



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ**  
**ΣΠΟΥΔΩΝ**  
*“ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ*  
*ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ”*

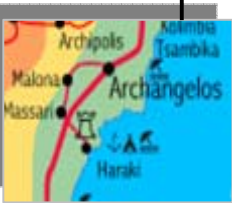
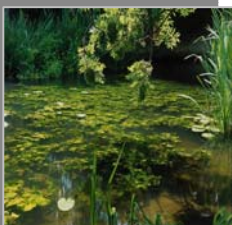
Μεταπτυχιακή Διατριβή

**ΜΕΛΕΤΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ**  
**ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΔΗΜΟΥ**  
**ΑΡΧΑΓΓΕΛΟΥ, ΝΗΣΟΥ ΡΟΔΟΥ, ΜΕ ΦΥΣΙΚΑ**  
**ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΘΕΣΗ**  
**ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ**

**ΣΤΕΡΓΙΑΔΗ Χ. ΣΤΕΛΛΑ**  
**ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:**  
**Δρ. Β. Γκέκας**

Χανιά 2007



Φωτογραφίες εξωφύλλου:

[www.ecosphere.gr](http://www.ecosphere.gr)

[www.ecocity.gr](http://www.ecocity.gr)

**Αφιερώνεται στην οικογένειά μου**

## **Ευχαριστίες**

Με την ολοκλήρωση της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή μου, κύριο Βασίλειο Γκέκα για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, καθώς και για τη συνεχή και πολύτιμη συνεργασία του.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένειά μου, για την ηθική συμπαράσταση που μου έδειξε όλο αυτό το διάστημα.

# ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η βιομηχανική ανάπτυξη της Ελλάδος τα τελευταία έτη και η παραγωγή και διοχέτευση μεγάλων ποσοτήτων αστικών και άλλων υγρών αποβλήτων σε παράκτιες και άλλες περιοχές δημιούργησαν σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Το 1991 το Συμβούλιο των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων εξέδωσε μια Οδηγία (91/271/ΕΟΚ) για την επεξεργασία των αστικών αποβλήτων (ΚΥΑ 5673/400/1997 για εναρμόνιση της ελληνικής νομοθεσίας), στην οποία προβλέπεται ότι θα πρέπει να εγκατασταθούν Μονάδες Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων (ΜΕΥΑ) σε όλες τις πόλεις της Κοινότητας. Ο αναγκαίος βαθμός επεξεργασίας διαφέρει, ανάλογα με τον ισοδύναμο πληθυσμό της εκάστοτε περιοχής και τη διάθεση των λυμάτων.

Ο αντικειμενικός σκοπός της επεξεργασίας των αστικών υγρών αποβλήτων είναι η ασφαλής διάθεση τους σε κάποιον αποδέκτη χωρίς κίνδυνο για την υγεία των ανθρώπων ή την πρόκληση ρύπανσης στο φυσικό περιβάλλον. Η επεξεργασία αυτή σκοπό έχει την απομάκρυνση ανόργανων και οργανικών στερεών, τη διάσπαση της απομένουσα οργανικής ουσίας σε απλά ανόργανα (θρεπτικά) άλατα και τέλος, την εξόντωση των παθογόνων μικροοργανισμών.

Η παραπάνω επεξεργασία των υγρών αποβλήτων είναι δυνατό να επιτευχθεί με διαφορετικές τεχνολογίες, (Metcalf and Eddy Inc., 1991; Pescod M.B., 1992). Η επικρατούσα τεχνολογία ήτοι ενεργού ιλύος, βιολογικών φίλτρων κλπ, εφαρμόζεται στις Συμβατικές Μονάδες Βιολογικού Καθαρισμού (Στάμου Α., 1995). Η εναλλακτική τεχνολογία αφορά τα Φυσικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων όπως δεξαμενές σταθεροποίησης, τεχνητοί υγρότοποι, κλπ. (Reed et al., 1995; Αγγελάκης Α.Ν. και Tchobanoglous G., 1995).

Στις συμβατικές μονάδες η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων γίνεται σε ειδικές διατάξεις (αντιδραστήρες) με την προσθήκη ενέργειας που επιταχύνουν τη δράση

μικροοργανισμών για την αποδόμηση του οργανικού φορτίου σε απλές ανόργανες ενώσεις. Συνήθως η επεξεργασία αυτή διαρκεί λίγες ώρες, η μείωση των παθογόνων γίνεται με χλωρίωση ή U.V. ακτινοβολία, οι δε εγκαταστάσεις καταλαμβάνουν μικρή σχετικά έκταση. Στα φυσικά συστήματα η επεξεργασία διαρκεί αρκετές ημέρες και απαιτεί μεγαλύτερες εκτάσεις, καθώς βασίζονται σε φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες, οι οποίες συμβαίνουν σε ενιαίους οικοαντιδραστήρες με φυσικές ταχύτητες.

Η παρούσα εργασία υιοθετεί τα **φυσικά συστήματα επεξεργασίας**, λόγω των **σημαντικών πλεονεκτημάτων που παρουσιάζουν έναντι των συμβατικών, ειδικά για μικρούς Δήμους, όπως ο Δήμος Αρχαγγέλου**. Τα σενάρια φυσικών συστημάτων που διερευνώνται στην παρούσα μελέτη είναι τέσσερα και περιλαμβάνουν:

1. Σύστημα σηπτικής δεξαμενής, υδροβιότοπου υποεπιφανειακής ροής και απολύμανση με UV ακτινοβολία.
2. Σύστημα σηπτικής δεξαμενής, υδροβιότοπου ελεύθερης επιφάνειας και απολύμανση με UV ακτινοβολία.
3. Σύστημα σηπτικής δεξαμενής, βιολογικού αμμόφιλτρου και απολύμανση με UV ακτινοβολία.
4. Σύστημα λιμνών σταθεροποίησης

Οι παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη για την τελική επιλογή του συστήματος είναι η ποιότητα της εκροής, η απαιτούμενη έκταση του κάθε συστήματος, καθώς και το κατασκευαστικό και λειτουργικό κόστος και το κόστος συντήρησης.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη κατάλληλου συστήματος επεξεργασίας που να εξασφαλίζει ποιότητα εκροής τέτοια, ώστε να δύναται να επαναχρησιμοποιηθεί για **άρδευση ελαιώνων και αμπέλων της περιοχής, δασικών εκτάσεων και καλλωπιστικών φυτών, με τη μέθοδο της στάγδην άρδευσης**. Η επαναχρησιμοποίηση

άλλωστε, συμβάλλει στην εξοικονόμηση υδατικών πόρων, ιδιαίτερα σημαντικού παράγοντα για τις αγροτικές περιοχές, ειδικά για την καλοκαιρινή περίοδο.

# ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά στοιχεία για την αποκεντρωμένη αστικών επεξεργασία λυμάτων.....	1
---	---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

### ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1 Γεωγραφική θέση και διοικητική υπαγωγή της υπό μελέτη περιοχής.....	5
2.2 Ιστορία της νήσου Ρόδου και του Δήμου Αρχαγγέλου.....	6
2.3 Δημογραφικά στοιχεία Δήμου Αρχαγγέλου.....	7
2.4 Ανθρωπογενές οικονομικό περιβάλλον.....	8
2.5 Αποχέτευση και επεξεργασία λυμάτων.....	9
2.6 Περιοχές σε καθεστώς προστασίας.....	10
2.7 Κλιματολογικά στοιχεία νήσου Ρόδου.....	12
2.8 Γεωλογικά χαρακτηριστικά Δήμου Αρχαγγέλου.....	19
2.9 Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά Δήμου Αρχαγγέλου.....	19

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

### ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΟΣΟΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ

#### ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΩΝ

#### ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΩΝ ΣΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΛΥΜΑΤΩΝ

3.1 Υπολογισμός μόνιμων κατοίκων του Δήμου Αρχαγγέλου κατά το πέρας του χρόνου ζωής του έργου.....	20
3.2 Υπολογισμός αριθμού τουριστών του Δήμου Αρχαγγέλου κατά το πέρας του χρόνου ζωής του έργου.....	22
3.3 Υπολογισμός εξυπηρετούμενου πληθυσμού.....	22
3.4 Υπολογισμός ποσοτικών χαρακτηριστικών των λυμάτων.....	23
3.5 Ποιοτικά χαρακτηριστικά των λυμάτων.....	26

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>

### ΦΥΣΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

4.1 Γενικά για τα φυσικά συστήματα.....	28
4.2 Ανάπτυξη των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας.....	37
4.3 Πλεονεκτήματα των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας.....	38

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>

### ΣΕΝΑΡΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ

#### ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΤΗΣ

#### ΜΟΝΑΔΑΣ

5.1 Σύντομη περιγραφή των σεναρίων.....	40
5.2 Φρεάτιο εισόδου – εσχαρισμού των λυμάτων.....	41
5.3 Σύστημα μέτρησης της παροχής.....	42



5.4 Σηπτική δεξαμενή.....	43
5.5 Αντλιοστάσιο ανύψωσης και μεταφοράς προς το φυσικό σύστημα επεξεργασίας.....	50
5.6 Φυσικό σύστημα Σεναρίου 1: Υγροβιότοπος υποεπιφανειακής ροής (SFS).....	51
5.7 Φυσικό σύστημα Σεναρίου 2: Υγροβιότοπος ελεύθερης επιφάνειας (FWS).....	73
5.8 Φυσικό σύστημα Σεναρίου 3: Βιολογικό Αμμόφιλτρο.....	92
5.9 Σενάριο 4: Λίμνες σταθεροποίησης (WSP).....	101
5.10 Μονάδα απολύμανσης της εκροής.....	147
5.11 Μονάδα απόσμισης των σηπτικών δεξαμενών.....	152
5.12 Δεξαμενή αποθήκευσης της εκροής.....	153
5.13 Ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος H/Z.....	153
5.14 Κτίριο διοίκησης, διαμόρφωση του χώρου και περίφραξη.....	153
5.15 Δειγματοληψία και παρακολούθηση της εκροής.....	154
5.16 Στερεά απόβλητα – ιλύες – λίπη.....	155
5.17 Παράμετροι χωροθέτησης της μονάδας.....	156
5.18 Συγκριτικές αποδόσεις των σεναρίων.....	157

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>**

### **ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ**

6.1 Γενικά.....	158
6.2 Κοστολόγηση Σεναρίου 1: Σηπτική Δεξαμενή και Υγροβιότοπος Υποεπιφανειακής Ροής (SFS) και Απολύμανση.....	158
6.3 Κοστολόγηση Σεναρίου 2: Σηπτική Δεξαμενή και Υγροβιότοπος Ελεύθερης Επιφάνειας (FWS) και Απολύμανση.....	162
6.4 Κοστολόγηση Σεναρίου 3: Σηπτική Δεξαμενή και Βιολογικό Αμμόφιλτρο και Απολύμανση.....	164
6.5 Κοστολόγηση Σεναρίου 4: Λίμνες σταθεροποίησης (WSP).....	166
6.6 Συγκεντρωτικά κατασκευαστικά κόστη και κόστη συντήρησης και λειτουργίας των σεναρίων.....	168

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup>**

### **ΔΙΑΘΕΣΗ - ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ**

7.1 Διάθεση επεξεργασμένων λυμάτων σε υδάτινους αποδέκτες και στο έδαφος.....	169
7.2 Επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων λυμάτων.....	172
7.2.1 Γενικά.....	172
7.2.2 Εναλλακτικές δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης λυμάτων.....	172
7.2.3 Ανασκόπηση διεθνούς θεσμικού πλαισίου για την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων.....	182
7.2.3.1 Οδηγία του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας.....	183
7.2.3.2 Κανονισμός Πολιτείας Καλιφόρνια.....	187
7.2.3.3 Επιπρόσθετα κριτήρια σύμφωνα με την Υπηρεσία Περιβάλλοντος των Η.Π.Α. (US-EPA 1992).....	188
7.2.4 Νομοθεσία στον Ευρωπαϊκό χώρο.....	190

7.2.5 Προτεινόμενα ποιοτικά όρια και προδιαγραφές για επαναχρησιμοποίηση λυμάτων στην Ελλάδα.....	194
7.3 Επιλεγόμενος τρόπος διάθεσης των επεξεργασμένων λυμάτων στην παρούσα εργασία.....	198
7.4 Απαιτούμενη έκταση για άρδευση με τα επεξεργασμένα λύματα.....	200
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8<sup>ο</sup></b>	
<b>ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ</b>	
8.1 Ισχύουσα νομοθεσία.....	201
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9<sup>ο</sup></b>	
<b>ΕΠΙΛΟΓΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b>	
9.1 Γενικά.....	202
9.2 Επιλογή φυσικού συστήματος επεξεργασία των λυμάτων του Δήμου Αρχαγγέλου και διάθεση των εκροών.....	203
9.3 Οφέλη από την κατασκευή του έργου στο Δήμο Αρχαγγέλου.....	211
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	213
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι</b>	
<i>Υποχρεώσεις των φορέων αναφορικά με τις παραμέτρους που εξετάζονται για τον έλεγχο και την παρακολούθηση των ΜΕΑΛ ανεξάρτητα του σημείου απόρριψης των εκροών</i> .....	215
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ</b>	
<i>Ερωτηματολόγιο εκτίμησης επιπτώσεων (Πίνακας 3, ΙΙ της Κ.Υ.Α. 69269/5387/1990)</i> .....	216

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### **1.1 Γενικά στοιχεία για την αποκεντρωμένη αστικών επεξεργασία λυμάτων**

*Υγρά Αστικά Απόβλητα* (ΥΑΑ) ορίζονται τα υγρά οικιακά απόβλητα, που περιέχουν και υγρά απόβλητα από ιδρύματα, όπως Νοσοκομεία, Σχολεία, Υπηρεσίες, Ξενοδοχεία και κατά περίπτωση κάποιες βιομηχανικές απορροές, που όμως αποτελούν ένα μικρό ποσοστό και δε χαρακτηρίζουν την ποιότητά τους.

Από τα μέσα περίπου του 20<sup>ου</sup> αιώνα, όπου σημειώνεται εντατικοποίηση της βιομηχανικής ανάπτυξης στις αναπτυγμένες κυρίως χώρες, άρχισε η παραγωγή και η αποχέτευση μεγάλων ποσοτήτων αστικών και άλλων υγρών αποβλήτων σε παράκτιες και άλλες περιοχές, γεγονός που είχε ως συνέπεια την πρόκληση σοβαρών επιπτώσεων στο περιβάλλον.

Η μελέτη και κατασκευή συμβατικών (μηχανικών) έργων επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων θεωρήθηκε τότε, ότι θα αντιμετώπιζε οριστικά τα προβλήματα που σχετίζονται με τη διαχείριση των υγρών αποβλήτων. Όμως, από τις αρχές της 10ετίας του 1990, άρχισαν να αναδύονται σοβαρά προβλήματα κόστους, λειτουργίας και γενικά διαχείρισης αυτών των έργων.

Όσον αφορά την επεξεργασία των λυμάτων, η μακροχρόνια εμπειρία και η προηγμένη τεχνολογία και τεχνογνωσία - τόσο στην Ελλάδα και στην υπόλοιπη Ευρωπαϊκή Ένωση όσο και στις Ηνωμένες Πολιτείες και στον Καναδά - οδηγούν στο συμπέρασμα ότι, ένα ποσοστό των συμβατικών μονάδων επεξεργασίας λυμάτων για μικρούς Δήμους και Κοινότητες, δε λειτουργεί ικανοποιητικά. Αυτό οφείλεται κυρίως στο υψηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησής τους, τα οποία οι τοπικοί φορείς αδυνατούν να καλύψουν. Ακριβώς αυτοί οι λόγοι οδήγησαν την επιστημονική κοινότητα να στραφεί σε εφικτές λύσεις για μικρές πόλεις και κοινότητες, αναπτύσσοντας μεθόδους οι οποίες απαιτούν χαμηλότερο κόστος κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης και οι οποίες είναι φιλικότερες προς το περιβάλλον. Οι μέθοδοι αυτές οδήγησαν στα Φυσικά Συστήματα Επεξεργασίας Λυμάτων.

Τα τελευταία χρόνια, αναπτύσσονται με πολύ γρήγορους ρυθμούς τα αποκεντρωμένα, μικρά σχετικά συστήματα επεξεργασίας αστικών αποβλήτων, σε συνδυασμό με την ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων εκροών τους τοπικά. Σε αυτά τα συστήματα περιλαμβάνονται και τα φυσικά συστήματα, τα οποία βασίζονται σε φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες, οι οποίες συμβαίνουν σε ενιαίους οικοαντιδραστήρες με φυσικές ταχύτητες.

Η διαχείριση αποκεντρωμένων συστημάτων υγρών αποβλήτων σε μεμονωμένες κατοικίες ή μικρές ομάδες αυτών, σε απομονωμένες δημοτικές ή εμπορικές εγκαταστάσεις, καθώς και σε μικρούς οικισμούς (κάτω των 10.000 ι.κ.), μπορεί να ορισθεί ως η συλλογή, επεξεργασία, διάθεση και/ή επαναχρησιμοποίηση των εκροών τοπικά.

Στη χώρα μας, μεγαλύτερες μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων (σε αστικά κέντρα με πάνω από 10.000 ι.κ.) έχουν κατασκευασθεί και λειτουργούν ή βρίσκονται σε προχωρημένο στάδιο μελέτης ή κατασκευής.

Αξίζει να αναφερθεί πως περισσότεροι από 40 εκατομμύρια κάτοικοι των ΗΠΑ κατοικούν σε περιοχές που δεν είναι συνδεδεμένες με κεντρικό σύστημα συλλογής και επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων και έτσι οι κατοικίες τους εξυπηρετούνται με αποκεντρωμένα συστήματα. Μετά από 25 έτη, έχει διαπιστωθεί ότι μια τέτοια ολοκληρωμένη κάλυψη του συνόλου της χώρας αυτής, δεν είναι δυνατή, εξαιτίας γεωγραφικών, αλλά και οικονομικών παραγόντων.

Με δεδομένο ότι η ολοκληρωμένη αποχετευτική κάλυψη δεν είναι εφικτή για το εγγύς μέλλον λόγω γεωγραφικών αλλά και οικονομικών παραγόντων και λαμβάνοντας υπόψη τη συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση υδατικών αποθεμάτων για ύδρευση, γίνεται κατανοητό πως η αποκεντρωμένη διαχείριση υγρών αποβλήτων συγκεντρώνει πολλά πλεονεκτήματα για την ανάπτυξη μιας μακροπρόθεσμης στρατηγικής διαχείρισης του περιβάλλοντος και κυρίως των φυσικών πόρων.

Η αποκεντρωμένη διαχείριση υγρών αποβλήτων αποτελεί προφανή και αναγκαία επιλογή:

1. Για βελτίωση της διαχείρισης υπαρχόντων εγκατεστημένων συστημάτων.
2. Αν μεμονωμένα εγκατεστημένα συστήματα δεν έχουν ικανοποιητική απόδοση (αστοχούν) και οι αρμόδιες δημοτικές αρχές δε μπορούν να αντεπεξέλθουν στο κόστος συμβατικών συστημάτων επεξεργασίας.
3. Αν ο ΟΤΑ ή η επιχείρηση που εξυπηρετείται βρίσκεται σε απομακρυσμένη θέση σε σχέση με το υπάρχον δημοτικό αποχετευτικό δίκτυο.
4. Αν σε τοπικό επίπεδο υφίστανται μικροί, απομακρυσμένοι μεταξύ τους οικισμοί και υπάρχουν προοπτικές επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων εκροών τοπικά.
5. Αν υπάρχει έλλειμμα στο υδατικό δυναμικό κυρίως για ύδρευση.
6. Αν η υπάρχουσα μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων έχει περιορισμένη δυναμικότητα και δεν προβλέπεται επέκτασή της για οικονομικούς λόγους.
7. Αν για οικονομικούς λόγους οι ποσότητες επεξεργασμένων εκροών για διάθεση στο περιβάλλον πρέπει να είναι περιορισμένες.
8. Αν η επέκταση των υπαρχουσών μονάδων συλλογής και επεξεργασίας υγρών αποβλήτων επιβάλλει πρόσθετη, μη αναγκαία οικονομική επιβάρυνση στον ΟΤΑ ή την επιχείρηση.

Η τεχνογνωσία της επεξεργασίας υγρών αποβλήτων με φυσικά συστήματα σε συνδυασμό με την επαναχρησιμοποίηση των εκροών του σε διάφορες χρήσεις και κυρίως για άρδευση, ανάπτυξη πρασίνου και πυροπροστασία, έχει αναπτυχθεί πολύ τα τελευταία χρόνια σε πολλές προηγμένες χώρες και κυρίως στις ΗΠΑ (ΝΔ πολιτείες).

Ιδιαίτερα, η ανάπτυξη της τεχνολογίας των συστημάτων των υδροβιοτόπων έχει αποδώσει ενθαρρυντικά αποτελέσματα για εφαρμογή τους σε μικρούς οικισμούς (μέχρι 10.000 ι.κ.). Τα συστήματα αυτά εντάσσονται πλήρως στη νέα αντίληψη επιστροφής σε απλά, αποτελεσματικά συστήματα, συμβατά με φυσικές διεργασίες, χωρίς πολύπλοκα μηχανήματα, μη ενεργοβόρα και προσφιλή στο περιβάλλον. Οι υδροβιοτόποι, ως

συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, απαιτούν ελάχιστη συντήρηση, έχουν σχετικά μειωμένη απαίτηση σε χώρο, το κόστος λειτουργίας τους είναι πολύ μικρό και συμβάλλουν στην αναβάθμιση του περιβάλλοντος με τη δημιουργία χώρων πρασίνου και αναψυχής.

Αντίθετα, τα συμβατά ή μηχανικά συστήματα που είναι γνωστά σήμερα ως βιολογικοί καθαρισμοί, είναι υψηλού κατασκευαστικού και λειτουργικού κόστους, αντιμετωπίζουν συχνά λειτουργικά προβλήματα και είναι ενεργοβόρα, κυρίως κατά την εφαρμογή τους σε μικρούς σχετικά ΟΤΑ. Επίσης, τα συστήματα αυτά απαιτούν εξειδικευμένο προσωπικό για τη λειτουργία τους και βασίζονται σε μεγάλο ποσοστό σε εισαγόμενη τεχνολογία [1 , 29].

**ΠΙΝΑΚΑΣ 1-1**  
**Ταξινόμηση μονάδων φυσικών συστημάτων επεξεργασίας στις ΗΠΑ [9]**

Τύπος Συστήματος	Αριθμός Μονάδων
1. Απορροφητικά Εδαφικά Συστήματα	209 x 10 <sup>4a</sup>
2. Τεχνητές Λίμνες	7607 <sup>b</sup>
3. Βασιζόμενα σε Εφαρμογή στο Έδαφος	1225
α) Βραδείας Εφαρμογής (Βραδείας διήθησης, άρδευσης κλπ.)	
β) Ταχεία Διήθησης (SAT)	
γ) Επιφανειακής Ροής	
4. Υγροβιότοποι	140
α) Ελευθέρως Επιφάνειας (FWS)	
β) Υποεπιφανειακής Ροής (SFS)	
5. Υδροχαρών Φυτών	20
α) Συστήματα με Επιπλέοντα Φυτά	
β) Συστήματα με Βοθιζόμενα Φυτά	
<sup>a</sup> Πρόκειται κυρίως για μονοκατοικίες	
<sup>b</sup> Απαιτείται συμπληρωματικός έλεγχος	

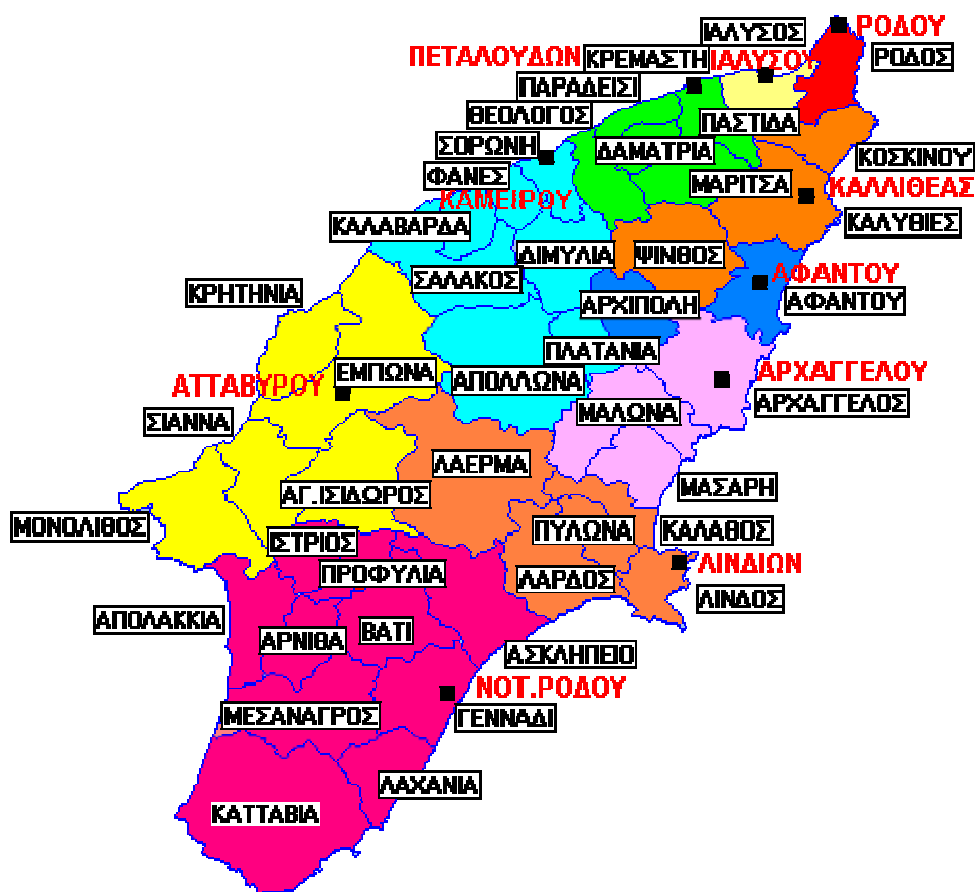
# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

## ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ



## 2.1 Γεωγραφική θέση και διοικητική υπαγωγή της υπό μελέτη περιοχής

Το παρόν σύγγραμμα αφορά τη μελέτη εναλλακτικών μεθόδων διαχείρισης υγρών αποβλήτων καθώς και τη διάθεση των επεξεργασμένων λυμάτων του Δήμου Αρχαγγέλου της νήσου Ρόδου. Η νήσος της Ρόδου εντάσσεται στη διοικητική περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου και συγκεκριμένα στο Νομό Δωδεκανήσου. Στην εικόνα που ακολουθεί διακρίνονται όλοι οι δήμοι και οι κοινότητες της Ρόδου, συμπεριλαμβανομένου του Δήμου Αρχαγγέλου.



ΕΙΚΟΝΑ 2-1

Απεικόνιση δήμων και κοινοτήτων της νήσου Ρόδου [2]

Ο Δήμος Αρχαγγέλου απλώνεται σε ένα χαμηλό οροπέδιο που περικλείεται από τα βουνά Κεφαλιώτη, Κάστρο και Αναγρός και προήλθε από τη **συνένωση των κοινοτήτων Αρχάγγελος, Μαλώνα, Μάσαρη**. Οριοθετείται μεταξύ Δήμου Αφάντου στα βόρεια, Δήμου Λινδίων στα νότια, Δήμου Καμείρου στα ανατολικά και της θάλασσας στα δυτικά. Η περιοχή απέχει περίπου 35 Km από την πόλη της Ρόδου, ενώ η συνολική του έκταση είναι 115 m<sup>2</sup>, γεγονός που τον κατατάσσει πέμπτο δήμο σε μέγεθος στο νησί και στην επαρχία της Ρόδου [2].



**ΕΙΚΟΝΑ 2-2**  
**Κοινότητα Αρχαγγέλου [2]**

## **2.2 Ιστορία της νήσου Ρόδου και του Δήμου Αρχαγγέλου**

Το 1500 π.Χ. οι Αχαιοί περνούν από την Ηπειρωτική Ελλάδα στην Κρήτη και από εκεί στη Ρόδο όπου εγκαταστάθηκαν στη θέση της σημερινής Φιλερήμου, ονομαζόμενης τότε ως Αχαΐα. Το 1100 π.Χ., με το τέλος του Μυκηναϊκού πολέμου γίνεται κάθοδος των Δωριέων στη Ρόδο και κτίζονται οι τρεις πόλεις - κράτη της Ρόδου: η Λίνδος, η Ιαλυσός και η Κάμειρος, που μαζί με την Κώ, Κνίδο και Αλικαρνασσό ιδρύουν τη Δωρική Εξάπολη. Το 408 π.Χ. αναφαίνεται η πόλη της Ρόδου που αναπτύσσεται σε βάρος των τριών άλλων πόλεων του νησιού.

Ο Αρχάγγελος ήταν τότε γνωστός ως Δήμος Ποντορέων που άνηκε στο κράτος της Ιαλυσού και βρισκόταν στην παραλιακή θέση Πετρώνας. Στο Μεσαίωνα μεταφέρθηκε στο εσωτερικό για ασφάλεια από τις πειρατικές επιδρομές και πήρε το όνομα Αρχάγγελος. Η κεραμική τέχνη βρίσκεται σε ακμή και στο Μεσαίωνα. Ο αυτοκράτορας Ιουστινιανός πήρε από τον Πετρώνα τα ελαφρά τούβλα για να καλύψει το θόλο της Αγίας Σοφίας στην Κωνσταντινούπολη.

Το 1309 μ.Χ. η Ρόδος και ο Αρχάγγελος τίθενται υπό την εξουσία των Ιπποτών του Αγίου Ιωάννου μέχρι το 1522 μ.Χ. Στα χρόνια αυτά χτίστηκε και το κάστρο (1476 μ.Χ.) φρούριο για την προστασία των κατοίκων, ερείπια του οποίου σώζονται μέχρι σήμερα. Την περίοδο 1522-1912 μ.Χ. η Ρόδος τελεί υπό τη σκλαβιά των Αγαρηνών. Το 1912 οι Ιταλοί καταλαμβάνουν τα Δωδεκάνησα για 32 χρόνια. Το 1948 λαμβάνει χώρα η απελευθέρωση της Δωδεκανήσου και η ενσωμάτωσή της στην Ελλάδα.

Το 1998 πραγματοποιείται η συνένωση του Δήμου Αρχαγγέλου με τις κοινότητες Μαλώνων και Μασάρων [2].

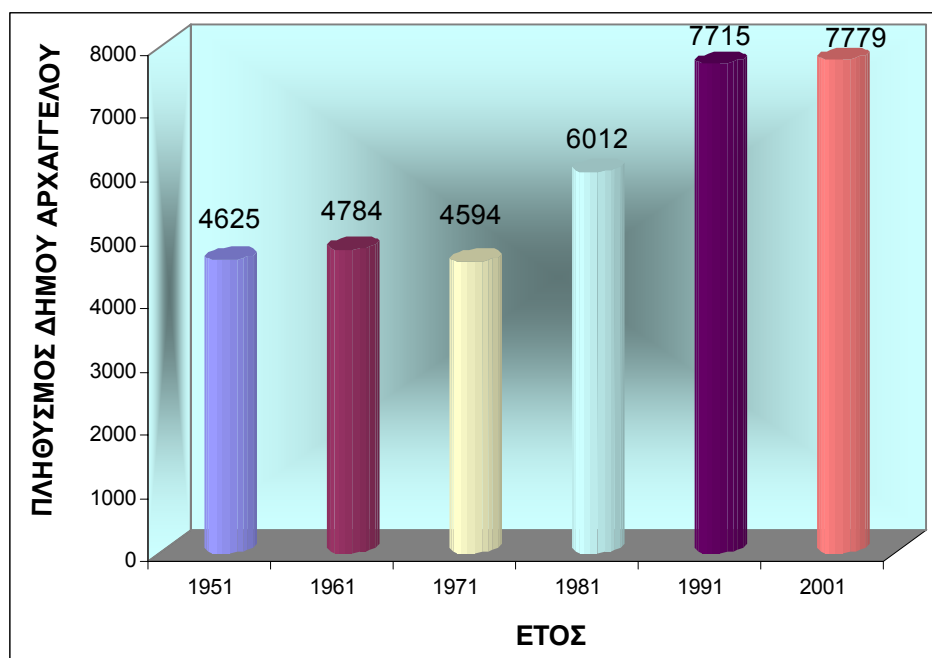
### **2.3 Δημογραφικά στοιχεία Δήμου Αρχαγγέλου**

Σύμφωνα με στοιχεία της ΕΣΥΕ, ο Δήμος Αρχαγγέλου παρουσιάζει την παρακάτω δημογραφική εξέλιξη για τα έτη 1951, 1961, 1971, 1981, 1991 και 2001 οπότε και έλαβε μέρος η τελευταία απογραφή της ΕΣΥΕ.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2-1**  
**Πληθυσμός Δήμου Αρχαγγέλου για τα έτη 1951, 1961, 1971, 1981, 1991 και 2001 [ΕΣΥΕ]**

	Πληθυσμός 1951	Πληθυσμός 1961	Πληθυσμός 1971	Πληθυσμός 1981	Πληθυσμός 1991	Πληθυσμός 2001
Αρχάγγελος	2588	2934	3024	4171	5872	5752
Μαλώνα	1405	1199	932	1049	1030	1096
Μάσαρη	632	651	638	792	813	931
ΣΥΝΟΛΟ	4625	4784	4594	6012	7715	7779

Παρακάτω παρατίθεται το συγκριτικό γράφημα της εξέλιξης του πληθυσμού του Δήμου Αρχαγγέλου για τα έτη 1951, 1961, 1971, 1981, 1991 και 2001.



**ΓΡΑΦΗΜΑ 2-1**

**Πληθυσμός Δήμου Αρχαγγέλου για τα έτη 1951, 1961, 1971, 1981, 1991 και 2001**

#### **2.4 Ανθρωπογενές οικονομικό περιβάλλον**

##### **- Πρωτογενής τομέας**

Παρατηρείται κυρίως εξειδίκευση σε παραδοσιακές καλλιέργειες όπως η ελαιοκαλλιέργεια και η καλλιέργεια εσπεριδοειδών, ενώ συναντάται επίσης και μια σχετικά μικρή καλλιέργεια κηπευτικών.

Η κτηνοτροφία έχει περιορισμένο μέγεθος, ενώ ένα μικρό κομμάτι του πληθυσμού ασχολείται με την αλιεία [2].

- Δευτερογενής τομέας

Στο Δήμο Αρχαγγέλου συναντώνται βιοτεχνίες παραδοσιακών χαλιών και ειδών κεραμικής, καθώς ο Αρχάγγελος είναι χωριό με παράδοση στην κεραμική, την ταπητουργία και την υποδηματοποιία, όπου οι ντόπιοι κατασκευάζουν παραδοσιακές μπότες από κατσικίσιο δέρμα [2].

- Τριτογενής τομέας

Συναντώνται διοικητικές και εκπαιδευτικές υπηρεσίες, καθώς και μερική τουριστική κίνηση.

Σύμφωνα με στοιχεία από τον ΕΟΤ για το έτος 1997, το ξενοδοχειακό δυναμικό του Δήμου Αρχαγγέλου αφορά τις κοινότητες Αρχαγγέλου και Μαλώνας και παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2-2**  
**Ξενοδοχειακό δυναμικό έτους 1997 [ΕΟΤ, Τμήμα Δωδ/σου]**

	ΑΑ		Α		Β		C		D		Ε		ΠΑΡΑΔ.		ΣΥΝΟΛΟ	
	ΜΟΝ.	ΚΛ.	ΜΟΝ.	ΚΛ.	ΜΟΝ.	ΚΛ.	ΜΟΝ.	ΚΛ.	ΜΟΝ.	ΚΛ.	ΜΟΝ.	ΚΛ.	ΜΟΝ.	ΚΛ.	ΜΟΝ.	ΚΛ.
ΑΡΧΑΓΓΕΛΟΥ			1	279			13	619	3	87					17	985
ΜΑΛΩΝΑΣ					1	29									1	29
ΣΥΝΟΛΟ			1.0	279.0	1.0	29.0	13.0	619.0	3.0	87.0					18.0	1014.0

## 2.5 Αποχέτευση και επεξεργασία λυμάτων

Στο Δήμο Αρχαγγέλου συναντώνται ακόμη βόθροι καθώς χαρακτηρίζεται από έλλειψη κεντρικών δικτύων αποχέτευσης. Μια λύση που έχουν υπόψη οι αρμόδιοι φορείς αφορά τη μελέτη δικτύων αποχέτευσης και την κατασκευή Αγωγού Μεταφοράς Λυμάτων στις Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων του Δήμου Ρόδου, που βρίσκεται στην περιοχή Βόδι [2]. Στην πρόταση αυτή αντιτίθεται ο Δήμος Καλλιθέας που ήδη εξυπηρετείται από την ΕΕΛ του Δήμου Ρόδου. Η κατασκευή φυσικών συστημάτων επεξεργασίας των

λυμάτων θα μπορούσε να αποτελέσει μια πολλά υποσχόμενη λύση στο συγκεκριμένο πρόβλημα του Δήμου Αρχαγγέλου.

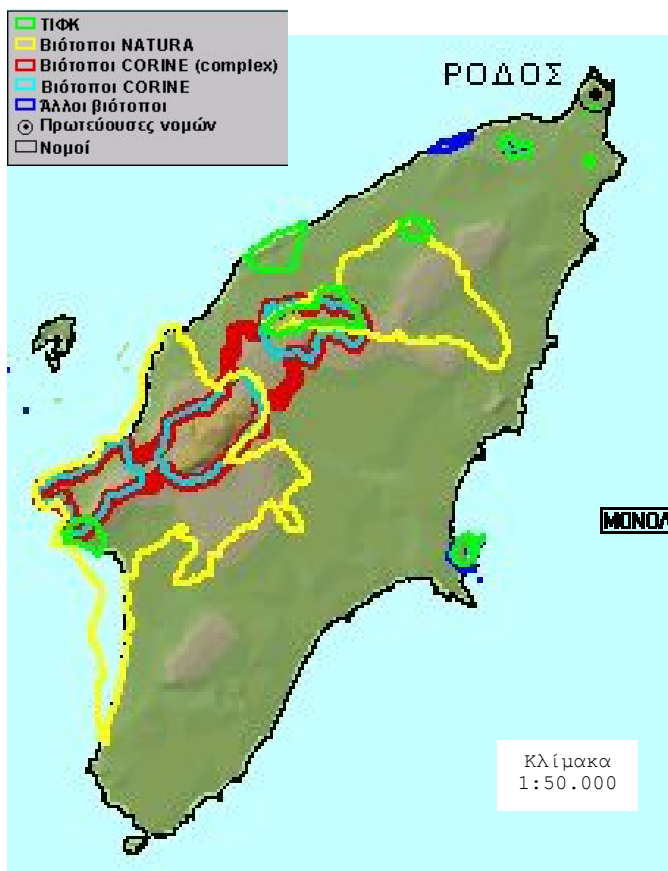
## **2.6 Περιοχές σε καθεστώς προστασίας**

Μικρή έκταση του Δήμου Αρχαγγέλου βρίσκεται υπό καθεστώς προστασία και συγκεκριμένα υπό "NATURA 2000".

Με τον όρο δίκτυο "NATURA 2000" καθορίζεται ένα σύνολο περιοχών, σε ευρωπαϊκό επίπεδο, στις οποίες έχουν αναγνωρισθεί άξιες ιδιαίτερης προστασίας λόγω της σημασίας των οικοτόπων και ειδών (χλωρίδας και πανίδας) στη φυσική τους περιοχή. Η δημιουργία αυτού του ευρωπαϊκού δικτύου προστατευμένων περιοχών στηρίζεται κυρίως σε δύο νομοθετικά κείμενα (Οδηγίες) της Ευρωπαϊκής Κοινότητας [4]:

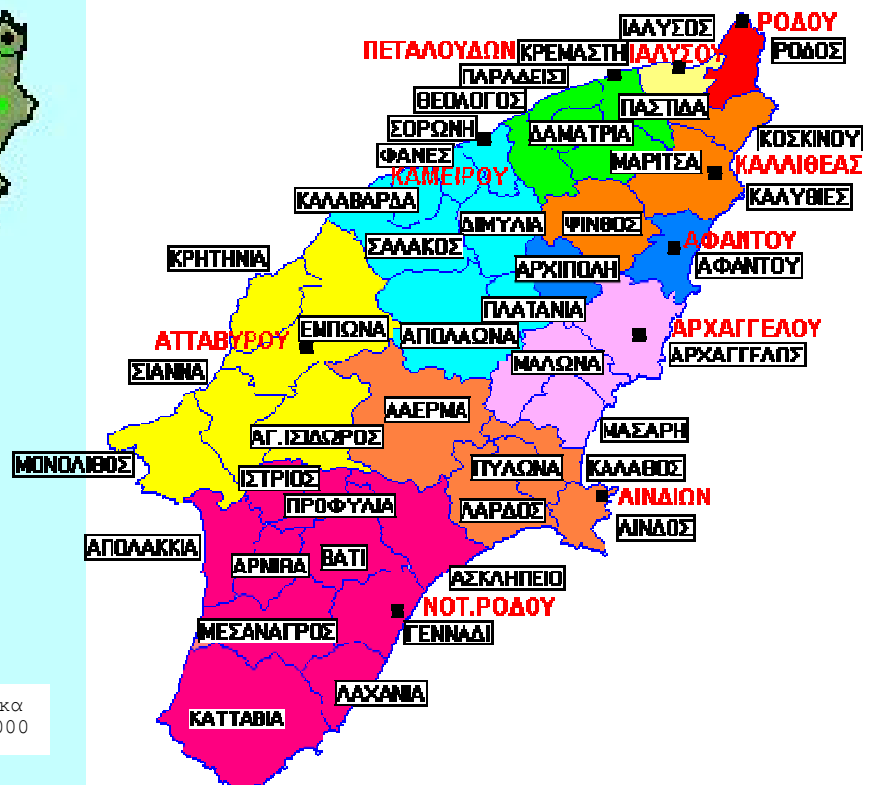
1. Στην Οδηγία 79/409/ΕΟΚ (ενσωμάτωση από Κ.Υ.Α. 414985/1985) του Συμβουλίου της 2/4/1979 για τη διατήρηση των άγριων πτηνών.
2. Στην Οδηγία 92/43/ΕΟΚ (ενσωμάτωση από Κ.Υ.Α. 33318/3028/28-12-98) του Συμβουλίου της 21/5/1992 για τη διατήρηση των φυσικών οικοτόπων καθώς και της αυτοφυσής χλωρίδας και άγριας πανίδας. Παράλληλα αντιπροσωπεύει το λογικό αποτέλεσμα μιας ενιαίας πολιτικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης προς την προστασία του περιβάλλοντος, που εγκαινιάστηκε το 1993 με το 5ο Πρόγραμμα Δράσης, με τίτλο "Για τη βιώσιμη ανάπτυξη", που ακολουθείται το 2001 από το 6ο Πρόγραμμα Δράσης.

Με χρήση της βάσης δεδομένων ΦΙΛΟΤΗΣ, του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, αποδίδονται στο παρακάτω σχήμα, εικονικά όλες οι προστατευόμενες περιοχές της νήσου Ρόδου, από όπου και διακρίνεται η περιοχή NATURA 2000 του Δήμου Αρχαγγέλου.



ΕΙΚΟΝΑ 2-3

Προστατευόμενες περιοχές της Ρόδου [3]



ΕΙΚΟΝΑ 2-4

Απεικόνιση δήμων και κοινοτήτων της νήσου Ρόδου [2]

Η βάση δεδομένων ΦΙΛΟΤΗΣ στηρίχτηκε στις εξής ερευνητικές δραστηριότητες:

- Το ευρωπαϊκό πρόγραμμα CORINE-Biotopes (1986-1996)
- Το ευρωπαϊκό πρόγραμμα MEDSPA (1990-1994)
- Το πρόγραμμα "Οριοθέτηση και Καθορισμός Μέτρων Προστασίας Τοπίων Ιδιαίτερου Φυσικού Κάλλους" του ΥΠΕΧΩΔΕ (1996-1999)

8 διπλωματικές εργασίες φοιτητών που εκπονήθηκαν στο Ε.Μ.Π.

## **2.7 Κλιματολογικά στοιχεία νήσου Ρόδου**

Το κλίμα γενικά χαρακτηρίζεται εύκρατο και γλυκό. Ο χειμώνας είναι μεσογειακός, υγρός και αρκετά μαλακός, δίχως παγωνιές και χιόνια. Το καλοκαίρι είναι ξηρό, δίχως να παρουσιάζονται όμως καύσωνες, καθώς το νησί δροσίζεται από δυτικούς ευχάριστους ανέμους. Η θερμοκρασία κυμαίνεται από 8,8 °C μέχρι 30,7 °C, με θερμότερους μήνες τους καλοκαιρινούς καθώς και το Σεπτέμβρη. Η μέση μηνιαία διεύθυνση των ανέμων είναι δυτική, εκτός από τους χειμερινούς μήνες, Δεκέμβρη, Ιανουάριο και Φεβρουάριο, που έχουν μέση μηνιαία διεύθυνση βορειοδυτική. Οι μεγαλύτερες τιμές της μέσης έντασης των ανέμων σημειώνονται τους καλοκαιρινούς μήνες. Το μεγαλύτερο ύψος βροχοπτώσεων μετρήθηκε τους χειμερινούς μήνες, οπότε και εμφανίζονται οι περισσότερες μέρες βροχής. Η μέση μηνιαία υγρασία φτάνει στα υψηλότερα επίπεδα κατά το Νοέμβρη, καθώς και κατά τους χειμερινούς μήνες, με σταδιακή μείωσή της την άνοιξη και περαιτέρω μείωση το καλοκαίρι, όπου από το μήνα Αύγουστο και κατά τους φθινοπωρινούς μήνες αυξάνεται και πάλι σταδιακά. Η ηλιοφάνεια εμφανίζει τη μικρότερη τιμή της κατά το μήνα Ιανουάριο και στη συνέχεια αυξάνεται, μέχρι να εμφανίσει τη μεγαλύτερη τιμή της κατά το μήνα Ιούλιο, οπότε και σταδιακά μειώνεται και πάλι. Τέλος, όσον αφορά τις τιμές της βαρομετρικής πίεσης, αυτή εμφανίζει τις χαμηλότερες τιμές της κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Στη συνέχεια, αναφέρονται αναλυτικά τα παραπάνω κλιματολογικά στοιχεία.



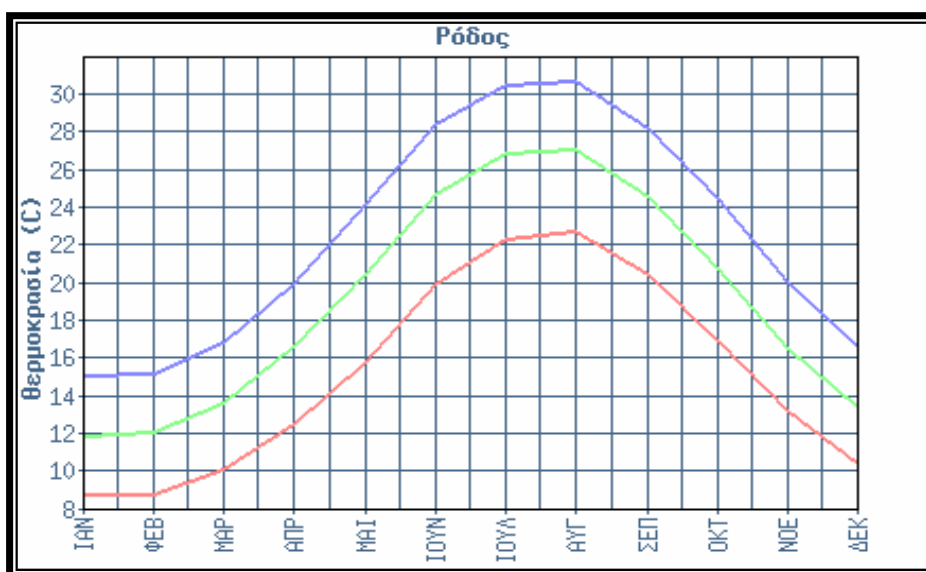
- Θερμοκρασία

Στον παρακάτω πίνακα εμφανίζεται η ελάχιστη, η μέση και η μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία της νήσου Ρόδου ανά μήνα, ενώ στη συνέχεια παρουσιάζεται το σχετικό διάγραμμα:

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2-3**

**Ελάχιστη, μέση και μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία ανά μήνα για τη νήσο Ρόδο [ΕΜΥ]**

1 <sup>ο</sup> ΕΞΑΜΗΝΟ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ
Ελάχιστη Μηνιαία Θερμοκρασία (°C)	8,8	8,8	10,1	12,5	15,8	19,9
Μέση Μηνιαία Θερμοκρασία (°C)	11,9	12,1	13,6	16,6	20,5	24,7
Μέγιστη Μηνιαία Θερμοκρασία (°C)	15,1	15,2	16,8	20,0	24,2	28,4
2 <sup>ο</sup> ΕΞΑΜΗΝΟ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Ελάχιστη Μηνιαία Θερμοκρασία (°C)	22,3	22,7	20,5	16,9	13,2	10,4
Μέση Μηνιαία Θερμοκρασία (°C)	26,9	27,1	24,6	20,8	16,5	13,4
Μέγιστη Μηνιαία Θερμοκρασία (°C)	30,5	30,7	28,2	24,5	20,1	16,6



**ΓΡΑΦΗΜΑ 2-2**

**Ελάχιστη, μέση και μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία (σε °C) ανά μήνα για τη νήσο Ρόδο [ΕΜΥ]**

Στο παραπάνω διάγραμμα, η μπλε γραμμή αναπαριστάνει τη μέγιστη θερμοκρασία κάθε μήνα, η πράσινη τη μέση μηνιαία θερμοκρασία, ενώ η κόκκινη την ελάχιστη θερμοκρασία κάθε μήνα.

- Ένταση ανέμων

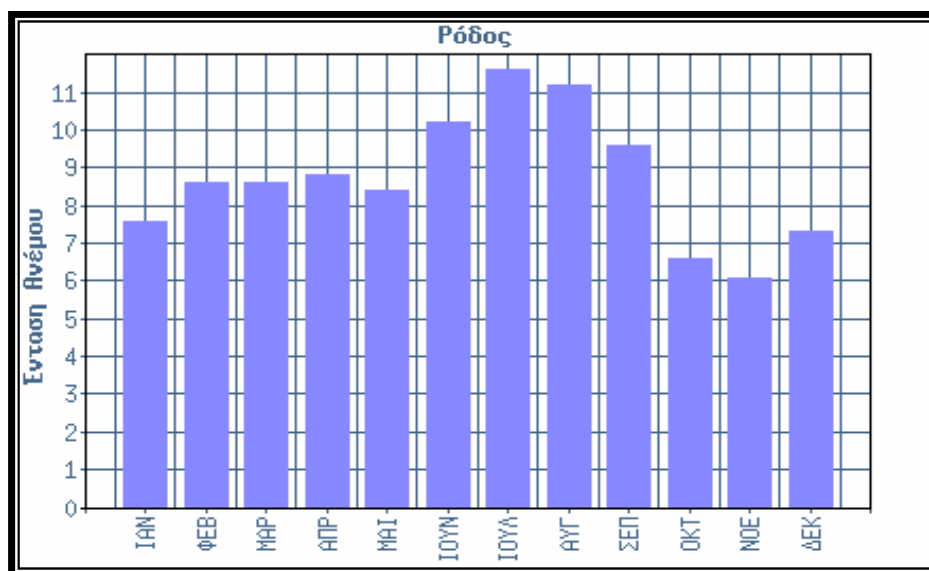
Στον παρακάτω πίνακα εμφανίζεται η μέση μηνιαία διεύθυνση των ανέμων καθώς και η μέση μηνιαία ένταση των ανέμων για τη νήσο Ρόδο ανά μήνα, ενώ στη συνέχεια παρουσιάζεται το σχετικό διάγραμμα:

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2-4**

**Μέση μηνιαία διεύθυνση και μέση μηνιαία ένταση των ανέμων ανά μήνα για τη νήσο Ρόδο [ΕΜΥ]**

1 <sup>ο</sup> ΕΞΑΜΗΝΟ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ
Μέση Μηνιαία Διεύθυνση Ανέμων	ΒΔ	ΒΔ	Δ	Δ	Δ	Δ
Μέση Μηνιαία Ένταση Ανέμων (σε Kt)	7,6	8,6	8,6	8,8	8,4	10,2
2 <sup>ο</sup> ΕΞΑΜΗΝΟ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Μέση Μηνιαία Διεύθυνση Ανέμων	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	ΒΔ
Μέση Μηνιαία Ένταση Ανέμων (σε Kt)	11,6	11,2	9,6	6,6	6,1	7,3

\* 1m/s = 1,944 Knots (Kt)



**ΓΡΑΦΗΜΑ 2-3**

**Μέση μηνιαία διεύθυνση και μέση μηνιαία ένταση των ανέμων (σε Kt) ανά μήνα για τη νήσο Ρόδο [ΕΜΥ]**

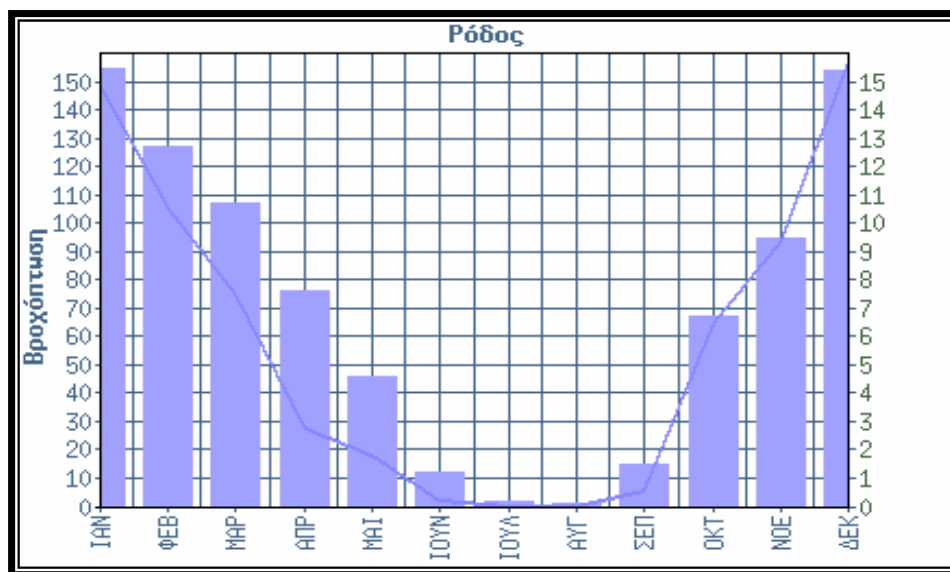
- Βροχοπτώσεις

Στον παρακάτω πίνακα εμφανίζεται η μέση μηνιαία βροχόπτωση καθώς και οι συνολικές μέρες βροχόπτωσης ανά μήνα στη νήσο Ρόδο, ενώ στη συνέχεια παρουσιάζεται το σχετικό διάγραμμα:

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2-5**

**Μέση μηνιαία βροχόπτωση και συνολικές μέρες βροχής ανά μήνα για τη νήσο Ρόδο [ΕΜΥ]**

1 <sup>ο</sup> ΕΞΑΜΗΝΟ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ
Μέση Μηνιαία Βροχόπτωση (mm)	149,6	105,7	75,6	27,8	18,6	2,3
Συνολικές Μέρες Βροχής	15,5	12,7	10,7	7,6	4,6	1,2
2 <sup>ο</sup> ΕΞΑΜΗΝΟ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Μέση Μηνιαία Βροχόπτωση (mm)	0,4	0,2	5,8	65,5	94,1	157,4
Συνολικές Μέρες Βροχής	0,2	0,1	1,5	6,7	9,5	15,4



**ΓΡΑΦΗΜΑ 2-4**

**Μέση μηνιαία βροχόπτωση (σε mm) και συνολικές μέρες βροχής ανά μήνα για τη νήσο Ρόδο [ΕΜΥ]**

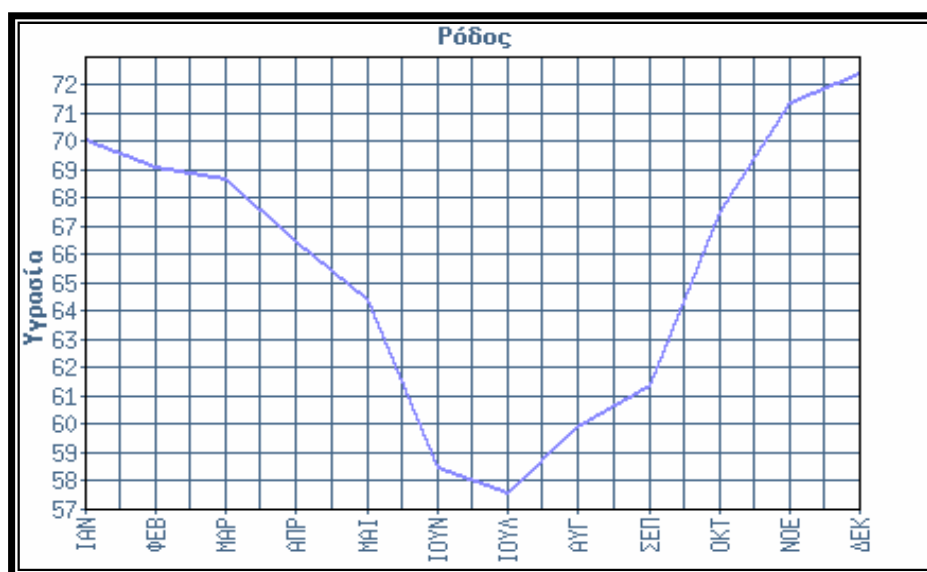
Στο παραπάνω διάγραμμα, οι ράβδοι αναπαριστούν τις συνολικές μέρες βροχής κάθε μήνα, που φαίνονται στον άξονα-y, στη δεξιά πλευρά του διαγράμματος. Η συνεχής γραμμή αναπαριστά τη μέση μηνιαία βροχόπτωση κάθε μήνα (σε mm), που φαίνεται στον άξονα-y, στην αριστερή πλευρά του διαγράμματος.

