερό εκτίθεται στην ατμόσφαιρα.

Το φυτό που συνήθως χρησιμοποιείται είναι το *Phragmites australis*, το κοινώς λεγόμενο καλάμι, το οποίο έχει την ικανότητα να μεταφέρει οξυγόνο από τα φύλλα και μέσω των ριζωμάτων στις ρίζες (Ειδική Γραμματεία Υδάτων 2012).



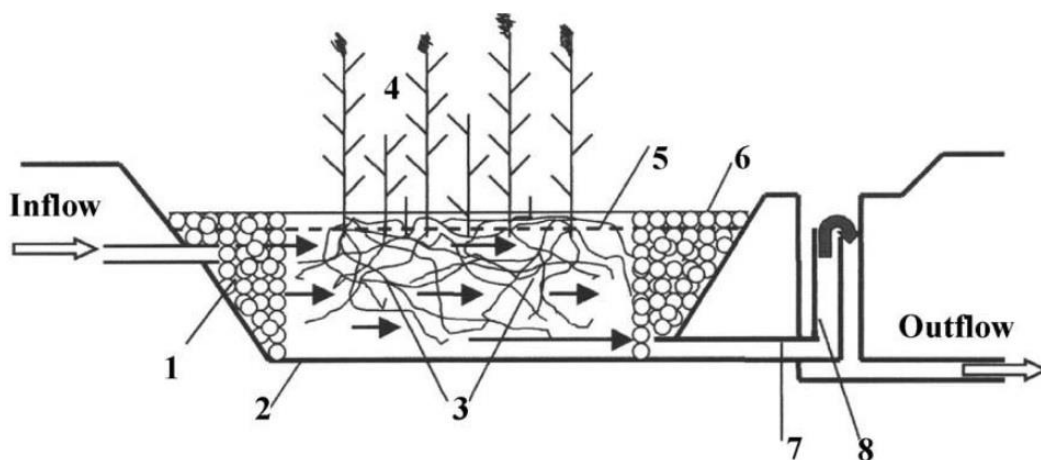
Εικόνα 3.3 : Τεχνητός υγροβιότοπος επιφανειακής ροής  
Πηγή: Ακράτος (2006)

### 3.2.2. Τεχνητοί υγροβιότοποι οριζόντιας υπόγειας ροής

Για τη δημιουργία συστημάτων τεχνητών υγροβιότοπων οριζόντιας υπόγειας ροής κατασκευάζονται αρχικά λεκάνες μέσου βάθους 40 έως 60 cm. Στις λεκάνες γίνεται στεγανοποίηση με πεπιεσμένη αργιλική στρώση ικανοποιητικού πάχους ή με ειδικό συνθετικό υλικό (γεωμεμβράνη) ή με σκυρόδεμα. Στις λεκάνες αυτές τοποθετείται το κατάλληλο αδρανές πληρωτικό υλικό, βάθους 40 έως 60 cm και διαμέτρου κόκκων 2.5 έως 5 cm, στο οποίο φυτεύεται και αναπτύσσεται η κατάλληλη υδροχαρής βλάστηση (Εικόνα 3.4). Η υδροχαρής βλάστηση στα συστήματα αυτά συνίσταται συνήθως από καλάμια ή βούρλα (Reed et al. 1995, Kadlec and Knight 1996). Η κλίση του πυθμένα των λεκανών αυτών είναι της τάξης 1 έως 2% και το προς επεξεργασία νερό, συνήθως ύστερα από πρωτογενή καθαρισμό των λυμάτων, εισέρχεται στο σύστημα των λεκανών και ρέει με υπόγεια οριζόντια ροή.

Το μικρό βάθος του νερού, η μικρή κλίση της φρεατικής επιφάνειάς του, η παρουσία των στελεχών και λοιπών φυτικών υπολειμμάτων και, ειδικότερα, το μεγάλο μήκος διαδρομής του νερού ρυθμίζουν την κίνηση των προς επεξεργασία υγρών αποβλήτων, εξασφαλίζοντας συνθήκες βραδείας ροής. Έτσι, η ροή γίνεται μέσα από το πληρωτικό υλικό των λεκανών και τα υγρά απόβλητα καθαρίζονται καθώς έρχονται σε επαφή με την επιφάνεια του πληρωτικού υλικού και με τις ρίζες των φυτών.

Σημειώνεται εδώ, ότι στο εκτεταμένο σύστημα των ριζών και των ριζικών τριχιδίων των φυτών αναπτύσσονται μικροοργανισμοί, οι οποίοι χρησιμοποιούν το οξυγόνο που μεταφέρεται από το ριζικό σύστημα των φυτών, αποικοδομούν τους διαφόρους ρύπους των αστικών, των βιομηχανικών και των κτηνοτροφικών λυμάτων, εξασφαλίζοντας έτσι την καλύτερη δυνατή επεξεργασία τους (Ακράτος 2006).



Εικόνα 3.4: Αναπαράσταση τεχνητού υγροβιότοπου οριζόντιας υπόγειας ροής  
Πηγή: Vymazal 2002

Στην Εικόνα 3.4 οι αριθμοί αντιπροσωπεύουν τα εξής:

1. Ζώνη διανομής, με μεγάλες πέτρες.
2. Γεωμεμβράνη.
3. Μέσο διήθησης (χαλίκι, θραυστό πέτρωμα).
4. Βλάστηση.
5. Επίπεδο του νερού.
6. Ζώνη συλλογής, γεμάτη με μεγάλες πέτρες.
7. Σωλήνας αποστράγγισης της εξόδου.
8. Δομή για τη διατήρηση της στάθμης του νερού στη λεκάνη.

Σημειώνεται, ακόμα, πως στην Εικόνα 3.4 τα βέλη δείχνουν μόνο ένα γενικό μοτίβο ροής.

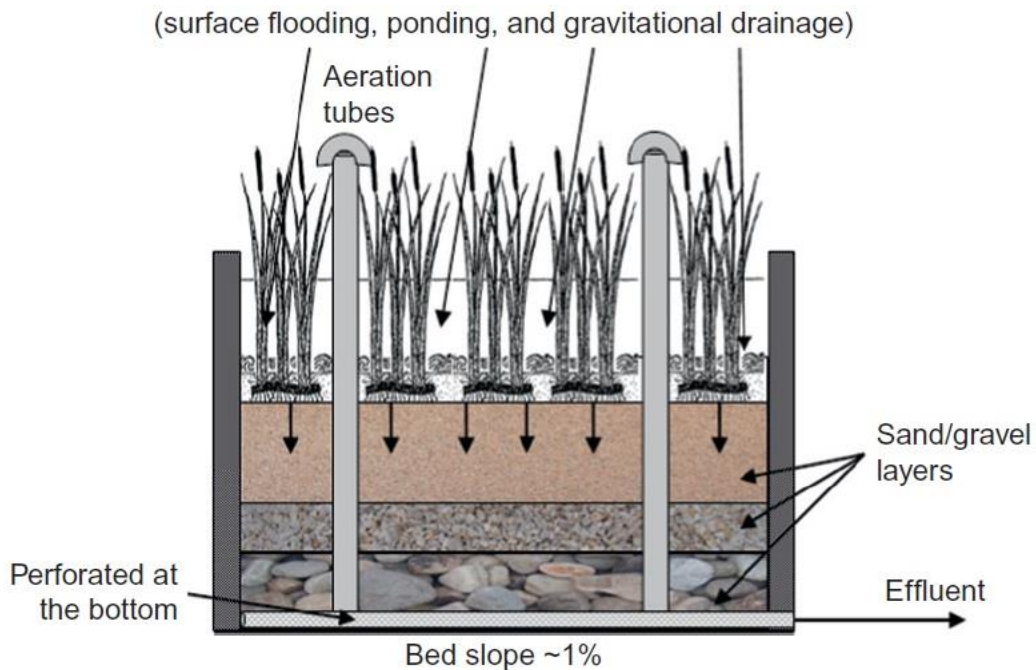
Σχετικά με τις αποδόσεις των ΤΥ οριζόντιας υπόγειας ροής σε αφαίρεση ρύπων, πρέπει να επισημανθεί πως στα συστήματα αυτά παρατηρείται υψηλή απομάκρυνση των οργανικών και των αιωρούμενων στερεών. Παρόλα αυτά, το ποσοστό απομάκρυνσης των θρεπτικών συστατικών είναι χαμηλό. Η απομάκρυνση του αζώτου περιορίζεται από τις ανοξικές - αναερόβιες συνθήκες (συστήματα με χαμηλή ικανότητα μεταφοράς οξυγόνου) που επικρατούν στα πεδία φιλτραρίσματος, όπου δεν είναι δυνατή η νιτροποίηση της αμμωνίας. Επιπλέον, η αφαίρεση του φωσφόρου είναι περιορισμένη, λόγω της χρήσης υλικών φίλτρου (μικρό χαλίκι, θραυστό πέτρωμα κλπ.), που χαρακτηρίζονται από χαμηλή ικανότητα απορρόφησης (Vymazal 2005).

### **3.2.3. Τεχνητοί υγροβιότοποι κατακόρυφης υπόγειας ροής**

Όπως ακριβώς δηλώνει το όνομά τους, στους τεχνητούς υγροβιότοπους κατακόρυφης υπόγειας (ή υπόγειας) ροής, η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων πραγματοποιείται χάρη στην κατακόρυφη ροή των λυμάτων μέσα από τις διάφορες εδαφικές στρώσεις των λεκανών τους. Ο τρόπος λειτουργίας τους έχει επανειλημμένα παραλληλιστεί με το περιοδικό πότισμα μιας γλάστρας, όπου το νερό αρχικά πλημμυρίζει τη λεκάνη και στη συνέχεια αφήνεται να στραγγίσει (Καραμούζης 2003).

Για τη δημιουργία συστημάτων ΤΥ κατακόρυφης υπόγειας ροής κατασκευάζονται κλίνες μέσης τιμής βάθους 0.45 m έως 1.20 m, με μέση κλίση πυθμένα περίπου 1-2 %. Και σε αυτόν τον τύπο ΤΥ, για τη στεγανοποίηση των κλινών και την αποφυγή κινδύνων διαρροής λυμάτων στον υπόγειο υδροφόρο, ο πυθμένας και τα πρανή καλύπτονται από γεωμεμβράνη ή κατασκευάζονται εξαρχής από σκυρόδεμα.

Ακολουθεί η πλήρωση των λεκανών με αδρανή υλικά. Η διάμετρος των υλικών που χρησιμοποιούνται μειώνεται βαίνοντας από τον πυθμένα προς την επιφάνεια των κλινών (Vymazal 2005). Τα φυτά φυτεύονται και αναπτύσσονται στο ανώτερο (επιφανειακό) στρώμα της λεκάνης. Μια τυπική αναπαράσταση ενός ΤΥ τεχνητού υγροβιότοπου κατακόρυφης υπόγειας ροής φαίνεται στην Εικόνα 3.5.



Εικόνα 3.5: Τεχνητός υγροβιότοπος κατακόρυφης υπόγειας ροής  
Πηγή: Stefanakis et al. (2014)

Τα υγρά απόβλητα εφαρμόζονται σε μεγάλες δόσεις (παρτίδες) στην επιφάνεια των κλινών, κατακλύζοντας την επιφάνειά τους. Στη συνέχεια, τα λύματα φιλτράρονται, καθώς διέρχονται κατακόρυφα μέσα από το πορώδες μέσο, λόγω της επίδρασης της βαρύτητας. Αυτός ο τρόπος λειτουργίας, πιέζει προς τα κάτω τον παγιδευμένο αέρα, εισάγοντας παράλληλα φρέσκο οξυγόνο στις λεκάνες. Ο παθητικός αερισμός των κλινών ενισχύεται ακόμη περισσότερο με την κατασκευή σωληνώσεων αερισμού και με την εφαρμογή ενός κύκλου τροφοδοσίας – ανάπαυσης. Κάθε κύκλος τροφοδοσίας αποτελείται από μία περίοδο φόρτισης της οποίας έπεται μία περίοδος ανάπαυσης (Stefanakis and Tsihrantzis 2012). Αυτές οι εναλλακτικές φάσεις τροφοδοσίας και ανάπαυσης παίζουν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη της βιομάζας και στην αερόβια βιοαποικοδόμηση ουσιών (οργανική ύλη, άζωτο κλπ.). Επίσης, αυτός ο τρόπος τροφοδοσίας των λυμάτων εισάγει σημαντικές ποσότητες οξυγόνου στις κλίνες,

ενισχύοντας τις αερόβιες συνθήκες για την οξείδωση του αμμωνιακού αζώτου (αζωτοποίηση) και την αποσύνθεση της οργανικής ύλης (Cooper et al. 1996, Vymazal et al. 1998, Cooper 1999, Vymazal 2007, Kadlec and Wallace 2009). Τα λύματα τελικά συλλέγονται σε ένα σύστημα διάτρητων στραγγιστικών αγωγών, οι οποίοι είναι κατανομημένοι στον πυθμένα της δεξαμενής, σε αποστάσεις περίπου 1 m μεταξύ τους, απαρτίζοντας ένα πυκνό υπόγειο στραγγιστικό δίκτυο για τη συλλογή και την τελική διάθεση του επεξεργασμένου αποβλήτου.

Οι βασικοί λόγοι που οδήγησαν στην ανάπτυξη και την εκτεταμένη χρήση τέτοιων συστημάτων είναι η απαίτηση μικρότερης έκτασης για την επεξεργασία λυμάτων και η διατήρηση αερόβιων συνθηκών. Χάρη στην περιοδική κατάκλυση των λεκανών και την εναλλαγή του κύκλου τροφοδοσίας – ανάπαυσης, τα συστήματα αυτά παρουσιάζουν αξιοσημείωτη δυνατότητα μεταφοράς οξυγόνου μέσα στις κλίνες. Τέλος, με την τοποθέτηση εδαφικών στρώσεων μεγαλύτερου πάχους στις λεκάνες επιτυγχάνεται ένα επιπρόσθετο φιλτράρισμα των υγρών αποβλήτων (Καραμούζης 2003).

#### Σύγκριση τεχνητών υγροβιότοπων υπόγειας και επιφανειακής ροής

Σε γενικές γραμμές, τα συστήματα υπόγειας ροής, σε σύγκριση με τα συστήματα επιφανειακής ροής, χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη αντοχή στο ψύχος και σε υψηλές φορτίσεις ρύπων, ελαχιστοποίηση προβλημάτων από έντομα και οσμές, καθώς και μεγαλύτερη ικανότητα αφομοίωσης ανά μονάδα επιφάνειας (EPA 1995).

Το πορώδες υλικό στα συστήματα υπόγειας ροής παρέχει μεγαλύτερη επιφάνεια για επεξεργασία μέσω επαφής με το απόβλητο, από ό,τι στα συστήματα επιφανειακής ροής. Επιπλέον, από τη στιγμή που η επιφάνεια του νερού δεν είναι εκτεθειμένη στην ατμόσφαιρα, δεν υπάρχουν προβλήματα πρόσβασης του κοινού, ενώ πολλά συστήματα υπόγειας ροής λειτουργούν ακόμη και σε πάρκα (Στεφανάκης 2011).

Από την άλλη πλευρά, οι ΤΥ υπόγειας ροής έχουν συνήθως υψηλότερο κόστος κατασκευής. Ο έλεγχός τους είναι συνήθως δυσκολότερος, ενώ και το κόστος συντήρησης και επισκευών είναι γενικά υψηλότερο από ό,τι στα συστήματα επιφανειακής ροής. Ορισμένα συστήματα μπορεί να εμφανίσουν και προβλήματα εμφράξεων, λόγω υδραυλικής υπερφόρτισης και μη επιθυμητής επιφανειακής ροής, όπως και φαινόμενα φραξίματος των πόρων του υλικού.

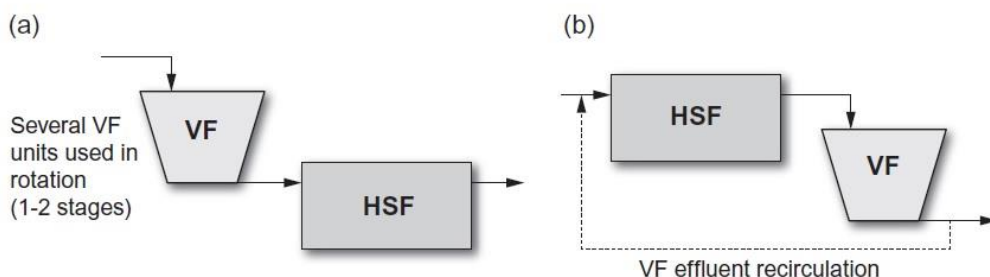
### 3.2.4. Υβριδικά συστήματα τεχνητών υγροβιότοπων

Τα υβριδικά συστήματα αποτελούν συνδυασμούς διάφορων τύπων ΤΥ, και κυρίως ΤΥ κατακόρυφης υπόγειας ροής (Vertical Flow Constructed Wetlands - VFCWs) και ΤΥ οριζόντιας υπόγειας ροής (Horizontal Subsurface Flow Constructed Wetlands – HSF CWs). Τα υβριδικά συστήματα αποσκοπούν στη βελτίωση της συνολικής απόδοσης στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων (Cooper 1999, Vymazal et al. 1998, Vymazal 2011).

Η βασική φιλοσοφία γύρω από την ανάπτυξη υβριδικών συστημάτων έγκειται στην αξιοποίηση των πλεονεκτημάτων ενός τύπου ΤΥ, προκειμένου να αντισταθμίσουν τα μειονεκτήματα ενός δεύτερου τύπου ΤΥ. Τοιουτοτρόπως, το γεγονός πως οι ΤΥ οριζόντιας υπόγειας ροής δεν είναι αποτελεσματικοί για τη διεργασία της νιτροποίησης, εξαιτίας της μειωμένης μεταφοράς οξυγόνου μέσα στην κλίνη, μπορεί να αντισταθμιστεί από τους ΤΥ κατακόρυφης υπόγειας ροής, οι οποίοι είναι πιο αποτελεσματικοί στη νιτροποίηση. Από την άλλη πλευρά, οι ΤΥ οριζόντιας υπόγειας ροής παρουσιάζουν ικανοποιητικές συνθήκες για απονιτροποίηση, σε αντίθεση με τους ΤΥ κατακόρυφης υπόγειας ροής (Stefanakis et al. 2014).

Σε γενικές γραμμές μπορεί να διακριθούν δύο συνήθεις τύποι υβριδικών συστημάτων (Cooper et al. 1996, Cooper 1999):

1. Ένα στάδιο ΤΥ κατακόρυφης υπόγειας ροής που ακολουθείται από ΤΥ οριζόντιας υπόγειας ροής
2. Ένα στάδιο ΤΥ οριζόντιας υπόγειας ροής που ακολουθείται από ΤΥ κατακόρυφης υπόγειας ροής



Εικόνα 3.6: Οι δύο συνήθεστεροι συνδυασμοί διαφορετικών τύπων ΤΥ σε υβριδικά συστήματα  
 Πηγή: Περικοπή σχήματος από τους Stefanakis et al. (2014)

Σύμφωνα με έρευνες, η δεύτερη διαμόρφωση ΤΥ παρουσιάζει ικανοποιητικά αποτελέσματα σχετικά με την απομάκρυνση BOD και COD. Παρόλα αυτά, η απονιτροποίηση δεν είναι ικανοποιητική, εξαιτίας του περιορισμένου άνθρακα.

Η πρώτη διαμόρφωση, με τους ΤΥ κατακόρυφης υπόγειας ροής να προηγούνται, αποφέρει καλύτερα αποτελέσματα. Ο Cooper (1999) που μελέτησε διάφορους τρόπους συνδυασμού των ΤΥ, συμπέρανε πως οι ΤΥ κατακόρυφης υπόγειας ροής πρέπει να τοποθετούνται στην αρχή του συστήματος, διότι αν το σύστημα έχει σχεδιαστεί με το συγκεκριμένο τρόπο, θα μπορεί να επιτυγχάνει ικανοποιητική απομάκρυνση BOD, COD και βακτηρίων και επίσης, πλήρη οξείδωση της αμμωνίας σε νιτρικά ιόντα. Επιπλέον, με αυτή τη διαμόρφωση, απομακρύνεται ένα σημαντικό ποσό του συνολικού αζώτου (Gkika, Gikas and Tsihrintzis 2014).



## 4. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΤΟΥΣ ΤΕΧΝΗΤΟΥΣ ΥΓΡΟΒΙΟΤΟΠΟΥΣ

Σε αυτήν την ενότητα, παρουσιάζονται και αναλύονται τα βασικά υλικά που χρησιμοποιούνται και οι μέθοδοι που ακολουθούνται για τη δημιουργία ενός τεχνητού υγροβιότοπου. Στην αρχή της ενότητας, αναφέρονται τα βασικά βήματα σχεδιασμού και οι παράμετροι χωροθέτησης ενός ΤΥ. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα διάφορα είδη βλάστησης που μπορεί να χρησιμοποιηθούν σε τέτοια συστήματα και αναλύεται ο ρόλος τόσο των φυτών όσο και του υποστρώματος που χρησιμοποιείται για την πλήρωση των κλινών των ΤΥ. Ακολουθεί αναλυτική περιγραφή των μηχανισμών και των διεργασιών που πραγματοποιούνται στους υγροτόπους για την απομάκρυνση των διαφόρων ρύπων που περιέχονται στα υγρά απόβλητα. Στο τέλος της ενότητας, παρουσιάζεται το ισχύον νομοθετικό πλαίσιο σχετικά με τη διαχείριση των υγρών αποβλήτων, το οποίο καθορίζει την ελάχιστες τιμές ρύπων που θα πρέπει να έχουν τα υγρά στην έξοδο κάθε εγκατάστασης επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.

### 4.1. Βασικά Βήματα Σχεδιασμού

Ο ορθός σχεδιασμός ενός συστήματος ΤΥ βασίζεται σε ορισμένα βασικά βήματα, τα οποία περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων (Metcalf and Eddy 1991):

- Την ακριβή εκτίμηση των παροχών εισροής και των ρυπαντικών φορτίων που εισέρχονται στον υγροβιότοπο.
- Τον προσδιορισμό της χρήσης για την οποία θα χρησιμοποιηθούν τα επεξεργασμένα υγρά ή του τελικού αποδέκτη που θα καταλήξουν έπειτα από την επεξεργασία. Ο προσδιορισμός αυτός θα καθορίσει τα ελάχιστα όρια ποιότητας που θα πρέπει να έχει η εκροή του συστήματος, τα οποία με τη σειρά τους θα καθορίσουν την απαιτούμενη απόδοση και την έκταση που θα πρέπει να έχει ο τεχνητός υγροβιότοπος.
- Τον έλεγχο των υδρολογικών και υδραυλικών χαρακτηριστικών του υγροβιότοπου, με σκοπό να επιτευχθεί επίπεδο απόδοσης συγκρίσιμο με την απόδοση των συστημάτων που βρίσκονται ήδη σε λειτουργία.
- 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.

Παρουσιάζονται, επίσης, πολλές συμπληρωματικές ενέργειες που πρέπει να ληφθούν υπόψη για τον επιτυχημένο σχεδιασμό ενός ΤΥ. Αυτές μπορεί να περιλαμβάνουν τη δημιουργία τάφρων και αναχωμάτων, διατάξεων ελέγχου της εισόδου και της εξόδου του νερού, έργα συμπίεσης και διαβάθμισης του εδάφους, ενέργειες στεγανοποίησης και άλλα. Επιπλέον, οι συμπληρωματικές αυτές ενέργειες ενδέχεται να αφορούν μηχανολογικά ζητήματα σχετικά με διατάξεις ελέγχου της ροής. Τα ζητήματα 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 άγριας ζωής (Prescott and Tsanis 1997).

## **4.2. Χωροθέτηση**

Η επιλογή της θέσης στην οποία θα δημιουργηθεί ένας ΤΥ αποτελεί μία από τις σημαντικότερες αποφάσεις κατά τη διαδικασία του σχεδιασμού. Οι βασικές παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπόψη για τη χωροθέτηση ενός ΤΥ είναι η τοπογραφία, η εδαφολογία, οι χρήσεις γης, η υδρολογία και οι κλιματικές συνθήκες της περιοχής μελέτης (Αγγελάκης and Tchobanoglous 1995).

### Τοπογραφία

Με δεδομένο ότι τα συστήματα τεχνητών υγροβιότοπων με ελεύθερη επιφάνεια (FWS) σχεδιάζονται σε επίπεδες λεκάνες ή κανάλια και κατασκευάζονται με κλίσεις 1% ή ελαφρώς μεγαλύτερες, γενικά απαιτείται ομοιόμορφη τοπογραφία (από επίπεδη ως ελαφρώς κεκλιμένη). Είναι φανερό ότι τέτοια συστήματα μπορεί να κατασκευασθούν και σε ανομοιόμορφες εκτάσεις με μεγάλες κλίσεις, αλλά σε τέτοιες περιπτώσεις το κόστος εκσκαφής ίσως είναι απαγορευτικό. Επομένως, κατάλληλες θέσεις για το σχεδιασμό ΤΥ θεωρούνται αυτές με κλίσεις μικρότερες από 5%.

### Εδαφολογία

Πιο επιθυμητές θεωρούνται εκτάσεις με εδάφη ή υπεδάφη με μικρή σχετικά διαπερατότητα (< 5mm/h), καθώς ο αντικειμενικός σκοπός τους είναι η επεξεργασία υγρών αποβλήτων σε μία υδατική στρώση πάνω από το χρησιμοποιούμενο εδαφικό υπόστρωμα. Κατά αυτόν τον τρόπο, ελαχιστοποιούνται οι απώλειες του

εφαρμοζόμενου υγρού αποβλήτου, μέσω της διήθησής του στο έδαφος. Ωστόσο, επισημαίνεται ότι μπορεί να χρησιμοποιηθούν και θέσεις με διαπερατά εδάφη, μετά από την εφαρμογή τεχνικών βελτίωσης του εδάφους, όπως η συμπύκνωσή του, που οδηγεί σε ελάττωση της διαπερατότητας του εδάφους.

### Χρήσεις γης

Συνηθίζεται να προτιμώνται ανοικτές γεωργικές εκτάσεις, ιδιαίτερα εκείνες που ευρίσκονται σε υπάρχοντες φυσικούς υγροβιότοπους. Οι τεχνητοί υγροβιότοποι επιδρούν αυξητικά και βελτιωτικά σε υπάρχοντες φυσικούς υγροβιότοπους με προσθήκη υδρόβιας δραστηριότητας και εξασφάλιση σταθερής υδατοτροφοδοσίας. Σε πολλές περιπτώσεις, μάλιστα, επιδρούν θετικά και στην ποιοτική αναβάθμιση των περιοχών εγκατάστασής τους.

### Υδρολογία

Η περιοχή στην οποία θα σχεδιαστεί ο ΤΥ προτιμάται να βρίσκεται εκτός περιοχών στις οποίες απαντώνται πλημμυρικά φαινόμενα, εκτός και αν προβλέπεται η δημιουργία επιπρόσθετων έργων για την προστασία τους από πλημμυρικά συμβάντα.

### Καιρικές και κλιματικές συνθήκες

Η βροχή, το χιόνι και η θερμοκρασία μπορούν να επηρεάσουν τη λειτουργία των ΤΥ. Οι ισχυρές βροχοπτώσεις ελαττώνουν το χρόνο παραμονής των λυμάτων στο εσωτερικό του ΤΥ και παρασύρουν τους ρύπους προς την έξοδο των συστημάτων. Με δεδομένο ότι οι κύριοι μηχανισμοί επεξεργασίας των ρύπων είναι βιολογικής φύσης (και κυρίως οι μηχανισμοί επεξεργασίας του οργανικού φορτίου και του αζώτου), η απόδοση των ΤΥ εξαρτάται σημαντικά από τη θερμοκρασία. Επομένως, περιοχές με θερμά κλίματα θεωρούνται ιδανικές για τη χωροθέτηση ΤΥ.

Παρόλα αυτά, σχετικές έρευνες έχουν δείξει ότι τα συστήματα ΤΥ μπορούν να λειτουργήσουν και στις χαμηλές θερμοκρασίες που επικρατούν στις χώρες της Κεντρικής και Βόρειας Ευρώπης και Αμερικής, με χαμηλότερα, βέβαια, ποσοστά αφαίρεσης ρύπων (Maehlum and Stalnacke 1999, Dahab and Surampalli 2001). Βέβαια, σε περιοχές που επικρατούν εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες, με αποτέλεσμα η επιφάνεια και το ανώτερο στρώμα (περίπου 20 cm) των συστημάτων να είναι παγωμένα, συστήνεται η υπόγεια εφαρμογή του υγρού αποβλήτου (Kadlec, Knight, Vymazal, Brix, Cooper and Haberl 2000).

### 4.3. Βλάστηση

Τα φυτά αποτελούν ένα από τα σημαντικότερα συστατικά μέρη των ΤΥ. Η παρουσία τους στους ΤΥ είναι ίσως ο βασικός λόγος που οι ΤΥ χαρακτηρίζονται ως «πράσινη τεχνολογία». Τα είδη βλάστησης που χρησιμοποιούνται στους ΤΥ είναι συνήθως τα ίδια είδη με αυτά που συναντώνται στους φυσικούς υγροβιότοπους. Σε γενικές γραμμές, τα είδη της βλάστησης θα μπορούσαν να διαχωριστούν σε επιπλέοντα (floating) φυτά, επιπλέοντα φυτά με φύλλα, αναδυόμενα (emergent) υδρόφυτα και σχεδόν βυθισμένα υδρόφυτα.

Προκειμένου να κριθούν κατάλληλα για χρήση σε ΤΥ, τα διάφορα είδη φυτών θα πρέπει να πληρούν ορισμένες προϋποθέσεις (Tanner 1996):

1. Οφείλουν να είναι προσαρμοσμένα στις οικολογικές συνθήκες της περιοχής μελέτης. Αυτό είναι απαραίτητο για να μην υπάρξει ενδεχόμενο εμφάνισης ζιζανίων, ασθενειών ή κινδύνων για την οικολογική ή γενετική ακεραιότητα των περιβαλλομένων φυσικών οικοσυστημάτων.

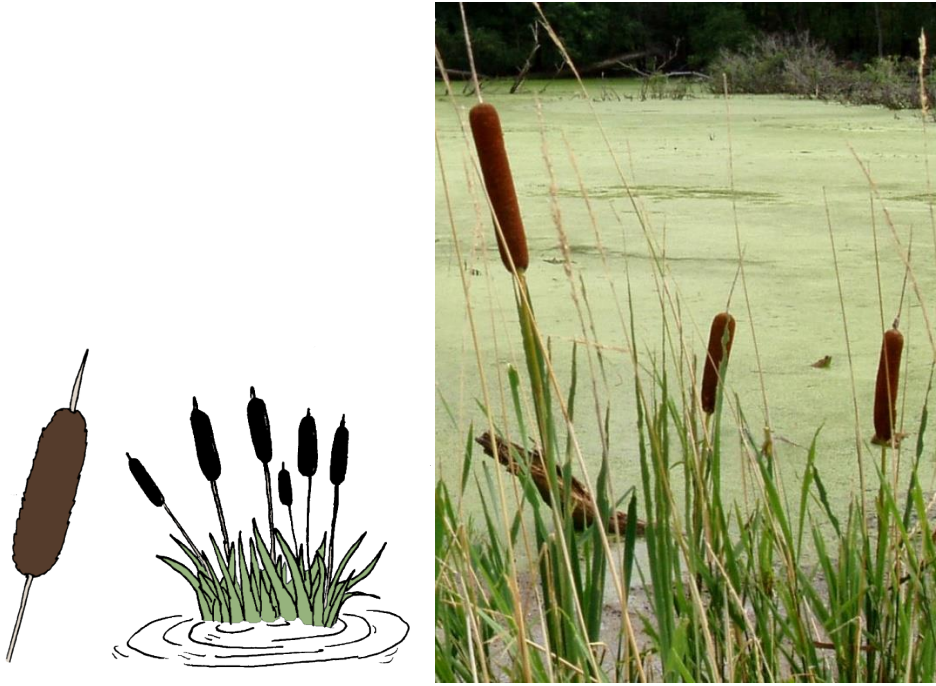
Θα πρέπει, επίσης να έχουν:

2. Αντοχή στις γηγενείς κλιματικές συνθήκες.
3. Αντοχή στους ρύπους και στις συνθήκες υπερτροφικού στάσιμου νερού.
4. Γρήγορη ανάπτυξη, διάδοση και εξάπλωση.
5. Υψηλή ικανότητα απομάκρυνσης ρύπων, είτε διαμέσου απευθείας αφομοίωσης και αποθήκευσης ή έμμεσα με αύξηση των μικροβιακών μετατροπών (π.χ., νιτροποίηση).

#### 4.3.1. Τα χρησιμοποιούμενα είδη φυτών

Τα βασικά είδη βλάστησης που χρησιμοποιούνται τα τελευταία χρόνια σε ΤΥ είναι τα ακόλουθα είδη αναδυόμενων φυτών:

- 1) Ψαθί (*Typha spp.*): Είναι φυτά με επιμήκη φύλλα και κυλινδρικά καφέ άνθη. Βρίσκονται παντού, είναι πολύ ανθεκτικά, αναπτύσσονται καλά κάτω από πολλές περιβαλλοντικές συνθήκες και απλώνονται πολύ εύκολα. Είναι ιδεώδη για τεχνητούς υγροβιότοπους.



Εικόνα 4.1: Ψαθί (*Typha* spp.)  
Πηγή: Images.google.gr

2) Σήφη (*Scirpus* spp.): Είναι πολυετή φυτά που αναπτύσσονται σε συστάδες. Βρίσκονται παντού και αναπτύσσονται σε ποικίλες συνθήκες, όπως σε γλυκό, υφάλμυρο και αλμυρό περιβάλλον (EPA 1995).



Εικόνα 4.2: Σήφη (*Scirpus* spp.)  
Πηγή: Images.google.gr

3) Καλάμι (*Phragmites spp.*): Είναι το είδος που χρησιμοποιείται ως επί το πλείστον στην Ευρώπη. Είναι ψηλά φυτά τύπου χόρτου, που αναπτύσσονται ετήσια αλλά έχουν πολυετές ρίζωμα. Είναι το περισσότερο διαδεδομένο αναδυόμενο φυτό (EPA 1995). Οι ποικιλίες που συνηθίζεται να χρησιμοποιούνται στους υγροβιότοπους είναι η *Phragmites australis* και η *Phragmites communis*.

Το *Phragmites australis*, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί στο προτεινόμενο σύστημα ΤΥ στον οικισμό του Ράφτη (βλ. κεφάλαιο 7), είναι ένα υδροχαρές αγρωστώδες φυτό, με όρθια έκφυση, πράσινα φύλλα και καφέ όρθιες κωνικές ταξιανθίες στο τέλος του καλοκαιριού. Αναπτύσσεται μέσα στο νερό, σε ηλιόλουστες θέσεις. Φυτεύεται στις όχθες λιμνών ή σε μεγάλους υδρόκηπους. Πολλαπλασιάζεται με διαίρεση και δεν προσβάλλεται από ασθένειες ([www.gardensandplants.com](http://www.gardensandplants.com)).



Εικόνα 4.3: Καλάμι (*Phragmites spp.*)  
Πηγή: [Images.google.gr](http://Images.google.gr)

4) Βούρλο (*Juncus spp.*): Τις περισσότερες φορές χρησιμοποιούνται περιφερειακά σε ΤΥ. Οι ποικιλίες που αναπτύσσονται σε ΤΥ είναι η *Juncus articulatus*, *Juncus effusus* και *Juncus effuses* (Τσιχριντζής 2000).



Εικόνα 4.4: Βούρλο (*Juncus* spp.)  
Πηγή: Images.google.gr

5) Σπαθόχορτο (*Carex* spp.): Χρησιμοποιούνται περιφερειακά σε υγροβιότοπους. Στην Ελλάδα συναντώνται γύρω στα 40 είδη των φυτών αυτών. Είναι γνωστά με τις ονομασίες ξιφάρες, μαχαιρίδια και σπαθόχορτα.



Εικόνα 4.5: Σπαθόχορτο (*Carex* spp.)  
Πηγή: Images.google.gr

#### 4.3.2. Ο ρόλος των φυτών

Η σημασία της ύπαρξης των φυτών στους ΤΥ είναι σήμερα ευρέως αναγνωρίσιμη, διότι έχει αποδειχθεί η θετική επίδραση των φυτών στη λειτουργία και την απόδοση

των συστημάτων (Stottmeister et al. 2003). Παρακάτω παρουσιάζονται οι κυριότερες λειτουργίες των φυτών στους ΤΥ (Brix 1997, Προχάσκα 2005).

Η πρώτη λειτουργία των φυτών αναφέρεται στη μεταφορά οξυγόνου στο ριζικό σύστημα και στην απελευθέρωσή του στο εδαφικό σώμα του υγροτόπου. Τα αναδυόμενα υδροχαρή φυτά έχουν την ιδιότητα να απορροφούν μέσω των φύλλων οξυγόνο από την ατμόσφαιρα και να το προωθούν μέσω σωληνίσκων που διαθέτουν προς τις ρίζες. Έτσι, οι ρίζες αερίζονται πάντα, ενώ βρίσκονται σε ένα αναερόβιο περιβάλλον. Σύμφωνα με τους Reed et al. (1995), η ποσότητα οξυγόνου που μπορεί να μεταφερθεί εξαρτάται από την πυκνότητα των φυτών και τα επίπεδα οξυγόνου στις ρίζες τους και μεταβάλλεται μεταξύ 5 και 45 g O<sub>2</sub>/ημέρα /m<sup>2</sup> επιφάνειας υγροβιότοπου. Αν και το περισσότερο από το οξυγόνο χρησιμοποιείται από τα φυτά, μέρος αυτού μεταφέρεται και στο εξωτερικό μέρος των ριζών, με αποτέλεσμα να επικρατούν αερόβιες συνθήκες σε αυτά τα μέρη και να αναπτύσσονται αερόβια μικρόβια. Επομένως, λαμβάνουν χώρα και αερόβιες αντιδράσεις, όπως η νιτροποίηση. Κυρίως, όμως, στο υπόλοιπο μέρος του συστήματος λαμβάνει χώρα αναερόβια αποσύνθεση. Η μεταφορά οξυγόνου με αυτό τον μηχανισμό λαμβάνει χώρα κυρίως σε υγροβιότοπους υπόγειας ροής, ενώ σε υγροβιότοπους επιφανειακής ροής, όπου οι ρίζες των φυτών δεν έρχονται σε απ' ευθείας επαφή με το απόβλητο, ο μηχανισμός είναι απ' ευθείας αερισμός από την ατμόσφαιρα (Τσιχριντζής 2000).

Η δεύτερη λειτουργία είναι η πρόσληψη θρεπτικών συστατικών (αζώτου και φωσφόρου) και η ενσωμάτωση θρεπτικών και οργανικών ουσιών στην κυτταρική μεμβράνη των φυτών. Έρευνες που έγιναν σε πιλοτικής κλίμακας υγροτόπους κατακόρυφης ροής, φυτεμένων με *P. australis* και *Typha* έδειξαν αύξηση της απομάκρυνσης του ολικού κατά Kjeldahl αζώτου (TKN) κατά 30-40 % και του ολικού φωσφόρου (TP) κατά 10-20 % σε σχέση με πανομοιότυπα συστήματα υγροτόπων πληρωμένων μόνο με χαλίκι 5-7 mm και χωρίς φυτική κάλυψη (Heritage, Pistillo, Sharma and Lantzke 1995). Η ποσότητα των θρεπτικών που μπορεί να απομακρυνθεί με το θερισμό των φυτών είναι γενικώς ασήμαντη σε σχέση με το φορτίο που δέχονται τα συστήματα των υγροτόπων (Brix 1994a). Επιπλέον, είναι δυνατόν η ποσότητα των θρεπτικών που έχει ενσωματωθεί στην κυτταρική μεμβράνη των φυτών να επιστρέψει στο υγρό απόβλητο με διεργασίες βιολογικής αποικοδόμησης (Kadlec et al. 2000).