- Σχετική Υγρασία

Στον παρακάτω πίνακα εμφανίζεται η σχετική μέση μηνιαία υγρασία στη νήσο Ρόδο ανά μήνα, ενώ στη συνέχεια παρουσιάζεται το σχετικό διάγραμμα:

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2-6**  
**Σχετική μέση μηνιαία υγρασία ανά μήνα για τη νήσο Ρόδο [ΕΜΥ]**

1 <sup>ο</sup> ΕΞΑΜΗΝΟ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ
Σχετική Μέση Μηνιαία Υγρασία (%)	70,1	69,1	68,7	66,5	64,4	58,5
2 <sup>ο</sup> ΕΞΑΜΗΝΟ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Σχετική Μέση Μηνιαία Υγρασία (%)	57,6	59,9	61,4	67,5	71,4	72,4



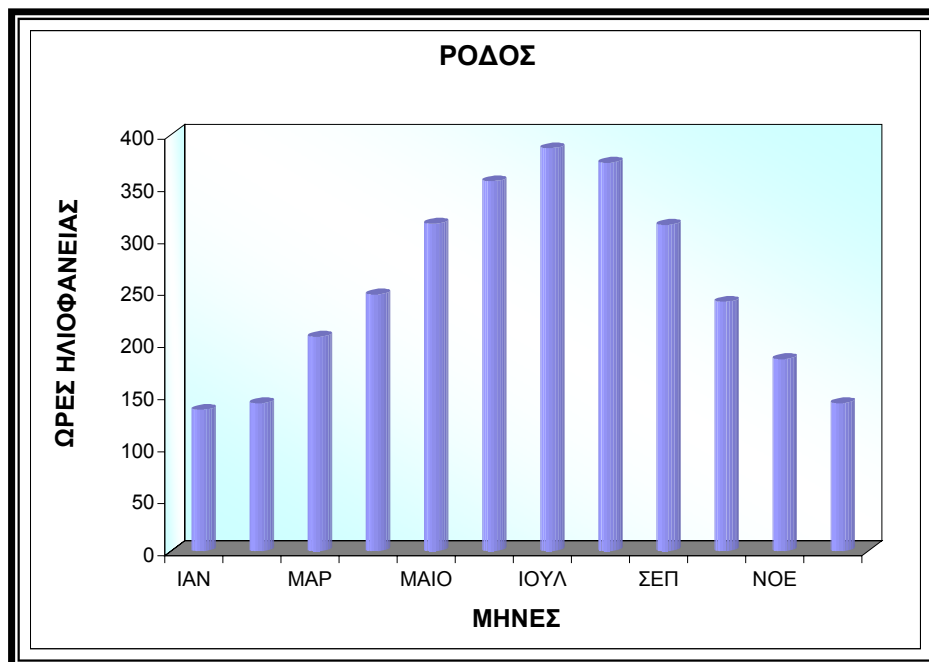
**ΓΡΑΦΗΜΑ 2-5**  
**Σχετική μέση μηνιαία υγρασία (%) ανά μήνα για τη νήσο Ρόδο [ΕΜΥ]**

- Ώρες ηλιοφάνειας

Στον παρακάτω πίνακα εμφανίζονται οι συνολικές ώρες ηλιοφάνειας ανά μήνα, για τη νήσο Ρόδο, ενώ στη συνέχεια παρουσιάζεται το σχετικό διάγραμμα:

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2-7**  
Συνολικές ώρες ηλιοφάνειας ανά μήνα για τη νήσο Ρόδο [ΕΜΥ]

1 <sup>ο</sup> ΕΞΑΜΗΝΟ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ
Ώρες Ηλιοφάνειας	135,7	142	206	246,7	314,5	355,5
2 <sup>ο</sup> ΕΞΑΜΗΝΟ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Ώρες Ηλιοφάνειας	387,1	373,3	313,6	239,6	184,4	142,1



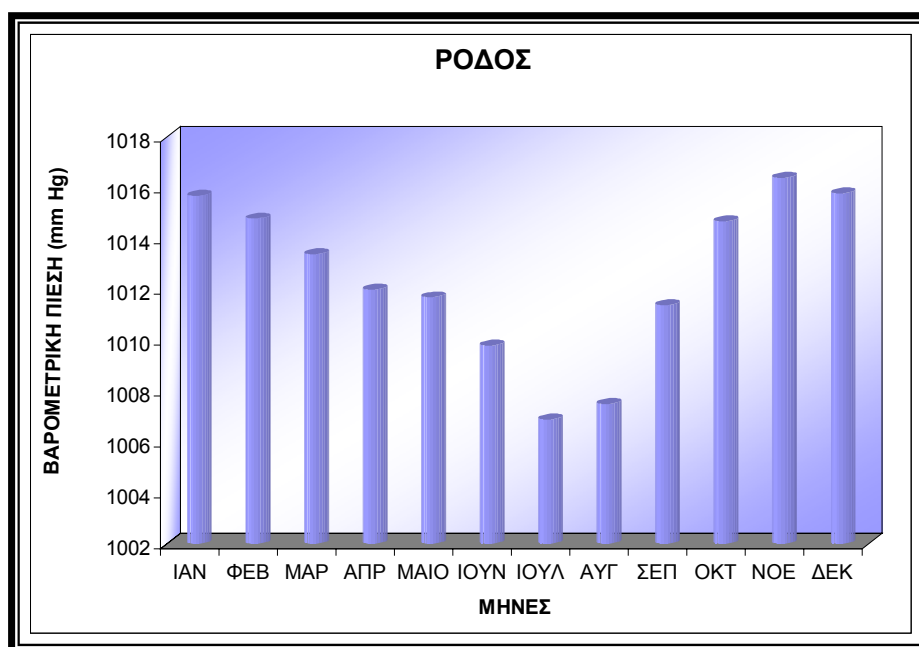
**ΓΡΑΦΗΜΑ 2-6**  
Συνολικές ώρες ηλιοφάνειας ανά μήνα για τη νήσο Ρόδο

- Βαρομετρική πίεση

Στον παρακάτω πίνακα εμφανίζονται οι τιμές βαρομετρικής πίεσης ανά μήνα, για τη νήσο Ρόδο, ενώ στη συνέχεια παρουσιάζεται το σχετικό διάγραμμα:

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2-8**  
**Βαρομετρική πίεση ανά μήνα για τη νήσο Ρόδο [ΕΜΥ]**

1 <sup>ο</sup> ΕΞΑΜΗΝΟ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ
Βαρομετρική Πίεση (mm Hg)	1015,7	1014,8	1013,4	1012	1011,7	1009,8
2 <sup>ο</sup> ΕΞΑΜΗΝΟ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Βαρομετρική Πίεση (mm Hg)	1006,9	1007,5	1011,4	1014,7	1016,4	1015,8



**ΓΡΑΦΗΜΑ 2-7**  
**Βαρομετρική πίεση (σε mm Hg) ανά μήνα για τη νήσο Ρόδο**

## **2.8 Γεωλογικά χαρακτηριστικά Δήμου Αρχαγγέλου**

Στη λιθοστρωματογραφική ομάδα Αρχαγγέλου, συναντώνται κυρίως άστροτοι ή ακανόνιστα παχυστρωματώδεις ανοικτοκάστανοι ασβεστόλιθοι καθώς και μικρά ποσοστά δολομίτη. Σε μικρές ποσότητες, στο κατώτερο τμήμα της ομάδας Αρχαγγέλου συναντώνται πυριτόλιθοι. Την ομάδα Αρχαγγέλου αποτελούν [5]:

- ~ Ασβεστόλιθος Σαλάκου.
- ~ Σχηματισμός Κουμούλι (Σκούρος καστανός λεπτοστρωματώδης ασβεστόλιθος, με ενστρώσεις καστανοπράσινης αργλικής μάργας).

## **2.9 Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά Δήμου Αρχαγγέλου**

Μικροί ασβεστολιθικοί όγκοι με ακανόνιστο ανάγλυφο εντοπίζονται νότια της Αρχαγγέλου. Συγκεκριμένα, το ανάγλυφο του εδάφους της Κοινότητας Αρχαγγέλου καθώς και της Κοινότητας Μασάρων χαρακτηρίζεται ως πεδινό, με εκτάσεις ίσες με 48,4 χιλιάδες στρέμματα και 23,6 χιλιάδες στρέμματα αντίστοιχα, ενώ το ανάγλυφο του εδάφους της Κοινότητας Μαλώνας χαρακτηρίζεται ως ημιορεινό, με εκτάσεις ίσες με 43,4 χιλιάδες στρέμματα [ΕΣΥΕ 1991].



**ΕΙΚΟΝΑ 2-5**

**Δήμος Αρχαγγέλου. Μάσαρη: Αριστερά, Αρχάγγελος: Κέντρο, Μαλώνα: Δεξιά [Greek-travel-guide.com]**

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΟΣΟΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ  
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΩΝ  
ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΩΝ ΣΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΛΥΜΑΤΩΝ



### 3.1 Υπολογισμός μόνιμων κατοίκων του Δήμου Αρχαγγέλου κατά το πέρας του χρόνου ζωής του έργου

Σύμφωνα με στοιχεία της ΕΣΥΕ, ο Δήμος Αρχαγγέλου παρουσιάζει την παρακάτω δημογραφική εξέλιξη για τα έτη 1951, 1961, 1971, 1981, 1991 και 2001 οπότε και έλαβε μέρος η τελευταία απογραφή της ΕΣΥΕ.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3-1

Πληθυσμός Δήμου Αρχαγγέλου για τα έτη 1951, 1961, 1971, 1981, 1991 και 2001 [ΕΣΥΕ]

	Πληθυσμός 1951	Πληθυσμός 1961	Πληθυσμός 1971	Πληθυσμός 1981	Πληθυσμός 1991	Πληθυσμός 2001
Αρχάγγελος	2588	2934	3024	4171	5872	5752
Μαλώνα	1405	1199	932	1049	1030	1096
Μάσαρη	632	651	638	792	813	931
ΣΥΝΟΛΟ	4625	4784	4594	6012	7715	7779

Ο χρόνος ζωής του συγκεκριμένου έργου καθορίζεται στα 40 χρόνια, δηλαδή έως το έτος 2047. Για τον υπολογισμό του μελλοντικού πληθυσμού του Δήμου Αρχαγγέλου γίνεται υπόθεση γεωμετρικής αύξησης του πληθυσμού, η οποία είναι η πλέον διαδεδομένη σήμερα για μικρούς οικισμούς, γιατί είναι απλή και δεν απαιτεί περαιτέρω στοιχεία εκτός από δεδομένα απογραφών [6]. Η γενική σχέση στην περίπτωση αυτή είναι:

$$P_v = P_o \cdot (1+\alpha)^v \quad (1)$$

όπου,

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

$P_o$  : ο σημερινός πληθυσμός

$\alpha$  : ο ετήσιος ρυθμός αύξησης των κατοίκων.

Σύμφωνα με τα στοιχεία των απογραφών ο ετήσιος ρυθμός αύξησης,  $\alpha$ , των κατοίκων ανά 10ετία παρουσιάζεται στον πίνακα που ακολουθεί.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3-2**  
Ετήσιος ρυθμός αύξησης,  $\alpha$ , των κατοίκων ανά 10ετία, για κάθε κοινότητα του Δήμου Αρχαγγέλου

	Δεκαετία 1951-1961	Δεκαετία 1961-1971	Δεκαετία 1971-1981	Δεκαετία 1981-1991	Δεκαετία 1991-2001
<b>Αρχάγγελος</b>	0,012627	0,003026	0,03268	0,034796	-0,00206
<b>Μαλώνα</b>	-0,01573	-0,02488	0,011896	-0,00183	0,00623
<b>Μάσαρη</b>	0,002966	-0,00202	0,021858	0,00262	0,013645

Μελετώντας τον παραπάνω πίνακα και λαμβάνοντας υπόψη πως δεν είναι σκόπιμο να ληφθεί ετήσιος ρυθμός αύξησης,  $\alpha$ , μικρότερος από 1 % για οικισμούς έως 5000 κατοίκους, ακόμα και αν από τα στοιχεία των απογραφών προκύπτει μικρότερη τιμή [6], λαμβάνεται ο ετήσιος ρυθμός αύξησης,  $\alpha$ , σταθερός μέχρι το έτος 2047 και ίσος με 1 %.

Σύμφωνα με τα παραπάνω ο μόνιμος πληθυσμός του Δήμου Αρχαγγέλου για το έτος 2047 αναμένεται να παρουσιάσει τις τιμές που παρουσιάζονται στον Πίνακα 3-3.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3-3**  
Αναμενόμενος μόνιμος πληθυσμός Δήμου Αρχαγγέλου για το έτος 2047

	Έτος 2047
<b>Αρχάγγελος</b>	9091
<b>Μαλώνα</b>	1732
<b>Μάσαρη</b>	1471
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>12294</b>

### 3.2 Υπολογισμός αριθμού τουριστών του Δήμου Αρχαγγέλου κατά το πέρασ του χρόνου ζωής του έργου

Ως δυσμενέστερη πληθυσμιακά περίοδος θεωρείται η καλοκαιρινή λόγω της παρουσίας τουριστών στην περιοχή μελέτης.

Σύμφωνα με στοιχεία από τον ΕΟΤ για το έτος 1997, το ξενοδοχειακό δυναμικό του Δήμου Αρχαγγέλου αφορά τις κοινότητες Αρχαγγέλου και Μαλώνας και παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3-4**  
**Ξενοδοχειακό δυναμικό έτους 1997 [ΕΟΤ, Τμήμα Δωδ/σου]**

	ΑΑ		Α		Β		C		D		Ε		ΠΑΡΑΔ.		ΣΥΝΟΛΟ	
	ΜΟΝ.	ΚΛ.	ΜΟΝ.	ΚΛ.	ΜΟΝ.	ΚΛ.	ΜΟΝ.	ΚΛ.	ΜΟΝ.	ΚΛ.	ΜΟΝ.	ΚΛ.	ΜΟΝ.	ΚΛ.	ΜΟΝ.	ΚΛ.
ΑΡΧΑΓΓΕΛΟΥ			1	279			13	619	3	87					17	985
ΜΑΛΩΝΑΣ					1	29									1	29
ΣΥΝΟΛΟ			1.0	279.0	1.0	29.0	13.0	619.0	3.0	87.0					18.0	1014.0

Παρατηρείται πως στο Δήμο Αρχαγγέλου δε σημειώνεται σημαντική τουριστική κίνηση, η οποία και περιορίζεται κυρίως στην κοινότητα Αρχαγγέλου. Στο σημείο αυτό, λαμβάνοντας υπόψη τα στοιχεία του παραπάνω πίνακα και λόγω έλλειψης περαιτέρω στοιχείων, θεωρείται πως ο αναμενόμενος αριθμός των κλινών του Δήμου θα διπλασιαστεί έως το έτος 2047, λαμβάνοντάς τον ίσον με 2000 κλίνες.

### 3.3 Υπολογισμός εξυπηρετούμενου πληθυσμού

Σύμφωνα με τα παραπάνω ο εξυπηρετούμενος πληθυσμός της εγκατάστασης κατά τη χειμερινή περίοδο του έτους 2047, περιορίζεται στους μόνιμους κατοίκους του Δήμου και ισούται με περίπου με **12300 άτομα**.

Παράλληλα, προκύπτει από τους υπολογισμούς των παραγράφων 3.1 και 3.2 πως ο εξυπηρετούμενος πληθυσμός της εγκατάστασης κατά τη δυσμενέστερη πληθυσμιακά

περίοδο, δηλαδή το καλοκαίρι του έτους 2047, ισούται με 12300 μόνιμους κατοίκους + 2000 τουρίστες = **14300 άτομα**.

### 3.4 Υπολογισμός ποσοτικών χαρακτηριστικών των λυμάτων

#### Μοναδιαία Μέση Ημερήσια Παραγωγή Λυμάτων

Η μοναδιαία μέση ημερήσια παραγωγή λυμάτων ( $q$ ) παρουσιάζει διαφοροποιήσεις ανάλογα με τη δομή και το μέγεθος ενός οικισμού, αλλά και των παραδόσεων των κατοίκων. Αξιολογώντας τιμές της μοναδιαίας μέσης ημερήσιας παραγωγής λυμάτων άλλων δήμων, τόσο της Ρόδου (π.χ. Δήμος Πεταλούδων), όσο και άλλων περιοχών της Ελλάδας με παρόμοιες κατηγορίες παραγωγής λυμάτων, όπως τα ελαιοτριβεία (π.χ. Δήμος Καστελλίου Νομού Ηρακλείου) και σε συσχέτιση με το μέγεθος των οικισμών, υπήρξαν οι παρακάτω θεωρήσεις της μοναδιαίας μέσης ημερήσιας παραγωγής λυμάτων για το Δήμο Αρχαγγέλου:

$q$ : 110 lt/κάτοικο/d, για το χειμώνα
$q$ : 150 lt/κάτοικο/d για το καλοκαίρι

#### Συντελεστής Αιχμής

Η τιμή του συντελεστή αιχμής ( $\Sigma.A$ ) λαμβάνεται ίση με:

$\Sigma.A$ : 1,5
------------------

Από τα παραπάνω στοιχεία υπολογίζονται:

#### ➤ Η Μέγιστη Ημερήσια Παραγωγή Λυμάτων

Η μέγιστη ημερήσια παραγωγή λυμάτων (ΜΗΠΛ) υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{ΜΗΠΛ} = q \cdot \Sigma.A$$

Άρα,

ΜΗΠΛ: 165 lt/κάτοικο/d, για το χειμώνα

ΜΗΠΛ: 225 lt/κάτοικο/d, για το καλοκαίρι

#### ➤ Το Μέσο Ημερήσιο Υδραυλικό Φορτίο

Το μέσο ημερήσιο υδραυλικό φορτίο ( $Q_d$ ) υπολογίζεται ως εξής:

$$Q_d = q \cdot P_{2047}$$

Όπου  $P_{2047}$  ο υπολογισμένος πληθυσμός του έτους 2047

Άρα,

$Q_d = 1353000 \text{ lt/d} = 1353 \text{ m}^3/\text{d}$ , για το χειμώνα

$Q_d = 2145000 \text{ lt/d} = 2145 \text{ m}^3/\text{d}$ , για το καλοκαίρι

#### ➤ Το Μέγιστο Ημερήσιο Υδραυλικό Φορτίο

Το μέγιστο ημερήσιο υδραυλικό φορτίο ( $Q_{d, \max}$ ) υπολογίζεται ως εξής:

$$Q_{d, \max} = Q_d \cdot \Sigma.A$$

Άρα,

$Q_{d, \max} = 2030 \text{ m}^3/\text{d}$ , για το χειμώνα $Q_{d, \max} = 3218 \text{ m}^3/\text{d}$ , για το καλοκαίρι
--

#### ➤ Η Μέση Ωριαία Παροχή Λυμάτων (για τη μέγιστη ημερήσια παροχή)

Η μέση ωριαία παροχή λυμάτων ( $Q_h$ ), υπολογίζεται ως εξής:

$$Q_h = Q_{d, \max} / 24$$

Άρα,

$Q_h = 85 \text{ m}^3/\text{h}$ , για το χειμώνα $Q_h = 134 \text{ m}^3/\text{h}$ , για το καλοκαίρι
---

#### ➤ Το Μέγιστο Ωριαίο Υδραυλικό Φορτίο

Αρχικά υπολογίζεται ο συντελεστής αιχμής  $P$ , τόσο για το χειμώνα, όσο και για το καλοκαίρι χωριστά:

$$P = 1,5 + 2,5 / (Q_{d, \max})^{1/2} = 1,5 + 2,5 / (23,5 \text{ lt/sec})^{1/2} = 2,02, \text{ για το χειμώνα}$$

$$P = 1,5 + 2,5 / (Q_{d, \max})^{1/2} = 1,5 + 2,5 / (37,2 \text{ lt/sec})^{1/2} = 1,91, \text{ για το καλοκαίρι}$$

Έτσι, το μέγιστο ωριαίο υδραυλικό φορτίο ( $Q_{h, \max}$ ), υπολογίζεται ως εξής:

$$Q_{h, \max} = P \cdot Q_h$$

Άρα,

$$Q_{h, \max} = 171,7 \text{ m}^3/\text{h}, \text{ για το χειμώνα}$$

$$Q_{h, \max} = 255,94 \text{ m}^3/\text{h}, \text{ για το καλοκαίρι}$$

### 3.5 Ποιοτικά χαρακτηριστικά των λυμάτων

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των εισερχόμενων στο έργο λυμάτων εξαρτώνται από τις κατηγορίες των προερχόμενων λυμάτων. Στην παρούσα μελέτη, όσον αφορά το καλοκαίρι, η εισροή αφορά αποκλειστικά αστικά λύματα, ενώ το χειμώνα υπάρχει παρουσία εισροής λυμάτων ελαιοτριβείων.

Τα λύματα αυτά είναι μια σειρά παραπροϊόντων που προέρχονται από την κατεργασία του ελαιοκάρπου στα ελαιουργεία. Αυτά είναι ο ελαιοπυρήνας, τα ελαιόφυλλα και ποσότητα υγρών αποβλήτων οργανικού φορτίου, γνωστό ως κατσίγαρος. Η άμεση επίπτωση του κατσίγαρου στο περιβάλλον είναι η αισθητική υποβάθμιση που προκαλεί, η οποία οφείλεται στην έντονη οσμή του και στο σκούρο χρώμα του. Επιπλέον, εξαιτίας του υψηλού οργανικού φορτίου που περιέχει, είναι πιθανόν να δημιουργήσει ευτροφικά φαινόμενα σε περίπτωση που καταλήγει σε αποδέκτες με μικρή ανακυκλοφορία νερών. Παράλληλα σημειώνεται πως έχει ιδιαίτερες τοξικές ιδιότητες έναντι των φυτών, ενώ αποικοδομείται με βραδύ σχετικά ρυθμό. Η ανεξέλεγκτη διάθεση αυτών των λυμάτων δημιουργεί διατάραξη της οικολογικής ισορροπίας, αφού διαθέτουν υψηλές τιμές  $BOD_5$  και  $COD$ , ενώ είναι εύκολη η διείσδυσή τους στους υπόγειους υδροφορείς, εξαιτίας της διάβρωσης που παρατηρείται από την όξινη αντίδρασή τους και τη μεγάλη ρυθμιστική τους ικανότητα [7].

Σημειώνεται πως, λόγω απουσίας αναλύσεων των λυμάτων στην περιοχή, η ποιότητα των εισερχομένων το χειμώνα λυμάτων βασίστηκε σε αναλύσεις που έχουν γίνει σε διάφορα μέρη της Κρήτης στα οποία λαμβάνει χώρα αποκλειστικά εισροή αστικών λυμάτων και λυμάτων ελαιοτριβείου με παρόμοια επεξεργασία με την παρούσα περίπτωση. Όσον αφορά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των εισερχομένων λυμάτων κατά την καλοκαιρινή περίοδο, αυτή ακολουθεί τυπικά τη σύσταση των αστικών λυμάτων, καθώς κατά την περίοδο αυτή δε σημειώνεται άλλη εισροή. Έτσι, η ποιοτική σύσταση των εισερχομένων στο έργο λυμάτων παρουσιάζεται στον πίνακα που ακολουθεί.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3-5**  
**Αναμενόμενη ποιοτική σύσταση των εισερχομένων στη μονάδα λυμάτων [7]**

	<b>Χειμώνας</b>	<b>Καλοκαίρι</b>
<b>Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο, BOD<sub>5</sub></b>	500 mg/l	330 mg/l
<b>Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο, COD</b>	750 mg/l	700 mg/l
<b>Ολικό άζωτο</b>	100 mg/l	80 mg/l
<b>Ολικός φώσφορος</b>	20 mg/l	15 mg/l
<b>Αιωρούμενα στερεά</b>	290 mg/l	200 mg/l
<b>Ολικά κολοβακτηρίδια</b>	10 <sup>7</sup> αποικίες/100ml	10 <sup>7</sup> αποικίες/100ml
<b>Κοπρανώδη κολοβακτηρίδια</b>	10 <sup>6</sup> αποικίες/100ml	10 <sup>6</sup> αποικίες/100ml



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>

## ΦΥΣΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

#### **4.1 Γενικά για τα φυσικά συστήματα**

Ως φυσικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων χαρακτηρίζονται τα συστήματα αυτά, όπου η επεξεργασία του υγρού αποβλήτου πραγματοποιείται με φυσικά μέσα και διεργασίες, όπως είναι οι φυσικές, οι χημικές, οι βιολογικές διεργασίες ή συνδυασμός τους, που συμβαίνουν στο περιβάλλον έδαφος – απόβλητο – φυτό. Οι διάφορες φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες συμβαίνουν στο φυσικό περιβάλλον, με την αλληλεπίδραση του νερού, του εδάφους, της ατμόσφαιρας και των μικροοργανισμών.

Τα φυσικά συστήματα επεξεργασίας σχεδιάζονται έτσι, ώστε να χρησιμοποιούν τα πλεονεκτήματα τέτοιων φυσικών διεργασιών στην επεξεργασία υγρών των αποβλήτων. Οι διεργασίες αυτές είναι οι ίδιες με τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στα μηχανικά ή συμβατικά συστήματα επεξεργασίας και περιλαμβάνουν:

- ✧ Την καθίζηση.
- ✧ Τη φίλτρανση.
- ✧ Τη μεταφορά αερίων.
- ✧ Την προσρόφηση.
- ✧ Την ιονική εναλλαγή.
- ✧ Τη χημική κατακρήμνιση.
- ✧ Τη χημική οξείδωση και αναγωγή.
- ✧ Τη βιολογική μετατροπή και αποδόμηση.
- ✧ Τη φωτοσύνθεση, τη φωτοοξείδωση και την πρόσληψη από τα φυτά.

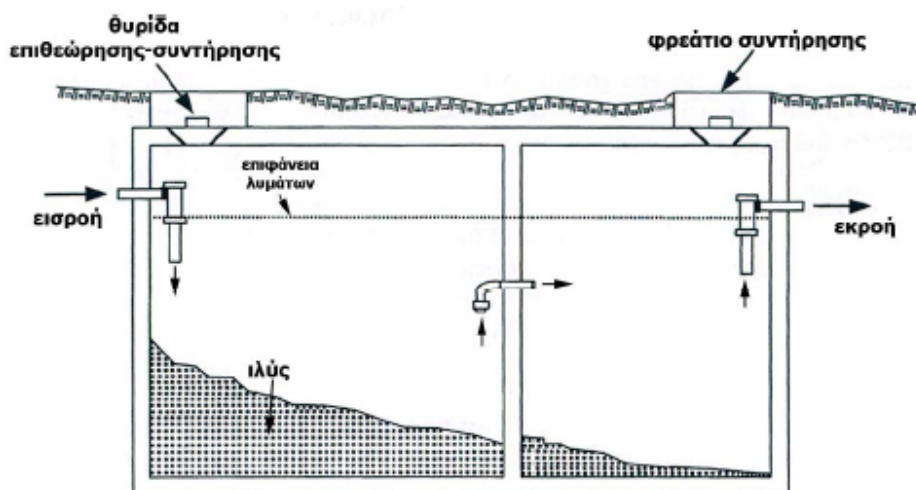
Στα φυσικά συστήματα οι διεργασίες επεξεργασίας λαμβάνουν χώρα με “φυσικές” ταχύτητες, περισσότερες από μια παράλληλα και μάλιστα σε έναν “οικο-αντιδραστήρα”, σε αντίθεση με τα συμβατικά συστήματα όπου οι διεργασίες πραγματοποιούνται με υψηλότερες ταχύτητες, διαδοχικά και μάλιστα σε διαφορετικούς αντιδραστήρες στη σειρά.

Τα φυσικά συστήματα επεξεργασίας είναι κατάλληλα για την επεξεργασία των αποβλήτων μικρών οικισμών, όπου η κατασκευή, λειτουργία και συντήρηση συμβατικών μονάδων επεξεργασίας είναι ασύμφορη οικονομικά. Τα συστήματα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επεξεργασία διάφορων τύπων υγρών αποβλήτων, όπως αστικών, βιομηχανικών, γεωργικών και κτηνοτροφικών.

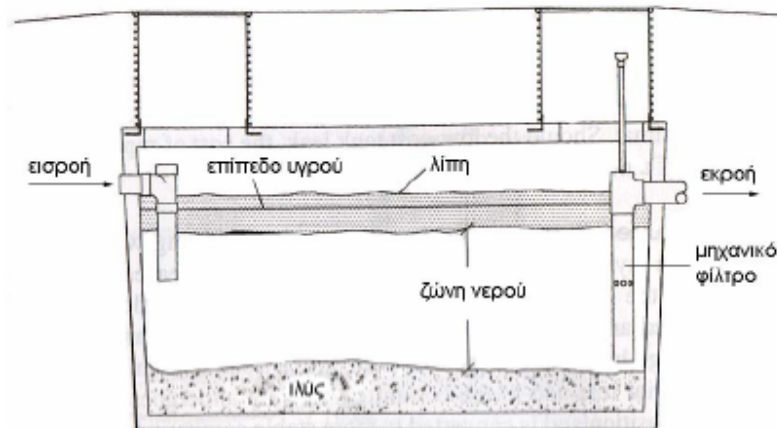
Τα φυσικά συστήματα κατατάσσονται στις παρακάτω κατηγορίες:

### **1. Τα Επιτόπια Συστήματα ή Συστήματα των Σηπτικών Δεξαμενών ή Βόθρων (on site or systems septic tanks)**

Τα συστήματα αυτά είναι τα πλέον διαδεδομένα για αραιοκατοικημένους μικρούς ή μεγαλύτερους οικισμούς, καθώς και για παραθεριστικές κατοικίες, όταν υπάρχει ικανοποιητικός κατάλληλος χώρος στο οικόπεδο κάθε κατοικίας. Σήμερα, για λόγους μεγαλύτερης προστασίας των υπόγειων νερών, τα συστήματα αυτά έχουν αντικατασταθεί από **στεγανούς βόθρους** και εφαρμόζονται, για πολύ μικρές παροχές λυμάτων. Η μελέτη και κατασκευή τους γίνεται με βάση τον εξυπηρετούμενο πληθυσμό και τις τοπικές συνθήκες, που αφορούν κυρίως τη διαπερατότητα των εδαφών.



**ΕΙΚΟΝΑ 4-1**  
**Κλασσική σηπτική δεξαμενή δύο χώρων [29]**



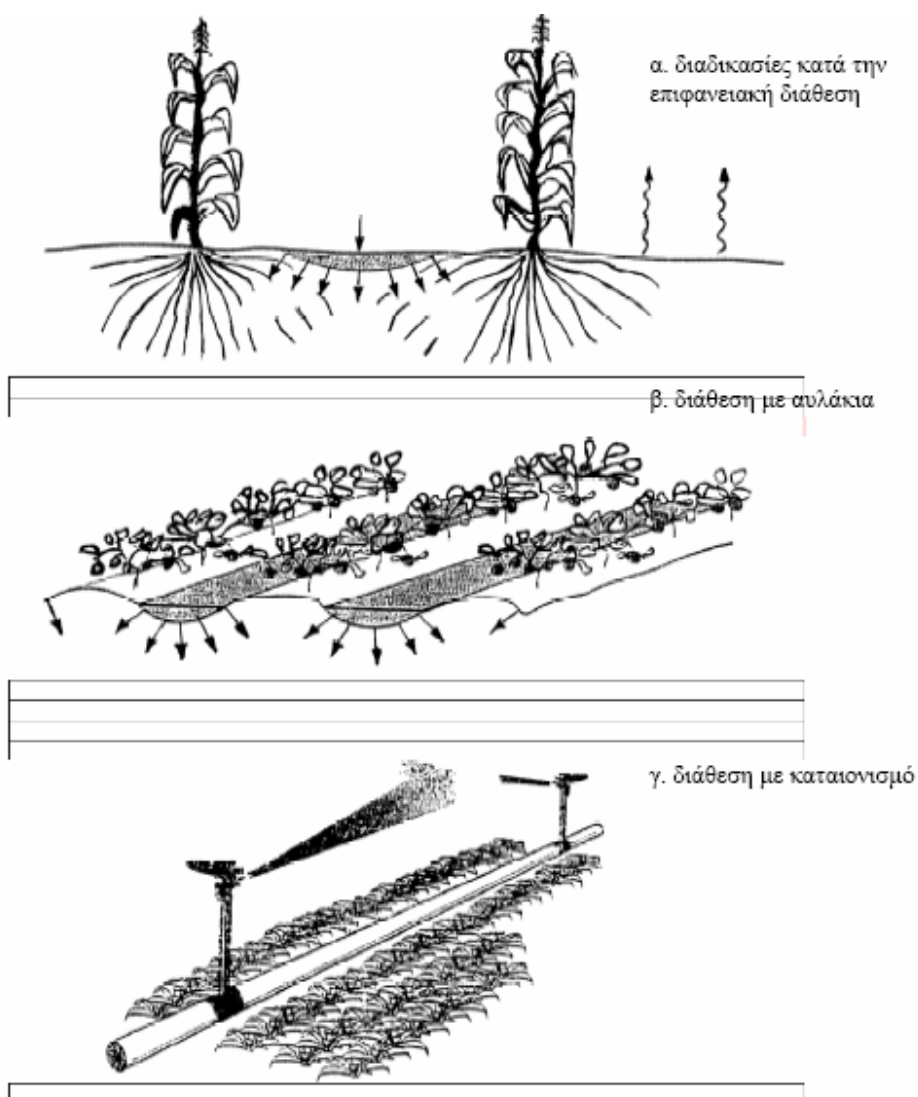
ΕΙΚΟΝΑ 4-2

Σηπτική δεξαμενή με ενσωματωμένο μηχανικό φίλτρο στην εκροή [29]

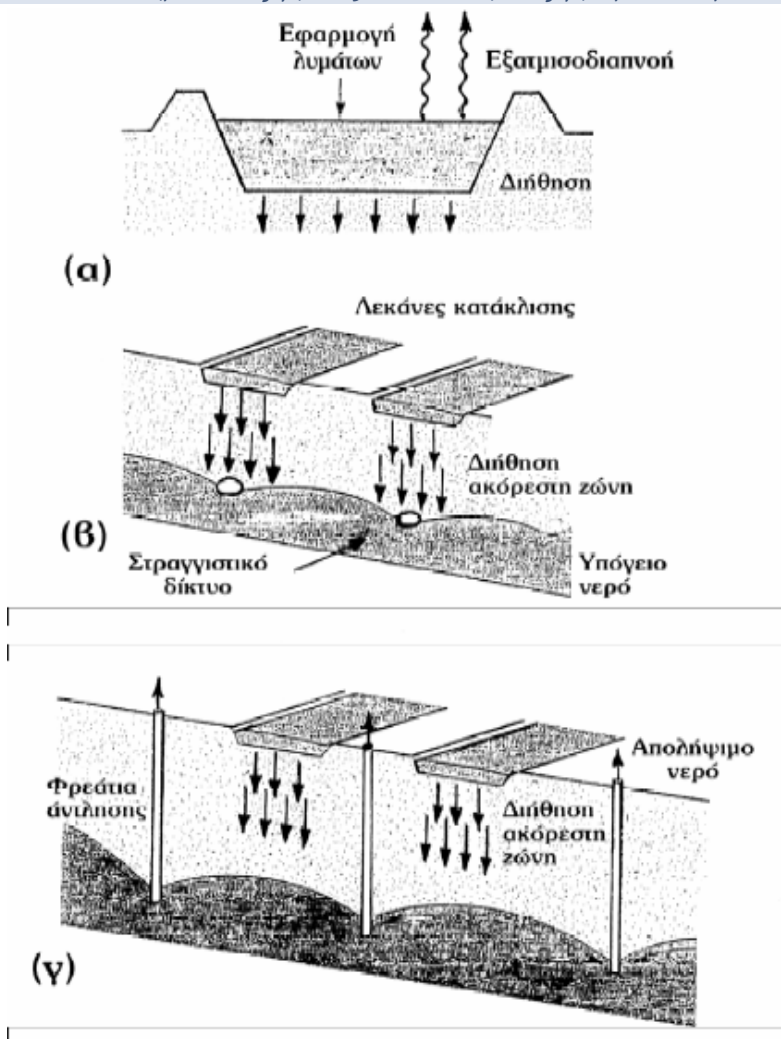
## 2. Τα Εδαφικά Συστήματα (Land treatment wastewater systems)

Τα συστήματα αυτά βασίζονται στο έδαφος ή σε βαθύτερους γεωλογικούς σχηματισμούς. Μετά την εφαρμογή των προεπεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στην επιφάνεια του εδάφους, επιτυγχάνεται περαιτέρω επεξεργασία τους δια μέσου των φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών που συμβαίνουν στο έδαφος και στους βαθύτερους γεωλογικούς σχηματισμούς. Τα υδραυλικά φορτία εφαρμογής πρέπει να είναι συμβατά με τις φυσικοχημικές ιδιότητες των χρησιμοποιούμενων εδαφών και των υποκείμενων γεωλογικών σχηματισμών. Τέτοια συστήματα είναι:

- i. Τα **βραδείας εφαρμογής** (Slow Rate, SR).
- ii. Τα **ταχείας διήθησης** (Rapid Infiltration, RI).
- iii. Τα **επιφανειακής ροής** (Overland Flow, OF).
- iv. Οι **συνδυασμένοι τύποι** (Combination Land, CL).

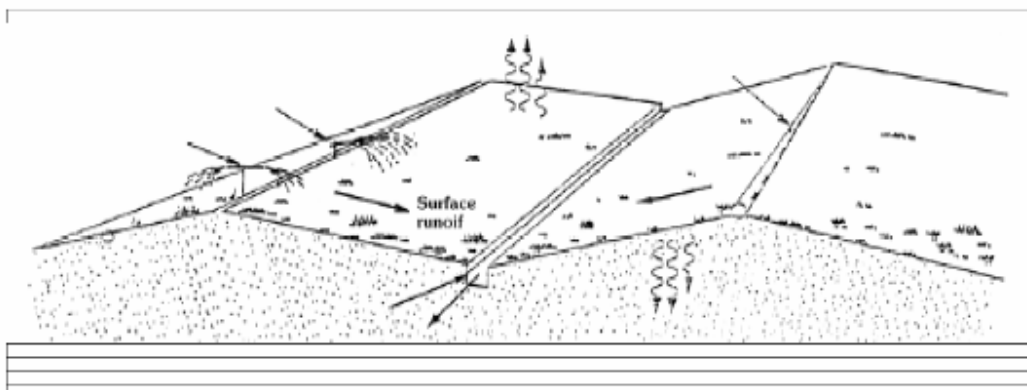


**ΕΙΚΟΝΑ 4-3**  
**Σύστημα βραδείας εφαρμογής [29]**



ΕΙΚΟΝΑ 4-4

Σύστημα ταχείας διήθησης: α) διαδικασίες κατά τη διάθεση, β) στραγγιστικό δίκτυο απόληψης λυμάτων, γ) φρεάτια απόληψης λυμάτων [29]



ΕΙΚΟΝΑ 4-5

Σύστημα επιφανειακής απορροής [29]

### **3. Τα Συστήματα Λιμνών Σταθεροποίησης (wastewater stabilization ponds systems - WSP)**

Η επεξεργασία των λυμάτων στα συστήματα αυτά αποδίδεται στις διάφορες διεργασίες οι οποίες λαμβάνουν χώρα και οφείλονται στη μικροβιακή ζωή καθώς και στα κατώτερα φυτά και ζώα που αναπτύσσονται στο σύστημα. Τα συστήματα των δεξαμενών σταθεροποίησης απαιτούν, για την κατασκευή των διαφόρων επιμέρους έργων τους, μικρότερη έκταση από τα εδαφικά συστήματα και περιλαμβάνουν τους επιμέρους τύπους:

- α) τις **αερόβιες λίμνες** (aerobic ponds),
- β) τις **επαμφοτερίζουσες λίμνες** (facultative ponds),
- γ) τις **λίμνες ωρίμανσης** (maturation ponds),
- γ) τις **μερικής ανάμειξης αεριζόμενες δεξαμενές** (partial-mix aerated ponds),
- δ) τις **δεξαμενές ελεγχόμενης παροχής** (controlled discharge ponds).

Οι δεξαμενές σταθεροποίησης χρησιμοποιούνται για ένα ευρύ φάσμα καιρικών συνθηκών, από μόνες τους ή σε συνδυασμό με άλλα συστήματα επεξεργασίας λυμάτων.

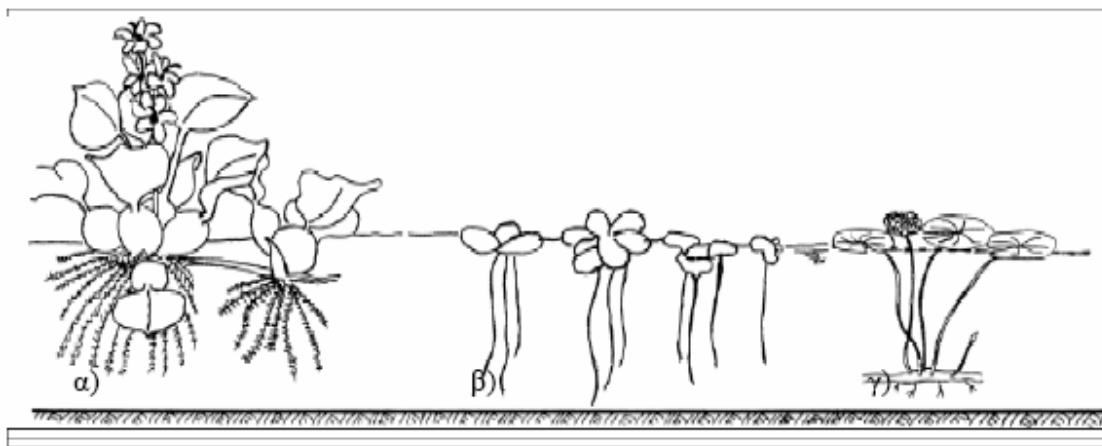
### **4. Τα Συστήματα Υδροχαρών Φυτών (aquatic plants treatment systems - APS)**

Τα συστήματα αυτά είναι παρόμοια με τα συστήματα των δεξαμενών σταθεροποίησης, με τη διαφορά ότι στις δεξαμενές καλλιεργούνται υδροχαρή φυτά, για περαιτέρω επεξεργασία των υγρών αποβλήτων. Διακρίνονται σε δύο επιμέρους τύπους συστημάτων:

- α) τα **συστήματα με επιπλέοντα υδροχαρή φυτά**
- β) τα **συστήματα με βυθισμένα υδροχαρή φυτά**

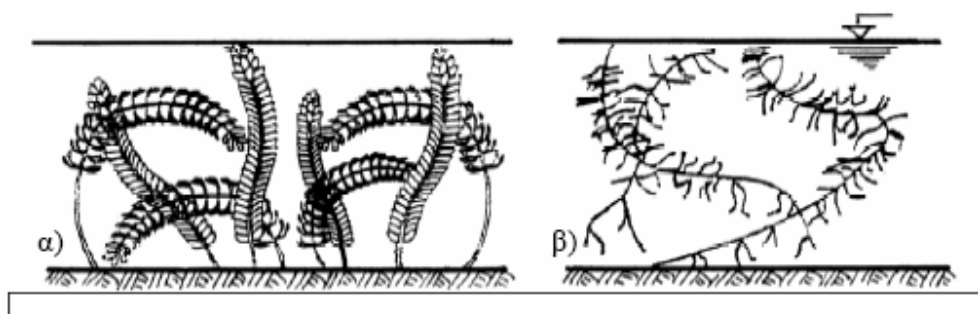
Σε διεθνές επίπεδο μεγαλύτερη βαρύτητα δίνεται στα συστήματα με επιπλέοντα υδροχαρή φυτά, όπως είναι οι υδροχαρείς υάκινθοι (*Eichornea crassipes*), τα κοινά λήμνα (*Lemna* sp.) και τα νούφαρα (*Nuphar* spp.). Με τα φύλλα των φυτών αυτών

καλύπτεται η επιφάνεια του νερού, οπότε με τη σκιά τους αποφεύγεται η ανάπτυξη αλγών στις δεξαμενές. Επιπρόσθετα, το εκτεταμένο ριζικό σύστημα των φυτών δημιουργεί ένα υπόστρωμα για την ανάπτυξη μικροοργανισμών, οι οποίοι αποικοδομούν ακόμα περισσότερο τους ρύπους των λυμάτων, επιτυγχάνοντας έτσι την καλύτερη δυνατή επεξεργασία τους.



ΕΙΚΟΝΑ 4-6

Επιπλέοντα υδροχαρή φυτά: α)υδροχαρείς υάκινθοι, β) λέμνα, γ) νούφαρα [29]



ΕΙΚΟΝΑ 4-7

Βυθισμένα υδροχαρή φυτά: α) Υδροφίλη, β) άλγη [29]

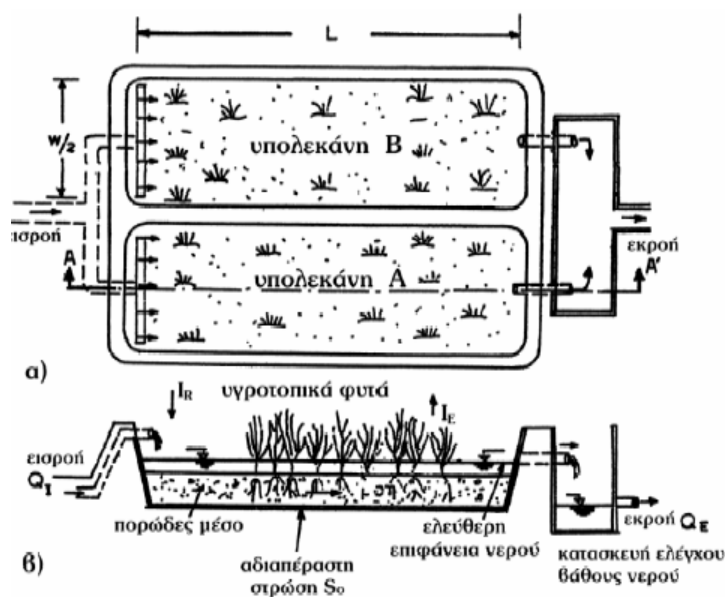


## 5. Τα Συστήματα Τεχνητών Υγροτόπων (wastewater constructed wetlands treatment systems)

Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται για περαιτέρω επεξεργασία των προεπεξεργασμένων λυμάτων, όπως και τα προηγούμενα φυσικά συστήματα. Αποτελούνται από λεκάνες μικρού βάθους, στις οποίες τοποθετείται μια εδαφική στρώση και καλλιεργούνται διάφορα υδροχαρή φυτά, όπως είναι οι κοινές καλαμιές (*Phragmites communis*), τα διάφορα είδη βούρλων (*Juncus* spp.), οι σύφες (*Scirpus* spp.) και διάφορα είδη ψαθών (*Typha* spp.). Η επεξεργασία των λυμάτων στα συστήματα αυτά γίνεται στο περιβάλλον "έδαφος - φυτό - ατμόσφαιρα - λύματα". Σημειώνεται ότι στα συστήματα αυτά, με την ανάπτυξη στις ρίζες των φυτών ειδικών πληθυσμών βακτηρίων, επιτυγχάνεται επιπρόσθετα ένα φιλτράρισμα και μια προσρόφηση διαφόρων συστατικών των λυμάτων, μεταφέρεται οξυγόνο στη μάζα του νερού και περιορίζεται η ανάπτυξη αλγών (πρασινάδας ή μουχίων) εξαιτίας της αναπτυσσόμενης βλάστησης, με την οποία επιτυγχάνεται έλεγχος της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Τα συστήματα των Τεχνητών υγροτόπων είναι δύο τύπων:

α) τα συστήματα ελεύθερης επιφάνειας (FWS),

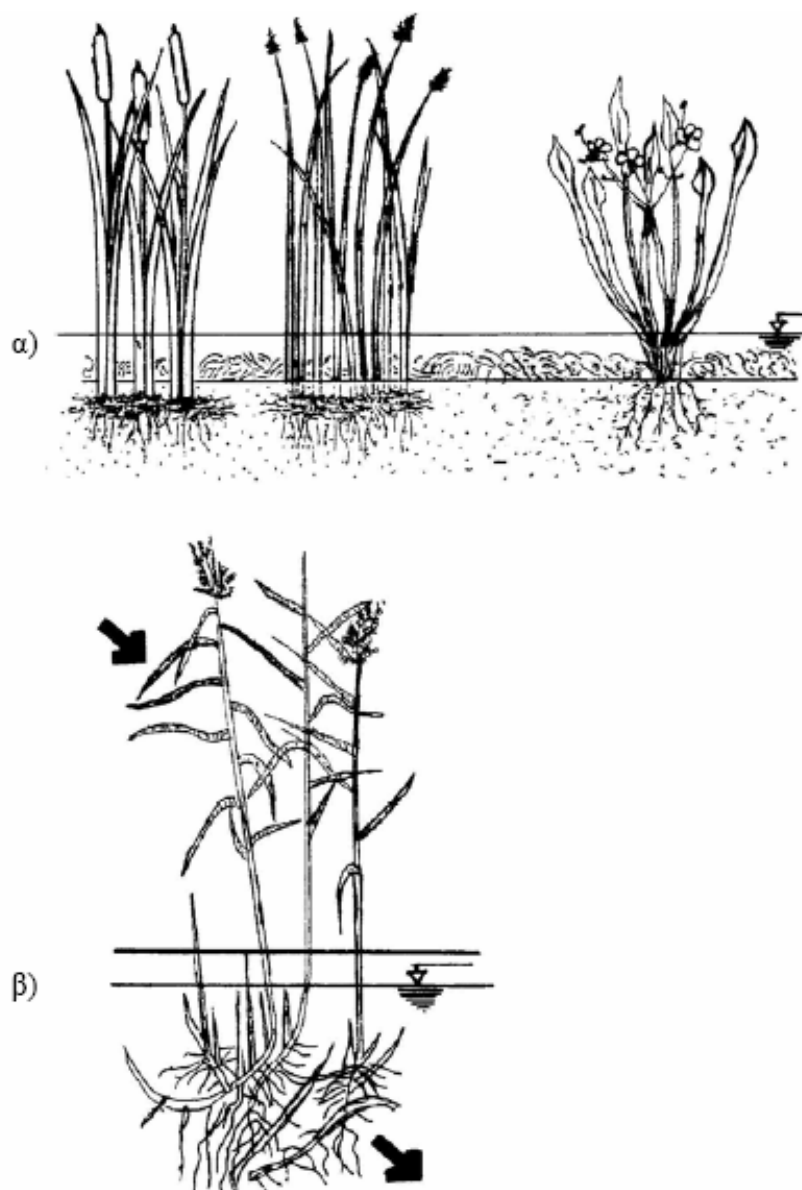
β) τα συστήματα υποεπιφανειακής ροής (SFS).



ΕΙΚΟΝΑ 4-8

Τεχνητός υγρότοπος επιφανειακής οριζόντιας ροής με δύο υπολεκάνες:

α) κάτοψη, β) τομή ΑΑ' υπολεκάνης Α [29]



ΕΙΚΟΝΑ 4-9

Φυτά τεχνητών υγροτόπων: α) επιφανειακής ροής (τύφη, ψάθα, νεροπατάτα),  
β) υπόγειας ροής (καλαμιές ή φραγμίτες) [29]

#### **4.2 Ανάπτυξη των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας**

Στη Μινωική εποχή, πριν 4500 περίπου χρόνια, είχε επιτευχθεί σημαντική πρόοδος σε αντικείμενα της υδραυλικής υγρών αποβλήτων και εφαρμογής τους σε γεωργικές εκμεταλλεύσεις. Σε πολλές πόλεις της εποχής εκείνης σώζονται ακόμα θαυμαστές εγκαταστάσεις αποχέτευσης και διάθεσης υγρών αποβλήτων.

Η εφαρμογή φυσικών συστημάτων επεξεργασίας χρονολογείται από το 1880, όπου στην Ευρώπη, στις ΗΠΑ και σε άλλες χώρες αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε η “γεωργική εκμετάλλευση λυμάτων” (sewage farming), γνωστή ως η πρώτη προσπάθεια ελέγχου και περιορισμού της υδατικής ρύπανσης. Τα συστήματα αυτά αντικαταστάθηκαν, το πρώτο μισό του 20<sup>ου</sup> αιώνα, με επιτόπια συστήματα επεξεργασίας, είτε με ειδικές γεωργικές εκμεταλλεύσεις, όπου τα επεξεργασμένα απόβλητα χρησιμοποιούνταν για φυτική παραγωγή, είτε για άρδευση διαφόρων περιβαλλόντων και κοινοχρήστων χώρων, είτε για εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων.

Το ενδιαφέρον των φυσικών συστημάτων που βασίζονται στο έδαφος έχει αναθεωρηθεί, λόγω της έμφασης που δίδεται στην επαναχρησιμοποίηση του νερού, λόγω της ανακύκλησης των θρεπτικών στοιχείων, καθώς και λόγω της έμφασης στην χρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων για την άρδευση φυτικών καλλιεργειών. Παράλληλα, άρχισε να παρέχεται νομοθετικά οικονομική υποστήριξη για έρευνα και ανάπτυξη τεχνολογίας στα αντικείμενα των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας, πράγμα που οδήγησε στην ισότιμη αναγνώρισή τους, ως τεχνικής διαχείρισης στον τομέα της μηχανικής υγρών αποβλήτων. Οι πιο πρόσφατες κατακτήσεις, όσον αφορά τα φυσικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, είναι οι τεχνητοί υγροβιότοποι [8 , 9].