Η τρίτη λειτουργία είναι η ανάπτυξη μικροβιακού πληθυσμού. Το ριζικό σύστημα λειτουργεί ως υπόστρωμα για την ανάπτυξη μικροοργανισμών που αναπτύσσονται υπό τη μορφή λεπτών βιολογικών μεμβρανών (βιοφίλμ) γύρω από τα υπόγεια τμήματα της



φυτικής βλάστησης. Τα βιοφίλμ αυτά ευθύνονται για τις διεργασίες βιολογικής αποικοδόμησης των ρύπων (Kadlec et al. 2000).

Η τέταρτη λειτουργία είναι η διατήρηση καλής υδραυλικής αγωγιμότητας του υποστρώματος. Καθώς αναπτύσσονται οι ρίζες, διαταράσσουν και χαλαρώνουν το εδαφικό σώμα των υγροτόπων. Επιπλέον, όταν οι ρίζες νεκρώνονται και αποσυντίθενται αφήνουν πίσω τους κενά (μακροπόρους), τα οποία πιστεύεται ότι αυξάνουν την υδραυλική αγωγιμότητα των υγροτόπων και εμποδίζουν την απόφραξη των συστημάτων αυτών (Brix 1994a). Ωστόσο, έρευνες πεδίου έδειξαν ότι η πυκνή ανάπτυξη του ριζικού συστήματος είναι δυνατόν να οδηγήσει σε έμφραξη των μακροπόρων και σε μείωση της υδραυλικής αγωγιμότητας του συστήματος (Kadlec et al. 2000).

Η πέμπτη λειτουργία είναι η μόνωση που παρέχει η φυτική βλάστηση στο σύστημα, εμποδίζοντας το πάγωμα τον χειμώνα και διατηρώντας το εδαφικό τμήμα του συστήματος δροσερό το καλοκαίρι (Kadlec et al. 2000).

Η έκτη λειτουργία είναι η αισθητική βελτίωση των συστημάτων. Τα φυτά συμπληρώνουν την εικόνα των υγροτόπων και συμβάλουν στην πλήρη ένταξη των συστημάτων αυτών στο φυσικό περιβάλλον (Brix 1994a).

Από τις παραπάνω λειτουργίες, οι πλέον σημαντικές σε συστήματα τεχνητών υγροτόπων κατακόρυφης ροής είναι η πρόσληψη από τα φυτά, η μόνωση, η διατήρηση καλής υδραυλικής αγωγιμότητας και η αισθητική βελτίωση των συστημάτων. Εξαιτίας του γεγονότος ότι τα συστήματα αυτά λειτουργούν ασυνεχώς, δεχόμενα κάθε φορά μεγάλες υδραυλικές φορτίσεις, η οξυγόνωση των συστημάτων μέσω του ριζικού συστήματος είναι ασήμαντη σε σχέση με την ποσότητα τον οξυγόνου που μεταφέρεται στο σύστημα κατά τη φόρτιση και κατά τα χρονικά διαστήματα που μεσολαβούν μεταξύ δύο διαδοχικών φορτίσεων (Brix 1994a).

#### **4.4. Υπόστρωμα και Πορώδη Υλικά**

Η επιλογή του υποστρώματος σε έναν τεχνητό υγροβιότοπο αποτελεί μια ιδιαίτερα σημαντική σχεδιαστική παράμετρο, η οποία μπορεί να επηρεάσει με ουσιαστικό τρόπο τη λειτουργία και την απόδοση των κλινών τους συστήματος. Τα χαρακτηριστικά του πορώδους υλικού, τα οποία καθορίζουν τη διαπερατότητά του, θα πρέπει να επιλέγονται με μεγάλη προσοχή. Δεν σπανίζουν φαινόμενα φραξίματος των πόρων, σε περιπτώσεις που το επιλεγθέν υπόστρωμα δε διαθέτει την απαιτούμενη διαπερατότητα

για την επεξεργασία του υδραυλικού και οργανικού φορτίου που εφαρμόζεται στις κλίνες. Ως εκ τούτου, η επιλογή των υλικών πλήρωσης μπορεί να συνδέεται με διάφορες δυσλειτουργίες που εμφανίζονται στους ΤΥ, αναφορικά με τη μη ορθή υδραυλική λειτουργία της κλίνης και τη χαμηλή της απόδοση σε απομάκρυνση ρύπων. Στο παρελθόν, ως υλικό υποστρώματος, κυρίως για τη δημιουργία κλινών κατακόρυφης υπόγειας ροής, χρησιμοποιούταν εδαφικό υλικό. Η πρακτική αυτή κατέληγε συχνά σε φαινόμενα φραξίματος των πόρων, εξαιτίας της χαμηλής υδραυλικής αγωγιμότητας του εδαφικού υλικού. Σήμερα, τα περισσότερα συστήματα δημιουργούνται με επίπεδα χαλικιών διαφορετικού είδους και διαμέτρου. Στους ΤΥ κατακόρυφης υπόγειας ροής τοποθετείται συνήθως στην κορυφή μια στρώση με λεπτή άμμο. Η παρουσία των χαλικιών συνοδεύεται από μια σειρά από οφέλη, τα οποία θα μπορούσαν να συνοψισθούν ως εξής (Stefanakis et al. 2014, EPA 1995):

- Υποστηρίζει τη βλάστηση και συμβάλλει στην ανάπτυξη των φυτών.
- Παρέχει αποτελεσματικό φιλτράρισμα των υγρών αποβλήτων.
- Εγγυάται υψηλή διαπερατότητα και επηρεάζει την κίνηση του νερού.
- Υποβοηθάει πολλές διαδικασίες απομάκρυνσης ρύπων, οι οποίες μπορούν να ενισχυθούν με τη χρήση εξειδικευμένων υλικών (όπως βωξίτης και ζεόλιθος), καθώς και λειτουργεί ως αποθήκη για πολλά ρυπαντικά συστατικά.
- Αποτελεί το περιβάλλον στο οποίο λαμβάνουν χώρα πολλοί χημικοί και βιολογικοί (ειδικά οι μικροβιακοί) μετασχηματισμοί.

#### **4.5. Μηχανισμοί Απομάκρυνσης Ρύπων**

Οι τεχνητοί υγροβιότοποι έχουν την ικανότητα να απομακρύνουν μια πληθώρα ρύπων που βρίσκονται στα υγρά απόβλητα. Πρόκειται για το οργανικό φορτίο (βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο - BOD και χημικά απαιτούμενο οξυγόνο - COD), τα αιωρούμενα στερεά, το άζωτο, ο φωσφόρος, τα βαρέα μέταλλα και τους παθογόνους μικροοργανισμούς. Οι ΤΥ διαχωρίζουν και μετατρέπουν τους ρύπους αυτούς με φυσικούς, χημικούς και βιολογικούς μηχανισμούς, οι οποίοι μπορεί να συμβαίνουν ταυτόχρονα ή διαδοχικά κατά τη ροή του υγρού αποβλήτου μέσα στο εσωτερικό του υγροτόπου. Οι διεργασίες που λαμβάνουν χώρα είναι γνωστές ποιοτικά, αλλά μόνο σε λίγες περιπτώσεις έχουν καθοριστεί και ποσοτικά. Οι μηχανισμοί και η σειρά με την οποία λαμβάνουν χώρα εξαρτώνται κυρίως από τη σύσταση, την ποσότητα του εφαρμοζόμενου αποβλήτου, τη συχνότητα φόρτισης, το υπόστρωμα, τα υδρολογικά

χαρακτηριστικά του συστήματος τη φυτική βλάστηση και τα κλιματικά χαρακτηριστικά της περιοχής (Kadlec et al. 2000). Στη συνέχεια του παρόντος κεφαλαίου, περιγράφονται οι μηχανισμοί απομάκρυνσης των κυριότερων ρύπων των αστικών υγρών αποβλήτων σε συστήματα κατασκευασμένων υγροτόπων.

#### **4.5.1. Απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών**

Τα αιωρούμενα στερεά στα αστικά λύματα αποτελούνται από υλικά ανόργανης και οργανικής προέλευσης. Τα αιωρούμενα στερεά ορίζονται ως τα στερεά που συγκρατούνται με διήθηση του υγρού αποβλήτου με φίλτρα υάλου (ή μεμβράνης) διαμέτρου πόρων 1-1.2 μm και μπορεί να έχουν μέγεθος από 1.2-100 μm (Metcalf and Eddy 1991). Τα αιωρούμενα στερεά στους ΤΥ απομακρύνονται συνήθως με τη διεργασία της διήθησης. Καθώς το υγρό απόβλητο διέρχεται μέσα από τον υγρότοπο, τα αιωρούμενα στερεά μεγέθους μεγαλύτερου από τους πόρους του πληρωτικού υλικού δεσμεύονται μεταξύ των πόρων του υλικού. Μια άλλη διεργασία απομάκρυνσης είναι η καθίζηση (συγκράτηση) των αιωρούμενων στερεών πάνω στο πληρωτικό υλικό του υγροτόπου. Η αποτελεσματικότητα των υγροτόπων να απομακρύνουν τα αιωρούμενα στερεά εξαρτάται από το μέγεθος των στερεών, τη φύση τους, την ταχύτητα διέλευσης του υγρού από το σώμα του υγροτόπου και την ανάπτυξη βιολογικής λεπτής στοιβάδας (βιοφίλμ) στην επιφάνεια του πληρωτικού υλικού και γύρω από τις ρίζες των φυτών. Το βιοφίλμ αυτό δύναται να δεσμεύσει κολλοειδή σωματίδια μεγέθους 3-10 μm. Ανάλογα με τη φύση των κολλοειδών σωματιδίων, αυτά μπορεί να μεταβολιστούν προς διαλυτά στερεά, προς αέρια, ή προς βιομάζα, ή μπορεί να προσκολληθούν στο βιοφίλμ. (Kadlec et al. 2000). Η συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών στην είσοδο των συστημάτων αυτών πρέπει να ελαττώνεται με την εφαρμογή προεπεξεργασίας, ή με τη χρήση σηπτικών δεξαμενών, ή δεξαμενών Imhoff. Χωρίς προεπεξεργασία, είναι πιθανόν να συμβεί γρήγορη απόφραξη των συστημάτων, η οποία μπορεί επίσης να συμβεί και με τη δημιουργία συσσωματωμένης ύλης από φύλλα που μαραίνονται και πέφτουν στην επιφάνεια των υγροτόπων, από κατάλοιπα αποσύνθεσης των ριζών των φυτών, καθώς και από κατάλοιπα αποσύνθεσης διάφορων μικροοργανισμών που υπάρχουν στο εσωτερικό των υγροτόπων, όπως είναι τα βακτηρίδια, τα άλγη (φύκη) και οι μύκητες (Blazejewski and Blazejewska 1996, Προχάσκα 2005).

#### 4.5.2. Απομάκρυνση οργανικού φορτίου

Η μέτρηση των οργανικών συστατικών ενός αποβλήτου είναι πρακτικά αδύνατη, λόγω της πολύπλοκης σύστασής του. Έτσι, ως μέτρο των οργανικών συστατικών, αλλά και γενικότερα του ρυπαντικού φορτίου ενός αποβλήτου, χρησιμοποιείται η ποσότητα οξυγόνου που απαιτείται για να οξειδώσει πλήρως τα οργανικά συστατικά του. Ο έλεγχος, λοιπόν, της ποιότητας του οργανικού φορτίου των λυμάτων πραγματοποιείται με τις καθιερωμένες παραμέτρους μέτρησης της οργανικής ρύπανσης νερών, όπως είναι το διαλυμένο οξυγόνο (DO), το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD), το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD) και ο συνολικός οργανικός άνθρακας (TOC).

Σε αυτό το σημείο αναφέρονται με συντομία ο ορισμός και η σημασία των παραπάνω παραμέτρων:

1. Το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (biochemical oxygen demand - BOD) αποτελεί την πιο διαδεδομένη παράμετρο για τη μέτρηση οργανικής ρύπανσης και φορτίου σε επιφανειακά νερά και απόβλητα, αντίστοιχα. Το BOD ορίζεται ως η ποσότητα του διαλυμένου οξυγόνου που απαιτείται για την οξείδωση των οργανικών συστατικών ενός αποβλήτου από μικροοργανισμούς σε CO<sub>2</sub> και H<sub>2</sub>O, μέσα σε αερόβιες συνθήκες. Η οξείδωση αυτή είναι σχετικά αργή και ολοκληρώνεται πρακτικά σε 20 ημέρες, οπότε το προσδιοριζόμενο απαιτούμενο οξυγόνο καλείται τελικό BOD (BOD<sub>L</sub>). Στη συνηθισμένη πρακτική, έχει επικρατήσει ο προσδιορισμός του BOD στις 5 ημέρες (BOD<sub>5</sub>), μέσα στις οποίες οξειδώνονται απλές οργανικές ουσίες που αντιπροσωπεύουν ένα ποσοστό της τάξης του 60-70% των συνολικών οργανικών ουσιών.
2. Το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (chemical oxygen demand – COD) είναι η ποσότητα οξυγόνου που απαιτείται για την πλήρη χημική οξείδωση όλων των οργανικών συστατικών ενός αποβλήτου σε CO<sub>2</sub> και H<sub>2</sub>O από ισχυρό οξειδωτικό μέσο (διχρωμικό κάλιο ή σπανιότερα υπερμαγγανικό κάλιο) και σε όξινες συνθήκες. Κατά τον προσδιορισμό του COD οξειδώνονται σχεδόν όλες οι οργανικές ουσίες, ανεξάρτητα από το αν είναι βιοχημικά διασπάσιμες ή όχι.
3. Εκτός από το οξυγόνο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ο άνθρακας ως μέτρο των οργανικών συστατικών ενός αποβλήτου, επειδή είναι το κύριο συστατικό τους και η βασική πηγή απαίτησης οξυγόνου. Ο συνολικός οργανικός άνθρακας (total organic carbon - TOC) βασίζεται στη μέτρηση του άνθρακα στο CO<sub>2</sub> που παράγεται κατά την πλήρη οξείδωση του άνθρακα των οργανικών ουσιών σε υψηλή θερμοκρασία και με παρουσία καταλύτη.

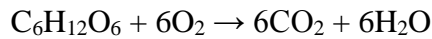
Πρέπει να επισημανθεί, πως παρόλο που όλες αυτές οι παράμετροι προσδιορίζουν το επίπεδο των ρύπων, καμία από αυτές δε δίνει πληροφορίες για τις συγκεκριμένες οργανικές ενώσεις που υπάρχουν στους υγροτόπους, καθώς και για την τύχη τους κατά την επεξεργασία. Ως αποτέλεσμα, κάθε προσπάθεια ποιοτικής ή ποσοτικής μοντελοποίησης των μηχανισμών απομάκρυνσης των οργανικών ρύπων στα συστήματα αυτά είναι σε μεγάλο βαθμό εμπειρική. Στα συστήματα ΤΥ, φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες μετατρέπουν ή/και διαχωρίζουν τους οργανικούς ρύπους και συχνά οδηγούν σε διαφορετικά είδη οργανικών ενώσεων. Έτσι το BOD, το COD ή ο TOC στην έξοδο των συστημάτων δεν προσδιορίζουν ούτε μετρούν τις ίδιες οργανικές ουσίες που εισέρχονται στην είσοδο του συστήματος (Kadlec et al. 2000).

Όλα τα συστήματα ΤΥ είναι ικανά να απομακρύνουν τις οργανικές ουσίες με μεγάλη ταχύτητα, γεγονός που οφείλεται στις αδιατάρακτες συνθήκες στα συστήματα επιφανειακής ροής και στη διήθηση και την απόθεση στα συστήματα υπόγειας ροής. Το BOD<sub>5</sub>, το οποίο έχει καθιζάνει, υπόκειται σε αερόβια/ανοξική αποσύνθεση ανάλογα με την ποσότητα του οξυγόνου στο σημείο της απόθεσης. Το υπολειπόμενο BOD<sub>5</sub>, το οποίο είναι κολλοειδούς και διαλυμένης μορφής, συνεχίζει να αφαιρείται, καθώς το λύμα έρχεται σε επαφή με τα μικρόβια, τα οποία είναι προσκολλημένα στο πληρωτικό υλικό και στις ρίζες των φυτών (Reed et al. 1995, Kadlec and Knight 1996, Vymazal 2002). Η βιολογική αυτή διεργασία μπορεί να είναι αερόβια κοντά στην επιφάνεια των συστημάτων επιφανειακής ροής και σε αερόβιες μικροπεριοχές στα συστήματα υπόγειας ροής, αλλά στο υπόλοιπο σύστημα επικρατεί η ανοξική αποσύνθεση.

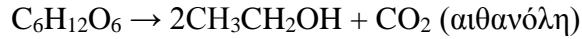
Η απομάκρυνση του οργανικού φορτίου μπορεί να περιοριστεί από την αποσύνθεση φυτικής μάζας και άλλων φυσικών οργανικών που περιέχονται στο σύστημα. Συνεπώς, δεν είναι εφικτό να σχεδιαστεί ΤΥ για την επίτευξη μηδενικής συγκέντρωσης εκροής BOD<sub>5</sub>. Επίσης, η θερμοκρασία φαίνεται να επηρεάζει τις συγκεντρώσεις BOD<sub>5</sub> (Reed et al. 1995), όπως και η εποχιακή εναλλαγή, λόγω μεταβολών στην ανάπτυξη των φυτών, στο σχηματισμό νεκρής οργανικής ύλης άνω των φίλτρων και στον κύκλο του άνθρακα. Τέλος, αναφέρεται ότι η αφαίρεση BOD<sub>5</sub> είναι ταχύτερη στους υπόγειας από επιφανειακής ροής υγροβιότοπους (Kadlec and Knight 1996).

Στην Εικόνα 4.6 παρουσιάζεται αναλυτικά ο κύκλος του άνθρακα σε συστήματα υγροβιότοπων (επιφανειακής και υπόγειας ροής). Οι μετατροπές που περιγράφονται στο κύκλο του άνθρακα πραγματοποιούνται μέσω των χημικών αντιδράσεων, όπως αυτές καταγράφονται ακολούθως από τους Ακράτο (2006) και Kadlec and Knight (1996):

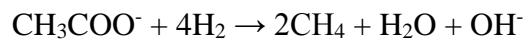
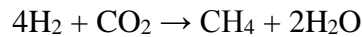
Στις αερόβιες ζώνες η αποδόμηση γίνεται μέσω της αναπνοής:



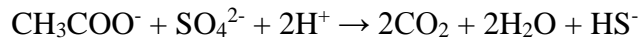
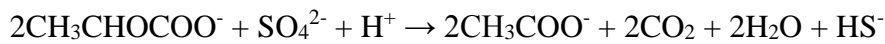
Στις αναερόβιες ζώνες μέσω ζύμωσης:



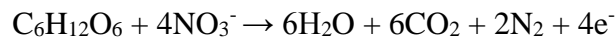
Στις αναερόβιες ζώνες μέσω μεθανογένεσης:



Στις αναερόβιες ζώνες μέσω αναγωγής θεικών:



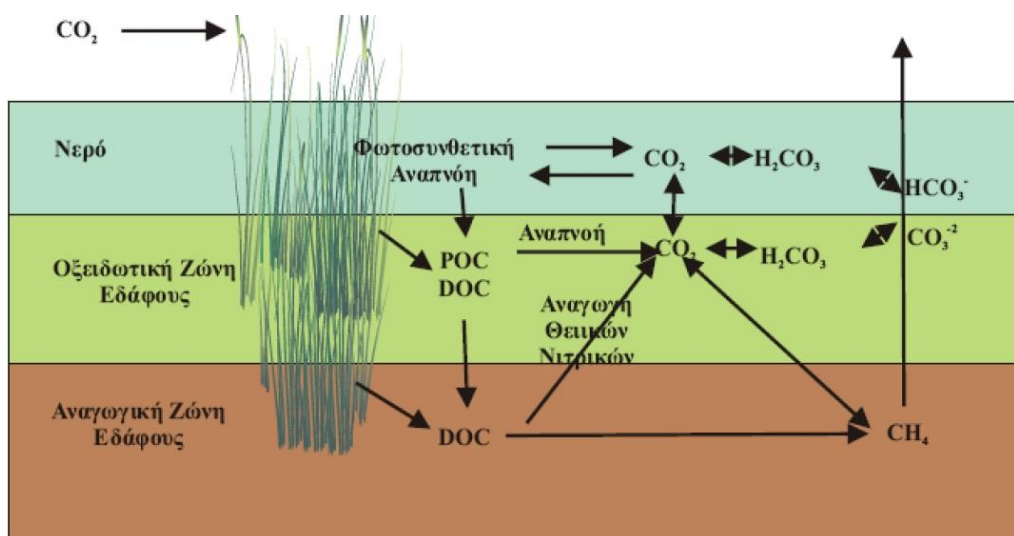
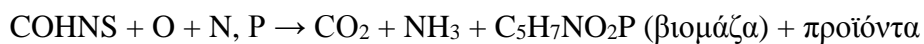
Στις αναερόβιες ζώνες μέσω αναγωγής νιτρικών:



Στις αναερόβιες ζώνες μέσω αναγωγής σιδήρου:



Σύνθεση βιομάζας:



Εικόνα 4.6: Κύκλος άνθρακα σε συστήματα υγροβιότοπων  
Πηγή: Ακράτος (2006)

### 4.5.3. Απομάκρυνση αζώτου

Όμοιες διεργασίες με αυτές που αναφέρθηκαν στο υποκεφάλαιο 4.5.2 για την απομάκρυνση των οργανικών ενώσεων, παρατηρούνται και στην περίπτωση των αζωτούχων. Οι μηχανισμοί απομάκρυνσης του αζώτου από τα λύματα με τη χρήση συστημάτων ΤΥ εξαρτώνται κυρίως από την ειδικότερη μορφή του αζώτου. Η επικρατέστερη μορφή αζώτου είναι το οργανικό και το αμμωνιακό άζωτο. Ο προσδιορισμός του αζώτου γίνεται με τις μεθόδους προσδιορισμού της αμμωνίας, των νιτρικών, των νιτρωδών, του κατά Kjeldahl ολικού αζώτου (TKN), που περιλαμβάνει το οργανικό και το αμμωνιακό άζωτο και του ολικού αζώτου (TN). Σε κάθε περίπτωση τα αποτελέσματα εκφράζονται σε μονάδες συγκέντρωσης, που αντιστοιχούν στο συγκεκριμένο είδος του αζώτου (Metcalf and Eddy 1991).

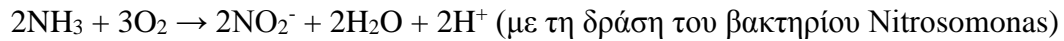
#### Οργανικό Άζωτο

Το οργανικό άζωτο (υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, αμινοξέα) που εντοπίζεται στα υγρά απόβλητα, συνήθως με την μορφή στερεών σωματιδίων που βρίσκονται σε αιώρηση, απομακρύνεται κυρίως με καθίζηση και διήθηση. Ακόμη, το οργανικό άζωτο υπό τη μορφή στερεών συστατικών του αποβλήτου, που συνήθως περιέχεται σε πολύπλοκες μεγαλομοριακές οργανικές ενώσεις, όπως σε υδατάνθρακες και πρωτεΐνες, ενσωματώνεται κατ' ευθείαν στην οργανική μάζα του υποστρώματος, όπου και μετατρέπεται στα υγρά απόβλητα σε αμμωνιακό και στη συνέχεια σε νιτρικό διαμέσου της βιολογικής αμμωνιοποίησης και νιτροποίησης. Η μετατροπή του οργανικού αζώτου σε αμμωνιακό γίνεται από αερόβια ή αναερόβια βακτήρια. Ο ρυθμός, ωστόσο, της μετατροπής είναι μεγαλύτερος υπό αερόβιες συνθήκες. Ο ρυθμός της μετατροπής επηρεάζεται επίσης από το pH, τη θερμοκρασία, καθώς και την υφή και τη δομή του υποστρώματος. Βέλτιστες τιμές pH είναι μεταξύ 6.5-8.5, ενώ η αύξηση της θερμοκρασίας κατά 10 βαθμούς διπλασιάζει το ρυθμό της αερόβιας αμμωνιοποίησης (Προχάσκα 2005, Kadlec et al. 2000).

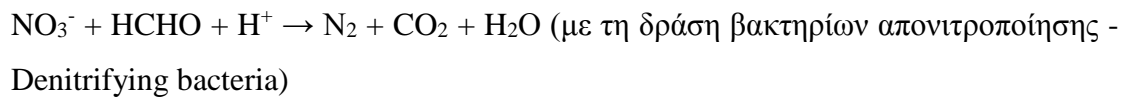
#### Αμμωνιακό Άζωτο

Το αμμωνιακό άζωτο (αμμωνικά άλατα ή αμμωνία), τόσο στους ΤΥ επιφανειακής όσο και στους ΤΥ υπόγειας ροής, απομακρύνεται με τη βιολογική νιτροποίηση την οποία ακολουθεί η απονιτροποίηση. Η νιτροποίηση συνήθως συμβαίνει σε αερόβιες συνθήκες, μπορεί όμως να επιτευχθεί και σε συνθήκες με σχετικά χαμηλά διαλυμένο οξυγόνο (Kadlec and Knight 1996). Η νιτροποίηση είναι ο όρος που χρησιμοποιείται

για να περιγράψει τη βιολογική διεργασία δύο σταδίων, κατά την οποία η αμμωνία μετατρέπεται (οξειδώνεται) σε νιτρικά ιόντα με ενδιάμεση βαθμίδα τα νιτρώδη ιόντα:



Απονιτροποίηση είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη βιολογική διεργασία, κατά την οποία τα νιτρικά ιόντα μετατρέπονται σε αέριο:



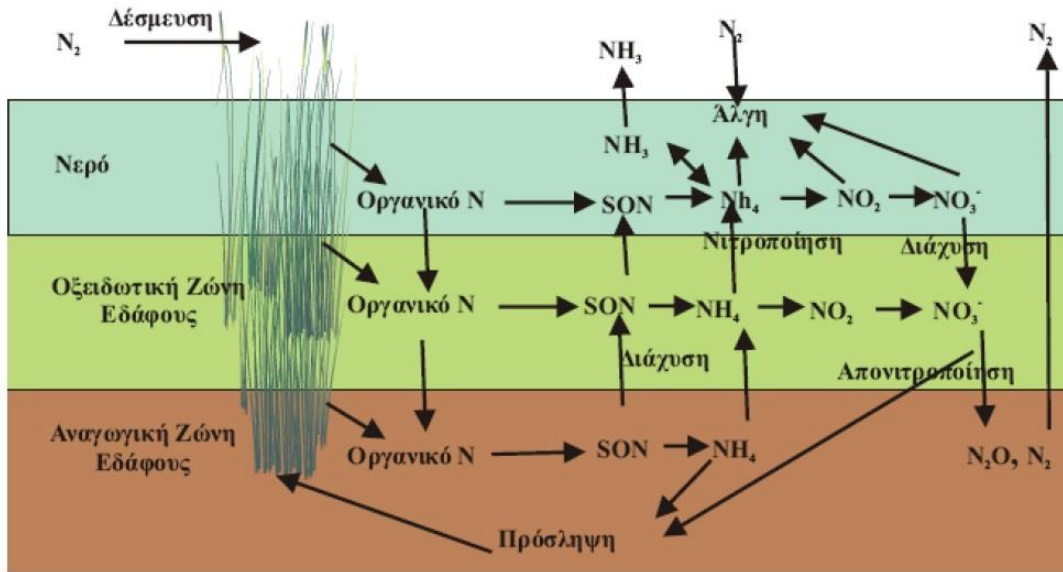
Η νιτροποίηση εξαρτάται από τη μεταβολή της θερμοκρασίας. Συγκεκριμένα, τα μικρόβια που είναι υπεύθυνα για τη νιτροποίηση και την απονιτροποίηση λειτουργούν καλύτερα σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 15° C (Vymazal 1999). Επίσης, πάνω από αυτή τη θερμοκρασία λαμβάνει χώρα η ανάπτυξη των φυτών που παρέχουν το απαραίτητο διαλυμένο οξυγόνο για τη νιτροποίηση (Ακράτος 2006).

### Νιτρικό Άζωτο

Το νιτρικό άζωτο φέρει αρνητικό φορτίο και, επομένως, δεν συγκρατείται με αντιδράσεις εναλλαγής στα διάφορα στερεά σωματίδια, οπότε και συνήθως παραμένει σε διάλυση και μεταφέρεται με το νερό. Έτσι, όταν το νιτρικό άζωτο δεν απομακρύνεται με πρόσληψη από φυτά, ή όταν δεν απονιτροποιείται (δηλαδή δεν μετατρέπεται π.χ. σε αέριο άζωτο) καταφεύγει στους υποκείμενους υπόγειους υδροφορείς. Το νιτρικό άζωτο με τη διεργασία της βιολογικής απονιτροποίησης απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα ως οξειδίο του αζώτου ή (συνηθέστερα) ως ελεύθερο άζωτο. Η απονιτροποίηση διενεργείται με επαμφοτερίζοντα βακτήρια υπό ανοξικές συνθήκες. Για αυτήν τη διεργασία δεν είναι απαραίτητο να επικρατούν ανοξικές συνθήκες σε ολόκληρο το σύστημα. Έτσι, η απονιτροποίηση είναι δυνατό να συμβαίνει σε ανοξικές μικροπεριοχές, παρακείμενες σε ευρύτερες αερόβιες περιοχές. Ωστόσο, σε συστήματα κατασκευασμένων υγροτόπων κατακόρυφης ροής επικρατούν αερόβιες συνθήκες σε όλο το εσωτερικό του υγροτόπου και, συνεπώς, είναι πολύ δύσκολο να παρατηρηθεί ικανοποιητική απομάκρυνση των νιτρικού αζώτου με βιολογική απονιτροποίηση (Προχάσκα 2005, Reddy and D'Angelo 1997).

Στην Εικόνα 4.7 παρουσιάζεται εποπτικά ο κύκλος του αζώτου σε συστήματα υγροβιότοπων (επιφανειακής και υπόγειας ροής).





Εικόνα 4.7: Κύκλος αζώτου σε συστήματα υγροβιότοπων  
Πηγή: Ακράτος (2006)

#### 4.5.4. Απομάκρυνση φωσφόρου

Ο φωσφόρος περιέχεται στα υγρά απόβλητα με τις παρακάτω μορφές (Metcalf and Eddy 1991):

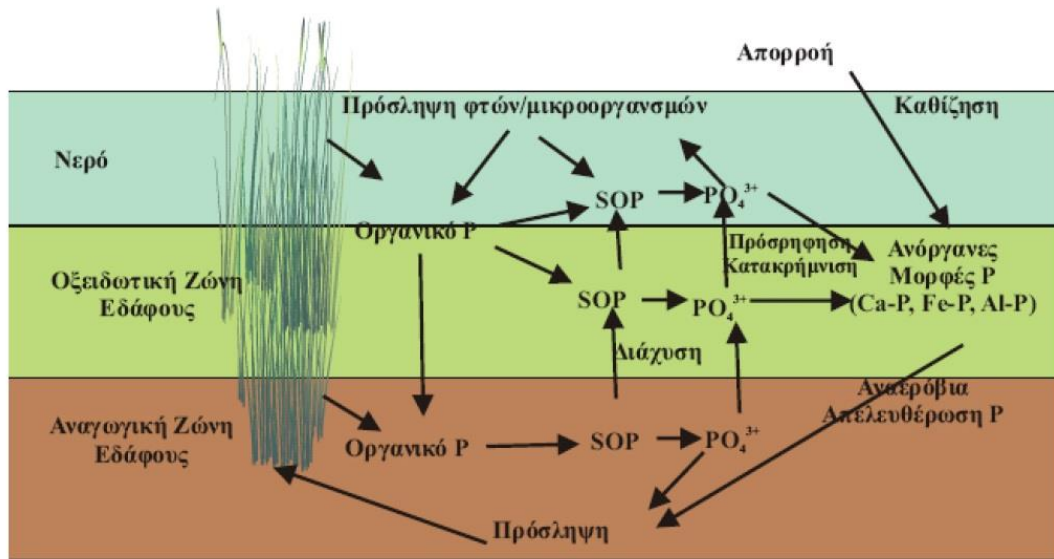
1. Ανόργανος φωσφόρος, κυρίως ως ορθοφωσφορικά ( $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) ή και πολυφωσφορικά ( $\text{P}_3\text{O}_{10}^{5-}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$ ).
2. Οργανικός φωσφόρος (σε μικρότερες ποσότητες από ό,τι ο ανόργανος).

Σημειώνεται ότι η διοχέτευση λυμάτων που περιέχουν φώσφορο σε ένα υδάτινο φορέα ευνοεί το φαινόμενο του ευτροφισμού, καθιστώντας την αφαίρεση των ποσοστών του στα απόβλητα επιτακτική. Γενικά, οι κύριοι μηχανισμοί απομάκρυνσης τον φωσφόρου σε συστήματα ΓΥ είναι οι ακόλουθοι:

1. Η προσρόφηση στο υπόστρωμα και η χημική κατακρήμνιση.
2. Η αφομοίωση στο βιολογικό φιλμ (βιοφίλμ), και
3. Η πρόσληψη από τα φυτά.

Οι τεχνητοί υγροβιότοποι δεν είναι το ίδιο αποτελεσματικοί στην απομάκρυνση του φωσφόρου, εξαιτίας των περιορισμένων δυνατοτήτων επαφής του λύματος και του εδάφους. Ένα σύστημα μπορεί να επιτύχει αποτελεσματική απομάκρυνση φωσφόρου κατά τα πρώτα χρόνια της λειτουργίας του λόγω της προσροφητικής ικανότητας του εδάφους. Όταν όμως το σύστημα αυτό φτάσει σε ισορροπία, η αφαίρεση φωσφόρου είναι δυνατό να μειωθεί. Η λήψη από τα φυτά συνεχίζει να συμβαίνει, όμως η αποσύνθεσή τους απελευθερώνει μέρος του φωσφόρου που είχαν απορροφήσει

(Ακράτος 2006). Στην Εικόνα 4.8 παρουσιάζεται αναλυτικά ο κύκλος του φωσφόρου σε συστήματα υγροβιότοπων.



Εικόνα 4.8: Κύκλος φωσφόρου σε συστήματα υγροβιότοπων  
Πηγή: Ακράτος (2006)

#### 4.5.5. Απομάκρυνση παθογόνων μικροοργανισμών

Οι παθογόνοι μικροοργανισμοί που μπορεί να εντοπιστούν στα αστικά λύματα είναι κυρίως βακτήρια, ιοί και πρωτόζωα. Ο προσδιορισμός τους γίνεται με τη βοήθεια ενδεικτικών μικροοργανισμών, των οποίων η παρουσία στο νερό σημαίνει και την πιθανή παρουσία των παθογόνων μικροοργανισμών. Ως ενδεικτικοί παθογόνοι μικροοργανισμοί χρησιμοποιούνται τα κολοβακτηρίδια, *Escherichia Coli* (E-Coli), τα *Enterobacter Aerogenes*, τα κολοβακτηρίδια περιττωματικής προέλευσης (Fecal Coliforms, FC) και το σύνολο των κολοβακτηριδίων (Total Coliforms, TC). Οι μηχανισμοί απομάκρυνσης των βακτηρίων και των παρασίτων που απαντώνται στα περισσότερα φυσικά συστήματα επεξεργασίας, περιλαμβάνουν καθίζηση, προσρόφηση, ακτινοβολία (ηλιακό φως), ξήρανση, εμπλοκή, ανταγωνιστικές επιδράσεις, φυσική φθορά και γενικά έκθεση σε άλλες αντίζοες περιβαλλοντικές συνθήκες (Kadlec et al. 2000).

#### 4.5.6. Απομάκρυνση μετάλλων

Τα μέταλλα που εισέρχονται στα συστήματα των υγροτόπων περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων το χαλκό Cu, το παλλάδιο Pd και τον ψευδάργυρο Zn και αυτά σε συγκεντρώσεις της τάξης των mg/L. Συνήθως, εισέρχονται ως αδιάλυτα αιωρούμενα στερεά και απομακρύνονται με τρόπο παρόμοιο με τα αιωρούμενα στερεά. Ανάλογα

με την τιμή του pH και το δυναμικό οξειδοαναγωγής τα αδιάλυτα είδη μπορεί να επαναδιαλυθούν. Στους σημαντικούς μηχανισμούς απομάκρυνσης μετάλλων περιλαμβάνονται κυρίως η προσρόφηση, η χημική κατακρήμνιση, η ιονανταλλαγή, ενώ σε μικρότερο βαθμό η πρόσληψή τους από τις ρίζες των φυτών (Kadlec et al. 2000).

Στον Πίνακα 4.1 περιγράφονται συνοπτικά οι κυριότεροι μηχανισμοί απομάκρυνσης ή επεξεργασίας των διαφόρων ρύπων σε συστήματα επεξεργασίας λυμάτων με τεχνητούς υγροτόπους ελεύθερης επιφάνειας και υπόγειας ροής, που αναλύθηκαν στο παρόν κεφάλαιο.

**Πίνακας 4.1: Συνοπτική παρουσίαση διεργασιών απομάκρυνσης των διάφορων ρύπων**

<b>Ρύπος</b>	<b>Διεργασία Απομάκρυνσης Ρύπου</b>
Οργανικό φορτίο	Βιολογική αποδόμηση, ιζηματοπόθεση, μικροβιακή κατανάλωση
Αιωρούμενα στερεά	Καθίζηση, διήθηση, ιζηματοπόθεση,
Άζωτο	Ιζηματοπόθεση, νιτροποίηση/απονιτροποίηση, μικροβιακή κατανάλωση, λήψη από φυτά, αεριοποίηση
Φωσφόρος	Ιζηματοπόθεση, διήθηση, προσρόφηση, κατανάλωση από μικρόβια – φυτά
Παθογόνα μικρόβια	Φυσικός θάνατος, ιζηματοπόθεση, διήθηση, αποδόμηση με UV, προσρόφηση
Βαρέα μέταλλα	Ιζηματοπόθεση, προσρόφηση, λήψη από φυτά

#### **4.6. Νομοθετικό Πλαίσιο για τη Διαχείριση των Υγρών Αποβλήτων**

Στην ενότητα αυτή, αναφέρονται οι βασικές νομοθετικές διατάξεις του κοινοτικού και του εθνικού δικαίου σχετικά με τη διαχείριση των υγρών αποβλήτων και ειδικότερα των αστικών λυμάτων. Σε πρώτη φάση, παρουσιάζεται η νομοθεσία που διέπει τον ευρύτερο ευρωπαϊκό χώρο και, στη συνέχεια, παρατίθεται η εθνική κανονιστική νομοθεσία. Υπογραμμίζεται πως στην ενότητα αυτή δεν πραγματοποιείται εξαντλητική αναφορά όλων των νομοθετικών διατάξεων που σχετίζονται με τα υγρά απόβλητα, αλλά παρουσιάζονται οι σημαντικότερες εξ αυτών, προκειμένου να αναδειχθούν οι στόχοι της ευρωπαϊκής περιβαλλοντικής πολιτικής, όπως ακόμη και οι υποχρεώσεις που απορρέουν για τη χώρα μας.

#### 4.6.1. Κοινοτικό δίκαιο

Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που περιορίζουν την επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων στην Ευρώπη και ιδιαίτερα στην περιοχή της Μεσογείου είναι η απουσία ενός ενιαίου, διεθνούς ή έστω και περιφερειακού νομοθετικού πλαισίου. Αξιοσημείωτη είναι η απουσία νομοθεσίας για την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Η μόνη αναφορά, η οποία κρίνεται ως γενική, γίνεται στην Οδηγία 91/271/ΕΟΚ «...περί της επεξεργασίας υγρών αποβλήτων» και πιο συγκεκριμένα στο άρθρο 12, § 1 αναφέρεται ότι: «Τα επεξεργασμένα αστικά υγρά απόβλητα πρέπει να επαναχρησιμοποιούνται, όποτε είναι σκόπιμο» (ΕΟΚ 1991). Σημαντική παράμετρο για την έλλειψη ενιαίας θεώρησης στον χώρο της Ε.Ε. αποτελούν οι διαφοροποιήσεις στη διαθεσιμότητα υδατικών πόρων και στις χρήσεις τους μεταξύ των βορείων, των κεντρικών και των νοτίων χωρών-μελών της (Αγγελάκης and Tchobanoglous 2005). Παρόλα αυτά, η Οδηγία 91/271/ΕΟΚ για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων, όπως τροποποιήθηκε με την οδηγία 98/15/ΕΚ της Επιτροπής της 27<sup>ης</sup> Φεβρουαρίου 1998 (σχετικά με ορισμένες απαιτήσεις που καθορίζονται στο Παράρτημα Ι αυτής), συνιστά έναν από τους ακρογωνιαίους λίθους της κοινοτικής πολιτικής για τα ύδατα και της περιβαλλοντικής πολιτικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης γενικότερα. Επιβάλλει, μάλιστα, μια σειρά από υποχρεώσεις στα κράτη-μέλη, οι οποίες πρέπει να τηρηθούν σε συγκεκριμένες προθεσμίες και αφορούν στα δίκτυα αποχέτευσης, στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, στη διάθεση λυματολάσπης και στην παρακολούθηση των απορρίψεων. Οι παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη είναι οι εξής:

- Το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο BOD.
- Το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο COD.
- Τα ολικά αιωρούμενα στερεά TSS (Total Suspended Solids).

Οι εκροές των εγκαταστάσεων επεξεργασίας αστικών λυμάτων, σύμφωνα με τα άρθρα 4 και 5 της Οδηγίας, πρέπει να πληρούν τις προδιαγραφές που φαίνονται στον Πίνακα 4.2 για τους οικισμούς από 2.000 έως 10.000 κατοίκους.

Πίνακας 4.2: Παράμετροι και τιμές ρύπων έπειτα από επεξεργασία των λυμάτων  
Πηγή: Οδηγία 91/271/ΕΟΚ

Παράμετροι	Συγκέντρωση (mg/L)	Ελάχιστη Απόδοση %
BOD	25	70-90
COD	125	75
TSS	35 (άνω των 10000 ι.κ.) 60 (2000-10000 ι.κ.)	90

Σε περιπτώσεις μεγαλύτερων ισοδύναμων πληθυσμών και διάθεσης των λυμάτων σε ευαίσθητες περιοχές, προκύπτουν επιπρόσθετες απαιτήσεις σχετικά με το ολικό φώσφορο και το ολικό άζωτο. Οι απαιτήσεις αυτές απεικονίζονται στον Πίνακα 4.3.

**Πίνακας 4.3: Απαιτήσεις διάθεσης λυμάτων κατόπιν βιολογικής επεξεργασίας για ευαίσθητες περιοχές**  
**Πηγή: Οδηγία 91/271/ΕΟΚ**

Παράμετροι	Συγκέντρωση (mg/L)	Ελάχιστη Απόδοση %
Ολικός Φωσφόρος	1 (άνω των 10000 ι.κ.) 2 (10000-100000 ι.κ.)	80
Ολικό Άζωτο	10 (άνω των 10000 ι.κ.) 15 (10000-100000 ι.κ.)	70-80

#### 4.6.2. Ελληνική Νομοθεσία

Η συλλογή, μεταφορά, επεξεργασία και διάθεση των αστικών λυμάτων διαφόρων εγκαταστάσεων (οικισμοί, ξενοδοχεία κλπ.) υπόκεινται στη συνταγματική αρχή που καθιστά υποχρεωτική την προστασία του περιβάλλοντος και μάλιστα στις γενικές ρυθμίσεις του Ν. 1650/86, του βασικότερου ελληνικού νόμου για την προστασία του περιβάλλοντος. Γενικά, η διαχείριση των αστικών υγρών αποβλήτων στην Ελλάδα, όπως και στα υπόλοιπα κράτη-μέλη της Ε.Ε., διέπεται από την οδηγία 91/271/ΕΟΚ (ΕΟΚ 1991). Με την αριθ. 5673/400/14.3.97 Κοινή Υπουργική Απόφαση, η επεξεργασία των αστικών υγρών αποβλήτων στην Ελλάδα εναρμονίζεται πλήρως με αυτήν της Ε.Ε. Σύμφωνα με αυτήν, τα αστικά λύματα που διοχετεύονται σε αποχετευτικά δίκτυα και αποβάλλονται σε γλυκά ύδατα από οικισμούς με ισοδύναμο πληθυσμό μεταξύ 2000 και 10000 ατόμων, θα πρέπει να υποβάλλονται σε δευτεροβάθμια ή ισοδύναμη επεξεργασία. Επίσης, με βάση την ΟΙΚ 5673/400/14-3-97 ΚΥΑ, όταν η διάθεση των λυμάτων γίνεται σε παράκτια νερά και οικισμούς με λιγότερο από 10000 ισοδύναμο πληθυσμό και όταν η διάθεση γίνεται σε γλυκά νερά από οικισμούς με λιγότερο ισοδύναμο πληθυσμό από 2000 άτομα, πρέπει τα λύματα να υφίστανται κατάλληλη επεξεργασία. Κατάλληλη επεξεργασία είναι η επεξεργασία που επιτρέπει στον υδάτινο αποδέκτη να ανταποκρίνεται στους σχετικούς ποιοτικούς στόχους με βάση την καθοριζόμενη χρήση και τις συναφείς διατάξεις της κείμενης νομοθεσίας (Κούγκολος 2007).

Στην Ελλάδα, το νομοθετικό πλαίσιο που καθορίζει την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων καθορίστηκε πρόσφατα. Η σχετική ΚΥΑ

«Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και άλλες διατάξεις», είναι η 145116/2011 (ΦΕΚ Β΄354/2011), η οποία συνοδεύτηκε από δύο ερμηνευτικές εγκυκλίους. Ο νομοθέτης έχει καθορίσει όρια για ρύπους και μολυσματικούς παράγοντες όλων των προαναφερθεισών κατηγοριών. Ο Πίνακας 4.4 παραθέτει τα προτεινόμενα όρια για μικροβιολογικές και συμβατικές παραμέτρους στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης λυμάτων για άρδευση στην Ελλάδα (ΚΥΑ 145116/2011).

**Πίνακας 4.4: Προτεινόμενα όρια για μικροβιολογικές και συμβατικές παραμέτρους στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης λυμάτων για άρδευση και βιομηχανική χρήση στην Ελλάδα**  
 Πηγή: ΚΥΑ 145116/2011

<b>Τύπος επαναχρησιμοποίησης</b>	<b>Περιττωματικά κολοβακτηρίδια / FC 100 mL</b>	<b>BOD5 (mg/L)</b>	<b>TSS (mg/L)</b>	<b>Προτεινόμενη επεξεργασία</b>
Περιορισμένη άρδευση.	200 διάμεση τιμή 800 για το 95% των δειγμάτων	25 για το 95% των δειγμάτων	35 για το 95% των δειγμάτων	Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία, Τριτοβάθμια Επεξεργασία, Απολύμανση
Απεριόριστη άρδευση	5 για το 80% των δειγμάτων 15 για το 95% των δειγμάτων 100 μέγιστη τιμή	10 για το 80% των δειγμάτων	10 για το 80% των δειγμάτων	Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία, Τριτοβάθμια, επεξεργασία, Απολύμανση

Στον Πίνακα 4.4 επισημαίνεται πως η περιορισμένη άρδευση αφορά δάση και περιοχές, όπου δεν αναμένεται πρόσβαση του κοινού, καλλιέργειες ζωοτροφών, βιομηχανικές καλλιέργειες, λιβάδια, δέντρα (συμπεριλαμβανομένων των οπωροφόρων, με την προϋπόθεση ότι κατά τη συλλογή οι καρποί δεν βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος), καλλιέργειες σπόρων και καλλιέργειες που παράγουν προϊόντα τα οποία υποβάλλονται σε περαιτέρω επεξεργασία πριν την κατανάλωσή τους. Αντίστοιχα, η απεριόριστη άρδευση αναφέρεται σε όλες τις καλλιέργειες, όπως στα λαχανικά, στα αμπέλια ή στις καλλιέργειες των οποίων τα προϊόντα καταναλώνονται ωμά και στα θερμοκήπια. Η απεριόριστη άρδευση επιτρέπει την εφαρμογή διαφόρων μεθόδων εφαρμογής του νερού συμπεριλαμβανομένου του καταιονισμού.

## **5. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ: ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ**

Σε αυτήν την ενότητα της εργασίας παρουσιάζεται η υφιστάμενη κατάσταση στην ενδιαφερόμενη περιοχή μελέτης, δηλαδή τόσο στον οικισμό Ράφτη, όσο και στην ευρύτερη περιοχή στην οποία εντάσσεται ο οικισμός. Τα δεδομένα για την καταγραφή της υπάρχουσας κατάστασης αντλήθηκαν κυρίως από το σχέδιο δράσης για την αειφόρο ενέργεια του Δήμου Γορτυνίας, τη μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων (ΜΠΕ) που εκπονήθηκε για τη δημιουργία εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων στο Δήμο Ηραίας, τη μελέτη δημιουργίας σταθμού μεταμόρφωσης αποβλήτων στο Δήμο Γορτυνίας, καθώς και από τις υπόλοιπες ηλεκτρονικές πηγές που αναφέρονται στη βιβλιογραφία.

### **5.1. Φυσικό Περιβάλλον**

Σε αυτό το κεφάλαιο, παρουσιάζονται εκτενώς όλα τα στοιχεία που απαρτίζουν το φυσικό περιβάλλον, όπως η γεωγραφική θέση, η γεωμορφολογία, η γεωλογία, η εδαφολογία, η χλωρίδα, η πανίδα, τα υδρολογικά στοιχεία και τα κλιματικά στοιχεία της περιοχής μελέτης.

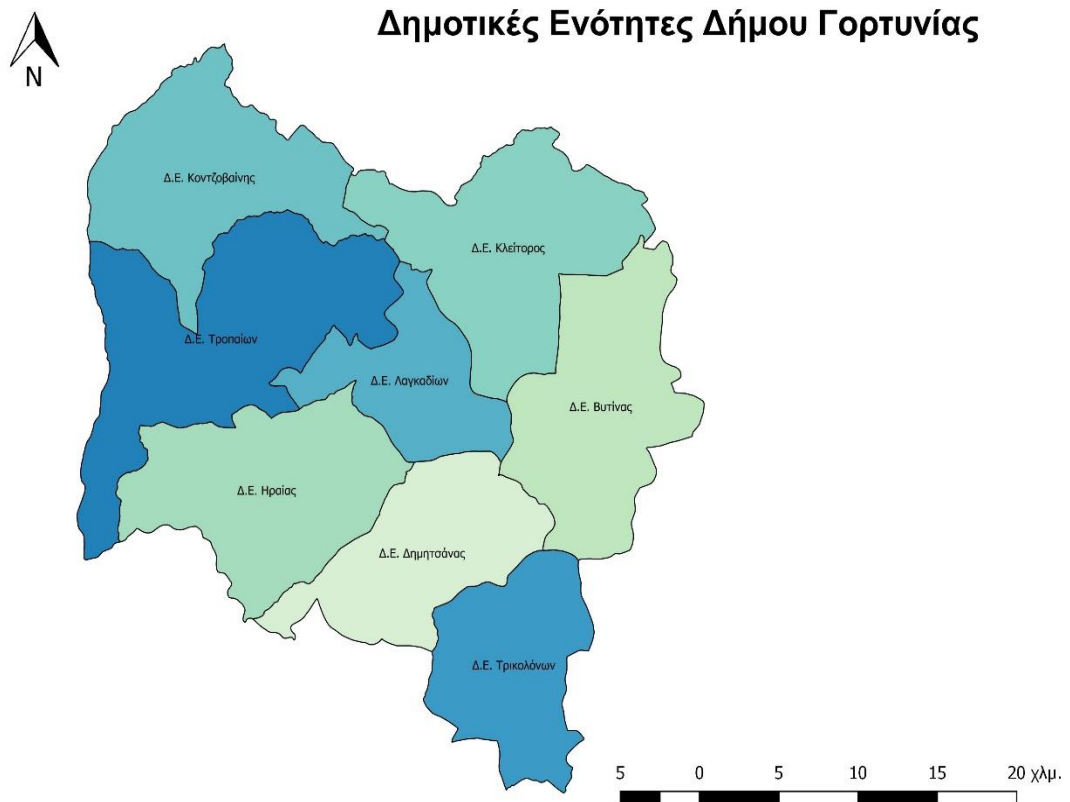
#### **5.1.1. Γεωγραφική θέση**

Ο οικισμός Ράφτης εντάσσεται γεωγραφικά στην Πελοπόννησο στην Περιφερειακή Ενότητα Αρκαδίας. Σύμφωνα με τις αλλαγές που επέφερε το Πρόγραμμα Καλλικράτης (Νόμος 3852/2010), ο Ράφτης βρίσκεται στον Δήμο Γορτυνίας και πιο συγκεκριμένα στην Δημοτική Ενότητα Ηραίας. Ο Δήμος Γορτυνίας βρίσκεται στο βορειοδυτικό άκρο του Νομού Αρκαδίας. Βρίσκεται, δηλαδή, στα διοικητικά όρια του Νομού Αρκαδίας με τον Νομό Ηλείας και το Νομό Αχαΐας και συγκεκριμένα συνορεύει με τους Δήμους Αρχαίας Ολυμπίας, Καλαβρύτων, Τρίπολης, Μεγαλόπολης και Ανδρίτσαινας.

Σε πιο ευρεία κλίμακα, ο Δήμος Γορτυνίας εντάσσεται στην Περιφέρεια Πελοποννήσου και στην Αποκεντρωμένη Διοίκηση Πελοποννήσου – Δυτικής Ελλάδας – Ιονίου. Η έδρα της Περιφέρειας βρίσκεται στην Τρίπολη, ενώ η έδρα της Αποκεντρωμένης Διοίκησης βρίσκεται στην Πάτρα.

Στα διοικητικά όρια του Δήμου Γορτυνίας συμπεριλαμβάνονται οι Δημοτικές Ενότητες Βυτίνας, Δημητσάνης, Ηραίας, Κλείτορος, Κοντοβαζαΐνης, Λαγκαδίων, Τροπαίων και Τρικολώνων. Πρόκειται για έναν ορεινό Δήμο με 70 τοπικές κοινότητες και 131

οικισμούς. Έδρα του Δήμου Γορτυνίας είναι ο οικισμός της Δημητσάνας, ο οποίος βρίσκεται στο νοτιοδυτικό άκρο του.



Εικόνα 5.1: Χάρτης Δημοτικών Ενοτήτων του Δήμου Γορτυνίας  
Ιδία επεξεργασία σε περιβάλλον QGIS

Η συνολική έκταση του Δήμου Γορτυνίας, όπως αυτός διαμορφώθηκε μετά την εφαρμογή του Προγράμματος Καλλικράτης το 2010, ανέρχεται σε 1.054,34 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Αν και η έκτασή του μπορεί να θεωρηθεί αρκετά μεγάλη, αποτελεί τον μικρότερο σε έκταση από τους πέντε Δήμους του Νομού Αρκαδίας. Σύμφωνα με την Απογραφή Πληθυσμού 2011, ο Δήμος Γορτυνίας έχει στο σύνολό του μόνιμο πληθυσμό 10.320 άτομα και εμφανίζει πυκνότητα πληθυσμού ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο μόλις 9,82 (Ελληνική Στατιστική Αρχή 2011).

### 5.1.2. Γεωμορφολογία

Μορφολογικά εξεταζόμενη η περιοχή παρουσιάζει ποικιλία ανάγλυφου, με ορεινό και ημιορεινό χαρακτήρα. Σύμφωνα με τα στοιχεία της απογραφής του 2011, οι Δημοτικές Ενότητες Βυτίνας, Δημητσάνης, Κλείτορος, Κοντοβαϊνής, Λαγκαδίων και



Τρικολώνων έχουν χαρακτηριστεί ως ορεινές ενώ οι Ηραίας και Τροπαίων ως ημιορεινές. Συνεπώς, πρόκειται για έναν ορεινό Δήμο σχεδόν στο σύνολό του.

Το έδαφος στο ορεινό τμήμα χαρακτηρίζεται από έντονο - τραχύ ανάγλυφο και καλύπτεται από αλπικούς γεωλογικούς σχηματισμούς, ενώ στο ημιορεινό τμήμα παρατηρούνται ηπιότερες κλίσεις λόγω της σύνθεσης αυτού από μεταλλικούς σχηματισμούς.

Η μορφολογική αυτή ανάπτυξη της περιοχής είναι αποτέλεσμα της τεκτονικής εξέλιξης, που ήταν ο σημαντικότερος μορφογενετικός παράγοντας, αλλά και της δράσης των διαβρωτικών - αποσαθρωτικών διεργασιών που συνέβαλαν στην πλήρωση των τεκτονικών βυθισμάτων με πρόσφατα ιζήματα.

Η μέση κλίση της ορεινής περιοχής, όπως προαναφέρθηκε, έχει άμεση σχέση με τον τεκτονισμό αλλά και μεταβάλλεται ανάλογα με την λιθολογία των σχηματισμών.

Η μέση κλίση παρουσιάζει τη μεγαλύτερη τιμή στους λιθολογικούς σχηματισμούς των Ανωκρητιδικών ασβεστόλιθων, περίπου ίση με  $65^\circ$ , ενώ οι Κρητιδικοί ψαμμίτες και τα Πυριτικά λατυποπαγή παρουσιάζουν μέση κλίση ίση περίπου με  $45^\circ$  και οι ποτάμιες αναβαθμίδες έχουν κλίση μικρότερη των  $35^\circ$ .

Σχετικά με το στάδιο εξέλιξης (μορφογένεσης του καρστ), το ορεινό τμήμα της ευρύτερης περιοχής βρίσκεται σε προχωρημένο στάδιο διάβρωσης το οποίο χαρακτηρίζεται ως στάδιο προχωρημένης νεότητας - ωριμότητας. Σ' αυτή έχει σχηματισθεί ολοκληρωμένο σύστημα αποστράγγισης με σημαντικό αριθμό ρεμάτων ανά μονάδα επιφανείας. Η καρστικοποίηση έχει προχωρήσει σε μεγάλο βαθμό και οι καρστικές μορφές είναι τέλεια αναπτυγμένες. Η επιφανειακή απορροή έχει εξαφανισθεί και έχει αντικατασταθεί από την υπόγεια.

Αντίθετα το ημιορεινό τμήμα της περιοχής μελέτης, από πλευράς εξέλιξης, βρίσκεται στο στάδιο της ωριμότητας - γήρατος. Υδρορέματα μεγάλου μήκους, όπως οι ποταμοί Αλφειός και Λάδωνας, κινούνται σε προσχωσιγενείς κοιλάδες. Ο αριθμός των ρεμάτων ανά μονάδα επιφανείας είναι μικρός (Μακρής 2008).

### **5.1.3. Γεωλογία**

Όπως προκύπτει από την υπάρχουσα βιβλιογραφία και τις μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί στην περιοχή, οι γεωλογικές ενότητες που συνέρχονται στην στρωματογραφική σύνθεση της περιοχής ενδιαφέροντος, από τις νεότερες προς τις αρχαιότερες, είναι οι ακόλουθες (Μακρής 2008):

1. Μεταλλικά ιζήματα.

## 2. Αλπικά ιζήματα της ζώνης Ωλονού - Πίνδου.

### **A) Μεταλλικά ιζήματα**

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί της λιθοστρωματογραφικής ενότητας αυτής αντιπροσωπεύονται από :

- Προσχώσεις και ποτάμιες αποθέσεις (ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ): είναι οι σχηματισμοί που βρίσκονται στις κοίτες των υδρορεμάτων και αποτελούνται κυρίως από τα υλικά που μεταφέρουν αυτά, ήτοι: άμμους, χάλικες κάθε διαλογής, αργίλους κλπ. σε επάλληλα στρώματα.
- Ποτάμιες αναβαθμίδες (ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ): αποτελούνται από κροκάλες, άμμους, χάλικες, αργιλομαργαϊκά υλικά κλπ. και έχουν δημιουργηθεί από πλημμυρικές περιόδους της κοίτης των υδρορεμάτων.
- Πυριτικά λατυποπαγή και κοκκινοχώματα (ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ): λατυποπαγή με πυριτικά θραύσματα αποπλυμένα και φακούς αμμώδεις και ιλύώδεις σε εναλλαγές με κοκκινοχώματα.
- Μάργες - πηλίτες - ψαμμίτες και λατυποπαγή (ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ): είναι οι σχηματισμοί που δομούν μεγάλο μέρος της ευρείας περιοχής και αποτελούνται από μάργες - πηλίτες - ψαμμίτες και λατυποπαγή σε εναλλαγές.
- Κροκαλοπαγή Ερύμανθου (ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ): είναι ευρείας εμφάνισης κροκαλοπαγή με πάχη που κυμαίνονται από 5 - 10 μέτρα μέχρι και 40-50 μέτρα σε δεδομένες γεωτεκτονικές δομές.

### **B) Αλπικά ιζήματα**

Οι λιθολογικοί σχηματισμοί αυτοί αντιπροσωπεύονται από :

- Πλακώδεις ασβεστόλιθοι (ΑΝΩΤΕΡΟ ΚΡΗΤΙΔΙΚΟ): μικροκρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι σε πλάκες, πρασινότεφροι και κατά τόπους ερυθρίζοντες με κονδύλους και λεπτές ενστρώσεις πυριτολίθων. Στη βάση τους είναι λευκοί γεμάτοι με ενστρώσεις ιάσπιδων. Είναι πολυπτυχωμένοι και κατακερματισμένοι. Χαρακτηριστικό οπικό γνώρισμα των ασβεστόλιθων είναι ότι οι επιφάνειες στρώσης δεν είναι επίπεδες και λείες αλλά παρουσιάζονται σαν καμπύλες. Οι κερατολιθικές ενστρώσεις αλλού σχηματίζουν συνεχείς ορίζοντες και αλλού διακόπτονται σχηματίζοντας έτσι μορφές επιμηκυμένων ατράκτων. Σε πολλές θέσεις, όμως, εκεί όπου είναι παχυπλακώδεις εμφανίζουν μια κανονική διάστρωση και πτύχωση σε πολύ αδρές μορφές.

- Ψαμμίτες (ΚΡΗΤΙΔΙΚΟ): λεπτόκοκκοι συνήθως ευρισκόμενοι σε τεκτονική επαφή με τους υπερκείμενους πλακώδεις ασβεστόλιθους.

#### 5.1.4. Υδρογεωλογία της ευρύτερης περιοχής

Η υδρολογική συμπεριφορά των διαφόρων γεωλογικών σχηματισμών εξαρτάται από την λιθολογική τους σύσταση, την ύπαρξη ή όχι ενεργού πορώδους (πρωτογενούς ή δευτερογενούς) και τη μορφή του πορώδους. Το πρωτογενές πορώδες εξαρτάται από την κοκκομετρική διαβάθμιση, το σχήμα και το μέγεθος των κόκκων, εφ' όσον πρόκειται για κυρίως κοκκώδεις σχηματισμούς, ενώ το δευτερογενές εξαρτάται από το είδος του σχηματισμού, τη διαγένεσή του και τον τεκτονισμό που έχει υποστεί. Συνεπώς, από πλευράς υδρολιθολογικών συνθηκών οι πετρολογικοί σχηματισμοί που δομούν την περιοχή ενδιαφέροντος μπορούν να διακριθούν σε (Μακρής 2008):

- Υδροπερατούς λόγω καρστικότητας.
- Υδροπερατούς λόγω πορώδους.
- Ημιπερατούς.
- Πρακτικά αδιαπέρατους.

#### 5.1.5. Κλιματικά Στοιχεία

Το κλίμα της περιοχής έχει τα χαρακτηριστικά του ηπειρωτικού κλίματος. Κατά Lang - Graganin χαρακτηρίζεται από ξηρό, κατά τους μήνες Μάιο μέχρι και Σεπτέμβριο, και ως υπέρυγρο, κατά τους χειμερινούς μήνες (Δεκέμβριος, Ιανουάριος, Φεβρουάριος).

Γενικά, κατά τους χειμερινούς μήνες επικρατούν στην περιοχή μελέτης χαμηλές θερμοκρασίες, ενώ κατά τους θερινούς μήνες επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες. Ο Ιανουάριος είναι ο ψυχρότερος μήνας του έτους (μέση θερμοκρασία 9.1 °C) και ο Ιούλιος ο θερμότερος, με μέση θερμοκρασία 26.6 °C (Μακρής 2008).

Με βάση την κατάταξη του κλίματος κατά Thornthwaite, το κλίμα ως προς το δείκτη υγρασίας, κατατάσσεται στον τύπο C2 (ημίυγρο αποκλίνον προς υγρό), ως προς τον δείκτη μεταβολής της ενεργού υγρασίας στον τύπο S2 (μεγάλη έλλειψη νερού το θέρος), ως προς τον δείκτη θερμικής δραστηριότητας B'2 και ως προς τον δείκτη θερινής θερμικής δραστηριότητας στην κατηγορία b4 (ποσοστό 48 - 54%). Έτσι ο τύπος του κλίματος είναι C2S2B'2b4 (Μακρής 2008).

## Θερμοκρασίες - βροχοπτώσεις

Σύμφωνα με τα στοιχεία του μετεωρολογικού σταθμού της Δ.Ε.Η στο φράγμα Λάδωνα, η μέση θερμοκρασία αέρος είναι 17.1 °C, η απόλυτη μέγιστη 41.0 °C, η απόλυτη ελάχιστη -7.0 °C και το μέσο ετήσιο ύψος βροχής 1.140 mm.

**Πίνακας 5.1: Θερμοκρασίες και βροχοπτώσεις**  
**Πηγή: Μακρής (2008)**

	Μέση θερμοκρασία (°C)	Μέση βροχόπτωση (mm)	Μέγιστη θερμοκρασία (°C)	Ελάχιστη θερμοκρασία (°C)
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	9,0	122,9	13,5	2,3
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	10,1	135,1	15,1	2,5
ΜΑΡΤΙΟΣ	11,1	103,1	17,6	4,3
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	14,4	88,1	21,6	7,7
ΜΑΙΟΣ	20,1	59,6	27,3	12,0
ΙΟΥΝΙΟΣ	24,2	25,7	32,3	15,5
ΙΟΥΛΙΟΣ	26,4	34,8	34,2	18,6
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	26,4	27,2	34,0	17,8
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	21,8	77,2	29,7	14,5
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	17,2	67,1	25,9	11,7
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	13,5	184,0	20,3	7,1
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	10,0	215,7	14,9	4,0

### 5.1.6. Χλωρίδα - Πανίδα

Η περιοχή του έργου παρουσιάζει περιορισμένες καλλιέργειες, οι οποίες έχουν ως βασικό αντικείμενο καλλιέργειας την ελιά. Αρκετές εκτάσεις χρησιμοποιούνται ως λιβάδια για την ελεύθερη βόσκηση των αιγοπροβάτων της ευρύτερης περιοχής. Η πανίδα που ενδημεί στην περιοχή αποτελείται από τα συνήθη είδη πανίδας της Πελοποννήσου.

#### Α) Χλωρίδα

Λόγω της θέσης αλλά και του είδους του έργου, έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον η χλωρίδα που υπάρχει στην ζώνη γύρω από το ρέμα του Γέρου (ο Γέρος είναι το ρέμα το οποίο θα είναι ο αποδέκτης των επεξεργασμένων λυμάτων της εγκατάστασης που αναλύεται στο κεφάλαιο 7). Στη ζώνη γύρω από το υδρόρεμα υπάρχουν (Μακρής 2008):

- Καλάμια.
- Πλατάνια.
- Λεύκες.
- Βούρλα.

- Ιτιές.
- Βάτα.

Στην ευρύτερη περιοχή του έργου, τα φυτικά είδη που συναντώνται σε καλλιεργούμενα ή χέρσα εδάφη είναι :

- Ελιές.
- Μουριές.
- Γκορτσιές (*Pyrus spinosa*).
- Κυπαρίσσια.
- Κηπευτικά.
- Αραβόσιτος.
- Αμπέλια.
- Δημητριακά.
- Συκιές.
- Φραγκοσυκιές.
- Βατομουριές (*Rubus fruticosus*).

Στις δασικές περιοχές απαντώνται :

- Πλατάνια.
- Λεύκες.
- Πουρνάρια (*Quercus coccifera*).
- Βελανιδιά (*Quercus aegilops*)
- Κυπαρίσσια (*Cupressus sempervirens*).
- Πεύκα (*Pinus nigra ssp. and Pallasiana*).
- Γκορτσιές (*Pyrus amygdaliformis*).
- Ιτιές (*Salix*).
- Φτέρες (*Polypodium Vulgare Polypodiaceae*).
- Αγριοτριανταφυλλιές (*Rosa canina*).
- Χαμομήλια (*Matricaria chamomolla*).

## **B) Πανίδα**

Στην ευρύτερη περιοχή, το είδος με τους μεγαλύτερους πληθυσμούς είναι η αλεπού (*Vulpes vulpes hellenica*). Υπάρχουν ακόμη (Μακρής 2008):

- Ασβοί (*Meles meles*).
- Κουνάβια (*Martes foina*).
- Λαγοί (*Lepus europaeus*).
- Νυφίτσες (*Mustela nivalis*).
- Δασοποντικοί (*Apodemus sylvaticus*).
- Γραικοβάτραχοι (*Rana graeca*).
- Σαμιαμίδια (*Cyrtodactylus kotschy*).
- Γραικόσαυρες (*Lacerta graeca*).
- Πρασινογούστερες (*Lacerta trilineata*).
- Γουστέρες (*Podacris peloponnesiaca*).
- Δενδρογαλιές (*Coluber gemonensis*).
- Σπιτόφιδα (*Elaphe situla*).
- Σαπίτες (*Malpolon monspessulanus*).
- Οχιές (*Vipera ammodytes*).
- Σκαντζόχοιροι.

Στις μελέτες παρουσιάζονται ακόμα τα εξής είδη ορνιθοπανίδας:

- Τρυγόني (*Streptopelia turtur*).
- Κουκουβάγια (*Athene noctua*).
- Κάργια (*Corvus monedula*).
- Κόρακας (*Corvus corax*).
- Ξεφτέρι (*Accipiter nisus*).
- Μαυροπετρίτης (*Falco eleonora*).
- Βραχοκιρκίνεζο (*Falco tinnunculus*).

## 5.2. Εδαφοκάλυψη - Χρήσεις Γης

Σε όλη την έκταση του Δήμου Γορτυνίας, κυριαρχεί το φυσικό περιβάλλον, μαζί με διάφορες γεωργικές χρήσεις, ενώ δεν υπάρχουν καθόλου χρήσεις όπως: συνεχής αστική οικοδόμηση, βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες, ζώνες λιμένων, αεροδρόμια, χώροι εξορύξεως ορυκτών, χώροι απορρίψεως απορριμμάτων, χώροι οικοδόμησης, περιοχές αστικού πράσινου, μεγάλες εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής, μόνιμα αρδευόμενη γη, ορυζώνες, οπωροφόρα δένδρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς, ετήσιες καλλιέργειες που συνδέονται με μόνιμες καλλιέργειες, αγροτικές δασικές περιοχές, θάμνοι και χερσότοποι, απογυμνωμένοι βράχοι, βάλτοι στην ενδοχώρα,

παραθαλάσσιοι βάλτοι, αλυκές, παλιρροιακά επίπεδα, παράκτιες λιμνοθάλασσες, εκβολές ποταμών, θάλασσα και ωκεανός σύμφωνα με τις Χρήσεις Γης κατά Corine 2000.

Σύμφωνα με τον Πίνακα 5.2, η χρήση που κυριαρχεί στην περιοχή του Δήμου Γορτυνίας είναι η γη που καλύπτεται κυρίως από τη γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης (22,89%) και ακολουθεί το δάσος κωνοφόρων (14,51%). Αντίθετα, η χρήση με τη μικρότερη κάλυψη είναι οι παραλίες, αμμόλοφοι, αμμουδιές (0,04%) και οι ροές υδάτων με τη διακεκομμένη αστική δόμηση (0,2% έκαστος). Συνεπώς, οι οικισμοί καταλαμβάνουν πολύ μικρή έκταση στο σύνολο της έκτασης του Δήμου.

**Πίνακας 5.2: Χρήσεις Γης κατά Corine 2000**  
**Πηγή: Δημόσια Δεδομένα - Ανοικτά Δεδομένα (Geodata: Πρόγραμμα Corine 2000)**

Κωδικός	Περιγραφή	Εκτάσεις (km <sup>2</sup> )	Ποσοστό στο σύνολο του Δήμου (%)
112	Διακεκομμένη αστική οικοδόμηση	2,21	0,21
211	Μη αρδεύσιμη αρόσιμη γη	14,61	1,39
221	Αμπελώνες	1,39	0,13
223	Ελαιώνες	21,09	2,01
231	Λιβάδια	11,83	1,13
242	Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	42,19	4,02
243	Γη που καλύπτεται κυρίως από τη γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης	240,25	22,89
311	Δάσος πλατύφυλλων	16,53	1,57
312	Δάσος κωνοφόρων	152,36	14,51
313	Μικτό δάσος	54,68	5,21
321	Φυσικοί βοσκότοποι	57,5	5,48
323	Σκληροφυλλική βλάστηση	248,67	23,69
324	Μεταβατικές δασώδεις θαμνώδεις εκτάσεις	170,91	16,28
331	Παραλίες, αμμόλοφοι, αμμουδιές	0,37	0,04
333	Εκτάσεις με αραιή βλάστηση	9,08	0,86
511	Ροές υδάτων	2,13	0,20
512	Συλλογές υδάτων	3,95	0,38

Το γράφημα της Εικόνας 5.2, δείχνει εποπτικά πως το μεγαλύτερο μέρος του Δήμου Γορτυνίας καλύπτεται από δασικές περιοχές, ενώ ένα μικρότερο ποσοστό αποτελείται από καλλιεργήσιμες περιοχές. Η αστική οικοδόμηση καταλαμβάνει περιοχή μικρής αναλογικά έκτασης, όπως και προαναφέρθηκε.



Εικόνα 5.2: Κατανομή γης Δήμου Γορτυνίας  
Πηγή: Ελληνική Στατιστική Αρχή (2011)

### 5.2.1. Προστατευόμενες Περιοχές

Οι περιοχές που χρήζουν ιδιαίτερης προστασίας στην ευρύτερη περιοχή μελέτης είναι οι εξής (Μάνδουλας et al. 2013): (Σημειώνεται πως ο οικισμός του Ράφτη δεν είναι προσκείμενος σε καμία από τις παρακάτω περιοχές. Οι περιοχές ειδικής προστασίας επισημαίνονται αποκλειστικά για την καλύτερη κατανόηση της ευρύτερης περιοχής μελέτης, μέσα στην οποία θα ενσωματωθεί η εγκατάσταση που θα σχεδιαστεί στη συνέχεια της εργασίας.)

#### ➤ Περιοχές NATURA 2000 και άλλοι τόποι

##### Όρος Μαίναλο (κωδικός GR2520001)

Εντός της περιοχής μελέτης υπάρχει μία περιοχή που έχει ενταχθεί στο δίκτυο Natura. Πρόκειται για το Όρος Μαίναλο, που ανήκει στην κατηγορία SCI και έχει συνολική έκταση 22.673,07 εκτάρια. Για τη συγκεκριμένη περιοχή, έχει εγκριθεί η αντίστοιχη Ειδική Περιβαλλοντική Μελέτη, η οποία καθορίζει το είδος της προστασίας, και τις εντός της, επιτρεπόμενες χρήσεις γης.

##### Ποταμός Ερύμανθος (με κωδικό AB5090032)

Στην περιοχή μελέτης, σύμφωνα με τη Βάση Δεδομένων για την Ελληνική Φύση - Φιλότης στην κατηγορία «άλλοι βιότοποι» ανήκει και ο ποταμός Ερύμανθος, ο οποίος είναι και το διοικητικό όριο της περιοχής με τον Νομό Ηλείας. Είναι παραπόταμος του



Αλφειού με συνολική έκταση λεκάνης απορροής 4.132,32 εκτάρια και συνολική περίμετρο λεκάνης 92,8 χιλιόμετρα.

➤ **Καταφύγια Άγριας Ζωής (ΚΑΖ)**

Ο Λάδωνας (ΦΕΚ 328/Β/28-3-01), με έκταση 27.01 km<sup>2</sup>.

➤ **Τοπία Ιδιαίτερου Φυσικού Κάλλους**

Στην περιοχή μελέτης, σύμφωνα με τη Βάση Δεδομένων για την Ελληνική Φύση - Φιλότης δεν υπάρχουν τοπία ιδιαίτερου φυσικού κάλλους, παρόλο που η περιοχή και ειδικότερα το Φαράγγι του Λάδωνα, πληροί όλα τα απαιτούμενα κριτήρια για να χαρακτηριστεί Τοπίο Ιδιαίτερου Φυσικού Κάλλους.

➤ **Βιότοποι Corine**

Φαράγγι Λούσιου (με κωδικό A00060081)

Πρόκειται για ένα μικρό φαράγγι με πλούσια βλάστηση και μόνιμη ροή νερού. Υπάρχουν κοντινά χωριά και καλλιεργήσιμη γη, νερόμυλοι, τρία μοναστήρια ( δύο από αυτά λειτουργούν ακόμα) και μια αρχαιολογική τοποθεσία.

Ποταμός Λάδωνας (με κωδικό A00060081)

Αποτελεί μια περιοχή προστασίας, με συνολική έκταση 369,47 εκτάρια, χερσαία έκταση 400 εκτάρια και συνολική περίμετρο 17,3 χιλιόμετρα. Το μέγιστο υψόμετρο της περιοχής προστασίας είναι 200 μέτρα και το ελάχιστο 160 μέτρα. Η κατάσταση του τόπου είναι καλή. Απειλή για την περιοχή αποτελεί το παράνομο ψάρεμα (με χρήση χλωρίνης), υγρά απόβλητα από αγροχημικές, αστικές και βιομηχανικές (υδατοκαλλιέργειες) πηγές και επιδημίες από τις υδατοκαλλιέργειες.

### **5.3. Ανθρωπογενές Περιβάλλον**

Στο κεφάλαιο αυτό, αναφέρονται τα στοιχεία που συνθέτουν το ανθρωπογενές περιβάλλον της περιοχής μελέτης, όπως η διάρθρωση της οικονομικής δραστηριότητας και οι βασικές υποδομές του Δήμου Γορτυνίας.