#### **4.3 Πλεονεκτήματα των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας**

Τα φυσικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων παρουσιάζουν πολλά πλεονεκτήματα καθώς:

- Έχουν μικρό κόστος κατασκευής.
- Απαιτούν ελάχιστη συντήρηση, άρα χαρακτηρίζονται από μικρό κόστος συντήρησης.
- Παρουσιάζουν μικρό κόστος λειτουργίας.
- Παρουσιάζουν χαμηλή απαίτηση σε ενέργεια.
- Δεν απαιτούν συνήθως αντλιοστάσια, τα δε δίκτυα προσαγωγής είναι πολύ μικρότερου μήκους.
- Δεν επιφέρουν μεγάλη συγκέντρωση λυμάτων, ενώ περιορίζονται στο ελάχιστο τα οσμάρια και οι διαβρώσεις.
- Χαρακτηρίζονται από απλότητα και συμβατότητα με το φυσικό περιβάλλον.
- Συνδυάζουν ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση εκροών για άρδευση.
- Επιτρέπουν την αποκεντρωμένη διάθεση των επεξεργασμένων λυμάτων, η δε διασπορά αυτή σχετίζεται με την οικιστική ανάπτυξη των απομακρυσμένων οικιστικών περιοχών (άρδευση χώρων πρασίνου).

Αντιθέτως, τα συμβατικά συστήματα χαρακτηρίζονται από υψηλό κατασκευαστικό και λειτουργικό κόστος, αντιμετωπίζουν συχνά λειτουργικά προβλήματα και χαρακτηρίζονται από υψηλές απατήσεις σε ενέργεια, ειδικά κατά την εφαρμογή τους σε μικρούς σχετικά Ο.Τ.Α [8 , 9].

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>

ΣΕΝΑΡΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ ΜΕ  
ΧΡΗΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ  
ΤΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ

### **5.1 Σύντομη περιγραφή των σεναρίων**

Τα φυσικά συστήματα επεξεργασίας προϋποθέτουν προεπεξεργασία των υγρών αποβλήτων, με κάποιο μηχανικό τρόπο. Η ελάχιστη προεπεξεργασία που συνιστάται είναι η εσχάρωση και/ή πρωτοβάθμια καθίζηση. Σκοπός της προεπεξεργασίας αυτής είναι η απομάκρυνση στερεών, τα οποία μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα στα δίκτυα διανομής ή να δημιουργήσουν ενοχλητικές συνθήκες στον περιβάλλοντα χώρο.

Τα επιλεγόμενα σενάρια είναι τέσσερα στον αριθμό. Τα τρία πρώτα διαφοροποιούνται μεταξύ τους ως προς το επιλεγόμενο φυσικό σύστημα επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων, ενώ το τέταρτο σενάριο αφορά την επεξεργασία των λυμάτων αποκλειστικά με λίμνες σταθεροποίησης:





**Σενάριο 1:** Σηπτική Δεξαμενή + Υγροβιότοπος Υποεπιφανειακής Ροής (SFS) + Απολύμανση

**Σενάριο 2:** Σηπτική Δεξαμενή + Υγροβιότοπος Ελεύθερης Επιφάνειας (FWS) + Απολύμανση

**Σενάριο 3:** Σηπτική Δεξαμενή + Βιολογικό Αμμόφιλτρο + Απολύμανση

**Σενάριο 4:** Λίμνες Σταθεροποίησης (WSP)

Έτσι, το αρχικό στάδιο στα τρία πρώτα σενάρια περιλαμβάνει:

-  Το φρεάτιο εισόδου - εσχарισμού των λυμάτων
-  Το σύστημα μέτρησης της παροχής
-  Τις σηπτικές δεξαμενές
-  Το αντλιοστάσιο ανύψωσης και μεταφοράς προς το φυσικό σύστημα επεξεργασίας

Ακολουθεί:

- Το εκάστοτε φυσικό σύστημα επεξεργασίας ανάλογα με το σενάριο (σενάριο 1 ή 2 ή 3)

Ενώ, το τελικό στάδιο στα τρία πρώτα σενάρια περιλαμβάνει:

- Τη μονάδα απολύμανσης της εκροής
- Τη μονάδα απόσμισης των σηπτικών δεξαμενών
- Τη δεξαμενή αποθήκευσης εκροής
- Το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος

Τέλος, και για τα τέσσερα σενάρια προβλέπεται:

- Κτίριο διοίκησης, διαμόρφωση του χώρου και περίφραξη
- Έργα υποδομής για ύδρευση και ηλεκτροφωτισμό

Τα παραπάνω αποτελούν τα τμήματα από τα οποία συντίθεται συνολικά η μονάδα επεξεργασίας λυμάτων.

Στις επόμενες παραγράφους λαμβάνει χώρα αναλυτική περιγραφή των αρχικών σταδίων της μονάδας επεξεργασίας λυμάτων, για τα τρία πρώτα σενάρια.

## **5.2 Φρεάτιο εισόδου – εσχαρισμού των λυμάτων**

Τα τμήματα του φρεατίου εισόδου θα είναι συνδεδεμένα με το σύστημα απόσμισης και αναλυτικότερα θα περιλαμβάνονται τα εξής:

- α) Μια μηχανική – αυτόματη εσχάρα τοξωτού τύπου με ξέστρο αυτοματισμού που θα ωθεί τα εσχαρίσματα στο δοχείο συλλογής.



β) Μία χειροκαθαριζόμενη εσχάρα ευθύγραμμου τύπου, η οποία λειτουργεί ως εφεδρική σε περίπτωση βλάβης της μηχανικής (στην περίπτωση υπερχειλίσσης).

γ) Ένα δοχείο συλλογής εσχαρισμάτων, το οποίο θα εκκενώνεται σε απορριμματοφόρο.

δ) Δύο κανάλια εσχάρωσης, ένα για τη χειροκίνητη και ένα για τη μηχανοκίνητη εσχάρα.

### **5.3 Σύστημα μέτρησης της παροχής**

Όσον αφορά τη μέτρηση της παροχής χρησιμοποιείται η διώρυγα PARSHALL – FLUME σύμφωνα με την οποία στην είσοδο της κατασκευής διαμορφώνονται συνθήκες στρωτής ροής. Συγκεκριμένα, η κατασκευή της διώρυγας στενεύει με αποτέλεσμα να προκαλείται αύξηση βάθους ροής ανάντη, άρα και της παροχής των ακαθάρτων. Ο εξοπλισμός του συστήματος μέτρησης της παροχής είναι :

α) Μία διώρυγα τύπου PARSHALL.

β) Ένα στήριγμα για τον υπερηχητικό μετρητή.

γ) Ένα υπερηχητικό σύστημα μέτρησης που θα μετρά το βάθος ροής.

δ) Ένα μετατροπέα σήματος.

ε) Ένα πίνακα με ψηφιακή ένδειξη της τιμής της στιγμιαίας παροχής λυμάτων.

στ) Ένα καταγραφικό της στιγμιαίας παροχής τύπου DATALOGGER.

#### **5.4 Σηπτική δεξαμενή**

Η σηπτική είναι μια στεγανή δεξαμενή κατασκευασμένη από οπλισμένο σκυρόδεμα, όπου τα λύματα εισέρχονται από το ένα άκρο και μετά την καθίζηση εξέρχονται σχετικά καθαρά από το άλλο άκρο. Η στεγανότητα της δεξαμενής πρέπει να ελέγχεται πριν τη χρήση της. Ο Malan (1964) περιγράφει τρεις κύριες λειτουργίες που πραγματοποιούνται σε μια σηπτική δεξαμενή:

(α) Καθίζηση των αιωρούμενων στερεών: ως μηχανική διεργασία, που οδηγεί στο σχηματισμό τριών διακριτών στρωμάτων στις δεξαμενές (ιλύς στον πυθμένα, επιπλέον στρώμα αφρού στην επιφάνεια και σχετικά καθαρό στρώμα υγρού στο ενδιάμεσο).

(β) Βιολογική δραστηριότητα: ζωντανοί οργανισμοί, κυρίως βακτήρια, αποσυνθέτουν την οργανική ουσία. Έτσι, οι όγκοι ιλύος και αφρού ελαττώνονται. Αυτή η βιολογική δραστηριότητα είναι αναερόβια. Πραγματοποιείται σε όλα τα επίπεδα και παράγει αέρια όπως μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα.

(γ) Αποθήκευση της ιλύος και του αφρού: η συγκέντρωση της ιλύος και του αφρού δημιουργούν την ανάγκη για την πρόβλεψη αποθήκευσης αυτών των συστατικών στις σηπτικές δεξαμενές. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να είναι επαρκής, ώστε να αντισταθμίζει τη μείωση του ωφέλιμου όγκου που συνεπάγεται η συγκέντρωση ιλύος και αφρού.

Έτσι, συνοπτικά, μπορεί να αναφερθεί ότι μια σηπτική δεξαμενή πρέπει να λειτουργεί ως δεξαμενή καθίζησης και ως χωνευτής.

Συνήθως αποτελείται από δύο θαλάμους ή τρεις, οι οποίοι επικοινωνούν μεταξύ τους με ανοίγματα που βρίσκονται 70-100 cm κάτω από την επιφάνεια του υγρού. Στα ανοίγματα μπροστά τοποθετούνται διαφράγματα από υλικό ανθεκτικό στη διάβρωση, συνήθως ανοξείδωτη λαμαρίνα ή σωλήνωση PVC ή από σκυρόδεμα ώστε να εμποδίζουν τη διέλευση λιπών ή επιπλεόντων στον επόμενο θάλαμο. Η διαδικασία σε κάθε θάλαμο έχει ως εξής, τα στερεά καθιζάνουν στο κάτω μέρος, ενώ τα λίπη και τα επιπλέοντα

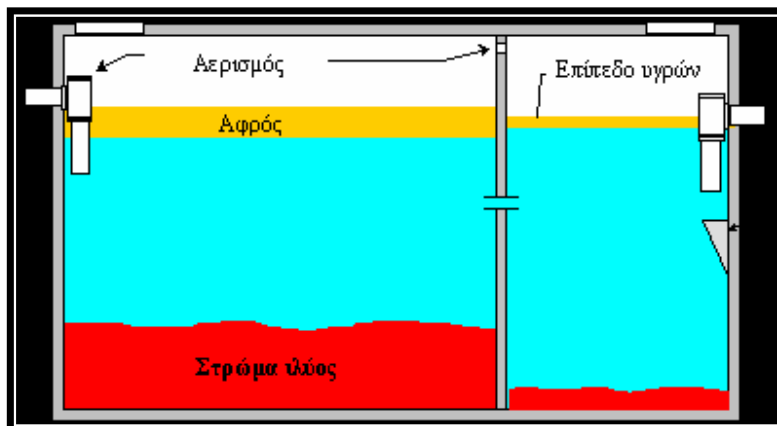
παγιδεύονται στην επιφάνεια. Όσον αφορά το πρώτο θάλαμο είναι συνήθως μεγαλύτερος σε ωφέλιμο όγκο και μάλιστα ίσος με τα 2/3 του συνολικού όγκου. Κάθε χώρος καθίζησης χωρίζεται σε μια ζώνη υγρού όπου τα στερεά καθιζάνουν, μία ζώνη λάσπης όπου συσσωρεύονται οι λάσπες και μία επιφανειακή ζώνη όπου επιπλέουν τα λίπη. Για τη διαστασιολόγηση της δεξαμενής υπολογίζεται συνήθως ωφέλιμος όγκος για την αποθήκευση λασπών 80-130 lt /κάτοικο και έτος (για εκκένωση 1-2 φορές το χρόνο). Η USEPA (1980) προτείνει, για παροχές από 2,84 έως 5,68 m<sup>3</sup>/d, η χωρητικότητα της δεξαμενής να ισούται με ροή 1½ ημερών. Για παροχές από 5,68 έως 56,8 m<sup>3</sup>/d, η ελάχιστη καθαρή δυναμικότητα της δεξαμενής μπορεί να υπολογιστεί ως 4,26 m<sup>3</sup> συν 75% της ημερήσιας παροχής ή [10]:

$$V = 1,125 + 0,75 \cdot Q$$

Όπου:

V = καθαρός όγκος δεξαμενής (m<sup>3</sup>)

Q = ημερήσια παροχή (m<sup>3</sup>)



ΕΙΚΟΝΑ 5-1  
Τυπική όψη διθάλαμης σηπτικής δεξαμενής [10]

Στη δεξαμενή απαγορεύεται η εισροή νερών της βροχής. Αν σχηματιστεί στερεό στρώμα λάσπης αυτό πρέπει να αφαιρείται σε περίπτωση που ξεπεράσει τα 50 cm. Καλό είναι όμως, μετά την εκκένωση της δεξαμενής να παραμείνει μικρή ποσότητα λάσπης γιατί διευκολύνεται η ζύμωση. Οι σηπτικές δεξαμενές πρέπει να αερίζονται, να έχουν κατάλληλα στόμια ελέγχου και δυνατότητα εξέτασης των λυμάτων που εισρέουν και των επεξεργασμένων λυμάτων μετά την καθίζηση [7 , 10 , 11].

Για την αποφυγή εμφράξεων (από αιωρούμενα στερεά και επιπλέοντα υλικά) και την αύξηση των αποδόσεων των επόμενων σταδίων της επεξεργασίας και της διάθεσης λυμάτων, θα δημιουργηθούν δύο οκταθάλαμες σηπτικές δεξαμενές. Λόγω του ότι οι δύο δεξαμενές θα είναι οκταθάλαμες θα παγιδεύουν καλύτερα τα αιωρούμενα στερεά και τα επιπλέοντα υλικά, ειδικά κατά τη θερινή περίοδο που θα υπάρχουν οι μέγιστες φορτίσεις και μεγαλύτερη ανατάραξη λόγω του μεγάλου ρυθμού χώνευσης.



**ΕΙΚΟΝΑ 5-2**

**Υπό κατασκευή σηπτική δεξαμενή πριν από υδροβιότοπο ελεύθερης επιφάνειας Δήμου Καστελλίου Νομού Ηρακλείου**

Στις δεξαμενές θα τοποθετηθούν κόσκινα εκροής (screen vaults) στην έξοδο πριν το αντλιοστάσιο ανύψωσης, ώστε να συγκρατούνται στερεά ή λίπη που μπορεί να έχουν διαφύγει. Έτσι, τελικά οι σηπτικές δεξαμενές θα αυξάνουν την απόδοση των επόμενων σταδίων.

Η εκροή των σηπτικών δεξαμενών οδηγείται με άντληση στο εκάστοτε, σύμφωνα με το σενάριο, φυσικό σύστημα επεξεργασίας των λυμάτων.

Γενικότερα, η απομάκρυνση των λασπών θα γίνεται 1-2 φορές το χρόνο με βυτιοφόρο σε σταθμό βοθρολυμάτων.

Όσον αφορά τους ελέγχους που πρέπει να γίνονται κατά τη λειτουργία των σηπτικών δεξαμενών αναφέρονται συνοπτικά τα παρακάτω:

- Πρέπει να ελέγχεται κάθε μήνα η επιφάνεια και η ποσότητα του αφρού. Κάθε έξι μήνες θα είναι απαραίτητη η αφαίρεση και η μεταφορά όλων των αφρών και λιπών σε σταθμό βοθρολυμάτων. Ο σχηματισμός επί πάγου ελέγχεται με χρήση νερού υπό πίεση.
- Πρέπει να ελέγχεται η στάθμη της λάσπης κάθε 1-3 μήνες. Ενώ 1-2 φορές το χρόνο θα αφαιρείται ποσότητα της λάσπης και θα μεταφέρεται σε σταθμό βοθρολυμάτων.
- Πρέπει να ελέγχεται το σύστημα απόσμισης κάθε εβδομάδα
- Κάθε μήνα πρέπει να ελέγχονται και να καθαρίζονται, με έκπλυση των κόσκινων εκροής.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι συνήθεις αποδόσεις των σηπτικών δεξαμενών:

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5-1**  
**Μέσες αποδόσεις των σηπτικών δεξαμενών [7]**

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ	ΑΠΟΔΟΣΗ (%)
COD	20-40
BOD5	20-50
S.S	50-80
ΟΛΙΚΟ ΑΖΩΤΟ	10-40
ΛΙΠΗ-ΛΑΔΙΑ	70-80
ΦΩΣΦΟΡΟΣ	15
ΜΙΚΡΟΒΙΑ- ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ	60-90

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των σηπτικών δεξαμενών είναι:

- Η γεωμετρία (σχήμα, διαστάσεις, σχέση διαστάσεων κλπ.)
- Οι υδραυλικές φορτίσεις (μεγάλη υπερφόρτιση μπορεί να μειώσει την απόδοση καθίζησης ή επίπλευσης)
- Διαμορφώσεις εισόδου-εξόδου
- Ο αριθμός των θαλάμων
- Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος και των λυμάτων
- Ο τρόπος λειτουργίας και συντήρησης

Ποιοτικά και ποσοτικά στοιχεία εισροής λυμάτων στη σηπτική δεξαμενή

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΗΠΤΙΚΗΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ			
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΙΣΡΟΗΣ	ΣΥΜΒΟΛΟ	40ΕΤΙΑ	
		ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΘΕΡΟΣ
ΕΞΥΠΗΡΕΤΟΥΜΕΝΟΙ ΚΑΤΟΙΚΟΙ	PE	12300	14300
ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΛΥΜΑΤΩΝ ΑΝΑ ΚΑΤΟΙΚΟ (lt/d)	q	110	150
ΜΕΣΟ ΗΜΕΡΗΣΙΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ (m <sup>3</sup> /d)	Qd	1353	2145
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΙΧΜΗΣ	Σ.Α	1,5	1,5
ΜΕΓΙΣΤΟ ΗΜΕΡΗΣΙΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ, Qdmax=P·Qd (m <sup>3</sup> /d)	Qdmax	2030	3218
ΜΕΣΗ ΩΡΙΑΙΑ ΠΑΡΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ (m <sup>3</sup> /h)	Qh	85	134
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΙΧΜΗΣ	P	2,02	1,91
ΜΕΓΙΣΤΟ ΩΡΙΑΙΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ (m <sup>3</sup> /h)	Q <sub>h, max</sub>	171,7	255,94
BOD (mg/lt)		500	330
COD (mg/lt)		750	700
TN (mg/lt)		100	80
TP (mg/lt)		20	15
SS (mg/lt)		290	200
ΟΛΙΚΑ ΚΟΛΟΒΑΚΤΗΡΙΔΙΑ (αποικίες/100ml)	TC	1,00E+07	1,00E+07
ΚΟΠΡΑΝΩΔΗ ΚΟΛΟΒΑΚΤΗΡΙΔΙΑ (αποικίες/100ml)	FC	1,00E+06	1,00E+06

Σχεδιασμός σηπτικής δεξαμενής

Οι παραγόμενες ποσότητες λάσπης και αφρού υπολογίστηκαν με τις παρακάτω σχέσεις (από το Glide της Καλιφόρνια με στατιστικά στοιχεία 20 ετών) [7]:

Υπολογισμός παραγόμενου αφρού σε γαλόνια/κάτοικο για έναν αριθμό t χρόνων:

$$S_{ca} = 5,24 \cdot t + 12,04 = 17,28 \text{ γαλόνια/κάτοικο/έτος} = 64,6 \text{ lt/κάτοικο/έτος}$$

Υπολογισμός παραγόμενης λάσπης σε γαλόνια/κάτοικο για έναν αριθμό t χρόνων:

$$S_{La} = 8,15 \cdot t + 38,82 = 46,97 \text{ γαλόνια/κάτοικο/έτος} = 175,7 \text{ lt/κάτοικο/έτος}$$

Η διαστασιολόγηση της σηπτικής δεξαμενής γίνεται με βάση το μέγιστο πληθυσμό που αναμένεται να σημειωθεί στην περιοχή μέσα στη 40ετία.



Επομένως ο απαιτούμενος όγκος για τη λάσπη υπολογίζεται ίσος με:

$175,7 \text{ lt/κάτοικο/έτος} \cdot 14300 \text{ κατοίκους} = 2513 \text{ m}^3/\text{έτος}$ , ενώ εάν η εκκένωση πραγματοποιείται κάθε 6 μήνες, τότε απαιτείται ο μισός όγκος. Για μέγιστο ωφέλιμο βάθος λάσπης 3 m, απαιτείται επιφάνεια  $838 \text{ m}^2$ .

Ο απαιτούμενος όγκος για τον αφρό υπολογίζεται ίσος με:

$64,6 \text{ lt/κάτοικο/έτος} \cdot 14300 \text{ κατοίκους} = 924 \text{ m}^3/\text{έτος}$ , ενώ εάν η εκκένωση πραγματοποιείται κάθε 6 μήνες, τότε απαιτείται ο μισός όγκος. Για όγκο  $924 \text{ m}^3$  και επιφάνεια  $838 \text{ m}^2$ , υπολογίζεται το απαιτούμενο ωφέλιμο βάθος ίσο με  $924/838 = 1,1 \text{ m}$ . Επιλέχθηκε ολικό βάθος κατακόρυφων τοιχιών 4,5 m και πρόσθετο ωφέλιμο βάθος για τα σιλό 1 m. Το ολικό ωφέλιμο βάθος υπολογίζεται στα 5,5 m.

Επιλέγονται 16 σιλό, με μήκος 7,5 m και πλάτος 7 m. Έτσι, το συνολικό εμβαδό προκύπτει ίσο με  $16 \cdot 7,5 \cdot 7 = 840 \text{ m}^2 > 838 \text{ m}^2$  και πολύ κοντά σε αυτό, ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος υπερδιαστασιολόγησης. Ο συνολικός ωφέλιμος όγκος λοιπόν προκύπτει ίσος με  $840 \text{ m}^2 \cdot 4,5 \text{ m} = 3780 \text{ m}^3$ . Τα σιλό είναι τοποθετημένα έτσι, ώστε το μήκος της δεξαμενής να είναι διπλάσιο ως τριπλάσιο του πλάτους.

Όσον αφορά το χειμώνα και σε σχέση με τη μέση ωριαία παροχή σχεδιασμού που ισούται με  $85 \text{ m}^3/\text{h}$ , ο συνολικός χρόνος συγκράτησης υπολογίζεται ίσος με:

$$t_{\text{συγκράτησης}} = \frac{3780 \text{ m}^3}{85 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 24 \frac{\text{h}}{\text{d}}} = 1,85 \text{ days}$$

Όσον αφορά το καλοκαίρι και σε σχέση με τη μέση ωριαία παροχή σχεδιασμού που ισούται με  $134 \text{ m}^3/\text{h}$ , ο συνολικός χρόνος συγκράτησης υπολογίζεται ίσος με:

$$t_{\text{συγκράτησης}} = \frac{3780 \text{ m}^3}{134 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 24 \frac{\text{h}}{\text{d}}} = 1,18 \text{ days}$$



Επομένως, για την περίπτωση της μέγιστης ωριαίας παροχής, ο συνολικός χρόνος συγκράτησης θα είναι 0,6 ημέρες (ή 0,9 ημέρες για την περίπτωση του χειμώνα).

Ποιοτικά και ποσοτικά στοιχεία εκροής προεπεξεργασμένων λυμάτων από τη σηπτική δεξαμενή

<b>ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΗΠΤΙΚΗΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ</b>				
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΚΡΟΗΣ	ΣΥΜΒΟΛΟ	40ΕΤΙΑ		ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗΣ %
		ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΘΕΡΟΣ	
ΜΕΓΙΣΤΟ ΗΜΕΡΗΣΙΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΕΚΡΟΗΣ ΑΠΟ ΤΗ ΣΗΠΤΙΚΗ (m <sup>3</sup> /d)	Qdmax <sub>s,t,out</sub>	2030	3218	-
BOD (mg/l)		250	165	50
COD (mg/l)		450	420	40
TN (mg/l)		60	48	40
TP (mg/l)		17	13	15
SS (mg/l)		58	40	80
ΟΛΙΚΑ ΚΟΛΟΒΑΚΤΗΡΙΔΙΑ (αποικίες/100ml)	TC	1,00E+06	1,00E+06	90
ΚΟΠΡΑΝΩΔΗ ΚΟΛΟΒΑΚΤΗΡΙΔΙΑ (αποικίες/100ml)	FC	1,00E+05	1,00E+05	90

Τα παραπάνω προεπεξεργασμένα λύματα εν συνεχεία, εισέρχονται στο επόμενο στάδιο επεξεργασίας, δηλαδή σε ένα από τα φυσικά συστήματα που περιλαμβάνονται στα σενάρια 1, 2 ή 3.

### 5.5 Αντλιοστάσιο ανύψωσης και μεταφοράς προς το φυσικό σύστημα επεξεργασίας

Μετά την πρωτοβάθμια επεξεργασία, τα λύματα καταλήγουν στο αντλιοστάσιο (που είναι ενσωματωμένο στο τέλος των δεξαμενών, μετά τους 8 θαλάμους και το χώρο των κόσκινων εκροής) και μετέπειτα, με τη βοήθεια 2 αντλιών συνεχούς λειτουργίας, κατάλληλες ώστε να εξασφαλίζουν την κάλυψη της μέγιστης παροχής (255,94 m<sup>3</sup>/h), στο φυσικό σύστημα για επιπλέον επεξεργασία.

## **5.6 Φυσικό σύστημα Σεναρίου 1: Υγροβιότοπος υποεπιφανειακής ροής (SFS)**

### Γενικά

Σύμφωνα με το σενάριο αυτό, μετά την πρωτοβάθμια επεξεργασία στη σηπτική δεξαμενή τα λύματα οδηγούνται σε υγροβιότοπο υποεπιφανειακής ροής.

Οι υγροβιότοποι αποτελούν τμήματα του εδάφους, τα οποία είναι κατακλυζόμενα από νερό, έχουν συνήθως μικρό βάθος (< 0,6 m) και σε αυτούς αναπτύσσονται φυτά, όπως:

- ♣ Διάφορα είδη κύπερης (φυτά του γένους Cyperaceae, κυρίως του γένους Carex spp.).
- ♣ Καλάμια (φυτά του γένους Phragmites, κυρίως του είδους P. Communis).
- ♣ Είδη βούρλων (φυτά του γένους Scirpus).
- ♣ Είδη ψαθίου και αφράτου (φυτά του γένους Typha).

Η φυτική βλάστηση προσφέρει το βασικό υπόστρωμα ανάπτυξης των βακτηριακών μεμβρανών, βοηθάει στο φιλτράρισμα και την προσρόφηση συστατικών του αποβλήτου, μεταφέρει οξυγόνο στη μάζα νερού και περιορίζει την ανάπτυξη αλγών με τον έλεγχο της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

Γενικά, απαιτείται περιοδική συγκομιδή της για τη διατήρηση της υδραυλικής αγωγιμότητας του συστήματος, ανανέωση της βλάστησης και περιορισμό της ανάπτυξης των κουνουπιών, αφού ούτως ή άλλως δεν επηρεάζει σημαντικά την απομάκρυνση θρεπτικών. Εν συνεχεία, η βλάστηση, μπορεί να ξηρανθεί και να αποτεφρωθεί, να τεμαχιστεί και να κομποστοποιηθεί ή να χρησιμοποιηθεί για κάλυψη και προστασία του εδάφους.

Τεχνητοί υγροβιότοποι μπορούν να κατασκευαστούν για την επεξεργασία λυμάτων τόσο μεμονωμένων κατοικιών, όσο και μικρών ή μεσαίων οικισμών. Στη συνέχεια παρατίθενται δύο παραδείγματα εφαρμογών.

Το σπίτι που φαίνεται στην εικόνα 5-3 βρίσκεται στον ορεινό όγκο του Χολομώντα σε υψόμετρο 900 m. Κατασκευάστηκε το έτος 1994 με βάση τους κανόνες της οικολογικής δόμησης. Για την επεξεργασία των λυμάτων κατασκευάστηκε σύστημα με μικρά παρτέρια τεχνητών υδροτόπων κοντά στο σπίτι. Ένα από τα παρτέρια διακρίνεται καλύτερα στην ένθετη φωτογραφία πάνω αριστερά. Το σύστημα λειτουργεί χωρίς προβλήματα ή οσμές, συνεχώς από τότε, και δεν έχει επηρεαστεί από τις δύσκολες καιρικές συνθήκες του χειμώνα [15].



**ΕΙΚΟΝΑ 5-3**

**Σύστημα υδροβιότοπου για επεξεργασία λυμάτων μεμονωμένης κατοικίας [15]**

Το έργο στην εικόνα 5-4 αφορά την επεξεργασία των λυμάτων του Γοματίου, ενός μικρού οικισμού της Χαλκιδικής που ανήκει στο Δήμο Παναγίας. Ο πληθυσμός του οικισμού είναι 800 κάτοικοι. Το χωριό διαθέτει αποχετευτικό δίκτυο ακαθάρτων και τα λύματα φτάνουν με βαρύτητα μέχρι το σημείο επεξεργασίας. Το έργο σχεδιάστηκε σαν μικρό περιαστικό πάρκο σε απόσταση 400m από τα όρια του χωριού. Αποτελείται από διατάξεις προεπεξεργασίας των λυμάτων (εσχάρωση, καθίζηση), τρία στάδια τεχνητών υγροτόπων και παρτέρια επεξεργασίας λάσπης. Πρόκειται για σύστημα πλήρους αντιμετώπισης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των λυμάτων [15].



**ΕΙΚΟΝΑ 5-4**

**Σύστημα υγροβιότοπου για επεξεργασία λυμάτων μικρού οικισμού [15]**

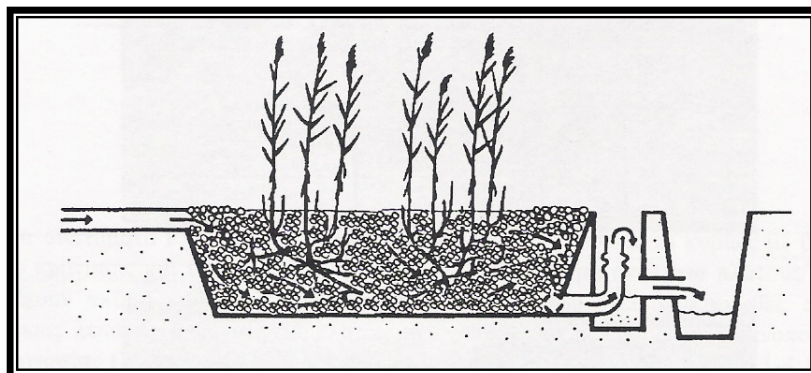
Η μερική επανακυκλοφορία της εκροής είναι σημαντική διεργασία, καθώς μειώνει τις συγκεντρώσεις οργανικών και στερεών, ενώ ταυτόχρονα αυξάνει το διαλυμένο οξυγόνο στην είσοδο του συστήματος. Η ανακύκλωση είναι πιο αποτελεσματική σε συνδυασμό με διαλείπουσα τροφοδοσία.



Οι υδροβιότοποι υποεπιφανειακής ροής (SFS), σχεδιάζονται με σκοπό την επίτευξη δευτεροβάθμιας ή προωθημένης επεξεργασίας. Τα τελευταία χρόνια η χρήση τους έχει επεκταθεί και σε άλλες εφαρμογές, όπως είναι η περαιτέρω απομάκρυνση αμμωνίας μέχρι το επίπεδο των 5 mg/l, η επεξεργασία διασταλαζόντων υγρών από ΧΥΤΑ αλλά και η επεξεργασία ειδικών λυμάτων όπως τα απόβλητα ελαιουργείων. Οι υδροβιότοποι υποεπιφανειακής ροής ονομάζονται επίσης και συστήματα “ριζόσφαιρας” ή “φίλτρα εδάφους-καλαμιών” και αναπτύσσονται μέσα σε κανάλια ή τάφρους με σχετικά στεγανούς πυθμένες, που περιέχουν άμμο ή άλλα γήινα μέσα υποστήριξης της αναφύομενης φυτικής βλάστησης, όπως έδαφος, διάφορα χονδρόκοκκα πλαστικά ή άλλα αδρανή υλικά. Επίσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορα είδη κοπροχωμάτων (compost).

Στα συστήματα τύπου SFS το βάθος τους σχεδιάζεται έτσι, ώστε να ελέγχεται το βάθος ριζοβολίας της φυτικής βλάστησης, επειδή η τροφοδοσία με οξυγόνο διενεργείται ουσιαστικά διαμέσου του ριζικού συστήματος.

Γενικά, στα συστήματα SFS η επιφάνεια του νερού διατηρείται ακριβώς κάτω από την επιφάνεια του εδάφους ή του χρησιμοποιούμενου μέσου. Τα λύματα συνήθως κινούνται κάτω από τη φυσική επίδραση της βαρύτητας, λόγω της κλίσης που προσδίδεται στον πυθμένα του συστήματος. Το σύστημα σχεδιάζεται έτσι ώστε να επιτευχθεί κορεσμός του υποστρώματος με απόβλητα, ενώ η επεξεργασία του υγρού αποβλήτου οφείλεται σε φυσικές και βιοχημικές αποκρίσεις του μέσου, καθώς επίσης, στην επαφή του με το ριζικό σύστημα των φυτών.



**ΕΙΚΟΝΑ 5-5**  
**Σύστημα υδροβιότοπου SFS [13]**

Τα επίπεδα απομάκρυνσης στα συστήματα SFS είναι ισοδύναμα των συστημάτων επιφανειακής ροής (FWS), ενώ παρουσιάζουν πλεονεκτήματα σε σχέση με αυτά, όσον αφορά την ανάπτυξη κουνουπιών και δυσάρεστων οσμών.

Σε γενικές γραμμές, η απομάκρυνση BOD και αιωρούμενων στερεών διενεργείται με διήθηση, καθίζηση και αποδόμηση με αερόβιους και αναερόβιους μικροοργανισμούς. Η απομάκρυνση αζώτου στα SFS συστήματα, όπως και στα FWS, διενεργείται με τους μηχανισμούς νιτροποίησης και απονιτροποίησης. Η απομάκρυνση του φωσφόρου εξαρτάται κυρίως από το υπόστρωμα. Η απομάκρυνση μετάλλων ποικίλει και επιτυγχάνεται, κυρίως, με κατακρήμνιση και προσρόφησή τους. Η απομάκρυνση των παθογόνων εξαρτάται κυρίως από τη φωτόλυση, τη δομή του υποστρώματος και τη ταχύτητα ροής.

Σημαντική αδυναμία των υδροβιότοπων υποεπιφανειακής ροής είναι η δυσκολία απομάκρυνσης αμμωνίας, καθώς η περιορισμένη διαθεσιμότητα οξυγόνου που συναντάται στα συστήματα αυτά μειώνει την ικανότητα για απομάκρυνση της αμμωνίας μέσω της βιολογικής αφαίρεσης αζώτου. Αποτέλεσμα του γεγονότος αυτού, είναι η αύξηση του χρόνου κατακράτησης καθώς και της απαιτούμενης επιφάνειας, ώστε να προκύψουν χαμηλές συγκεντρώσεις νιτρικών στην εκροή. Το παραπάνω πρόβλημα δύναται να αντιμετωπιστεί με σωστό σχεδιασμό του συστήματος. Ειδικότερα, συνίσταται να δοθεί προσοχή στα εξής σημεία:

- Χρήση συστήματος σωληνώσεων στον πυθμένα της κλίνης με μηχανικό αερισμό
- Χρήση φίλτρου ενιαίου μεγέθους χαλικιού λεπτής ροής (integrated gravel trickling filter) για την απομάκρυνση του αζώτου
- Κλίνες κατακόρυφης ροής. Ως επί τω πλείστον, αποτελούνται από σκύρα ή χονδρόκοκκη άμμο και οδηγούνται ανά τακτά χρονικά διαστήματα στην άνω επιφάνεια. Η επιφανειακή εφαρμογή (επίστρωση) και η κάθετη διοχέτευση (ροή) επιτυγχάνει την επαναφορά αερόβιων συνθηκών στην κλίνη

Μεγάλος χρόνος κατακράτησης συναντάται σε όλους τους τύπους τεχνητών υδροβιότοπων που επεξεργάζονται τυπικά αστικά υγρά απόβλητα, προκειμένου να επιτευχθεί χαμηλή συγκέντρωση φωσφόρου στην εκροή. Η απομάκρυνση φωσφόρου μπορεί επίσης να επιτευχθεί με πρόσθεση χημικών και ανάμειξή τους πριν την είσοδό τους στην λίμνη εκροής.

Στα συστήματα SFS η επιφάνεια η κάθετη προς την κατεύθυνση ροής,  $A$ , ορίζεται από την υδραυλική ικανότητα του συστήματος. Η ταχύτητα ροής,  $k_s$ , πρέπει να λαμβάνει την οριακή τιμή 6,8 m/d για να ελαχιστοποιηθούν τοπικές επιβραδύνσεις οφειλόμενες σε βακτηριακές εκκρίσεις. Το απαιτούμενο πλάτος του συστήματος είναι συνάρτηση της επιφάνειας  $A$  καθώς και του βάθους του συστήματος. Ένα τυπικό μήκος ενός συστήματος SFS είναι μικρότερο από το πλάτος του [9 , 12 , 13].

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5-2**  
**Τυπικά κριτήρια σχεδιασμού σε συστήματα SFS [13]**

Παράμετροι σχεδιασμού	Μονάδες	Τιμές
Χρόνος παραμονής	d	3-4 (BOD <sub>5</sub> ) 6-10 (N)
Ρυθμός φορτίου BOD <sub>5</sub>	Kg/στρ·d	< 12
Βάθος μέσου	m	0,3-0,9
Τυπική τιμή βάθους μέσου	m	0,6
Λόγος μήκους/πλάτους	-	0,75-4:1
Έλεγχος κουνουπιών	-	Δεν απαιτείται
Διάστημα συγκομιδής	yr	Δεν απαιτείται
Απομάκρυνση BOD	%	>80-90
Απομάκρυνση TN	%	> 25-45
Απομάκρυνση TSS	%	> 70
Απομάκρυνση TP	%	15-30
Απομάκρυνση ολικών κολοβακτηριδίων (αποικίες/100ml)	%	90-99
Απομάκρυνση κοπρανώδων κολοβακτηριδίων (αποικίες/100ml)	%	90-99

### Σχεδιασμός υγροβιότοπου υποεπιφανειακής ροής

Το μέγιστο ημερήσιο υδραυλικό φορτίο εκροής από τη σηπτική δεξαμενή είναι 2030 m<sup>3</sup>/d για το χειμώνα και 3218 m<sup>3</sup>/d για το καλοκαίρι. Η ποσότητα της εκροής από τον υγροβιότοπο θα παρουσιάσει κάποιες απώλειες, λόγω της εξατμισοδιαπνοής και της διήθησης. Στο σημείο αυτό γίνεται παραδοχή συνολικών απωλειών της ποσότητας εκροής κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, κατά ένα ποσοστό περί τα 20%, ενώ θεωρούμε πως δε σημειώνονται απώλειες κατά τους χειμερινούς μήνες, αλλά ούτε και εισροές από κατακρημνίσεις. Οι παραπάνω παραδοχές είναι απαραίτητες να γίνουν ώστε να προχωρήσει ο σχεδιασμός του υγροβιότοπου, καθώς η χρησιμοποιούμενη παροχή στο σχεδιασμό τεχνητών υγροβιότοπων είναι η μέση παροχή που προκύπτει λαμβάνοντας υπόψη τυχόν μεταβολές εξαιτίας (α) απωλειών διαμέσου της εξατμισοδιαπνοής και διήθησης και (β) εισροών από ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις.

Η μέση παροχή νερού στη λεκάνη υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$Q = \frac{Q_o + Q_e}{2}$$

όπου,

Q: η μέση παροχή στη λεκάνη, m<sup>3</sup>/d

Q<sub>o</sub>: η παροχή εισροής, m<sup>3</sup>/d

Q<sub>e</sub>: η παροχή εκροής, m<sup>3</sup>/d

Έτσι, για το χειμώνα η μέση παροχή σχεδιασμού που χρησιμοποιείται για τους υπολογισμούς είναι **Q<sub>σχ, χειμώνα</sub> = 2030 m<sup>3</sup>/d**, ενώ για το καλοκαίρι (απώλειες 20%) η μέση παροχή σχεδιασμού υπολογίζεται ίση με:

$$Q_{\text{σχ, θέρος}} = \frac{3218 + 0,8 \cdot 3218}{2} = \frac{3218 + 2575}{2} \Rightarrow Q_{\text{σχ, θέρος}} = 2897 \text{ m}^3/\text{d}$$



Τα χαρακτηριστικά του υποστρώματος αποτελούν βασική παράμετρο σχεδιασμού των συστημάτων υποεπιφανειακής ροής. Χαρακτηριστικά τυπικών υποστρωμάτων φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5-3**

**Χαρακτηριστικά τυπικών υποστρωμάτων που θεωρούνται κατάλληλα για συστήματα SFS [13]**

Τύπος υποστρώματος	Μέγιστο μέγεθος 10% κόκκων $D_{10}$ (mm)	Πορώδες $n$ (%)	Υδραυλική αγωγιμότητα $K$ ( $m^3/m^2 \cdot d$ )
Λεπτή άμμος	2	28-32	100-1.000
Χαλικώδης άμμος	8	30-35	500-5.000
Λεπτό χαλίκι	16	35-38	1.000-10.000
Μέτριο χαλίκι	32	36-40	10.000-50.000
Μικρές κροκάλες	128	38-45	50.000-250.000

Το βάθος του μέσου που χρησιμοποιείται σε ένα σύστημα SFS κυμαίνεται από 0,3 έως 0,9 m, με τυπική τιμή τα 0,6 m, ενώ θα πρέπει να προβλέπεται και ένα στρώμα 0,05-0,15 m λεπτόκοκκου υλικού στην επιφάνεια για την υποβοήθηση της ριζοβολίας των φυτών. Το μέγεθος των κόκκων του μέσου κυμαίνεται από λεπτό χαλίκι ( $\geq 0,6$  cm) μέχρι μεγάλου μεγέθους σκύρα από κονιορτοποιημένους βράχους ( $\geq 15$  cm). Τυπικά γίνεται χρήση ενός συνδυασμού μεγεθών από 1,3 έως 3,8 cm. Η επίστρωση με χαλίκια πρέπει να είναι καθαρή και σκληρή, ούτως ώστε να διατηρεί το σχήμα και τη διαπερατότητα της κλίνης για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Ένα άλλο μέγεθος που υπεισέρχεται άμεσα στις εξισώσεις διαστασιολόγησης είναι το πορώδες  $n$ , δηλαδή η διαθέσιμη διατομή για τη διέλευση του νερού, που είναι το ποσοστό της διατομής και εκφράζεται ως δεκαδικός αριθμός. Για τους τεχνητούς υδροβιότοπους υποεπιφανειακής ροής το πορώδες κυμαίνεται από 0,35 έως και 0,45.

Στο υπό μελέτη σύστημα υδροβιότοπου υποεπιφανειακής ροής, επιλέγεται ως υπόστρωμα **λεπτό χαλίκι** με πορώδες  **$n = 0,36$**  και υδραυλική αγωγιμότητα  **$K = 10000 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$** , καθώς και βάθος μέσου  **$d = 0,6 \text{ m}$** .

Σημαντικός παράγοντας στο σχεδιασμό του συστήματος αποτελεί η θερμοκρασία των λυμάτων. Στην παρούσα εργασία, η θερμοκρασία αυτή λαμβάνεται ίση με  **$14^\circ\text{C}$  για το χειμώνα και  $24^\circ\text{C}$  για το καλοκαίρι** [7].



#### Υπολογισμός συνολικής επιφάνειας λεκανών για απομάκρυνση BOD

Η συνολική επιφάνεια λεκανών μπορεί να υπολογιστεί από την παρακάτω εξίσωση:

$$A_s = L \cdot W = \frac{Q \cdot \ln\left(\frac{C_o}{C_e}\right)}{K_T \cdot d \cdot n}$$

όπου,

$A_s$ : συνολική επιφάνεια λεκανών,  $\text{m}^2$

$L$ : μήκος λεκάνης, παράλληλα στη ροή,  $\text{m}$

$W$ : πλάτος λεκάνης,  $\text{m}$

$Q$ : μέση παροχή,  $\text{m}^3/\text{d}$

$C_o$ : συγκέντρωση εισροής ρυπαντή,  $\text{mg/l}$

$C_e$ : συγκέντρωση εκροής ρυπαντή,  $\text{mg/l}$

$d$ : βάθος νερού λεκάνης,  $\text{m}$

$n$ : πορώδες (εκφράζεται ως δεκαδικός)

$K_T$ : σταθερά κινητικής εξαρτώμενη από τη θερμοκρασία,  $\text{d}^{-1}$

Και

$$K_T = K_{20} \cdot \theta^{(T - 20)}$$

όπου,

$K_{20}$ : σταθερά για τη θερμοκρασία 20°C,  $d^{-1}$

T: θερμοκρασία λυμάτων, °C

$\theta$ : σταθερά που εξαρτάται από το είδος του ρυπαντή και τη σχετική διαφορά θερμοκρασίας

Εν συνεχεία, θα υπολογιστεί η απαιτούμενη έκταση λεκανών του υδροβιότοπου υποεπιφανειακής ροής, έτσι ώστε να επιτευχθεί μείωση του BOD σε επιθυμητές τιμές, τόσο για το χειμώνα όσο και για το καλοκαίρι.

### Χειμώνας

Πρέπει να επιτευχθεί μείωση του BOD από την τιμή των 250 mg/lt σε 10 mg/l. Έτσι, έχουμε:

$$Q = 2030 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$n = 0,36$$

$$C_o = 250 \text{ mg/l}$$

$$K_{20} = 1,104 \text{ d}^{-1}$$

$$C_e = 10 \text{ mg/l}$$

$$T = 14 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$d = 0,6 \text{ m}$$

$$\theta = 1,06$$

Υπολογίζεται:

$$K_T = K_{20} \cdot \theta^{(T - 20)} = 1,104 \text{ d}^{-1} \cdot 1,06^{(14 - 20)} \Rightarrow K_{14} = 0,778 \text{ d}^{-1}$$

Άρα:

$$A_s = \frac{Q \cdot \ln\left(\frac{C_o}{C_e}\right)}{K_T \cdot d \cdot n} = \frac{2030 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \cdot \ln\left(\frac{250}{10}\right)}{0,778 \text{ d}^{-1} \cdot 0,6 \text{ m} \cdot 0,36} \Rightarrow A_s = 38884 \text{ m}^2$$

### Καλοκαίρι

Πρέπει να επιτευχθεί μείωση του BOD από την τιμή των 165 mg/lt σε 10 mg/l. Έτσι, έχουμε:

$$\begin{array}{ll} Q = 2897 \text{ m}^3/\text{d} & n = 0,36 \\ C_o = 165 \text{ mg/l} & K_{20} = 1,104 \text{ d}^{-1} \\ C_e = 10 \text{ mg/l} & T = 24 \text{ }^\circ\text{C} \\ d = 0,6 \text{ m} & \theta = 1,06 \end{array}$$

Υπολογίζεται:

$$K_T = K_{20} \cdot \theta^{(T-20)} = 1,104 \text{ d}^{-1} \cdot 1,06^{(24-20)} \Rightarrow K_{24} = 1,394 \text{ d}^{-1}$$

Άρα:

$$A_s = \frac{Q \cdot \ln\left(\frac{C_o}{C_e}\right)}{K_T \cdot d \cdot n} = \frac{2897 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \cdot \ln\left(\frac{165}{10}\right)}{1,394 \text{ d}^{-1} \cdot 0,6 \text{ m} \cdot 0,36} \Rightarrow A_s = 26972 \text{ m}^2$$

Για το σχεδιασμό των λεκανών θα χρησιμοποιηθεί η περίπτωση που απαιτεί μεγαλύτερη έκταση, και αυτή εμφανίζεται το χειμώνα για το σχεδιασμό βάσει της απομάκρυνσης BOD που μελετήθηκε. Συνεπώς, η έκταση της λεκάνης του υδροβιότοπου υπολογίζεται να έχει εμβαδόν:

$$A_s = 38884 \text{ m}^2$$



### Διαστασιολόγηση υδροβιότοπου SFS και υπολογισμός παραμέτρων

Για τα συστήματα υποεπιφανειακής ροής θεωρείται ότι ο νόμος του Darcy, που περιγράφει τη ροή υγρού σε πορώδες μέσο, αποτελεί μια καλή προσέγγιση για την περίπτωση τέτοιων συστημάτων. Βασική παραδοχή αποτελεί η γραμμική ροή και το πορώδες, ομοιόμορφο μέσο. Εν συνεχεία, υπολογίζεται το ελάχιστο επιτρεπτό πλάτος λεκάνης, ώστε να ισχύουν οι συνθήκες ροής του Darcy:

$$\min W = \frac{1}{d} \cdot \left( \frac{Q \cdot A_s}{m \cdot K} \right)^{0,5}$$

όπου,

m: αύξηση βάθους που εξυπηρετεί ως διαφορικό φορτίο

K: υδραυλική αγωγιμότητα,  $m^3/m^2 \cdot d$

Στο παρόν σύστημα επιλέγεται **m = 0,03** και όπως αναγράφεται παραπάνω, **K = 10000  $m^3/m^2 \cdot d$** .

Ο υπολογισμός των διαστάσεων του υδροβιότοπου καθώς και του αριθμού των λεκανών πραγματοποιείται ως εξής. Αρχικά, γίνεται η παραδοχή πως λειτουργεί μια μόνο κλίνη, εμβαδού 38884  $m^2$ , η οποία δέχεται παροχή 2030  $m^3/d$ . Υπολογίζεται το ελάχιστο επιτρεπτό πλάτος της λεκάνης:

$$\min W = \frac{1}{d} \cdot \left( \frac{Q \cdot A_s}{m \cdot K} \right)^{0,5} = \frac{1}{0,6 \text{ m}} \cdot \left( \frac{2030 \frac{m^3}{d} \cdot 38884 \text{ m}^2}{0,03 \cdot 10000 \frac{m^3}{m^2 \cdot d}} \right)^{0,5} = 855 \text{ m}$$

Εάν θεωρηθεί λόγος μήκους : πλάτους = 1,1:1, προκύπτει:

$$\frac{L}{W} = \frac{1,1}{1} \Rightarrow L = 1,1 \cdot W$$

$$L \cdot W = 38884$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 1,1 \cdot W \cdot W = 38884 \Rightarrow W^2 = 35349 \Rightarrow \\ W = 188,0133 \text{ m} < 855 \text{ m, άρα απορρίπτεται} \end{array} \right.$$

Εν συνεχεία, θεωρούνται δύο όμοιες κλίνες, εμβαδού  $19442 \text{ m}^2$ , όπου η κάθε μια δέχεται παροχή  $1015 \text{ m}^3/\text{d}$ . Υπολογίζεται το ελάχιστο επιτρεπτό πλάτος της κάθε κλίνης:

$$\min W = \frac{1}{d} \cdot \left( \frac{Q \cdot A_s}{m \cdot K} \right)^{0,5} = \frac{1}{0,6 \text{ m}} \cdot \left( \frac{1015 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \cdot 19442 \text{ m}^2}{0,03 \cdot 10000 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{d}}} \right)^{0,5} = 427,5 \text{ m}$$

Εάν θεωρηθεί λόγος μήκους : πλάτους = 1,1:1, προκύπτει:

$$\frac{L}{W} = \frac{1,1}{1} \Rightarrow L = 1,1 \cdot W$$

$$L \cdot W = 19442$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 1,1 \cdot W \cdot W = 19442 \Rightarrow W^2 = 17675 \Rightarrow \\ W = 132,95 \text{ m} < 427,5 \text{ m, άρα απορρίπτεται} \end{array} \right.$$

Εν συνεχεία, θεωρούνται τρεις όμοιες κλίνες, εμβαδού  $12962 \text{ m}^2$ , όπου η κάθε μια δέχεται παροχή  $677 \text{ m}^3/\text{d}$ . Υπολογίζεται το ελάχιστο επιτρεπτό πλάτος της κάθε κλίνης:

$$\min W = \frac{1}{d} \cdot \left( \frac{Q \cdot A_s}{m \cdot K} \right)^{0,5} = \frac{1}{0,6 \text{ m}} \cdot \left( \frac{677 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \cdot 12962 \text{ m}^2}{0,03 \cdot 10000 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{d}}} \right)^{0,5} = 285 \text{ m}$$

Εάν θεωρηθεί λόγος μήκους : πλάτους = 1,1:1, προκύπτει:

$$\frac{L}{W} = \frac{1,1}{1} \Rightarrow L = 1,1 \cdot W$$

$$L \cdot W = 12962$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 1,1 \cdot W \cdot W = 12962 \Rightarrow W^2 = 11784 \Rightarrow \\ W = 108,6 \text{ m} < 285 \text{ m, άρα απορρίπτεται} \end{array} \right.$$

Εν συνεχεία, θεωρούνται τέσσερις όμοιες κλίνες, εμβαδού  $9721 \text{ m}^2$ , όπου η κάθε μια δέχεται παροχή  $507,5 \text{ m}^3/\text{d}$ . Υπολογίζεται το ελάχιστο επιτρεπτό πλάτος της κάθε κλίνης:

$$\min W = \frac{1}{d} \cdot \left( \frac{Q \cdot A_s}{m \cdot K} \right)^{0,5} = \frac{1}{0,6 \text{ m}} \cdot \left( \frac{507,5 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \cdot 9721 \text{ m}^2}{0,03 \cdot 10000 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{d}}} \right)^{0,5} = 214 \text{ m}$$

Εάν θεωρηθεί λόγος μήκους : πλάτους = 1,1:1, προκύπτει:

$$\frac{L}{W} = \frac{1,1}{1} \Rightarrow L = 1,1 \cdot W$$

$$L \cdot W = 9721$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 1,1 \cdot W \cdot W = 9721 \Rightarrow W^2 = 8837 \Rightarrow \\ W = 94 \text{ m} < 214 \text{ m, άρα απορρίπτεται} \end{array} \right.$$

Εν συνεχεία, θεωρούνται οκτώ όμοιες κλίνες, εμβαδού  $4860,5 \text{ m}^2$ , όπου η κάθε μια δέχεται παροχή  $254 \text{ m}^3/\text{d}$ . Υπολογίζεται το ελάχιστο επιτρεπτό πλάτος της κάθε κλίνης:

$$\min W = \frac{1}{d} \cdot \left( \frac{Q \cdot A_s}{m \cdot K} \right)^{0,5} = \frac{1}{0,6 \text{ m}} \cdot \left( \frac{254 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \cdot 4860,5 \text{ m}^2}{0,03 \cdot 10000 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{d}}} \right)^{0,5} = 107 \text{ m}$$

Εάν θεωρηθεί λόγος μήκους : πλάτους = 1,1:1, προκύπτει:

$$\frac{L}{W} = \frac{1,1}{1} \Rightarrow L = 1,1 \cdot W$$

$$L \cdot W = 4860,5$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 1,1 \cdot W \cdot W = 4860,5 \Rightarrow W^2 = 4418,6 \Rightarrow \\ W = 66,47 \text{ m} < 107 \text{ m, άρα απορρίπτεται} \end{array} \right.$$

Εν συνεχεία, θεωρούνται 16 όμοιες κλίνες, εμβαδού 2430,25 m<sup>2</sup>, όπου η κάθε μια δέχεται παροχή 126,88 m<sup>3</sup>/d. Υπολογίζεται το ελάχιστο επιτρεπτό πλάτος της κάθε κλίνης:

$$\min W = \frac{1}{d} \cdot \left( \frac{Q \cdot A_s}{m \cdot K} \right)^{0,5} = \frac{1}{0,6 \text{ m}} \cdot \left( \frac{126,88 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \cdot 2430,25 \text{ m}^2}{0,03 \cdot 10000 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{d}}} \right)^{0,5} = 53,4 \text{ m}$$

Εάν θεωρηθεί λόγος μήκους : πλάτους = 1,1:1, προκύπτει:

$$\frac{L}{W} = \frac{1,1}{1} \Rightarrow L = 1,1 \cdot W$$

$$L \cdot W = 2430,25$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 1,1 \cdot W \cdot W = 2430,25 \Rightarrow W^2 = 2209 \Rightarrow \\ W = 47 \text{ m} < 53,4 \text{ m, άρα απορρίπτεται} \end{array} \right.$$

Εν συνεχεία, θεωρούνται 18 όμοιες κλίνες, εμβαδού 2160 m<sup>2</sup>, όπου η κάθε μια δέχεται παροχή 112,78 m<sup>3</sup>/d. Υπολογίζεται το ελάχιστο επιτρεπτό πλάτος της κάθε κλίνης:

$$\min W = \frac{1}{d} \cdot \left( \frac{Q \cdot A_s}{m \cdot K} \right)^{0,5} = \frac{1}{0,6 \text{ m}} \cdot \left( \frac{112,78 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \cdot 2160 \text{ m}^2}{0,03 \cdot 10000 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{d}}} \right)^{0,5} = 47,5 \text{ m}$$



Εάν θεωρηθεί λόγος μήκους : πλάτους = 1,1:1, προκύπτει:

$$\frac{L}{W} = \frac{1,1}{1} \Rightarrow L = 1,1 \cdot W$$

$$L \cdot W = 2160$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 1,1 \cdot W \cdot W = 2160 \Rightarrow W^2 = 1964 \Rightarrow \\ W = 44,32 \text{ m} < 47,5 \text{ m, άρα απορρίπτεται} \end{array} \right.$$

Εν συνεχεία, θεωρούνται 20 όμοιες κλίνες, εμβαδού  $1944,2 \text{ m}^2$ , όπου η κάθε μια δέχεται παροχή  $101,5 \text{ m}^3/\text{d}$ . Υπολογίζεται το ελάχιστο επιτρεπτό πλάτος της κάθε κλίνης:

$$\min W = \frac{1}{d} \cdot \left( \frac{Q \cdot A_s}{m \cdot K} \right)^{0,5} = \frac{1}{0,6 \text{ m}} \cdot \left( \frac{101,5 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \cdot 1944,2 \text{ m}^2}{0,03 \cdot 10000 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{d}}} \right)^{0,5} = 42,75 \text{ m}$$

Εάν θεωρηθεί λόγος μήκους : πλάτους = 1,1:1, προκύπτει:

$$\frac{L}{W} = \frac{1,1}{1} \Rightarrow L = 1,1 \cdot W$$

$$L \cdot W = 1944,2$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 1,1 \cdot W \cdot W = 1944,2 \Rightarrow W^2 = 1767,5 \Rightarrow \\ W = 42,04 \text{ m} < 42,75 \text{ m, άρα απορρίπτεται} \end{array} \right.$$

Εν συνεχεία, θεωρούνται 21 όμοιες κλίνες, εμβαδού  $1852 \text{ m}^2$ , όπου η κάθε μια δέχεται παροχή  $96,67 \text{ m}^3/\text{d}$ . Υπολογίζεται το ελάχιστο επιτρεπτό πλάτος της κάθε κλίνης:

$$\min W = \frac{1}{d} \cdot \left( \frac{Q \cdot A_s}{m \cdot K} \right)^{0,5} = \frac{1}{0,6 \text{ m}} \cdot \left( \frac{96,67 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \cdot 1852 \text{ m}^2}{0,03 \cdot 10000 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{d}}} \right)^{0,5} = 40,72 \text{ m}$$

Εάν θεωρηθεί λόγος μήκους : πλάτους = 1,1:1, προκύπτει:

$$\frac{L}{W} = \frac{1,1}{1} \Rightarrow L = 1,1 \cdot W$$

$$L \cdot W = 1852$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 1,1 \cdot W \cdot W = 1852 \Rightarrow W^2 = 1684 \Rightarrow \\ W = 41,04 \text{ m} > 40,72 \text{ m, άρα δεκτό} \end{array} \right.$$

Συνεπώς, θα κατασκευαστούν 21 όμοιες κλίνες διαστάσεων  $L \times W = 45,14 \text{ m} \times 41,04 \text{ m}$ , δηλαδή **1852 m<sup>2</sup> έκαστη**, ενώ το συνολικό εμβαδόν του υγροβιότοπου υπολογίζεται στα **38903 m<sup>2</sup>**.