### 5.3.1. Διάρθρωση Οικονομικής Δραστηριότητας

Σε αυτό το υποκεφάλαιο παρατίθενται και αναλύονται στοιχεία που αφορούν στις οικονομικές δραστηριότητες που αναπτύσσονται στο Δήμο Γορτυνίας. Από τα στοιχεία της Στατιστικής Υπηρεσίας για το 2011 προκύπτει η Εικόνα 5.3, στην οποία απεικονίζεται η κατανομή της απασχόλησης ανά τομέα της παραγωγικής διαδικασίας.



Εικόνα 5.3: Διάρθρωση των τομέων παραγωγής στο Δήμο Γορτυνίας  
Πηγή: Ελληνική Στατιστική Αρχή (2011)

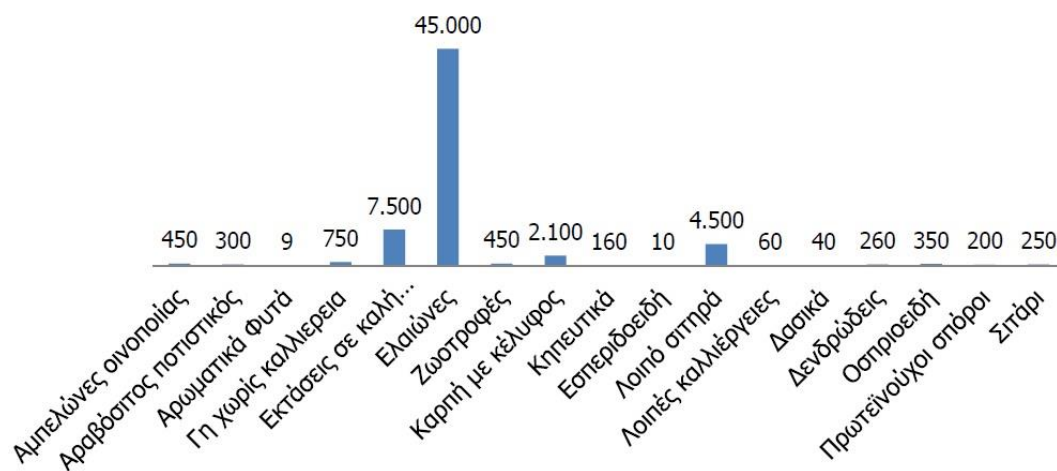
Από το διάγραμμα αυτό, καθίσταται σαφές πως τα μεγάλα ποσοστά απασχόλησης απαντώνται στον πρωτογενή και στον τριτογενή παραγωγικό τομέα. Μεγάλος αριθμός κατοίκων ασχολείται παραδοσιακά, από γενιά σε γενιά, με γεωργικές και κτηνοτροφικές εργασίες. Παράλληλα, τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότεροι κάτοικοι τείνουν να ασχολούνται με το εμπόριο και υπηρεσίες παροχής καταλύματος και εστίασης, αξιοποιώντας τις αυξανόμενες τουριστικές ευκαιρίες που παρουσιάζονται.

#### A. Πρωτογενής Τομέας

##### Γεωργία

Η χρησιμοποιούμενη γεωργική έκταση του Δήμου φτάνει τα 62.389 στρέμματα. Όπως προαναφέρθηκε, ολόκληρη η περιοχή χαρακτηρίζεται ορεινή ή ημιορεινή, λαμβάνοντας ως κριτήριο κατάταξης το υψόμετρο. Έτσι, σπανίζουν οι μεγάλες καλλιεργήσιμες εκτάσεις, με το μεγαλύτερο ποσοστό των εκτάσεων που οι κάτοικοι εκμεταλλεύονται να είναι με ελαιόδεντρα στα πεδινότερα σημεία του Δήμου, χωρίς βέβαια να μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένας ελαιοπαραγωγικός Δήμος. Μικρότερο, αλλά σημαντικό, συνάμα, μέρος αποτελούν εκτάσεις με σιτηρά και ζωοτροφές (Δημόσια Δεδομένα - Ανοικτά Δεδομένα).

Στην Εικόνα 5.4 παρουσιάζονται αναλυτικά οι εκτάσεις σε στρέμματα ανά είδος καλλιέργειας.



Εικόνα 5.4: Είδη καλλιέργειας στο Δήμο Γορτυνίας  
Πηγή: Ελληνική Στατιστική Αρχή (2011)

### Κτηνοτροφία

Η κτηνοτροφία αποτελεί τη σημαντικότερη περιοχή δραστηριότητας του πρωτογενούς τομέα. Οι δημοτικοί και ιδιωτικοί βοσκότοποι καταλαμβάνουν 130.000 στρέμματα, σχεδόν διπλάσιο χώρο σε σχέση με τη συνολική γεωργική καλλιεργήσιμη έκταση. Τα ζώα, που εκτρέφονται στο Δήμο στο πλαίσιο της κτηνοτροφικής δραστηριότητας, είναι κατά μεγάλη πλειοψηφία αιγοπρόβατα. Σημαντική, ακόμα, είναι και η ανάπτυξη της μελισσοκομίας, με το χαρακτηριστικό ελατόμελο της περιοχής (Δημόσια Δεδομένα - Ανοικτά Δεδομένα). Όπως σε όλα τα γύρω χωριά, οι κάτοικοι του Ράφτη ασχολούνται με την κτηνοτροφία και τη γεωργία. Η περιοχή φημίζεται για την παραγωγή εξαιρετικής ποιότητας τυροκομικών προϊόντων.

### **B) Δευτερογενής Τομέας**

Ο δευτερογενής τομέας στην περιοχή είναι αρκετά περιορισμένος και αντιπροσωπεύεται από ορισμένες μονάδες επεξεργασίας και μεταποίησης τροφίμων κυρίως της πρωτογενούς παραγωγής. Οι κάτοικοι του Δήμου ασχολούνται κυρίως με την επεξεργασία γάλακτος και με την παραγωγή γαλακτοκομικών προϊόντων, με ορισμένα εξ' αυτών να είναι πανελλαδικώς αναγνωρισμένα, με πιστοποιήσεις αυθεντικότητας και ποιότητας. Σε σχετικά μικρή κλίμακα δραστηριοποιούνται και μονάδες παραγωγής τοπικών ζυμαρικών και παραδοσιακών γλυκών. Επίσης, υπάρχουν

ορισμένες μικρές μονάδες επεξεργασίας και παραγωγής προϊόντων από ξύλο ή από μέταλλο. Η αύξηση του τουρισμού στην περιοχή έχει δώσει το έναυσμα ώστε η παραγωγή των τοπικών προϊόντων να αυξηθεί και να συστηματοποιηθεί, καθώς είναι κάτι που αποζητούν οι επισκέπτες (Ελληνική Στατιστική Αρχή 2011).

### **Γ) Τριτογενής Τομέας**

Στο Δήμο Γορτυνίας 478 επιχειρήσεις ασχολούνται με δραστηριότητες του τριτογενούς τομέα. Το μεγαλύτερο ποσοστό αυτών είναι επιχειρήσεις λιανικού εμπορίου και τουριστικών δραστηριοτήτων (ξενοδοχεία, εστιατόρια, καφετέριες), ενώ συνεχώς αυξάνονται σύμφωνα με τις ανάγκες και τις απαιτήσεις των επισκεπτών. Επίσης, ένα μεγάλο ποσοστό των απασχολούμενων στον τριτογενή τομέα αποτελούν οι εργαζόμενοι σε διοικητικές υπηρεσίες του διευρυμένου πλέον Καλλικρατικού Δήμου, αλλά και γενικότερα στη δημόσια διοίκηση (Ελληνική Στατιστική Αρχή 2011).

#### **5.3.2. Βασικές Υποδομές**

Ο Δήμος Γορτυνίας, ένας καθολικά επαρχιακός δήμος με πολλές κοινότητες, χωριά και οικισμούς, διασκορπισμένα σε μεγάλη έκταση, είναι πολύ σημαντικό να διαθέτει, να συντηρεί και να αναβαθμίζει τις βασικές του υποδομές, ώστε να μπορούν να καλύπτουν τις συνεχώς αναπτυσσόμενες ανάγκες των κατοίκων. Προς αυτήν την κατεύθυνση στοχεύουν τα έργα ύδρευσης και αποχέτευσης, τα έργα συντήρησης και βελτίωσης του υπάρχοντος δικτύου, καθώς και ολοκλήρωσης αυτού. Επιπλέον, η ορθολογική διαχείριση στερεών και υγρών αποβλήτων είναι στις προτεραιότητες του Δήμου, με μονάδα βιολογικού καθαρισμού να λειτουργεί στην Βυτίνα και να υπάρχει πρόβλεψη για ανάπτυξη παρόμοιων υποδομών σε σημεία που υπάρχει μεγάλη συγκέντρωση απορριμμάτων. Παρόλα αυτά, δεν υπάρχει αποχετευτικό δίκτυο, με αποτέλεσμα τα λύματα να μεταφέρονται με βυτιοφόρα στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας των λυμάτων. Όσον αφορά το υπάρχον δίκτυο μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, κρίνεται καταρχήν ικανοποιητικό για τις σημερινές ανάγκες. Ο Οργανισμός Τηλεπικοινωνιών Ελλάδος (Ο.Τ.Ε.) καλύπτει επαρκώς τη ζήτηση της περιοχής και γενικότερα τις ανάγκες των κατοίκων της περιοχής μελέτης προσφέροντας αυτή τη στιγμή σε μεγάλη πληθυσμιακή κάλυψη στα πλαίσια του Δήμου σύγχρονες ευρυζωνικές υπηρεσίες, (Internet υψηλών ταχυτήτων, ψηφιακή τηλεόραση κλπ.). Τέλος, το οδικό δίκτυο είναι ανεπτυγμένο με ασφαλικούς δρόμους (Δημόσια Δεδομένα - Ανοικτά Δεδομένα, Δήμος Γορτυνίας).

#### **5.4. Υφιστάμενες πηγές ρύπανσης**

Έχοντας αναλύσει την περιοχή μελέτης, μπορεί κανείς να αποφανθεί πως το ευρύτερο περιβάλλον της περιοχής του οικισμού του Ράφτη δεν αντιμετωπίζει κανενός είδους αξιόλογα περιβαλλοντικά προβλήματα, εκτός από την απουσία αποχετευτικού συστήματος του οικισμού,

Στον οικισμό υπάρχουν αρκετά καταστήματα, ταβέρνες, καφενεία, ξενώνας της Αδελφότητας Ραφταίων, πισίνα, αθλητικό κέντρο και αρκετά ενοικιαζόμενα δωμάτια, το μοναδικό πρόβλημα των οποίων σχετίζεται με την έλλειψη αποχετευτικού δικτύου του οικισμού. Τα περιβαλλοντικά, δηλαδή, προβλήματα του οικισμού περιορίζονται στα συνήθη προβλήματα διαχείρισης των απορριμμάτων και, κυρίως, της ορθολογικής διάθεσής τους.



## 6. ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Σε αυτήν την ενότητα γίνεται ο υπολογισμός των βασικών παραμέτρων, στις οποίες θα βασιστεί ο σχεδιασμός της εγκατάστασης. Αρχικά προσδιορίζεται ο πληθυσμός σχεδιασμού, με βάση τα δημογραφικά στοιχεία και τις τάσεις που επικρατούν στην περιοχή μελέτης. Ακολουθεί ο υπολογισμός των παροχών, καθώς και ο προσδιορισμός της ποιοτικής σύστασης των υγρών αποβλήτων που εισέρχονται στην εγκατάσταση επεξεργασίας.

### 6.1. Δημογραφικά Στοιχεία

Σύμφωνα με την επίσημη απογραφή του έτους 1991, ο μόνιμος πληθυσμός στον οικισμό του Ράφτη Γορτυνίας ήταν 289 κάτοικοι. Ο αριθμός των μόνιμων κατοίκων αυξήθηκε κατά τα στοιχεία της απογραφής του 2001 και ο οικισμός παρουσίασε εκείνη τη χρονιά 308 μόνιμους κατοίκους. Σύμφωνα με την τελευταία (2011) απογραφή της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής (ΕΛ.ΣΤΑΤ.), ο πληθυσμός της τοπικής κοινότητας ‘Ράφτη’ μειώθηκε σε 107 κατοίκους από τους οποίους οι 92 ζουν στον οικισμό του Ράφτη, ενώ οι υπόλοιποι 15 στον οικισμό ‘Αγάλω’. Στον Πίνακα 6.1 απεικονίζονται τα αποτελέσματα των πληθυσμιακών καταγραφών στις τρεις τελευταίες απογραφές.

Πίνακας 6.1: Πληθυσμιακές καταγραφές για τα έτη 1991, 2001 και 2011  
Πηγή: Ελληνική Στατιστική Αρχή (1991, 2001, 2011)

Πληθυσμός 1991	Πληθυσμός 2001	Πληθυσμός 2011
289	308	107

Η δραματική πληθυσμιακή μείωση της τελευταίας δεκαετίας (2001-2011) καθιστά απαγορευτική την προβολή του ρυθμού μεταβολής του πληθυσμού στις επόμενες δεκαετίες. Οι μεταναστεύσεις πληθυσμών, και ιδιαίτερα οι μεταναστεύσεις εργατικού δυναμικού, δηλαδή κυρίως νεανικών ηλικιών, που παρατηρήθηκαν την τελευταία δεκαετία και προκάλεσαν την πληθυσμιακή μείωση, έχουν πλέον σταματήσει. Έτσι, η περιοχή μελέτης δε μπορεί παρά να αντανακλά και να επεκτείνει την εικόνα πληθυσμιακής στασιμότητας.

Η πρόσφατη, ωστόσο, δημιουργία αθλητικού κέντρου, πισίνας και ξενώνα προσελκύει τους θερινούς μήνες επισκέπτες τόσο από την Αθήνα όσο και από τα γύρω χωριά της Ηραίας, όπως το Σαρακίни, τη Λυσσαρέα, τον Παλούμπα, τη Ζάτουνα και την Αράχωβα, με αποτέλεσμα ο πληθυσμός στα μέσα Αυγούστου να αγγίζει τα 500 άτομα.

Οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων με τη μέθοδο των τεχνητών υγροτόπων έχουν ωφέλιμη ζωή 20-40 έτη. Στην παρούσα εργασία, η πρόταση για τη δημιουργία της εγκατάστασης θα πραγματοποιηθεί για χρονικό ορίζοντα 40 ετών, βάσει της υπ. Αριθμ. 17405/3-3-70 εγκυκλίου του Υπουργείου Εσωτερικών για τις μελέτες, όπως και από το άρθρο 209 του Προεδρικού Διατάγματος 696/74. Με βάση την ίδια εγκύκλιο, η αύξηση του πληθυσμού κάθε χρόνο εκτιμάται ίση με 1%. Θεωρώντας, λοιπόν, σταθερή σχετική μεταβολή ανά έτος, δηλαδή γεωμετρική αύξηση του πληθυσμού (σταθερό ποσοστό μεταβολής του πληθυσμού) και με βάση τον πληθυσμό της τοπικής κοινότητας Ράφτη κατά την απογραφή του 2011, ο πληθυσμός του οικισμού σε 40 έτη υπολογίζεται ως εξής:

$$P_v = \alpha^v \times P_0$$

όπου  $\alpha = 1 + \gamma$ , με  $\gamma$  το ποσοστό της ετήσιας σχετικής αύξησης.

$P_v$ : ο πληθυσμός μετά από  $v$  έτη.

$P_0$ : ο πληθυσμός αφετηρίας, δηλαδή ο πληθυσμός της απογραφής του 2011.

Με την επίλυση της εξίσωσης προκύπτει ότι ο μόνιμος πληθυσμός το 2056 θα είναι 168 κάτοικοι. Επομένως, ο πληθυσμός σχεδιασμού για τη χειμερινή περίοδο ισούται με 170 κατοίκους.

Πίνακας 6.2: Διακύμανση μόνιμου πληθυσμού

Μόνιμος Πληθυσμός 2011	Ετήσια Αύξηση	Μόνιμος Πληθυσμός 2056	Πληθυσμός Σχεδιασμού
107	1,0 %	168	170

Σχετικά με τον εποχιακό πληθυσμό του οικισμού, δε θα πραγματοποιηθεί εκτίμηση αύξησης του πληθυσμού και η εγκατάσταση θα σχεδιαστεί για το μέγιστο αριθμό ατόμων που συγκεντρώνονται στον οικισμό τον Αύγουστο. Άρα, ο πληθυσμός σχεδιασμού για την καλοκαιρινή περίοδο ισούται με 500 κατοίκους.

Πίνακας 6.3: Διακύμανση πληθυσμού σχεδιασμού για τις διαφορετικές περιόδους

Πληθυσμός Σχεδιασμού	
Χειμερινή περίοδος	Καλοκαιρινή περίοδος
170	500

Για το σχεδιασμό του αγωγού προσαγωγής του λύματος στην εγκατάσταση λαμβάνεται υπόψη ο αριθμός των υδρομέτρων. Στην τοπική κοινότητα Ράφτη υπάρχουν 192



υδρόμετρα εκ των οποίων τα 171 βρίσκονται στον οικισμό του Ράφτη και τα 21 υδρόμετρα στην Αγάλω. Ο αγωγός προσαγωγής του λύματος αφορά μόνο τα υδρόμετρα του Ράφτη, καθώς τα λύματα του οικισμού 'Αγάλω' προβλέπεται να μεταφέρονται με βυτιοφόρο στην εγκατάσταση.

Συνεπώς, θεωρώντας 3 άτομα για κάθε υδρόμετρο για τον οικισμό του Ράφτη, προκύπτει πληθυσμός σχεδιασμού του αγωγού προσαγωγής του λύματος στην εγκατάσταση ίσος με 520 άτομα.

Οι παραπάνω εκτιμήσεις είναι επισφαλείς και υπάρχει σημαντική πιθανότητα ο πραγματικός πληθυσμός να είναι τελικά μικρότερος. Είναι επιτρεπτό, όμως, να γίνονται τέτοιες εκτιμήσεις, αφενός γιατί δε δημιουργούνται λειτουργικά προβλήματα στη σχεδιαζόμενη εγκατάσταση, και αφετέρου γιατί οι διαφοροποιήσεις του οικονομικού κόστους του έργου που θα κατασκευαστεί είναι ελάχιστες.

## 6.2. Υπολογισμός Παροχών

Μετά την εκτίμηση του πληθυσμού σχεδιασμού του οικισμού, ακολουθεί ο προσδιορισμός της μέσης ημερήσιας ζήτησης των καταναλωτών. Γίνεται η υπόθεση μιας σταθερής ανά άτομο κατανάλωσης, η οποία είναι γνωστή ως η *ανηγμένη μέση ημερήσια κατανάλωση ανά κάτοικο (q)* και κυμαίνεται για τις ελληνικές συνθήκες από 150 μέχρι 200 L/κάτοικο/ημέρα. Ως λύμα στην αποχέτευση καταλήγει το 80% της ανηγμένης μέσης ημερήσιας κατανάλωσης, καθώς παρατηρούνται 20% απώλειες της ποσότητας αυτής. Επομένως, η μέση παροχή που θα χρησιμοποιηθεί στο σχεδιασμό εκτιμάται ίση με 150 L/κάτοικο/ημέρα.

Επομένως, για τον πληθυσμό σχεδιασμού της χειμερινής περιόδου η μέση παροχή λυμάτων ισούται με  $Q = 170 \text{ κάτοικοι} \times 150 \text{ L/ κάτοικο/ημέρα} \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{L}$  και προκύπτει  $Q_{\text{χειμ}} = 25.5 \text{ m}^3/\text{ημέρα}$ .

Αντίστοιχα, για την καλοκαιρινή περίοδο  $Q = 500 \text{ κάτοικοι} \times 150 \text{ L/ κάτοικο/ημέρα} \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{L}$  προκύπτει  $Q_{\text{καλ}} = 75 \text{ m}^3/\text{ημέρα}$ .

## 6.3. Ποιοτική Σύσταση Λυμάτων

Η ποιοτική σύσταση των υγρών αποβλήτων κρίνεται ως απαραίτητη γνώση για το σχεδιασμό και την κατανόηση της λειτουργίας των διαδικασιών συλλογής, επεξεργασίας και επαναχρησιμοποίησης αυτών, καθώς και γενικότερα για τη διαδικασία διαχείρισης της περιβαλλοντικής τους ποιότητας. Τα ποιοτικά γνωρίσματα

αφορούν στις φυσικές, χημικές και βιολογικές παραμέτρους των λυμάτων. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά που ενδιαφέρουν στο σχεδιασμό είναι η περιεκτικότητα σε οργανικό φορτίο (BOD), αιωρούμενα στερεά (TSS), άζωτο και φώσφορο (Κούγκολος 2007).

Οι τιμές που παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.4 αναφέρονται στα αστικά λύματα που προέρχονται από διαφορετικές αστικές πηγές ρύπανσης, όπως από κατοικίες, εγκαταστάσεις εξυπηρέτησης και εγκαταστάσεις αναψυχής.

**Πίνακας 6.4:** Περιοχή τιμών και τυπικές τιμές ποιοτικών χαρακτηριστικών αποβλήτων (g/κάτοικο/ημέρα)  
Πηγή: Κούγκολος (2007)

Παράμετρος	Περιοχή Τιμών	Τυπική Τιμή
BOD	60-65	60
COD	70-210	85
TSS	70-80	70
Ολικό Άζωτο N	12-14	12
Ολικός Φωσφόρος P	2-4	2

Χρησιμοποιώντας τον Πίνακα 6.4, υπολογίζονται οι τιμές των ρυπαντικών φορτίων που θα εισέρχονται στην Ε.Ε.Λ. ως ακολούθως.

#### A) BOD

A<sub>1</sub>) Για τη χειμερινή περίοδο το φορτίο  $BOD = L_{BOD} = 170 \text{ κάτοικοι} \times 60 \text{ g/κάτοικο/ημέρα} \times 10^{-3} \text{ kg/g} \Rightarrow L_{BOD} = 10.2 \text{ kg/ημέρα}$ .

Η συγκέντρωση  $C_{BOD}$  υπολογίζεται ως εξής:  $C_{BOD} = L_{BOD} / Q$ , όπου Q η μέση παροχή λυμάτων της χειμερινής περιόδου που υπολογίστηκε προηγουμένως. Έτσι,

$$C_{BOD} = 10.2 \text{ kg/ημέρα} / 25.5 \text{ m}^3/\text{ημέρα} \times 10^6 \text{ mg/kg} \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{L} = 400 \text{ mg/L}$$

A<sub>2</sub>) Ομοίως, για την καλοκαιρινή περίοδο  $L_{BOD} = 30 \text{ kg/ημέρα}$  και  $C_{BOD} = 400 \text{ mg/L}$ .

#### B) COD

B<sub>1</sub>) Για τη χειμερινή περίοδο το φορτίο  $L_{COD} = 170 \text{ κάτοικοι} \times 85 \text{ g/κάτοικο/ημέρα} \times 10^{-3} \text{ kg/g} \Rightarrow L_{COD} = 14.5 \text{ kg/ημέρα}$ .

Η συγκέντρωση  $C_{COD}$  υπολογίζεται όπως προηγουμένως:  $C_{COD} = L_{COD}/Q \Rightarrow$

$$C_{COD} = 14.5 \text{ kg/ημέρα} / 25.5 \text{ m}^3/\text{ημέρα} \times 10^6 \text{ mg/kg} * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{L} = 566.7 \text{ mg/L}$$

B<sub>2</sub>) Ομοίως, για την καλοκαιρινή περίοδο  $L_{COD} = 42.5 \text{ kg/ημέρα}$ ,  $C_{COD} = 566.7 \text{ mg/L}$ .

### Γ) TSS

Γ<sub>1</sub>) Για τη χειμερινή περίοδο το φορτίο  $L_{TSS} = 170 \text{ κάτοικοι} \times 70 \text{ g/κάτοικο/ημέρα} \times 10^{-3} \text{ kg/g} \Rightarrow L_{TSS} = 11.9 \text{ kg/ημέρα}$ .

Η συγκέντρωση  $C_{TSS}$  για τη χειμερινή περίοδο υπολογίζεται ομοίως:  $C_{TSS} = L_{BOD}/Q \Rightarrow C_{TSS} = 11.9 \text{ kg/ημέρα} / 25.5 \text{ m}^3/\text{ημέρα} \times 10^6 \text{ mg/kg} \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{L} = 466.7 \text{ mg/L}$ .

Γ<sub>2</sub>) Ομοίως, για την καλοκαιρινή περίοδο  $L_{TSS} = 35 \text{ kg/ημέρα}$  και  $C_{TSS} = 466.7 \text{ mg/L}$ .

### Δ) Ολικό Άζωτο

Δ<sub>1</sub>) Για τη χειμερινή περίοδο το φορτίο Ολικού Αζώτου  $L_N = 170 \text{ κάτοικοι} \times 12 \text{ g/κάτοικο/ημέρα} \times 10^{-3} \text{ kg/g} \Rightarrow L_N = 2.04 \text{ kg/ημέρα}$ .

Η συγκέντρωση  $C_N$  για τη χειμερινή περίοδο υπολογίζεται όπως προηγουμένως:  $C_N = L_N/Q = 80 \text{ mg/L}$ .

Δ<sub>2</sub>) Ομοίως, για την καλοκαιρινή περίοδο  $L_N = 6 \text{ kg/ημέρα}$  και  $C_N = 80 \text{ mg/L}$ .

### Ε) Ολικός Φωσφόρος

Ε<sub>1</sub>) Για τη χειμερινή περίοδο το φορτίο Ολικού Φωσφόρου  $L_P = 170 \text{ κάτοικοι} \times 2 \text{ g/κάτοικο/ημέρα} \times 10^{-3} \text{ kg/g} \Rightarrow L_P = 0.34 \text{ kg/ημέρα}$ .

Η συγκέντρωση  $C_P$  για τη χειμερινή περίοδο υπολογίζεται ως εξής:  $C_P = L_P/Q = 13.4 \text{ mg/L}$ .

Ε<sub>2</sub>) Ομοίως, για την καλοκαιρινή περίοδο  $L_P = 1 \text{ kg/ημέρα}$  και  $C_P = 13.4 \text{ mg/L}$ .

Πίνακας 6.5: Συγκεντρώσεις των ρυπαντικών φορτίων που θα εισέρχονται στην Ε.Ε.Α τη χειμερινή περίοδο

Συγκεντρώσεις τη χειμερινή περίοδο		
Παράμετρος	Φορτίο (kg/ημ)	Συγκέντρωση (mg/L)
BOD	10.2	400
COD	14.5	566.7
TSS	11.9	466.7
Ολικό Άζωτο N	2.04	80
Ολικός Φωσφόρος P	0.34	13.4

Πίνακας 6.6: Συγκεντρώσεις των ρυπαντικών φορτίων που θα εισέρχονται στην Ε.Ε.Α. την καλοκαιρινή περίοδο

Συγκεντρώσεις την καλοκαιρινή περίοδο		
Παράμετρος	Φορτίο (kg/ημ)	Συγκέντρωση (mg/L)
BOD	30	400
COD	42.5	566.7
TSS	35	466.7
Ολικό Άζωτο N	6	80
Ολικός Φωσφόρος P	1	13.4



## **7. ΔΙΑΤΑΞΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ**

Σε αυτήν την ενότητα περιγράφονται όλα τα τεχνικά χαρακτηριστικά της Ε.Ε.Λ. και αναλύονται τα διαδοχικά στάδια που απαιτούνται για τη διαχείριση και την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων του οικισμού Ράφτη.

### **7.1. Περιγραφή Διαγράμματος Ροής Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων**

Το σύστημα που προβλέπεται να σχεδιαστεί στην παρούσα εργασία θα αποτελεί ένα υβριδικό μοντέλο το οποίο συνίσταται από δύο τμήματα: το τμήμα της προεπεξεργασίας (πρωτοβάθμια επεξεργασία) και το τμήμα της βιολογικής επεξεργασίας (δευτεροβάθμια επεξεργασία).

Το τμήμα της προεπεξεργασίας θα αποτελείται από:

- Την εσχάρωση.
- Την αναερόβια δεξαμενή καθίζησης.

Το τμήμα της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας, το οποίο έπεται του τμήματος της προεπεξεργασίας, θα περιλαμβάνει τρία στάδια διαχείρισης των λυμάτων. Το πρώτο στάδιο θα αποτελείται από τρεις κλίνες κατακόρυφης υπόγειας ροής, το δεύτερο από δύο κλίνες κατακόρυφης υπόγειας ροής και το τρίτο από μία κλίνη οριζόντιας υπόγειας ροής.

Ακολουθεί η περιγραφή της ροής που ακολουθούν τα λύματα από τον οικισμό του Ράφτη μέχρι και την έξοδο από την εγκατάσταση.

Τα υγρά απόβλητα του οικισμού Ράφτη θα μεταφέρονται, χρησιμοποιώντας την επίδραση της βαρύτητας, μέχρι το γήπεδο των τεχνητών υγροτόπων, μέσω δύο αγωγών PVC. Το κανάλι εισόδου, στο οποίο θα συγκεντρώνονται τα λύματα στην είσοδο της Ε.Ε.Λ. θα οδηγεί στην εγκατάσταση χειροκαθαριζόμενης μηχανικής σχάρας, η οποία θα έχει καθαρό άνοιγμα μεταξύ των ράβδων της (άνοιγμα σχισμής) ίσο με 2 cm. Η προεπεξεργασία αυτή αφορά στην απομάκρυνση των αδρομερών στερεών που εντοπίζονται στα λύματα. Τα στερεά εσχαρίσματα που δε θα διέρχονται από τις σχισμές της σχάρας θα συλλέγονται σε κάδο απορριμμάτων, από όπου θα μεταφέρονται στον χώρο απόθεσης των απορριμμάτων του οικισμού. Μετά τη διόδο από τη σχάρα, τα λύματα θα συγκεντρώνονται πάλι σε ένα κανάλι, στο οποίο προβλέπεται η τοποθέτηση

τριγωνικού υπερχειλιστή λεπτής στέψης, για να είναι δυνατή η μέτρηση της παροχής. Αξιίζει να σημειωθεί πως με τη κατασκευή θυροφραγμάτων στο φρεάτιο ΦΡ.1 το οποίο βρίσκεται μετά τη σχάρα, θα καθίσταται εφικτή η απομόνωση ολόκληρου του συστήματος σε περίπτωση παρουσιάσει ορισμένη δυσλειτουργία (βλ. Σχέδιο «Διάγραμμα Ροής» στο Παράρτημα).

Στη συνέχεια, τα εσχαρισμένα λύματα θα οδηγούνται στην αναερόβια δεξαμενή σταθεροποίησης, όπου θα παραμένουν για τέσσερις μέρες τη χειμερινή και για δύο μέρες την καλοκαιρινή περίοδο (βλ. κεφάλαιο 7.3). Προβλέπεται η περιοδική απομάκρυνση της λάσπης που καθιζάνει κατά τη λειτουργία της δεξαμενής και η εναπόθεσή της σε εγγύς άγονες εκτάσεις.

Μετά την αναερόβια δεξαμενή τα υγρά απόβλητα θα συγκεντρώνονται στο σίφωνα του πρώτου σταδίου. Στο σίφωνα αυτό θα υπάρχουν δύο βυθισμένες αντλίες οι οποίες θα λειτουργούν εναλλακτικά, έτσι ώστε η μία να είναι πάντα εφεδρική. Μέσω των αντλιών, τα υγρά απόβλητα θα τροφοδοτούν τις τρεις κλίνες του πρώτου σταδίου, τις κλίνες, δηλαδή, δευτεροβάθμιας επεξεργασίας κατακόρυφης ροής. Η κάθε αντλία θα λειτουργεί περιοδικά, προκειμένου να τροφοδοτεί τις κλίνες σε δέσμες – παρτίδες. Συνολικά θα γίνονται 3-10 «ποτίσματα» των κλινών ημερησίως, όπου κάθε πότισμα θα είναι 7-8 m<sup>3</sup> περίπου. Μετά το σίφωνα θα τοποθετηθεί το φρεάτιο ΦΡ.2, στο οποίο υπάρχουν 3 θυροφράγματα που επιτρέπουν την τροφοδοσία μίας κλίνης του πρώτου σταδίου κάθε φορά. Κάθε κλίνη του πρώτου σταδίου θα δέχεται ολόκληρο το οργανικό φορτίο της φάσης τροφοδοσίας, η οποία διαρκεί δύο ημέρες και στη συνέχεια η συγκεκριμένη κλίνη θα αναπαύεται για τέσσερις ημέρες, χρονική διάρκεια κατά την οποία μια άλλη κλίνη του πρώτου σταδίου θα τροφοδοτείται με οργανικό φορτίο, κατά την ίδια ακριβώς διαδικασία.

Η εκροή του πρώτου σταδίου κλινών κατακόρυφης ροής θα καταλήγει στο σίφωνα δεύτερου σταδίου, του οποίου ο σκοπός είναι να τροφοδοτεί σε δέσμες, όπως ακριβώς και στο προηγούμενο στάδιο, δύο κλίνες κατακόρυφης ροής, οι οποίες θα λειτουργούν εναλλακτικά και οι οποίες συνθέτουν το δεύτερο στάδιο της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας. Σημειώνεται πως κάθε σίφωνα μπορεί να παρακαμφθεί σε περίπτωση επισκευής ή βλάβης (βλ. Σχέδιο «Διάγραμμα Ροής» στο Παράρτημα). Η φάση τροφοδοσίας κάθε κλίνης θα διαρκεί δύο ημέρες και θα αναπαύεται στη συνέχεια για τις επόμενες δύο ημέρες.

Τελικά, τα υγρά απόβλητα θα οδηγούνται στο τρίτο στάδιο της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας, όπου τα λύματα θα συγκεντρώνονται σε μία κλίνη ενός υδροβιότοπου

οριζόντιας υπόγειας ροής, του οποίου η πρωτεύουσα διεργασία είναι η απονιτροποίηση, δηλαδή η μετατροπή των νιτρικών ιόντων σε αέριο άζωτο.

Για περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης, προβλέπεται κατασκευή παράκαμψης καθενός από τα στάδια της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας (βλ. Σχέδιο «Διάγραμμα Ροής» στο Παράρτημα).

Στην έξοδο της Ε.Ε.Λ. θα υπάρχει φρεάτιο εξόδου που θα οδηγεί τα υγρά απόβλητα στον τελικό αποδέκτη, στο ρέμα Γκούρα.

## 7.2. Εσχάρωση

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, η πρώτη φυσική διεργασία στην οποία υπόκεινται τα λύματα, κατά την είσοδό τους στην εγκατάσταση, είναι η εσχάρωση (screening). Η σχάρα αποτελεί μια διάταξη με ανοίγματα, συνήθως ομοιόμορφου μεγέθους, η οποία έχει ως σκοπό την κατακράτηση των στερεών που υπάρχουν στα εισερχόμενα υγρά απόβλητα στη Ε.Ε.Λ. Με αυτή τη διαδικασία καθίσταται εφικτή η απομάκρυνση ογκωδών σωματιδίων, όπως κομμάτια ξύλων, χαρτιά, κλαδιά, μεγάλα χαλίκια, πλαστικά κλπ. Τέτοια σωματίδια θα μπορούσαν (Metcalf and Eddy 1991):

- Να προκαλέσουν ζημιά στον εξοπλισμό της εγκατάστασης σε επόμενα στάδια.
- Να ελαττώσουν τη συνολική αξιοπιστία και αποτελεσματικότητα της εγκατάστασης.
- Να προκαλέσουν τη ρύπανση του τελικού αποδέκτη, δηλαδή των υδάτινων ρευμάτων.

Βασική παράμετρο στο σχεδιασμό των σχαρών αποτελεί το μέγεθος των διακένων τους, το οποίο καθορίζεται βάσει του μεγέθους των στερεών που πρέπει να απομακρύνει η σχάρα.

Πίνακας 7.1: Τυπικές παράμετροι σχεδιασμού για χειροκαθαριζόμενες χονδρές σχάρες  
Πηγή: Metcalf and Eddy (1991)

Παράμετρος	Διαστάσεις
<u>Ράβδοι</u>	
Πλάτος (mm)	5-15
Βάθος (mm)	25-38
Διάκενα (mm)	20-50
<u>Ταχύτητα Προσέγγισης</u>	
Μέγιστη στα διάκενα (m/s)	0.6-1.2
Ελάχιστη στο κανάλι (m/s)	0,4
<u>Υδραυλικές Απώλειες (mm)</u>	150-200

Στην παρούσα εργασία επιλέγεται η χειροκαθαριζόμενη, χονδρού τύπου, σχάρα. Η σχάρα αυτή αποτελείται από μία σειρά από ανοξειδώτες χαλύβδινες ράβδους, τοποθετημένες παράλληλα και σε σταθερές αποστάσεις (διάκενα) μεταξύ τους. Τέτοιες σχάρες χρησιμοποιούνται σε μικρές μονάδες μέχρι 1000 m<sup>3</sup>/ημέρα (Κούγκολος 2007). Τα υλικά που συγκρατούνται έχουν ως αποτέλεσμα τη σταδιακή έμφραξη των σχαρών και για αυτό το λόγο κρίνεται επιτακτική η συχνή απομάκρυνση των υλικών αυτών. Στον Πίνακα 7.1 παρουσιάζονται οι τυπικές παράμετροι σχεδιασμού για χειροκαθαριζόμενες χονδρές σχάρες ορθογωνικής διατομής.

Προτείνεται η χρήση σχάρας με χειρωνακτικό καθαρισμό, αντί μηχανικού, διότι έχει χαμηλότερο κόστος αγοράς και συντήρησης. Η σχάρα θα αποτελείται από ράβδους πάχους 10 mm, οι οποίες θα απέχουν μεταξύ τους (πάχος διακένων) 21 mm. Το κανάλι εισόδου, όπως και το κανάλι της σχάρας, θα είναι ορθογωνικής διατομής και θα έχουν κλίση 0.1%. Το κανάλι εισόδου θα διαιρείται σε δύο επιμέρους κανάλια, για να καθίσταται εφικτός ο καθαρισμός και η συντήρηση της σχάρας. Επομένως, κατά τη διάρκεια καθαρισμού του ενός τμήματος της σχάρας αυτό θα απομονώνεται, ενώ θα λειτουργεί παράλληλα το δεύτερο τμήμα της σχάρας. Οι ράβδοι της σχάρας θα τοποθετηθούν σχηματίζοντας γωνία 60° με τη διεύθυνση ροής, ώστε να διευκολύνεται η απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών (βλ. Σχέδια «Κάτοψη Εσχάρωσης» και «Τομή Α-Α' και Β-Β'» στο Παράρτημα). Το βάθος ροής d των υγρών θεωρήθηκε αρχικά ίσο με το πλάτος b της ορθογωνικής διατομής του καναλιού εισόδου και χρησιμοποιώντας την εξίσωση του Manning προέκυψαν τα ακόλουθα αποτελέσματα:

$$Q = \frac{1}{n} \times A \times R_u^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \rightarrow Q = \frac{1}{n} \times b \times d \times \left(\frac{b \times d}{b + 2d}\right)^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}$$

όπου n: ο συντελεστής τριβής που ονομάζεται συντελεστής Manning και λαμβάνεται ίσος με n = 0.013.

Q η παροχή σε m<sup>3</sup> / s.

A: το εμβαδόν της (ορθογωνικής) διατομής.

R<sub>u</sub>: η υδραυλική ακτίνα.

S: η κλίση της επιφάνειας.

d: το βάθος ροής.

b: το πλάτος της ορθογωνικής διατομής.



Σημειώνεται πως παροχή σχεδιασμού της σχάρας θεωρήθηκε ίση με την παροχή αιχμής, λαμβάνοντας ως συντελεστή αιχμής 5 φορές τη μέση παροχή σχεδιασμού, δηλαδή  $Q_{αιχμ} = 5 \times Q_{σχεδ} = 5 \times 75 \text{ m}^3/\text{d} = 375 \text{ m}^3/\text{d} = 0.00434 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Λύνοντας την εξίσωση του Manning ως προς το πλάτος  $b$  της ορθογωνικής διατομής προκύπτει  $b = d = 0.122 \text{ m}$ .

Η ταχύτητα ροής στο κανάλι εισόδου είναι  $V = Q/A = 0.29 \text{ m/s}$ .

Τα υπόλοιπα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της σχάρας παρουσιάζονται αναλυτικά στα αντίστοιχα σχέδια που παρατίθενται στο Παράρτημα της διπλωματικής αυτής εργασίας.

Για την αποφυγή έμφραξης των σχαρών απαιτείται καθαρισμός κάθε δύο ή τρεις ημέρες και συνήθως πραγματοποιείται με τη χρήση τσουγκράνας. Τα εσχαρίσματα θα απορρίπτονται σε κάδους.

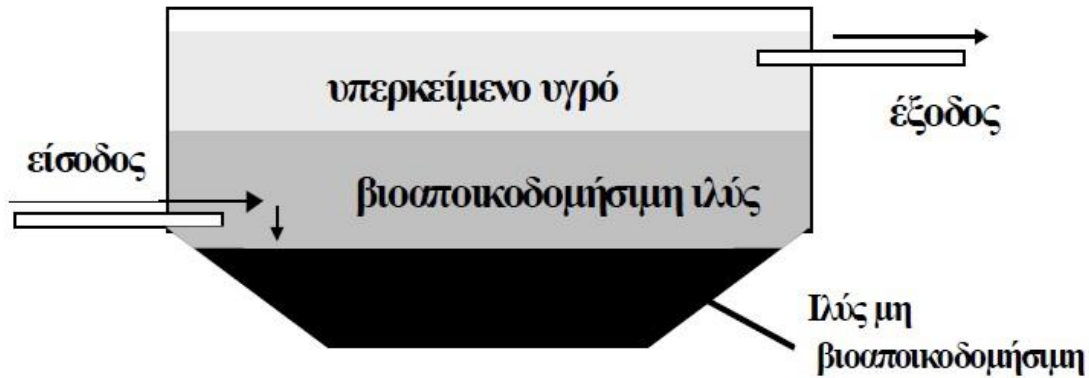
### 7.3. Αναερόβια Δεξαμενή Σταθεροποίησης

Οι αναερόβιες δεξαμενές χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία ισχυρών υγρών λυμάτων και αποτελούν μέρος του πρωτοβάθμιου καθαρισμού των αποβλήτων. Οι δεξαμενές αυτές μπορεί να οριστούν ως αντιδραστήρες που κατασκευάζονται μέσω εκσκαφών και συμπυκνωμένων επιχωμάτων, έτσι ώστε να έχουν τη δυνατότητα αποθήκευσης των υγρών αποβλήτων για ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα που απαιτείται για τη μείωση του οργανικού και του μικροβιακού φορτίου. Θεωρούνται από τα πιο αξιόπιστα και πιο φθηνά συστήματα απομάκρυνσης  $BOD_5$  (>50%) από κάθε άλλο σύστημα πρωτοβάθμιας επεξεργασίας, με τις λιγότερες ανάγκες για συντήρηση (Papadopoulos et al. 2000).

Η λειτουργία των αναερόβιων δεξαμενών σταθεροποίησης στηρίζεται στον μηχανισμό απομάκρυνσης του οργανικού φορτίου (Εικόνα 7.1) μέσω:

- Της καθίζησης των βαρύτερων στερεών και υπερχειλίσης του επεξεργασμένου υπερκείμενου υγρού.
- Της συσσώρευσης των καθιζάμενων στερεών στον πυθμένα των δεξαμενών σχηματίζοντας λάσπη (ιλύ).
- Της αποικοδόμησης της ιλύος κάτω από αναερόβιες συνθήκες, μία διεργασία που επηρεάζεται σημαντικά από τη θερμοκρασία ( $T > 15^\circ\text{C}$  (Pescod 1996) με βέλτιστη αποικοδόμηση  $30^\circ\text{C} < T < 35^\circ\text{C}$ . (Letting et al. 2001).

Προκειμένου να επιτευχθούν αναερόβιες συνθήκες στις δεξαμενές αυτές η κατασκευή τους απαιτεί μικρή επιφάνεια και σχετικά μεγάλο βάθος (2-5 m). Ο χρόνος παραμονής των αποβλήτων στη δεξαμενή είναι δε αρκετά σύντομος (1-5 μέρες) σε σχέση με άλλους τύπους λιμνών (Τσιχριντζής 2000).



Εικόνα 7.1: Σχηματική παράσταση λειτουργίας αναερόβιας δεξαμενής  
Πηγή: Karteris et al. (2005)

Η διαστασιολόγηση των αναερόβιων δεξαμενών σταθεροποίησης γίνεται βάσει του ογκομετρικού οργανικού φορτίου και του χρόνου παραμονής. Ο υπολογισμός βάσει του επιφανειακού οργανικού φορτίου πρέπει να αποφεύγεται (σε αντίθεση με τις επαμφοτερίζουσες δεξαμενές). Σημαντική παράμετρος σχεδιασμού είναι, όπως αναμένεται, η θερμοκρασία του νερού στην δεξαμενή (Τσιχριντζής 2000).

Οι Mara and Pearson (1987) αναφέρουν ότι δεν υπάρχει εμπειρία απόδοσης αναερόβιων δεξαμενών στις Μεσογειακές χώρες της Ευρώπης. Υπάρχει, όμως, εμπειρία από την Βαυαρία της Γερμανίας, όπου αν και το κλίμα είναι πιο κρύο, τέτοιες δεξαμενές λειτουργούν σχετικά καλά, ακόμη και το χειμώνα. Ο ελάχιστος όγκος σχεδιασμού εκεί είναι  $0,5 \text{ m}^3/\text{άτομο}$  ή περίπου  $100 \text{ g BOD}/\text{m}^3/\text{ημέρα}$ . Επιπλέον, κατά τους Mara and Pearson (1987) στις μεσογειακές χώρες της Ευρώπης, η θερμοκρασία του χειμώνα είναι μικρότερη των  $15 \text{ }^\circ\text{C}$ , κάτω από την οποία η δράση των μεθανοβακτηρίων σταματά. Κατά συνέπεια, το οργανικό φορτίο για σχεδιασμό το χειμώνα πρέπει να περιορίζεται στην τιμή της Βαυαρίας ( $100 \text{ g BOD}/\text{m}^3/\text{ημέρα}$ ). Στο σχεδιασμό για το καλοκαίρι το οργανικό φορτίο μπορεί να αυξηθεί μέχρι  $300 \text{ g BOD}/\text{m}^3/\text{ημέρα}$ , αλλά τούτο πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή και μόνο όταν η θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από τους  $22^\circ\text{C}$ . Για την Ελλάδα, όπου τα δεδομένα είναι περιορισμένα, προτιμότερο είναι να χρησιμοποιείται στον σχεδιασμό το χειμερινό

επιτρεπόμενο οργανικό φορτίο (δηλαδή 100 g BOD /m<sup>3</sup>/ημέρα) και για το σχεδιασμό το καλοκαίρι.

Πίνακας 7.2: Αφαίρεση BOD5 συναρτήσει του χρόνου παραμονής  
Πηγή: WHO (1987)

Θερμοκρασία (°C)	Υδραυλικός χρόνος παραμονής (ημέρες)	Μείωση BOD (%)
< 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

Στην παρούσα εγκατάσταση προβλέπεται η κατασκευή μίας αναερόβιας δεξαμενής, η οποία θα λειτουργεί καθόλη τη διάρκεια του χρόνου και θα δέχεται τα λύματα που έχουν ήδη περάσει το αρχικό στάδιο της εσχάρωσης. Η παροχή που εισέρχεται στη δεξαμενή, όπως και το φορτίο και η συγκέντρωση BOD, έχουν υπολογιστεί αναλυτικά στις παραγράφους 6.2 και 6.3.

Η παροχή των λυμάτων που εισέρχεται στη δεξαμενή κατά τη χειμερινή περίοδο έχει υπολογιστεί προηγουμένως ίση με  $Q_{\text{χειμ}} = 25.5 \text{ m}^3/\text{ημέρα}$ . Αντίστοιχα, η παροχή λυμάτων που εισέρχεται στη δεξαμενή κατά την καλοκαιρινή περίοδο έχει υπολογιστεί προηγουμένως ίση με  $Q_{\text{καλ}} = 75 \text{ m}^3/\text{ημέρα}$ .

Η συγκέντρωση BOD των λυμάτων στην εισροή ισούται με:  $C_{\text{BOD}} = 400 \text{ mg/L}$ .

Το φορτίο BOD των λυμάτων στην εισροή ισούται το χειμώνα με:  $L_{\text{BOD}} = 10.2 \text{ kg/ημέρα} \rightarrow$

$L_{\text{BOD}}^{\text{χειμ}} = 10200 \text{ g/ημέρα}$  τη χειμερινή περίοδο και ομοίως:

$L_{\text{BOD}} = 30 \text{ kg/ημέρα} \rightarrow$

$L_{\text{BOD}}^{\text{καλ}} = 30000 \text{ g/ημέρα}$  την καλοκαιρινή περίοδο.

Σύμφωνα με τον Τσιχριντζή (2000), για τον προσδιορισμό του απαιτούμενου όγκου της δεξαμενής θα γίνουν δύο υπολογισμοί σχετικά με το επιτρεπόμενο οργανικό

φορτίο: με τη συντηρητική (100 g BOD/m<sup>3</sup>/ημέρα) και με τη μη συντηρητική παραδοχή (300 g BOD/m<sup>3</sup>/ημέρα).

Με βάση τη συντηρητική παραδοχή, δηλαδή χρησιμοποιώντας επιτρεπόμενο οργανικό φορτίο 100 g BOD/m<sup>3</sup>/ημέρα για το χειμώνα και το καλοκαίρι προκύπτουν οι ακόλουθοι απαιτούμενοι όγκοι:

$$\text{Για το χειμώνα: } V_1^{\text{χειμ}} = 10200 \text{ (g/ημ.)} / 100 \text{ (g BOD/m}^3\text{/ημ.)} = 102 \text{ m}^3.$$

$$\text{Για το καλοκαίρι } V_1^{\text{καλ}} = 30000 \text{ (g/ημ.)} / 100 \text{ (g BOD/m}^3\text{/ημ.)} = 300 \text{ m}^3$$

Εφαρμόζοντας, αντίστοιχα, τη μη συντηρητική παραδοχή, σύμφωνα με την οποία χρησιμοποιείται επιτρεπόμενο οργανικό φορτίο 100 g BOD/m<sup>3</sup>/ημέρα για το χειμώνα και 300 g BOD/m<sup>3</sup>/ημέρα για το καλοκαίρι προκύπτουν:

$$\text{Για το χειμώνα } V_2^{\text{χειμ}} = 10200 \text{ (g/ημ.)} / 100 \text{ (g BOD/m}^3\text{/ημ.)} = 102 \text{ m}^3.$$

$$\text{Για το καλοκαίρι } V_2^{\text{καλ}} = 30000 \text{ (g/ημ.)} / 300 \text{ (g BOD/m}^3\text{/ημ.)} = 100 \text{ m}^3.$$

Επομένως, η δεξαμενή πρέπει να σχεδιαστεί για ένα όγκο μεταξύ 102 m<sup>3</sup> και 300 m<sup>3</sup> (επιλέγονται οι μέγιστες τιμές του όγκου για το χειμώνα και το καλοκαίρι, αντίστοιχα).

Ο χρόνος παραμονής της δεξαμενής υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{Το χειμώνα, για όγκο } 102 \text{ m}^3 : T = V_1^{\text{χειμ}} / Q_{\text{χειμ}} = 102 \text{ m}^3 / 25.5 \text{ m}^3\text{/ημ.} = 4 \text{ ημέρες.}$$

$$\text{Το καλοκαίρι, για όγκο } 300 \text{ m}^3 : T = V_1^{\text{καλ}} / Q_{\text{καλ}} = 300 \text{ m}^3 / 75 \text{ m}^3\text{/ημ.} = 4 \text{ ημέρες.}$$

Σύμφωνα με τα κλιματικά στοιχεία της περιοχής, τα οποία αναλύονται στην παράγραφο 5.1.5, η μέση θερμοκρασία αέρα είναι 10°C για τη χειμερινή περίοδο και 23°C τη θερινή περίοδο. Η θερμοκρασία της δεξαμενής θα θεωρηθεί ίση με την μέση θερμοκρασία του αέρα στις αντίστοιχες περιόδους.

Συγκρίνοντας τους υπολογισθέντες χρόνους παραμονής με αυτούς που παρουσιάστηκαν στον Πίνακα 7.2, παρατηρείται ότι, για την θερμοκρασία των 10°C, ο υδραυλικός χρόνος παραμονής είναι 4 - 5 ημέρες για να επιτευχθεί περίπου 30% αφαίρεση BOD. Αντίστοιχα, για τη θερμοκρασία των 23°C, ο χρόνος παραμονής για να επιτευχθεί αφαίρεση της τάξης του 60% είναι 1-2 ημέρες. Ο χρόνος παραμονής των τεσσάρων ημερών που υπολογίστηκε για τη χειμερινή περίοδο βρίσκεται εντός των προτεινόμενων ορίων για την αντίστοιχη περίοδο (4 -5 ημέρες – βλ. Πίνακα 7.2), ενώ ο χρόνος των τεσσάρων ημερών που υπολογίστηκε για την καλοκαιρινή περίοδο είναι αρκετά μεγαλύτερος από τον προτεινόμενο χρόνο παραμονής για τη θερμοκρασία των

23°C (1 – 2 ημέρες – βλ. Πίνακα 7.2). Ως εκ τούτου επιλέγεται ο σχεδιασμός δεξαμενής όγκου 102 m<sup>3</sup>. Για αυτήν την περίπτωση, ελέγχεται πάλι ο χρόνος παραμονής το καλοκαίρι:

$$T = V_{\chi\epsilon\iota\mu} / Q_{\kappa\alpha\lambda} = 102 \text{ m}^3 / 75 \text{ m}^3/\eta\mu. = 1.36 \text{ \eta\mu\epsilon\rho\epsilon\varsigma} \approx 2 \text{ \eta\mu\epsilon\rho\epsilon\varsigma},$$

ο οποίος σύμφωνα με τον Πίνακα 7.2, είναι επαρκής για αφαίρεση του 60% του BOD.

Αν το βάθος της δεξαμενής θεωρηθεί ίσο με  $h = 3.5 \text{ m}$ , τότε η απαιτούμενη επιφάνειά της είναι:

$$A = V / h = 102 \text{ m}^3 / 3.5 \text{ m} \rightarrow A_{\delta\epsilon\chi} = 30 \text{ m}^2.$$

Η αφαίρεση του BOD ισούται με 40% το χειμερινή περίοδο και 60% την καλοκαιρινή και, κατά συνέπεια, η συγκέντρωση BOD στην εκροή της αναερόβιας δεξαμενής θα είναι:

$$\text{Το χειμώνα, } BOD_{\chi\epsilon\iota\mu}^{\text{εκροή}} = (400 \text{ mg/L}) \times 0,6 = 240 \text{ mg/L, και}$$

$$\text{το καλοκαίρι, } BOD_{\kappa\alpha\lambda}^{\text{εκροή}} = (400 \text{ mg/L}) \times 0,4 = 160 \text{ mg/L.}$$

Η δεξαμενή θα είναι χωρισμένη σε δύο τμήματα. Το πρώτο τμήμα θα έχει εσωτερικές διαστάσεις 5m × 4m × 3.5m ύψος, ενώ το δεύτερο 2.5m × 4m × 3.5m ύψος. Αυτός ο διαχωρισμός έχει σκοπό να παραμείνει η λάσπη από την αναερόβια επεξεργασία στο πρώτο κυρίως τμήμα, καθώς και να γίνεται μεγαλύτερη η μέση διαδρομή, με αποτέλεσμα ο χρόνος παραμονής μέσα στη δεξαμενή να αυξάνεται και το φαινόμενο δημιουργίας νεκρών όγκων να μειώνεται. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της σχάρας παρουσιάζονται με ακρίβεια στα σχέδια που παρατίθενται στο Παράρτημα της εργασίας.

#### 7.4. Κλίνες Κατακόρυφης Ροής

Σε αυτό το κεφάλαιο πραγματοποιείται αναλυτική περιγραφή του σχεδιασμού, της κατασκευής και της λειτουργίας των κλινών κατακόρυφης ροής, δηλαδή των υγροτόπων κατακόρυφης ροής που συναντώνται στο πρώτο και στο δεύτερο στάδιο της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας.

Η βασική σχεδιαστική παράμετρος, που χρησιμοποιείται στο σχεδιασμό των υγροτόπων κατακόρυφης υπόγειας ροής, είναι η μονάδα επιφάνειας, δηλαδή η αναλογία απαιτούμενης επιφάνειας (εμβαδόν) για κάθε κάτοικο (m<sup>2</sup>/i.π.), όπου i.π. ο

ισοδύναμος πληθυσμός του οικισμού. Μέχρι σήμερα, δεν υπάρχει κάποια γενικώς αποδεκτή τιμή, με αποτέλεσμα σε κάθε χώρα να χρησιμοποιούνται διαφορετικές τιμές. Μάλιστα, δεν είναι λίγες οι περιπτώσεις που προτείνονται διαφορετικές τιμές, ακόμα και στην ίδια χώρα. Είναι γεγονός, πως η παράμετρος αυτή βρίσκεται σε άμεση συσχέτιση με τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε περιοχή, αλλά και πάλι εξαρτάται περισσότερο από την εμπειρία του εκάστοτε επιστήμονα ή μηχανικού. Οι υγρότοποι κατακόρυφης ροής είναι περισσότερο διαδεδομένοι στις Ευρωπαϊκές χώρες και γι' αυτόν το λόγο η περισσότερη γνώση σχετικά με το σχεδιασμό τους προέρχεται από τις χώρες αυτές (Stefanakis et al. 2014).

Στον Πίνακα 7.3 παρουσιάζονται προτεινόμενες και εφαρμοσμένες τιμές σχεδιασμού που έχουν προταθεί σε διάφορες χώρες τις Ευρώπης.

Πίνακας 7.3: Τιμές σχεδιασμού (m<sup>2</sup>/ι.π.) σε διαφορετικές χώρες της Ευρώπης  
Πηγή: Stefanakis et al. (2014)

Χώρα	Απαιτούμενη Επιφάνεια (m <sup>2</sup> /ι.π.)
Δανία	3.2
Ηνωμένο Βασίλειο	1.0-3.2
Αυστρία	4.0-6.0
Τσεχία	1.5
Γερμανία	A) 1.6, B) 2.3 Γ) 3.0 Δ) 2.0-3.0
Βέλγιο	3.8
Γαλλία	2.0-2.5
Ελλάδα	A) 1.0-1.5 B) 3.0
Ιταλία	1.3-3.2
Ισπανία	1.0-3.2

Καθίσταται, λοιπόν, σαφές πως υπάρχει ένα πολύ μεγάλο εύρος τιμών σχεδιασμού υγροτόπων κατακόρυφης ροής, αναφορικά με την επιφάνεια που απαιτείται για ορισμένη ποσότητα λύματος. Σε αυτή την αβεβαιότητα προστίθεται και η διαφοροποίηση των τιμών σχεδιασμού, ανάλογα με την ύπαρξη ή μη σταδίου προεπεξεργασίας των λυμάτων. Τα στάδια προεπεξεργασίας των λυμάτων μειώνουν το ρυπαντικό φορτίο, όπως αναλύθηκε προηγουμένως στην παράγραφο της αναερόβιας δεξαμενής καθίζησης.

Παρατηρώντας τις τιμές σχεδιασμού του Πίνακα 7.3, γίνεται αντιληπτό πως συνηθίζονται τιμές μικρότερες των 3 m<sup>2</sup>/ι.π., προκειμένου να μειωθεί η επιφάνεια της εγκατάστασης. Σε περιοχές με θερμότερο κλίμα, όπως στις Μεσογειακές χώρες, οι κλιματικές συνθήκες επιτρέπουν την εφαρμογή ακόμη χαμηλότερων τιμών σχεδιασμού, σε αντιδιαστολή με χώρες της Βόρεια Ευρώπης. Για παράδειγμα, σε εγκαταστάσεις με ψυχρότερο κλίμα, ενδέχεται να είναι αναγκαίες τιμές σχεδιασμού μέχρι και 4 ή 5 m<sup>2</sup>/ι.π., προκειμένου να εξασφαλίσουν την αποδοτική λειτουργία του συστήματος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως οι χαμηλές θερμοκρασίες επηρεάζουν αρνητικά τις διαδικασίες επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων, αναγκάζοντάς τες να λειτουργούν με πιο αργούς ρυθμούς, καθιστώντας αδήριτη την ανάγκη χρήσης μεγαλύτερων επιφανειών στις εγκαταστάσεις. Από την άλλη πλευρά, σε θερμότερες περιοχές με υψηλότερες θερμοκρασίες, οι διεργασίες επεξεργασίας επιτυγχάνονται με εντατικότερους ρυθμούς και το απαιτούμενο εμβαδόν μπορεί να μειωθεί σημαντικά σε 1-2 m<sup>2</sup>/ι.π. (Stefanakis et al. 2014).

Γίνεται αντιληπτό, πως για την επιλογή της ιδανικής τιμής σχεδιασμού για τον οικισμό του Ράφτη, πρέπει να ληφθούν υπόψη τιμές από έρευνες αντίστοιχων ελληνικών εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων. Στον Πίνακα 7.4 παρουσιάζονται πληθυσμιακά και γεωμετρικά στοιχεία τεχνητών υγροτόπων στην ελληνική επικράτεια, τα οποία χρησιμοποιούν υγροτόπους κατακόρυφης υπόγειας ροής (Vertical Flow-VF) στα δύο πρώτα στάδια της δευτερογενούς επεξεργασίας των λυμάτων. Τα πρωτογενή δεδομένα του πίνακα (πληθυσμιακό ισοδύναμο και διαστάσεις) αντλήθηκαν από τους Gkika, Gika and Tsihrintzis (2014).

**Πίνακας 7.4: Στοιχεία σχεδιασμού σε εγκαταστάσεις στην ελληνική επικράτεια**

Περιοχή	Πληθυσμιακό Ισοδύναμο (άτομα)	Διαστάσεις 1 <sup>ο</sup> Σταδίου VF (m <sup>2</sup> )	Απαιτούμενη Επιφάνεια 1 <sup>ο</sup> Σταδίου (m <sup>2</sup> /ι.π.)	Διαστάσεις 2 <sup>ο</sup> Σταδίου VF (m <sup>2</sup> )	Απαιτούμενη Επιφάνεια 2 <sup>ο</sup> Σταδίου (m <sup>2</sup> /ι.π.)
Κορέστεια	600	3×297	1.5	2×297	1.0
Κόμαρα	800	3×320	1.2	2×320	0.8
Κυπρίνος	1200	3×480	1.2	2×480	0.8
Σάπες	3640	12×364	1.2	8×364	0.8
Νυμφαίο	540	2×170	0.6	2×100	0.4
Ασπρόγεια	560	2×170	0.6	2×100	0.4
Σκλήθρο	900	2×270	0.6	2×260	0.6
Νέα Μάδυτος	3000	8×170	0.5	6×170	0.4
Γομάτι	1000	4×160	0.7	4×90	0.4

Επιλέγεται, επομένως, για τον οικισμό του Ράφτη τιμή σχεδιασμού ίση με  $1.2 \text{ m}^2/\text{i.π.}$  για το πρώτο στάδιο και εγκατάσταση 3 κλινών. Αντίστοιχα, για το δεύτερο στάδιο επεξεργασίας, επιλέγεται τιμή σχεδιασμού ίση με  $0.8 \text{ m}^2/\text{i.π.}$  και δημιουργία 2 κλινών. Για την αποτελεσματική λειτουργία των υγροβιότοπων καθόλη τη διάρκεια του έτους θα χρησιμοποιηθεί μια μέση τιμή των πληθυσμών σχεδιασμού και η οποία λαμβάνεται ίση με 335 άτομα. Σύμφωνα με αυτήν τη θεώρηση, το πρώτο στάδιο της δευτερογενούς επεξεργασίας θα έχει συνολική επιφάνεια  $402 \text{ m}^2$ , επιφάνεια που θα προκύπτει από την δημιουργία τριών λεκανών των  $134 \text{ m}^2$ , ενώ το δεύτερο στάδιο θα έχει συνολική επιφάνεια  $268 \text{ m}^2$ , η οποία θα διαιρείται σε δύο κλίνες πάλι των  $134 \text{ m}^2$ .

#### 7.4.1. Διαδικασία κατασκευής

Η κατασκευή των υγροτόπων κατακόρυφης ροής περιλαμβάνει σε πρώτη φάση την κατασκευή των λεκανών των κλινών. Θα πραγματοποιηθεί, λοιπόν, εκσκαφή 5 λεκανών διαστάσεων  $134 \text{ m}^2$  και κλίσης 1%. Για την πλήρη στεγανοποίηση των κλινών και την αποφυγή διαρροών λυμάτων στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα, ο πυθμένας κάθε λεκάνης θα στεγανοποιηθεί με την τοποθέτηση γεωμεμβράνης HDPE (high-density polyethylene), δηλαδή μεμβράνης από πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας, πάχους 1 mm. Η γεωμεμβράνη θα προστατεύεται και στις δύο της πλευρές από γεωύφασμα, για την αποφυγή ζημιών στην έκτασή της, όπως τρύπες και σκισίματα, που μπορούν να προκληθούν από την άμεση επαφή της μεμβράνης με τα αδρομερή χαλίκια.

Στη συνέχεια, θα γίνει η τοποθέτηση των σωλήνων της εκροής. Θα χρησιμοποιηθούν αποστραγγιστικοί σωλήνες με μεγάλη αντοχή, οι οποίοι θα είναι κατασκευασμένοι από πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC-Polyvinyl Chloride). Οι σωλήνες θα τοποθετηθούν με τέτοιο τρόπο, ώστε να καλύπτουν όλη την έκταση του πυθμένα. Επισημαίνεται πως οι αποστραγγιστικοί σωλήνες θα καλυφθούν με αδρομερή χαλίκια (αναλύεται στην επόμενη παράγραφο) για την αποφυγή φαινομένων φραξίματος ή βουλώματος των σωλήνων και την αποτελεσματικότερη αποστράγγιση των υγρών αποβλήτων. Τέλος, το σύστημα των αποστραγγιστικών σωλήνων θα συνδέεται με την ατμόσφαιρα μέσω κατακόρυφων σωλήνων αερισμού, οι οποίοι θα επιτρέπουν τον καλύτερο αερισμό των βαθύτερων σημείων των κλινών και θα εκτείνονται πάνω από την επιφάνειά τους. Στις κλίνες του πρώτου σταδίου, ο αερισμός θα επιτυγχάνεται με σωλήνες παθητικού αερισμού από PVC Φ110. Η ομοιόμορφη διανομή των λυμάτων στο εκάστοτε τμήμα των κλινών θα γίνεται με αγωγούς από PVC Φ160. Ομοίως, και στις κλίνες του



δεύτερου σταδίου, ο αερισμός θα επιτυγχάνεται με σωλήνες παθητικού αερισμού από PVC Φ110, ενώ η ομοιόμορφη διανομή των λυμάτων στο εκάστοτε τμήμα των κλινών θα γίνεται με αγωγούς από PVC Φ160.

Στην επόμενη παράγραφο αναλύεται η επιλογή και η τοποθέτηση των υλικών πλήρωσης.

#### **7.4.2. Επιλογή υλικών πλήρωσης**

Στις κλίνες των υγροτόπων κατακόρυφης υπόγειας ροής θα χρησιμοποιηθεί ως υλικό πλήρωσης ένα αδρανές υλικό από λατομείο ή από αποθέσεις σε ποτάμια ή/και χειμάρρους. Το υλικό πλήρωσης θα πρέπει να είναι ενδεδειγμένου κοκκομετρικού φάσματος, για αποφυγή φαινομένων φραξίματος του φίλτρου.

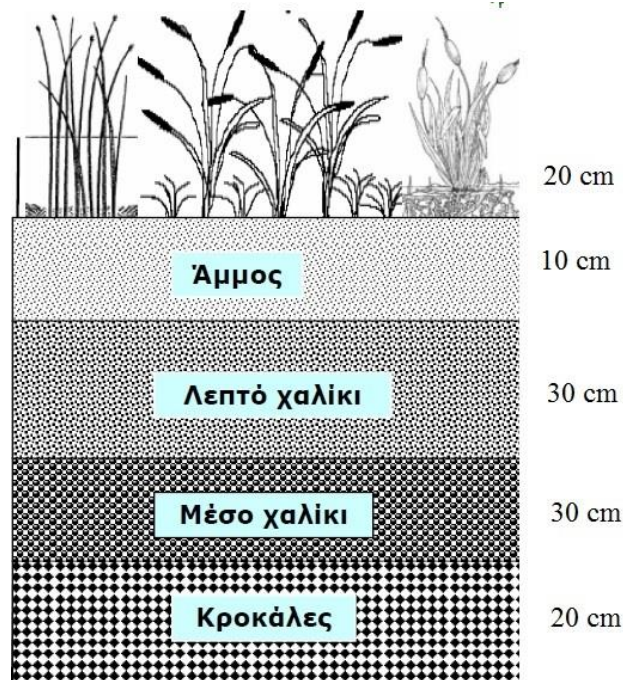
Οι τεχνητοί υγροτόποι κατακόρυφης ροής κατασκευάζονται από μία αλληλουχία επιπέδων από άμμο και χαλίκι με λεπτότερα υλικά στην επιφάνεια και πιο χονδροειδή υλικά στον πυθμένα. Στις κλίνες 1<sup>ου</sup> και 2<sup>ου</sup> σταδίου κατακόρυφης ροής του οικισμού Ράφτη προτείνεται η εφαρμογή μιας παραλλαγής του Ευρωπαϊκού προτύπου σχεδιασμού. Πιο συγκεκριμένα, τα αδρανή υλικά θα τοποθετηθούν σε 4 στρώσεις, με διαφορετικό μέγεθος κόκκων σε κάθε στρώση, ως εξής (από την επιφάνεια προς τον πυθμένα):

1. Στην ανώτερη στρώση θα τοποθετηθεί αδρομερής άμμος ποταμού με διάμετρο 0.5-1 mm. Η στρώση αυτή θα έχει πάχος 10 cm και αποτελεί την επιφάνεια που θα φυτευτούν τα υδροχαρή φυτά.
2. Κάτω από την επιφανειακή στρώση ακολουθεί ένα επίπεδο, που θα αποτελείται από λεπτομερές χαλίκι διαμέτρου 4-8 mm και θα έχει πάχος 30 cm.
3. Συνεχίζοντας προς τον πυθμένα, θα τοποθετηθούν μεσαία χαλίκια διαμέτρου 8-16 mm, τα οποία θα καταλαμβάνουν 30 cm πάχος.
4. Τέλος, τον πυθμένα θα καταλαμβάνουν αδρομερή χαλίκια ή κροκάλες διαμέτρου 20-40 mm και πάχους 20 cm.

Αναφέρεται, ακόμη, πως πάνω από την ανώτερη στρώση θα αφηθεί ένα ελεύθερο ύψος (freeboard) 40 cm, για τις περιπτώσεις που τα λύματα συσσωρεύονται κατά τη διάρκεια των φάσεων τροφοδοσίας και ενδεχόμενων βροχοπτώσεων.

Αξίζει να επισημανθεί, πως και στα δύο στάδια των τεχνητών υγροτόπων εφαρμόζεται ακριβώς η ίδια διάταξη υλικών. Ελαφρώς διαφοροποιημένη διάταξη, κυρίως ως προς το επιφανειακό στρώμα και το πληρωτικό υλικό, παρουσιάζεται σε διατάξεις

εγκαταστάσεων που δεν υπάρχει δεξαμενή προεπεξεργασίας των λυμάτων. Σε τέτοιες περιπτώσεις, στο πρώτο στάδιο τοποθετείται λεπτόκοκκο χαλίκι για την αποφυγή φραξίματος των πόρων, καθώς η κλίνη δέχεται ανεπεξέργαστο το λύμα, ενώ στο δεύτερο επιφανειακό στρώμα τοποθετείται, όπως και στην παρούσα εργασία, άμμος. Η διαμόρφωση των στρώσεων απεικονίζεται και στις τομές των κλινών κατακόρυφης υπόγειας ροής που παρατίθενται στο Παράρτημα.



Εικόνα 7.2: Η διάταξη των στρώσεων στις κλίνες 1ου και 2ου σταδίου  
 Πηγή: Επεξεργασία σχήματος από Τσιχριντζή (2000)

Οι αντιπροσωπευτικές τιμές των χαρακτηριστικών μεγεθών που επιλέχθηκαν παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.5.

Πίνακας 7.5: Αντιπροσωπευτικές τιμές πορωδών μέσων

Πορώδες Μέσο	Διάμετρος Κόκκων (mm)	Ενεργό Πορώδες n%	Ειδική Απόδοση $S_y\%$	Υδραυλική Αγωγιμότητα K (m/d)
1. Αδρομερές Άμμος	0.5-1	39	28	12
2. Λεπτομερές Χαλίκι	4-8	34	25	450
3. Μεσαίο Χαλίκι	8-16	32	24	270
4. Αδρομερή Χαλίκια-Κροκάλες	20-40	28	23	150

### 7.4.3. Φυτεύσεις

Όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 4.3, ο ρόλος των φυτών στη διαμόρφωση και στη λειτουργία του υγροβιότοπου είναι ιδιαίτερα σημαντικός. Τα φυτά που συνήθως χρησιμοποιούνται στους τεχνητούς υγροβιότοπους είναι νεροκάλαμα (*Phragmites australis*), ψαθί (*Typha latifolia*), βούρλα (*Juncus sp*, *Scirpus lacustris*) και σε μερικές περιπτώσεις νερόκρινα (*Iris pseudacorus*). Στην περιοχή του έργου, υπάρχουν αυτοφυή νεροκάλαμα και ψαθιά, και επομένως, η χρησιμοποίησή τους αναμένεται να μην αντιμετωπίσει προβλήματα.

Προκειμένου να επιλεγεί το καταλληλότερο είδος, εξετάστηκαν διάφοροι παράμετροι όπως:

- Το βάθος στο οποίο μπορεί να φθάσει το ριζικό σύστημα.
- Η ποσότητα οξυγόνου που μπορεί να μεταφερθεί μέσω του ριζικού συστήματος στα απόβλητα.
- Οι ανάγκες συντήρησης.
- Η ταχύτητα ανάπτυξης.
- Η πρόσληψη θρεπτικών (αζώτου και φωσφόρου) από τα απόβλητα.
- Η αντοχή σε χημικές ενώσεις που περιέχονται στα απόβλητα.
- Η καταλληλότητα σχετικά με τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής και
- Η διαθεσιμότητα φυτευτικού υλικού.

Στον Πίνακα 7.6 καταγράφεται το βάθος των ριζών και η εκτιμώμενη ποσότητα οξυγόνου που μεταφέρεται στα απόβλητα.

Πίνακας 7.6: Βάθος ριζών και εκτιμώμενη ποσότητα που μεταφέρεται στα απόβλητα  
Πηγή: Μακρής (2008)

Είδος	Βάθος Ριζών	Οξυγόνο gr/m <sup>2</sup> /d
Νεροκάλαμο ( <i>Phragmites australis</i> )	0.60	4.8
Βούρλα ( <i>Scirpus</i> )	0.76	5.7
Ψαθί ( <i>Typha</i> )	0.30	2.1

Τα παραπάνω στοιχεία δείχνουν ότι τα νεροκάλαμα έχουν ριζικό σύστημα που φθάνει σε αρκετό βάθος και ταυτόχρονα μεταφέρουν υψηλή ποσότητα οξυγόνου. Αυτά τα

χαρακτηριστικά, σε συνδυασμό με την αποδεδειγμένη αποτελεσματικότητα και αντοχή τους στην επεξεργασία αστικών υγρών αποβλήτων, αλλά και την καταλληλότητά τους για τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής, οδηγούν στην επιλογή των νεροκάλαμων ως το καταλληλότερο είδος. Ένας πρόσθετος λόγος για την φύτευση νεροκάλαμου είναι η αυτοφυής παρουσία του στις ζώνες γύρω από τα κοντινά ρέματα.

Και στους δύο τύπους υγροβιότοπων (κατακόρυφης και οριζόντιας υπόγειας ροής) θα φυτευτούν ριζώματα καλαμιών τα οποία θα συλλεγούν από ρέματα της γύρω περιοχής. Θα φυτευτούν 4 φυτά ανά  $m^2$  υγροβιότοπου. Η φύτευση θα πρέπει να γίνει νωρίς την άνοιξη, καθώς αποτελεί την ευνοϊκότερη περίοδο. Τα φυτά πρέπει να κόβονται μία φορά το χρόνο, κατά τον Οκτώβριο-Νοέμβριο (πριν το πρώτο κρύο, περίοδο που θα αρχίσουν να κιτρινίζουν) σε ύψος 30 cm και να απομακρύνονται από τις κλίνες. Τέλος, επειδή αναμένεται κάποιο ποσοστό από τα φυτά να μην αναπτυχθεί, θα γίνει δεύτερη φύτευση ένα έτος μετά την πρώτη.

#### 7.4.4. Απόδοση αφαίρεσης ρύπων

Όλα τα συστήματα τεχνητών υγροτόπων μπορεί να προσομοιωθούν με βιολογικούς αντιδραστήρες και η απόδοσή τους μπορεί να υπολογισθεί με εφαρμογή κινητικής πρώτου βαθμού για την απομάκρυνση του BOD και του αζώτου (Kadlec and Knight 1996). Παρόλο που η ισχύς τους είναι περιορισμένη (Kadlec, 2000), αποτελεί το πιο κατάλληλο μοντέλο σχεδιασμού για την περιγραφή της αποικοδόμησης ρύπων. Επομένως, ο προσδιορισμός της απόδοσης σε αφαίρεση ρύπων των κλινών κατακόρυφης ροής θα πραγματοποιηθεί με εφαρμογή κινητικής πρώτου βαθμού. Σύμφωνα με αυτό το μοντέλο:

$$\frac{C_e}{C_i} = e^{-K_{1,v} \times t} = e^{-\frac{K_1}{q}} \quad (7.1)$$

$$K_1 = \varepsilon \times h \times K_{1,v} \quad (7.2)$$

Ακολουθεί η επεξήγηση κάθε μεταβλητής.

$C_e$ : συγκέντρωση ρύπων στην εκροή (mg/L)

$C_i$ : συγκέντρωση ρύπων στην εισροή (mg/L)

$q = Q/A$ , ο υδραυλικός ρυθμός φόρτισης (m/d)

$Q$ : μέση παροχή λυμάτων ( $m^3/d$ )

$A$ : η επιφάνεια του υγροτόπου ( $m^2$ )

$K_1$ : πρώτης τάξης σταθερά επιφανειακού ρυθμού (m/d)

$K_{1,v}$ : πρώτης τάξης σταθερά ογκομετρικού ρυθμού ( $d^{-1}$ )

t: χρόνος ανάπαυσης των λυμάτων στον υγρότοπο (d)

h: βάθος του νερού στον υγρότοπο (m)

ε: το πορώδες, ή το διάστημα που είναι διαθέσιμο για το νερό να ρέει διαμέσου του υγροβιότοπου. Το πορώδες είναι ποσοστό επί τοις εκατό και εκφράζεται ως δεκαδικός αριθμός.