Το ωφέλιμο βάθος επιλέχθηκε 0,6 m, ενώ παράλληλα προβλέπεται ένα στρώμα 0,15 m λεπτόκοκκου υλικού στην επιφάνεια για την υποβοήθηση της ριζοβολίας των φυτών. Συνεπώς, το ολικό βάθος υπολογίζεται στα **0,75 m**.

Στη συνέχεια θα υπολογιστεί η **συγκέντρωσης εκροής BOD** σύμφωνα με το νέο εμβαδόν που υπολογίστηκε. Έτσι:

**Χειμώνας**

$$A_s = \frac{Q \cdot \ln\left(\frac{C_o}{C_e}\right)}{K_T \cdot d \cdot n} \Rightarrow \ln \frac{C_o}{C_e} = \frac{A_s \cdot K_T \cdot d \cdot n}{Q} \Rightarrow C_e = \frac{C_o}{e^{\left(\frac{A_s \cdot K_T \cdot d \cdot n}{Q}\right)}} \Rightarrow C_e = \frac{250 \frac{mg}{lt}}{e^{\left(\frac{38903 \text{ m}^2 \cdot 0,778 \text{ d}^{-1} \cdot 0,6 \text{ m} \cdot 0,36}{2030 \frac{\text{m}^3}{d}}\right)}}$$

$$\Rightarrow \boxed{C_e = 9,98 \text{ mg/lt}}$$

### Καλοκαίρι

$$A_s = \frac{Q \cdot \ln\left(\frac{C_o}{C_e}\right)}{K_T \cdot d \cdot n} \Rightarrow \ln \frac{C_o}{C_e} = \frac{A_s \cdot K_T \cdot d \cdot n}{Q} \Rightarrow C_e = \frac{C_o}{e^{\left(\frac{A_s \cdot K_T \cdot d \cdot n}{Q}\right)}} \Rightarrow C_e = \frac{165 \frac{mg}{lt}}{e^{\left(\frac{38903 m^2 \cdot 1,394 d^{-1} \cdot 0,6 m \cdot 0,36}{2897 \frac{m^3}{d}}\right)}}$$

$\Rightarrow$   **$C_e = 2,89 \text{ mg/l}$**

Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής δίνεται από τη σχέση:

$$t = \frac{A_s \cdot d \cdot n}{Q}$$

Έτσι, για το χειμώνα ο υδραυλικός χρόνος παραμονής υπολογίζεται:

$$t_{\text{χειμώνα}} = \frac{38903 m^2 \cdot 0,6 m \cdot 0,36}{2030 \frac{m^3}{d}} \Rightarrow \text{t}_{\text{χειμώνα}} = 4,14 \text{ days}$$

Για το καλοκαίρι ο υδραυλικός χρόνος παραμονής υπολογίζεται:

$$t_{\text{θέρους}} = \frac{38903 m^2 \cdot 0,6 m \cdot 0,36}{2897 \frac{m^3}{d}} \Rightarrow \text{t}_{\text{θέρους}} = 2,90 \text{ days}$$



### Μοντέλα εκτίμησης απομάκρυνσης ρυπαντών

Για την ταχεία εκτίμηση απομάκρυνσης ρυπαντών σε συστήματα τεχνητών υδροβιότοπων, έχουν αναπτυχθεί διάφορα εμπειρικά μοντέλα που βασίζονται στον υδραυλικό ρυθμό φόρτισης. Ο υδραυλικός ρυθμός φόρτισης (Hydraulic Loading Rate, HLR) υπολογίζεται με την παρακάτω εξίσωση:

$$HLR = \frac{Q}{A_s} \cdot 100$$

#### Χειμώνας

Ο υδραυλικός ρυθμός φόρτισης για το χειμώνα υπολογίζεται:

$$HLR = \frac{Q}{A_s} \cdot 100 = \frac{2030 \frac{m^3}{d}}{38903 m^2} \cdot 100 \Rightarrow HLR_{\text{χειμώνας}} = 5,22 \text{ cm/d}$$

#### Καλοκαίρι

Ο υδραυλικός ρυθμός φόρτισης για το καλοκαίρι υπολογίζεται:

$$HLR = \frac{Q}{A_s} \cdot 100 = \frac{2897 \frac{m^3}{d}}{38903 m^2} \cdot 100 \Rightarrow HLR_{\text{καλοκαίρι}} = 7,45 \text{ cm/d}$$

Γενικά, τα παρακάτω μοντέλα για εκτίμηση της απομάκρυνσης των ρυπαντών είναι απλά, αλλά μπορούν να δώσουν προσεγγιστικές τιμές απόδοσης των συστημάτων.

### ➤ TSS

Η απομάκρυνση των TSS υπολογίζεται από τη συγκέντρωση TSS στην έξοδο όταν είναι γνωστή η συγκέντρωση στην είσοδο και ο υδραυλικός ρυθμός φόρτισης:

$$C_e = C_o \cdot (0,1058 + 0,0011 \cdot HLR)$$

#### **Χειμώνας**

$$C_e = 58 \cdot (0,1058 + 0,0011 \cdot 5,22) \Rightarrow C_e = 6,5 \text{ mg/l}$$

#### **Καλοκαίρι**

$$C_e = 40 \cdot (0,1058 + 0,0011 \cdot 7,45) \Rightarrow C_e = 4,6 \text{ mg/l}$$

### ➤ TP

Η απομάκρυνση των TP υπολογίζεται από τη συγκέντρωση TP στην έξοδο όταν είναι γνωστή η συγκέντρωση στην είσοδο και ο υδραυλικός ρυθμός φόρτισης:

$$\frac{C_e}{C_o} = \exp\left(-\frac{K_p}{HLR}\right)$$

όπου  $K_p = 2,73 \text{ cm/d}$

#### **Χειμώνας**

$$\frac{C_e}{17} = \exp\left(-\frac{2,73}{5,22}\right) \Rightarrow C_e = 10,1 \text{ mg/l}$$

### Καλοκαίρι

$$\frac{C_e}{13} = \exp\left(-\frac{2,73}{7,45}\right) \Rightarrow C_e = 9 \text{ mg/l}$$

### ➤ TN

Η απομάκρυνση των TN υπολογίζεται από τη συγκέντρωση TN στην έξοδο όταν είναι γνωστή η συγκέντρωση στην είσοδο και ο υδραυλικός ρυθμός φόρτισης:

$$C_e = 0,193 \cdot C_o + 1,55 \cdot \ln HLR - 1,75$$

### Χειμώνας

$$C_e = 0,193 \cdot 60 + 1,55 \cdot \ln 5,22 - 1,75 \Rightarrow C_e = 12,4 \text{ mg/l}$$

### Καλοκαίρι

$$C_e = 0,193 \cdot 48 + 1,55 \cdot \ln 7,45 - 1,75 \Rightarrow C_e = 10,6 \text{ mg/l}$$

### ➤ ΚΟΛΟΒΑΚΤΗΡΙΔΙΑ

Τόσο για το χειμώνα όσο και για το καλοκαίρι θεωρείται πως στον υγροβιότοπο σημειώνεται μείωση ολικών και κοπρανωδών κολοβακτηριδίων κατά ένα ποσοστό 99%. Έτσι:

Τα ολικά κολοβακτηρίδια στην εκροή από τον υγροβιότοπο υπολογίζονται:

#### Χειμώνας και Καλοκαίρι

$$C_e = (10^6 \text{ αποικίες/100 ml}) \cdot 0,01 \Rightarrow C_e = 10^4 \text{ αποικίες/100 ml}$$

Τα κοπρανώδη κολοβακτηρίδια στην εκροή από τον υγροβιότοπο υπολογίζονται:

#### Χειμώνας και Καλοκαίρι

$$C_e = (10^5 \text{ αποικίες/100 ml}) \cdot 0,01 \Rightarrow C_e = 10^3 \text{ αποικίες/100 ml}$$

Ποιοτικά και ποσοτικά στοιχεία εκροής επεξεργασμένων λυμάτων από τον υγροβιότοπο υποεπιφανειακής ροής

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΥΓΡΟΒΙΟΤΟΠΟΥ ΥΠΟΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΡΟΗΣ				
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΚΡΟΗΣ	ΣΥΜΒΟΛΟ	40ΕΤΙΑ		ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗΣ %
		ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΘΕΡΟΣ	
ΜΕΓΙΣΤΟ ΗΜΕΡΗΣΙΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΕΚΡΟΗΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΥΓΡΟΒΙΟΤΟΠΟ (m <sup>3</sup> /d)	Qdmax,SFS,out	2030	2575	0 και 20 αντίστοιχα
BOD (mg/l)		9,98	2,89	96 και 98 αντίστοιχα
TN (mg/l)		12,4	10,6	79 και 78 αντίστοιχα
TP (mg/l)		10,1	9	41 και 31 αντίστοιχα
SS (mg/l)		6,5	4,6	89 και 89 αντίστοιχα
ΟΛΙΚΑ ΚΟΛΟΒΑΚΤΗΡΙΔΙΑ (αποικίες/100ml)	TC	1,00E+04	1,00E+04	99 και 99 αντίστοιχα
ΚΟΠΡΑΝΩΔΗ ΚΟΛΟΒΑΚΤΗΡΙΔΙΑ (αποικίες/100ml)	FC	1,00E+03	1,00E+03	99 και 99 αντίστοιχα

### **5.7 Φυσικό σύστημα Σεναρίου 2: Υγροβιότοπος ελεύθερης επιφάνειας (FWS)**

#### Γενικά

Σύμφωνα με το σενάριο αυτό, μετά την πρωτοβάθμια επεξεργασία στη σηπτική δεξαμενή τα λύματα οδηγούνται σε υγροβιότοπο ελεύθερης επιφάνειας.

Τα συστήματα FWS αποτελούνται συνήθως από παράλληλες λεκάνες, κανάλια ή τάφρους με αδιαπέρατους πυθμένες, με αναφυόμενη φυτική βλάστηση και μικρό βάθος νερού (0,1–0,5 m). Σε τέτοια συστήματα εφαρμόζεται προεπεξεργασμένο υγρό απόβλητο και η περαιτέρω επεξεργασία του διενεργείται, καθώς η εφαρμοζόμενη εκροή του, ρέει με μικρή ταχύτητα δια μέσου των στελεχών και ριζών της υφιστάμενης φυτικής βλάστησης και του υφιστάμενου υποστρώματος (Hammer, 1989).

Στα συστήματα FWS κύρια πηγή οξυγόνου είναι η ελεύθερη επιφάνειά τους, αλλά η ύπαρξη βιολογικής βλάστησης παρεμποδίζει τον επιφανειακό επαναερισμό, που είναι δυνατόν να διενεργείται με τον άνεμο. Για το λόγο αυτό, θα πρέπει να εφαρμόζονται μικρά σχετικά οργανικά φορτία. Αντίθετα, η ύπαρξη φυτικής βλάστησης επιδρά ανασταλτικά στην ανάπτυξη αλγών.

Η απομάκρυνση των στερεών σε αιώρηση οφείλεται κυρίως στο μηχανισμό της καθίζησης και διενεργείται, ως επί τω πλείστον, σε μικρές αποστάσεις από το σημείο εισροής του αποβλήτου στο σύστημα.

Η απομάκρυνση του αζώτου οφείλεται, κυρίως, στις διεργασίες της νιτροποίησης-απονιτροποίησης (σε ποσοστό της τάξης του 85-90%) και λιγότερο στην πρόσληψή του από τα φυτά. Για το λόγο αυτό εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ταχύτητα εφαρμογής του οργανικού φορτίου και το χρόνο κράτησης. Ακόμη και όταν τα φυτά που χρησιμοποιούνται συγκομίζονται περιοδικά, η απομάκρυνση αζώτου, οφειλόμενη στην πρόσληψή του από τα φυτά, αντιπροσωπεύει ένα ποσοστό 10-15 % της συνολικής απομάκρυνσής του. Σε συστήματα FWS φαίνεται ότι, εδαφικοί σχηματισμοί εναλλαγής



φυτικής βλάστησης και ζώνης ελεύθερης ροής σε χαλικώδες υπόστρωμα, ίσως διασφαλίζουν τον κατάλληλο συνδυασμό περιβαλλοντικών συνθηκών για βέλτιστη απομάκρυνση αζώτου. Η διατήρηση τέτοιων σχηματισμών απαιτεί περιοδική συγκομιδή της βλάστησης που αναπτύσσεται στην ελεύθερη ζώνη, τουλάχιστον σε ετήσια βάση.

Η απομάκρυνση του φωσφόρου σε τέτοια συστήματα είναι περιορισμένη, εξαιτίας της περιορισμένης επαφής του αποβλήτου με το έδαφος. Περιορισμένη είναι επίσης και η απομάκρυνση μετάλλων, λόγω της περιορισμένης επαφής του αποβλήτου με το υπόστρωμα, αλλά και λόγω των αναερόβιων συνθηκών που δύναται να επικρατήσουν σε αυτό.

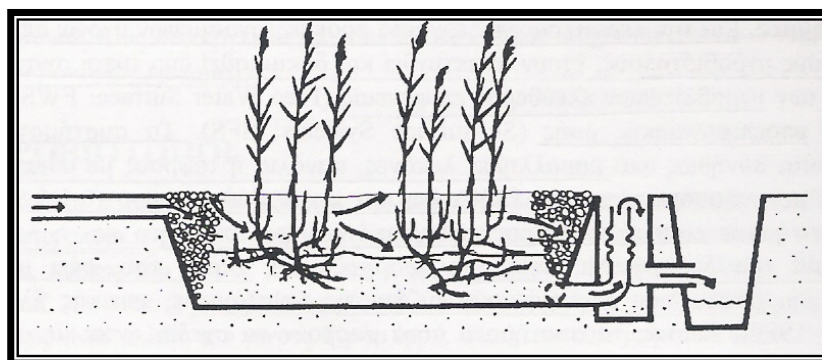
Συγκεντρωτικά, οι βασικοί μηχανισμοί απομάκρυνσης αλλά και μετατροπής των συστατικών των λυμάτων στους υγροβιότοπους ελεύθερης επιφάνειας, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5-4**  
**Βασικοί μηχανισμοί απομάκρυνσης αλλά και μετατροπής των συστατικών των λυμάτων στους υγροβιότοπους ελεύθερης επιφάνειας [14]**

Συστατικό	Βιοαποικοδομήσιμα οργανικά υλικά	Αιωρούμενα στερεά	Αζωτο	Φώσφορος	Βαρέα μέταλλα	Οργανικά ιχνοστοιχεία	Παθογόνοι μ/ο
<b>Μηχανισμοί μετατροπής και απομάκρυνσης</b>	Βιομετατροπή με αερόβια, ελεύθερα και αναερόβια βακτήρια στην επιφάνεια των φυτών και του εδάφους του διαλυτού BOD, προσρόφηση, φιλτράρισμα και καθίζηση του στερεού BOD	Καθίζηση, φιλτράρισμα	Νιτροποίηση, απονιτροποίηση, πρόσληψη από τα φυτά, εξάτμιση	Καθίζηση, πρόσληψη από τα φυτά	Προσρόφηση από φυτά και έδαφος, καθίζηση	Εξάτμιση, προσρόφηση, βιοαποικοδόμηση	Φυσική σήψη, καθίζηση, υπερϊώδης ακτινοβολία, εξαγωγή αντιβιοτικών από τις ρίζες των φυτών

Στα συστήματα FWS, η έκταση της λεκάνης σχεδιάζεται κυρίως με βάση το χρόνο κράτησης και το βάθος της. Οδηγίες για μια σταθερή αναλογία πλάτους/μήκους δεν

έχουν ακόμη καθοριστεί. Σχετική μελέτη συνιστά επιμήκεις λεκάνες, με αναλογία πλάτος/μήκος = 1/10 για την επίτευξη ικανοποιητικής επεξεργασίας (Metcalf and Eddy, 1991). Λόγοι μήκους/πλάτους της τάξης 1-4 : 1 έχουν αποδειχθεί οικονομικά βέλτιστοι. Με τη χρήση λεκανών μικρού πλάτους και μεγάλου σχετικά μήκους, ελαττώνεται το δυναμικό για περιορισμένη κυκλοφορία. Αυτό συνεπάγεται αυξημένη συγκέντρωση φορτίου στην είσοδο της λεκάνης, που μπορεί να οδηγήσει σε υπερφορτώσεις, ιδιαίτερα στην περίπτωση που γίνεται υπέρβαση των κριτηρίων των σχετικών με τα εφαρμοζόμενα φορτία. Για την αποφυγή υπερφορτώσεων στην είσοδο της λεκάνης μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολλαπλά σημεία τροφοδοσίας. Τέτοια τυπικά συστήματα έχουν συνολικό πλάτος ισοδύναμο με το μήκος της λεκάνης. Το πλάτος τους διαχωρίζεται σε τουλάχιστον δύο παράλληλες λεκάνες, με αναχώματα για καλύτερο υδραυλικό έλεγχο και λειτουργική ευκαμψία. Παράλληλα, με τις πολλαπλές λεκάνες, επιτυγχάνεται να τίθενται εκτός λειτουργίας τμήματα του συστήματος για διάφορους διαχειριστικούς λόγους, όπως είναι η φροντίδα της φυτικής βλάστησης και η συντήρηση της λεκάνης [12, 13].



**ΕΙΚΟΝΑ 5-6**  
**Σύστημα υγροβιότοπου FWS [13]**

Σε γενικές γραμμές, τα βασικότερα κριτήρια για το σχεδιασμό ενός τεχνητού υγροβιότοπου FWS είναι ο χρόνος κατακράτησης, ο ρυθμός εφαρμογής του οργανικού φορτίου, η απαιτούμενη επιφάνεια και το βάθος του νερού. Άλλα κριτήρια σχεδιασμού είναι η αναλογία μήκους/πλάτους, ο χειρισμός της φυτικής βλάστησης και διάφορες άλλες θερμικές και υδραυλικές θεωρήσεις.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα τυπικά κριτήρια για το σχεδιασμό των υγροβιότοπων.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5-5**  
**Τυπικά κριτήρια για το σχεδιασμό των υγροβιότοπων [14]**

Κριτήριο	Μονάδα	Τιμή
Υδραυλικός χρόνος παραμονής	Ημέρες	2 - 5 (BOD) 7 - 14 (N)
Ρυθμός εφαρμογής οργανικού φορτίου BOD	Κιλά / στρέμμα / ημέρα	< 11
Βάθος νερού	Μέτρα	0,10 - 0,50
Λόγος μήκους / πλάτους		2:1 - 4:1
Έλεγχος κουνουπιών		Απαιτείται
Συχνότητα συγκομιδής	Έτη	3 - 5



**ΕΙΚΟΝΑ 5-7**  
**Κλίνη τεχνητού υγροβιότοπου FWS Δήμου Καστελλίου Νομού Ηρακλείου, σε υπό κατασκευή στάδιο**





**ΕΙΚΟΝΑ 5-8**

**Κλίνη τεχνητού υγροβιότοπου FWS Δήμου Καστελλίου Νομού Ηρακλείου, σε  
υπό κατασκευή στάδιο**



**ΕΙΚΟΝΑ 5-9**

**Κλίνες τεχνητού υγροβιότοπου FWS Δήμου Καστελλίου Νομού Ηρακλείου, σε  
υπό κατασκευή στάδιο**

### Σχεδιασμός υγροβιότοπου ελεύθερης επιφάνειας

Το μέγιστο ημερήσιο υδραυλικό φορτίο εκροής από τη σηπτική δεξαμενή είναι 2030 m<sup>3</sup>/d για το χειμώνα και 3218 m<sup>3</sup>/d για το καλοκαίρι. Η ποσότητα της εκροής από τον υγροβιότοπο θα παρουσιάσει κάποιες απώλειες, λόγω της εξατμισοδιαπνοής και της διήθησης. Στο σημείο αυτό γίνεται παραδοχή συνολικών απωλειών της ποσότητας εκροής κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, κατά ένα ποσοστό περί τα 20%, ενώ θεωρούμε πως δε σημειώνονται απώλειες κατά τους χειμερινούς μήνες, αλλά ούτε και εισροές από κατακρημνίσεις. Οι παραπάνω παραδοχές είναι απαραίτητες να γίνουν ώστε να προχωρήσει ο σχεδιασμός του υγροβιότοπου, καθώς η χρησιμοποιούμενη παροχή στο σχεδιασμό τεχνητών υγροβιότοπων είναι η μέση παροχή που προκύπτει λαμβάνοντας υπόψη τυχόν μεταβολές εξαιτίας (α) απωλειών διαμέσου της εξατμισοδιαπνοής και διήθησης και (β) εισροών από ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις.

Η μέση παροχή νερού στη λεκάνη υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$Q = \frac{Q_o + Q_e}{2}$$

όπου,

Q: η μέση παροχή στη λεκάνη, m<sup>3</sup>/d

Q<sub>o</sub>: η παροχή εισροής, m<sup>3</sup>/d

Q<sub>e</sub>: η παροχή εκροής, m<sup>3</sup>/d

Έτσι, για το χειμώνα η μέση παροχή σχεδιασμού που χρησιμοποιείται για τους υπολογισμούς είναι **Q<sub>σχ, χειμώνα</sub> = 2030 m<sup>3</sup>/d**, ενώ για το καλοκαίρι (απώλειες 20%) η μέση παροχή σχεδιασμού υπολογίζεται ίση με:

$$Q_{\text{σχ, θέρος}} = \frac{3218 + 0,8 \cdot 3218}{2} = \frac{3218 + 2575}{2} \Rightarrow Q_{\text{σχ, θέρος}} = 2897 \text{ m}^3/\text{d}$$

Ένα μέγεθος που υπεισέρχεται άμεσα στις εξισώσεις διαστασιολόγησης είναι το πορώδες  $n$ , δηλαδή η διαθέσιμη διατομή για τη διέλευση του νερού, που είναι το ποσοστό της διατομής και εκφράζεται ως δεκαδικός αριθμός. Για τους τεχνητούς υδροβιότοπους ελεύθερης επιφάνειας το πορώδες κυμαίνεται από 0,65 έως και 0,75. Στην παρούσα εργασία γίνεται παραδοχή της τιμής του πορώδους  **$n = 0,65$** .

Στα συστήματα FWS, το βάθος του νερού εξαρτάται από το βάθος που απαιτεί η ανάπτυξη της επιλεγόμενης φυτικής βλάστησης. Γενικά, το λειτουργικό βάθος είναι αυξημένο το χειμώνα, ιδιαίτερα σε ψυχρά κλίματα, ώστε να επιτρέπεται η αύξηση του χρόνου παραμονής λόγω χαμηλότερων θερμοκρασιών, κατακράτηση αυξημένων παροχών λόγω βροχοπτώσεων, αλλά και για την επιφανειακή ανάπτυξη πάγου στα ψυχρά κλίματα. Όπως προαναφέρθηκε, το λειτουργικό βάθος στα συστήματα FWS κυμαίνεται μεταξύ 0,1 και 0,5 m. Στην παρούσα εργασία θεωρείται  **$d = 0,35$  m το χειμώνα και  $d = 0,25$  m το καλοκαίρι** [7].

Σημαντικός παράγοντας στο σχεδιασμό του συστήματος αποτελεί η θερμοκρασία των λυμάτων. Στην παρούσα εργασία, η θερμοκρασία αυτή λαμβάνεται ίση με  **$14^{\circ}\text{C}$  για το χειμώνα και  $24^{\circ}\text{C}$  για το καλοκαίρι** [7].



### Υπολογισμός συνολικής επιφάνειας λεκανών για απομάκρυνση BOD

Η συνολική επιφάνεια λεκανών μπορεί να υπολογιστεί από την παρακάτω εξίσωση:

$$A_s = L \cdot W = \frac{Q \cdot \ln\left(\frac{C_o}{C_e}\right)}{K_T \cdot d \cdot n}$$

όπου,

$A_s$ : συνολική επιφάνεια λεκανών,  $m^2$

$L$ : μήκος λεκάνης, παράλληλα στη ροή,  $m$

$W$ : πλάτος λεκάνης,  $m$

$Q$ : μέση παροχή,  $m^3/d$

$C_o$ : συγκέντρωση εισροής ρυπαντή,  $mg/l$

$C_e$ : συγκέντρωση εκροής ρυπαντή,  $mg/l$

$d$ : βάθος νερού λεκάνης,  $m$

$n$ : πορώδες (εκφράζεται ως δεκαδικός)

$K_T$ : σταθερά κινητικής εξαρτώμενη από τη θερμοκρασία,  $d^{-1}$

Και

$$K_T = K_{20} \cdot \theta^{(T - 20)}$$

όπου,

$K_{20}$ : σταθερά για τη θερμοκρασία  $20^\circ C$ ,  $d^{-1}$

$T$ : θερμοκρασία λυμάτων,  $^\circ C$

$\theta$ : σταθερά που εξαρτάται από το είδος του ρυπαντή και τη σχετική διαφορά θερμοκρασίας

Εν συνεχεία, θα υπολογιστεί η απαιτούμενη έκταση λεκανών του υγροβιότοπου ελεύθερης επιφάνειας, έτσι ώστε να επιτευχθεί μείωση του BOD σε επιθυμητές τιμές, τόσο για το χειμώνα όσο και για το καλοκαίρι.

### Χειμώνας

Πρέπει να επιτευχθεί μείωση του BOD από την τιμή των 250 mg/lt σε 10 mg/l. Έτσι, έχουμε:

$$\begin{array}{ll} Q = 2030 \text{ m}^3/\text{d} & n = 0,65 \\ C_o = 250 \text{ mg/l} & K_{20} = 1,104 \text{ d}^{-1} \\ C_e = 10 \text{ mg/l} & T = 14 \text{ }^\circ\text{C} \\ d = 0,35 \text{ m} & \theta = 1,06 \end{array}$$

Υπολογίζεται:

$$K_T = K_{20} \cdot \theta^{(T-20)} = 1,104 \text{ d}^{-1} \cdot 1,06^{(14-20)} \Rightarrow K_{14} = 0,778 \text{ d}^{-1}$$

Άρα:

$$A_s = \frac{Q \cdot \ln\left(\frac{C_o}{C_e}\right)}{K_T \cdot d \cdot n} = \frac{2030 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \cdot \ln\left(\frac{250}{10}\right)}{0,778 \text{ d}^{-1} \cdot 0,35 \text{ m} \cdot 0,65} \Rightarrow A_s = 36918 \text{ m}^2$$



## Καλοκαίρι

Πρέπει να επιτευχθεί μείωση του BOD από την τιμή των 165 mg/lt σε 10 mg/l. Έτσι, έχουμε:

$$\begin{array}{ll} Q = 2897 \text{ m}^3/\text{d} & n = 0,65 \\ C_o = 165 \text{ mg/l} & K_{20} = 1,104 \text{ d}^{-1} \\ C_e = 10 \text{ mg/l} & T = 24 \text{ }^\circ\text{C} \\ d = 0,25 \text{ m} & \theta = 1,06 \end{array}$$

Υπολογίζεται:

$$K_T = K_{20} \cdot \theta^{(T-20)} = 1,104 \text{ d}^{-1} \cdot 1,06^{(24-20)} \Rightarrow K_{24} = 1,394 \text{ d}^{-1}$$

Άρα:

$$A_s = \frac{Q \cdot \ln\left(\frac{C_o}{C_e}\right)}{K_T \cdot d \cdot n} = \frac{2897 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \cdot \ln\left(\frac{165}{10}\right)}{1,394 \text{ d}^{-1} \cdot 0,25 \text{ m} \cdot 0,65} \Rightarrow A_s = 35852 \text{ m}^2$$

Για το σχεδιασμό των λεκανών θα χρησιμοποιηθεί η περίπτωση που απαιτεί μεγαλύτερη έκταση, και αυτή εμφανίζεται το χειμώνα για το σχεδιασμό βάσει της απομάκρυνσης BOD που μελετήθηκε. Συνεπώς, η έκταση της λεκάνης του υδροβιότοπου υπολογίζεται να έχει εμβαδόν:

$$A_s = 36918 \text{ m}^2$$

Θα κατασκευαστούν **επτά λεκάνες** ορθογωνικής και τοπικά τραπεζοειδούς κάτοψης, έκτασης 5274 m<sup>2</sup> έκαστη (συνολικού εμβαδού 36918 m<sup>2</sup>, δηλαδή περίπου 37 στρεμμάτων), για λόγους καλύτερης λειτουργίας και προσαρμογής στην προκειμένη έκταση και με εισερχόμενη ροή 290 m<sup>3</sup>/d για το χειμώνα και 414 m<sup>3</sup>/d για το καλοκαίρι, στην κάθε μια [7].



### Διαστασιολόγηση υδροβιότοπου FWS και υπολογισμός παραμέτρων

Για τα συστήματα ελεύθερης επιφάνειας θεωρείται ροή ισοδύναμη αυτής σε ανοικτό κανάλι, η οποία περιγράφεται από την εξίσωση Manning. Η εξίσωση αυτή αφορά ανοικτούς αγωγούς μεγάλου μήκους, όπου επικρατούν κανονικές συνθήκες. Κανονικές συνθήκες παρατηρούνται όταν η ροή είναι σταθερή και ομοιόμορφη. Αυτές οι συνθήκες ροής εμφανίζονται όταν το βάθος ροής, η διατομή της επιφάνειας ροής και η τραχύτητα δεν παρουσιάζουν μεταβολές. Άρα, βασικές παραδοχές προκειμένου να γίνει χρήση της εξίσωσης Manning αποτελούν:

- ~ η θεώρηση του συστήματος ως ανοικτού αγωγού,
- ~ η θεώρηση κανονικών συνθηκών, δηλαδή σταθερή και ομοιόμορφη ροή,
- ~ η θεώρηση πως το βάθος ροής, η διατομή της επιφάνειας ροής και η τραχύτητα είναι σταθερά.

Εν συνεχεία υπολογίζεται το μέγιστο μήκος κάθε λεκάνης χρησιμοποιώντας την εξίσωση του Manning:

$$L_{\max} = \left( \frac{A_s \cdot d^{2,667} \cdot m^{0,5} \cdot 86400}{a \cdot Q} \right)^{0,6667}$$

όπου,

**L<sub>max</sub>**: το μέγιστο επιτρεπτό μήκος κάθε λεκάνης, m

**A<sub>s</sub>**: συνολική επιφάνεια λεκανών, m<sup>2</sup>

**d**: βάθος νερού λεκάνης, m

**m**: αύξηση βάθους που εξυπηρετεί ως διαφορικό φορτίο (συνήθως κυμαίνεται από 0,01 έως 0,03)

**α**: συντελεστής αντίστασης που εξαρτάται από την πυκνότητα της φυτικής βλάστησης, s·m<sup>1/6</sup> (συνήθως κυμαίνεται από 1 έως 4 s·m<sup>1/6</sup> και για βλάστηση μέσης πυκνότητας και βάθος νερού περίπου 0,30 m μπορεί να θεωρηθεί 1,6 s·m<sup>1/6</sup>).

**Q**: μέση παροχή, m<sup>3</sup>/d

Οι τιμές που παίρνουν οι παράμετροι για τον υπολογισμό του μέγιστου επιτρεπόμενου μήκους κάθε λεκάνης είναι:

### Χειμώνας

$$A_s = 5274 \text{ m}^2$$

$$d = 0,35 \text{ m}$$

$$m = 0,03$$

$$\alpha = 1,6 \text{ s} \cdot \text{m}^{1/6}$$

$$Q = 290 \text{ m}^3/\text{d}$$

Άρα:

$$L_{\max} = \left( \frac{A_s \cdot d^{2,667} \cdot m^{0,5} \cdot 86400}{\alpha \cdot Q} \right)^{0,6667} = \left( \frac{5274 \text{ m}^2 \cdot (0,35 \text{ m})^{2,667} \cdot 0,03^{0,5} \cdot 86400}{1,6 \text{ s} \cdot \text{m}^{1/6} \cdot 290 \text{ m}^3 / \text{d}} \right)^{0,6667}$$

$$\Rightarrow L_{\max} = 474,9 \text{ m}$$

### Καλοκαίρι

$$A_s = 5274 \text{ m}^2$$

$$d = 0,25 \text{ m}$$

$$m = 0,03$$

$$\alpha = 1,6 \text{ s} \cdot \text{m}^{1/6}$$

$$Q = 414 \text{ m}^3/\text{d}$$

Άρα:

$$L_{\max} = \left( \frac{A_s \cdot d^{2,667} \cdot m^{0,5} \cdot 86400}{a \cdot Q} \right)^{0,6667} = \left( \frac{5274 \text{ m}^2 \cdot (0,25 \text{ m})^{2,667} \cdot 0,03^{0,5} \cdot 86400}{1,6 \text{ s} \cdot m^{1/6} \cdot 414 \text{ m}^3 / d} \right)^{0,6667}$$

$$\Rightarrow L_{\max} = 205,9 \text{ m}$$

Επιλέγουμε λοιπόν τις διαστάσεις της λεκάνης, έχοντας υπόψη πως  $L_{\max} = 205,9 \text{ m}$ . Είναι γνωστό πως ο λόγος μήκους/πλάτους = 3/1 έχει επικρατήσει ως ο πλέον οικονομικά βέλτιστος. Για το λόγο αυτό επιλέγεται λόγος μήκους/πλάτους = 3/1, δηλαδή:

$$\left. \begin{array}{l} \frac{L}{W} = \frac{3}{1} \Rightarrow W = \frac{L}{3} \\ L \cdot W = 5274 \end{array} \right\} L = 126 \text{ m}$$

$$\text{Και } W = L/3 \Rightarrow W = 42 \text{ m}$$

Συγκεντρωτικά δίδονται οι διαστάσεις κάθε λεκάνης:

Μήκος L (m)	126
Πλάτος W (m)	42
Εμβαδόν A (m <sup>2</sup> )	5292
Λόγος L:W	3

Συνεπώς, θα κατασκευαστούν 7 όμοιες λεκάνες διαστάσεων  $L \times W = 126 \text{ m} \times 42 \text{ m}$ , δηλαδή **5292 m<sup>2</sup> έκαστη**, ενώ το συνολικό εμβαδόν του υγροβιότοπου υπολογίζεται στα **37044 m<sup>2</sup>**.

Στη συνέχεια θα υπολογιστεί η **συγκέντρωση εκροής BOD** σύμφωνα με το νέο εμβαδόν που υπολογίστηκε. Έτσι:

#### Χειμώνας

$$A_s = \frac{Q \cdot \ln\left(\frac{C_o}{C_e}\right)}{K_T \cdot d \cdot n} \Rightarrow \ln \frac{C_o}{C_e} = \frac{A_s \cdot K_T \cdot d \cdot n}{Q} \Rightarrow C_e = \frac{C_o}{e^{\left(\frac{A_s \cdot K_T \cdot d \cdot n}{Q}\right)}} \Rightarrow C_e = \frac{250 \frac{mg}{lt}}{e^{\left(\frac{37044 m^2 \cdot 0,778 d^{-1} \cdot 0,35 m \cdot 0,65}{2030 \frac{m^3}{d}}\right)}}$$

$\Rightarrow$

$$C_e = 9,89 \text{ mg/lt}$$

#### Καλοκαίρι

$$A_s = \frac{Q \cdot \ln\left(\frac{C_o}{C_e}\right)}{K_T \cdot d \cdot n} \Rightarrow \ln \frac{C_o}{C_e} = \frac{A_s \cdot K_T \cdot d \cdot n}{Q} \Rightarrow C_e = \frac{C_o}{e^{\left(\frac{A_s \cdot K_T \cdot d \cdot n}{Q}\right)}} \Rightarrow C_e = \frac{165 \frac{mg}{lt}}{e^{\left(\frac{37044 m^2 \cdot 1,394 d^{-1} \cdot 0,25 m \cdot 0,65}{2897 \frac{m^3}{d}}\right)}}$$

$\Rightarrow$

$$C_e = 9,11 \text{ mg/lt}$$

Η υδραυλική φόρτιση συνήθως παίρνει τιμές  $0,1 - 0,6 \text{ m}^3 / \text{m}^2 / \text{d}$  και υπολογίζεται με τον τύπο:

$$L_v = Q/A$$

Για την υπό μελέτη περίπτωση είναι:

α) για το χειμώνα  $L_v = 0,055 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$

β) για το καλοκαίρι  $L_v = 0,081 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$

Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής δίνεται από τη σχέση:

$$t = \frac{A_s \cdot d \cdot n}{Q}$$

Έτσι, για το χειμώνα ο υδραυλικός χρόνος παραμονής υπολογίζεται:

$$t_{\text{χειμώνα}} = \frac{37044 \text{ m}^2 \cdot 0,35 \text{ m} \cdot 0,65}{2030 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}} \Rightarrow t_{\text{χειμώνα}} = 4,15 \text{ days}$$

Για το καλοκαίρι ο υδραυλικός χρόνος παραμονής υπολογίζεται:

$$t_{\text{θέρους}} = \frac{37044 \text{ m}^2 \cdot 0,25 \text{ m} \cdot 0,65}{2897 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}} \Rightarrow t_{\text{θέρους}} = 2,08 \text{ days}$$



### Μοντέλα εκτίμησης απομάκρυνσης ρυπαντών

Για την ταχεία εκτίμηση απομάκρυνσης ρυπαντών σε συστήματα τεχνητών υδροβιότοπων, έχουν αναπτυχθεί διάφορα εμπειρικά μοντέλα που βασίζονται στον υδραυλικό ρυθμό φόρτισης. Ο υδραυλικός ρυθμός φόρτισης (Hydraulic Loading Rate, HLR) υπολογίζεται με την παρακάτω εξίσωση:

$$HLR = \frac{Q}{A_s} \cdot 100$$

#### Χειμώνας

Ο υδραυλικός ρυθμός φόρτισης για το χειμώνα υπολογίζεται:

$$HLR = \frac{Q}{A_s} \cdot 100 = \frac{2030 \frac{m^3}{d}}{37044 m^2} \cdot 100 \Rightarrow \mathbf{HLR, χειμώνας = 5,48 \text{ cm/d}}$$

#### Καλοκαίρι

Ο υδραυλικός ρυθμός φόρτισης για το καλοκαίρι υπολογίζεται:

$$HLR = \frac{Q}{A_s} \cdot 100 = \frac{2897 \frac{m^3}{d}}{37044 m^2} \cdot 100 \Rightarrow \mathbf{HLR, καλοκαίρι = 7,82 \text{ cm/d}}$$

Γενικά, τα παρακάτω μοντέλα για εκτίμηση της απομάκρυνσης των ρυπαντών είναι απλά, αλλά μπορούν να δώσουν προσεγγιστικές τιμές απόδοσης των συστημάτων.

### ➤ TSS

Η απομάκρυνση των TSS υπολογίζεται από τη συγκέντρωση TSS στην έξοδο όταν είναι γνωστή η συγκέντρωση στην είσοδο και ο υδραυλικός ρυθμός φόρτισης:

$$C_e = C_o \cdot (0,1139 + 0,00213 \cdot HLR)$$

#### **Χειμώνας**

$$C_e = 58 \cdot (0,1139 + 0,00213 \cdot 5,48) \Rightarrow C_e = 7,3 \text{ mg/l}$$

#### **Καλοκαίρι**

$$C_e = 40 \cdot (0,1139 + 0,00213 \cdot 7,82) \Rightarrow C_e = 5,2 \text{ mg/l}$$

### ➤ TP

Η απομάκρυνση των TP υπολογίζεται από τη συγκέντρωση TP στην έξοδο όταν είναι γνωστή η συγκέντρωση στην είσοδο και ο υδραυλικός ρυθμός φόρτισης:

$$\frac{C_e}{C_o} = \exp\left(-\frac{K_p}{HLR}\right)$$

όπου  $K_p = 2,73 \text{ cm/d}$

#### **Χειμώνας**

$$\frac{C_e}{17} = \exp\left(-\frac{2,73}{5,48}\right) \Rightarrow C_e = 10,3 \text{ mg/l}$$



### Καλοκαίρι

$$\frac{C_e}{13} = \exp\left(-\frac{2,73}{7,82}\right) \Rightarrow C_e = 9,2 \text{ mg/l}$$

### ➤ TN

Η απομάκρυνση των TN υπολογίζεται από τη συγκέντρωση TN στην έξοδο όταν είναι γνωστή η συγκέντρωση στην είσοδο και ο υδραυλικός ρυθμός φόρτισης:

$$C_e = 0,193 \cdot C_o + 1,55 \cdot \ln HLR - 1,75$$

### Χειμώνας

$$C_e = 0,193 \cdot 60 + 1,55 \cdot \ln 5,48 - 1,75 \Rightarrow C_e = 12,5 \text{ mg/l}$$

### Καλοκαίρι

$$C_e = 0,193 \cdot 48 + 1,55 \cdot \ln 7,82 - 1,75 \Rightarrow C_e = 10,7 \text{ mg/l}$$

### ➤ ΚΟΛΟΒΑΚΤΗΡΙΔΙΑ

Τόσο για το χειμώνα όσο και για το καλοκαίρι θεωρείται πως στον υγροβιότοπο σημειώνεται μείωση ολικών και κοπρανωδών κολοβακτηριδίων κατά ένα ποσοστό 99%. Έτσι:

Τα ολικά κολοβακτηρίδια στην εκροή από τον υγροβιότοπο υπολογίζονται:

#### Χειμώνας και Καλοκαίρι

$$C_e = (10^6 \text{ αποικίες/100 ml}) \cdot 0,01 \Rightarrow C_e = 10^4 \text{ αποικίες/100 ml}$$

Τα κοπρανώδη κολοβακτηρίδια στην εκροή από τον υγροβιότοπο υπολογίζονται:

#### Χειμώνας και Καλοκαίρι

$$C_e = (10^5 \text{ αποικίες/100 ml}) \cdot 0,01 \Rightarrow C_e = 10^3 \text{ αποικίες/100 ml}$$

Ποιοτικά και ποσοτικά στοιχεία εκροής επεξεργασμένων λυμάτων από τον υγροβιότοπο ελεύθερης επιφάνειας

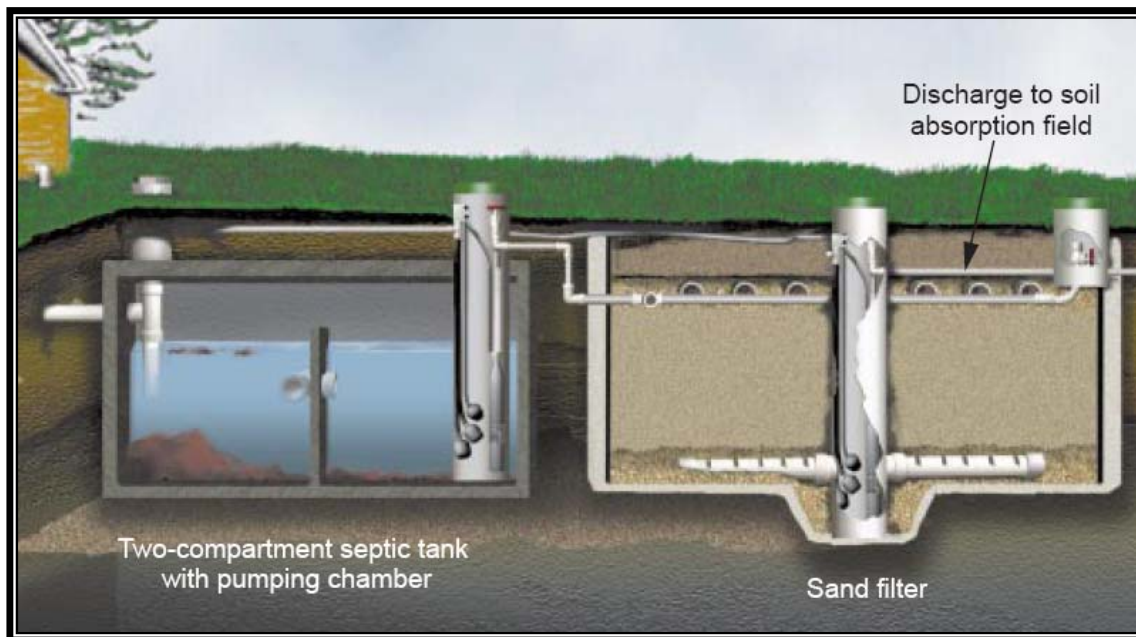
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΥΓΡΟΒΙΟΤΟΠΟΥ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ				
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΚΡΟΗΣ	ΣΥΜΒΟΛΟ	40ΕΤΙΑ		ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗΣ %
		ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΘΕΡΟΣ	
ΜΕΓΙΣΤΟ ΗΜΕΡΗΣΙΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΕΚΡΟΗΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΥΓΡΟΒΙΟΤΟΠΟ (m <sup>3</sup> /d)	Qdmax <sub>FWS,out</sub>	2030	2575	0 και 20 αντίστοιχα
BOD (mg/l)		9,89	9,11	96 και 94 αντίστοιχα
TN (mg/l)		12,5	10,7	79 και 78 αντίστοιχα
TP (mg/l)		10,3	9,2	39 και 29 αντίστοιχα
SS (mg/l)		7,3	5,2	87 και 87 αντίστοιχα
ΟΛΙΚΑ ΚΟΛΟΒΑΚΤΗΡΙΔΙΑ (αποικίες/100ml)	TC	1,00E+04	1,00E+04	99 και 99 αντίστοιχα
ΚΟΠΡΑΝΩΔΗ ΚΟΛΟΒΑΚΤΗΡΙΔΙΑ (αποικίες/100ml)	FC	1,00E+03	1,00E+03	99 και 99 αντίστοιχα

### 5.8 Φυσικό σύστημα Σεναρίου 3: Βιολογικό Αμμόφιλτρο

#### Γενικά

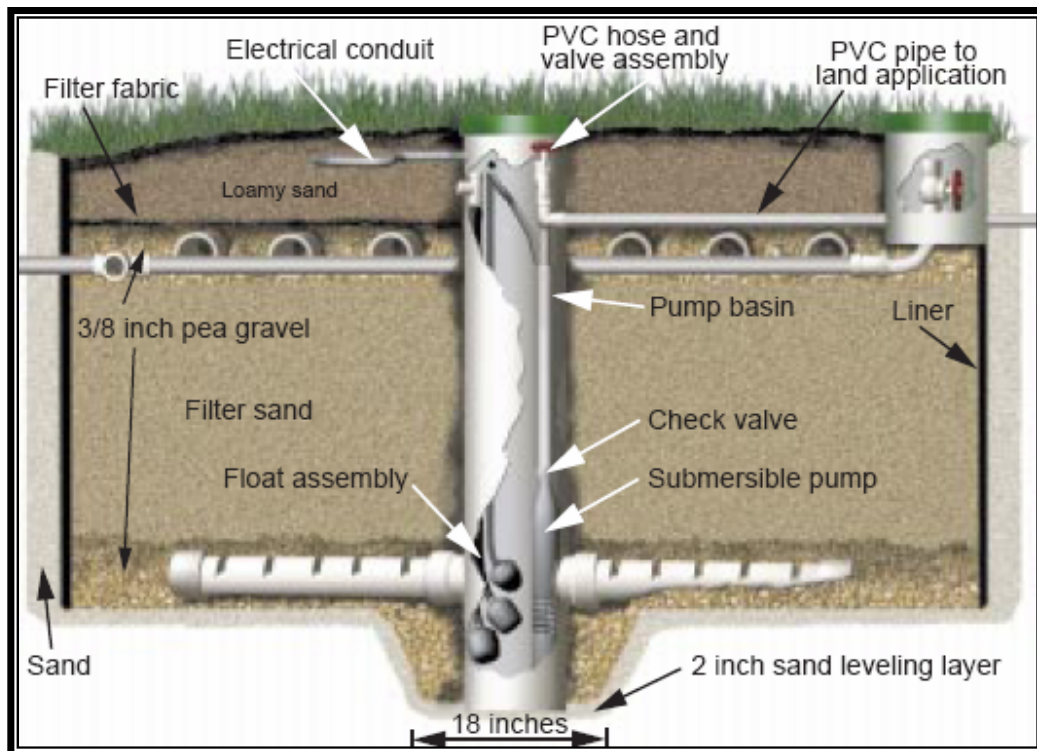
Μετά την πρωτοβάθμια επεξεργασία στη σηπτική δεξαμενή, με σκοπό την αποφυγή εμφράξεων στο αμμόφιλτρο, τα λύματα οδηγούνται διαμέσου συστήματος σωληνώσεων σε εγκατάσταση αμμόφιλτρου ή χαλκόφιλτρου (κρεβάτια κοκκώδους υλικού ή άμμου, πάχους από 24 έως 42 ίντσες, μέσα σε ένα υδατοστεγές κιβώτιο), ώστε να υποστούν μηχανικό, χημικό και βιολογικό καθαρισμό σε μια στρώση άμμου ή χαλικιών, συνήθως καλυμμένη με στρώση εδάφους. Η ροή μέσα από το φίλτρο είναι οριζόντια ή κάθετη. Τα λύματα μετά το φίλτρο συγκεντρώνονται μέσω αποστραγγιστικού αγωγού σε φρεάτιο και από εκεί μπορούν να οδηγηθούν σε κάποιο υδάτινο αποδέκτη ή στο έδαφος. Ο βαθμός καθαρισμού στα άρτια σχεδιασμένα και κατασκευασμένα φίλτρα με κατάλληλη κοκομετρία άμμου, φτάνει στο 98 και 99%.

Στο στρώμα της άμμου (ή των χαλικιών) δημιουργείται ένα ενεργό βιολογικό στρώμα, το οποίο μειώνει το οργανικό φορτίο που περιέχεται στα λύματα.



ΕΙΚΟΝΑ 5-10

Σύστημα σηπτικής δεξαμενής και αμμόφιλτρου [16]



**ΕΙΚΟΝΑ 5-11**  
**Απεικόνιση αμμόφιλτρου [16]**

Όπως φαίνεται από την παραπάνω εικόνα, η διαδικασία έχει ως εξής. Τα λύματα διέρχονται κατακόρυφα διαμέσου της άμμου ή των χαλικιών, συγκεντρώνονται με ένα σύστημα συλλογής και έπειτα ανακυκλοφορείται το μεγαλύτερο μέρος τους, περνώντας το φίλτρο. Μετά την ανακυκλοφορία, η περίσσεια των λυμάτων οδηγείται με τη βοήθεια κατάλληλου συστήματος προς τη δεξαμενή απολύμανσης και έπειτα απορρίπτεται στον αποδέκτη.

Η επεξεργασία λυμάτων με τη βοήθεια αμμόφιλτρων αποτελεί μια από τις παλαιότερες τεχνολογίες επεξεργασίας αποβλήτων και εάν το σύστημα είναι κατάλληλα σχεδιασμένο, κατασκευασμένο και λειτουργημένο, τότε παράγεται πολύ υψηλής ποιότητας εκροή. Τα αμμόφιλτρα χρησιμοποιούνται για τη βελτιστοποίηση εκροών σηπτικών δεξαμενών ή άλλων διαδικασιών επεξεργασίας, προτού τα λύματα διανεμηθούν στο έδαφος.

Τα αμμόφιλτρα δύναται να κατασκευάζονται στην επιφάνεια του εδάφους (όπου για βροχερά και ψυχρά κλίματα πρέπει να είναι εξοπλισμένα με σκέπασμα) ή υπεδάφια (θαμμένα στο έδαφος).

Είναι σημαντικό το μέγεθος των χαλικιών ή η άμμος να είναι ίδιας διαμέτρου, καθώς εάν υπάρχει μεγάλη ποικιλομορφία μεγέθους, οι μικρότεροι σε μέγεθος κόκκοι θα συμπληρώσουν τα διαστήματα μεταξύ των μεγαλύτερων και είναι πιθανόν το σύστημα να φράξει. Σε γενικές γραμμές, το μέγεθος του πληρωτικού υλικού επηρεάζει την τελική απόδοση του συστήματος.

Ένα αμμόφιλτρο επεξεργάζεται τα λύματα με τους τρεις παρακάτω τρόπους:

- ↳ Διήθηση.
- ↳ Χημική προσρόφηση.
- ↳ Αφομοίωση θρεπτικών από αερόβιους μικροοργανισμούς.

Διάφοροι παράγοντες σχετίζονται με την απόδοση του φίλτρου, συμπεριλαμβανομένων δύο σημαντικών περιβαλλοντικών συνθηκών: τον αερισμό και τη θερμοκρασία.

Οξυγόνο πρέπει να είναι διαθέσιμο μέσα στους πόρους, λόγω ανάγκης ύπαρξης αερόβιων μικροοργανισμών για την αφομοίωση θρεπτικών, αλλά και για την αποφυγή φραξίματος.

Η θερμοκρασία έχει άμεσες επιπτώσεις στο ρυθμό της μικροβιακής αύξησης, στις χημικές αντιδράσεις, στους μηχανισμούς προσρόφησης και σε άλλους παράγοντες που συμβάλλουν στη σταθεροποίηση του αποβλήτου. Οι χαμηλότερες θερμοκρασίες επιβραδύνουν συνήθως το ρυθμό αποσύνθεσης.

Οι απαιτήσεις συντήρησης για τα αμμόφιλτρα εξαρτώνται από τον τύπο του φίλτρου. Τα υπεδάφια αμμόφιλτρα σχεδιάζονται έτσι, ώστε να περιοριστεί η ανάγκη συντήρησής τους. Η σημαντικότερη συντήρησή τους είναι η κατάλληλη προεπεξεργασία των

αποβλήτων. Η ύπαρξη στερεών, λιπών ή αφρού στην επιφάνεια του φίλτρου μειώνει κατά πολύ το χρόνο ζωής του. Διαφορετικά, ένα σωστά σχεδιασμένο και εγκατεστημένο υπεδάφιο αμμόφιλτρο δεν έχει ανάγκη καμίας πρόσθετης συντήρησης

Τα επιφανειακά αμμόφιλτρα απαιτούν τακτική συντήρηση και αναγέννηση του μέσου, καθώς διαχειρίζονται μεγαλύτερα φορτία από τα υπεδάφια συστήματα.

Ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας τους, τα αμμόφιλτρα, δύναται να διαχωριστούν στις εξής κατηγορίες:

- *Το φίλτρο συνεχόμενης λειτουργίας, δηλαδή με ανακυκλοφορία.*
- *Το φίλτρο διαλείπουσας (ασυνεχούς) λειτουργίας, όπου το στρώμα φίλτρανσης ανά περιόδους αναπαύεται και φορτίζεται. Κατά την περίοδο της ανάπαυσης πραγματοποιείται μεταφορά οξυγόνου στο υλικό του φίλτρου.*

Σήμερα προτιμώνται τα φίλτρα διαλείπουσας λειτουργίας χαμηλής φόρτισης, γιατί δε βουλώνουν ακόμα και αν περάσουν 10-15 χρόνια συνεχούς λειτουργίας (βέβαια αν λειτουργεί σωστά η προκαθίζηση και η δέσμευση των λιπών) [14 , 16].

Ένα φίλτρο διαλείπουσας λειτουργίας συνήθως περιλαμβάνει:

1. Μία ανοξείδωτη υποβρύχια δοσομετρική αντλία ασυνεχούς λειτουργίας που δουλεύει με ηλεκτρονικό προγραμματιστή, δοσομετρώντας μικρή ποσότητα για μερικά λεπτά, κάθε 30min – 2h.
2. Έναν τρόπο διαχωρισμού του φίλτρου σε δύο τομείς, με στόχο όταν ο ένας τομέας αναπαύεται, ο άλλος να τον αντικαθιστά και να λειτουργεί.

Ένα φίλτρο άμμου περιοδικής τροφοδοσίας με ανακυκλοφορία συνήθως αποτελείται από:

1. κλίνες φίλτρανης
2. δεξαμενή ανακυκλοφορίας και δοσομετρητή

Στους πίνακες που ακολουθούν αναγράφονται τα χαρακτηριστικά των αμμόφιλτρων με ανακυκλοφορία και των χαλικοφιλτρων.

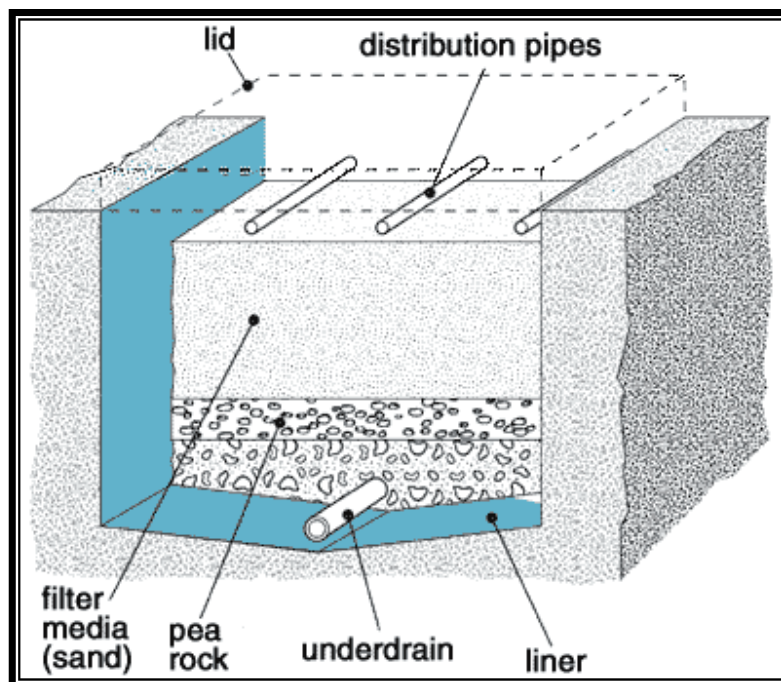
**ΠΙΝΑΚΑΣ 5-6**  
**Χαρακτηριστικά αμμόφιλτρων με ανακυκλοφορία [14]**

ΑΜΜΟΦΙΛΤΡΑ ΜΕ ΑΝΑΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ	
ΣΤΡΩΜΑ ΑΜΜΟΥ	60-80 cm
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	1 - 1,5 m <sup>2</sup> /PE
ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ	80-200 lt/m <sup>2</sup> /day
ΟΡΓΑΝΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ	10-40 gr BOD <sub>5</sub> /m <sup>2</sup> /day
ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΟΚΚΟΥ	1-5mm
ΑΠΟΔΟΣΗ BOD <sub>5</sub>	μείωση 90-98%
ΑΠΟΔΟΣΗ N	μείωση 30-55%
ΑΠΟΔΟΣΗ P	μείωση 25-70%

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5-7**  
**Χαρακτηριστικά χαλικοφιλτρων [14]**

ΧΑΛΙΚΟΦΙΛΤΡΑ	
ΣΤΡΩΜΑ ΧΑΛΙΚΙΩΝ	1,0 -2,0 cm
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	0,2 - 0,4 m <sup>2</sup> /PE
ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ	1000-4000 lt/m <sup>2</sup> /day
ΟΡΓΑΝΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ	100-400 gr BOD <sub>5</sub> /m <sup>2</sup> /day
ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΟΚΚΟΥ	15-30 ή 30-60 ή 80-150mm
ΑΠΟΔΟΣΗ BOD <sub>5</sub>	μείωση 80-95%
ΑΠΟΔΟΣΗ N	μείωση 20-40%
ΑΠΟΔΟΣΗ P	μείωση 20-50%





ΕΙΚΟΝΑ 5-12  
Απεικόνιση αμμόφιλτρου [16]



### Σχεδιασμός βιολογικών αμμόφιλτρων

Μετά τη σηπτική δεξαμενή ακολουθεί το αμμόφιλτρο περιοδικής φόρτισης με ανακυκλοφορία (Recirculating filter). Στον πίνακα που ακολουθεί εμφανίζονται οι τιμές των χρησιμοποιούμενων σχεδιαστικών παραμέτρων.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5-8**  
**Χρησιμοποιούμενες σχεδιαστικές παράμετροι βιολογικών αμμόφιλτρων [14]**

<b>ΜΕΓΙΣΤΟΣ ΕΞΥΠΗΡΕΤΟΥΜΕΝΟΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ</b>	14300 κάτοικοι
<b>ΜΕΓΙΣΤΟ ΗΜΕΡΗΣΙΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ</b>	3218 m <sup>3</sup> /day
<b>ΜΕΓΙΣΤΟ ΩΡΙΑΙΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ</b>	255,94 m <sup>3</sup> /day
<b>ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ</b>	1,5 m <sup>2</sup> /ισοδ.κάτοικο
<b>ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ</b>	140 lt/m <sup>2</sup> /day
<b>ΟΡΓΑΝΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ</b>	25 gr BOD <sub>5</sub> /m <sup>2</sup> /day
<b>ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΟΚΚΟΥ ΑΜΜΟΥ</b>	1-2mm
<b>ΣΤΡΩΜΑ ΧΑΛΙΚΙΟΥ</b>	25cm στην επιφάνεια
	30 cm στον πυθμένα

Ακολουθεί ο υπολογισμός της επιφάνειας του βιολογικού αμμόφιλτρου, σύμφωνα με τις γενικότερες παραμέτρους σχεδιασμού βιολογικών αμμόφιλτρων που παρουσιάστηκαν στους προηγούμενους πίνακες..

α) Δίδεται παράμετρος επιφάνειας = 1,5 m<sup>2</sup>/ισοδ.κάτοικο

Και PE<sub>max</sub> = 14300 κάτοικοι

$$\text{Άρα } A_1 = 1,5 \text{ m}^2 \cdot 14300 = 21450 \text{ m}^2$$

β) Δίδεται παράμετρος υδραυλικής φόρτισης = 140 lt/m<sup>2</sup>/day = 0,14 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/day

Και μέγιστο ημερήσιο υδραυλικό φορτίο = 3218 m<sup>3</sup>/day

$$\text{Άρα } A_2 = (3218 \text{ m}^3/\text{day}) / (0,14 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{day}) = 22986 \text{ m}^2$$

γ) Δίδεται παράμετρος οργανικής φόρτισης = 25 gr BOD<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>/day

Μέγιστο ημερήσιο υδραυλικό φορτίο = 3218 m<sup>3</sup>/day

BOD<sub>5</sub> εισερχόμενων στο φίλτρο λυμάτων, μετά τη σηπτική δεξαμενή, για το καλοκαίρι = 165 mg/l = 165 gr/m<sup>3</sup>

$$\text{Άρα } A_3 = (3218 \text{ m}^3/\text{day}) \cdot (165 \text{ gr/m}^3) / (25 \text{ gr BOD}_5/\text{m}^2/\text{day}) = 21240 \text{ m}^2$$

Συνεπώς  $A = \max \{A_1, A_2, A_3\} \Rightarrow A = 22986 \text{ m}^2$

Επιλέγεται πάχος στρωμάτων: χαλίκι = 25 cm στην επιφάνεια

άμμος 1-2mm = 60cm

χαλίκι = 30 cm στον πυθμένα

Ποιοτικά και ποσοτικά στοιχεία εκροής επεξεργασμένων λυμάτων από βιολογικά αμμόφιλτρα

Οι τυπικές απομακρύνσεις που επιτυγχάνονται με τη χρήση βιολογικού αμμόφιλτρου παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5-9**  
**Τυπικές απομακρύνσεις βιολογικών αμμόφιλτρων [14 , 18]**

Απομάκρυνση BOD	%	90-98
Απομάκρυνση TN	%	30-55
Απομάκρυνση TSS	%	90
Απομάκρυνση TP	%	25-70
Απομάκρυνση ολικών κολοβακτηριδίων (αποικίες/100ml)	%	90
Απομάκρυνση κοπρανωδών κολοβακτηριδίων (αποικίες/100ml)	%	90

Συνεπώς τα αναμενόμενα χαρακτηριστικά της εκροής από το βιολογικό αμμόφιλτρο είναι:

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΑΜΜΟΦΙΛΤΡΩΝ				
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΚΡΟΗΣ	ΣΥΜΒΟΛΟ	40ΕΤΙΑ		ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗΣ %
		ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΘΕΡΟΣ	
ΜΕΓΙΣΤΟ ΗΜΕΡΗΣΙΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΕΚΡΟΗΣ ΑΠΟ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟ ΑΜΜΟΦΙΛΤΡΟ (m <sup>3</sup> /d)	Qdmax <sub>Sand.Filter.out</sub>	2030	3218	-
BOD (mg/l)		10	6,6	96
TN (mg/l)		27	21,6	55
TP (mg/l)		5,1	3,9	70
SS (mg/l)		5,8	4	90
ΟΛΙΚΑ ΚΟΛΟΒΑΚΤΗΡΙΔΙΑ (αποικίες/100ml)	TC	1,00E+05	1,00E+05	90
ΚΟΠΡΑΝΩΔΗ ΚΟΛΟΒΑΚΤΗΡΙΔΙΑ (αποικίες/100ml)	FC	1,00E+04	1,00E+04	90

### 5.9 Σενάριο 4: Λίμνες σταθεροποίησης (WSP)

Το τέταρτο σενάριο περιλαμβάνει την επεξεργασία των λυμάτων αποκλειστικά με λίμνες σταθεροποίησης.

Οι λίμνες σταθεροποίησης (WSPs) είναι από τα πλέον διαδεδομένα φυσικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και η κατά κύριο λόγο πιο κατάλληλη μέθοδος επεξεργασίας για τα οικιακά και δημοτικά απόβλητα στις αναπτυσσόμενες χώρες, εκεί όπου το κλίμα ευνοεί καλύτερα τη λειτουργία τους. Οι λίμνες σταθεροποίησης είναι χαμηλού κόστους (συνήθως ελάχιστου κόστους), χαμηλής συντήρησης, εξολοκλήρου φυσική μορφής και με υψηλό επίπεδο βιωσιμότητας. Τα μοναδικά ποσά ενέργειας που καταναλώνουν είναι από την ηλιακή ενέργεια, με αποτέλεσμα να μη χρειάζονται κανένα είδους ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό, μειώνοντας τις δαπάνες σχετικά με τον ηλεκτρισμό και σε πιο εξειδικευμένες λειτουργίες. Αυτό που απαιτούν είναι μεγάλες εκτάσεις γης σε σχέση με τις συμβατικές ηλεκτρομηχανολογικές μεθόδους επεξεργασίας, όπως αυτή της ενεργού ιλύος.

Όταν γίνεται λόγος για λίμνες σταθεροποίησης νοούνται ρηχές, ανθρωπογενούς προελεύσεως λεκάνες, εντός των οποίων πραγματοποιείται η ροή των αποβλήτων και από τις οποίες, μετά από την πάροδο χρόνου παραμονής της τάξεως των μερικών ημερών (σε αντίθεση με τα συμβατικά συστήματα όπου ο χρόνος παραμονής προσεγγίζει τις μερικές ώρες), εξέρχεται ένα καλώς επεξεργασμένο ρεύμα. Όσον αφορά τα πλεονεκτήματα των λιμνών σταθεροποίησης σε αυτά εντάσσονται:

- ✧ Η απλότητα στην κατασκευή, στη λειτουργία και στη συντήρησή τους.
- ✧ Το χαμηλό κόστος κατασκευής και συντήρησης, καθώς δε χρειάζεται ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός όπως στα συμβατικά συστήματα επεξεργασίας των αποβλήτων, ενώ παράλληλα χαρακτηρίζονται από το ελάχιστο κόστος ενέργειας.

- ☞ Οι μικρότερες απαιτήσεις σε εξειδικευμένο προσωπικό.
- ☞ Η υψηλή απόδοση, καθώς επιτυγχάνεται απομάκρυνση της τάξης του 70 – 90 % για το ολικό άζωτο, περίπου 30 – 45 % για το φώσφορο, μεγαλύτερη από 90 % για το BOD και τους παθογόνους μικροοργανισμούς.
- ☞ Η μικρή παραγωγή ιλύος.
- ☞ Η ανθεκτικότητά τους σε οργανικά και υδραυλικά “σοκ” φορτία.

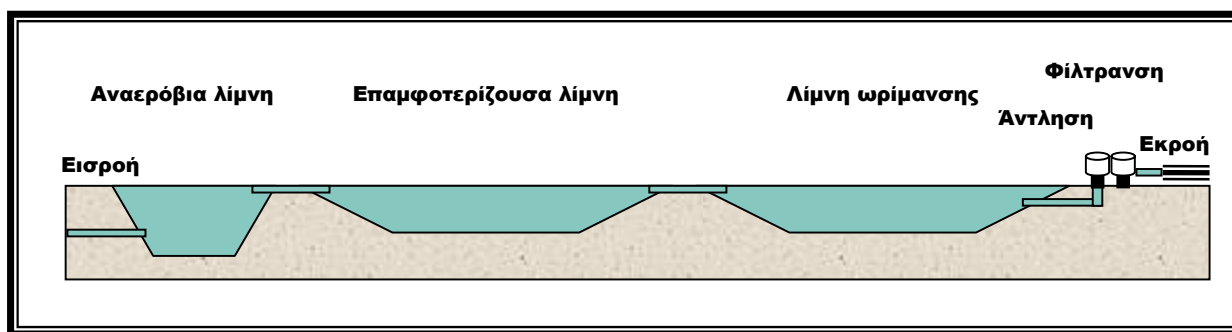
Σχετικά με τα μειονεκτήματα των λιμνών σταθεροποίησης αναφέρονται:

- ☞ Οι μεγάλες απαιτήσεις γης.
- ☞ Οι μεγάλες απώλειες νερού.
- ☞ Η υψηλή συγκέντρωση σε αιωρούμενα στερεά στην εκροή.
- ☞ Ο κίνδυνος οσμών.
- ☞ Η πιθανή ύπαρξη κουνουπιών.
- ☞ Ο κίνδυνος μόλυνσης του υπόγειου υδροφορέα.

Στις λίμνες σταθεροποίησης συναντώνται τρία διαφορετικά είδη λιμνών:

1. οι αναερόβιες
2. οι επαμφοτερίζουσες
3. οι λίμνες ωρίμανσης.

Ένα σύστημα λιμνών σταθεροποίησης μπορεί να περιλαμβάνει μια σειρά αναερόβιας (anaerobic) , επαμφοτερίζουσας (facultative), και μία ή περισσότερες λίμνες ωρίμανσης (maturation). Για μεγαλύτερες παροχές μπορεί να εγκατασταθούν παράλληλα πάνω από μία σειρές.



**ΕΙΚΟΝΑ 5-13**  
Σύστημα λιμνών σταθεροποίησης με φίλτραυση της εκροής για άρδευση

Στη συνέχεια περιγράφονται τα τρία διαφορετικά είδη λιμνών.

### *1. Αναερόβιες λίμνες*

Οι αναερόβιες λίμνες είναι οι μικρότερες μονάδες σε αυτή τη σειρά των λιμνών. Χαρακτηρίζονται από την εισροή των υγρών αποβλήτων στον πυθμένα της λίμνης, καθώς και από τη μικρή, σε σχέση με το συνολικό όγκο τους, επιφάνεια.

Το βάθος των αναερόβιων λιμνών κυμαίνεται από 2,5 έως 5 m και η ακριβής τιμή εξαρτάται από τις εδαφολογικές συνθήκες και το τοπικό κόστος εκσκαφών (το οποίο αυξάνεται με την αύξηση του βάθους). Η πλέον συνήθης τιμή βάθους είναι τα 3 με 4 m.

Οι αναερόβιες λίμνες διαστασιολογούνται σύμφωνα με την οργανική ογκομετρική φόρτισή τους, δηλαδή την ποσότητα του οργανικού υλικού, εκφραζόμενου σε γραμμάρια BOD<sub>5</sub> ανά ημέρα, εφαρμοζόμενα σε κάθε κυβικό μέτρο του όγκου της λίμνης (gr BOD<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>/day). Οι λίμνες ενδέχεται να λαμβάνουν τέτοιες φορτίσεις στο εύρος των 100 με 350 gr BOD<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>/day, κάτι που εξαρτάται από τη θερμοκρασία σχεδιασμού.

Αυτά τα υψηλά επίπεδα φορτίσεως παράγουν ένα αυστηρά αναερόβιο περιβάλλον μέσα στον όγκο της λίμνης (π.χ. δεν υπάρχει παρουσία διαλυμένου οξυγόνου και το δυναμικό οξειδοαναγωγής είναι αρνητικό).

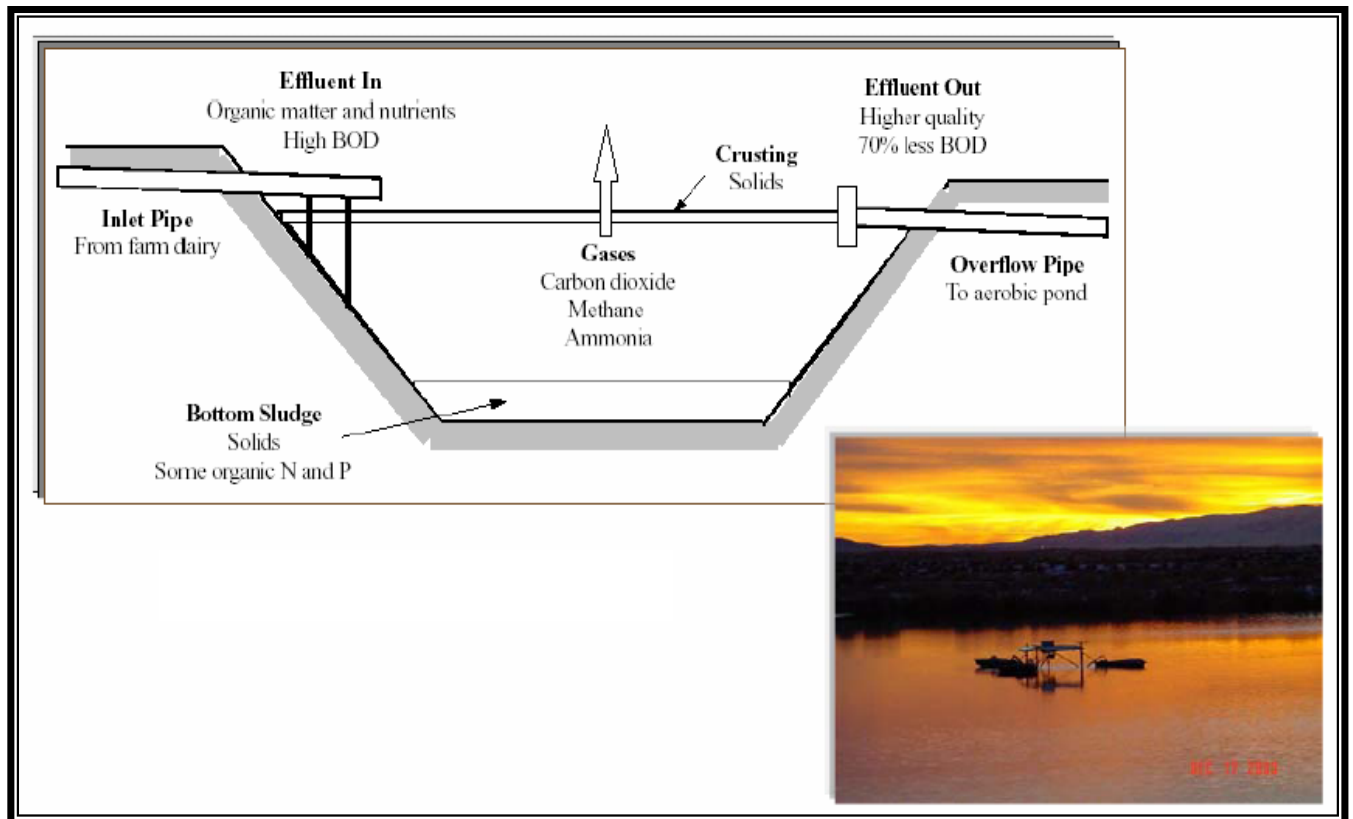
Αναερόβιες λίμνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε περιπτώσεις ισχυρών βιομηχανικών αποβλήτων και αστικών αποβλήτων με υψηλό οργανικό φορτίο.

Η επιφάνεια των λιμνών καλύπτεται είτε με φυσικό τρόπο, με λίπη και έλαια που περιέχονται στο απόβλητο, είτε τεχνητά με πλαστικά ή άλλα υλικά για να διατηρηθεί υψηλή θερμοκρασία, ιδιαίτερα σε ψυχρές περιοχές.

Οι αναερόβιες λίμνες λειτουργούν εξαιρετικά καλά στα θερμά κλίματα. Για παράδειγμα, μία σωστά σχεδιασμένη λίμνη θα πετύχει γύρω στο 60 % απομάκρυνση του BOD<sub>5</sub> στους 20 °C και πάνω από 70 % στους 25 °C και άνω. Η απομάκρυνση του οργανικού υλικού μέσα στις αναερόβιες λίμνες καθορίζεται από τους ίδιους μηχανισμούς που εμφανίζονται και σε όλους τους άλλους αναερόβιους αντιδραστήρες (Mara et al., 1992; Peña, 2002). Ένας υδραυλικός χρόνος παραμονής της τάξεως της μίας ημέρας είναι ικανοποιητικός για απόβλητα με BOD<sub>5</sub> ≤ 300 mg/lit σε θερμοκρασίες πάνω από τους 20 °C. Σε γενικές γραμμές πάντως αναφέρεται πως ο χρόνος κράτησης κυμαίνεται από 24 έως 50 ώρες.

Όσον αφορά την όχληση λόγω της παρουσίας δύσοσμων αερίων, όπως αμμωνία, μεθάνιο και κυρίως υδρόθειο, υπήρξε πάντοτε ένα ζήτημα που απασχολούσε τους σχεδιαστές μηχανικούς. Παρά ταύτα, η οσμή δεν είναι πρόβλημα, εφόσον οι αναερόβιες λίμνες είναι σωστά σχεδιασμένες και η συγκέντρωση των θεικών στα ανεπεξέργαστα απόβλητα είναι μικρότερη από 500 mg SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> /lit.

Στις αναερόβιες λίμνες το οργανικό άζωτο μετατρέπεται σε αμμωνία, έτσι οι συγκεντρώσεις αμμωνίας στην εκροή της αναερόβιας λίμνης είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τα ανεπεξέργαστα απόβλητα.

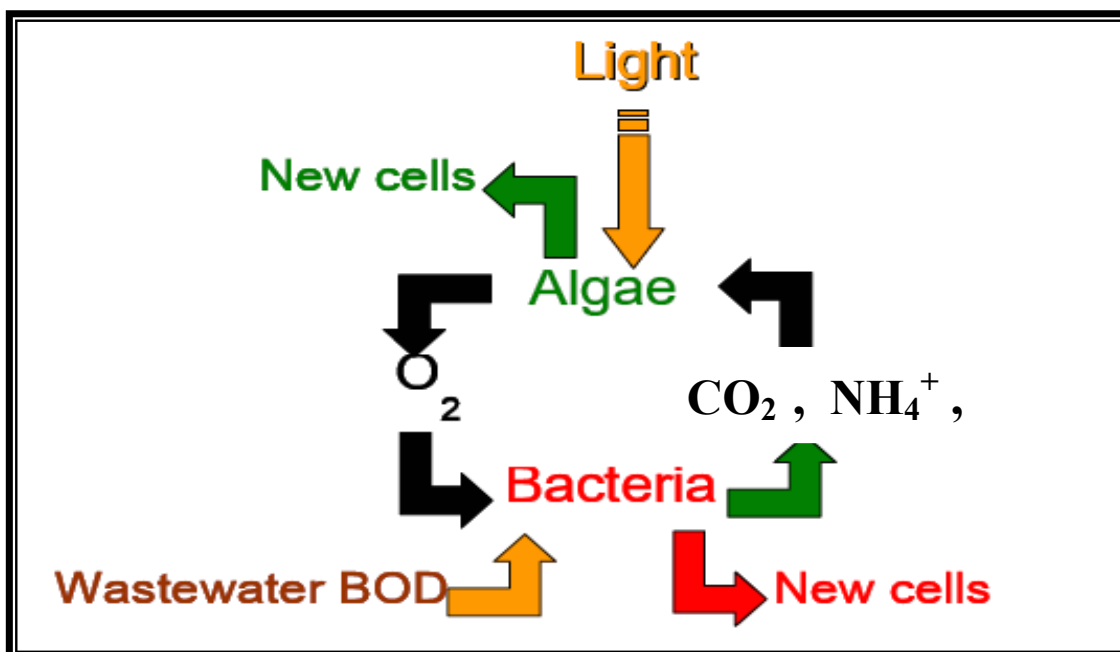


**ΕΙΚΟΝΑ 5-14**  
Αναερόβια λίμνη και λειτουργία της [25]



## 2. Επαμφοτερίζουσες λίμνες

Οι επαμφοτερίζουσες λίμνες είναι δύο τύπων, οι πρωτοβάθμιες επαμφοτερίζουσες λίμνες που λαμβάνουν ανεπεξέργαστα απόβλητα και οι δευτεροβάθμιες επαμφοτερίζουσες λίμνες που λαμβάνουν σταθεροποιημένα απόβλητα από το πρωτοβάθμιο στάδιο (συνήθως το εξερχόμενο από τις αναερόβιες λίμνες ρεύμα). Οι επαμφοτερίζουσες λίμνες είναι σχεδιασμένες για απομάκρυνση του BOD<sub>5</sub> βασιζόμενες στην επιφανειακή οργανική τους φόρτιση. Ο όρος αυτός αναφέρεται στην ποσότητα του οργανικού φορτίου, εκφραζόμενου σε κιλά BOD<sub>5</sub> ανά εκτάριο, εφαρμοζόμενου σε κάθε εκτάριο της επιφάνειας της επαμφοτερίζουσας λίμνης ανά ημέρα. Κατά συνέπεια ο συνολικός αριθμός μονάδων θα είναι τα κιλά του BOD<sub>5</sub> ανά εκτάριο της επιφάνειας της επαμφοτερίζουσας λίμνης ανά ημέρα (kg BOD<sub>5</sub>/ha·day). Μία σχετικά χαμηλή επιφανειακή οργανική φόρτιση χρησιμοποιείται (συνήθως στο εύρος των 80 – 400 kg BOD<sub>5</sub>/ha·day, εξαρτώμενου από τη θερμοκρασία σχεδιασμού) για να επιτραπεί η ανάπτυξη ενός ενεργού πληθυσμού αλγών. Τα άλγη αυτά βοηθούν στην απομάκρυνση του οργανικού φορτίου με το οξυγόνο που παράγουν λόγω της φωτοσύνθεσης.



ΕΙΚΟΝΑ 5-15

Αμοιβαία σχέση μεταξύ των αλγών και των βακτηρίων σε επαμφοτερίζουσες και λίμνες ωρίμανσης [14]

Η συντήρηση ενός υγιούς πληθυσμού αλγών είναι πολύ σημαντική, καθώς τα άλγη παράγουν το οξυγόνο που χρειάζονται τα βακτήρια για να απομακρύνουν το BOD<sub>5</sub>. Τα άλγη δίνουν στη λίμνη ένα σκούρο πράσινο χρώμα, σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας. Σε κάποιες περιπτώσεις, οι λίμνες εμφανίζονται ως κόκκινες ή ροζ, λόγω της παρουσίας των μοβ αναερόβιων φωτοσυνθετικών βακτηρίων που οξειδώνουν τα θειικά (Mara and Pearson, 1986). Αυτή η αλλαγή στην οικολογία των επαμφοτερίζουσών λιμνών εμφανίζεται λόγω της μικρής υπερφόρτισης με BOD<sub>5</sub>. Έτσι, η αλλαγή χρώματος σε αυτές τις λίμνες μπορεί να αποτελέσει έναν καλό ποσοτικό δείκτη της λειτουργίας της λίμνης.

Η συγκέντρωση των αλγών σε μία καλώς λειτουργούσα επαμφοτερίζουσα λίμνη εξαρτάται από τη φόρτιση και τη θερμοκρασία. Συνήθως κυμαίνεται στο εύρος των 500 – 2000 μg χλωροφύλλης-α ανά λίτρο (οι συγκεντρώσεις των αλγών εκφράζονται καλύτερα με όρους της συγκέντρωσης της κύριας φωτοσυνθετικής τους ουσίας). Η φωτοσυνθετική δραστηριότητα των αλγών έχει ως αποτέλεσμα μία ημερήσια μεταβολή της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου (DO) και του pH. Μετά την ανατολή, οι συγκεντρώσεις του διαλυμένου οξυγόνου αυξάνουν, ως αποτέλεσμα των φωτοσυνθετικών διεργασιών, φτάνοντας το μέγιστό τους στις πρώτες απογευματινές ώρες (η συγκέντρωση του DO μπορεί να αυξηθεί μέχρι και πάνω από 20 mg/l, π.χ. σε υψηλά υπερκορεσμένες συνθήκες) και καταλήγοντας στο ελάχιστο τη νύχτα, όπου η φωτοσύνθεση μηδενίζεται.

Το βάθος όπου η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου μηδενίζεται αλλάζει και αυτό, όπως και το pH, αφού στη μέγιστη δράση των αλγών ανθρακικά και δισανθρακικά ιόντα αντιδρούν και παρέχουν περισσότερο διοξείδιο του άνθρακα για τα άλγη, αφήνοντας έτσι πλεόνασμα ιόντων υδροξυλίου, με αποτέλεσμα το pH να αυξάνει σε τιμές άνω του 9, το οποίο σκοτώνει τα περιττωματικά βακτήρια.

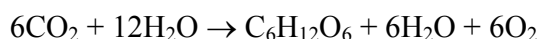
Το βάθος των επαμφοτερίζουσών λιμνών είναι στο εύρος των 1 – 2 m, με 1,5 m να είναι το πλέον κοινώς χρησιμοποιούμενο.

Στις επαμφοτερίζουσες λίμνες, το οργανικό φορτίο που δεν έχει κατακρατηθεί από το προηγούμενο στάδιο, οξειδώνεται από τα συνήθη ετεροτροφικά βακτήρια της επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.

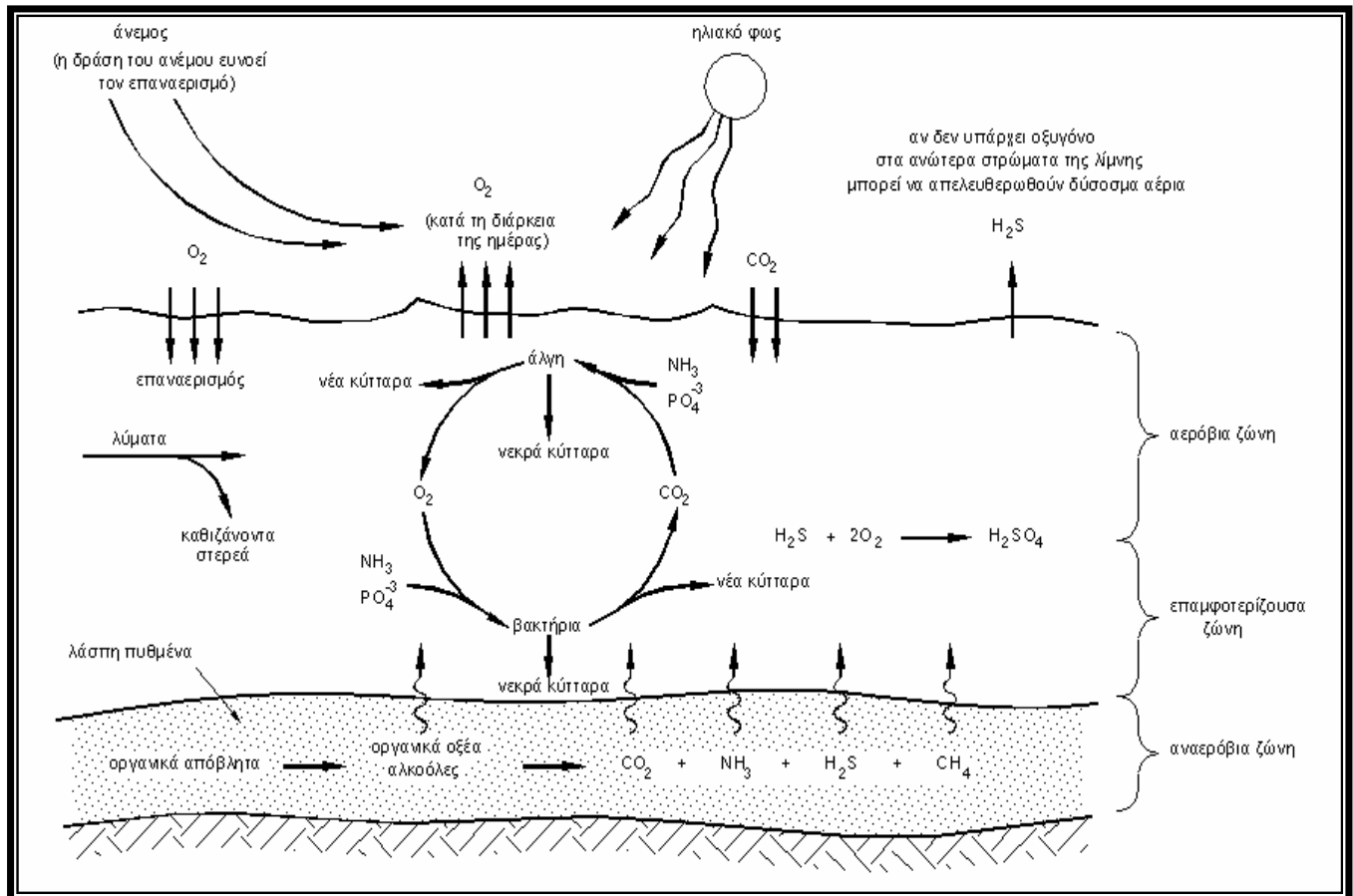
Η απομάκρυνση του BOD<sub>5</sub> στις πρωτοβάθμιες επαμφοτερίζουσες λίμνες είναι περίπου 70 %, όσον αφορά δείγμα που δεν έχει υποστεί φίλτρανση και περισσότερο από 90 % για δείγμα που έχει υποστεί φίλτρανση.

Στις επαμφοτερίζουσες λίμνες η αμμωνία ενσωματώνεται στη βιομάζα των αλγών. Όταν αυτά γηράσκουν και καθιζάνουν στον πυθμένα της λίμνης, περίπου 20 % της κυτταρικής μάζας είναι μη βιοαποικοδομήσιμο και το άζωτο που συνδέεται με αυτό το ίζημα ακινητοποιείται στο ίζημα του πυθμένα. Αυτό που συνδέεται με το βιοαποικοδομήσιμο μέρος, διαχέεται στη λίμνη και επιστρέφει στα κύτταρα των αλγών. Σε υψηλό pH η ποσότητα αμμωνίας μπορεί να απομακρυνθεί από τη λίμνη με εξάτμιση.

Η σημαντικότερη διαφορά των επαμφοτερίζουσών λιμνών με τα συμβατικά συστήματα είναι πως, τα βακτήρια αυτά λαμβάνουν το οξυγόνο που χρειάζονται από τις φωτοσυνθετικές δραστηριότητες των αλγών που αναπτύσσονται στις λίμνες αυτές και όχι με κάποιο μηχανικό μέσο. Τα άλγη με τη σειρά τους εξαρτώνται από τα βακτήρια, για το διοξείδιο του άνθρακα το οποίο μετατρέπουν φωτοσυνθετικά σε σάκχαρα, σύμφωνα με την αντίδραση:



Έτσι, αναπτύσσεται μια αμοιβαία σχέση μεταξύ αλγών και βακτηρίων.



ΕΙΚΟΝΑ 5-16  
Λειτουργία μιας επαμφοτερίζουσας λίμνης [24]

### 3. Λίμνες ωρίμανσης

Οι λίμνες ωρίμανσης παραλαμβάνουν το εξαγόμενο ρεύμα από τις επαμφοτερίζουσες λίμνες και τόσο ο αριθμός τους όσο και το μέγεθός τους εξαρτάται από την απαιτούμενη βακτηριακή ποσότητα που θα πρέπει να έχει το τελικό εξαγόμενο ρεύμα.

Οι λίμνες ωρίμανσης είναι πιο ρηχές από τις επαμφοτερίζουσες, με ένα βάθος στο εύρος των 1 – 1,5 m, με το 1 m να αποτελεί τη βέλτιστη τιμή (βάθη μικρότερα του ενός μέτρου

ευθύνονται για την ανάπτυξη μακροφυτών μέσα στη λίμνη, με αποτέλεσμα να επιτρέπεται και η αναπνοή στα κουνούπια).

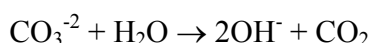
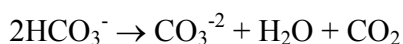
Οι λίμνες αυτές σχεδιάζονται κυρίως για την απομάκρυνση παθογόνων. Μπορούν να πετύχουν, παράλληλα, μικρή απομάκρυνση οργανικού φορτίου (μικρή απομάκρυνση του BOD<sub>5</sub>), αλλά έχουν σημαντική συνεισφορά στην απομάκρυνση θρεπτικών (αζώτου και φωσφόρου).

Οι κύριοι μηχανισμοί απομάκρυνσης των παθογόνων βακτηρίων είναι:

- ▶ Ο χρόνος και η θερμοκρασία.
- ▶ Το υψηλό pH (>9).
- ▶ Η υπερϊώδης ηλιακή ακτινοβολία και η υψηλή συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου.

Ο χρόνος παραμονής και η θερμοκρασία είναι οι κύριοι παράγοντες που χρησιμοποιούνται στο σχεδιασμό των λιμνών ωρίμανσης, αφού ο ρυθμός μείωσης της συγκέντρωσης των παθογόνων αυξάνει με το χρόνο και τη θερμοκρασία.

Οι υψηλές τιμές του pH επιτυγχάνονται λόγω της ταχείας φωτοσύνθεσης από τα άλγη της λίμνης, που καταναλώνουν το διοξείδιο του άνθρακα γρηγορότερα από ότι μπορεί να αντικατασταθεί από την αναπνοή των βακτηρίων, με αποτέλεσμα τη διάσπαση ανθρακικών και δισανθρακικών αλάτων. Το παραγόμενο διοξείδιο του άνθρακα αφομοιώνεται από τα άλγη, ενώ παράλληλα αυξάνονται οι συγκεντρώσεις των ιόντων υδροξυλίου και έτσι αυξάνει το pH.



Λόγω της χαμηλότερης οργανικής φόρτισης των αποβλήτων που εισέρχονται στις λίμνες ωρίμανσης, είναι πολύ καλά οξυγονωμένες σε όλο το βάθος τους. Οι πληθυσμοί των αλγών είναι πολύ περισσότερο διαφορετικοί από ότι στις επαμφοτερίζουσες λίμνες. Αυτή η διαφορετικότητα αυξάνει από λίμνη σε λίμνη κατά μήκος των σειρών τους.

Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται ένα παράδειγμα ενός συστήματος WSP, στη Fortaleza της νοτιοανατολικής Βραζιλίας, που περιλαμβάνει μία αναερόβια, μία επαμφοτερίζουσα και τρεις λίμνες ωρίμανσης, με ροή αποβλήτων  $10000 \text{ m}^3/\text{sec}$ ). Περίπου η μισή εισροή προέρχεται από τα τοπικά υφαντικά εργοστάσια.



**ΕΙΚΟΝΑ 5-17**

**Σύστημα WSP στην Fortaleza της νοτιοανατολικής Βραζιλίας που περιλαμβάνει μία αναερόβια, μία επαμφοτερίζουσα και τρεις λίμνες ωρίμανσης [14]**



### Σχεδιασμός αναερόβιας λίμνης

Οι κυριότεροι παράμετροι που χρησιμοποιούνται στο σχεδιασμό λιμνών σταθεροποίησης θεωρούνται κυρίως, η θερμοκρασία, η παροχή και το οργανικό φορτίο.

**Θερμοκρασία.** Η θερμοκρασία σχεδιασμού είναι η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος τον ψυχρότερο μήνα ή το ψυχρότερο δεκαπενθήμερο του έτους. Το γεγονός αυτό δίνει ένα περιθώριο ασφάλειας, καθώς η θερμοκρασία των λυμάτων στις λίμνες είναι 2 με 3°C υψηλότερη από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, για το χειμώνα και 2 με 3°C χαμηλότερη από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, για το καλοκαίρι. Στην παρούσα μελέτη ως θερμοκρασία σχεδιασμού, θεωρούνται οι **11,9°C**, που αντιστοιχούν στη μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος τον ψυχρότερο μήνα (Πίνακας 2-3).

**Παροχή.** Η μέση ημερήσια παροχή ( $Q_d$ ) θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί. Στην παρούσα μελέτη η μέση ημερήσια παροχή υπολογίστηκε **1353 m<sup>3</sup>/d**, για το χειμώνα και **2145 m<sup>3</sup>/d**, για το καλοκαίρι. Στην περίπτωση έλλειψης στοιχείων, ως μέση παροχή λυμάτων μπορεί να θεωρηθεί το 85 % της κατανάλωσης νερού.

**BOD.** Λαμβάνει την τιμή των **500 mg/l**, για το χειμώνα και **330 mg/l**, για το καλοκαίρι.

Αρχικά πρέπει να αναφερθεί πως σε ένα WSP σύστημα, υπάρχει η δυνατότητα μη χρησιμοποίησης της αναερόβιας λίμνης στην αρχή του συστήματος, αν και κάτι τέτοιο δεν προτείνεται διότι στη λίμνη αυτή μπορούν να μειωθούν κατά πολύ τα οργανικά φορτία που υπεισέρχονται στο σύστημα.

Οι αναερόβιες λίμνες μπορούν να σχεδιαστούν ικανοποιητικά και χωρίς να υπάρχει πρόβλημα της εμφάνισης οσμών, χρησιμοποιώντας σαν βάση την ογκομετρική φόρτιση του BOD<sub>5</sub> ( $\lambda_v$ , mg/l·d), η οποία δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\lambda_v = \frac{L_i \cdot Q}{V_a}$$

όπου,

$L_i$ : BOD εισόδου, mg/l

$Q$ : μέση ημερήσια παροχή,  $m^3/d$

$V_a$ : όγκος της αναερόβιας λίμνης,  $m^3$

Τα επιτρεπτά φορτία  $\lambda_v$  αυξάνουν με τη θερμοκρασία και είναι αντιστρόφως ανάλογα του όγκου της λίμνης. Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται οι σχεδιαστικές τιμές για τα επιτρεπτά όρια ογκομετρικής φόρτισης BOD σε  $gr/m^3 \cdot d$ , καθώς και το ποσοστό απομάκρυνσης BOD σε διάφορες θερμοκρασίες.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5-10**

**Σχεδιαστικές τιμές για τα επιτρεπτά όρια ογκομετρικής φόρτισης BOD σε  $gr/m^3 \cdot d$  και ποσοστό απομάκρυνσης BOD σε διάφορες θερμοκρασίες [13]**

Θερμοκρασία ( $^{\circ}C$ )	Ογκομετρική φόρτιση $\lambda_v$ ( $gr/m^3 \cdot d$ )	Απομάκρυνση BOD (%)
< 10	100	40
10 – 20	$20 \cdot T - 100$	$2 \cdot T + 20$
20 – 25	$10 \cdot T + 100$	$2 \cdot T + 20$
> 25	350	70

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα και για  $T_{\text{σχεδιασμού}} = 11,9 \text{ }^{\circ}C$ , υπολογίζεται η ογκομετρική φόρτιση  $\lambda_v$ :

$$\lambda_v = 20 \cdot T - 100 = 20 \cdot 11,9 - 100 \Rightarrow \lambda_v = 138 \text{ mg/l} \cdot d$$

Εν συνεχεία, υπολογίζεται ο όγκος της αναερόβιας λίμνης τόσο για το χειμώνα, όσο και για το καλοκαίρι χωριστά:



### Χειμώνας

$$L_i = 500 \text{ mg/l}$$

$$Q = 1353 \text{ m}^3/\text{d}$$

Άρα,

$$\lambda_v = \frac{L_i \cdot Q}{V_a} \Rightarrow V_a = \frac{L_i \cdot Q}{\lambda_v} = \frac{500 \text{ mg/l} \cdot 1353 \text{ m}^3/\text{d}}{138 \text{ mg/l} \cdot \text{d}}$$

$$\Rightarrow V_a = 4902 \text{ m}^3$$

### Καλοκαίρι

$$L_i = 330 \text{ mg/l}$$

$$Q = 2145 \text{ m}^3/\text{d}$$

Άρα,

$$\lambda_v = \frac{L_i \cdot Q}{V_a} \Rightarrow V_a = \frac{L_i \cdot Q}{\lambda_v} = \frac{330 \text{ mg/l} \cdot 2145 \text{ m}^3/\text{d}}{138 \text{ mg/l} \cdot \text{d}}$$

$$\Rightarrow V_a = 5129 \text{ m}^3$$

Επιλέγεται ο μέγιστος όγκος, οπότε ο όγκος της αναερόβιας λίμνης υπολογίζεται στα  $5129 \text{ m}^3$ .

Θεωρώντας ένα μέσο βάθος λίμνης  $4 \text{ m}$ , η επιφάνεια της αναερόβιας λίμνης υπολογίζεται:

$$A_a = 5129 \text{ m}^3 / 4 \text{ m} \Rightarrow A_a = 1282 \text{ m}^2$$

Όσο για τον υδραυλικό χρόνο παραμονής ( $\theta_a$ ) αυτός υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$\theta_a = \frac{V_a}{Q}$$

Σημειώνεται ότι η τιμή του  $\theta_a$  δεν πρέπει να είναι χαμηλότερη της μίας μέρας. Σε περίπτωση που οι υπολογισμοί οδηγήσουν σε κάτι τέτοιο, τότε θεωρείται ως υδραυλικός χρόνος παραμονής η μία ημέρα.

Εν συνεχεία, υπολογίζεται ο υδραυλικός χρόνος παραμονής των λυμάτων στην αναερόβια λίμνη τόσο για το χειμώνα, όσο και για το καλοκαίρι χωριστά:

#### **Χειμώνας**

$$V_a = 5129 \text{ m}^3$$

$$Q = 1353 \text{ m}^3/\text{d}$$

Άρα,

$$\theta_a = \frac{V_a}{Q} = \frac{5129 \text{ m}^3}{1353 \text{ m}^3 / \text{d}} = 3,8 \text{ days}$$

#### **Καλοκαίρι**

$$V_a = 5129 \text{ m}^3$$

$$Q = 2145 \text{ m}^3/\text{d}$$

Άρα,

$$\theta_a = \frac{V_a}{Q} = \frac{5129 \text{ m}^3}{2145 \text{ m}^3 / \text{d}} = 2,4 \text{ days}$$

Σύμφωνα με τον πίνακα 5-10 η απομάκρυνση του BOD υπολογίζεται:

$2 \cdot T + 20 = 2 \cdot 11,9 + 20 = 44 \%$ . Δηλαδή στην επαμφοτερίζουσα λίμνη εισέρχονται **280 mg/l**, το χειμώνα και **185 mg/l**, το καλοκαίρι.

### Σχεδιασμός επαμφοτερίζουσας λίμνης

Αρχικά, υπολογίζεται η επιτρεπτή τιμή σχεδιασμού που δύναται να πάρει το επιφανειακό φορτίο, σύμφωνα με την εξίσωση:

$$\lambda_s = 350 \cdot (1,107 - 0,002 \cdot T)^{T-25}$$

Έτσι, για  $T_{\text{σχεδιασμού}} = 11,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , είναι:

$$\lambda_s = 350 \cdot (1,107 - 0,002 \cdot 11,9)^{11,9-25} = 123 \text{ Kg / ha} \cdot \text{d}$$

Εν συνεχεία, υπολογίζεται το εμβαδόν της επαμφοτερίζουσας λίμνης.

Στην περίπτωση των επαμφοτερίζουσών λιμνών υπάρχουν διάφοροι τρόποι για να σχεδιαστούν (Mara and Pearson, 1998), αλλά ο πλέον χρησιμοποιούμενος είναι αυτός που βασίζεται στον υπολογισμό του επιφανειακού φορτίου του, ( $\lambda_s$ , kg/ha·d), το οποίο δίδεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$\lambda_s = \frac{10 \cdot L_i \cdot Q}{A_f}$$

όπου,

$L_i$ : BOD εισόδου, mg/l

$Q$ : μέση ημερήσια παροχή, m<sup>3</sup>/d

$A_f$ : εμβαδόν της επαμφοτερίζουσας λίμνης, m<sup>2</sup>

Έτσι, υπολογίζεται το εμβαδόν της επαμφοτερίζουσας λίμνης τόσο για το χειμώνα, όσο και για το καλοκαίρι χωριστά:

### Χειμώνας

$$L_i = 280 \text{ mg/l}$$

$$Q = 1353 \text{ m}^3/\text{d}$$

Άρα,

$$\lambda_s = \frac{10 \cdot L_i \cdot Q}{A_f} \Rightarrow A_f = \frac{10 \cdot L_i \cdot Q}{\lambda_s} = \frac{10 \cdot 280 \text{ mg/l} \cdot 1353 \text{ m}^3/\text{d}}{123 \text{ Kg/ha} \cdot \text{d}}$$

$$\Rightarrow A_f = 30800 \text{ m}^2$$

### Καλοκαίρι

$$L_i = 185 \text{ mg/l}$$

$$Q = 2145 \text{ m}^3/\text{d}$$

Άρα,

$$\lambda_s = \frac{10 \cdot L_i \cdot Q}{A_f} \Rightarrow A_f = \frac{10 \cdot L_i \cdot Q}{\lambda_s} = \frac{10 \cdot 185 \text{ mg/l} \cdot 2145 \text{ m}^3/\text{d}}{123 \text{ Kg/ha} \cdot \text{d}}$$

$$\Rightarrow A_f = 32262 \text{ m}^2$$

Επιλέγεται το μέγιστο εμβαδόν, οπότε το εμβαδόν της επαμφοτερίζουσας λίμνης λαμβάνεται ίσο με:  $A_f = 32262 \text{ m}^2$

Οι επαμφοτερίζουσες λίμνες είναι 1-2 m βαθιές, ενώ συνήθως το βάθος επιλέγεται ίσο με 1,5 m. Άρα στην παρούσα μελέτη λαμβάνεται  $D = 1,5 \text{ m}$ .

Ο μέσος υδραυλικός χρόνος παραμονής στη λίμνη ( $\theta_f$ , d) καθορίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$\theta_f = \frac{A_f \cdot D}{Q_m}$$

όπου,

D: το βάθος της επαμφοτερίζουσας λίμνης, m

$A_f$ : το εμβαδόν της επαμφοτερίζουσας λίμνης,  $m^2$

$Q_m$ : η μέση παροχή,  $m^3/d$

Για θερμοκρασίες κάτω από τους  $20\text{ }^\circ\text{C}$  θα πρέπει να υπάρχει ελάχιστη τιμή του  $\theta_f$  ίση με 5 ημέρες, και για θερμοκρασίες πάνω από τους  $20\text{ }^\circ\text{C}$ , 4 ημέρες, έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί η υδραυλική ανακυκλοφορία και να δοθεί σημαντικός χρόνος στα άλγη να πολλαπλασιαστούν.

Η μέση παροχή  $Q_m$  ισούται με το μέσο όρο των παροχών εισόδου ( $Q_i$ ) και εξόδου ( $Q_e$ ).

Δηλαδή  $Q_m = \frac{1}{2}(Q_i + Q_e)$ . Όμως η παροχή εξόδου ισούται με την παροχή εισόδου, αν αφαιρεθεί η εξάτμιση και η διήθηση.