Για τον υπολογισμό των τιμών του πάχους, της υδραυλικής αγωγιμότητας, του ενεργού πορώδους και της ειδικής απόδοσης σε νερό του πορώδους μέσου της κάθε κλίνης κατακόρυφης ροής που θα αντικατασταθούν στους παραπάνω τύπους, χρησιμοποιούνται ως δεδομένα οι τιμές του Πίνακα 7.5 και εφαρμόζονται οι ακόλουθοι τύποι:

$$\Pi = \sum_{i=1}^{i=4} \Pi_i \rightarrow \Pi = \Pi_1 + \Pi_2 + \Pi_3 + \Pi_4 = 0.10 + 0.30 + 0.30 + 0.20 = 0.90 \text{ m}$$

$$K = \frac{\Pi}{1000 \times \sum_{i=1}^{i=4} \frac{\Pi_i}{K_i}} \rightarrow K = 0.90 / [1000 \times (0.1/12 + 0.3/450 + 0.3/270 + 0.2/150)] = 0.079$$

m/d

$$n = \frac{\sum_{i=1}^{i=4} \Pi_i \times n_i}{\Pi} \rightarrow n = (0.1 \times 0.39 + 0.3 \times 0.34 + 0.3 \times 0.32 + 0.2 \times 0.28) / 0.90 = 0.326$$

$$S_y = \frac{\sum_{i=1}^{i=4} \Pi_i \times S_{yi}}{\Pi} \rightarrow S_y = (0.1 \times 0.28 + 0.3 \times 0.25 + 0.3 \times 0.24 + 0.2 \times 0.23) / 0.9 = 0.21$$

Στις παραπάνω σχέσεις με το σύμβολο 'Π' αναπαρίσταται το πάχος κάθε στρώσης, με το σύμβολο 'K' η υδραυλική αγωγιμότητα, με το σύμβολο 'n' το ενεργό πορώδες και με το σύμβολο 'Sy' η ειδική απόδοση κάθε στρώσης. Οι δείκτες 1-4 αντιπροσωπεύουν το είδος του υλικού που χρησιμοποιείται σε κάθε στρώση, από την αδρομερή άμμο μέχρι τα αδρομερή χαλίκια-κροκάλες.

Αντικαθιστώντας τις τιμές αυτές στις εξισώσεις 7.1 και 7.2, προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα ως προς την αφαίρεση BOD:

#### **A) Αφαίρεση BOD στο πρώτο στάδιο υγροτόπων κατακόρυφης ροής**

Σύμφωνα με τους υπολογισμούς που πραγματοποιήθηκαν στο κεφάλαιο 7.3 σχετικά με την αναερόβια δεξαμενή σταθεροποίησης, η συγκέντρωση BOD στην εκροή υπολογίστηκε ίση με 240 mg/L τη χειμερινή και 160 mg/L την καλοκαιρινή περίοδο.

Αυτές είναι και οι τιμές που θα χρησιμοποιηθούν ως συγκεντρώσεις ρύπων στην εισροή  $C_i$  στο πρώτο στάδιο των υγροτόπων κατακόρυφης ροής. Επομένως:

Για τη χειμερινή περίοδο

$$C_e/C_i = \exp(-K_{1,v} \cdot t) = \exp(-K_1/q) \rightarrow$$

$$C_e = 240 \times \exp\{-0.33 \times 0.9 \times 0.27 / [25.5 / (3 \times 134)]\} \rightarrow C_e = 69.5 \text{ mg/L.}$$

Για την καλοκαιρινή περίοδο

$$C_e/C_i = \exp(-K_1/q) \rightarrow C_e = 160 \times \exp\{-0.08 / [75 / (3 \times 134)]\} \rightarrow C_e = 105 \text{ mg/L.}$$

### **B) Αφαίρεση BOD στο δεύτερο στάδιο υγροτόπων κατακόρυφης ροής**

Οι εκροές που υπολογίσθηκαν στο πρώτο στάδιο υγροτόπων κατακόρυφης ροής θα αποτελέσουν τις συγκεντρώσεις ρύπων στην εισροή  $C_i$  στο δεύτερο στάδιο των υγροτόπων κατακόρυφης ροής.

Για τη χειμερινή περίοδο

$$C_e/C_i = \exp(-K_{1,v} \times t) = \exp(-K_1/q) \rightarrow$$

$$C_e = 69.5 \times \exp\{-0.33 \times 0.9 \times 0.27 / [25.5 / (2 \times 134)]\} \rightarrow C_e = 30.4 \text{ mg/L.}$$

Για την καλοκαιρινή περίοδο

$$C_e/C_i = \exp(-K_1/q) \rightarrow C_e = 105 \times \exp\{-0.08 / [75 / (2 \times 134)]\} \rightarrow C_e = 79.3 \text{ mg/L.}$$

Μπορεί, λοιπόν, να συμπεράνει κανείς πως στα δύο στάδια των υγροτόπων κατακόρυφης ροής παρατηρείται αφαίρεση BOD της τάξης του 87% τη χειμερινή και 50% την καλοκαιρινή περίοδο, σε σχέση με τις συγκεντρώσεις στην εκροή της αναερόβιας δεξαμενής. Η μεγάλη τιμή του ποσοστού αφαίρεσης τη χειμερινή περίοδο οφείλεται στο ότι για το σχεδιασμό των κλινών χρησιμοποιήθηκε μια μέση τιμή πληθυσμού ως βασική παράμετρος σχεδιασμού, τιμή σημαντικά μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του μόνιμου πληθυσμού.

#### **7.4.5. Στρατηγική τροφοδοσίας και διανομής λυμάτων στις κλίνες**

Στις κλίνες του πρώτου και του δεύτερου σταδίου των υγροβιότοπων κατακόρυφης ροής θα εφαρμοστεί η μέθοδος της τροφοδοσίας κατά παρτίδες. Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο, τα υγρά απόβλητα τροφοδοτούν τις κλίνες σε δόσεις (συνήθως από 3 μέχρι 10 την ημέρα), προκειμένου να πλημμυρίσουν την επιφάνεια της κλίνης σε ύψος περίπου 5 cm. Στη συνέχεια, τα λύματα θα στραγγίζονται κατακόρυφα λόγω βαρύτητας, μέσω

των στρώσεων των υλικών πλήρωσης και του ριζικού συστήματος των υδροχαρών φυτών, για να φτάσουν στους στραγγιστικούς σωλήνες στον πυθμένα των κλινών. Σημειώνεται πως η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται για κάθε κλίση σε κύκλους τροφοδοσίας. Κάθε κύκλος τροφοδοσίας αποτελείται από μία περίοδο φόρτισης της οποίας έπεται μία περίοδος ανάπαυσης (Stefanakis and Tsihrintzis 2012). Παραδείγματος χάριν, οι τρεις κλίνες του πρώτου σταδίου δεν θα τροφοδοτούνται συγχρόνως. Αρχικά θα τροφοδοτείται με λύμα η μία κλίση π.χ. η  $A_1$  ενώ οι άλλες δύο ( $A_2, A_3$ ) θα παραμένουν στεγνές (βλ. Σχέδιο «Διάγραμμα Ροής» στο Παράρτημα). Αυτό θα κρατήσει δύο ημέρες. Στη συνέχεια θα τροφοδοτείται για δύο ημέρες η κλίση  $A_2$  ενώ θα παραμένουν στεγνές οι  $A_1$  και  $A_3$ . Τέλος, θα τροφοδοτείται με λύμα η  $A_3$  για δύο ημέρες και θα παραμένουν στεγνές οι  $A_1$  και  $A_2$ . Έτσι κλίνει ένας κύκλος λειτουργίας και επαναλαμβάνεται πάλι από την αρχή.

Αυτές οι εναλλακτικές φάσεις τροφοδοσίας και ανάπαυσης παίζουν σημαντικό ρόλο στην αερόβια βιοαποικοδόμηση ουσιών (οργανική ύλη, άζωτο κλπ.). Επίσης, η τροφοδοσία κατά παρτίδες διευκολύνει την καλύτερη κατανομή του λύματος στη συνολική επιφάνεια της κλίνης και βελτιώνει την ανανέωση του οξυγόνου μεταξύ των δύο παρτίδων τροφοδοσίας (Molle et al. 2004, Stefanakis et al. 2014).

Στη παρούσα εργασία, προτείνεται η εφαρμογή 3-10 δόσεων τροφοδοσίας κάθε ημέρα, όπου κάθε δόση ισούται με 7-8 m<sup>3</sup> περίπου. Ο κύκλος τροφοδοσίας θα διαρκεί 2 ημέρες για τις κλίνες του 1<sup>ου</sup> σταδίου και 2 μέρες για τις κλίνες του 2<sup>ου</sup> σταδίου. Η περίοδος ανάπαυσης κάθε κλίνης θα είναι 4 ημέρες για τις κλίνες του 1<sup>ου</sup> σταδίου και 2 ημέρες για τις κλίνες του 2<sup>ου</sup> σταδίου. Οι τιμές αυτές βασίστηκαν στον Τσιχριντζή (2000) ο οποίος προτείνει την ακόλουθη εξίσωση για τον προσδιορισμό της διάρκειας της περιόδου ανάπαυσης:

$$v = \frac{\Delta + 2}{2} \quad (7.3)$$

όπου  $v$ : ο αριθμός των παράλληλων κλινών

$\Delta$ : η διάρκεια της περιόδου ανάπαυσης (ημέρες).

#### 7.4.6. Φαινόμενα έμφραξης των πόρων

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά φαινόμενα που απαντώνται στους τεχνητούς υδροβιότοπους κατακόρυφης ροής είναι η έμφραξη των πόρων του υποστρώματος. Το φαινόμενο αυτό εξαρτάται από πολλούς παράγοντες και δεν εμφανίζεται σε όλα τα συστήματα στο ίδιο χρονικό διάστημα. Τέτοιοι παράγοντες μπορεί να είναι ο ρυθμός

φόρτισης του αποβλήτου, η συγκέντρωση ρύπων στα στερεά, το είδος του υποστρώματος, η πυκνότητα της βλάστησης και η θερμοκρασία (Blazejewski et al. 1997).

Η έμφραξη των πόρων στην επιφάνεια προκαλείται κυρίως από τα ανόργανα σωματίδια ανάλογα με το υδραυλικό φορτίο φόρτισης των λυμάτων του συστήματος και τη συγκέντρωσή τους σε αυτό. Αντίθετα, η έμφραξη των πόρων χαμηλότερων στρώσεων προκαλείται από την ανάπτυξη της βιομάζας. Αυτή εξαρτάται με τη σειρά της από την περιεκτικότητα του λύματος σε οργανικά στερεά, το χρόνο επαφής και τη θερμοκρασία, αλλά και από το χρονικό διάστημα για τον οποίο το σύστημα παραμένει χωρίς τροφοδοσία.

Ένας δεύτερος παράγοντας που προκαλεί την έμφραξη των πόρων είναι η ανάπτυξη σε βάθος των ριζών των υδροχαρών φυτών. Τέλος, η χημική κατακρήμνιση ανθρακικών είναι παράγοντας που συνεισφέρει επίσης στο φαινόμενο της έμφραξης των πόρων. Η έμφραξη των πόρων κατηγοριοποιείται στις εξής τρεις καταστάσεις (Paing and Voisin 2004):

- Καθόλου έμφραξη:  $\leq 30$  % του λύματος παραμένει στην επιφάνεια μεταξύ του χρονικού διαστήματος δυο δόσεων.
- Μερική έμφραξη: 30 – 80 % του λύματος παραμένει στην επιφάνεια μεταξύ του χρονικού διαστήματος δύο δόσεων.
- Πλήρης έμφραξη:  $\geq 80$  % του λύματος παραμένει στην επιφάνεια μεταξύ του χρονικού διαστήματος δύο δόσεων.

## 7.5. Σίφωνας Διακοπτόμενης Ροής

Προτείνεται η κατασκευή δύο δεξαμενών, του σίφωνα Ι και του σίφωνα ΙΙ (βλ. Σχέδια κάτοψης και τομών στο Παράρτημα). Ο σίφωνας Ι θα συγκεντρώνει τα λύματα από την αναερόβια δεξαμενή και θα τροφοδοτεί σε δόσεις τις κλίνες του 1<sup>ου</sup> σταδίου, ενώ στο σίφωνα ΙΙ θα συγκεντρώνεται το λύμα από τις κλίνες 1<sup>ου</sup> σταδίου και θα τροφοδοτεί σε δόσεις τις κλίνες του 2<sup>ου</sup> σταδίου. Οι δύο σίφωνες λειτουργούν ακριβώς με τον ίδιο τρόπο και έχουν ίδιες διαστάσεις και χαρακτηριστικά. Οι διαστάσεις της κάθε δεξαμενής είναι 2.6 m πλάτος x 3.0 m μήκος x 0.9 m βάθος ροής. Οι διαστάσεις αυτές προέκυψαν σύμφωνα με την ακόλουθη λογική: κάθε σίφωνας θα πρέπει να τροφοδοτεί τις κλίνες του 1<sup>ου</sup> ή του 2<sup>ου</sup> σταδίου, αντίστοιχα, σε δόσεις, όπου κάθε δόση θα πρέπει να κατακλύζει στιγμιαία μία κλίνη 134 m<sup>2</sup> σε ύψος 5cm. Προκειμένου οι κλίνες



κατακόρυφης ροής να επεξεργαστούν στο μέγιστο βαθμό τα λύματα, είναι αναγκαίο να φορτίζονται σε μικρό χρονικό διάστημα (περίπου 1 min), ώστε να δημιουργείται στάθμη μέσα σε αυτές περίπου 0.05 m. Κάθε σίφωνα διακοπτόμενης ροής, επομένως, θα έχει δυναμικότητα 84 m<sup>3</sup>/h (7 m<sup>3</sup> × 12 δόσεις ανά ημέρα). Στη δεξαμενή κάθε σίφωνα θα υπάρχει παρακαμπτήριος αγωγός, για την παράκαμψη του σίφωνα σε περίπτωση τακτικής συντήρησης ή βλάβης.

Κατά την πλήρωση της δεξαμενής του σίφωνα με λύματα, η άνωση που θα εξασκηθεί στον πλωτήρα, θα τον ανυψώσει μαζί με τους σωλήνες που εξαρτώνται απ' αυτόν, μέχρι το σημείο στο οποίο η κίνηση αυτή θα εμποδιστεί από το stop. Η θέση του stop έχει ήδη καθορισθεί από το χρήστη της εγκατάστασης. Όταν η κίνηση του πλωτήρα σταματήσει, τα λύματα, που θα συνεχίσουν να εισέρχονται στη δεξαμενή, θα καλύψουν τον πλωτήρα και θα εισρεύσουν στο εσωτερικό του από τα ανοίγματα που υπάρχουν στο άνω μέρος του. Όταν το βάρος των λυμάτων εντός του πλωτήρα, επιπρόσθετα με το βάρος του πλωτήρα και των σωλήνων, γίνει μεγαλύτερο από την άνωση, ο πλωτήρας θα βυθισθεί και θα επιστρέψει στην αρχική του θέση. Όταν, δηλαδή, η στάθμη των λυμάτων μέσα στο φρεάτιο του σίφωνα φτάσει στο μέγιστο βάθος ροής, τότε ο πλωτήρας θα καταβυθίζεται και με σιφωνισμό θα αδειάζει το φρεάτιο προς τις κλίνες του αντίστοιχου σταδίου. Στο σημείο αυτό θα ξεκινήσει και η λειτουργία του σίφωνα, δηλαδή η ροή των λυμάτων εκτός της δεξαμενής μέσω των σωλήνων, η οποία θα οφείλεται στη διαφορά υδραυλικής στάθμης. Ένα σύμπλεγμα βανών θα καθορίζει κάθε φορά την κλίση η οποία πρόκειται να φορτιστεί. Η λειτουργία του σίφωνα διακόπτεται, όταν η στάθμη εντός της δεξαμενής και εντός του πλωτήρα υποβιβασθεί σε επίπεδο, στο οποίο είναι δυνατή η εισρόφηση αέρα από τους σωλήνες. Από τη χρονική αυτή στιγμή η λειτουργία επαναλαμβάνεται όπως προηγουμένως.

## **7.6. Κλίνες Οριζόντιας Υπόγειας Ροής (HFSW)**

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει επιλογή και περιγραφή των βασικών παραμέτρων σχεδιασμού των κλινών οριζόντιας υπόγειας ροής, δηλαδή των υγροτόπων που συναντώνται στο τρίτο στάδιο της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας.

### **7.6.1. Βασικές παράμετροι σχεδιασμού**

Μετά τις κλίνες των υδροχαρών φυτών του 2<sup>ου</sup> σταδίου, τα υγρά απόβλητα θα τροφοδοτούν με συνεχή ροή την κλίση υπόγειας οριζόντιας ροής, για περαιτέρω

επεξεργασία και κυρίως για αφαίρεση αζώτου και νιτρικών με τη διαδικασία της απονιτροποίησης. Γίνεται λοιπόν αντιληπτεξό, πως η συγκέντρωση εκροής του 2<sup>ου</sup> σταδίου της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας, θα αποτελεί παράλληλα τη συγκέντρωση εισροής του 3<sup>ου</sup> σταδίου επεξεργασίας.

Ο σχεδιασμός των υγροβιότοπων του τρίτου σταδίου βασίζεται στη μέθοδο που προτείνουν οι Reed et al. (1995) και οι Kadlec and Knight (1996). Σύμφωνα με αυτήν τη μέθοδο, για τον προσδιορισμό της απαιτούμενης επιφάνειας, λαμβάνεται υπόψη η απομάκρυνση του οργανικού φορτίου (BOD). Η διαστασιολόγηση του συστήματος, δηλαδή, εξαρτάται από την επιθυμητή συγκέντρωση οργανικού φορτίου στην εκροή του σταδίου των υγροτόπων οριζόντιας υπόγειας ροής. Η επιθυμούμενη εκροή από το τρίτο στάδιο επεξεργασίας θεωρείται ίση με 15 mg/L, τιμή που ικανοποιεί τις νομοθετικές προϋποθέσεις που αναφέρονται στο κεφάλαιο 4.6. Αξίζει να επισημανθεί πως επειδή παράγεται BOD στον υγροβιότοπο, τα συστήματα δε μπορούν να παρουσιάζουν συγκέντρωση εκροής μικρότερη από 7 mg/L (Τσιχριντζής 2000). Αναφέρεται, επίσης, πως ο σχεδιασμός του υγροβιότοπου οριζόντιας υπόγειας ροής θα γίνει με βάση τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της μέσης παροχής ξηρής περιόδου. Το σύστημα που θα προκύψει θα ελεγχθεί και για την επαρκή συμπεριφορά του σε συνθήκες υγρής περιόδου.

Η λεκάνη που θα κατασκευαστεί θα έχει βάθος 0.6 m και κλίση 0.5 %. Ως πληρωτικό υλικό επιλέγεται χαλίκι διαμέτρου 18-30 mm, το οποίο θα καταλαμβάνει πάχος 60 cm. Αυτό το είδος χαλικιού έχει ενεργό πορώδες της τάξης του 32%. Πάνω από το πορώδες μέσο θα τοποθετηθεί μία στρώση 5 cm με φυτικά υπολείμματα και από πάνω από τα φυτικά υπολείμματα άλλη μία στρώση 3 cm με ξηρό έδαφος. Επισημαίνεται πως πριν από την τοποθέτηση του πληρωτικού υλικού θα τοποθετηθεί μεμβράνη από πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας, πάχους 1 mm, όπως ακριβώς και στην περίπτωση των κλινών κατακόρυφης ροής, για να επιτευχθεί πλήρης στεγανοποίηση της κλίνης και να αποφευχθεί ενδεχόμενη διαρροή λυμάτων στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα. Επίσης, και στη λεκάνη του τρίτου σταδίου επεξεργασίας θα χρησιμοποιηθεί ως φυτό το νεροκάλαμο (*Phragmites australis*), για τους ίδιους λόγους που αναλύθηκαν στο υποκεφάλαιο 7.4.3, καθώς και επειδή πρόκειται για το πιο διαδεδομένο είδος φυτού σε υγροβιότοπους υπόγειας ροής στην Ευρώπη (Καραμούζης 2003). Θα φυτευτούν 4 φυτά ανά m<sup>2</sup> υγροβιότοπου. Οι βασικές παράμετροι που θα χρησιμοποιηθούν στον προσδιορισμό των λειτουργικών χαρακτηριστικών της κλίνης του 3<sup>ου</sup> σταδίου παρουσιάζονται συγκεντρωμένες στον Πίνακα 7.7.

Πίνακας 7.7: Βασικές παράμετροι σχεδιασμού κλίνης οριζόντιας υπόγειας ροής

Παράμετρος Σχεδιασμού	Τιμή
Μέση παροχή σχεδιασμού	$Q_{καλ} = 75 \text{ m}^3/\text{ημέρα}$
Συγκέντρωση BOD στην εισροή	$C_o = 79.3 \text{ mg/L}$
Επιθυμητή συγκέντρωση BOD στην εκροή	$C_e = 15 \text{ mg/L}$
Βάθος ροής	$y = 0.6 \text{ m}$
Ενεργό πορώδες	$n = 0.32$
Μέση θερμοκρασία Καλοκαιριού	$T = 23^\circ\text{C}$

### 7.6.2. Εκτίμηση απαιτούμενης επιφάνειας και χρόνου παραμονής

Οι τεχνητοί υγροβιότοποι θεωρούνται και σχεδιάζονται ως βιολογικοί αντιδραστήρες όπου κατά προσέγγιση ισχύει η κινητική πρώτου βαθμού εμβολωειδούς ροής. Στην πραγματικότητα, η κατάσταση είναι μεταξύ εμβολωειδούς ροής και πλήρους ανάμιξης. Ωστόσο, έχουν ληφθεί αρκετά καλά αποτελέσματα με την παραδοχή της εμβολωειδούς ροής, με αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται συχνά στους υπολογισμούς. (Τσιχριντζής 2000). Η γενική εξίσωση είναι η εξής (Reed et al. 1995):

$$\frac{C_e}{C_o} = e^{-k_t \times t} \quad (7.4)$$

όπου  $C_o$ : η συγκέντρωση οργανικού φορτίου στην εισροή του υγροτόπου (mg/L)

$C_e$ : η συγκέντρωση οργανικού φορτίου στην εκροή του υγροτόπου (mg/L)

$T$ : χρόνος παραμονής (d)

$K_t$ : κινητική σταθερά, που εξαρτάται από τη θερμοκρασία και το είδος του ρύπου ( $d^{-1}$ ).

Για τους υγροβιότοπους υπόγειας ροής η κινητική σταθερά δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$K_t = 1.104 \times 1.06^{T-20} \quad (7.5)$$

όπου  $T$ : η θερμοκρασία σε  $^\circ\text{C}$

Από την εξίσωση 7.4 λαμβάνουμε την ακόλουθη εξίσωση για τον υπολογισμό της επιφάνειας του υγροβιότοπου:

$$A_s = \frac{Q \times (\ln C_o - \ln C_e)}{K_t \times y \times n} \quad (7.6)$$

όπου  $A_s$ : η απαιτούμενη έκταση του υγροτόπου

$n$ : το πορώδες του υλικού μέσου. Τα κενά στον ορισμό του πορώδους είναι τα κενά μεταξύ των κόκκων του πορώδους υλικού και των ριζών.

Ακολουθεί η υπολογιστική διαδικασία.

Προσδιορισμός του συντελεστή  $K_t$ :

$$K_t = 1.104 \times 1.06^{T-20} = 0.62.$$

Υπολογισμός απαιτούμενης επιφάνειας  $A_s$

Εφαρμόζοντας την εξίσωση 7.6 για την απαιτούμενη επιφάνεια  $\rightarrow$

$$A_s = \frac{Q \times (\ln C_o - \ln C_e)}{K_t \times y \times n} = 495 \text{ m}^2.$$

Προσδιορισμός του χρόνου παραμονής:

Τα υγρά απόβλητα θα παραμείνουν στον υγροβιότοπο για χρονικό διάστημα ίσο με:

$$\text{HRT} = \frac{A_s \times y \times n}{Q} = 1.3 \text{ ημέρες.}$$

### 7.6.3. Υπολογισμός θερμικών απωλειών

Στην κλίνη οριζόντιας υπόγειας ροής που θα σχεδιαστεί ενδέχεται να παρουσιαστούν θερμικά κέρδη ή απώλειες στα λύματα, στο υπόστρωμα του εδάφους, και στην ατμόσφαιρα. Γίνεται, επομένως, αντιληπτό πως ο υγρότοπος θα παρουσιάζει μια πολυσύνθετη θερμική κατάσταση. Παρόλα αυτά, για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας των λυμάτων στην εκροή χρησιμοποιείται ένα συντηρητικό μοντέλο το οποίο στηρίζεται μόνο σε θερμικές απώλειες στην ατμόσφαιρα. Στο πλαίσιο αυτού του μοντέλου, οι Reed et al. (1995) προτείνουν την ακόλουθη εξίσωση για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας στην εκροή του υγροτόπου:

$$T_{\text{out}} = T_o - (T_o - T_a) \times \frac{8600 \times \text{HRT} \times U_u}{\rho \times y \times n \times \epsilon_p} \quad (7.7)$$

όπου  $T_{\text{out}}$ : η θερμοκρασία εκροής ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_o$ : η θερμοκρασία του λύματος στο σημείο εισροής του υγροβιότοπου ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_a$ : η θερμοκρασία του αέρα ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\rho$ : η πυκνότητα του νερού ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$\epsilon_p$ : η ειδική θερμότητα του νερού ( $4215 \text{ J}/\text{kg}/^{\circ}\text{C}$ )

$U_u$ : ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας στην επιφάνεια του πορώδους υλικού του υγροτόπου ( $\text{W}/\text{m}^2/^{\circ}\text{C}$ ).

Ο συντελεστής  $U_u$  δίνεται από τη σχέση:

$$U_u = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{Y_i}{K_i}} \quad (7.8)$$

όπου  $K_i$  : η θερμική αγωγιμότητα κάθε στρώματος  $W/m/^{\circ}C$ . Οι τιμές επιλέγονται από πίνακα που προτείνουν οι Reed et al. (1995), σύμφωνα με τον οποίο  $K_1 = 0.05 W/m^2/^{\circ}C$  για φυτικό υπόστρωμα και  $K_2 = 0.8 W/m^2/^{\circ}C$  για ξηρό έδαφος.

$y_i$  : το πάχος κάθε στρώματος πάνω από το πορώδες μέσο.

Αντικαθιστώντας, επομένως, στην εξίσωση 7.8:  $y_1 = 5 \text{ cm}$ ,  $K_1 = 0.05 W/m^2/^{\circ}C$  για το φυτικό υπόστρωμα και  $y_2 = 3 \text{ cm}$ ,  $K_2 = 0.8 W/m^2/^{\circ}C$ , η επίδραση των εξωτερικών κλιματικών συνθηκών στη θερμοκρασία ισούται με  $U_u = 0.01 W/m^2/^{\circ}C$ .

Θεωρώντας, τώρα, ότι τα λύματα έχουν στο σημείο εισροής του υγροβιότοπου θερμοκρασία ίση με  $T_o = 20^{\circ}C$  και η θερμοκρασία του αέρα την καλοκαιρινή περίοδο είναι  $T_a = 23^{\circ}C$ , προκύπτει με βάση την εξίσωση 7.7:

$$T_{out} = T_o - (T_o - T_a) \times \frac{8600 \times HRT \times U_u}{\rho \times y \times n \times \epsilon_p} \rightarrow T_{out} = 20^{\circ}C.$$

Συμπεραίνεται, λοιπόν, πως οι θερμικές απώλειες στην κλίση του 3<sup>ου</sup> σταδίου μπορεί να θεωρηθούν αμελητέες και, συνεπώς, δε θα χρειαστεί να ληφθούν υπόψη στο σχεδιασμό.

#### 7.6.4. Υδραυλικοί Υπολογισμοί

Όπως προαναφέρθηκε ο σχεδιασμός του υγροτόπου οριζόντιας υπόγειας ροής πραγματοποιείται λαμβάνοντας υπόψη δύο διαφορετικές μεθόδους:

1. Τη μέθοδο που προτείνουν οι Reed et al. (1995).
2. Τη μέθοδο που προτείνουν οι Kadlec and Knight (1996).

Επιλέγεται, τελικά, ο σχεδιασμός με την πιο συντηρητική μέθοδο που είναι η μέθοδος που προτείνουν οι Kadlec and Knight (1996).

#### Υπολογισμός υδραυλικής αγωγιμότητας

Σε συστήματα υγροτόπων που περιέχουν έδαφος ή αμμώδες μέσο, η ενεργός υδραυλική αγωγιμότητα ισούται με την υδραυλική αγωγιμότητα. Σε συστήματα, όμως, με χαλίκι ή λίθους - όπως αυτό που προτείνεται στην παρούσα εργασία για τον οικισμό του Ράφτη - η ροή από στρωτή γίνεται μεταβατική ή τυρβώδης, με αποτέλεσμα οι δύο τιμές να αποκλίνουν. Σύμφωνα με τους Kadlec and Knight (1996), η υδραυλική αγωγιμότητα και ο παράγοντας τυρβώδους ροής προσδιορίζονται από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$K = \frac{\rho \times g \times n^{3.7} \times D^2}{255 \times (1-n) \times \mu} \quad (7.9)$$

όπου g: η επιτάχυνση της βαρύτητας (9.81 m/s<sup>2</sup>),

D: η διάμετρος των κόκκων του πορώδους μέσου (m)

μ: το δυναμικό ιξώδες του νερού ή δυναμική συνεκτικότητα (kg/m/d), το οποίο εξαρτάται από τη θερμοκρασία και ισούται με  $\mu = 0.94 \text{ kg/m/s}$  για τη θερμοκρασία των 23°C και  $\mu = 1.31 \text{ kg/m/s}$  για τη θερμοκρασία των 10°C.

Ο παράγοντας τυρβώδους ροής δίνεται από τη σχέση:

$$\omega = \frac{2 \times (1-n)}{g \times n^3 \times D} \quad (7.10)$$

Αντικαθιστώντας στις εξισώσεις 7.9 και 7.10 τις τιμές των παραμέτρων προκύπτει τελικά:

$$K = \frac{\rho \times g \times n^{3.7} \times D^2}{255 \times (1-n) \times \mu} = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 9.81 \text{ m/s}^2 \times 0.32^{3.7} \times 0.01^2 \text{ m}^2 \times 86400 \text{ s/d} / [255 \times (1-0.32) \times 0.94] \rightarrow K = 7713 \text{ m/d.}$$

$$\text{Αντίστοιχα, } \omega = \frac{2 \times (1-n)}{g \times n^3 \times D} = 2 \times (1-0.32) / (9.81 \text{ m/s}^2 \times 0.32^3 \times 0.01 \text{ m} \times 86400 \text{ s}^2/\text{d}^2) \rightarrow \omega = 5.67 \times 10^{-8} \approx 0 \text{ d}^2/\text{m}^2.$$

### **Μέθοδος Reed et al. (1995)**

Στους υγροτόπους οριζόντιας υπόγειας ροής ελλοχεύει ο κίνδυνος μερικής έμφραξης του πορώδους μέσου, δηλαδή μείωσης της υδραυλικής αγωγιμότητας, η οποία μπορεί να φράσει και στο 1/3 (ή και λιγότερο) της αρχικής τιμής (Reed et al. 1995). Επομένως, η μειωμένη υδραυλική αγωγιμότητα υπολογίζεται ίση με  $K = 2571 \text{ m/d}$ . Το πλάτος του υγροβιότοπου προσδιορίζεται σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση:

$$W = \frac{Q \times A}{K \times \gamma \times y^2}^{0.5} \quad (7.11)$$

$$\text{και τελικά προκύπτει } W = \frac{Q \times A}{K \times \gamma \times y^2}^{0.5} = [(75 \text{ m}^3/\text{d} \times 495 \text{ m}^2) / (2571 \text{ m/d} \times 0.2 \times 0.6^2 \text{ m}^2)]^{0.5} \rightarrow W = 14.2 \text{ m.}$$

Επισημαίνεται πως η παράμετρος  $\gamma$  πρέπει να περιορίζεται σε τιμές μεταξύ 5% και 20% μέγιστο. Συνηθίζεται να επιλέγεται τιμή  $\gamma = 0.2$ , τιμή η οποία λαμβάνεται και στην παρούσα περίπτωση.

Το μήκος του υγροβιότοπου δίνεται από τη σχέση:

$$L = \frac{A}{W} \quad (7.1)$$

Επομένως,  $L = 35$  m.

Η κλίση του πυθμένα υπολογίζεται ως εξής:

$$S_b = \frac{\gamma \times y}{L} \quad (7.13)$$

και υπολογίζεται ίση με  $S_b = 0.2 \times 0.6 / 31.1 \rightarrow S_b = 0.00343$ .

Οι βασικές παράμετροι σχεδιασμού της κλίνης παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 7.8.

**Πίνακας 7.8: Βασικές παράμετροι σχεδιασμού της κλίνης με τη μέθοδο Reed et al. (1995)**

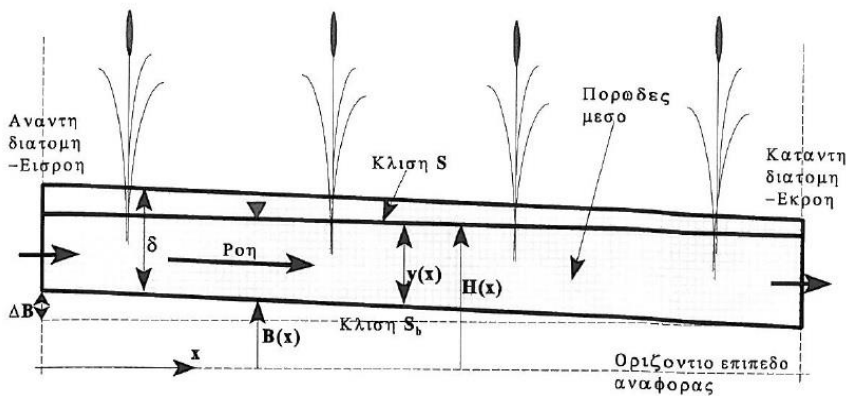
Παράμετρος	Πλάτος W (m)	Μήκος L (m)	Κλίση πυθμένα $S_b$ (m)
Τιμή	14.2	35	0.00343

Έλεγχος λειτουργίας για πλήρη αγωγιμότητα και για μειωμένη παροχή

Γίνεται αντιληπτό, πως η κλίση του συστήματος σχεδιάστηκε για τη μειωμένη υδραυλική αγωγιμότητα. Είναι αναγκαίο, ωστόσο, να ελεγχθεί και η λειτουργία του συστήματος για πλήρη αγωγιμότητα πριν γίνει η έμφραξη. Θα ελεγχθεί, ακόμη, η λειτουργία του υγροτόπου κατά τη χειμερινή περίοδο, όπου η παροχή των λυμάτων είναι μειωμένη. Σύμφωνα με το νόμο του Darcy:

$$U = \frac{Q}{W \times y} = K \times S \rightarrow S = \frac{Q}{K \times W \times y} \quad (7.14)$$

Η κλίση δίνεται από τη γεωμετρία της κλίνης, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 7.3.



**Εικόνα 7.3: Υδραυλικές παράμετροι σε υγροβιότοπο υπόγειας ροής**  
 Πηγή: Τσιχριντζής (2000)

$$S = \frac{y + \Delta B - \delta}{L} \rightarrow S = \frac{\gamma \times \delta + y - d}{L} \rightarrow S \times y = y \times \frac{\gamma \times \delta + y - d}{L} = \frac{Q}{K \times W} \rightarrow$$

$$y^2 - (1 - \gamma) \times \delta \times y - \frac{Q \times L}{K \times W} = 0 \quad (7.15)$$

Αντικαθιστώντας τις τιμές της καλοκαιρινής περιόδου στην εξίσωση 7.15 προκύπτει:

$$y^2 - (1 - \gamma) \times \delta \times y - \frac{Q \times L}{K \times W} = 0 \rightarrow$$

$y^2 - (1 - 0.2) \times 0.6 \times y - 75 \times 31.1 / (7713 \times 12.6) = 0$  και λύνοντας τη δευτεροβάθμια εξίσωση έχουμε βάθος ροής  $y = 0.53$  m. Αντικαθιστώντας την τιμή αυτή στην εξίσωση 7.14 προκύπτει κλίση της επιφάνειας των λυμάτων ίση με  $S = 0.00131$ .

Λειτουργώντας με το ίδιο σκεπτικό για τη χειμερινή περίοδο έχουμε:

$$y^2 - (1 - \gamma) \times \delta \times y - \frac{Q \times L}{K \times W} = 0 \rightarrow$$

$y^2 - (1 - 0.2) \times 0.6 \times y - 25.5 \times 31.1 / (7713 \times 12.6) = 0$  και λύνοντας τη δευτεροβάθμια εξίσωση έχουμε  $y = 0.50$  m. Με αντικατάσταση αυτής της τιμής στην εξίσωση 7.14 προκύπτει κλίση της επιφάνειας των λυμάτων ίση με  $S = 0.00047$ .

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν συνοψίζονται στον Πίνακα 7.9.

Πίνακας 7.9: Τιμές υδραυλικών παραμέτρων σε διαφορετικές καταστάσεις λειτουργίας του υγροτόπου με τη μέθοδο Reed et al. (1995)

K (m/d)	$\gamma$	Περίοδος	Q (m <sup>3</sup> /d)	y (m)	S (m/m)	Κενό (m)
7713	0.2	Καλοκαιρινή	75	0.53	0.00131	0.07
		Χειμερινή	25.5	0.50	0.00047	0.10

### Μέθοδος Kadlec and Knight (1996)

Σε αυτήν την ενότητα θα ελέγχει ο σχεδιασμός που πραγματοποιήθηκε παραπάνω με τη μέθοδο Reed et al. (1995) και θα γίνει επανασχεδιασμός σύμφωνα με τη μέθοδο των Kadlec and Knight (1996). Η μέθοδος που προτείνουν οι Kadlec and Knight (1996) είναι η πιο ακριβής και είναι αυτή που προτείνεται για την ελαχιστοποίηση της αστοχίας του συστήματος (Τσιχριντζής 2000). Ο σχεδιασμός της εγκατάστασης στο Ράφτη Γορτυνίας θα γίνει με βάση τα αποτελέσματα αυτής της μεθόδου. Η μέθοδος βασίζεται στα δύο ακόλουθα στοιχειώδη κριτήρια σχεδιασμού:

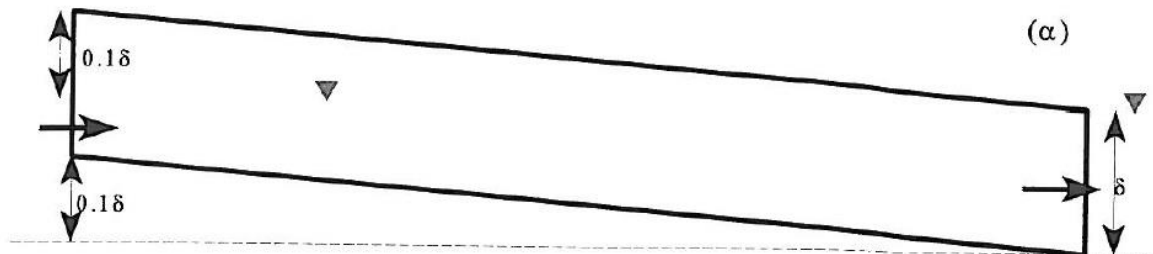
1. Καταρχάς, οι Kadlec and Knight (1996) προτείνουν ως μέγιστη τιμή για την παράμετρο  $\gamma = 0.1$ , επιτρέπεται δε και  $\gamma = 0$ , δηλαδή οριζόντιο πορώδες μέσο, αλλά σε αυτήν την περίπτωση η στράγγιση του συστήματος για συντήρηση θα είναι δύσκολη. Ως ελάχιστη τιμή ο Τσιχριντζής (2000) προτείνει να διατηρηθεί η ελάχιστη τιμή για την παράμετρο  $\gamma = 0.05$ , όπως προτείνουν και οι Reed et al. 1995. Επομένως, το πρώτο κριτήριο σχεδιασμού είναι το εξής:

$$0.05 \leq \gamma = S_b \times \frac{L}{y} \approx S_b \times \frac{L}{\delta} \leq 0.10 \quad (1^\circ \text{ κριτήριο σχεδιασμού})$$

Σύμφωνα με αυτό το κριτήριο, όταν η ελεύθερη επιφάνεια του νερού στην κατάντη διατομή (εκροή) του μέσου ελέγχεται στο άνω μέρος του πορώδους μέσου, τότε το



μεγαλύτερο δυνατό κενό διάστημα μεταξύ άνω επιφάνειας του πορώδους μέσου και επιφάνειας νερού στην ανάντη διατομή και για οριζόντια επιφάνεια νερού είναι ίσο με  $0.1 \delta$ , όπως φαίνεται στην Εικόνα 7.4. Προφανώς, δεν υπάρχει το κενό διάστημα όταν το πορώδες μέσο δεν έχει κλίση.