Στην παρούσα περίπτωση θεωρείται ότι δεν υπάρχει διήθηση παρά μόνον εξάτμιση. Σε αυτήν την περίπτωση ισχύει:

$$Q_e = Q_i - 0,001 \cdot e \cdot A_f$$

όπου  $e$  είναι ο ρυθμός εξάτμισης εκφραζόμενος σε mm. Συνεπώς, υπολογίζεται η μέση παροχή και ο υδραυλικός χρόνος παραμονής στη λίμνη, για το χειμώνα και το καλοκαίρι χωριστά:

### Χειμώνας

$$Q_i = 1353\text{ }m^3/d$$

$$A_f = 32262\text{ }m^2$$

$$e = 49,78\text{ mm [14]}$$

$$D = 1,5\text{ m}$$

Άρα,

$$Q_m = \frac{1}{2} \cdot (Q_i + Q_i - 0,001 \cdot e \cdot A_f) = \frac{1}{2} \cdot (1353 \text{ m}^3 / d + 1353 \text{ m}^3 / d - 0,001 \cdot 49,78 \text{ mm} \cdot 32262 \text{ m}^2)$$

$$\Rightarrow Q_m = 550 \text{ m}^3/d$$

και

$$\theta_f = \frac{A_f \cdot D}{Q_m} = \frac{32262 \text{ m}^2 \cdot 1,5 \text{ m}}{550 \text{ m}^3 / d} = 88 \text{ days}$$

**Καλοκαίρι**

$$Q_i = 2145 \text{ m}^3/d$$

$$A_f = 32262 \text{ m}^2$$

$$e = 49,78 \text{ mm [14]}$$

$$D = 1,5 \text{ m}$$

Άρα,

$$Q_m = \frac{1}{2} \cdot (Q_i + Q_i - 0,001 \cdot e \cdot A_f) = \frac{1}{2} \cdot (2145 \text{ m}^3 / d + 2145 \text{ m}^3 / d - 0,001 \cdot 49,78 \text{ mm} \cdot 32262 \text{ m}^2)$$

$$\Rightarrow Q_m = 1342 \text{ m}^3/d$$

και

$$\theta_f = \frac{A_f \cdot D}{Q_m} = \frac{32262 \text{ m}^2 \cdot 1,5 \text{ m}}{1342 \text{ m}^3 / d} = 36 \text{ days}$$

Όσον αφορά την απομάκρυνση του BOD, σημειώνεται πως στις πρωτοβάθμιες επαμφοτερίζουσες λίμνες, είναι της τάξης του 70-80 % για αφιλτράριστα δείγματα. Σε δευτεροβάθμιες επαμφοτερίζουσες λίμνες, όπως είναι στην παρούσα περίπτωση, η απομάκρυνση είναι μικρότερη, αλλά εξετάζοντας τη συνολική απομάκρυνση αναερόβιας και δευτεροβάθμιας επαμφοτερίζουσας λίμνης, είναι περίπου ίδια, έως ελαφρά καλύτερη από αυτήν που επιτυγχάνεται από τις πρωτοβάθμιες επαμφοτερίζουσες λίμνες. Για  $T < 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  θεωρείται πως από το σύστημα αναερόβιας λίμνης και δευτεροβάθμιας επαμφοτερίζουσας λίμνης απομακρύνθηκε συνολικά το 70 % του BOD (Για  $T > 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  θεωρείται πως από το σύστημα αναερόβιας λίμνης και δευτεροβάθμιας επαμφοτερίζουσας λίμνης απομακρύνεται συνολικά το 80 % του BOD). Έτσι, θεωρώντας συνολική απομάκρυνση BOD από την αναερόβια και τη δευτεροβάθμια επαμφοτερίζουσα λίμνη ίση με 70 % (δηλαδή περίπου 46,5 % απομάκρυνση BOD αποκλειστικά από τη δευτεροβάθμια επαμφοτερίζουσα λίμνη), το BOD εκροής από την επαμφοτερίζουσα λίμνη υπολογίζεται στα **150 mg/lit, για το χειμώνα** και **99 mg/lit, για το καλοκαίρι**.



### Σχεδιασμός λιμνών ωρίμανσης

Εδώ αρχικά υπολογίζεται ο συντελεστής κινητικής πρώτης τάξης ( $k_T$ ) για την απομάκρυνση FC,  $d^{-1}$ :

$$k_T = 2,6 \cdot (1,19)^{T-20} = 2,6 \cdot (1,19)^{11,9-20} = 0,635 \, d^{-1}$$

Το βάθος των λιμνών ωρίμανσης λαμβάνεται συνήθως 1 με 1,5 m. Στην παρούσα εργασία θεωρείται βάθος των λιμνών ωρίμανσης **D = 1,5 m**.

Εν συνεχεία, υπολογίζονται ο αριθμός των λιμνών ωρίμανσης, ο υδραυλικός χρόνος παραμονής των λυμάτων στην κάθε μία και το εμβαδόν της κάθε λίμνης ωρίμανσης, χωριστά, τόσο για το χειμώνα, όσο και για το καλοκαίρι.

### **Χειμώνας**

Είναι γνωστό ότι το οργανικό φορτίο BOD στην πρώτη λίμνη ωρίμανσης δε θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το 75 % του οργανικού φορτίου BOD της επαμφοτερίζουσας λίμνης. Άρα,

$$\lambda_{S(m1), \max} = 0,75 \cdot \lambda_S = 0,75 \cdot 123 \, \text{Kg/ha} \cdot d = 92,3 \, \text{Kg/ha} \cdot d$$

Το BOD εισόδου στην πρώτη λίμνη ωρίμανσης είναι το 30 % του αρχικού BOD εισόδου στην εγκατάσταση,  $L_i$ , καθώς, όπως προαναφέρθηκε, η συνολική απομάκρυνση BOD από την αναερόβια και τη δευτεροβάθμια επαμφοτερίζουσα λίμνη είναι ίση με 70 %.

Επομένως, ο ελάχιστος χρόνος παραμονής ( $\theta_{m1, \min}$ ) των λυμάτων στην 1<sup>η</sup> λίμνη ωρίμανσης είναι:

$$\theta_{m1, \min} = \frac{10 \cdot (0,3 \cdot L_i) \cdot D}{\lambda_{S(m1), \max}} = \frac{10 \cdot (0,3 \cdot 500 \, \text{mg/l}) \cdot 1,5 \, \text{m}}{92,3 \, \text{Kg/ha} \cdot d} = 24,4 \, \text{days}$$

Οι περιορισμοί για το χρόνο παραμονής των λυμάτων στις λίμνες ωρίμανσης είναι, πως αυτός πρέπει να είναι μικρότερος από το χρόνο παραμονής στην επαμφοτερίζουσα λίμνη ( $\theta_{mi} < \theta_f$ ), καθώς και πως ο χρόνος παραμονής σε κάθε λίμνη ωρίμανσης θα πρέπει να είναι μεγαλύτερος από 3 days. Δηλαδή πρέπει:

$$3 \text{ days} < \theta_{mi} < \theta_f$$

Συγκεκριμένα, για την 1<sup>η</sup> λίμνη ωρίμανσης, εάν  $\theta_{m1, \min} > 3 \text{ days}$ , τότε:

$$\theta_{m1, \min} < \theta_{m1} < \theta_f$$

Στην παρούσα περίπτωση για το χειμώνα  $\theta_f = 88 \text{ days}$  και υπολογίστηκε παραπάνω  $\theta_{m1, \min} = 24,4 \text{ days}$ .

Έτσι, για την 1<sup>η</sup> λίμνη ωρίμανσης θα πρέπει:

$$24,4 \text{ days} < \theta_{m1} < 88 \text{ days}$$

Για τις υπόλοιπες λίμνες ωρίμανσης θα πρέπει:

$$3 \text{ days} < \theta_{mi} < 88 \text{ days}$$

Στη συνέχεια υπολογίζεται ο αριθμός των λιμνών ωρίμανσης, καθώς και ο χρόνος παραμονής των λυμάτων στις λίμνες ωρίμανσης, σύμφωνα με τη σχέση:

$$\theta_m = \frac{\left( \frac{N_i}{N_e} \cdot \frac{1}{(1 + k_T \cdot \theta_a) \cdot (1 + k_T \cdot \theta_f)} \right)^{\frac{1}{n}} - 1}{k_T}$$

όπου,

$N_i$ : ο αριθμός των FC/100 ml στην εισροή στην εγκατάσταση

$N_e$ : ο αριθμός των FC/100 ml στην εκροή, μετά τις λίμνες ωρίμανσης

$k_T$ : συντελεστή κινητικής πρώτης τάξης για την απομάκρυνση FC,  $d^{-1}$ :

$n$ : ο αριθμός των λιμνών ωρίμανσης

$\theta_m$ : χρόνος παραμονής λυμάτων σε κάθε μία από τις  $n$  λίμνες ωρίμανσης,  $d$

$\theta_a$ : χρόνος παραμονής λυμάτων στην αναερόβια λίμνη,  $d$

$\theta_f$ : χρόνος παραμονής λυμάτων στην επαμφοτερίζουσα λίμνη,  $d$

Έτσι, είναι:

$$\theta_m = \frac{\left( \frac{N_i}{N_e} \cdot \frac{1}{(1 + k_T \cdot \theta_a) \cdot (1 + k_T \cdot \theta_f)} \right)^{\frac{1}{n}} - 1}{k_T} = \frac{\left( \frac{10^6}{10} \cdot \frac{1}{(1 + 0,635 d^{-1} \cdot 3,8 d) \cdot (1 + 0,635 d^{-1} \cdot 88 d)} \right)^{\frac{1}{n}} - 1}{0,635 d^{-1}} =$$
$$= \frac{(515,11)^{\frac{1}{n}} - 1}{0,635 d^{-1}}$$

Στη συνέχεια δοκιμάζονται διάφορες τιμές στο  $n$  για να γίνει έλεγχος πότε θα είναι:

$$24,4 \text{ days} < \theta_m < 88 \text{ days}$$

Αρα,

Για  $n = 1$ ,  $\theta_m = 809,6 \text{ days}$ . Απορρίπτεται.

Για  $n = 2$ ,  $\theta_m = 34,2 \text{ days}$ . Δεκτή.

Για  $n = 3$ ,  $\theta_m = 11 \text{ days}$ . Απορρίπτεται.

Μία δυνατή λύση λοιπόν είναι να επιλεγούν 2 λίμνες ωρίμανσης με  $\theta_{mi} = 34,2 \text{ days}$  (Λύση 1).

Επίσης, μπορεί να υπολογιστεί ο υδραυλικός χρόνος παραμονής στη 2<sup>η</sup> λίμνη ωρίμανσης, καθώς και για τις επόμενες, ούτως ώστε  $3 \text{ days} < \theta_{mi} < 88 \text{ days}$ , δεδομένης της πρώτης με χρόνο παραμονής  $\theta_{m1} = 34,2 \text{ days}$ . Αυτό υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\theta_m = \frac{\left( \frac{N_i}{N_e} \cdot \frac{1}{(1 + k_T \cdot \theta_a) \cdot (1 + k_T \cdot \theta_f) \cdot (1 + k_T \cdot \theta_{m1})} \right)^{\frac{1}{n}} - 1}{k_T}$$

Άρα,

$$\begin{aligned} \theta_m &= \frac{\left( \frac{N_i}{N_e} \cdot \frac{1}{(1 + k_T \cdot \theta_a) \cdot (1 + k_T \cdot \theta_f) \cdot (1 + k_T \cdot \theta_{m1})} \right)^{\frac{1}{n}} - 1}{k_T} = \\ &= \frac{\left( \frac{10^6}{10} \cdot \frac{1}{(1 + 0,635 \text{ d}^{-1} \cdot 3,8 \text{ d}) \cdot (1 + 0,635 \text{ d}^{-1} \cdot 88 \text{ d}) \cdot (1 + 0,635 \text{ d}^{-1} \cdot 34,2 \text{ d})} \right)^{\frac{1}{n}} - 1}{0,635 \text{ d}^{-1}} = \\ &= \frac{(22,68)^{\frac{1}{n}} - 1}{0,635 \text{ d}^{-1}} \end{aligned}$$

Στη συνέχεια δοκιμάζονται διάφορες τιμές στο n για να γίνει έλεγχος πότε θα είναι:

$$3 \text{ days} < \theta_{mi} < 88 \text{ days}$$

Άρα,

Για  $n = 1$ ,  $\theta_m = 34,2 \text{ days}$ . Δεκτή και ίδια με τη Λύση 1.

Για  $n = 2$ ,  $\theta_m = 5,9 \text{ days}$ . Δεκτή. Αυτή είναι η Λύση 2.

Για  $n = 3$ ,  $\theta_m = 2,9 \text{ days}$ . Απορρίπτεται.

Συνολικά, οι λύσεις που δίδονται είναι:

**Λύση 1:** 2 λίμνες ωρίμανσης με  $\theta_{mi} = 34,2$  days.

**Λύση 2:** 1<sup>η</sup> λίμνη ωρίμανσης με  $\theta_{m1} = 34,2$  days και 2 επιπλέον λίμνες ωρίμανσης με  $\theta_{mi} = 5,9$  days.

Τέλος, για να επιλεγεί η κατάλληλη λύση βρίσκεται ο συνδυασμός που θα δώσει συνολικά το μικρότερο χρόνο παραμονής:

Συνολικός χρόνος παραμονής για Λύση 1:  $2 \cdot 34,2 = 68,4$  days

Συνολικός χρόνος παραμονής για Λύση 2:  $34,2 + 2 \cdot 5,9 = 46$  days

Άρα θα επιλεγεί η 2<sup>η</sup> Λύση, όπου θα υπάρχουν **3 λίμνες ωρίμανσης** με την 1<sup>η</sup> να έχει 34,2 ημέρες υδραυλικό χρόνο παραμονής, τις υπόλοιπες δύο με 5,9 ημέρες και συνολικά **46 ημέρες υδραυλικό χρόνο παραμονής**.

Όσον αφορά δε, την απομάκρυνση του BOD, αυτή είναι 25 % σε κάθε λίμνη ωρίμανσης.

Επομένως το BOD εκροής είναι:

Μετά την 1<sup>η</sup> λίμνη ωρίμανσης έχει μείνει  $150 \cdot 0,75 = 112,5$  mg/l

Μετά τη 2<sup>η</sup> λίμνη ωρίμανσης έχει μείνει  $112,5 \cdot 0,75 = 84,4$  mg/l

Μετά την 3<sup>η</sup> λίμνη ωρίμανσης έχει μείνει  $84,4 \cdot 0,75 = 63,3$  mg/l

Όσον αφορά το εμβαδόν των λιμνών ωρίμανσης, υπολογίζεται από τη σχέση:

$$A_{mi} = \frac{2 \cdot Q_i \cdot \theta_{mi}}{(2 \cdot D + 0,001 \cdot e \cdot \theta_{mi})}$$

Άρα:

Για την 1<sup>η</sup> λίμνη είναι:

$$A_{m1} = \frac{2 \cdot Q_i \cdot \theta_{m1}}{(2 \cdot D + 0,001 \cdot e \cdot \theta_{m1})} = \frac{2 \cdot 1353 \text{ m}^3 / d \cdot 34,2 \text{ d}}{(2 \cdot 1,5 \text{ m} + 0,001 \cdot 49,78 \text{ mm} \cdot 34,2 \text{ d})}$$

$$\Rightarrow A_{m1} = 19680 \text{ m}^2$$

Το εμβαδόν κάθε μίας από τις υπόλοιπες δύο λίμνες είναι:

$$A_{m(2-3)} = \frac{2 \cdot Q_{(2-3)} \cdot \theta_{m(2-3)}}{(2 \cdot D + 0,001 \cdot e \cdot \theta_{m(2-3)})} = \frac{2 \cdot 1353 \text{ m}^3 / d \cdot 5,9 \text{ d}}{(2 \cdot 1,5 \text{ m} + 0,001 \cdot 49,78 \text{ mm} \cdot 5,9 \text{ d})}$$

$$\Rightarrow A_{m(2-6)} = 4847 \text{ m}^2$$

Επομένως, το συνολικό εμβαδόν για τις τρεις λίμνες ωρίμανσης είναι:

$$19680 \text{ m}^2 + 2 \cdot 4847 \text{ m}^2 = 29374 \text{ m}^2$$

### **Καλοκαίρι**

Είναι γνωστό ότι το οργανικό φορτίο BOD στην πρώτη λίμνη ωρίμανσης δε θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το 75 % του οργανικού φορτίου BOD της επαμφοτερίζουσας λίμνης. Άρα,

$$\lambda_{S(m1), \max} = 0,75 \cdot \lambda_S = 0,75 \cdot 123 \text{ Kg/ha} \cdot d = 92,3 \text{ Kg/ha} \cdot d$$

Το BOD εισόδου στην πρώτη λίμνη ωρίμανσης είναι το 30 % του αρχικού BOD εισόδου στην εγκατάσταση,  $L_i$ , καθώς, όπως προαναφέρθηκε, η συνολική απομάκρυνση BOD από την αναερόβια και τη δευτεροβάθμια επαμφοτερίζουσα λίμνη είναι ίση με 70 %.

Επομένως, ο ελάχιστος χρόνος παραμονής ( $\theta_{m1, \min}$ ) των λυμάτων στην 1<sup>η</sup> λίμνη ωρίμανσης είναι:

$$\theta_{m1, \min} = \frac{10 \cdot (0,3 \cdot L_i) \cdot D}{\lambda_{S(m1), \max}} = \frac{10 \cdot (0,3 \cdot 330 \text{ mg / lt}) \cdot 1,5 \text{ m}}{92,3 \text{ Kg / ha} \cdot d} = 16,1 \text{ days}$$

Οι περιορισμοί για το χρόνο παραμονής των λυμάτων στις λίμνες ωρίμανσης είναι, πως αυτός πρέπει να είναι μικρότερος από το χρόνο παραμονής στην επαμφοτερίζουσα λίμνη ( $\theta_{mi} < \theta_f$ ), καθώς και πως ο χρόνος παραμονής σε κάθε λίμνη ωρίμανσης θα πρέπει να είναι μεγαλύτερος από 3 days. Δηλαδή πρέπει:

$$3 \text{ days} < \theta_{mi} < \theta_f$$

Συγκεκριμένα, για την 1<sup>η</sup> λίμνη ωρίμανσης, εάν  $\theta_{m1, \min} > 3 \text{ days}$ , τότε:

$$\theta_{m1, \min} < \theta_{m1} < \theta_f$$

Στην παρούσα περίπτωση του καλοκαιριού  $\theta_f = 36 \text{ days}$  και υπολογίστηκε παραπάνω  $\theta_{m1, \min} = 16,1 \text{ days}$ .

Έτσι, για την 1<sup>η</sup> λίμνη ωρίμανσης θα πρέπει:

$$16,1 \text{ days} < \theta_{m1} < 36 \text{ days}$$

Για τις υπόλοιπες λίμνες ωρίμανσης θα πρέπει:

$$3 \text{ days} < \theta_{mi} < 36 \text{ days}$$

Στη συνέχεια υπολογίζεται ο αριθμός των λιμνών ωρίμανσης, καθώς και ο χρόνος παραμονής των λυμάτων στις λίμνες ωρίμανσης, σύμφωνα με τη σχέση:

$$\theta_m = \frac{\left( \frac{N_i}{N_e} \cdot \frac{1}{(1 + k_T \cdot \theta_a) \cdot (1 + k_T \cdot \theta_f)} \right)^{\frac{1}{n}} - 1}{k_T}$$

όπου,

$N_i$  : ο αριθμός των FC/100 ml στην εισροή στην εγκατάσταση

$N_e$  : ο αριθμός των FC/100 ml στην εκροή, μετά τις λίμνες ωρίμανσης

$k_T$  : συντελεστή κινητικής πρώτης τάξης για την απομάκρυνση FC,  $d^{-1}$ :

$n$  : ο αριθμός των λιμνών ωρίμανσης

$\theta_m$  : χρόνος παραμονής λυμάτων σε κάθε μία από τις  $n$  λίμνες ωρίμανσης,  $d$

$\theta_a$  : χρόνος παραμονής λυμάτων στην αναερόβια λίμνη,  $d$

$\theta_f$  : χρόνος παραμονής λυμάτων στην επαμφοτερίζουσα λίμνη,  $d$

Έτσι, είναι:

$$\begin{aligned} \theta_m &= \frac{\left( \frac{N_i}{N_e} \cdot \frac{1}{(1 + k_T \cdot \theta_a) \cdot (1 + k_T \cdot \theta_f)} \right)^{\frac{1}{n}} - 1}{k_T} = \frac{\left( \frac{10^6}{10} \cdot \frac{1}{(1 + 0,635 d^{-1} \cdot 2,4 d) \cdot (1 + 0,635 d^{-1} \cdot 36 d)} \right)^{\frac{1}{n}} - 1}{0,635 d^{-1}} = \\ &= \frac{(1660,51)^{\frac{1}{n}} - 1}{0,635 d^{-1}} \end{aligned}$$

Στη συνέχεια δοκιμάζονται διάφορες τιμές στο  $n$  για να γίνει έλεγχος πότε θα είναι:

$$16,1 \text{ days} < \theta_m < 36 \text{ days}$$



Άρα,

Για  $n = 1$ ,  $\theta_m = 2613,4$  days. Απορρίπτεται.

Για  $n = 2$ ,  $\theta_m = 62,6$  days. Απορρίπτεται.

Για  $n = 3$ ,  $\theta_m = 17,1$  days. Δεκτή.

Για  $n = 4$ ,  $\theta_m = 8,5$  days. Απορρίπτεται.

Μία δυνατή λύση λοιπόν είναι να επιλεγούν 3 λίμνες ωρίμανσης με  $\theta_{mi} = 17,1$  days (Λύση 1).

Επίσης, μπορεί να υπολογιστεί ο υδραυλικός χρόνος παραμονής στη 2<sup>η</sup> λίμνη ωρίμανσης, καθώς και για τις επόμενες, ούτως ώστε  $3 \text{ days} < \theta_{mi} < 36 \text{ days}$ , δεδομένης της πρώτης με χρόνο παραμονής  $\theta_{m1} = 17,1$  days. Αυτό υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\theta_m = \frac{\left( \frac{N_i}{N_e} \cdot \frac{1}{(1 + k_T \cdot \theta_a) \cdot (1 + k_T \cdot \theta_f) \cdot (1 + k_T \cdot \theta_{m1})} \right)^{\frac{1}{n}} - 1}{k_T}$$

Άρα,

$$\begin{aligned} \theta_m &= \frac{\left( \frac{N_i}{N_e} \cdot \frac{1}{(1 + k_T \cdot \theta_a) \cdot (1 + k_T \cdot \theta_f) \cdot (1 + k_T \cdot \theta_{m1})} \right)^{\frac{1}{n}} - 1}{k_T} = \\ &= \frac{\left( \frac{10^6}{10} \cdot \frac{1}{(1 + 0,635 \text{ d}^{-1} \cdot 2,4 \text{ d}) \cdot (1 + 0,635 \text{ d}^{-1} \cdot 36 \text{ d}) \cdot (1 + 0,635 \text{ d}^{-1} \cdot 17,1 \text{ d})} \right)^{\frac{1}{n}} - 1}{0,635 \text{ d}^{-1}} = \\ &= \frac{(140,03)^{\frac{1}{n}} - 1}{0,635 \text{ d}^{-1}} \end{aligned}$$

Στη συνέχεια δοκιμάζονται διάφορες τιμές στο  $n$  για να γίνει έλεγχος πότε θα είναι:

$$3 \text{ days} < \theta_{mi} < 36 \text{ days}$$

Άρα,

Για  $n = 1$ ,  $\theta_m = 218,9 \text{ days}$ . Απορρίπτεται.

Για  $n = 2$ ,  $\theta_m = 17,1 \text{ days}$ . Δεκτή και ίδια με τη Λύση 1 .

Για  $n = 3$ ,  $\theta_m = 6,6 \text{ days}$ . Δεκτή. Αυτή είναι η Λύση 2.

Για  $n = 4$ ,  $\theta_m = 3,8 \text{ days}$ . Δεκτή. Αυτή είναι η Λύση 3.

Για  $n = 5$ ,  $\theta_m = 2,7 \text{ days}$ . Απορρίπτεται.

Συνολικά, οι λύσεις που δίδονται είναι:

**Λύση 1:** 3 λίμνες ωρίμανσης με  $\theta_{mi} = 17,1 \text{ days}$ .

**Λύση 2:** 1<sup>η</sup> λίμνη ωρίμανσης με  $\theta_{m1} = 17,1 \text{ days}$  και 3 επιπλέον λίμνες ωρίμανσης με  $\theta_{mi} = 6,6 \text{ days}$ .

**Λύση 3:** 1<sup>η</sup> λίμνη ωρίμανσης με  $\theta_{m1} = 17,1 \text{ days}$  και 4 επιπλέον λίμνες ωρίμανσης με  $\theta_{mi} = 3,8 \text{ days}$ .

Τέλος, για να επιλεγεί η κατάλληλη λύση βρίσκεται ο συνδυασμός που θα δώσει συνολικά το μικρότερο χρόνο παραμονής:

Συνολικός χρόνος παραμονής για Λύση 1:  $3 \cdot 17,1 = 51,3 \text{ days}$

Συνολικός χρόνος παραμονής για Λύση 2:  $17,1 + 3 \cdot 6,6 = 36,9 \text{ days}$

Συνολικός χρόνος παραμονής για Λύση 3:  $17,1 + 4 \cdot 3,8 = 32,3 \text{ days}$

Αρα θα επιλεγεί η 3<sup>η</sup> Λύση, όπου θα υπάρχουν **5 λίμνες ωρίμανσης** με την 1<sup>η</sup> να έχει 17,1 ημέρες υδραυλικό χρόνο παραμονής, τις υπόλοιπες τέσσερις 3,8 ημέρες και συνολικά **32,3 ημέρες υδραυλικό χρόνο παραμονής**.

Όσον αφορά δε, την απομάκρυνση του BOD, αυτή είναι 25 % σε κάθε λίμνη ωρίμανσης.

Επομένως το BOD εκροής είναι:

Μετά την 1<sup>η</sup> λίμνη ωρίμανσης έχει μείνει  $99 \cdot 0,75 = 74,3 \text{ mg/l}$

Μετά τη 2<sup>η</sup> λίμνη ωρίμανσης έχει μείνει  $74,3 \cdot 0,75 = 55,7 \text{ mg/l}$

Μετά την 3<sup>η</sup> λίμνη ωρίμανσης έχει μείνει  $55,7 \cdot 0,75 = 41,8 \text{ mg/l}$

Μετά την 4<sup>η</sup> λίμνη ωρίμανσης έχει μείνει  $41,8 \cdot 0,75 = 31,4 \text{ mg/l}$

Μετά την 5<sup>η</sup> λίμνη ωρίμανσης έχει μείνει  $31,4 \cdot 0,75 = 23,6 \text{ mg/l}$

Όσον αφορά το εμβαδόν των λιμνών ωρίμανσης, υπολογίζεται από τη σχέση:

$$A_{mi} = \frac{2 \cdot Q_i \cdot \theta_{mi}}{(2 \cdot D + 0,001 \cdot e \cdot \theta_{mi})}$$

Αρα:

Για την 1<sup>η</sup> λίμνη είναι:

$$A_{m1} = \frac{2 \cdot Q_i \cdot \theta_{m1}}{(2 \cdot D + 0,001 \cdot e \cdot \theta_{m1})} = \frac{2 \cdot 2145 \text{ m}^3 / d \cdot 17,1 d}{(2 \cdot 1,5 \text{ m} + 0,001 \cdot 49,78 \text{ mm} \cdot 17,1 d)}$$

$$\Rightarrow A_{m1} = 19048 \text{ m}^2$$

Το εμβαδόν κάθε μίας από τις υπόλοιπες τέσσερις λίμνες είναι:

$$A_{m(2-5)} = \frac{2 \cdot Q_{(2-5)} \cdot \theta_{m(2-5)}}{(2 \cdot D + 0,001 \cdot e \cdot \theta_{m(2-5)})} = \frac{2 \cdot 2145 \text{ m}^3 / d \cdot 3,8 \text{ d}}{(2 \cdot 1,5 \text{ m} + 0,001 \cdot 49,78 \text{ mm} \cdot 3,8 \text{ d})}$$

$$\Rightarrow A_{m(2-6)} = 5112 \text{ m}^2$$

Επομένως, το συνολικό εμβαδόν για τις πέντε λίμνες ωρίμανσης είναι:

$$A_m = 19048 \text{ m}^2 + 4 \cdot 5112 \text{ m}^2 = 39496 \text{ m}^2$$

Σχεδιαστική περίοδος θεωρείται η καλοκαιρινή, καθώς επιλέγεται το μέγιστο εμβαδόν.

Οπότε το **εμβαδόν των λιμνών ωρίμανσης** λαμβάνεται ίσο με:  $A_m = 39496 \text{ m}^2$  και το σύστημα αποτελείται από 5 λίμνες ωρίμανσης.

**Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής υπολογίστηκε για το καλοκαίρι:**

Για την 1<sup>η</sup> λίμνη ωρίμανσης = **17,1 days**

Για τις υπόλοιπες 4 λίμνες ωρίμανσης = **3,8 days**

Και συνολικά **32,3 days**

Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής υπολογίζεται για το χειμώνα, με βάση το νέο εμβαδόν, από τη σχέση:

$$A_{mi} = \frac{2 \cdot Q_i \cdot \theta_{mi}}{(2 \cdot D + 0,001 \cdot e \cdot \theta_{mi})} \Rightarrow \theta_{mi} = \frac{2 \cdot D \cdot A_{mi}}{2 \cdot Q_i - A_{mi} \cdot 0,001 \cdot e}$$

Συνεπώς, για την 1<sup>η</sup> λίμνη ωρίμανσης, όπου  $A_{m1} = 19048 \text{ m}^2$ , είναι:

$$\theta_{m1} = \frac{2 \cdot D \cdot A_{m1}}{2 \cdot Q_i - A_{m1} \cdot 0,001 \cdot e} = \frac{2 \cdot 1,5 \text{ m} \cdot 19048 \text{ m}^2}{2 \cdot 1353 \text{ m}^3 / d - 19048 \text{ m}^2 \cdot 0,001 \cdot 49,78}$$

$$\Rightarrow \theta_{m1} = 32,5 \text{ days}$$

Για τις υπόλοιπες τέσσερις λίμνες ωρίμανσης, όπου  $A_{mi} = 5112 \text{ m}^2$ , είναι:

$$\theta_{m1} = \frac{2 \cdot D \cdot A_{m1}}{2 \cdot Q_i - A_{m1} \cdot 0,001 \cdot e} = \frac{2 \cdot 1,5 \text{ m} \cdot 5112 \text{ m}^2}{2 \cdot 1353 \text{ m}^3 / d - 5112 \text{ m}^2 \cdot 0,001 \cdot 49,78}$$

$$\Rightarrow \theta_{mi} = 6,3 \text{ days}$$

Και συνολικά  $32,5 + 4 \cdot 6,3 = 57,7 \text{ days}$

Η εκροή BOD από τις 5 λίμνες ωρίμανσης για το καλοκαίρι, υπολογίστηκε στα **23,6 mg/Lt**, δηλαδή με το σύστημα λιμνών σταθεροποίησης (WSP) επιτεύχθηκε απομάκρυνση BOD της τάξης του 92,8 %.

Για το χειμώνα, η εκροή BOD από τις 5 λίμνες ωρίμανσης, υπολογίζεται:

Μετά την 1<sup>η</sup> λίμνη ωρίμανσης έχει μείνει  $150 \cdot 0,75 = 112,5 \text{ mg/Lt}$

Μετά τη 2<sup>η</sup> λίμνη ωρίμανσης έχει μείνει  $112,5 \cdot 0,75 = 84,4 \text{ mg/Lt}$

Μετά την 3<sup>η</sup> λίμνη ωρίμανσης έχει μείνει  $84,4 \cdot 0,75 = 63,3 \text{ mg/Lt}$

Μετά την 4<sup>η</sup> λίμνη ωρίμανσης έχει μείνει  $63,3 \cdot 0,75 = 47,5 \text{ mg/Lt}$

Μετά την 5<sup>η</sup> λίμνη ωρίμανσης έχει μείνει  $47,5 \cdot 0,75 = 35,6 \text{ mg/Lt}$

Δηλαδή, η εκροή BOD από τις 5 λίμνες ωρίμανσης για το χειμώνα, υπολογίστηκε στα **35,6 mg/Lt**, όπερ εστί πως με το σύστημα των λιμνών σταθεροποίησης (WSP) επιτεύχθηκε απομάκρυνση BOD της τάξης του 92,9 %.

Το **εμβαδόν του συνολικού συστήματος λιμνών σταθεροποίησης (WSP)**, με τις 5 λίμνες ωρίμανσης ανέρχεται σε:

$$A_{WSP} = A_{\alpha} + A_s + A_m = 1282 \text{ m}^2 + 32262 \text{ m}^2 + 39496 \text{ m}^2 \Rightarrow \mathbf{A_{WSP} = 73040 \text{ m}^2}$$

**Για να υπάρχει η δυνατότητα διάθεσης των επεξεργασμένων αποβλήτων σε άρδευση, θα πρέπει το εξερχόμενο  $BOD_5 < 15 \text{ mg/l}$** , κάτι που δε συμβαίνει παραπάνω. Για να ίσχυε κάτι τέτοιο, χειμώνα-καλοκαίρι, θα έπρεπε να προστεθούν επιπλέον λίμνες ωρίμανσης και συγκεκριμένα άλλες τρεις. Σε αυτή την περίπτωση και βάσει υπολογισμών ο υδραυλικός χρόνος παραμονής, το καλοκαίρι, θα ήταν 17,1 ημέρες στην πρώτη λίμνη όπως και παραπάνω, αλλά για τις υπόλοιπες θα προέκυπτε κάτω από τρεις ημέρες, όπου θα γίνονταν δεκτές οι τρεις ημέρες, ως ελάχιστος χρόνος παραμονής, με αποτέλεσμα ο συνολικός χρόνος παραμονής να ανερχόταν σε:  $17,1 + 7 \cdot 3 = 38,1 \text{ days}$

Επίσης το εμβαδόν για τη 2<sup>η</sup> μέχρι και την 8<sup>η</sup> λίμνη ωρίμανσης θα ήταν:

$$A_{m(2-8)} = \frac{2 \cdot Q_{(2-8)} \cdot \theta_{m(2-8)}}{(2 \cdot D + 0,001 \cdot e \cdot \theta_{m(2-8)})} = \frac{2 \cdot 2145 \text{ m}^3 / d \cdot 3 d}{(2 \cdot 1,5 \text{ m} + 0,001 \cdot 49,78 \text{ mm} \cdot 3 d)}$$

$$\Rightarrow A_{m(2-6)} = 4087 \text{ m}^2$$

Επομένως, το **συνολικό εμβαδόν για τις οκτώ λίμνες ωρίμανσης θα ήταν:**

$$A_m = 19048 \text{ m}^2 + 7 \cdot 4087 \text{ m}^2 = 47657 \text{ m}^2$$

Βέβαια στην περίπτωση των οκτώ λιμνών ωρίμανσης το  $BOD_5$  της εκροής θα ήταν οριακά  $15 \text{ mg/l}$ .

Στην περίπτωση που γινόταν κατασκευή των οκτώ λιμνών ωρίμανσης, το εμβαδόν του συνολικού συστήματος λιμνών σταθεροποίησης (WSP), θα ανερχόταν σε:

$$A_{WSP} = A_a + A_s + A_m = 1282 \text{ m}^2 + 32262 \text{ m}^2 + 47657 \text{ m}^2 \Rightarrow A_{WSP} = 81201 \text{ m}^2$$

Είναι φανερό πως η απαιτούμενη έκταση για την κατασκευή ενός συστήματος λιμνών σταθεροποίησης, με τις 5 λίμνες ωρίμανσης, είναι πολύ μεγάλη, πόσο μάλλον με κατασκευή οκτώ λιμνών ωρίμανσης.

Απομάκρυνση αζώτου και φωσφόρου και αιωρούμενων στερεών στο σύστημα λιμνών σταθεροποίησης

- **Απομάκρυνση αζώτου**

Για τον υπολογισμό της απομάκρυνσης του ολικού αζώτου σε σύστημα λιμνών σταθεροποίησης, χρησιμοποιείται η παρακάτω σχέση:

$$C_e = C_i \cdot e^{\left( - \left( 0,0064 \cdot (1,039)^{(T-20)} \right) \cdot (\theta + 60,6 \cdot (\text{pH} - 6,6)) \right)}$$

όπου,

$C_e$  : η συγκέντρωση του ολικού αζώτου στην εκροή από τη λίμνη, mg/l

$C_i$  : η συγκέντρωση του ολικού αζώτου στην εισροή στη λίμνη, mg/l

$T$ : η θερμοκρασία σχεδιασμού (1-28 °C), °C

$\theta$ : ο χρόνος παραμονής, d

Θεωρείται pH των λυμάτων ίσο με 8.

Η παραπάνω σχέση αναφέρεται ξεχωριστά σε επαμφοτερίζουσες και λίμνες ωρίμανσης.

Αρχικά, υπολογίζεται η συγκέντρωση του ολικού αζώτου στην εκροή της  
επαμφοτερίζουσας λίμνης, για χειμώνα και καλοκαίρι, χωριστά.

#### Χειμώνας

$$C_e = C_i \cdot e^{\left(-\left(0,0064 \cdot (1,039)^{(T-20)}\right) \cdot (\theta_f + 60,6 \cdot (\text{pH} - 6,6))\right)} =$$
$$= 100 \text{ mg / lt} \cdot e^{\left(-\left(0,0064 \cdot (1,039)^{(11,9-20)}\right) \cdot (88 \text{ d} + 60,6 \cdot (8 - 6,6))\right)}$$

$$\Rightarrow C_e = 44,4 \text{ mg/lt}$$

#### Καλοκαίρι

$$C_e = C_i \cdot e^{\left(-\left(0,0064 \cdot (1,039)^{(T-20)}\right) \cdot (\theta_f + 60,6 \cdot (\text{pH} - 6,6))\right)} =$$
$$= 80 \text{ mg / lt} \cdot e^{\left(-\left(0,0064 \cdot (1,039)^{(11,9-20)}\right) \cdot (36 \text{ d} + 60,6 \cdot (8 - 6,6))\right)}$$

$$\Rightarrow C_e = 45,4 \text{ mg/lt}$$



Ακολουθεί ο υπολογισμός της συγκέντρωσης του ολικού αζώτου στην εκροή της 1<sup>ης</sup> λίμνης ωρίμανσης, για χειμώνα και καλοκαίρι, χωριστά.

#### Χειμώνας

$$C_e = C_i \cdot e^{\left( - \left( 0,0064 \cdot (1,039)^{(T-20)} \right) \cdot (\theta_{m1} + 60,6 \cdot (\text{pH} - 6,6)) \right)} =$$
$$= 44,4 \text{ mg / lt} \cdot e^{\left( - \left( 0,0064 \cdot (1,039)^{(11,9-20)} \right) \cdot (32,5 \text{ d} + 60,6 \cdot (8 - 6,6)) \right)}$$

$$\Rightarrow C_e = 25,6 \text{ mg/lt}$$

#### Καλοκαίρι

$$C_e = C_i \cdot e^{\left( - \left( 0,0064 \cdot (1,039)^{(T-20)} \right) \cdot (\theta_{m1} + 60,6 \cdot (\text{pH} - 6,6)) \right)} =$$
$$= 45,4 \text{ mg / lt} \cdot e^{\left( - \left( 0,0064 \cdot (1,039)^{(11,9-20)} \right) \cdot (17,1 \text{ d} + 60,6 \cdot (8 - 6,6)) \right)}$$

$$\Rightarrow C_e = 28,1 \text{ mg/lt}$$

Ακολουθεί ο υπολογισμός της συγκέντρωσης του ολικού αζώτου στην εκροή της 2<sup>ης</sup> λίμνης ωρίμανσης, για χειμώνα και καλοκαίρι, χωριστά.

#### Χειμώνας

$$C_e = C_i \cdot e^{\left(-\left(0,0064 \cdot (1,039)^{(T-20)}\right) \cdot (\theta_{m1} + 60,6 \cdot (\text{pH} - 6,6))\right)} =$$
$$= 25,6 \text{ mg / lt} \cdot e^{\left(-\left(0,0064 \cdot (1,039)^{(11,9-20)}\right) \cdot (6,3 \text{ d} + 60,6 \cdot (8 - 6,6))\right)}$$

$$\Rightarrow C_e = 16,7 \text{ mg/lt}$$

#### Καλοκαίρι

$$C_e = C_i \cdot e^{\left(-\left(0,0064 \cdot (1,039)^{(T-20)}\right) \cdot (\theta_{m1} + 60,6 \cdot (\text{pH} - 6,6))\right)} =$$
$$= 28,1 \text{ mg / lt} \cdot e^{\left(-\left(0,0064 \cdot (1,039)^{(11,9-20)}\right) \cdot (3,8 \text{ d} + 60,6 \cdot (8 - 6,6))\right)}$$

$$\Rightarrow C_e = 18,5 \text{ mg/lt}$$

Ακολουθεί ο υπολογισμός της συγκέντρωσης του ολικού αζώτου στην εκροή της 3<sup>ης</sup> λίμνης ωρίμανσης, για χειμώνα και καλοκαίρι, χωριστά.

#### Χειμώνας

$$C_e = C_i \cdot e^{\left(-\left(0,0064 \cdot (1,039)^{(T-20)}\right) \cdot (\theta_{m1} + 60,6 \cdot (\text{pH} - 6,6))\right)} =$$
$$= 16,7 \text{ mg / lt} \cdot e^{\left(-\left(0,0064 \cdot (1,039)^{(11,9-20)}\right) \cdot (6,3 \text{ d} + 60,6 \cdot (8 - 6,6))\right)}$$

$$\Rightarrow C_e = 10,9 \text{ mg/lt}$$

#### Καλοκαίρι

$$C_e = C_i \cdot e^{\left(-\left(0,0064 \cdot (1,039)^{(T-20)}\right) \cdot (\theta_{m1} + 60,6 \cdot (\text{pH} - 6,6))\right)} =$$
$$= 18,5 \text{ mg / lt} \cdot e^{\left(-\left(0,0064 \cdot (1,039)^{(11,9-20)}\right) \cdot (3,8 \text{ d} + 60,6 \cdot (8 - 6,6))\right)}$$

$$\Rightarrow C_e = 12,2 \text{ mg/lt}$$

Ακολουθεί ο υπολογισμός της συγκέντρωσης του ολικού αζώτου στην εκροή της 4<sup>ης</sup> λίμνης ωρίμανσης, για χειμώνα και καλοκαίρι, χωριστά.

#### Χειμώνας

$$C_e = C_i \cdot e^{\left(-\left(0,0064 \cdot (1,039)^{(T-20)}\right) \cdot (\theta_{m1} + 60,6 \cdot (\text{pH} - 6,6))\right)} =$$
$$= 10,9 \text{ mg / lt} \cdot e^{\left(-\left(0,0064 \cdot (1,039)^{(11,9-20)}\right) \cdot (6,3 \text{ d} + 60,6 \cdot (8 - 6,6))\right)}$$

$$\Rightarrow C_e = 7,1 \text{ mg/lt}$$

#### Καλοκαίρι

$$C_e = C_i \cdot e^{\left(-\left(0,0064 \cdot (1,039)^{(T-20)}\right) \cdot (\theta_{m1} + 60,6 \cdot (\text{pH} - 6,6))\right)} =$$
$$= 12,2 \text{ mg / lt} \cdot e^{\left(-\left(0,0064 \cdot (1,039)^{(11,9-20)}\right) \cdot (3,8 \text{ d} + 60,6 \cdot (8 - 6,6))\right)}$$

$$\Rightarrow C_e = 8 \text{ mg/lt}$$

Ακολουθεί ο υπολογισμός της συγκέντρωσης του ολικού αζώτου στην εκροή της 5<sup>ης</sup> λίμνης ωρίμανσης, για χειμώνα και καλοκαίρι, χωριστά.

#### Χειμώνας

$$C_e = C_i \cdot e^{\left(-\left(0,0064 \cdot (1,039)^{(T-20)}\right) \cdot (\theta_{m1} + 60,6 \cdot (\text{pH} - 6,6))\right)} =$$
$$= 7,1 \text{ mg/l} \cdot e^{\left(-\left(0,0064 \cdot (1,039)^{(11,9-20)}\right) \cdot (6,3 \text{ d} + 60,6 \cdot (8 - 6,6))\right)}$$

$$\Rightarrow C_e = 4,6 \text{ mg/l}$$

#### Καλοκαίρι

$$C_e = C_i \cdot e^{\left(-\left(0,0064 \cdot (1,039)^{(T-20)}\right) \cdot (\theta_{m1} + 60,6 \cdot (\text{pH} - 6,6))\right)} =$$
$$= 8 \text{ mg/l} \cdot e^{\left(-\left(0,0064 \cdot (1,039)^{(11,9-20)}\right) \cdot (3,8 \text{ d} + 60,6 \cdot (8 - 6,6))\right)}$$

$$\Rightarrow C_e = 5,3 \text{ mg/l}$$

Άρα τελικά η απομάκρυνση του αζώτου που επιτυγχάνεται με το σύστημα των λιμνών σταθεροποίησης (με 5 λίμνες ωρίμανσης) είναι 95,4 % το χειμώνα και 93,4 % το καλοκαίρι.

Αν γινόταν χρήση των οκτώ λιμνών ωρίμανσης τότε επιτυγχάνεται μικρότερη εκροή ολικού αζώτου και συγκεκριμένα η συγκέντρωση του ολικού αζώτου στην εκροή θα ήταν 1,3 mg/l για το χειμώνα (απομάκρυνση 98,7 %) και 1,5 mg/l για το καλοκαίρι (απομάκρυνση 98,1 %).

- **Απομάκρυνση φωσφόρου**

Όσο για την απομάκρυνση του φωσφόρου αυτή είναι περίπου το μισό σε σχέση με την απομάκρυνση του BOD. Έτσι, για το χειμώνα και το καλοκαίρι, χωριστά, ισχύει:

### **Χειμώνας**

Εφόσον στην περίπτωση του χειμώνα η απομάκρυνση του BOD είναι 92,9 %, συμπεραίνεται πως η απομάκρυνση του φωσφόρου θα είναι περίπου 46,5 %, δηλαδή στην εκροή θα υπάρχουν  $0,535 \cdot 20 = 10,7 \text{ mg/l}$ .

### **Καλοκαίρι**

Εφόσον στην περίπτωση του καλοκαιριού η απομάκρυνση του BOD είναι 92,8 %, συμπεραίνεται πως η απομάκρυνση του φωσφόρου θα είναι περίπου 46,4 %, δηλαδή στην εκροή θα υπάρχουν  $0,536 \cdot 15 = 8 \text{ mg/l}$ .

Εάν γινόταν χρήση των οκτώ λιμνών ωρίμανσης, τότε, για το χειμώνα, επιτυγχάνεται εκροή BOD 15 mg/l, δηλαδή απομάκρυνση του BOD κατά 97 %. Οπότε η απομάκρυνση του φωσφόρου θα ήταν 48,5 %, δηλαδή στην εκροή το χειμώνα, θα υπήρχαν 10,3 mg/l φωσφόρου.

Ομοίως για το καλοκαίρι, επιτυγχάνεται εκροή BOD 10 mg/l, δηλαδή απομάκρυνση του BOD κατά 97 %. Οπότε η απομάκρυνση του φωσφόρου θα ήταν 48,5 %, δηλαδή στην εκροή το καλοκαίρι, θα υπήρχαν 7,7 mg/l φωσφόρου.

Παρατηρείται πως η διαφορά στην απομάκρυνση φωσφόρου για σύστημα λιμνών σταθεροποίησης με 5 λίμνες ωρίμανσης, σε σχέση με σύστημα λιμνών σταθεροποίησης με 8 λίμνες ωρίμανσης, είναι μηδαμινή και μη συμφέρουσα συγκριτικά με την απαιτούμενη έκταση του καθενός. .

- **Απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών**

Αν και δεν υπάρχει κάποια εξίσωση από την οποία θα ήταν δυνατόν να υπολογιστεί η απομάκρυνσή τους, εν τούτοις, βάσει άλλων μελετών και ήδη υπαρχόντων συστημάτων αυτή εκτιμάται γύρω στο 95 % ή και παραπάνω. Δεχόμενοι λοιπόν μία τέτοια απομάκρυνση η συγκέντρωση των TSS στην εκροή, χωριστά για το χειμώνα και το καλοκαίρι, προκύπτει:

#### **Χειμώνας**

$TSS_{εκροή} = 0,05 \cdot 290 = 14,5 \text{ mg/l}$  και καλύπτεται έτσι και το όριο των 15 mg/l που απαιτείται για τη διάθεση των επεξεργασμένων αυτών λυμάτων.

#### **Καλοκαίρι**

$TSS_{εκροή} = 0,05 \cdot 200 = 10 \text{ mg/l}$  και καλύπτεται έτσι και το όριο των 15 mg/l που απαιτείται για τη διάθεση των επεξεργασμένων αυτών λυμάτων.

Ποιοτικά και ποσοτικά στοιχεία εκροής επεξεργασμένων λυμάτων από το σύστημα λιμνών σταθεροποίησης που περιλαμβάνει μια αναερόβια, μια επαμφοτερίζουσα λίμνη και 5 λίμνες ωρίμανσης

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΛΙΜΝΩΝ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗΣ				
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΚΡΟΗΣ	ΣΥΜΒΟΛΟ	40ΕΤΙΑ		ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗΣ %
		ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΘΕΡΟΣ	
ΜΕΣΟ ΗΜΕΡΗΣΙΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΕΚΡΟΗΣ ΑΠΟ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΛΙΜΝΕΣ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗΣ (m <sup>3</sup> /d)	Qd <sub>WSP,out</sub>	1353	1716	0 και 20 αντίστοιχα, λόγω εξάτμισης
ΜΕΓΙΣΤΟ ΗΜΕΡΗΣΙΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΕΚΡΟΗΣ ΑΠΟ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΛΙΜΝΕΣ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗΣ (m <sup>3</sup> /d)	Qd <sub>max,WSP,out</sub>	2030	2575	0 και 20 αντίστοιχα, λόγω εξάτμισης
BOD (mg/l)		35,6	23,6	92,9 και 92,8 αντίστοιχα
TN (mg/l)		4,6	5,3	95,4 και 93,4 αντίστοιχα
TP (mg/l)		10,7	8	46,5 και 46,4 αντίστοιχα
SS (mg/l)		14,5	10	95
ΟΛΙΚΑ ΚΟΛΟΒΑΚΤΗΡΙΔΙΑ (αποικίες/100ml)	TC	100	100	99,99
ΚΟΠΡΑΝΩΔΗ ΚΟΛΟΒΑΚΤΗΡΙΔΙΑ (αποικίες/100ml)	FC	10	10	99,99



Ποιοτικά και ποσοτικά στοιχεία εκροής επεξεργασμένων λυμάτων από το σύστημα λιμνών σταθεροποίησης που περιλαμβάνει μια αναερόβια, μια επαμφοτερίζουσα λίμνη και 8 λίμνες ωρίμανσης

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΛΙΜΝΩΝ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗΣ				
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΚΡΟΗΣ	ΣΥΜΒΟΛΟ	40ΕΤΙΑ		ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗΣ %
		ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΘΕΡΟΣ	
ΜΕΣΟ ΗΜΕΡΗΣΙΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΕΚΡΟΗΣ ΑΠΟ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΛΙΜΝΕΣ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗΣ (m <sup>3</sup> /d)	Qd <sub>WSP,out</sub>	1353	1716	0 και 20 αντίστοιχα, λόγω εξάτμισης
ΜΕΓΙΣΤΟ ΗΜΕΡΗΣΙΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΕΚΡΟΗΣ ΑΠΟ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΛΙΜΝΕΣ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗΣ (m <sup>3</sup> /d)	Qd <sub>max,WSP,out</sub>	2030	2575	0 και 20 αντίστοιχα, λόγω εξάτμισης
BOD (mg/l)		15	10	97
TN (mg/l)		1,3	1,5	98,7 και 98,1 αντίστοιχα
TP (mg/l)		10,3	7,7	48,5
SS (mg/l)		14,5	10	95
ΟΛΙΚΑ ΚΟΛΟΒΑΚΤΗΡΙΔΙΑ (αποικίες/100ml)	TC	100	100	99,99
ΚΟΠΡΑΝΩΔΗ ΚΟΛΟΒΑΚΤΗΡΙΔΙΑ (αποικίες/100ml)	FC	10	10	99,99

### **5.10 Μονάδα απολύμανσης της εκροής**

#### Γενικά

Ο στόχος της απολύμανσης των λυμάτων είναι η καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών σε ικανοποιητικά επίπεδα, ώστε η διάθεση των λυμάτων στους υδάτινους αποδέκτες ή η επαναχρησιμοποίησή τους να μη δημιουργεί κινδύνους στη δημόσια υγεία.

Απολύμανση των λυμάτων επιτυγχάνεται κατά κανόνα με εφαρμογή φυσικών ή χημικών μεθόδων, όπως χλωρίωση, οζόνωση ή υπεριώδη ακτινοβολία. Τα χαρακτηριστικά του ιδανικού απολυμαντικού είναι:

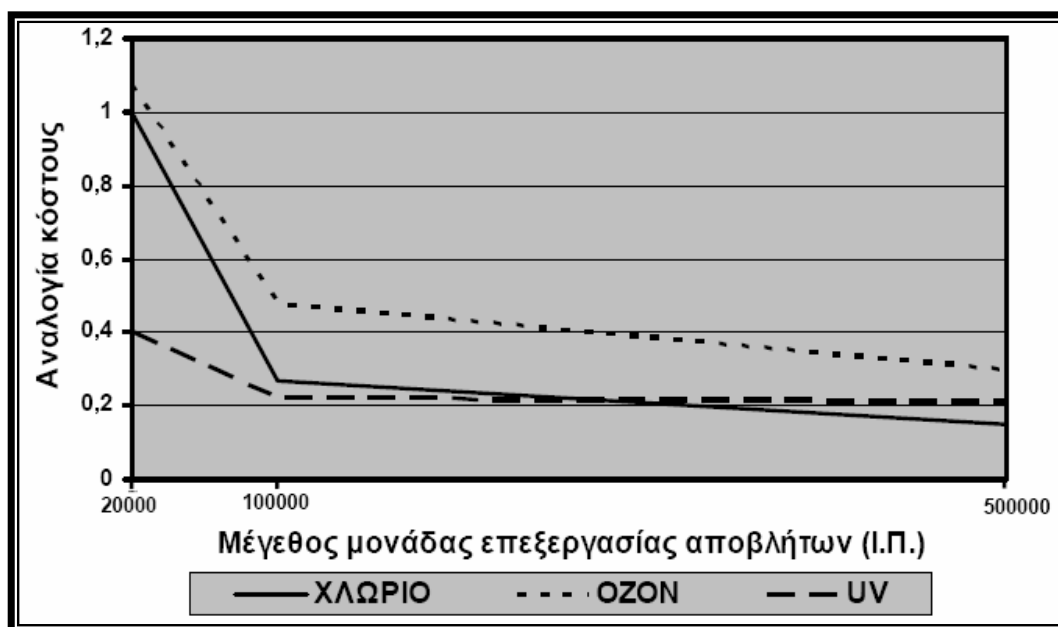
- α) ο υψηλός ρυθμός εξουδετέρωσης παθογόνων μικροοργανισμών,
- β) η χαμηλή δραστικότητα με ουσίες που περιέχονται στο νερό και χαμηλή παραγωγή επικίνδυνων παραπροϊόντων,
- γ) το χαμηλό κόστος λειτουργίας και οι μικρές απαιτήσεις συντήρησης,
- δ) μηδενικός κίνδυνος κατά τη χρήση του,
- ε) εύκολη ανιχνευσιμότητα στο νερό
- στ) χαμηλή τοξικότητα στους υδρόβιους οργανισμούς.

Οι παραπάνω ιδιότητες δεν είναι συγκεντρωμένες σε ένα απολυμαντικό, θα πρέπει όμως να λαμβάνονται υπόψη κατά την αξιολόγηση των εναλλακτικών μεθόδων. Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται τα συγκριτικά τεchnοοικονομικά χαρακτηριστικά των τριών τεχνολογιών, ενώ στην ακόλουθη εικόνα δίδεται το διάγραμμα του σχετικού κόστους των τεχνολογιών απολύμανσης ως συνάρτηση του μεγέθους της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5-11

Τεχνοοικονομικά χαρακτηριστικά των τεχνολογιών απολύμανσης σε σύγκριση με τη χλωρίωση (Lazarova 2003) [27]

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΧΛΩΡΙΩΣΗ	ΟΖΟΝΙΣΜΟΣ	UV
Βακτηριοκτόνος δράση	++	++	++
Ιοκτόνος δράση	+	+++	++
Επανεμφάνιση βακτηρίων	+	+	+
Απομένουσα τοξικότητα	+++	+	-
Παραπροϊόντα	+++	+	-
Προβλήματα ασφαλείας	+++	++	+
Λειτουργικό κόστος	+	++	+
Κόστος επένδυσης	+	++	+
Ευκολία εγκατάστασης	+	+	++
Συντήρηση	++	+	+++
Σύστημα ελέγχου	+	++	+++



ΕΙΚΟΝΑ 5-18

Σχετικό κόστος των τεχνολογιών απολύμανσης ως συνάρτηση του μεγέθους της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων [27]

Ο ρυθμός εξουδετέρωσης των παθογόνων μικροοργανισμών που περιέχονται στα λύματα (ιοί, βακτήρια, παράσιτα) εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως:

- 1) το είδος του μικροοργανισμού,
- 2) το είδος, τις ιδιότητες και τη δόση του απολυμαντικού μέσου,
- 3) το χρόνο έκθεσης των μικροοργανισμών στο απολυμαντικό μέσο,
- 4) τα υδραυλικά χαρακτηριστικά της δεξαμενής απολύμανσης,
- 5) τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των λυμάτων (π.χ. οργανικό φορτίο, αμμωνιακό άζωτο, συγκέντρωση στερεών, θολότητα, απορροφητικότητα σε 254 nm, pH και θερμοκρασία).

Πρέπει να σημειωθεί ότι, η ανάγκη περαιτέρω επεξεργασίας για την απολύμανση των λυμάτων και την πρόσθετη μείωση των παθογόνων μικροοργανισμών, είναι σκόπιμο να εξετάζεται ανά περίπτωση, ανάλογα με τα έργα διάθεσης των λυμάτων και τα χαρακτηριστικά του υδάτινου αποδέκτη.

Στην περίπτωση διάθεσης των λυμάτων στην ανοικτή θάλασσα η απολύμανση των λυμάτων είναι συχνά περιττή, καθώς λόγω της αραίωσης και της φυσικής φθοράς των μικροοργανισμών, οι συγκεντρώσεις τους, είναι αρκετά χαμηλές ώστε να μη δημιουργούν κινδύνους μετάδοσης ασθενειών.

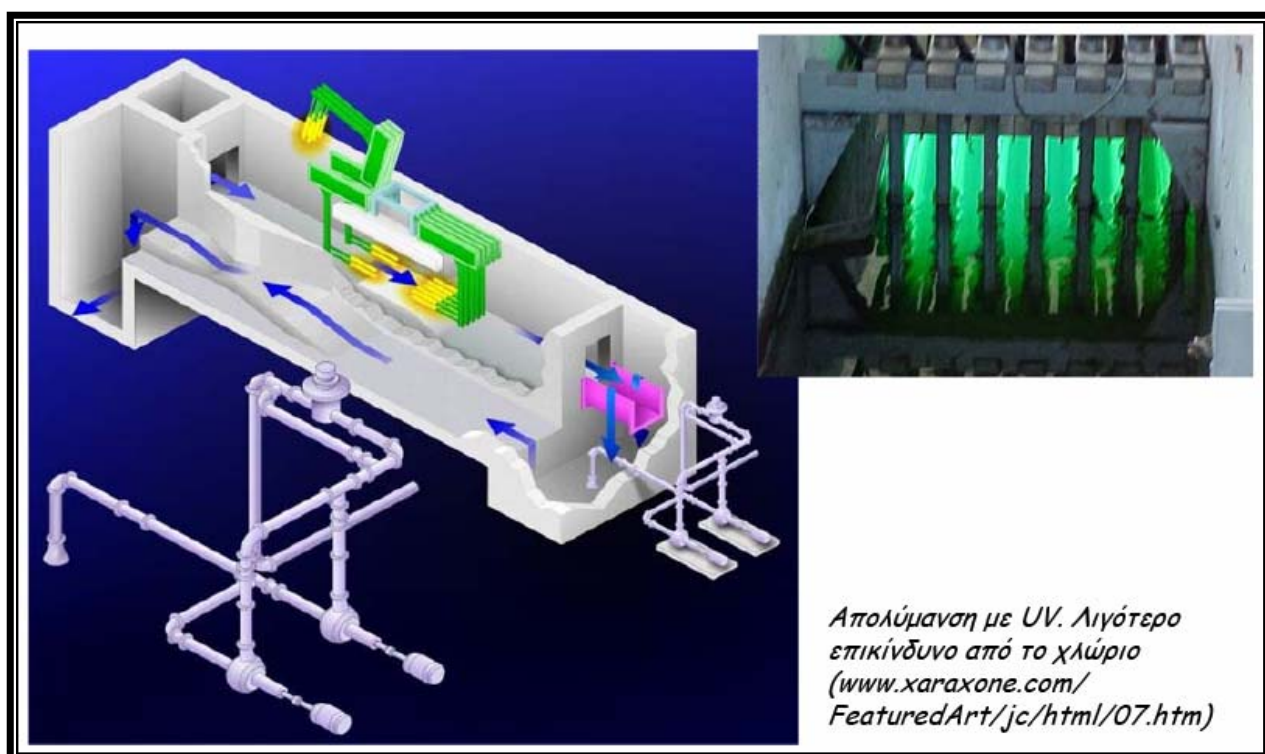
Ιδιαίτερα κρίσιμη είναι η απολύμανση των λυμάτων στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησής τους [19].

Στην παρούσα μελέτη, για την επίτευξη τριτοβάθμιας επεξεργασίας των λυμάτων, πραγματοποιείται απολυμαντική δράση με τη βοήθεια μονάδας απολύμανσης με υπεριώδη ακτινοβολία (UV), για τα σενάρια 1,2 και 3. Ο τρόπος αυτός απολύμανσης επιλέχθηκε έναντι της χλωρίωσης διότι:

- Αποτελεί οικολογική λύση και φιλική προς το περιβάλλον, ενώ η απολύμανση με χλώριο δημιουργεί χλωροπαράγωγα και απαιτεί αποχλωρίωση.

- Δεν απαιτούνται χημικά.
- Είναι λύση αποτελεσματική για τους ιούς και τις κύστες, όπου η χλωρίωση δεν αποδίδει.
- Έχει μικρότερο κόστος λειτουργίας από ότι η χλωρίωση.
- Η επικινδυνότητα από τη μονάδα απολύμανσης με UV είναι μικρότερη από ότι από τις μονάδες χλωρίωσης, τόσο για τους χειριστές όσο και για το περιβάλλον.

Στο παρόν σύστημα, η εκροή θα διέρχεται με φυσική ροή μέσα από ειδικά διαμορφωμένο κανάλι με λάμπες υπεριώδους ακτινοβολίας (UV), όπου θα παραμένει τουλάχιστον 10 δευτερόλεπτα. Η μονάδα απολύμανσης θα τοποθετηθεί πριν τη δεξαμενή αποθήκευσης εκροής. Θα γίνει πρόβλεψη για τοποθέτηση αντλίας ανακυκλοφορίας από τη δεξαμενή αποθήκευσης εκροής στην είσοδο της μονάδας UV, ώστε να επιτυγχάνεται πολλαπλό πέρασμα και απολύμανση της εκροής. Η απολύμανση θα λειτουργεί με H/Z σε περίπτωση διακοπής του ρεύματος [7].



ΕΙΚΟΝΑ 5-19  
Σύστημα απολύμανσης λυμάτων με υπεριώδη ακτινοβολία [25]

Κύρια σχεδιαστικά στοιχεία μονάδας απολύμανσης με υπεριώδη ακτινοβολία

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά της μονάδας είναι:

1. Οι λυχνίες θα καταλαμβάνουν το 35% τουλάχιστον της διατομής, συνεπώς η ελεύθερη διατομή υπολογίζεται στο 65%.
2. Ο χρόνος παραμονής στη μονάδα θα είναι 10 δευτερόλεπτα.
3. Η πυκνότητα της ακτινοβολίας θα είναι  $UV = 3,35 \text{ W/lt}$ .
4. Η μέση ονομαστική ένταση της ακτινοβολία θα είναι μεγαλύτερη από  $4500 \mu\text{W/cm}^2$  (μετά από 100 ώρες λειτουργίας και σε 55% UVT).
5. Η δόση θα είναι μεγαλύτερη από  $30000 \mu\text{W/s/cm}^2$  (μετά από 8500 ώρες λειτουργίας και σε 55% UVT).
6. Τα στοιχεία θα αποτελούνται από λυχνίες και προστατευτικούς κυλίνδρους από χαλαζιακή ύαλο (ένα για κάθε λάμπα ανοικτό μόνο από το ένα άκρο) και ηλεκτρονικό υποδοχέα (βάση). Όλα τα διαβρεχόμενα μεταλλικά μέρη θα είναι από ανοξείδωτο χάλυβα AISI 316L.
7. Θα υπάρχει σύστημα ανίχνευσης-μέτρησης της μέσης έντασης ακτινοβολίας που θα μετρά την ένταση UV από μια αντιπροσωπευτική λάμπα αναφοράς.
8. Περιλαμβάνεται κέντρο ελέγχου.
9. Θα περιλαμβάνει κέντρο ελέγχου όλων των λυχνιών, θα έχει ένδειξη για την κατάσταση λειτουργίας κάθε στοιχείου και κάθε λάμπας UV, την ένταση της ακτινοβολίας σε κάθε συστοιχία, ώρες λειτουργίας όλης της συστοιχίας.
10. Περιλαμβάνεται πίνακας τροφοδοσίας-διανομής ενέργειας της μονάδας UV.

Κάθε σύστημα τροφοδοσία θα είναι καλυμμένο με κάλυμμα που θα κλείνει στεγανά.

Όλο το σύστημα θα είναι γειωμένο κατάλληλα και θα περιλαμβάνει πίνακα συγκέντρωσης δεδομένων και πίνακα επικοινωνίας. Το βασικό υλικό κατασκευής της μονάδας είναι ο ανοξείδωτος χάλυβας (AISI 304L, τουλάχιστον, και τα διαβρεχόμενα μέρη από AISI 316L) [7].

Η μονάδα απολύμανσης χρησιμοποιείται για έλεγχο των μικροοργανισμών στην εκροή των σεναρίων 1,2 και 3. Η απόδοση της μονάδας απολύμανσης είναι 99 %, τόσο για τα κοπρανώδη, όσο και για τα ολικά κολοβακτηρίδια.

### **5.11 Μονάδα απόσμησης των σηπτικών δεξαμενών**

Ως αποτέλεσμα της αναερόβιας σήψης-χώνευσης, παράγονται διάφορα αέρια, τα οποία είναι δύσοσμα, π.χ. υδρόθειο, αμμωνία και οργανικές ενώσεις, όπως ινδόλες, σκατόλες (μυρωδιά περιττωμάτων), μερκαπτάνες, φαινόλες, αμίνες κ.α., και σε μεγάλες ποσότητες επικίνδυνα, εάν δε λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα (εξαερισμοί με απόσμηση, προσοχή και ειδική προστασία όσων πρέπει να εργαστούν πάνω από αναθυμιάσεις και δύσοσμα αέρια κλπ). Η αντιμετώπιση των δύσοσμων αερίων της σηπτικής δεξαμενής και του φρεατίου εσχαρισμού, θα γίνεται με το δίκτυο συγκέντρωσης-απαγωγής, που θα μεταφέρει τα οσμαέρια με τη βοήθεια εξαεριστήρα σε βιολογικό φίλτρο με πληρωτικό υλικό compost (το φίλτρο αυτό επιλέχτηκε λόγω της απλής κατασκευής και λειτουργίας του, του χαμηλού κόστους, της μη χρήσης χημικών, αλλά μικροοργανισμών σε φυτικό υπόστρωμα και της χρήσης μοναδικής συσκευής δηλαδή του εξαεριστήρα). Η λειτουργία του φίλτρου βασίζεται στη βιοχημική διεργασία από βακτηριακή βιομάζα, που θα αναπτύσσεται σε ειδικό υπόστρωμα (φλύδες δέντρων ή ροκανίδια με ώριμο compost) και θα αφομοιώνει τις ουσίες που περιέχουν τα οσμαέρια. Η απόδοση καθαρισμού, εφόσον γίνεται αναφορά σε ένα σωστά σχεδιασμένο βιοφίλτρο, κυμαίνεται μεταξύ 90% και 99%.

Οι οσμές από τον εξαερισμό της σηπτικής δεξαμενής είναι ελάχιστες και είναι απίθανο να ενοχλήσουν σε απόσταση μεγαλύτερη από 20 με 30 m. Το χειμώνα τα οσμαέρια είναι ελάχιστα και η απόσμηση γίνεται με απλό εξαερισμό μέσω φίλτρου, χωρίς τη λειτουργία του εξαεριστήρα.

Η λειτουργία του εξαεριστήρα γίνεται με προγραμματιστή (ηλεκτρονικό χρονοδιακόπτη) ή μέσα από το κεντρικό λογικό ελεγκτή (PLC) του κεντρικού πίνακα [7].

### **5.12 Δεξαμενή αποθήκευσης της εκροής**

Η δεξαμενή αποθήκευσης της εκροής θα αποθηκεύει μικρή ποσότητα εκροής και θα εξυπηρετεί τις ανάγκες άντλησης καθαρισμένων νερών προς την αρδευόμενη περιοχή.

### **5.13 Ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος H/Z**

Η ύπαρξη ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους είναι απαραίτητη για την ασφαλή και αποδοτική λειτουργία όλου του συστήματος. Το H/Z πρέπει να μπορεί να καλύπτει πολύωρες διακοπές της ΔΕΗ για τα εξής τμήματα [7]:

- ~ Άντληση και ανύψωση των λυμάτων από τις σηπτικές δεξαμενές προς το εκάστοτε φυσικό σύστημα επεξεργασίας, ανάλογα με το σενάριο.
- ~ Λειτουργία του φίλτρου απόσμησης.
- ~ Λειτουργία της μονάδας απολύμανσης με UV.

### **5.14 Κτίριο διοίκησης, διαμόρφωση του χώρου και περίφραξη**

Το έργο πρέπει να περιλαμβάνει κτίριο διοίκησης, το οποίο να βρίσκεται στην είσοδο κοντά στην πύλη. Το κτίριο πρέπει να περιλαμβάνει χώρο γραφείου, WC και αποθήκη εργαλείων και λοιπών αναλώσιμων.

Για την κάλυψη των αναγκών του προσωπικού σε πόσιμο νερό, προβλέπεται δεξαμενή νερού, τοποθετημένη στην οροφή του οικίσκου. Η αποχέτευση του κτιρίου συνδέεται στο φρεάτιο εισόδου των λυμάτων. Το κτίριο συνδέεται με το δίκτυο χαμηλής τάσης της ΔΕΗ. Ο ηλεκτρικός πίνακας τοποθετείται εντός του κτιρίου και ηλεκτροδοτεί, επίσης, τα αντλιοστάσια και τον εξωτερικό φωτισμό του χώρου.

Επιπλέον, όλο το οικοπέδο για λόγους προστασίας του έργου και των κατοίκων πρέπει να είναι περιφραγμένο με δικτυωτό γαλβανισμένο συρματόπλεγμα, ρομβοειδούς οπής, ύψους τουλάχιστον 2,5 m.



Για την εύκολη πρόσβαση σε όλα τα σημεία του χώρου διαμορφώνεται περιμετρικά των λεκανών, οδός προσπέλασης, η οποία στο ένα άκρο φέρει τάφρο για την αποστράγγιση των ομβρίων εκτός του χώρου [7].

### 5.15 Δειγματοληψία και παρακολούθηση της εκροής

Η ποιότητα των επεξεργασμένων λυμάτων θα πρέπει να ελέγχεται συστηματικά, μέσα από ένα πρόγραμμα χημικών και μικροβιολογικών αναλύσεων το οποίο προσδιορίζεται αναλυτικά στον πίνακα που ακολουθεί. Παράλληλα, πρέπει να καταρτισθεί ένα ετήσιο πρόγραμμα δειγματοληψιών και παρακολούθησης της ποιότητας του νερού των γεωτρήσεων.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5-12**

**Παράμετροι ελέγχου της εγκατάστασης, σημεία δειγματοληψίας και συχνότητα μέτρησης [7]**

Σημείο δειγματοληψίας και ελέγχου	Παράμετρος ελέγχου	Συχνότητα μέτρησης
Είσοδος εγκατάστασης (στο φρεάτιο πριν την εσχάρα)	COD, pH	Εβδομαδιαία
	BOD, Total N (Kjendahl), PO <sub>4</sub> , TDS, TSS	Μηνιαία
	As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Li, Mo, Ni, Pb, Se, Sn, Zn, SO <sub>4</sub> , απορρυπαντικά, λίπη, έλαια	Εξαμηνιαία
Είσοδος στο εκάστοτε (σύμφωνα με το σενάριο) φυσικό σύστημα επεξεργασίας	COD, BOD, TDS, TSS, pH, NO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> , PO <sub>4</sub>	Μηνιαία
Έξοδος από την εγκατάσταση	Διαλυμένο Οξυγόνο (DO), pH, θερμοκρασία, ηλεκτρική αγωγιμότητα (πρέπει να είναι < 0,7 dS/m για να μην υπάρξει πρόβλημα αλατότητας στα εδάφη και τα φυτά)	Συνεχής
	Κοπρανώδη κολοβακτηρίδια, TSS, COD, TDS	Εβδομαδιαία
	NH <sub>4</sub> , NO <sub>3</sub> , PO <sub>4</sub> , BOD	Μηνιαία
	Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Li, Mo, Ni, Pb, Se, Sn, Zn, CN <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> , απορρυπαντικά, λίπη, έλαια, φαινόλες	Εξαμηνιαία

### **5.16 Στερεά απόβλητα – ιλύες - λίπη**

Τα στερεά που θα παράγονται από τη μονάδα περιλαμβάνουν τα εσχαρίσματα και μικρή ποσότητα ιλύος, τα οποία πρέπει να υποστούν άμεση και υγειονομικά αποδεκτή απόθεση, έτσι ώστε να μην προκληθεί όχληση λόγω μόλυνσης, δυσοσμίας και έλξης μυγών.

Τα πλέον δύσσομα και επικίνδυνα είναι τα εσχαρίσματα, τα οποία όμως παράγονται σε μικρές ποσότητες. Τα εσχαρίσματα θα διατίθενται σε χώρο ταφής απορριμμάτων.

Ιλύς από βιολογική επεξεργασία δεν παράγεται, λόγω απουσίας δεξαμενών τελικής καθίζησης. Στις σηπτικές δεξαμενές της εγκατάστασης θα παράγεται μικρή ποσότητα ιλύος, η οποία θα έχει υποστεί πλήρη σταθεροποίηση λόγω του μεγάλου χρόνου χώνευσης (6-12 μήνες τουλάχιστον). Όσον αφορά τη διάθεση της παραγόμενης ιλύος, υπάρχουν μερικοί εναλλακτικοί τρόποι διαχείρισης:

1. Μεταφορά από τη σηπτική δεξαμενή σε σταθμό υποδοχής-επεξεργασίας βοθρολυμάτων, όπου λαμβάνει χώρα επεξεργασία, βιοσταθεροποίηση και αφυδάτωση.
2. Μεταφορά από τη σηπτική δεξαμενή και διάθεση-διασπορά σε κατάλληλο έδαφος, σαν υγρό λίπασμα ή εδαφοβελτιωτικό, μετά βέβαια από σχετική υδρογεωλογική και γεωλογική-εδαφολογική μελέτη.
3. Επιτόπια μείωση της περιεχόμενης υγρασίας με τους εξής τρόπους:
  - Αφυδάτωσης σε κλίνες ξήρανσης με ή χωρίς βλάστηση, για εφαρμογή σε μικρές μονάδες (< 5000 κατοίκους) και σε μεγάλες αποστάσεις από κατοικίες.
  - Μηχανική αφυδάτωση με ταινιοφιλτρόπρεσα ή φυγοκεντρητή, για εφαρμογή κυρίως σε μεγαλύτερες μονάδες.

Η αφυδατωμένη λάσπη μπορεί να διατίθεται:

- α) Στο έδαφος σαν βελτιωτικό εδάφους, χωρίς άλλη προεπεξεργασία.
- β) Στο έδαφος σαν βελτιωτικό εδάφους, με προεπεξεργασία η οποία περιλαμβάνει ανάμιξη με διογκωτικά υλικά όπως πριονίδι ή γεωργικά υπολείμματα και βιοσταθεροποίηση των λασπών για παραγωγή compost.
- γ) Στον πλησιέστερο ΧΥΤΑ.

Υπολογίζεται πως στην υπό μελέτη μονάδα θα παράγονται περίπου 2500 m<sup>3</sup> λάσπης και 1000 m<sup>3</sup> αφρού-λιπών το χρόνο, τα οποία θα υφίστανται χώνευση μέσα στη δεξαμενή, ενώ τελικά από τη μονάδα θα εξέρχεται μικρότερη ποσότητα (περί τα 1500 m<sup>3</sup>) στερεών αποβλήτων το χρόνο, τα οποία δύναται να οδηγούνται στο σταθμό υποδοχής-επεξεργασία βοθρολυμάτων του Δήμου Ρόδου, όπου θα λαμβάνει χώρα επεξεργασία, βιοσταθεροποίηση και αφυδάτωση.

#### 5.17 Παράμετροι χωροθέτησης της μονάδας

Γενικά, επιδιώκεται η χωροθέτηση του συστήματος διάθεσης σε ενιαίο χώρο με την εγκατάσταση επεξεργασίας. Η διερεύνηση για τον προσδιορισμό των χώρων επεξεργασίας-διάθεσης των λυμάτων, γίνεται από κοινού με εκπροσώπους του Δήμου, οι δε προτεινόμενοι χώροι πληρούν τους περιορισμούς που θέτουν:

- ✿ Το ανάγλυφο του εδάφους.
- ✿ Οι κατευθύνσεις των δικτύων αποχέτευσης
- ✿ Η δυνατότητα εξασφάλισης της απαιτούμενης γης.

- Τα όρια των οικισμών (επιδιώκεται η τοποθέτηση εκτός οικιστικών ορίων) και οι λοιποί περιορισμοί αποστάσεων που θέτει ο νόμος (προστατευόμενη περιοχή, αρχαιολογικοί χώροι κλπ).
- Οι επιβεβλημένες αποστάσεις από τα υπάρχοντα ή προγραμματιζόμενα υδροαρδευτικά έργα.
- Οι υποκείμενες των θέσεων των συστημάτων ειδικές υδρογεωλογικές συνθήκες.

### 5.18 Συγκριτικές αποδόσεις των σεναρίων

Για την ποιότητα εκροής των επεξεργασμένων λυμάτων, ανάλογα με το σενάριο, προκύπτει ο ακόλουθος πίνακας.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5-13**  
Συγκριτικές αποδόσεις των σεναρίων

Μελετώμενα σενάρια	BOD (mg/l)		TN (mg/l)		TP (mg/l)		SS (mg/l)		TC (απ./100ml)		FC (απ./100ml)		Εμβαδόν (m <sup>2</sup> )
	X	K	X	K	X	K	X	K	X	K	X	K	
<b>Σενάριο 1:</b> Σηπτική δεξαμενή + Υγροβιότοπος υποεπιφανειακής ροής + Απολύμανση με UV	9,98	2,89	12,4	10,6	10,1	9	6,5	4,6	100	100	10	10	38903
<b>Σενάριο 2:</b> Σηπτική δεξαμενή + Υγροβιότοπος ελεύθερης επιφάνειας + Απολύμανση με UV	9,89	9,11	12,5	10,7	10,3	9,2	7,3	5,2	100	100	10	10	37044
<b>Σενάριο 3:</b> Σηπτική δεξαμενή + Βιολογικό αμμόφιλτρο + Απολύμανση με UV	10	6,6	27	21,6	5,1	3,9	5,8	4	1000	1000	100	100	22986
<b>Σενάριο 4:</b> i) Λίμνες σταθεροποίησης (αναερόβια + επαμφοτερίζουσα + 5 λίμνες ωρίμανσης)	35,6	23,6	4,6	5,3	10,7	8	14,5	10	100	100	10	10	73040
<b>Σενάριο 4:</b> ii) Λίμνες σταθεροποίησης (αναερόβια + επαμφοτερίζουσα + 8 λίμνες ωρίμανσης)	15	10	1,3	1,5	10,3	7,7	14,5	10	100	100	10	10	81201

\* X: Χειμώνας και K: Καλοκαίρι

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>

ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΝΑΛΟΓΑ  
ΜΕ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ

## 6.1 Γενικά

Κατά τεκμήριο, τα στοιχεία κόστους που υπάρχουν στην ξένη βιβλιογραφία είναι αναξιόπιστα και μη εφαρμόσιμα στην ελληνική πραγματικότητα, καθώς, όπως είναι κατανοητό, βασίζονται σε διαφορετικές τόσο οικονομικές, όσο και τεχνικές συνθήκες. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια λόγω της εμπειρίας που αποκτείται σιγά σιγά από τη διαχείριση των υγρών αποβλήτων, έχουν γίνει αξιόλογες προσπάθειες προς την κατεύθυνση της συλλογής στοιχείων από ήδη υπάρχουσες μονάδες. Τα στοιχεία αξιολογούνται και αναλύονται σε επιμέρους δαπάνες της εγκατάστασης, που αφορούν το κατασκευαστικό κόστος, το κόστος λειτουργίας και συντήρησης της μονάδας, την αγορά γης, την αποπληρωμή των δανείων, την κατανάλωση ενέργειας, την αγορά χημικών ειδών και τους μισθούς των εργαζομένων [12].

## 6.2 Κοστολόγηση Σεναρίου 1: Σηπτική Δεξαμενή και Υγροβιότοπος Υποεπιφανειακής Ροής (SFS) και Απολύμανση

*Κόστος κατασκευής σηπτικής δεξαμενής*

Από την εμπειρία του ΟΑΝΑΚ (Οργανισμός Ανάπτυξης Ανατολικής Κρήτης) σε τέτοιου είδους έργα, έχει δημιουργηθεί ο παρακάτω πίνακας που παρουσιάζει τα κόστη κατασκευής σηπτικής δεξαμενής, ανοιγμένα ανά ισοδύναμο κάτοικο (PE).

**ΠΙΝΑΚΑ 6-1**

**Κατασκευαστικό κόστος σηπτικής δεξαμενής, ανά ισοδύναμο κάτοικο, για το έτος 2000 [20]**

<b>ΣΗΠΤΙΚΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗ - Τιμές για το έτος 2000</b>			
<b>ΚΑΤΟΙΚΟΙ PE</b>	<b>ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ (m3)</b>	<b>ΔΑΠΑΝΗ Ω.Σ. ΤΜ.*=1,4*135ευρώ</b>	<b>ΔΑΠΑΝΗ ΑΝΑ ΚΑΤΟΙΚΟ ευρώ/PE</b>
100	35	6603	66
200	55	10418	52,10
300	75	13969	46,60
500	100	18899	37,80
1000	130	24563,50	24,60
1500	180	34042,50	22,70
2000	230	43433,60	21,70
3500	380	71812	20,52

Ο συντελεστής προσαύξησης 1,4 χρησιμοποιείται για να καλύψει πρόσθετες δαπάνες όπως εκσκαφές και εξαρτήματα.

Με βάση το κόστος το έτος 2000, θα υπολογιστεί το κόστος το έτος 2007, θεωρώντας αύξηση της τάξης του 27 %. (λαμβάνοντας υπόψη δείκτες τιμών υλικών για νέα κτίρια: 2000 με 2005 αύξηση 14,3 %, 2005 με 2006 αύξηση 5,9 % και 2006 με 2007 αύξηση 6,5 %)[14 , 22].

Επομένως **για το έτος 2007** ο παραπάνω πίνακας κόστους κατασκευής για τη σηπτική δεξαμενή με μία προσαύξηση της τάξεως του 27% γίνεται:

**ΠΙΝΑΚΑ 6-2**

**Κατασκευαστικό κόστος σηπτικής δεξαμενής, ανά ισοδύναμο κάτοικο, για το έτος 2007**

<b>ΣΗΠΤΙΚΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗ - Τιμές για το έτος 2007</b>			
<b>ΚΑΤΟΙΚΟΙ PE</b>	<b>ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ (m3)</b>	<b>ΔΑΠΑΝΗ Ω.Σ. ΤΜ.*=1,4*135ευρώ Μαζί με το 27 %</b>	<b>ΔΑΠΑΝΗ ΑΝΑ ΚΑΤΟΙΚΟ ευρώ/PE</b>
100	35	8385,81	83,86
200	55	13230,86	66,15
300	75	17740,63	59,14
500	100	24001,73	48
1000	130	31195,65	31,20
1500	180	43233,98	28,82
2000	230	55160,67	27,58
3500	380	91201,24	26,06

Για 14300 κατοίκους γίνεται η παραδοχή πως η δαπάνη της σηπτικής δεξαμενής είναι 20 ευρώ/PE. Άρα συνολικά το κόστος κατασκευής της σηπτικής υπολογίζεται στα:

$$14300 \text{ PE} \cdot 20 \text{ ευρώ/PE} = \mathbf{286.000 \text{ ευρώ για τη σηπτική δεξαμενή}}$$

#### Κόστος κατασκευής υγροβιότοπου υποεπιφανειακής ροής

Για το έτος 2000 το κόστος κατασκευής υγροβιότοπου υποεπιφανειακής ροής είναι  $30.000 \text{ δρχ/PE} = 88 \text{ ευρώ/PE}$  [20].

Για το έτος 2007, με προσαύξηση 27 % υπολογίζεται το κατασκευαστικό κόστος του υγροβιότοπου υποεπιφανειακής ροής σε 112 ευρώ/PE. Συνεπώς, για 14300 κατοίκους το κατασκευαστικό κόστος είναι **1.601.600 ευρώ για τον υγροβιότοπο υποεπιφανειακής ροής.**

#### Κόστος κατασκευής μονάδας απολύμανσης

Για το έτος 2000 το κόστος κατασκευής μονάδας απολύμανσης είναι  $5.000.000 \text{ δρχ/τεμάχιο} = 14.673 \text{ ευρώ/τεμάχιο}$  [20].

Για το έτος 2007, με προσαύξηση 27 % υπολογίζεται το κατασκευαστικό κόστος της μονάδας απολύμανσης σε 18.635 ευρώ/τεμάχιο. Συνεπώς, για 1 τεμάχιο το κατασκευαστικό κόστος είναι **18.635 ευρώ για τη μονάδα απολύμανσης.**

#### Συνολικό κατασκευαστικό κόστος του συστήματος

$$286.000 + 1.601.600 + 18.635 = \boxed{1.906.235 \text{ ευρώ}}$$



*Κόστος συντήρησης και λειτουργίας σηπτικής δεξαμενής + υγροβιότοπου υποεπιφανειακής ροής + απολύμανσης*

Για το έτος 2000 το κόστος λειτουργίας του παραπάνω συστήματος είναι 2181,82 δρχ/κάτοικο/έτος = 6,4 ευρώ/ κάτοικο/έτος [20].

Αρα για το έτος 2007 που έχουμε προσαύξηση 27 %, το κόστος λειτουργίας ανέρχεται σε 8,128 ευρώ/κάτοικο/έτος. Συνεπώς, για 14300 κατοίκους το ετήσιο κόστος λειτουργίας είναι:

**116.230 ευρώ/έτος**

*Κόστος Γης*

Θεωρείται τιμή γης 4500 €/στρέμμα. Η απαιτούμενη έκταση για το σενάριο αυτό υπολογίστηκε ίση με 840 m<sup>2</sup> για τη σηπτική δεξαμενή και 38903 m<sup>2</sup> για τον υγροβιότοπο υποεπιφανειακής ροής, ενώ λαμβάνονται επιπλέον 1000 m<sup>2</sup> για τις υπόλοιπες υποδομές, όπως κτίριο διοίκησης, περιφερειακές οδοί κ.α. Η συνολική απαιτούμενη έκταση για το σενάριο αυτό, λοιπόν, υπολογίζεται περίπου στα 41 στρέμματα. Συνεπώς, το κόστος γης υπολογίζεται ίσο με:

**184.500 ευρώ**

### 6.3 Κοστολόγηση Σεναρίου 2: Σηπτική Δεξαμενή και Υγροβιότοπος Ελεύθερης Επιφάνειας (FWS) και Απολύμανση

#### Κόστος κατασκευής σηπτικής δεξαμενής

Το κόστος κατασκευής υπολογίστηκε στην παράγραφο 6.2 ίσο με **286.000 ευρώ για τη σηπτική δεξαμενή.**

#### Κόστος κατασκευής υγροβιότοπου ελεύθερης επιφάνειας

Για το έτος 2000 το κόστος κατασκευής υγροβιότοπου ελεύθερης επιφάνειας είναι  $21.500 \text{ δρχ/PE} = 63 \text{ ευρώ/PE}$  [20].

Για το έτος 2007, με προσαύξηση 27 % υπολογίζεται το κατασκευαστικό κόστος του υγροβιότοπου ελεύθερης επιφάνειας σε 80 ευρώ/PE. Συνεπώς, για 14300 κατοίκους το κατασκευαστικό κόστος είναι **1.144.000 ευρώ για τον υγροβιότοπο ελεύθερης επιφάνειας.**

#### Κόστος κατασκευής μονάδας απολύμανσης

Στην παράγραφο 6.2, για το έτος 2007, υπολογίστηκε το κατασκευαστικό κόστος της μονάδας απολύμανσης σε 18.635 ευρώ/τεμάχιο. Συνεπώς, για 1 τεμάχιο το κατασκευαστικό κόστος είναι **18.635 ευρώ για τη μονάδα απολύμανσης.**

#### Συνολικό κατασκευαστικό κόστος του συστήματος

$$286.000 + 1.144.000 + 18.635 = \boxed{1.448.635 \text{ ευρώ}}$$

Κόστος συντήρησης και λειτουργίας σηπτικής δεξαμενής + υγροβιότοπου ελεύθερης επιφάνειας + απολύμανσης

Για το έτος 2000 το κόστος λειτουργίας του παραπάνω συστήματος είναι 2181,82 δρχ/κάτοικο/έτος = 6,4 ευρώ/ κάτοικο/έτος [20].

Αρα για το έτος 2007 που έχουμε προσαύξηση 27 %, το κόστος λειτουργίας ανέρχεται σε 8,128 ευρώ/κάτοικο/έτος. Συνεπώς, για 14300 κατοίκους το ετήσιο κόστος λειτουργίας είναι:

**116.230 ευρώ/έτος**

Κόστος Γης

Θεωρείται τιμή γης 4500 €/στρέμμα. Η απαιτούμενη έκταση για το σενάριο αυτό υπολογίστηκε ίση με 840 m<sup>2</sup> για τη σηπτική δεξαμενή και 37044 m<sup>2</sup> για τον υγροβιότοπο ελεύθερης επιφάνειας, ενώ λαμβάνονται επιπλέον 1000 m<sup>2</sup> για τις υπόλοιπες υποδομές, όπως κτίριο διοίκησης, περιφερειακές οδοί κ.α. Η συνολική απαιτούμενη έκταση για το σενάριο αυτό, λοιπόν, υπολογίζεται περίπου στα 39 στρέμματα. Συνεπώς, το κόστος γης υπολογίζεται ίσο με:

**175.500 ευρώ**

#### 6.4 Κοστολόγηση Σεναρίου 3: Σηπτική Δεξαμενή και Βιολογικό Αμμόφιλτρο και Απολύμανση

##### Κόστος κατασκευής σηπτικής δεξαμενής

Το κόστος κατασκευής υπολογίστηκε στην παράγραφο 6.2 ίσο με **286.000 ευρώ για τη σηπτική δεξαμενή.**

##### Κόστος κατασκευής βιολογικού αμμόφιλτρου

Για το έτος 2000 το κόστος κατασκευής βιολογικού αμμόφιλτρου είναι 25.000 δρχ/PE = 73,37 ευρώ/PE [20].

Για το έτος 2007, με προσαύξηση 27 % υπολογίζεται το κατασκευαστικό κόστος του βιολογικού αμμόφιλτρου σε 93,18 ευρώ/PE. Συνεπώς, για 14300 κατοίκους το κατασκευαστικό κόστος είναι **1.332.474 ευρώ για το βιολογικό αμμόφιλτρο.**

##### Κόστος κατασκευής μονάδας απολύμανσης

Στην παράγραφο 6.2, για το έτος 2007, υπολογίστηκε το κατασκευαστικό κόστος της μονάδας απολύμανσης σε 18.635 ευρώ/τεμάχιο. Συνεπώς, για 1 τεμάχιο το κατασκευαστικό κόστος είναι **18.635 ευρώ για τη μονάδα απολύμανσης.**

##### Συνολικό κατασκευαστικό κόστος του συστήματος

$$286.000 + 1.332.474 + 18.635 = \boxed{1.637.109 \text{ ευρώ}}$$

*Κόστος συντήρησης και λειτουργίας σηπτικής δεξαμενής + βιολογικού αμμόφιλτρου + απολύμανσης*

Για το έτος 2000 το κόστος λειτουργίας του παραπάνω συστήματος είναι 2181,82 δρχ/κάτοικο/έτος = 6,4 ευρώ/ κάτοικο/έτος [20].

Αρα για το έτος 2007 που έχουμε προσαύξηση 27 %, το κόστος λειτουργίας ανέρχεται σε 8,128 ευρώ/κάτοικο/έτος. Συνεπώς, για 14300 κατοίκους το ετήσιο κόστος λειτουργίας είναι:

**116.230 ευρώ/έτος**

*Κόστος Γης*

Θεωρείται τιμή γης 4500 €/στρέμμα. Η απαιτούμενη έκταση για το σενάριο αυτό υπολογίστηκε ίση με 840 m<sup>2</sup> για τη σηπτική δεξαμενή και 22986 m<sup>2</sup> για βιολογικό αμμόφιλτρο, ενώ λαμβάνονται επιπλέον 1000 m<sup>2</sup> για τις υπόλοιπες υποδομές, όπως κτίριο διοίκησης, περιφερειακές οδοί κ.α. Η συνολική απαιτούμενη έκταση για το σενάριο αυτό, λοιπόν, υπολογίζεται περίπου στα 25 στρέμματα. Συνεπώς, το κόστος γης υπολογίζεται ίσο με:

**112.500 ευρώ**

### 6.5 Κοστολόγηση Σεναρίου 4: Λίμνες σταθεροποίησης (WSP)

#### Κόστος κατασκευής λιμνών σταθεροποίησης

Ως τιμή κόστους κατασκευής των λιμνών σταθεροποίησης που περιλαμβάνουν μια αναερόβια, μια επαμφοτερίζουσα και 2 λίμνες ωρίμανσης, λαμβάνονται τα 2/3 του κόστους ισοδύναμου συστήματος επεξεργασίας που περιλαμβάνει προεπεξεργασία, υγροβιότοπο υποεπιφανειακής ροής και απολύμανση, δηλαδή ισούται με τα 2/3 του συνολικού κατασκευαστικού κόστους του σεναρίου 1 [23]. Έτσι, για ένα ισοδύναμο το σύστημα λιμνών σταθεροποίησης με 2 λίμνες ωρίμανσης, είναι:  $2/3 \cdot 1.906.235 = 1.270.823$  ευρώ. Γίνεται παραδοχή πως η κάθε λίμνη ωρίμανσης απαιτεί για την κατασκευή της το 5 % του συνολικού κόστους, δηλαδή  $5 \% \cdot 1.270.823 = 63.541$  ευρώ. Κατά προσέγγιση λοιπόν, στην παρούσα περίπτωση ύπαρξης 5 λιμνών ωρίμανσης (3 επιπλέον δηλαδή), υπολογίζεται το κόστος σε  $1.270.823 + 3 \cdot 63.541 = 1.461.446$  ευρώ.

#### Συνολικό κατασκευαστικό κόστος του συστήματος

**1.461.446 ευρώ**

Για την περίπτωση των 8 λιμνών ωρίμανσης υπολογίζεται κατά προσέγγιση στα **1.652.069 ευρώ**.

#### Κόστος συντήρησης και λειτουργίας λιμνών σταθεροποίησης

Ως τιμή κόστους συντήρησης και λειτουργίας των λιμνών σταθεροποίησης λαμβάνονται τα 2/3 του κόστους ισοδύναμου συστήματος επεξεργασίας που περιλαμβάνει προεπεξεργασία, υγροβιότοπο υποεπιφανειακής ροής και απολύμανση, δηλαδή ισούται με τα 2/3 του κόστους συντήρησης και λειτουργίας του σεναρίου 1 [23]. Έτσι, για το σύστημα λιμνών σταθεροποίησης είναι:  $2/3 \cdot 8,128$  ευρώ/κάτοικο/έτος =

5,419 ευρώ/κάτοικο/έτος . Συνεπώς, για 14300 κατοίκους το ετήσιο κόστος συντήρησης και λειτουργίας είναι:

**77.492 ευρώ/έτος**

### *Κόστος Γης*

Θεωρείται τιμή γης 4500 €/στρέμμα. Η απαιτούμενη έκταση για το σενάριο αυτό υπολογίστηκε ίση με 73040 m<sup>2</sup> για τις λίμνες, ενώ λαμβάνονται επιπλέον 1000 m<sup>2</sup> για τις υπόλοιπες υποδομές, όπως κτίριο διοίκησης, περιφερειακές οδοί κ.α. Η συνολική απαιτούμενη έκταση για το σενάριο αυτό, λοιπόν, υπολογίζεται περίπου στα 74 στρέμματα. Συνεπώς, το κόστος γης υπολογίζεται ίσο με:

**333.000 ευρώ**

Στην περίπτωση της κατασκευής των 8 λιμνών ωρίμανσης, το εμβαδόν υπολογίζεται στα 81201 m<sup>2</sup> + 1000 m<sup>2</sup> = 82202 m<sup>2</sup>, δηλαδή στα 82 περίπου στρέμματα, οπότε το κόστος γης προκύπτει ίσο με **369.000 ευρώ**.

## 6.6 Συγκεντρωτικά κατασκευαστικά κόστη και κόστη συντήρησης και λειτουργίας των σεναρίων

**ΠΙΝΑΚΑΣ 6-3**  
Συγκριτικές κοστολογήσεις των σεναρίων

Σύστημα επεξεργασίας	Κατασκευαστικό κόστος (€)	Κόστος λειτουργίας και συντήρησης (€/έτος)	Κόστος Γης (€)	Αρχικό κόστος (Κατασκευαστικό + Κόστος Γης) (€)	Συνολικό κόστος (€)
Σενάριο 1: Σηπτική δεξαμενή + Υγροβιότοπος υποεπιφανειακής ροής + Απολύμανση	1.906.235	116.230	184.500	2.090.735	6.739.435
Σενάριο 2: Σηπτική δεξαμενή + Υγροβιότοπος ελεύθερης επιφάνειας + Απολύμανση	1.448.635	116.230	175.500	1.624.135	6.273.335
Σενάριο 3: Σηπτική δεξαμενή + Βιολογικό αμμόφιλτρο + Απολύμανση	1.637.109	116.230	112.500	1.749.609	6.398.809
Σενάριο 4i: Λίμνες σταθεροποίησης με 5 λίμνες ωρίμανσης	1.461.446	77.492	333.000	1.794.446	4.894.126
Σενάριο 4ii: Λίμνες σταθεροποίησης με 8 λίμνες ωρίμανσης	1.652.069	77.492	369.000	2.021.069	5.120.749

Πρέπει να τονιστεί στο σημείο αυτό, πως τα παραπάνω κοστολογικά στοιχεία προέρχονται από συγκεκριμένη βιβλιογραφική πηγή, είναι καθαρά ενδεικτικά και σε καμία περίπτωση δε μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή ασφαλέστατων συμπερασμάτων. Αυτό ισχύει για την κοστολόγηση όλων των εναλλακτικών λύσεων που παρουσιάζονται και εξετάζονται στην παρούσα εργασία.



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup>

ΔΙΑΘΕΣΗ - ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ  
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ

### **7.1 Διάθεση επεξεργασμένων λυμάτων σε υδάτινους αποδέκτες και στο έδαφος**

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται οι απαιτήσεις διάθεσης των επεξεργασμένων λυμάτων σε υδάτινους αποδέκτες και στο έδαφος.

Στον πίνακα 7-1 δίδονται ο απαιτούμενος βαθμός επεξεργασίας των λυμάτων και η απαιτούμενη ποιότητα εκροής, ανάλογα με τον υδάτινο αποδέκτη στον οποίο επιθυμείται η διάθεση των επεξεργασμένων λυμάτων.

Στον πίνακα 7-2 δίδονται οι προϋποθέσεις και η απαιτούμενη επεξεργασία για διάθεση των επεξεργασμένων λυμάτων στο έδαφος.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 7-1**  
**Απαιτούμενος βαθμός επεξεργασίας και απαιτούμενη ποιότητα εκροής, ανάλογα με τον υδάτινο αποδέκτη [20]**

Α/Α	ΑΠΟΔΕΚΤΗΣ	ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ	ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΚΡΟΣΗΣ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
1	Απόρριψη σε ΕΥΑΙΣΘΗΤΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ	>10.000 Ι.Κ.	ΑΥΣΤΗΡΟΤΕΡΗ ΤΗΣ ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΑΣ	ΠΙΝΑΚΑΣ Ι.: BOD <sub>5</sub> 25mg/l O <sub>2</sub> , COD 125 mg/l O <sub>2</sub> , TSS 35mg/l ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΙ.: P 2mg/l, N 15mg/l.	Εναλλακτικά αν σε μια ευαίσθητη περιοχή αποδεχθεί ότι το συνολικό ποσοστό μείωσης N, P από όλους τους σταθμούς είναι τουλάχιστον 75%, δεν υποχρεούται ένας βιολογικός μεμονωμένος να πληροί τους πινάκες. Η διάθεση, και στις λεκάνες, υδροσυλλογής ευαίσθητων περιοχών απαιτούν την ίδια επεξεργασία.
2	Απόρριψη σε ΛΙΓΟΤΕΡΟ ΕΥΑΙΣΘΗΤΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ				
	α) σε παράκτια νερά	10.000-15.000	ΛΙΓΟΤΕΡΟ ΑΥΣΤΗΡΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ (Τουλάχιστο Πρωτοβάθμια)	Μείωση: BOD <sub>5</sub> min 20% TSS min 50%	Απαιτείται μελέτη που τεκμηριώνει ότι δεν υπάρχουν αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον.
	β) σε νερά εκβολών ποταμών	2.000-10.000			
3	Απόρριψη σε ΥΔΑΤΙΝΟΥΣ ΑΠΟΔΕΚΤΕΣ				
	α) όλες οι απορρίψεις	>15.000	ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΑ ή ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ	Μη ευαίσθητη περιοχή ΠΙΝΑΚΑΣ Ι.: BOD <sub>5</sub> 25mg/l O <sub>2</sub> , COD 125 mg/l O <sub>2</sub> , TSS 35mg/l Ευαίσθητη περιοχή. Ως άνω ΠΙΝΑΚΑΣ Ι, πλέον ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΙ.: P 2mg/l, N 15mg/l.	Εάν έχει ο υδάτινος αποδέκτης αυστηρότερες οδηγίες πρέπει να τηρούνται.  Μελέτη που αποδεικνύει ότι διασφαλίζεται το περιβάλλον.
	β) Απόρριψεις σε γλυκά νερά και εκβολές ποταμών	2.000-10.000	ΛΙΓΟΤΕΡΟ ΑΥΣΤΗΡΗ ΤΗΣ ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΑΣ		
	γ) Απόρριψεις σε νερά υψόμετρου >1500 m	οτιδήποτε			
	δ) Σε παράκτια νερά	<10.000 Ι.Κ.	ΚΑΤΑΛΗΛΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ με μέθοδο και σύστημα διάθεσης που διασφαλίζει την ποιότητα και χρήση του αποδέκτη.	Αναλόγως απαιτήσεων αποδέκτη.	Διασφάλιση ποιότητας & χρήσης του αποδέκτη από παρούσα απόφαση και άλλες διατάξεις.
	ε) Σε γλυκά νερά και εκβολές ποταμών	<2.000 Ι.Κ.			

## ΠΙΝΑΚΑΣ 7-2

Προϋποθέσεις και απαιτούμενη επεξεργασία για διάθεση των επεξεργασμένων λυμάτων στο έδαφος [20]

ΑΠΟΔΕΚΤΗΣ	ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ	ΑΠΑΙΤ.ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ	ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ	ΑΠ. ΚΑΘΑΡΟΤΗΤΑ
ΞΗΡΑ ΡΕΜΑΤΑ	Εξασφάλιση κανονικής ροής άνευ δημιουργίας στασίμων υδάτων.	Πλήρης Βιολογικός καθαρισμός & απολύμανση, εφόσον απαιτείται	Υγ. Δξίς - Ε1β/3161/61 ΦΕΚ.444/Β/18-12-61	BOD <20 μ.α.ε. εφόσον απαιτείται
	Ανάληψη υποχρέωσης συντήρησης του ρέματος.	Ως θα καθορίζουν οι Ειδικοί Όροι της Απόφασης Νομάρχη	Απόφ. - Ε1β/221//65 Υπουργών Εσωτ.+Υγείας (Υγειον. Δ/ξίς)	Ως θα καθορίζουν οι Ειδικοί Όροι της Απόφασης Νομάρχη
	Εάν επιτρέπεται από απόφαση Νομάρχη (σ' αυτήν αναφέρεται η χρήση του αποδέκτη, Ειδικοί όροι διάθεσης κ.λ.π.)			
α) ΕΔΑΦΟΣ - ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΔΙΑΘΕΣΗ	Δεν θα ευρίσκονται εις σηπτική κατάσταση (πιθανή απαίτηση αερισμού ή χλωρίωσης)	Εσχαρισμός (ανοίγματος) 2.5 cm	Απόφ. - Ε1β/221//65	Αρκεί ο εσχαρισμός
	Επαρκής έκταση			
	Ομαλές κλίσεις			
	Αποφυγή Υπερφόρτισης εδάφους			
	Αποφυγή στασίμων νερών και αντάπτιξη σηπτικών καταστάσεων			
	Όχι σε πλημμυρικές περιοχές			
	30μ. από φρέατα, πηγές			
	15 μ. από σωλήνες υδραγ.			
	Ικανή απόσταση από κατοικημ. περιοχή, υδροληψία, οπωρώνες			
	Μέτρα απαγόρευσης εισόδου αναρροδίων προσώπων, ζώων			
β) ΕΔΑΦΟΣ - ΑΡΔΕΥΣΗ ΦΥΤΕΙΩΝ	ΟΛΕΣ ΟΙ ΠΡΫΠΟΘΕΣΕΙΣ της ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΔΙΑΘΕΣΗΣ (2α) και επιπλέον :	Εσχαρισμός 2.5 cm (ως άνω) και Καθίζηση 2 ωρών	Αποφ. - Ε1β/221/65	Αρκεί ο εσχαρισμός και η καθίζηση
	Όχι σε λαχανικά εσθιόμενα άνευ βρασμού			
	Η άρδευση θα διακόπτεται 2 εβδομάδες πριν τη συγκομιδή ή βοσκή γαλακτοφόρων ζώων			
	Δεν θα είναι μολυσμένα με σπορία άνθρακα			
	Θα προβλέπεται άλλος τρόπος υγιεινής διάθεσης όταν δεν χρησιμοποιούνται για άρδευση			
	*ΑΝ ΔΕΝ ΕΞΑΣΦΑΛΙΖΟΝΤΑΙ ΌΛΑ ΤΑ ΑΝΩΤΕΡΩ ΔΕΝ ΔΙΑΔΕ-ΤΑΙ ΕΓΚΡΙΣΗ			
γ) ΕΔΑΦΟΣ - ΥΠΕΔΑΦΙΑ ΔΙΑΘΕΣΗ	Επαρκής απορροφητική ικανότης εδάφους	Καθίζηση 2 ωρών	Απόφ.- Ε1β/221/65	Αρκεί η καθίζηση 2 ωρών
	Όχι επιφανειακή υπερχείλιση λυμάτων			
	Απόσταση ασφαλείας για αποφυγή κινδύνου αλλοιώσεως υδάτων			
	30 μ. από πηγές και φρέατα, ακτές κολύμβησης			
	15 μ. από σωλήνες υδραγ.			
	3 μ. από θεμέλια κτιρίων και οριογραμμές			

## **7.2 Επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων λυμάτων**

### **7.2.1 Γενικά**

Καθώς οι περιβαλλοντικές πιέσεις αυξάνονται και πολλές κοινότητες σε όλο τον κόσμο προσεγγίζουν ή φθάνουν τα όρια των διαθέσιμων αποθεμάτων νερού τους, η επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων εμφανίζεται ως μια ελκυστική επιλογή για τη διατήρηση των διαθέσιμων υδατικών πόρων.

Σήμερα, οι προχωρημένες τεχνικές επεξεργασίας λυμάτων, παρέχουν τη δυνατότητα παραγωγής νερού σχεδόν οποιασδήποτε επιθυμητής ποιότητας. Το σκεπτικό της επαναχρησιμοποίησης κατάλληλα επεξεργασμένων αστικών ή βιομηχανικών λυμάτων παρουσιάζει εγγενή οφέλη που σχετίζονται με την εξοικονόμηση υδατικών πόρων, την προστασία του περιβάλλοντος και οικονομικά οφέλη. Ωστόσο η επαναχρησιμοποίηση λυμάτων απαιτεί έναν ολοκληρωμένο και ορθολογικό σχεδιασμό, που λαμβάνει υπόψιν του ενδεχόμενους κινδύνους και περιορισμούς.

### **7.2.2 Εναλλακτικές δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης λυμάτων**

Κατά τον σχεδιασμό και εφαρμογή προγραμμάτων επαναχρησιμοποίησης λυμάτων, οι τύποι επαναχρησιμοποίησης καθορίζουν την απαιτούμενη επεξεργασία των λυμάτων καθώς και το βαθμό της αξιοπιστίας των μεθόδων επεξεργασίας. Οι τύποι επαναχρησιμοποίησης μπορούν να διακριθούν σε δύο κύριες κατηγορίες:

#### **A) Μη-πόσιμη επαναχρησιμοποίηση**

- Άρδευση αγροτικών περιοχών.
- Εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων, που δε χρησιμοποιούνται για ύδρευση.
- Επαναχρησιμοποίηση στη βιομηχανία.
- Αποκατάσταση του φυσικού περιβάλλοντος και δημιουργία χώρων αναψυχής
- Αστική επαναχρησιμοποίηση



## B) Πόσιμη επαναχρησιμοποίηση

- Άμεση
- Έμμεση

Μεταξύ των χρήσεων που καταλαμβάνουν το σημαντικότερο ποσοστό επαναχρησιμοποίησης είναι η άρδευση καλλιεργειών και χώρων πρασίνου.

Στη συνέχεια γίνεται μια σύντομη παρουσίαση των κυριότερων χαρακτηριστικών των παραπάνω εφαρμογών.