Εικόνα 7.4: Πρώτο κριτήριο σχεδιασμού για το πορώδες μέσο  
Πηγή: Τσιχριντζής (2000)

Σε αυτό το σημείο θα γίνει εφαρμογή του 1<sup>ου</sup> κριτηρίου για τους υπολογισμούς που πραγματοποιήθηκαν προηγουμένως για τον οικισμό του Ράφτη. Προκύπτει ότι:

$$\gamma = S_b \times \frac{L}{\delta} = 0.00343 \times 35 / 0.6 = 0.20 > 0.10.$$

Γίνεται προφανές πως το πρώτο κριτήριο σχεδιασμού δεν ισχύει, γεγονός αναμενόμενο, καθώς ο σχεδιασμός είχε γίνει για  $\gamma = 0.20$ . Συνεπώς, θα χρησιμοποιηθεί η μέγιστη τιμή που προτείνεται και η οποία ισούται με  $\gamma = 0.1$ .

2. Το δεύτερο κριτήριο που προτείνουν οι Kadlec and Knight (1996) αναφέρεται στον περιορισμό του επιφανειακού φορτίου ή της τιμής της υδραυλικής αγωγιμότητας, προκειμένου να μην υπάρχει μεγάλη αντίσταση στη ροή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η επιφάνεια του νερού να μην είναι ιδιαίτερα επικλινής, γεγονός που καταλήγει σε εμφάνιση επιφανειακού νερού πάνω από το πορώδες μέσο. Σύμφωνα, δηλαδή, με το δεύτερο κριτήριο σχεδιασμού, η μέγιστη επιτρεπτή διαφορά μεταξύ της ανάντη και της κατάντη στάθμης της πιεζομετρικής επιφάνειας είναι ίση με το 10% του πάχους του στρώματος (βλ. Εικόνα 7.3):

$$\Delta H = H_{\text{εισροής}} - H_{\text{εκροής}} = \frac{Q \times L}{K \times y \times W} \approx \frac{Q \times L}{K \times \delta \times W} \leq 0.1 \delta$$

$$\text{Κατά συνέπεια: } \frac{Q \times L}{K \times \delta^2 \times W} \leq 0.1$$

Και αντικαθιστώντας  $q = \frac{Q}{A}$  και  $A = L \times W$  προκύπτει η τελική μορφή του 2<sup>ου</sup> κριτηρίου ως εξής:

$$\frac{L^2}{K} \leq 0.1 \times \frac{\delta^2}{q} = 0.1 \times \delta^2 \times \frac{A}{Q} \quad (2^\circ \text{ κριτήριο σχεδιασμού})$$

Εφαρμόζοντας το 2<sup>ο</sup> κριτήριο σχεδιασμού για τους υπολογισμούς που πραγματοποιήθηκαν για τον οικισμό του Ράφτη προκύπτει ότι:

$$\frac{L^2}{K} \leq 0.1 \times \frac{\delta^2}{q} = 0.1 (0.6^2 \times 392/75) \rightarrow L \leq 42.8 \text{ m.}$$

Η τιμή  $L = 42.8 \text{ m}$  αποτελεί το μέγιστο επιτρεπτό μήκος για το οποίο θα επιτυγχάνεται ορθή λειτουργία του υγροβιότοπου.

Υπογραμμίζεται, ακόμη, πως οι Kadlec and Knight (1996) προτείνουν τη χρήση μειωμένης τιμής της υδραυλικής αγωγιμότητας στο 1/10 της υπολογισθείσας τιμής. Έτσι, η μειωμένη υδραυλική αγωγιμότητα θα ληφθεί σε αυτήν την περίπτωση ίση με  $K = 771 \text{ m/d}$ .

Το πλάτος του υγροβιότοπου προσδιορίζεται ίσο με:

$$W = \frac{Q \times A}{K \times \gamma \times y^2}^{0.5} = [(75 \text{ m}^3/\text{d} \times 495 \text{ m}^2 / 771 \text{ m/d} \times 0.1 \times 0.6^2 \text{ m}^2)]^{0.5} \rightarrow W = 36.5 \text{ m}$$

Το μήκος δίνεται ως  $L = \frac{A}{W} = 392 \text{ m}^2 / 32 \text{ m} \rightarrow L = 13.5 \text{ m}$

Η κλίση του πυθμένα υπολογίζεται:  $S_b = \frac{\gamma \times y}{L}$  και είναι ίση με

$$S_b = (0.1 \times 0.6) / 32 \rightarrow S_b = 0.00443 \approx 0.005$$

Στον Πίνακα 7.10 παρουσιάζονται συνοπτικά οι παραπάνω τιμές.

**Πίνακας 7.10: Βασικές παράμετροι σχεδιασμού της κλίνης με τη μέθοδο Kadlec and Knight (1996)**

Παράμετρος	Πλάτος W (m)	Μήκος L (m)	Κλίση πυθμένα S <sub>b</sub> (m)
Τιμή	13.5	36.5	0.005

Μπορεί κανείς να παρατηρήσει πως οι βασικές τιμές σχεδιασμού που προκύπτουν από τις δύο διαφορετικές μεθόδους είναι πάρα πολύ κοντά.

Και σε αυτή τη μέθοδο θα γίνει έλεγχος για τη λειτουργία του συστήματος για μη μειωμένη τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας, όπως και θα ελεγχθεί η λειτουργία του υγροτόπου κατά τη χειμερινή περίοδο, όπου η παροχή των λυμάτων είναι μειωμένη, εφαρμόζοντας την ίδια μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε και στο σχεδιασμό με τη μέθοδο Reed et al. (1995).

Έλεγχος λειτουργίας για πλήρη αγωγιμότητα και για μειωμένη παροχή

Σύμφωνα με την εξίσωση 7.14  $\rightarrow S = \frac{Q}{K \times W \times y}$

Όπου η κλίση δίνεται από τη γεωμετρία της κλίνης, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 7.3.

$$y^2 - (1 - \gamma) \times \delta \times y - \frac{Q \times L}{K \times W} = 0 \quad (7.15)$$

Αντικαθιστώντας τις τιμές της καλοκαιρινής περιόδου στην εξίσωση 7.15 προκύπτει:

$y^2 - (1 - \gamma) \times \delta \times y - \frac{Q \times L}{K \times W} = 0 \rightarrow$   
 $y^2 - (1 - 0.1) \times 0.6 \times y - 75 \times 12 / (7713 \times 36.5) = 0$  και λύνοντας τη δευτεροβάθμια εξίσωση έχουμε ως μοναδική δεκτή λύση  $y = 0.55$  m. Αντικαθιστώντας την τιμή αυτή στην εξίσωση 7.14 προκύπτει κλίση της επιφάνειας των λυμάτων ίση με  $S = 0.000487$ .

Λειτουργώντας με το ίδιο σκεπτικό για τη χειμερινή περίοδο έχουμε:

$y^2 - (1 - \gamma) \times \delta \times y - \frac{Q \times L}{K \times W} = 0 \rightarrow$   
 $y^2 - (1 - 0.1) \times 0.6 \times y - 25.5 \times 12 / (7713 \times 32) = 0$  και λύνοντας τη δευτεροβάθμια εξίσωση έχουμε ως μοναδική δεκτή λύση  $y = 0.54$  m. Με αντικατάσταση αυτής της τιμής στην εξίσωση 7.14 προκύπτει κλίση της επιφάνειας των λυμάτων ίση με  $S = 0.000187$ .

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν συνοψίζονται στον Πίνακα 7.11.

**Πίνακας 7.11:** Τιμές υδραυλικών παραμέτρων σε διαφορετικές καταστάσεις λειτουργίας του υγροτόπου με τη μέθοδο Kadlec and Knight (1996)

K (m/d)	γ	Περίοδος	Q (m <sup>3</sup> /d)	y (m)	S (m/m)	Κενό (m)
7713	0.1	Καλοκαιρινή	75	0.55	0.000547	0.05
		Χειμερινή	25.5	0.54	0.000167	0.06

## 7.7. Αφαίρεση Ρύπων

Σε αυτό το κεφάλαιο θα εκτιμηθούν οι τιμές του των ρυπαντικών φορτίων στην εκροή του συστήματος, χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα που παρουσιάζουν στην εκροή όμοιες εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, τόσο στον ελληνικό όσο και στον ευρωπαϊκό χώρο. Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθεί πως η τοποθέτηση των τεχνητών υγροβιότοπων κατακόρυφης ροής σε προηγούμενο στάδιο από τον υγροβιότοπο οριζόντιας υπόγειας ροής δεν είναι τυχαία. Βασίζεται στον Cooper (1999), ο οποίος μελετώντας διαφορετικούς τρόπους τοποθέτησης των κλινών, διαπίστωσε πως οι κλίνες κατακόρυφης ροής πρέπει να τοποθετούνται στην αρχή του συστήματος, διότι κατά αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται ικανοποιητική απομάκρυνση των BOD, COD και βακτηρίων, καθώς και πλήρης οξείδωση της αμμωνίας σε νιτρικά

ιόντα. Επίσης, με αυτή τη διαμόρφωση απομακρύνεται ένα σημαντικό ποσοστό του συνολικού αζώτου. Γίνεται, επομένως, αντιληπτό πως με το σχεδιασμό ενός τέτοιου συστήματος ελαχιστοποιούνται τα μειονεκτήματα της μεμονωμένης χρήσης υγροτόπων οριζόντιας υπόγειας ροής ή κατακόρυφης ροής, καθώς με την προτεινόμενη διαμόρφωση το ένα σύστημα συμπληρώνει το άλλο.

Οι Gikas et al. (2007, 2011) μελέτησαν εκτενώς δύο συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων με τη μέθοδο των τεχνητών υγροβιότοπων που παρουσιάζουν την προαναφερθείσα διάταξη. Πιο συγκεκριμένα, οι εγκαταστάσεις που έχουν δημιουργηθεί στο Γομάτι και στη Νέα Μάδυτο επεξεργάζονται οικιστικά λύματα καταρχάς σε κλίνες κατακόρυφης ροής και στη συνέχεια σε κλίνες οριζόντιας υπόγειας ροής. Αναφέρεται, ακόμη, πως και στις δύο εγκαταστάσεις υπάρχει στάδιο προεπεξεργασίας των λυμάτων, πριν από τη δευτερογενή επεξεργασία – στο Γομάτι υπάρχει δεξαμενή καθίζησης, ενώ στη Νέα Μάδυτο υπάρχει δεξαμενή τύπου Imhoff. Η απόδοση των εγκαταστάσεων σε αφαίρεση ρύπων παρουσιάζεται στους Πίνακες 7.12 και 7.13.

**Πίνακας 7.12: Αφαίρεση ρύπων στην εγκατάσταση τεχνητών υγροβιότοπων στο Γομάτι**  
**Πηγή: Tsihrintzis and Gikas (2010)**

<b>Γομάτι</b>			
<b>Παράμετρος</b>	<b>Εισροή</b>	<b>Εκροή</b>	<b>Ποσοστό Απομάκρυνσης (%)</b>
BOD (mg/L)	487.2	35.4	92.3
COD (mg/L)	568.7	47.2	91.7
TKN (mg/L)	93.8	18.2	80.3
TP (mg/L)	11.4	4.4	61.3
TSS (mg/L)	200.0	13.6	93.2
TC (N/100 mL)	$47.9 \times 10^6$	$0.05 \times 10^6$	99.9

**Πίνακας 7.13: Αφαίρεση ρύπων στην εγκατάσταση τεχνητών υγροβιότοπων στη Νέα Μάδυτο**  
**Πηγή: Tsihrintzis and Gikas (2010)**

<b>Νέα Μάδυτος</b>			
<b>Παράμετρος</b>	<b>Εισροή</b>	<b>Εκροή</b>	<b>Ποσοστό Απομάκρυνσης (%)</b>
BOD (mg/L)	305.0	28.0	90.8
COD (mg/L)	445.6	49	89.0
TKN (mg/L)	86.9	14	83.9
TP (mg/L)	7.8	4.8	38.8
TSS (mg/L)	139.7	13.4	90.4
TC (N/100 mL)	$63.8 \times 10^6$	$0.08 \times 10^6$	99.9

Σημειώνεται πως οι τιμές του Πίνακα 7.12 προέκυψαν ως μέσες τιμές από 37 διαφορετικά δεδομένα, ενώ οι τιμές του Πίνακα 7.13 προέκυψαν ως μέσες τιμές από 44 διαφορετικά δεδομένα.

Οι Paing and Voisin (2004) επίσης μελέτησαν τη μέση απόδοση σε αφαίρεση ρύπων 20 εγκαταστάσεων τεχνητών υγροβιότοπων για την επεξεργασία οικιστικών λυμάτων στη Γαλλία και διαπίστωσαν τα ποσοστά απομάκρυνσης ρύπων που φαίνονται στον Πίνακα 7.14.

**Πίνακας 7.14: Αφαίρεση ρύπων σε εγκαταστάσεις τεχνητών υγροβιότοπων στη Γαλλία**  
 Πηγή: Paing and Voisin (2004)

<b>Συστήματα ΤΥ στη Γαλλία</b>	
<b>Παράμετρος</b>	<b>Ποσοστό Απομάκρυνσης (%)</b>
BOD (mg/L)	98
COD (mg/L)	92
TKN (mg/L)	91
TP (mg/L)	43
TSS (mg/L)	96

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω, το προτεινόμενο σύστημα υγροβιότοπων για τον οικισμό του Ράφτη αναμένεται να παρουσιάσει τα χαρακτηριστικά που φαίνονται στον Πίνακα 7.15.

**Πίνακας 7.15: Αναμενόμενες συγκεντρώσεις ρυπαντικών φορτίων στην εκροή της εγκατάστασης**

<b>Ράφτης</b>			
<b>Παράμετρος</b>	<b>Εισροή</b>	<b>Εκροή</b>	<b>Ποσοστό Απομάκρυνσης (%)</b>
BOD (mg/L)	400	15	96.3
COD (mg/L)	566.7	39.7	93
TKN (mg/L)	80	9.6	88
TP (mg/L)	13.3	7.3	45
TSS (mg/L)	466.7	23.3	95
TC (N/100 mL)	$63.8 \times 10^6$	$0.08 \times 10^6$	99.9



## 8. ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ ΕΡΓΟΥ

Σε αυτήν την ενότητα πραγματοποιείται μια πρωταρχική εκτίμηση του κόστους που θα έχει η υλοποίηση του προτεινόμενου έργου, η οποία βασίζεται τόσο σε εμπειρικές εξισώσεις, όσο και σε τιμές κοστολόγησης που προέκυψαν από συναφή έργα που έχουν ήδη κατασκευαστεί.

Το κόστος του συστήματος, που προτείνεται να κατασκευαστεί σε αυτήν την εργασία, αποτελείται από δύο μέρη: το κόστος κεφαλαίου και το λειτουργικό κόστος. Το κόστος κεφαλαίου αναφέρεται στο κόστος αγοράς της γης όπου θα δημιουργηθεί η εγκατάσταση, στο κόστος κατασκευής του συστήματος και στο κόστος για τις αμοιβές των νομικών, εργολάβων και των μηχανικών. Πιο αναλυτικά, το κόστος κεφαλαίου περιλαμβάνει (EPA 2000):

- Την αγορά της απαιτούμενης έκτασης.
- Το σχεδιασμό της εγκατάστασης.
- Τις χωματουργικές εργασίες.
- Την αγορά και τοποθέτηση υλικών επικάλυψης, όπως η γεωμεμβράνη HDPE και το γεώφασμα.
- Την αγορά και διάστρωση του αδρανούς υλικού, δηλαδή του πληρωτικού υλικού των κλινών.
- Την αγορά του υδραυλικού εξοπλισμού (αντλίες, θυρίδες, κλπ.).
- Τις φυτεύσεις και τη βλάστηση.
- Την αγορά των διάφορων σωληνώσεων (διανομής λυμάτων, αποστραγγιστικοί και αερισμού).
- Τη διαμόρφωση της κοντινής περιοχής, όπως παρακείμενων δρόμων στην εγκατάσταση, φωτισμού και περίφραξης.
- Την κατασκευή αποθήκης.
- Τις αμοιβές των νομικών, εργολάβων, μηχανικών και οποιουδήποτε άλλου προσώπου ή φορέα που προσφέρει τις υπηρεσίες του για τη μελέτη και κατασκευή του έργου.

Από τα παραπάνω έξοδα, τα πιο δαπανηρά είναι αυτά της αγοράς της απαιτούμενης έκτασης, του πληρωτικού υλικού των κλινών και του υλικού επικάλυψης (EPA 2000). Όπως αναφέρεται και στο Κεφάλαιο 2.2, το βασικό μειονέκτημα των τεχνητών υγροβιότοπων είναι ότι απαιτείται μεγαλύτερη επιφάνεια για τη λειτουργία τους, σε

σύγκριση με τα συμβατικά συστήματα επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων. Παρόλα αυτά, η χωροθέτηση ενός τεχνητού υδροβιότοπου σε μία αγροτική περιοχή, μακριά από κάποιο αστικό κέντρο, μειώνει αυτήν τη διαφορά κόστους, καθώς η αγορά του οικοπέδου που απαιτείται για την εγκατάσταση δεν παρουσιάζει σημαντικά υψηλή τιμή. Γίνεται λοιπόν αντιληπτό πως το τελικό κόστος κατασκευής συστημάτων τεχνητών υδροβιότοπων είναι συγκρίσιμο ή ελάχιστα χαμηλότερο από το αντίστοιχο κόστος κατασκευής των συμβατικών μονάδων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.

Από την άλλη πλευρά, το λειτουργικό τους κόστος είναι σημαντικά χαμηλότερο από τα αντίστοιχο κόστος των συμβατικών μονάδων (Kadlec 2009). Το λειτουργικό κόστος περιλαμβάνει το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνει η αντλία προκειμένου να μεταφέρει τα λύματα και να τροφοδοτεί τις κλίνες, το κόστος φωτισμού της εγκατάστασης και την αμοιβή ενός χειριστή (ένα άτομο με μερική απασχόληση – περίπου 4 ώρες την ημέρα), του οποίου οι αρμοδιότητες θα είναι η λειτουργία και η συντήρηση της εγκατάστασης.

Ο προσδιορισμός του συνολικού κόστους κατασκευής του έργου της παρούσας εργασίας θα βασιστεί στη μελέτη των Gkika et al. (2014). Οι Gkika et al. (2014) χρησιμοποίησαν τα δεδομένα σχεδιασμού από εννέα συστήματα τεχνητών υδροβιότοπων στην ελληνική επικράτεια, για να εκτιμήσουν το λειτουργικό και το κατασκευαστικό τους κόστος, εξάγοντας τελικά εμπειρικές εξισώσεις που αναφέρονται στη συνολική απαιτούμενη επιφάνεια και το κατασκευαστικό κόστος των υπό μελέτη συστημάτων.

Εμπειρικές εξισώσεις της μορφής  $y = ax^b$ , όπου  $a$  και  $b$  αποτελούν εμπειρικές σταθερές, έχουν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν για να εκφράσουν το κόστος κατασκευής και τις απαιτήσεις επιφάνειας σε συνάρτηση με τον πληθυσμό σχεδιασμού (Li 1995, Kadlec 2009). Οι Gkika et al. 2014 προτείνουν την ακόλουθη εξίσωση για τον προσδιορισμό του συνολικού κόστους κατασκευής:

$$C = 2827 \times PE^{0.738}, R^2 = 0.97 \quad (8.1)$$

Και για τη συνολική απαιτούμενη έκταση για τη δημιουργία του συστήματος:

$$A_t = 4.9 \times 10^{-4} \times PE^{1.062}, R^2 = 0.97 \quad (8.2)$$

Στις δύο παραπάνω εξισώσεις, η μεταβλητή  $C$  αναπαριστά το συνολικό κόστος κατασκευής του συστήματος σε χρηματικές μονάδες του ευρώ (€) και τιμές έτους 2010, η μεταβλητή  $PE$  τον πληθυσμό σχεδιασμού (population equivalent) και η μεταβλητή



Α<sub>t</sub> τη συνολική απαιτούμενη έκταση για τη δημιουργία του συστήματος σε εκτάρια (ha). Σημειώνεται επίσης, πως και στις δύο εξισώσεις ο συντελεστής προσδιορισμού R<sup>2</sup> είναι σχεδόν τέλειος (0.97). Αυτές οι εξισώσεις, παρόλο που έχουν εξαχθεί μελετώντας ένα σχετικά μικρό αριθμό έργων, επιτρέπουν ασφαλείς εκτιμήσεις του συνολικού κόστους κατασκευής και της συνολικής απαιτούμενης επιφάνειας συναρτήσει του πληθυσμού σχεδιασμού. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός πως, οι εννέα εγκαταστάσεις που εξετάστηκαν από τους Gkika et al. (2014), παρουσιάζουν πολλαπλά διαφορετικά σχεδιαστικά χαρακτηριστικά (πληθυσμιακά, μέθοδοι επεξεργασίας, διάταξη κλινών, απαιτήσεις ρυπαντικών στοιχείων στην εκροή κλπ.) και συνεπώς οι εξισώσεις καλύπτουν μία ευρεία γκάμα στοιχείων σχεδιασμού.

Εφαρμόζοντας την εξίσωση 8.1 για τον οικισμό του Ράφτη προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα:

$$C = 2827 \times PE^{0.738} = 2827 \times 500^{0.738} \rightarrow C = 277438 \text{ €}.$$

Υποθέτοντας αύξηση των τιμών κατά 1% κάθε χρόνο και μετατρέποντας τις τιμές έτους 2010 σε τιμές έτους 2016, προκύπτει μία προσαρμογή του συνολικού κόστους κατασκευής ίση με 294506 €.

Αντικαθιστώντας τις τιμές του οικισμού στην εξίσωση 8.2 προκύπτει η συνολική απαιτούμενη έκταση για τη δημιουργία του συστήματος:

$$A_t = 4.9 \times 10^{-4} \times PE^{1.062} = 4.9 \times 10^{-4} \times (500)^{1.062} \rightarrow A_t = 0.36 \text{ ha ή } A_t = 3602 \text{ m}^2$$

Οι Gkika et al. (2014) παρατήρησαν, επίσης, πως το συνολικό κόστος κατασκευής μιας εγκατάστασης μπορεί να εκφραστεί συναρτήσει της συνολικής ωφέλιμης επιφάνειας που χρησιμοποιείται στο σύστημα για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων. Στην εγκατάσταση του Ράφτη, η συνολική ωφέλιμη επιφάνεια προκύπτει ως το άθροισμα των επιφανειών της αναερόβιας δεξαμενής, των κλινών κατακόρυφης ροής του 1<sup>ου</sup> και του 2<sup>ου</sup> σταδίου και της κλίνης οριζόντιας υπόγειας ροής του 3<sup>ου</sup> σταδίου επεξεργασίας. Επομένως, η συνολική ωφέλιμη επιφάνεια υπολογίζεται ίση με:

$$A_a = 1421 \text{ m}^2 = 0.142 \text{ ha}.$$

Η εξίσωση 8.3 δίνει μια δεύτερη εκτίμηση του συνολικού κόστους κατασκευής ως εξής:

$$C = 1073 \times 10^3 \times A_a^{0.667} \quad (8.3)$$

όπου C: το κόστος κατασκευής σε ευρώ (€) και τιμές έτους και A<sub>a</sub> η συνολική ωφέλιμη επιφάνεια σε εκτάρια (ha). Η συνάρτηση αυτή εκφράζει μια οικονομία κλίμακας,

καθώς αρχικά το κόστος αυξάνεται με την αύξηση της συνολικής ωφέλιμης επιφάνειας, ενώ μετά από κάποιο σημείο, όσο περισσότερο αυξάνεται η συνολική επιφάνεια του έργου, τόσο περισσότερο μειώνεται το κόστος κατασκευής του.

Αντικαθιστώντας τη συνολική ωφέλιμη επιφάνεια του οικισμού στην παραπάνω σχέση, προκύπτει συνολικό κόστος κατασκευής ίσο με:

$$C = 1073 \times 10^3 \times A_a^{0.667} = 1073 \times 10^3 \times 0.142^{0.667} \rightarrow C = 291980 \text{ €}.$$

Αν γίνει πάλι μια προσαρμογή του κόστους για τιμές έτους 2016, το συνολικό κόστος κατασκευής του συστήματος θα ισούται με 309943 €.

Μπορεί κανείς να παρατηρήσει πως οι δύο εκτιμήσεις για το συνολικό κόστος που θα έχει η εγκατάσταση είναι πολύ κοντά μεταξύ τους και διαφέρουν κατά ένα ποσοστό της τάξης του 5%.

Στον Πίνακα 8.1 παρουσιάζεται το λειτουργικό κόστος που θα επιφέρει στον Δήμο Γορτυνίας η προτεινόμενη εγκατάσταση. Ακολουθεί ο Πίνακας 8.2 ο οποίος παρουσιάζει μια αναλυτική εκτίμηση για το πώς το συνολικό κόστος κατασκευής θα διαμοιραστεί στα κόστη των επιμέρους σταδίων/λειτουργιών επεξεργασίας. Οι εκτιμήσεις βασίζονται στα δεδομένα σχετικά με τα κόστη που προκύπτουν από την ανάλυση που έκαναν οι Gkika et al. (2014) σε εννέα συστήματα τεχνητών υδροβιότοπων στην ελληνική επικράτεια και πιο συγκεκριμένα σε τρία έργα που έχουν όμοια σχεδιαστικά χαρακτηριστικά με το σύστημα που προτείνεται σε αυτήν την εργασία. Τα συστήματα αυτά είναι οι τεχνητοί υδροβιότοποι που έχουν δημιουργηθεί στην Κορέστεια, στο Νυμφαίο και στην Ασπρόγεια και έχουν πληθυσμούς σχεδιασμού ίσους με 600, 540 και 540 κατοίκους, αντίστοιχα.

**Πίνακας 8.1: Κατασκευαστικό και λειτουργικό κόστος του προτεινόμενου έργου**

<b>Είδος Κόστους</b>	<b>Τιμή</b>
Κόστος κατασκευής	213547 €
Κόστος κατασκευής / Ι.Π.	402 € / Ι.Π.
Αμοιβές νομικών, εργολάβων και μηχανικών	38439 €
Φόρος προστιθέμενης αξίας – Φ.Π.Α.	57957 €
Συνολικό κόστος κατασκευής	309943 €
Συνολικό κόστος κατασκευής / Ι.Π.	584 € / Ι.Π.
Λειτουργικό κόστος (€ /έτος)	6721 € /έτος
Λειτουργικό κόστος (€ / ημέρα)	18.4 € / ημέρα
Λειτουργικό κόστος / Ι.Π. (€ / Ι.Π./ έτος)	13.5 € / Ι.Π./ έτος
Λειτουργικό κόστος ανά m <sup>3</sup> (€ / m <sup>3</sup> )	0.25 € / m <sup>3</sup>

Στον Πίνακα 8.1 επισημαίνονται τα εξής, σχετικά με τους υπολογισμούς που πραγματοποιούνται:

- Οι αμοιβές των νομικών, των εργολάβων και των μηχανικών λαμβάνονται ως το 18% του κόστους κατασκευής του έργου.
- Ο φόρος προστιθέμενης αξίας (Φ.Π.Α.) λαμβάνεται ως το 24% του αθροίσματος του κόστους κατασκευής και των αμοιβών των νομικών, των εργολάβων και των μηχανικών.
- Το συνολικό κόστος κατασκευής ισούται με το άθροισμα του κόστους κατασκευής, του Φ.Π.Α. και των αμοιβών των νομικών, των εργολάβων και των μηχανικών.
- Για τον προσδιορισμό του λειτουργικού κόστους θεωρείται πως η καθημερινή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για τη λειτουργία των αντλιών και του φωτισμού ισούται με 8 kWh και 11 kWh, αντίστοιχα, δηλαδή συνολικά 19 kWh και απαιτούνται κατά μέσο όρο 4 ώρες καθημερινής εργασίας ενός ατόμου. Το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας λαμβάνεται ίσο με 127 € ανά 1000 kWh (0.127 €/ kWh) και η αμοιβή του εργαζόμενου στην εγκατάσταση ίση με 8 € για κάθε ώρα εργασίας.
- Το λειτουργικό κόστος ανά m<sup>3</sup> προκύπτει ως το πηλίκο του λειτουργικού κόστους κάθε ημέρας ως προς την ημερήσια παροχή σχεδιασμού.

Στον Πίνακα 8.2 παρουσιάζεται η κατανομή του κόστους κατασκευής στα επιμέρους στάδια και στις διάφορες λειτουργίες του συστήματος επεξεργασίας των λυμάτων.

**Πίνακας 8.2: Κατανομή του κόστους κατασκευής στα επιμέρους στάδια και λειτουργίες**

<b>Στάδιο/Λειτουργία</b>	<b>Κόστος (€)</b>	<b>Ποσοστό του κόστους κατασκευής (%)</b>
Τεχνικά έργα εισόδου-εξόδου	14082	7.0
Αναερόβια Δεξαμενή	18105	9.0
1 <sup>ο</sup> στάδιο επεξεργασίας - VFCW	38223	19.0
2 <sup>ο</sup> στάδιο επεξεργασίας - VFCW	33797	16.8
3 <sup>ο</sup> στάδιο επεξεργασίας - HSFCW	33193	16.5
Εγκαταστάσεις και αποκατάσταση τοπίου	27762	13.8
Βοηθητικά έργα (σωληνώσεις, σιφόνια)	16094	8.0
Ηλεκτρομηχανολογικά	19916	9.9



## 9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Όπως αναφέρθηκε και στο εισαγωγικό κεφάλαιο, η διπλωματική αυτή εργασία εκπονήθηκε σε συνεννόηση με το Δήμο Γορτυνίας, για την αντιμετώπιση του προβλήματος που αντιμετωπίζει ένας μικρός οικισμός, ο Ράφτης Γορτυνίας, σχετικά με την επεξεργασία των οικιστικών υγρών αποβλήτων. Η γεωγραφική θέση του οικισμού (οικισμός μακριά από κεντρική μονάδα επεξεργασίας λυμάτων), τα γεωλογικά χαρακτηριστικά του (έδαφος με μικρή υδροπερατότητα) και η απουσία δικτύου αποχέτευσης καθιστούν αδήριτη την ανάγκη ανάληψης δράσης για την αντιμετώπιση του προβλήματος.

Η διπλωματική αυτή εργασία προτείνει μέσω του σχεδιασμού μιας εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων με τη μέθοδο των τεχνητών υγροβιότοπων μια βιώσιμη λύση για την αντιμετώπιση του προβλήματος, αξιοποιώντας τις φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες που πραγματοποιούνται σε συστήματα υγροβιότοπων για την επεξεργασία των λυμάτων.

Η εγκατάσταση που σχεδιάστηκε αποτελείται από τα ακόλουθα μέρη:

1. Εσχάρωση.
2. Αναερόβια δεξαμενή καθίζησης.
3. Δύο σίφωνες.
4. Πέντε κλίνες κατακόρυφης υπόγειας ροής .
5. Μία κλίνη οριζόντιας υπόγειας ροής.

Η αναμενόμενη απόδοση σε αφαίρεση ρύπων της εγκατάστασης κρίνεται άκρως ικανοποιητική και πληροί όλες τις εθνικές και κοινοτικές προϋποθέσεις.

Τα επεξεργασμένα απόβλητα δεν προβλέπεται να χρησιμοποιηθούν για άρδευση καλλιεργειών ή δασικών εκτάσεων στο προβλεπόμενο μέλλον. Οι κύριοι λόγοι είναι οι εξής:

- Η περιοχή διαθέτει επαρκές υδατικό δυναμικό καλής ποιότητας, που καλύπτει τις αρδευτικές ανάγκες των καλλιεργειών.
- Οι παραγόμενες ποσότητες είναι πρακτικά άνευ σημασίας για την κάλυψη αρδευτικών αναγκών.

Κατά συνέπεια οι εκροές θα διατίθενται στο ρέμα Γκούρα. Εάν στο απώτερο μέλλον διαπιστωθεί η ανάγκη ή υπάρξει ζήτηση για άρδευση, υπάρχει δυνατότητα τροφοδοσίας του υφιστάμενου αρδευτικού δικτύου, αφού πρώτα δημιουργηθεί συμπληρωματική στην εγκατάσταση μονάδα απολύμανσης. Με αυτήν την προσθήκη,

η ποιότητα των εκροών θα είναι κατάλληλη για άρδευση, εξαιρουμένων των βρώσιμων νωπών προϊόντων (λαχανικά).

Το κόστος κατασκευής της προτεινόμενης εγκατάστασης θα κυμαίνεται στα 309943 €, με μία απόκλιση της τάξης του 5%. Το λειτουργικό κόστος θα είναι ελάχιστο και θα ανέρχεται στα 18.4 €/ημέρα.

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών που έγιναν στην έκταση του κειμένου που έχει προηγηθεί σχεδιάστηκαν με τη βοήθεια Γεωγραφικού Συστημάτος Πληροφοριών (QGIS) και σχεδιαστικού προγράμματος (AUTOCAD) και παρουσιάζονται αναλυτικά στο παράρτημα. Μετά το πέρας της διπλωματικής εργασίας, οι υπολογισμοί και τα σχέδια θα παραδοθούν στο Δήμαρχο Γορτυνίας κ. Ιωάννη Γιαννόπουλο. Τα σχέδια θα παραδοθούν σε μορφή DXF και DWG για να είναι δυνατή η γεωαναφορά τους, καθώς και να είναι διακριτές οι λεπτομέρειες τους.

## 10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ

### Διεθνής Βιβλιογραφία

Akratos, C.S., Jerrentrup, H., Pechlivanidis, I, Sylaios, G.K. and Tsihrintzis, V.A. (2006). A Free Water Surface Constructed Wetland for the Treatment of Agricultural Drainage Entering Vassova Lagoon. Kavala, Greece. *Fresenius' Environmental Bulletin 15*. 1553–1562.

Blazejewski, R. and Blazejewska, S.M. (1996). Soil Clogging Phenomena in Constructed Wetlands with Subsurface Flow. *In: 5th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control*. Vienna, Austria.

Blazejewski, R. and Blazejewska, S.M. (1997). Soil Clogging Phenomena in Constructed Wetlands with Subsurface Flow. *Water Science and Technology*. 35(5), pp. 183-188.

Brix, H. (1994a). Functions of Macrophytes in Constructed Wetlands. *Water Science and Technology*. 29 (4), pp. 71-78.

Brix, H. (1994b). Use of Constructed Wetlands in Water Pollution Control: Historical Development, Present Status, and Future Perspectives. *Water Science and Technology*. 30 (8), pp. 209-223.

Brix, H. (1997). Do macrophytes Play a Role in Constructed Wetlands?. *Water Science and Technology*. 44 (11-12), pp. 11-17.

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), pp. 1-9.

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

Dahab, M.F and Surampalli, R.Y. (2001). Subsurface-flow Constructed Wetlands in the Plains: Five Years of Experience. *Water Science and Technology*. 44 (11-12), pp. 375-380.

Dinges, R. (1982). *Natural Systems for Water Pollution Control*. Van Nostrand Reinhold Co. New York, USA.

Evans, S.A. (1964). *The Palace of Minos at Knossos: A comparative account of the successive stages of the early Cretan civilization as illustrated by the discoveries*. Biblio and Tannen. 63 Fourth Ave, New York., USA

- Gikas, G.D., Akkratos, C.S and Tsihrintzis, V.A. (2011). Performance and Modeling of a Vertical Flow Constructed Wetland – Maturation Pond System. *Journal of Environmental Science and Health*. Part A 46, pp. 692-708.
- Gikas, G.D., Akkratos, C.S. and Tsihrintzis, V.A. (2007). Performance Monitoring of a Vertical Flow Constructed Wetland Treating Municipal Wastewater. *Global NEST Journal*. Vol 9, No 3, pp. 277-285.
- Gkika, D., Gikas, G.D. and Tsihrintzis, V.A. (2014). Construction and Operation Costs of Constructed Wetlands Treating Wastewater. *International Water Association*. 70 (5), pp. 803-10.
- Heritage, A., Pistillo, P., Sharma, K. P. and Lantzke, I. R. (1995). Treatment of Primary Settled Urban Sewage in Pilot Scale Vertical Flow Wetland Filters: Comparison of Four Emergent Macrophyte Species over a 12 Month Period. *Water Science and Technology*, 32 (3), pp. 295-304.
- Kadlec, R.H. (2009). Comparison of Free Water and Horizontal Subsurface Treatment Wetlands, *Ecological Engineering*. Boca Raton, USA.
- Kadlec, R.H. and Knight, R.L. (1996), *Treatment Wetlands*. Lewis Publishers. Boca Raton, USA.
- Kadlec, R.H. and Wallace, S. D. (2009). *Treatment Wetlands*. 2<sup>nd</sup> edition: Taylor and Francis Group. Boca Raton, USA.
- Kadlec, R.H., Knight, R.L., Vymazal, J., Brix, H, Cooper, P. and Haberl, R. (2000). *Constructed Wetlands for Pollution Control. Scientific and Technical Report, No 8*. London, England: International Water Assotiation Publishing.
- Karteris, A., Papadopoulous, A. and Balafoutas, G. (2005). Modeling the Temperature Pattern of a Covered Anaerobic Pond with Computational Fluid Dynamics. *Water, Air and Soil Pollution*. 162, pp. 107-125.
- Letting, G., Rebac, S. and Zeeman, G. (2001). Challenge of Psychrophilic Anaerobic Wastewater Treatment. *TRENDS in Biotechnology*. 19 (9), pp. 363-370.
- Li, X.W. (1995). Technical Economic Analysis of Stabilization Ponds, *Water Science and Technology*. 31 (12), pp. 103-110.
- MacDonald, C.F. and Driessen, J.M. (1988). *The Drainage System of the Domestic Quarter in the Palace at Knossos*. British School of Athens. 83, pp. 235-358.
- Maehlum, T. and Stalnacke, P. (1999). Removal Efficiency of Three Cold-climate Constructed Wetlands Treating Domestic Wastewater: Effects of Temperature,



- Seasons, Loading Rates and Input Concentrations. *Water Science and Technology*. 40 (3), pp. 273-281.
- Mara, D.D. and Pearson, H.W. (1987). *Waste Stabilization Ponds - Design Manual for Mediterranean Europe*. World Health Organization. Regional Office for Europe. EUR/ICP/CWS 053.
- Metcalf and Eddy, Inc. (1991). *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*. New York: MacGraw – Hill, Inc.
- Mitsch, W.J. and Gosselink, J.G. (1986). *Wetlands*. Van Nostrand-Reinhold. New York, USA.
- Molle, P., Lienard, A., Boutin, C., Merlin, G. and Iwema, A. (2004). How to Treat Raw Sewage with Constructed Wetlands: An Overview of the France systems. *Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control*, 26-30 September, Avignon, France.
- Paing, J. and Voisin, J. (2004). Vertical Flow Constructed Wetlands for Municipal Wastewater and Septage Treatment in French Rural Area. *In: Proceedings of the 9th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control*. Avignon, France.
- Paing, J. and Voisin, J. (2005). Vertical Flow Constructed Wetlands for Municipal Wastewater and Septage Treatment in French Rural Area. *Water Science and Technology*. 51 (9), pp. 145-155.
- Papadopoulos, A., Papadopoulos, F., Parisopoulos, G. and Karteris, A. (2000). Temperature and Physicochemical Parameters in an Anaerobic Stabilization Pond. *Proceedings of 5th International Conference on Environmental Pollution. Thessaloniki*, pp. 249-256.
- Pescod, M.B. (1996). The Role and Limitations of Anaerobic Pond Systems. *Water Science and Technology*. 33 (7), pp. 11-21.
- Prescott, K.L. and Tsanis, I.K. (1997). Mass Balance Modeling and Wetland Restoration. *Ecological Engineering*. Vol. 9, pp. 1-18.
- Reddy, K.R. and D' Angelo, E.M. (1997). Biogeochemical Indicators to Evaluate Pollutant Removal Efficiency in Constructed Wetlands. *Water Science and Technology*. 35 (5), pp. 1-10.
- Reed, S.C., Crites, R.W. and Middlebrooks, E.J. (1995). *Natural Systems for Waste Management and Treatment*. New York: 2nd Edition, McGraw-Hill, Inc.

- Stefanakis, A.I. and Tsihrintzis, V.A. (2012). Effects of Loading, Resting Period, Temperature, Porous Media, Vegetation and Aeration on Performance of Pilot-scale Vertical Flow Constructed Wetlands. *Chemical Engineering Journal*. 181–182, pp. 416–430.
- Stefanakis, A.I., Akrotos, C.S., and Tsihrintzis, V.A. (2014). *Vertical Flow Constructed Wetlands: Eco-engineering Systems for Wastewater and Sludge Treatment*. 1<sup>st</sup> Edition: Elsevier.
- Stottmeister, U., Wiessner, A., Kusch, P., Kappelmeyer, U., Kastner, M., Bederski, O., Muller, R.A. and Moormann, H. (2003). Effects of Plants and Microorganisms in Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. *Biotechnology Advances*. 22, pp. 93–117.
- Sundaravadivel, M. and Vigneswaran, S. (2001). Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 31 (4), pp. 351–409.
- Tanner, C.C. (1996). Plants for Constructed Wetland Treatment Systems – A Comparison of the Growth and Nutrient Uptake of Eight Emergent Species. *Ecological Engineering*. 7, pp. 59–83.
- Tsihrintzis, V.A. and Gikas, G.D. (2010). Constructed Wetlands for Wastewater and Activated Sludge Treatment in North Greece: A review. *Water Science and Technology*.
- USA Environmental Protection Agency (EPA). (1988). *Design Manual – Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment*. Office of Research and Development. Center for Environmental Research Information. Cincinnati, Ohio.
- USA Environmental Protection Agency (EPA). (1993). *Subsurface Flow Constructed Wetlands for Wastewater Treatment (A Technology Assessment)*. Cincinnati, Ohio.
- USA Environmental Protection Agency (EPA). (1995). *A Handbook of Constructed Wetlands – Volume 1: General Considerations*. USEPA-Region III with USDA, NRCS.
- USA Environmental Protection Agency (EPA). (2000). *Wastewater Technology Fact Sheet Wetlands: Subsurface Flow*. Washington, D.C.
- Vymazal, J. (1999). *Nitrogen Removal in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-surface flow – Can we Determine the Key Process?* In: Vymazal J. (Ed.), *Nutrient*

Cycling and Retention in Natural and Constructed Wetlands: Backhuys Publishers. Leiden. pp.1 – 17.

Vymazal, J. (2002). The Use of Sub-surface Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in the Czech Republic: 10 Years' Experience. *Ecological Engineering*. Vol. 18, pp. 633-646.

Vymazal, J. (2005). Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. *Ecological Engineering*. Vol. 25, pp. 475-477.

Vymazal, J. (2007). Removal of Nutrients in Various Types of Constructed Wetlands. *Science of the Total Environment*. 380 (1-3), pp. 48-65.

Vymazal, J. (2011). Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Five Decades of Experience. *Environmental Science and Technology*. 45, pp. 61–69.

Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P.F., Green, M.B. and Haberl, R. (1998). *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Europe*. Leiden, The Netherlands: Backhuys Publishers.

World Health Organization (WHO). (1987). *Wastewater Stabilization Ponds, Principles of Planning and Practice*. WHO Technical Publication 10. Regional Office for the Eastern Mediterranean, Alexandria.

### **Ελληνική Βιβλιογραφία**

Αγγελάκης, Α.Ν. (1998). *Ανάγκη για Αποκεντρωμένα Συστήματα Διαχείρισης Αστικών Υγρών Αποβλήτων*. *Ενημερωτικό Δελτίο Τ.Ε.Ε.*, Τεύχος 2031.

Αγγελάκης, Α.Ν. and Tchobanoglous, G. (1995). *Υγρά Απόβλητα: Φυσικά Συστήματα Επεξεργασίας και Ανάκτηση, Επαναχρησιμοποίηση και Διάθεση Εκροών*. Κρήτη: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.

Ακράτος, Χ.Σ. (2006). *Βελτιστοποίηση Παραμέτρων Σχεδιασμού Τεχνητών Υγροβιότοπων Υπόγειας Ροής με Χρήση Πιλοτικών Μονάδων*. Διδακτορική Διατριβή. Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος. Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης.

Καραμούζης, Δ. (2003). *Φυσικά Συστήματα Επεξεργασίας Λυμάτων. Τεύχος 1. Τεχνητοί Υγρότοποι*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Δωδώνη.

Κοινή Υπουργική Απόφαση 145116/2011. *Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και άλλες διατάξεις*.

Κοινή Υπουργική Απόφαση 5673/400/1997 (ΦΕΚ 1969B/14.3.1997). *Μέτρα και όροι για την επεξεργασία αστικών λυμάτων*.

- Κούγκολος, Α. (2007). *Εισαγωγή στην Περιβαλλοντική Μηχανική*. Αθήνα: Εκδόσεις Τζιόλα.
- Μακρής, Α. (2008). *Κατασκευή Μονάδας Φυσικής Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων Οικισμού Ιαματικών Πηγών Δ/Δ Λουτρών Ηραίας Δήμου Ηραίας: Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων*, Τρίπολη, Αρκαδία.
- Μανδύλας, Ν., Παπαβασιλείου, Γ., Πανάγου, Μ., Βράμπετς-Βενιέρη, Κ., Μπαντέκα, Ε. και Μουλατσιώτης, Γ. (2013). *Μελέτη Δημιουργίας Σταθμού Μεταμόρφωσης Αποβλήτων (ΣΜΑ) Δήμου Γορτυνίας*. Δημητσάνα, Αρκαδία.
- Μήτρακας, Μ. (2001). *Ποιοτικά Χαρακτηριστικά και Επεξεργασία Νερού*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα.
- Ν.1650/1986 (ΦΕΚ 160/Α'/16.10.1986). *Για την προστασία τον περιβάλλοντος*.
- Οδηγία 91/271/ΕΟΚ, του Συμβουλίου της 21ης Μαΐου 1991. *Για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων*.
- Οδηγία 98/15/ΕΚ, της Επιτροπής της 27ης Φεβρουαρίου 1998. *Για τροποποίηση της Οδηγίας 91/271/ΕΟΚ του Συμβουλίου, όσον αφορά ορισμένες απαιτήσεις οι οποίες καθορίζονται στο Παράρτημα Ι αυτής*.
- Οικονομοπούλου, Μ.Α. και Τσιχριντζής, Β.Α. (1999). *Τεχνική Ανάλυση για τη Χρήση Επιλεγμένων Φυσικών Συστημάτων Καθαρισμού Λυμάτων*. *International Scientific Conference HELECO '99*. June 3-6. Technical Chamber of Greece, Thessaloniki, Greece.
- Προχάσκα, Χ.Α. (2005). *Μελέτη της Επεξεργασίας Αστικών Υγρών Αποβλήτων με Χρήση Φυσικών Συστημάτων*. Διδακτορική Διατριβή. Σχολή Θετικών Επιστημών. Τμήμα Χημείας. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Στάμου, Α. και Βογιατζής, Ζ. (1994). *Βασικές Αρχές και Σχεδιασμός Συστημάτων Επεξεργασίας Αποβλήτων*. 2η Έκδοση: Έκδοση Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας.
- Στεφανάκης, Ι.Α. (2011). *Βελτιστοποίηση Παραμέτρων Σχεδιασμού Τεχνητών Υγροβιότοπων Κατακόρυφης Ροής για την Επεξεργασία Αστικών Υγρών Αποβλήτων και Λάσπης με Χρήση Πιλοτικών Μονάδων*. Διδακτορική Διατριβή. Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος. Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Ξάνθης.
- Τσιχριντζής, Β.Α. (2000). *Οικολογική Μηχανική και Τεχνολογία, Τόμος Ι (Διαχείριση Απορροής, Ρύπων και Φερτών) και Τόμος ΙΙ (Φυσικές Μέθοδοι Επεξεργασίας Αποβλήτων - Πρόληψη Ρύπανσης)*. Ξάνθη: Εκδόσεις Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης.

### Διαδικτυακές πηγές

Images.google.gr. Εικόνες για τα υδροχαρή φυτά που χρησιμοποιούνται στους τεχνητούς υγροβιότοπους.

Ramsar. (2010). *The Ramsar Manual, Ramsar and Its Mission, Brief History*.

<http://www.ramsar.org>. Τελευταία πρόσβαση: 10 Ιουνίου, 2016.

[www.gardensandplants.com](http://www.gardensandplants.com). Τελευταία πρόσβαση: 10 Ιουνίου, 2016.

Δήμος Γορτυνίας (<http://www.gortynia.gov.gr/>).

Δημόσια Δεδομένα - Ανοικτά Δεδομένα (<http://geodata.gov.gr/>).

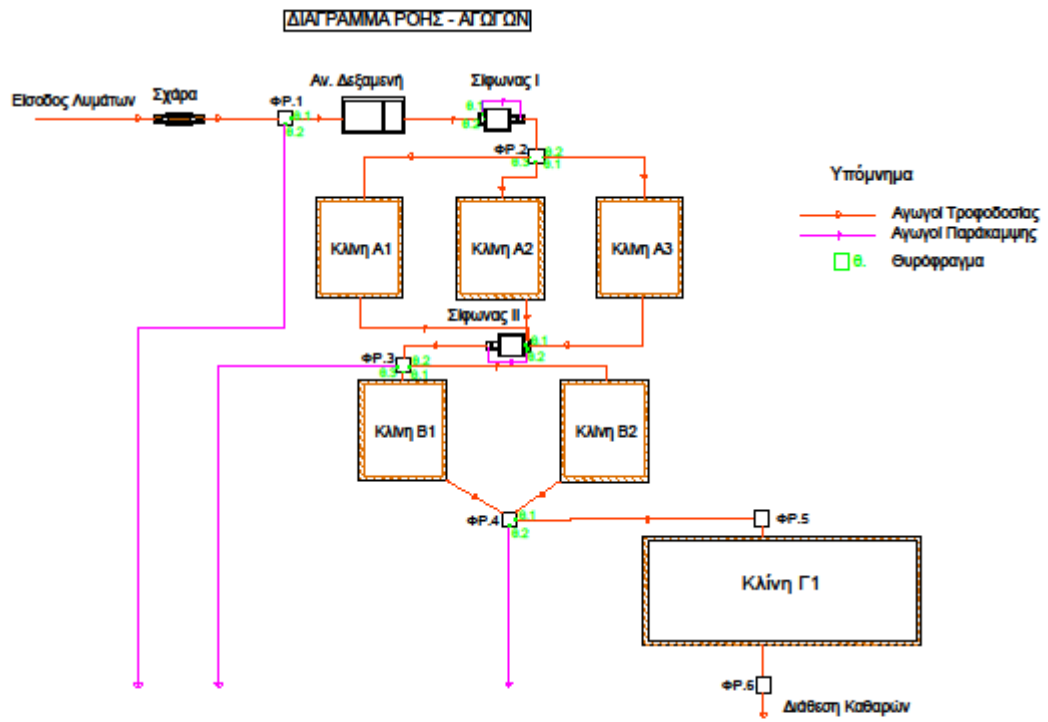
Ειδική Γραμματεία Υδάτων. (2012). *Κείμενο Κατευθυντήριων Γραμμών για τη Διαχείριση Λυμάτων Μικρών Οικισμών* (<http://tinyurl.com/hmkmhwh>). Τελευταία πρόσβαση: 10 Ιουνίου, 2016.

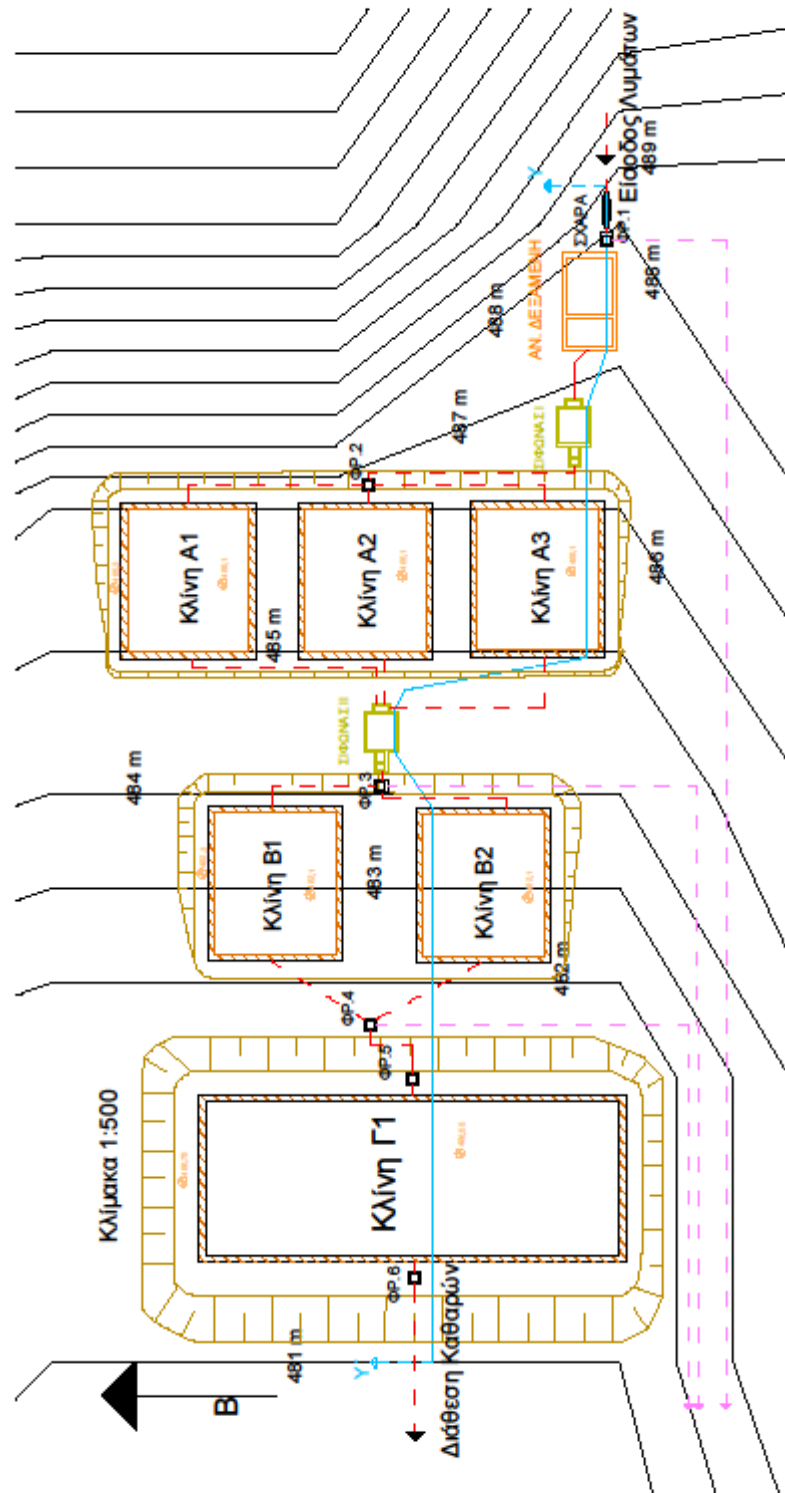
Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ). (1991, 2001, 2011). Δεδομένα σχετικά με τον πληθυσμό, τις κοινωνικές συνθήκες και το περιβάλλον (<http://www.statistics.gr/>).

Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Περιφέρειας Πελοποννήσου: Στρατηγικός Σχεδιασμός – Ανάλυση and Αξιολόγηση της Υφιστάμενης Κατάστασης. (2012). Διαθέσιμο στο: <http://tinyurl.com/gtkqrcy>. Τελευταία πρόσβαση: 10 Ιουνίου, 2016.

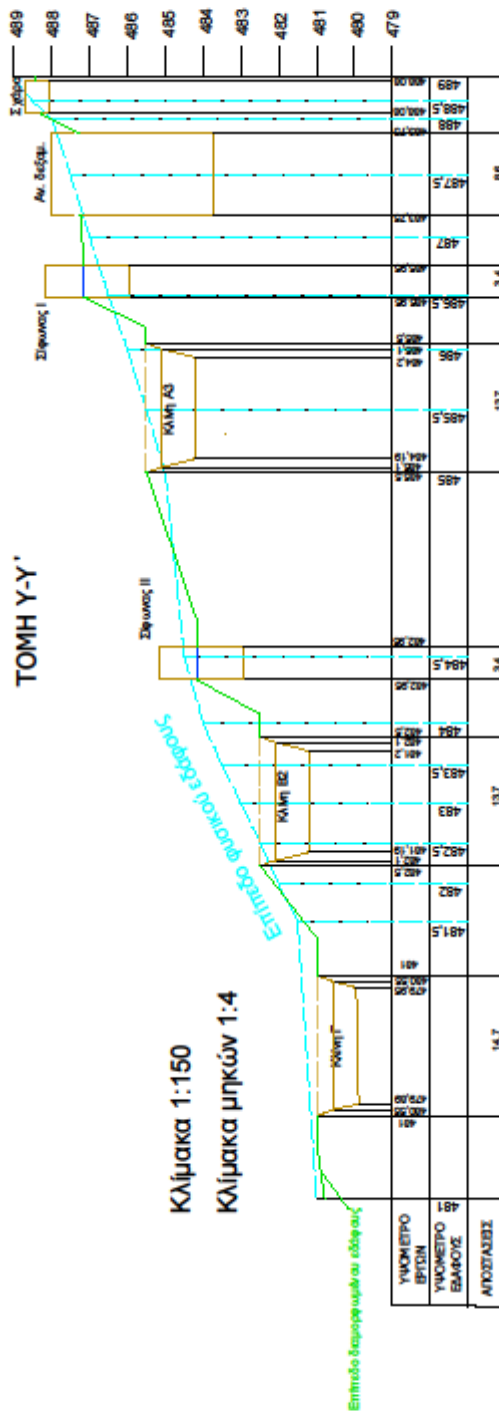
Σχέδιο Δράσης για την Αειφόρο Ενέργεια του Δήμου Γορτυνίας. (2013) Διαθέσιμο στο: [http://mycovenant.eumayors.eu/docs/seap/15836\\_1402670972.pdf](http://mycovenant.eumayors.eu/docs/seap/15836_1402670972.pdf). Τελευταία πρόσβαση: 10 Ιουνίου, 2016.

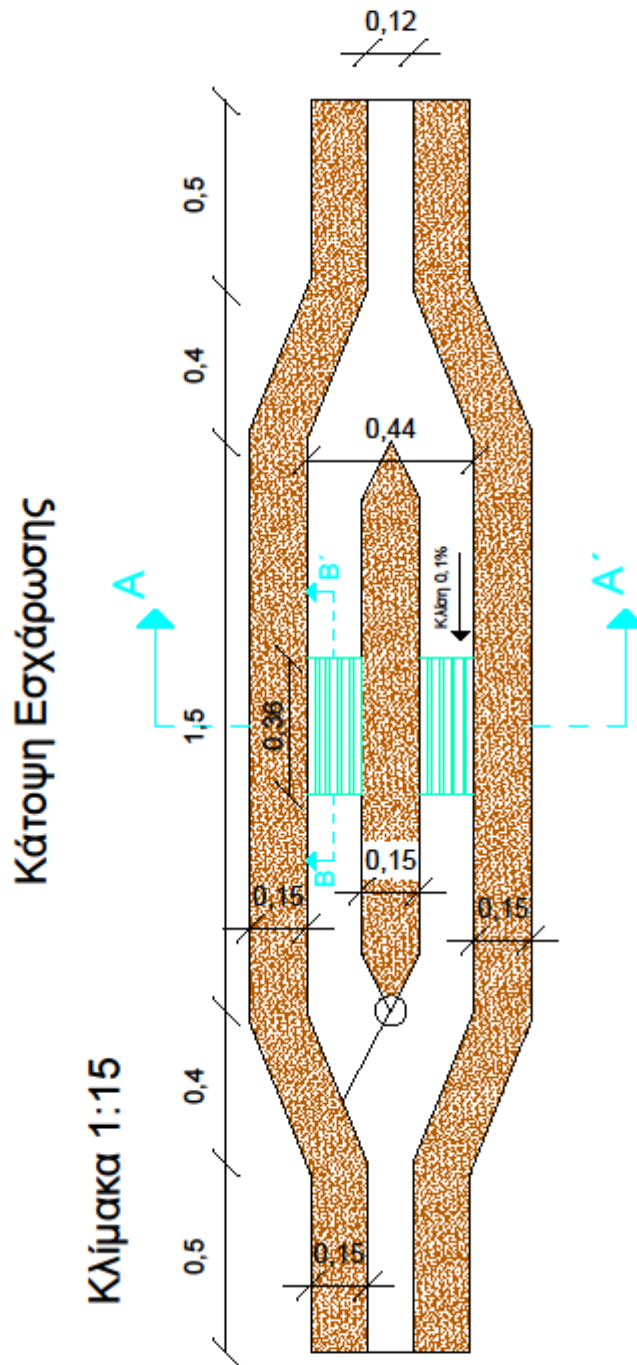
## **11. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: ΤΕΛΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ**

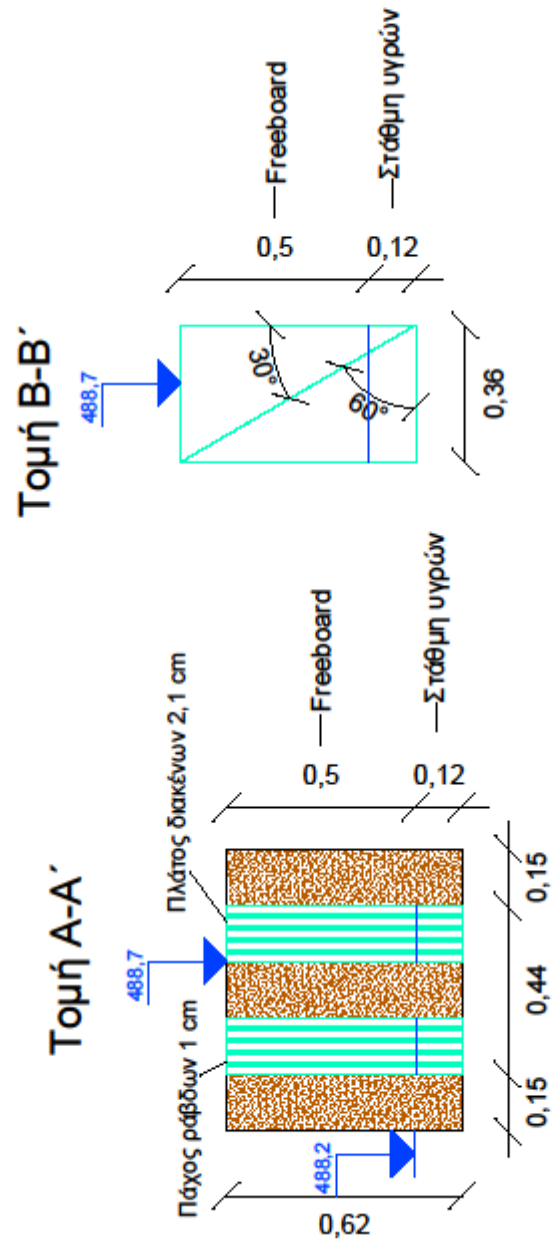






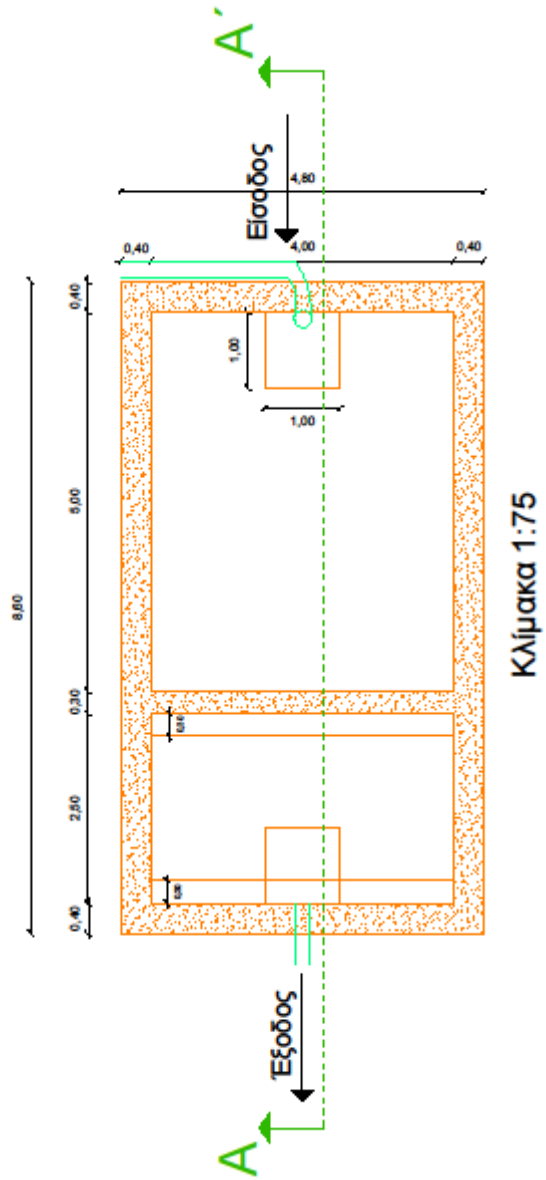


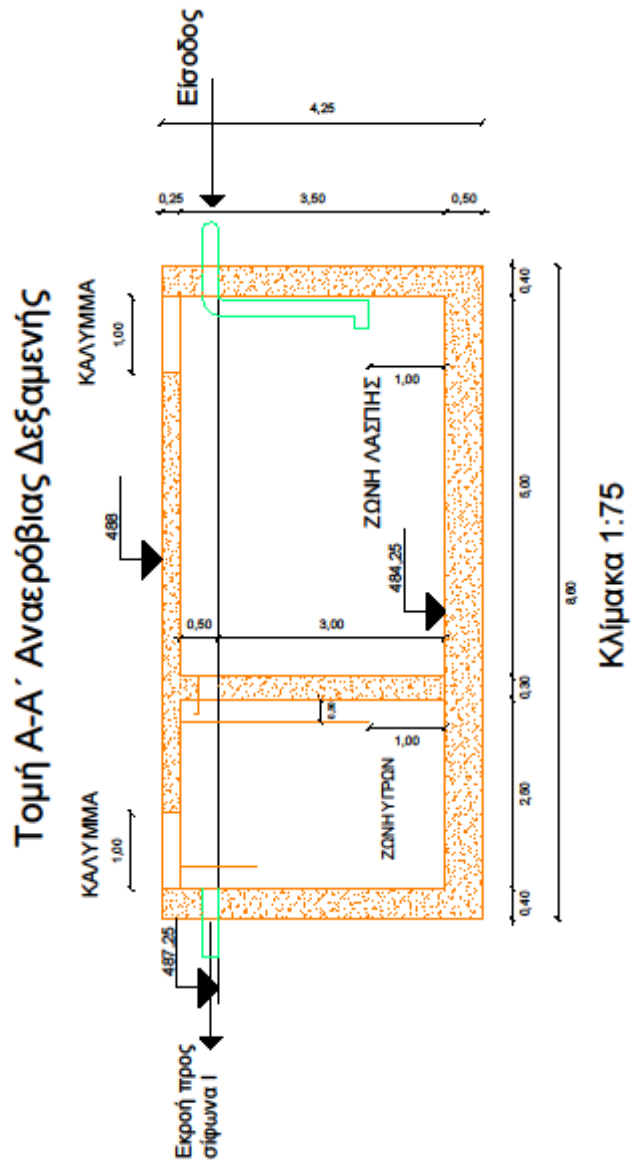


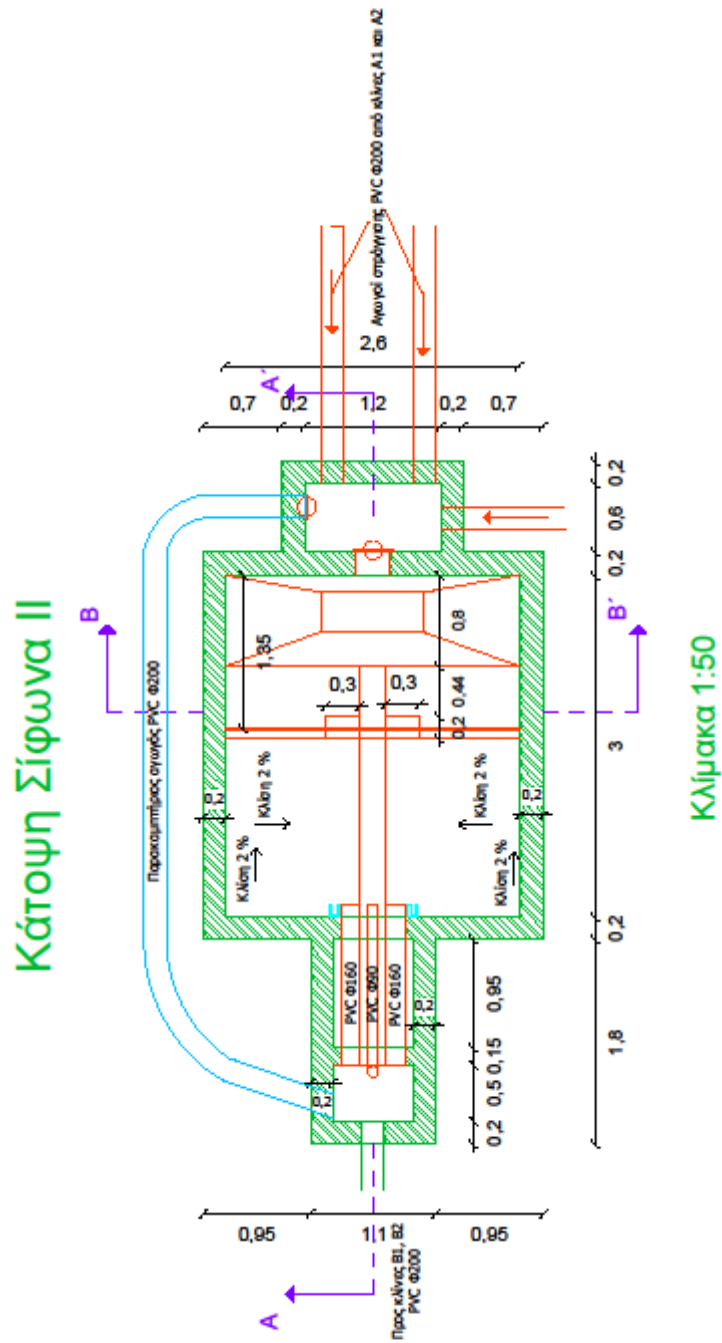


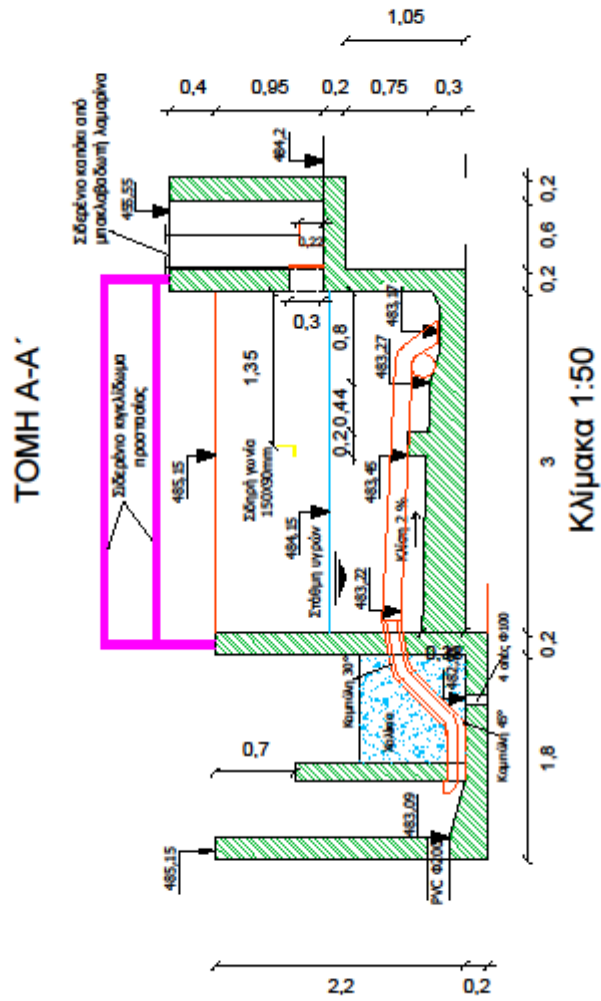
Κλίμακα 1:15

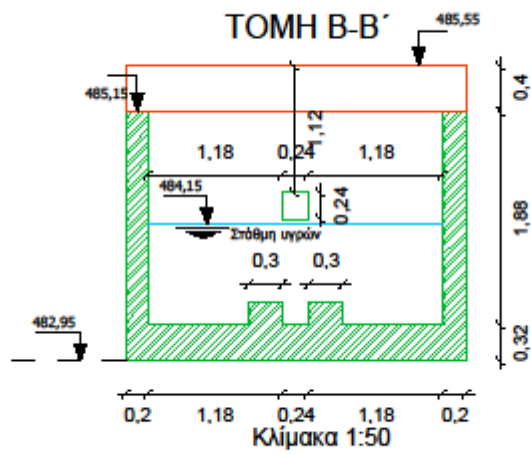
Κάτοψη Αναερόβιας Δεξαμενής



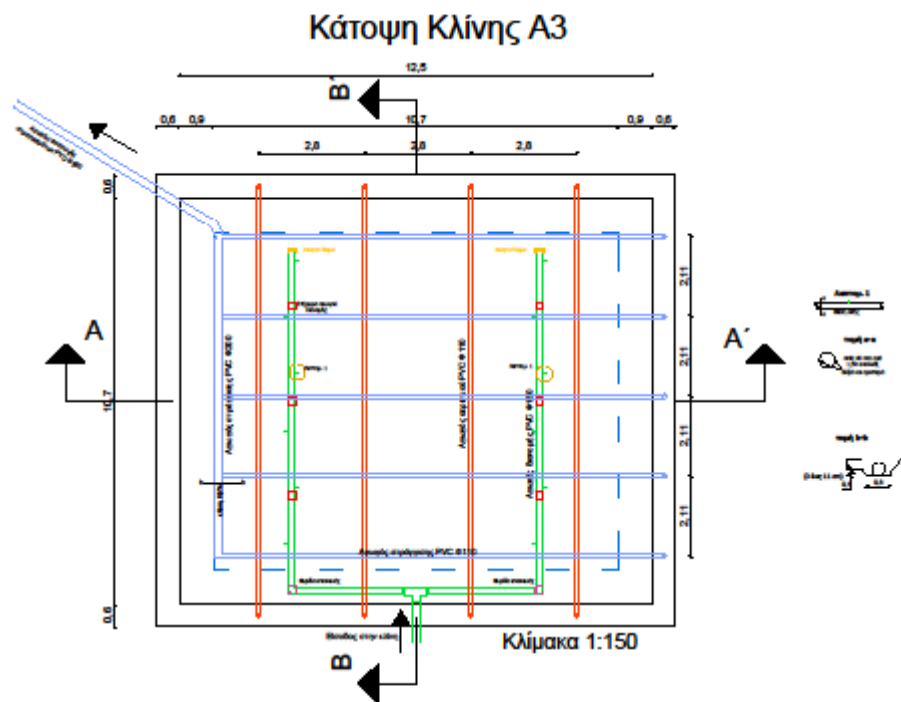






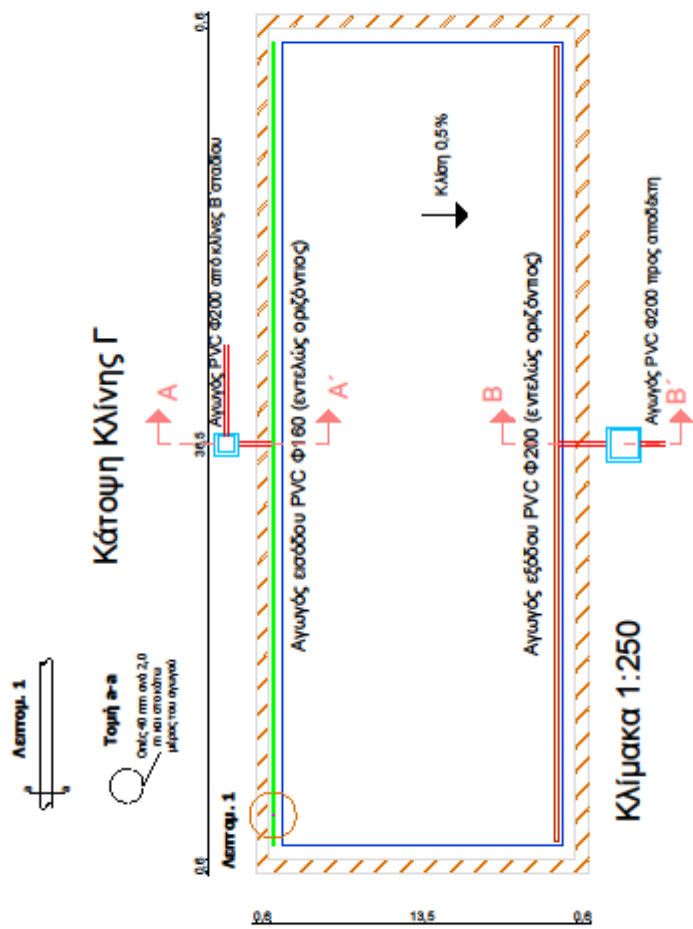












Τομή ΑΑ'