### Άρδευση αγροτικών περιοχών

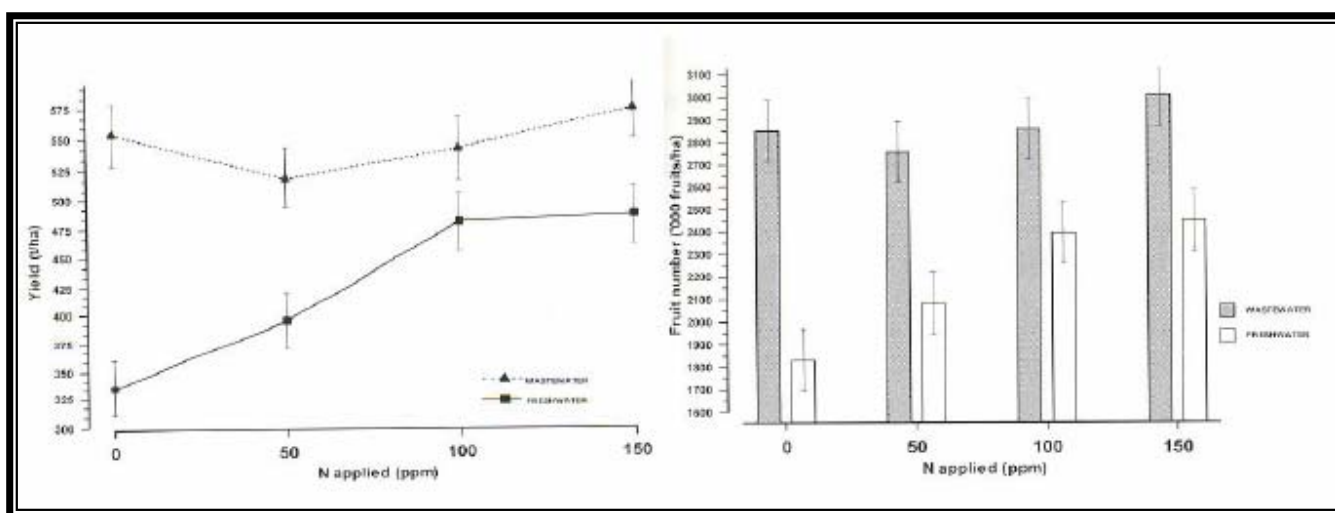
Η άρδευση αποτελεί την πιο μαζική χρήση νερού, ιδιαίτερα σε ξηρές περιοχές. Στις ΗΠΑ η άρδευση αντιπροσωπεύει το 34% - 40% της συνολικής χρήσης νερού, ενώ στις πολιτείες Καλιφόρνια και Αριζόνα το 80 με 85%. Στο Ισραήλ αποτελεί το 73,1% και στην Ελλάδα το 83,7%. Ακόμα και σε υγρές περιοχές η άρδευση εφαρμόζεται συμπληρωματικά των βροχοπτώσεων. Παγκοσμίως η αγροτική άρδευση αποτελεί το 70% της συνολικής χρήσης νερού και υπερβαίνει κάθε άλλη χρήση κατά τουλάχιστον 1000%.

Όταν οι υδατικοί πόροι μιας περιοχής δεν επαρκούν για την ικανοποίηση της ζήτησης (αστικής και αγροτικής), τότε επιλέγεται το διαθέσιμο νερό να χρησιμοποιηθεί δύο φορές: αρχικά για αστική χρήση και εν συνεχεία να επαναχρησιμοποιηθεί για άρδευση, αφού πρώτα υποστεί κάποια επεξεργασία.

Σήμερα λειτουργούν αρκετά συστήματα επαναχρησιμοποίησης που παρέχουν ανακτημένο νερό για αγροτική άρδευση. Στις ΗΠΑ μόνο υπάρχουν 3000 τέτοιες περιπτώσεις. Στις αναπτυσσόμενες χώρες η εφαρμογή λυμάτων στο έδαφος αποτελούσε πάντα και συνεχίζει να αποτελεί τον κύριο τρόπο διάθεσης των αστικών λυμάτων και ικανοποίησης των αρδευτικών αναγκών. π.χ. στην Κίνα  $1.33 \times 10^6$  εκτάρια αγροτικής γης

αρδεύονται με ανεπεξέργαστα ή μερικώς επεξεργασμένα αστικά λύματα, ενώ στο Μεξικό πάνω από 70000 εκτάρια αρδεύονται με απόβλητα [26].

Πειραματική μελέτη καλλιέργειας μελιτζάνας στην Κύπρο έδειξε πως τα φυτά που αρδεύτηκαν με επεξεργασμένα απόβλητα, εμπλουτισμένα σε άζωτο, παρουσίασαν αυξημένη παραγωγικότητα σε σχέση με τα φυτά που αρδεύτηκαν με νερό εμπλουτισμένο με την ίδια ποσότητα αζώτου (Papadopoulos and Savvides 2002) [27].



**ΕΙΚΟΝΑ 7-1**

**Παραγωγή μελιτζάνας (αριστερά σε τη/ha, δεξιά σε χιλιάδες καρπούς ανά ha) σε συνάρτηση με την προσθήκη αζώτου. Σε κάθε περίπτωση παρατηρείται αυξημένη παραγωγικότητα όταν το νερό αντικαθιστάται από επεξεργασμένα λύματα [27]**

Στην Ελλάδα, η επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων για άρδευση βρίσκεται σε ερευνητικό επίπεδο με πιλοτικά έργα να λειτουργούν ή να βρίσκονται σε φάση κατασκευής. Από τις πλέον συστηματικές εργασίες επαναχρησιμοποίησης είναι αυτές του ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε. στην περιοχή Θεσσαλονίκης, οι οποίες αφορούν άρδευση ζαχαροτεύτλων, βάμβακος, ρυζιού καθώς και ντομάτας και ζέρμπερας σε θερμοκήπιο, με ιδιαίτερα θετικά αποτελέσματα (ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε., 1998; Ντάνος κ.ά, 2001).

Παραδείγματα από πειραματικά έργα επαναχρησιμοποίησης του ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε. στην περιοχή Θεσσαλονίκης δίδονται στις εικόνες που ακολουθούν.



**ΕΙΚΟΝΑ 7-2**

**Άρδευση ζαχαρότευτλων με επεξεργασμένα απόβλητα  
στη περιοχή Γαλλικού Θεσσαλονίκης [28]**



**ΕΙΚΟΝΑ 7-3**

**Ζέρμπερες αρδευόμενες με επεξεργασμένα αστικά  
απόβλητα σε θερμοκήπιο [28]**

Μεταξύ των περιοχών που παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για εφαρμογή της μεθόδου αυτής είναι η νότια περιοχή της πεδιάδας Θεσσαλονίκης. Στην περιοχή αυτή λειτουργεί η Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων Θεσσαλονίκης (Ε.Ε.Λ.Θ.) η οποία επεξεργάζεται από τα τέλη του έτους 2000, 160.000 m<sup>3</sup> υγρά απόβλητα/ημέρα, που αποτελούν το 95% περίπου των σημερινών διαθέσιμων ποσοτήτων του πολεοδομικού



συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης. Η συνολική δυναμικότητα της Ε.Ε.Λ.Θ. ανέρχεται στα 300.000 m<sup>3</sup>/ημέρα, έτσι ώστε να είναι ικανή να εξυπηρετήσει τις μελλοντικές αυξημένες ανάγκες της πόλης.

Σήμερα, τα επεξεργασμένα αστικά απόβλητα της Θεσσαλονίκης καταλήγουν μέσω του υποθαλάσσιου αγωγού, στο Θερμαϊκό κόλπο.

Η τοποθεσία όπου είναι εγκατεστημένη η Ε.Ε.Λ.Θ. είναι ιδιαίτερα πλεονεκτική για μελλοντική ολική επαναχρησιμοποίηση των εκροών, καθώς βρίσκεται στην αριστερή όχθη του Γαλλικού ποταμού, ενώ το υφιστάμενο αρδευτικό δίκτυο της πεδιάδας Θεσσαλονίκης φτάνει μέχρι την απέναντι όχθη του ποταμού. Στην περιοχή επίσης από την έξοδο της Ε.Ε.Λ.Θ. μέχρι τον Αξιό ποταμό, υφίσταται υπόγειος αγωγός (δίδυμος Φ1100) μήκους 12.300 m., ο οποίος από την κατασκευή του (στα τέλη της δεκαετίας του 1980) δε λειτούργησε ποτέ για λόγους που σχετίζονταν με την περιβαλλοντική προστασία των εκβολών του Αξιού ποταμού. Ο αγωγός διασχίζει το αρδευτικό δίκτυο της Χαλάστρας, το οποίο εκτείνεται από την Εθνική οδό Αθηνών-Θεσσαλονίκης μέχρι τη θάλασσα, και από το ανατολικό ανάχωμα του Αξιού ποταμού μέχρι την κεντρική αποχετευτική τάφρο της Σίνδου και καλύπτει έκταση 70.000 στρ. Η επαναχρησιμοποίηση 200.000 m<sup>3</sup> νερού την ημέρα, όση είναι και η αναμενόμενη ποσότητα που θα επεξεργάζεται στο άμεσο μέλλον η Ε.Ε.Λ.Θ., θα μπορούσε να αρδεύσει μια έκταση 33.000 στρεμμάτων της πεδιάδας Θεσσαλονίκης.

Κύρια καλλιέργεια της περιοχής αυτής είναι το ρύζι και ακολουθεί το βαμβάκι, καλλιέργειες για τις οποίες οι απαιτήσεις ποιότητας σε μικροβιακούς δείκτες για άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα είναι χαμηλές.

Πολλές άλλες περιοχές της χώρας (π.χ. Ηράκλειο, Κατερίνη, Κιάτο, Λάρισα κλπ.) έχουν όλες τις προϋποθέσεις επαναχρησιμοποίησης των εκροών τους με μικρό σχετικά κόστος, ενώ εν δυνάμει το μεγαλύτερο ποσοστό των εκροών από τις Μ.Β.Κ. μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί (Parissopoulos et al., 1995) [28].

Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων, που δε χρησιμοποιούνται για ύδρευση

Ο τεχνητός εμπλουτισμός υπογείων υδροφορέων με επεξεργασμένα αστικά υγρά απόβλητα, μπορεί να έχει ως στόχο τη δημιουργία υδραυλικού φράγματος που θα παρεμποδίζει τη διείσδυση και ανάμιξη του θαλάσσιου νερού με το γλυκό νερό παράκτιων υδροφορέων, την αποθήκευση επεξεργασμένων αστικών αποβλήτων για μελλοντική χρήση ή για εξισορρόπηση των διακυμάνσεων της ζήτησης π.χ. για άρδευση που είναι συνήθως εποχιακή, την ανύψωση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα που μπορεί να φθίνει λόγω υπερεκμετάλλευσής του και επειδή η φυσική ανανέωση συμβαίνει με πολύ αργό ρυθμό, τον έλεγχο πιθανών καθιζήσεων του εδάφους, καθώς και την περαιτέρω επεξεργασία των αστικών αποβλήτων ώστε να είναι δυνατή η μελλοντική χρησιμοποίησή τους.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της αποθήκευσης των αποβλήτων σε υπόγειους υδροφορείς είναι το μικρότερο κόστος από το αντίστοιχο κόστος επιφανειακών ταμιευτήρων, ενώ αποφεύγονται διάφορες δυσάρεστες συνέπειες των επιφανειακών εγκαταστάσεων όπως η εξάτμιση, η ρύπανση και ο ευτροφισμός, οι οποίες υποβαθμίζουν την ποιότητα του νερού με τη δημιουργία δυσάρεστων οσμών και γεύσεων και την παραγωγή τοξικών ουσιών. Παράλληλα, η επεξεργασία που επιτυγχάνεται στο έδαφος μέσω της διήθησης και κατείδυσης δια μέσω του εδαφικού υλικού, μπορεί να μειώσει το κόστος της τριτοβάθμιας επεξεργασίας των αποβλήτων, ανάλογα με τη μέθοδο επαναπλήρωσης, τις υδρογεωλογικές συνθήκες, τις ποιοτικές απαιτήσεις της επόμενης χρήσης κ.α.

Μειονεκτήματα που πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν, σχετίζονται με το υψηλό κόστος κατασκευής και λειτουργίας των απαιτούμενων γεωτρήσεων, με το υψηλό κόστος της απαιτούμενης προχωρημένης επεξεργασίας που συχνά μπορεί να είναι απαγορευτικό, με την πιθανή αύξηση του κινδύνου ρύπανσης του υπόγειου υδροφορέα, η μετέπειτα εξυγίανση του οποίου είναι μια δύσκολη, δαπανηρή και χρονοβόρα διαδικασία, καθώς και με τη συχνή δυσκολία διασφάλιση της μη χρήσης του υδροφορέα για σκοπούς

ύδρευσης. Στα παραπάνω προστίθεται η ανεπάρκεια θεσμικών ρυθμίσεων και νόμων που αφορούν τον εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων με αστικά υγρά απόβλητα [26].

Εφαρμογές εντοπίζονται στο Orange country της Καλιφόρνιας, στις Η.Π.Α., όπου χρησιμοποιούνται απόβλητα επεξεργασμένα σε ποιότητα πόσιμου ύδατος για τη φόρτιση του υπόγειου υδροφορέα που χρησιμοποιείται για ύδρευση, με σκοπό την παρεμπόδιση εισβολής θαλασσίου ύδατος. Μετά από δεκαπενταετείς έρευνες διαπιστώθηκε ότι η ποιότητα του υπογείου ύδατος διατηρήθηκε σταθερή, και σχεδιάζεται η επέκταση της παροχής φόρτισης από 57.000 m<sup>3</sup>/d που είναι σήμερα σε περίπου 200.000 m<sup>3</sup>/d. Παράλληλα, στο El Paso, στο Τέξας των Η.Π.Α., επεξεργασμένα λύματα χρησιμοποιούνται από το 1985 για τον εμπλουτισμό του υδροφορέα στο Hueco Bolson, που χρησιμοποιείται για την ύδρευση της πόλης, με ρυθμό εμπλουτισμού 38.000 m<sup>3</sup>/d. Ο μέσος χρόνος κατακράτησης του ύδατος στον υδροφορέα είναι δύο έτη, και μέχρι στιγμής δεν έχουν διαγνωστεί αρνητικά αποτελέσματα στην υγεία του πληθυσμού που καταναλώνει το νερό [27].

#### Επαναχρησιμοποίηση στη βιομηχανία

Η βιομηχανία προβλέπεται να αποτελέσει μελλοντικά σημαντικό χρήστη των ανακτημένων αστικών λυμάτων. Τα αστικά λύματα είναι κατάλληλα για πολλές βιομηχανίες που χρησιμοποιούν νερό, το οποίο δε χρειάζεται να έχει την ποιότητα του πόσιμου.

Οι κύριες βιομηχανικές χρήσεις των αστικών λυμάτων είναι:

- 1) το νερό ψύξης,
- 2) το νερό τροφοδοσίας λεβήτων,
- 3) το νερό κατεργασίας ή βιομηχανικό νερό.

Η κυρίαρχη όμως χρήση που παρουσιάζει τη μεγαλύτερη ζήτηση είναι το νερό ψύξης [26].

Το σύνολο σχεδόν των υγρών αποβλήτων της πόλης Phoenix, στο New Mexico των Η.Π.Α., που ανέρχεται σε περίπου  $250.000 \text{ m}^3/\text{d}$  χρησιμοποιείται ως νερό ψύξης από τον πυρηνικό σταθμό ηλεκτροπαραγωγής του Palo Verde, που βρίσκεται 55 km δυτικά της πόλης. Στη Σιγκαπούρη έχει κατασκευαστεί μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων δυναμικότητας  $72.000 \text{ m}^3/\text{d}$  για την παραγωγή ύδατος υψηλής ποιότητας, το οποίο χρησιμοποιείται από βιομηχανίες παραγωγής ημιαγωγών και άλλων προϊόντων υψηλής τεχνολογίας. Η κατασκευή της μονάδας αυτής ακολούθησε τα επιτυχή αποτελέσματα μιας αρχικής πειραματικής μονάδας δυναμικότητας  $10.000 \text{ m}^3/\text{d}$ . Παράλληλα, στο Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Ψυττάλειας, όπου βρίσκεται εγκατεστημένη η μονάδα επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων του λεκανοπεδίου Αθηνών, ανακυκλώνονται περίπου  $30.000 \text{ m}^3/\text{d}$  αποβλήτων, αφού επεξεργαστούν σε αυτόματους ηθμούς. Τα  $2/3$  του ανακυκλωμένου ύδατος χρησιμοποιείται ως ύδωρ ψύξης των συμπιεστών αέρα και ως ύδωρ παρασκευής διαλυμάτων πολυηλεκτρολυτών, ενώ το υπολειπόμενο  $1/3$  απολυμαίνεται με εφαρμογή ακτινοβολίας UV και χρησιμοποιείται για άρδευση του πρασίνου, καθώς και ως ύδωρ πλύσης διαφόρων εξαρτημάτων [27].

#### Αποκατάσταση του φυσικού περιβάλλοντος και δημιουργία χώρων αναψυχής

Η χρήση ανακτημένων λυμάτων για αποκατάσταση του φυσικού περιβάλλοντος και δημιουργία χώρων αναψυχής περιλαμβάνει:

- 1) τη δημιουργία τεχνητών υδροβιότοπων ή τη διατήρηση φυσικών,
- 2) τη δημιουργία χώρων αναψυχής,
- 3) την αύξηση της παροχής επιφανειακών ρευμάτων,
- 4) διάφορες άλλες χρήσεις.

Σκοπός είναι η δημιουργία ενός περιβάλλοντος στο οποίο θα μπορεί να αναπτυχθεί η ζωή στο φυσικό περιβάλλον και η ανάπτυξη μιας περιοχής με αυξημένη αισθητική αξία [26].

### Αστική επαναχρησιμοποίηση

Τα συστήματα αστικής επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων παρέχουν ανακτημένο νερό για οποιαδήποτε χρήση εκτός της πόσης σε αστικές περιοχές.

Αν και οι ποσότητες ανακτημένων υγρών αποβλήτων που χρησιμοποιούνται σήμερα για αστική χρήση παγκοσμίως είναι πολύ περιορισμένες και προβλέπεται ότι θα παραμείνουν σε χαμηλά επίπεδα και στο προσεχές μέλλον, οι τεχνολογικές επιτεύξεις στον τομέα αυτό έχουν μεγάλο επιστημονικό και κοινωνικό ενδιαφέρον.

Μερικές μικρές κοινότητες λόγω της δυσκολίας ανάπτυξης άλλων διαθέσιμων υδατικών πόρων αναπτύσσουν και υλοποιούν μελέτες για τέτοια συστήματα. Μερικές από τις αστικές χρήσεις είναι το πότισμα δημόσιων πάρκων και κέντρων αναψυχής, αθλητικών γηπέδων, σχολικών αυλών, γηπέδων παιχνιδιού, νησίδων και κρασπέδων αυτοκινητοδρόμων, νεκροταφείων και κήπων που περιβάλουν δημόσια κτίρια και εγκαταστάσεις, κήπων μονοκατοικιών και πολυκατοικιών, γενικό πλύσιμο και άλλες εργασίες συντήρησης, εμπορικές χρήσεις, όπως οι εγκαταστάσεις πλυσίματος οχημάτων, το πλύσιμο παραθύρων, το νερό ανάμιξης για ζιζανιοκτόνα, εντομοκτόνα και υγρά λιπάσματα, η πυροπροστασία κλπ.

Κατά το σχεδιασμό των συστημάτων επαναχρησιμοποίησης ανακτημένων υγρών αποβλήτων για αστική χρήση, οι σημαντικότεροι παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη είναι η αξιοπιστία εξυπηρέτησης και η προστασία της δημόσιας υγείας [26].

Εφαρμογές εντοπίζονται στην πόλη St. Petersburg της Florida των Η.Π.Α., όπου διανέμονται περίπου 80.000m<sup>3</sup>/d ανακυκλωμένου νερού σε περισσότερους από 10.000 καταναλωτές, για πότισμα των κήπων και για βιομηχανική χρήση (RWCC 1993). Το Irvine ranch, στην Καλιφόρνια των Η.Π.Α., ένα προάστιο ουσιαστικά του Los Angeles, το οποίο μέχρι πριν από λίγα χρόνια αποτελούσε μια υποβαθμισμένη ελώδη περιοχή, είναι σήμερα μια σύγχρονη πόλη της οποίας τα 2.000 ha κήπων στις αυλές των σπιτιών και τα 700 ha αγροτικών καλλιεργειών αρδεύονται από ανακυκλωμένα λύματα. Τα

ανακυκλωμένα λύματα χρησιμοποιούνται, επίσης, στη λειτουργία πλυντηρίων αυτοκινήτων, στην έκπλυση των τουαλετών στις οικίες, και στην πλήρωση λιμνών αναψυχής. Συνολικά διατίθενται περίπου  $15 \text{ Mm}^3/\text{yr}$  σε 1750 καταναλωτές. Στο χώρο όπου φιλοξενήθηκαν οι Ολυμπιακοί Αγώνες του 2000, στο Sydney της Αυστραλίας, περίπου  $7.000 \text{ m}^3/\text{d}$  ανακυκλωμένων λυμάτων χρησιμοποιούνται στις αθλητικές εγκαταστάσεις για την έκπλυση των τουαλετών και για άρδευση του πρασίνου. Η πλεονάζουσα ποσότητα των ανακυκλωμένων λυμάτων παροχετεύεται σε περίπου 2.000 παρακείμενες οικίες και χρησιμοποιείται για τους ίδιους σκοπούς (Cooney 2001) [27].

#### Επαναχρησιμοποίηση για σκοπούς ύδρευσης

Η εφαρμογή των έργων επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων για άμεση ή έμμεση (μέσω εμπλουτισμού υδροφορέων) ύδρευση είναι πολύ περιορισμένη και συμβαίνει μόνο σε κάποιες κοινότητες όπου δεν είναι δυνατή ή είναι ιδιαίτερα δύσκολη η αξιοποίηση άλλων διαθέσιμων υδατικών πόρων.

Γενικά υπήρξε και εξακολουθεί να υπάρχει ακόμα και σήμερα, σοβαρός προβληματισμός ως προς την άμεση ή έμμεση επαναχρησιμοποίηση λυμάτων για πόση. Ο κύριος προβληματισμός στα έργα επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων για υδρευτικούς σκοπούς, αφορά πιθανές χρόνιες επιδράσεις στην υγεία από πιθανή αντίδραση και ανάμειξη ανόργανων και οργανικών συστατικών που παραμένουν στην ανακτώμενη εκροή, ακόμα και υπό συνθήκες πολύ προχωρημένης επεξεργασίας.

Είναι ευρύτατα παραδεκτό ότι τα συνήθη ποιοτικά κριτήρια του πόσιμου νερού επαρκούν μόνο στην περίπτωση που η υδροληψία γίνεται από πηγές που δεν έχουν ακόμα υποστεί ρύπανση και όχι από ανακτημένα λύματα. Στην περίπτωση των λυμάτων οι απαιτήσεις είναι μεγαλύτερες και όχι καλά προσδιορισμένες. Έχει εκτιμηθεί ότι μόνο το 10% κατά βάρος των οργανικών ενώσεων του πόσιμου νερού έχουν αναγνωρισθεί, ενώ για λίγες από αυτές έχουν εξακριβωθεί οι επιδράσεις τους στην υγεία (National Research Council, 1980). Επίσης, σημαντική ασάφεια παρατηρείται στον προσδιορισμό

της επίδρασης στη δημόσια υγεία της συνεργιστικής δράσης διαφόρων συνθετικών ενώσεων που περιέχονται στα λύματα.

Οι έρευνες σχετικά με τις επιδράσεις στην υγεία κατά την επαναχρησιμοποίηση για πόση είναι εφαρμόσιμες μόνο για κάθε συγκεκριμένη περίπτωση, καθώς το μείγμα των ρύπων διαφέρει από πόλη σε πόλη. Ακόμα και για την ίδια πόλη είναι πιθανό τα επικίνδυνα συστατικά των λυμάτων να αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου. Αυτός ο περιορισμός επιδρά αρνητικά στην προσπάθεια ανάπτυξης πλήρων και συνολικών ποιοτικών κριτηρίων για επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων για πόση [26].

Εφαρμογές εντοπίζονται στην πρωτεύουσα της Ναμίμπια, Windhoek, που βρίσκεται μεταξύ των ερήμων Kalahari και Namib, ενώ ο ποταμός Okavango, ο κοντινότερος ποταμός συνεχούς ροής, διέρχεται σε απόσταση 750 km από την πόλη. Ως αποτέλεσμα της σοβαρής έλλειψης νερού κατασκευάστηκε το 1968 η πρώτη μονάδα παραγωγής πόσιμου ύδατος από υγρά απόβλητα δυναμικότητας 4.800 m<sup>3</sup>/d, η οποία στη συνέχεια επεκτάθηκε στα 21.000 m<sup>3</sup>/d, με εφαρμογή τεχνολογίας μεμβρανών αντίστροφης όσμωσης. Το παραγόμενο ανακυκλωμένο ύδωρ αναμειγνύεται με πόσιμο νερό από διάφορες άλλες πηγές, σε ποσοστό που δεν υπερβαίνει το 25% για οποιοδήποτε τομέα ύδρευσης της πόλης και για οποιαδήποτε εποχή, και χρησιμοποιείται για πόση από τους καταναλωτές (van der Merwe and Menge 1996) [27].

### **7.2.3 Ανασκόπηση διεθνούς θεσμικού πλαισίου για την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων**

Υγιεινολογικά προβλήματα από την επαναχρησιμοποίηση ακατέργαστων ή ανεπαρκώς επεξεργασμένων λυμάτων έχουν κατά καιρούς επισημανθεί και δεν είναι περίεργο ότι η έμφαση κατά τον καθορισμό κριτηρίων επαναχρησιμοποίησης λυμάτων δίδεται στην προστασία της δημόσιας υγείας, μέσω κατάλληλου ελέγχου των παθογόνων μικροοργανισμών.

Μία ορθολογική προσέγγιση του προβλήματος θέσπισης καταλλήλων μικροβιολογικών κριτηρίων είναι αυτή που βασίζεται σε συμπεράσματα επιδημιολογικών ερευνών.

Τέτοιες έρευνες δείχνουν ότι ο κίνδυνος μετάδοσης ασθενειών λόγω επαναχρησιμοποίησης λυμάτων είναι μικρός και αφορά μόνον τις περιπτώσεις ανεπεξέργαστων λυμάτων ή λυμάτων πολύ κακής ποιότητας. Με βάση επομένως τις επιδημιολογικές έρευνες, είναι δυνατό να συναχθεί το συμπέρασμα ότι η επαναχρησιμοποίηση επαρκώς επεξεργασμένων (π.χ. με βιολογική επεξεργασία και απολύμανση) λυμάτων για άρδευση δεν εγκυμονεί κινδύνους για τη δημόσια υγεία, δεδομένου ότι με την επεξεργασία των λυμάτων επιτυγχάνεται σημαντική μείωση των παθογόνων μικροοργανισμών.

Τα αποτελέσματα των επιδημιολογικών ερευνών έχουν αντιμετωπισθεί με μεγαλύτερο ή μικρότερο σκεπτικισμό σε όλες τις προσπάθειες που κατά καιρούς έχουν γίνει για τη διαμόρφωση ασφαλών κριτηρίων. Αυτό αιτιολογείται αν ληφθούν υπόψη οι εγγενείς ασάφειες που υπεισέρχονται σε τέτοιου είδους έρευνες, καθώς και ο στατιστικός τους χαρακτήρας, ο οποίος δεν αποκλείει την ύπαρξη θεωρητικών τουλάχιστον κινδύνων μετάδοσης ασθενειών.

Έτσι, σε όλες τις περιπτώσεις θέσπισης κριτηρίων, χωρίς να παραγνωρίζονται τα συμπεράσματα των επιδημιολογικών ερευνών, λαμβάνεται σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό πρόνοια για την αποτελεσματική αντιμετώπιση και των θεωρητικών κινδύνων.

Παρακάτω δίδονται περιληπτικά οι σημαντικότεροι κανονισμοί και οδηγίες που έχουν διαμορφωθεί διεθνώς, με στόχο τον καθορισμό των κριτηρίων επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων [26].

#### **7.2.3.1 Οδηγία του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας**

Το 1989, κατά τη διαδικασία διαμόρφωσης των ισχυουσών οδηγιών επαναχρησιμοποίησης λυμάτων, διερευνήθηκαν, από τον Π.Ο.Υ. με την υποστήριξη της Παγκόσμιας Τράπεζας και άλλων διεθνών οργανισμών, οι ακόλουθες τέσσερις κατηγορίες μέτρων για τη μείωση ή εξάλειψη των κινδύνων μετάδοσης ασθενειών κατά την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων για άρδευση:



- Επεξεργασία των λυμάτων.
- Περιορισμός των τύπων των αρδευόμενων καλλιεργειών.
- Επιλογή μεθόδου άρδευσης.
- Έλεγχος της ανθρώπινης έκθεσης στους παθογόνους μικροοργανισμούς των λυμάτων, του εδάφους ή των καλλιεργειών.

Τα αποτελέσματα της έρευνας μπορούν να συνοψισθούν ως εξής:

- i. Η άρδευση με ακατέργαστα λύματα και χωρίς λήψη προληπτικών μέτρων εγκυμονεί υψηλό κίνδυνο μετάδοσης ασθενειών.
- ii. Η εφαρμογή μερικής επεξεργασίας των λυμάτων ή η λήψη μέτρων για την αποφυγή ανθρώπινης επαφής με τους παθογόνους μικροοργανισμούς μειώνει τον κίνδυνο, ο οποίος όμως, αν και χαμηλός, εξακολουθεί να υφίσταται.
- iii. Αποτελεσματικό μέτρο, τουλάχιστον για τους καταναλωτές, αποτελεί η εφαρμογή της άρδευσης σε περιορισμένους τύπους καλλιεργειών και κυρίως σε καλλιέργειες που δεν παράγουν προϊόντα που τρώγονται ωμά (περιορισμένη άρδευση).
- iv. Αποτελεσματικό μέτρο είναι η επιλογή κατάλληλης μεθόδου εφαρμογής των λυμάτων και συγκεκριμένα η εφαρμογή τους στο υπέδαφος.
- v. Η πλήρης επεξεργασία των λυμάτων αποτελεί το αποτελεσματικότερο εργαλείο για την πρόληψη μετάδοσης ασθενειών, χωρίς στην περίπτωση αυτήν να είναι αναγκαίος ο περιορισμός των καλλιεργειών (απεριόριστη άρδευση).

Ιδιαίτερη σημασία δίδεται στην επιλογή του τύπου των αρδευόμενων καλλιεργειών και στον, βάσει αυτού, διαχωρισμό της άρδευσης σε δύο κατηγορίες:

- i. Την “περιορισμένη άρδευση” η οποία αφορά καλλιέργειες με προϊόντα που δεν τρώγονται ωμά. Βασική προϋπόθεση για την περιορισμένη άρδευση είναι η αποφυγή άμεσης επαφής των καρπών με τους παθογόνους μικροοργανισμούς, μέσω επιλογής καταλλήλου μεθόδου άρδευσης (επιφανειακή και όχι με καταιονισμό), και με αποφυγή συλλογής των καρπών από το έδαφος. Τέλος, ως πρόσθετο μέτρο ασφαλείας συνιστάται η διακοπή της άρδευσης δύο εβδομάδες πριν από τη συλλογή των καρπών.
- ii. Την “απεριόριστη άρδευση” η οποία μπορεί να εφαρμοσθεί σε κάθε τύπο καλλιέργειας αλλά και για πότισμα γηπέδων, πάρκων, κλπ. Στην περίπτωση της απεριορίστης άρδευσης συνιστάται η τήρηση συγκεκριμένων μικροβιολογικών κριτηρίων, τόσο ως προς τους εντερικούς νηματώδεις οργανισμούς ( $<1$  αυγό ανά λίτρο), όσο και ως προς τα περιττωματικά κολοβακτηρίδια FC ( $<1000$  FC/100 ml), με ακόμη αυστηρότερα κριτήρια ( $<200$  FC/100 ml) για ορισμένες περιπτώσεις, όπως το πότισμα γκαζόν. Σημειώνεται ότι τα κριτήρια αυτά είναι λιγότερο αυστηρά από προγενέστερα κριτήρια του Π.Ο.Υ. για απεριορίστη άρδευση που ήταν μέγιστη τιμή ίση με 100 FC/100ml.

Στην πρώτη περίπτωση ουσιαστικά δεν τίθενται μικροβιολογικά κριτήρια, συνιστάται όμως η εφαρμογή μερικής επεξεργασίας, η οποία μπορεί να αποτελείται από πρωτοβάθμια επεξεργασία ή από επεξεργασία σε λίμνες σταθεροποίησης με χρόνο παραμονής 8-10 ημέρες (Πίνακας 7-1) [26].

### ΠΙΝΑΚΑΣ 7-3

Προτεινόμενα μικροβιολογικά κριτήρια ποιότητας για χρησιμοποίηση λυμάτων στη γεωργία  
Π.Ο.Υ. (1989) [27]

Είδος άρδευσης	Εκτιθέμενη ομάδα	Εντερικοί νηματοειδείς (α) (β)	Περιττωματικά κολοβακτηρίδια (FC) ανά 100ml (β)	Επεξεργασία που αναμένεται να επιτύχει την απαιτούμενη μικροβιολογική ποιότητα
Άρδευση καλλιεργειών με προϊόντα που τρώγονται ωμά, άρδευση γηπέδων και δημοσίων πάρκων (γ) <b>Α' ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ</b>	Εργάτες Καταναλωτές Κοινό	<1	<1000	Σειρά λίμνων οξείδωσης που επιτυγχάνει την απαιτούμενη μικροβιολογική ποιότητα, ή άλλη ισοδύναμη επεξεργασία
Άρδευση δημητριακών βιομηχανικών καλλιεργειών, ζωοτροφών, βοσκοτόπων και δένδρων (δ) <b>Β' ΚΑΤΗΓ.</b>	Εργάτες	<1	Δεν τίθενται όρια	Παραμονή σε λίμνες σταθεροποίησης για 8-10 ημέρες ή ισοδύναμη απομάκρυνση περιττωματικών κολοβακτηριδίων
Ομοίως με την προηγούμενη, με εξασφάλιση μη έκθεσης εργαζομένων και κοινού <b>Γ' ΚΑΤΗΓ.</b>	Καμία	Δεν έχουν εφαρμογή	Δεν έχουν εφαρμογή	Επεξεργασία που απαιτείται από την τεχνολογία του συστήματος άρδευσης, πάντως όχι μικρότερη από πρωτοβάθμια

(α) Τα είδη *Ascaris* και *Trichuris*

(β) Κατά την περίοδο της άρδευσης

(γ) Σε γκαζόν όπου υπάρχει πρόσβαση κοινού π.χ. ξενοδοχεία, πρέπει να εφαρμόζεται το αυστηρότερο κριτήριο των 200 FC/100ml

(δ) Στην περίπτωση οπωροφόρων δένδρων, η άρδευση θα πρέπει να σταματά δύο εβδομάδες πριν από τη συλλογή των φρούτων, ενώ δεν πρέπει να συλλέγονται φρούτα από το έδαφος. Επίσης, δε θα πρέπει να εφαρμόζεται άρδευση με καταιονισμό

Είναι εμφανές ότι η οδηγία του Π.Ο.Υ. βασίζεται κυρίως στα δεδομένα των επιδημιολογικών ερευνών σε συνδυασμό με μία εμφανή προσπάθεια ρεαλιστικής αντιμετώπισης των δυνατοτήτων επαναχρησιμοποίησης λυμάτων στις αναπτυσσόμενες χώρες, και θέτει όχι ιδιαίτερα αυστηρά κριτήρια. Τα κριτήρια αυτά, όμως έχουν υποστεί και εξακολουθούν να υφίστανται έντονη κριτική στις αναπτυγμένες χώρες [26]. Οι χώρες αυτές έχουν θεσπίσει δικά τους κριτήρια τα οποία κατά κανόνα είναι αυστηρότερα από αυτά του Π.Ο.Υ [27].

### 7.2.3.2 Κανονισμός Πολιτείας Καλιφόρνια

Σε παγκόσμιο επίπεδο, ο πρώτος κανονισμός για την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων στην γεωργία εκδόθηκε το 1918 από την πολιτεία της Καλιφόρνιας, Η.Π.Α. Ο κανονισμός αυτός έχει υποστεί αναθεωρήσεις και επεκτάσεις και με τη σημερινή του μορφή, όπως διαμορφώθηκε το 1978, αποτελεί τη βάση για τα κριτήρια επαναχρησιμοποίησης όχι μόνο στην Καλιφόρνια αλλά και σε άλλες πολιτείες των ΗΠΑ και χώρες του κόσμου. Τα κριτήρια της πολιτείας της Καλιφόρνιας συνοψίζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 7-4**

**Μικροβιολογικά κριτήρια της πολιτείας της Καλιφόρνιας για χρήση λυμάτων στη γεωργία [27]**

Είδος χρήσης	Ολικά κολοβακτηρίδια (TC) ανά 100ml (5)	Απαιτούμενη επεξεργασία
Ζωοτροφές, μη βρώσιμες καλλιέργειες, άρδευση οπωρώνων, αμπελώνων (1)	Δεν τίθενται όρια	Δευτεροβάθμια
Βοσκότοποι για γαλακτοπαραγωγή ζώα, τεχνητές λίμνες αναψυχής (2), πότισμα γηπέδων γκολφ, νεκροταφείων κ.λ.π.	<23 (διάμεση τιμή)	Οξείδωση και απολύμανση
Επιφανειακή άρδευση βρώσιμων καλλιεργειών (3), τεχνητές λίμνες αναψυχής (2α)	<2,2 (διάμεση τιμή)	Οξείδωση και απολύμανση
Άρδευση βρώσιμων καλλιεργειών με καταιονισμό, πάρκων, παιδικών χαρών, τεχνητές λίμνες αναψυχής (2β)	<2,2 (διάμεση τιμή, με απόλυτο μέγιστο τα 23) (6)	Οξείδωση, κροκίδωση, καθίζηση, διύλιση και απολύμανση

- (1) Για τους οπωρώνες και τους αμπελώνες τίθεται ως προϋπόθεση ότι οι καρποί δεν έχουν έρθει σε επαφή με το νερό άρδευσης ή το έδαφος.
- (2) Λίμνες για αισθητική απόλαυση, χωρίς το κοινό να έρχεται σε επαφή με το νερό.
- (2α) Λίμνες για αλιεία, ιστιοπλοΐα και άλλες ψυχαγωγικές χρήσεις που δεν προϋποθέτουν επαφή του νερού με το ανθρώπινο σώμα.
- (2β) Λίμνες για χρήσεις χωρίς περιορισμό επαφής του νερού με το ανθρώπινο σώμα.
- (3) Εξαιρέσεις μπορούν να γίνουν σε βρώσιμες καλλιέργειες που υφίστανται επεξεργασία πριν την κατανάλωσή τους.
- (4) Η θολρότητα του διωλισμένου νερού δεν πρέπει να υπερβαίνει τις 2 μονάδες θολρότητας κατά τη διάρκεια του 24ώρου.
- (5) Η διάμεση τιμή προκύπτει από τα αποτελέσματα των πιο πρόσφατων αναλύσεων των 7 ημερών που αυτές πραγματοποιήθηκαν.
- (6) Η μέγιστη τιμή δεν πρέπει να υπερβαίνεται σε περισσότερα του ενός δείγματα για οποιαδήποτε περίοδο 30 ημερών.

Όπως φαίνεται από τον παραπάνω πίνακα, ο κανονισμός της πολιτείας της Καλιφόρνιας προβλέπει ότι τα λύματα που θα χρησιμοποιηθούν για απεριόριστη επαναχρησιμοποίηση πρέπει να είναι ουσιαστικά απαλλαγμένα από παθογόνους μικροοργανισμούς (2,2 TC/100ml ως διάμεση τιμή με απόλυτη μέγιστη τα 23 TC/100ml).

Αν και με την πρώτη ματιά φαίνεται ότι τα όρια αυτά δε διαφέρουν ουσιαστικά από αυτά που τίθενται για την αμέσως προηγούμενη κατηγορία (2,2 TC/100ml ως διάμεση τιμή), η ποιότητα του παραγόμενου νερού είναι σημαντικά βελτιωμένη, αφού το προτεινόμενο σχήμα επεξεργασίας λειτουργεί ως ασφαλιστική δικλείδα, αφ' ενός ελαχιστοποιώντας την περίπτωση αστοχίας, και αφ' εταίρου διασφαλίζοντας την απομάκρυνση του συνόλου σχεδόν των ιών.

Επιπροσθέτως των πιο επάνω προδιαγραφών, στην περίπτωση που είναι πιθανή η άμεση επαφή των προς επαναχρησιμοποίηση λυμάτων με τον άνθρωπο, τίθεται και όριο ως προς τη θολερότητα του νερού, η οποία δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 2 NTU, γιατί αυξημένη θολότητα παραπέμπει σε αυξημένο αριθμό σωματιδίων, τα οποία επενεργούν ως προστατευτικό κάλυμμα των μικροοργανισμών κατά τις διεργασίες απολύμανσης και κατά συνέπεια δε μπορεί να διασφαλιστεί η μικροβιολογική ποιότητα του νερού [27].

#### **7.2.3.3 Επιπρόσθετα κριτήρια σύμφωνα με την Υπηρεσία Περιβάλλοντος των Η.Π.Α. (US-EPA 1992)**

Εκτός από το μικροβιακό φορτίο τίθενται και επιπρόσθετα κριτήρια σχετικά με τη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων για άρδευση, που έχουν να κάνουν με τη συγκέντρωση χημικών ουσιών και με έμφαση στη συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων. Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται τα ανώτατα όρια συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων για χρήση λυμάτων στη γεωργία, σύμφωνα με την Υπηρεσία Περιβάλλοντος των Η.Π.Α. (US-EPA 1992), (FAO 1992) [27].

#### ΠΙΝΑΚΑΣ 7-5

Ανώτατα όρια συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων για χρήση λυμάτων στη γεωργία κατά την US EPA [27]

Χημικό στοιχείο		Μέγιστη προτεινόμενη συγκέντρωση (mg/l) (α)	
		Μακροχρόνια χρήση (β)	Βραχυχρόνια χρήση (γ)
Al	Αλουμίνιο	0,5	20,0
As	Αρσενικό	0,1	2,0
Be	Βηρύλλιο	0,1	0,5
Cd	Κάδμιο	0,01	0,05
Co	Κοβάλτιο	0,05	5,0
Cr	Χρώμιο	0,1	1,0
Cu	Χαλκός	0,2	5,0
F	Φθόριο	1,0	15,0
Fe	Σίδηρος	5,0	20,0
Li	Λίθιο	2,5	2,5
Mn	Μαγγάνιο	0,2	10,0
Mo	Μολυβδαίνιο	0,01	0,05
Ni	Νικέλιο	0,2	2,0
Pd	Μόλυβδος	5,0	10,0
Se	Σελήνιο	0,02	0,02
V	Βανάδιο	0,1	1,0
Zn	Ψευδάργυρος	2,0	10,0

- (α) Η μέγιστη συγκέντρωση βασίζεται σε ένα ρυθμό εφαρμογής νερού σύμφωνα με ορθολογικές πρακτικές άρδευσης (10.000 m<sup>3</sup>/ha/yr). Εάν ο ρυθμός εφαρμογής νερού υπερβαίνει σημαντικά τον πιο πάνω, οι μέγιστες συγκεντρώσεις θα πρέπει να προσαρμοστούν προς τα κάτω ανάλογα. Για κατανάλωση νερού μικρότερη από 10.000 m<sup>3</sup>/ha/yr δε γίνεται προσαρμογή των μέγιστων συγκεντρώσεων.
- (β) Οι συνιστώμενες μέγιστες συγκεντρώσεις για μακροχρόνια χρήση έχουν τεθεί συντηρητικά για να συμπεριλάβουν αμώδη εδάφη τα οποία έχουν μικρή δυνατότητα στράγγισης των στοιχείων που εξετάζονται.
- (γ) Τα κριτήρια για βραχυχρόνια χρήση (μέχρι 20 έτη) συνιστώνται για εδάφη με λεπτή δομή, και ουδέτερο ή αλκαλικό χαρακτήρα και αυξημένη δυνατότητα απομάκρυνσης των διαφόρων ρυπογόνων στοιχείων.

#### **7.2.4 Νομοθεσία στον Ευρωπαϊκό χώρο**

Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που περιορίζουν την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων είναι η απουσία ενός ενιαίου, διεθνούς ή έστω και περιφερειακού, Νομοθετικού πλαισίου. Ενδεικτική είναι η απουσία νομοθεσίας για την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων λυμάτων σε Ευρωπαϊκό επίπεδο.

Η μόνη γενικόλογη αναφορά γίνεται στην Οδηγία 91/271 της ΕΕ “...περί της επεξεργασίας υγρών αποβλήτων”, όπου αναφέρεται (άρθρο 12, § 1):

***“Τα επεξεργασμένα λύματα πρέπει να επαναχρησιμοποιούνται, όποτε είναι σκόπιμο.”***

Πολλές από τις αιτίες για τη δυσκολία θέσπισης ενός ενιαίου Νομοθετικού πλαισίου έχουν ήδη αναφερθεί κατά την παρουσίαση και συναξιολόγηση της Οδηγίας ΠΟΥ και του κανονισμού της Καλιφόρνιας. Ειδικότερα, για το χώρο της Ευρώπης, σημαντική παράμετρος για την έλλειψη ενιαίας θεώρησης είναι η ανισοκατανομή των διαθέσιμων υδατικών πόρων.

Στο πλαίσιο αυτό, η επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων λυμάτων εμφανίζεται ως ελκυστική λύση στη Νότια Ευρώπη, κυρίως, αλλά και στη Γαλλία και τη Μεγάλη Βρετανία. Η επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων λυμάτων για άρδευση, εφαρμόζεται σε αρκετά εκτεταμένη κλίμακα στην Ισπανία, τη Γαλλία και την Κύπρο, ενώ αυξανόμενο ενδιαφέρον παρατηρείται στην Ελλάδα, την Ιταλία και την Πορτογαλία.

Χώρες που αντιμετωπίζουν το πρόβλημα προωθούν τη θέσπιση κριτηρίων, συνήθως με τη μορφή οδηγιών, όπως η Γαλλία η Ιταλία, η Κύπρος, η Ισπανία και η Ελλάδα.

Σε ό,τι αφορά τη Γαλλική νομοθεσία για την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων λυμάτων για άρδευση, αυτή έχει ως βάση τα κριτήρια του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (ΠΟΥ), τα οποία όμως συμπληρώνονται από μία σειρά αυστηρών κανόνων, που αφορούν στην προστασία υπόγειων και επιφανειακών νερών, σε περιορισμούς κατά την

επαναχρησιμοποίηση ανάλογα με την ποιότητα των επεξεργασμένων λυμάτων, στο δίκτυο αγωγών των επεξεργασμένων λυμάτων, στα χημικά χαρακτηριστικά της εκροής κλπ.

Στην Ιταλία η νομοθεσία που υπάρχει σε εθνικό επίπεδο καλύπτει την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων για άρδευση και παρέχει ένα αυστηρό, από βακτηριολογικής απόψεως, νομοθετικό πλαίσιο. Για άρδευση καλλιεργειών που μπορούν να καταναλωθούν ωμές (απεριόριστη άρδευση) καθορίζεται δευτεροβάθμια επεξεργασία και απολύμανση και 2 ολικά κολοβακτηρίδια/100 ml, ενώ για άρδευση βοσκοτόπων (περιορισμένη άρδευση) 20 ολικά κολοβακτηρίδια/100 ml.

Η περίπτωση της Ισπανίας είναι όμοια με αυτή της Ιταλίας. Η πρόταση σε εθνικό επίπεδο ως προς τα μικροβιολογικά κριτήρια αναφέρεται σε 2-20 ολικά κολοβακτηρίδια /100ml. Ωστόσο, σε μερικές περιοχές με ορισμένο βαθμό θεσμικής αυτονομίας, όπως η Καταλονία και η Ανδαλουσία, ισχύουν λιγότερο αυστηροί κανονισμοί, που σε γενικές γραμμές βρίσκονται στο πνεύμα της Οδηγίας ΠΟΥ.

Η Κύπρος έχει επίσης θεσπίσει αυστηρά όρια, με επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις μεταξύ 5-15 περιττωματικών κολοβακτηριδίων /100 ml για την απεριορίστη άρδευση.

Από τη συναξιολόγηση των επιμέρους αυτών εθνικών ή κατά περιοχή νομοθεσιών/οδηγιών, προκύπτει το συμπέρασμα ότι σε ό,τι αφορά τα μικροβιολογικά κριτήρια της απεριορίστης άρδευσης, η υιοθέτηση κατάλληλων ορίων (γενικώς μέσα στο πλαίσιο που καθορίζουν ο ΠΟΥ και ο Κανονισμός της Καλιφόρνια), αποτελεί διαδικασία που χαρακτηρίζεται από σοβαρή αντιπαράθεση απόψεων.

Γενικώς πάντως φαίνεται ότι σε εθνικό επίπεδο η τάση στις χώρες της Ευρώπης είναι προς την κατεύθυνση των αυστηρών ορίων της Καλιφόρνιας, με ενδεχόμενες αποκλίσεις προς λιγότερο αυστηρά όρια σε τοπικό επίπεδο. Εξαίρεση αποτελεί η Γαλλία, που υιοθετεί τα όρια του ΠΟΥ, ωστόσο σε συνδυασμό με συμπληρωματικές αυστηρές προϋποθέσεις [26].



Στους παρακάτω πίνακες φαίνονται ενδεικτικά τα κριτήρια κάποιων χωρών.

#### ΠΙΝΑΚΑΣ 7-6

Εθνικά και τοπικά κριτήρια της Ιταλίας για επαναχρησιμοποίηση λυμάτων στη γεωργία (Barbagalo et al. 2000), (Bonomo et al. 1999) [27]

Περιγραφή	Κριτήρια Ποιότητας	
	Μικροβιακή ποιότητα	Άλλες παράμετροι
Εθνικά κριτήρια <ul style="list-style-type: none"> <li>• Καλλιέργειες που καταναλώνονται ωμές (Απεριόριστη άρδευση)</li> <li>• Βοσκότοποι (Περιορισμένη άρδευση)</li> </ul>	2 TC/100ml 20 TC/100ml	
Puglie <ul style="list-style-type: none"> <li>• Απεριόριστη άρδευση</li> <li>• Περιορισμένη άρδευση</li> </ul>	2 TC/100ml 20 TC/100ml	15mg/l BOD <sub>5</sub> , 40mg/l COD, 10mg/l TSS, 0,2 mg/l υπολειμματικό χλώριο, 6,5-8,5 pH
Emilia Romagna <ul style="list-style-type: none"> <li>• Απεριόριστη άρδευση</li> <li>• Περιορισμένη άρδευση</li> </ul>	2 TC/100ml 20 TC/100ml	
Sicilia <ul style="list-style-type: none"> <li>• Περιορισμένη άρδευση</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Απαγορεύεται η άρδευση καλλιεργειών που έρχονται σε απευθείας επαφή με τα επεξεργασμένα λύματα</li> </ul>	3000 TC/100ml 1000 FC/100ml 1 αυγό νηματοειδών ανά λίτρο Μη ανιχνεύσιμη σαλμονέλα	40mg/l BOD <sub>5</sub> , 160mg/l COD, 30mg/l TSS, 6,5-8,5 pH

**ΠΙΝΑΚΑΣ 7-7**  
**Κριτήρια της Κύπρου για αστικά λύματα που θα χρησιμοποιηθούν για**  
**άρδευση (Dodou 2000) [27]**

Αρδευση	BOD <sub>5</sub> mg/l	SS mg/l	FC/ 100ml	Εντερικοί σκώληκες/l	Απαιτούμενη επεξεργασία
Απεριόριστη άρδευση (α)	(A) 10*	10*	5* 15**	Μηδέν	Δευτεροβάθμια και τριτοβάθμια και απολύμανση
Χώροι αναψυχής ελεύθερης πρόσβασης- Άρδευση καλλιεργειών που τρώγονται μαγειρεμένες ή μετά από επεξεργασία (β)	(A) 10* 15**	10* 15**	50* 100**	Μηδέν	
Περιορισμένη άρδευση- χώροι αναψυχής περιορισμένης πρόσβασης	(A) 20* 30**	30* 45**	200* 1.000**	Μηδέν	Δευτεροβάθμια και αποθήκευση για πάνω από 7 ημέρες και απολύμανση, ή τριτοβάθμια και απολύμανση
	(B) -	-	200* 1.000**	Μηδέν	Λίμνες σταθεροποίησης- ωρίμανσης, συνολικός χρόνος παραμονής πάνω από 30 ημέρες, ή δευτεροβάθμια και αποθήκευση για πάνω από 30 ημέρες
Καλλιέργειες για ζωοτροφές	(A) 20* 30**	30* 45**	1.000* 5.000**	Μηδέν	Δευτεροβάθμια και αποθήκευση για πάνω από 7 ημέρες, ή τριτοβάθμια και απολύμανση
	(B) -	-	5.000*	Μηδέν	Λίμνες σταθεροποίησης- ωρίμανσης, συνολικός χρόνος παραμονής πάνω από 30 ημέρες, ή δευτεροβάθμια και αποθήκευση για πάνω από 30 ημέρες
Βιομηχανικές καλλιέργειες	(A) 50* 70**	-	3.000* 10.000**	-	Δευτεροβάθμια και απολύμανση
	(B) -		3.000* 10.000**		Λίμνες σταθεροποίησης- ωρίμανσης, συνολικός χρόνος παραμονής πάνω από 30 ημέρες, ή δευτεροβάθμια και αποθήκευση για πάνω από 30 ημέρες

A: Κλασικές μέθοδοι επεξεργασίας

B: Λίμνες σταθεροποίησης

\*: Τιμές που δεν επιτρέπεται να τις υπερβεί πλέον του 80% των δειγμάτων ανά μήνα, με ελάχιστο αριθμό 5 δειγμάτων ανά μήνα.

\*\*: Μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή

α: Εξαιρούνται φυλλώδη λαχανικά που τρώγονται ωμά

β: πατάτες, ζαχαρότευτλα και ομοειδή

### 7.2.5 Προτεινόμενα ποιοτικά όρια και προδιαγραφές για επαναχρησιμοποίηση λυμάτων στην Ελλάδα

Η **Ελλάδα** δεν έχει ακόμη θεσπίσει προδιαγραφές για την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων (Andreadakis et al. 2003), έτσι, **σε γενικές γραμμές μπορεί να θεωρηθεί ότι ισχύουν οι προδιαγραφές που έχει εκδώσει ο Π.Ο.Υ.**, οι οποίες κατά γενικό κριτήριο θεωρούνται μη αυστηρές. Σχετικές με το θέμα είναι οι υγειονομικές διατάξεις Ε1β 3161/61 καθώς και Ε1β 221/65, άρθρα 7 και 8. Πιστεύεται, πάντως, ότι σύντομα θα καλυφθεί το νομοθετικό κενό είτε με κρατική είτε με Ευρωπαϊκή πρωτοβουλία (στην περίπτωση που η ΕΕ αποφασίσει να θεσπίσει ενιαία κριτήρια) [27].

Στη συνέχεια του κεφαλαίου διατυπώνονται προτάσεις για όρια και προδιαγραφές που μελλοντικά θα μπορούσαν να ενταχθούν στο θεσμικό πλαίσιο που θα ρυθμίζει τα θέματα επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων στην Ελλάδα. Οι προτάσεις συναρτώνται με τους διαφορετικούς τύπους επαναχρησιμοποίησης, με κατάλληλη διαφοροποίηση των ορίων και προδιαγραφών των απαραίτητων σταδίων επεξεργασίας.

#### Επαναχρησιμοποίηση για άρδευση

Απαιτείται αρχικά, διαχωρισμός μεταξύ περιορισμένης και απεριόριστης άρδευσης βάσει των αρδευόμενων καλλιεργειών και του τρόπου εφαρμογής του νερού.

Η **περιορισμένη άρδευση** αφορά σε καλλιέργειες όπως δάση, εκτάσεις όπου δεν αναμένεται πρόσβαση του κοινού, καλλιέργειες ζωοτροφών, βιομηχανικές καλλιέργειες, λιβάδια, δέντρα (συμπεριλαμβανομένων των οπωροφόρων με την προϋπόθεση ότι κατά τη συλλογή οι καρποί δε βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος), καλλιέργειες σπόρων και καλλιέργειες που παράγουν προϊόντα τα οποία υποβάλλονται σε περαιτέρω επεξεργασία πριν την κατανάλωσή τους. Ως προς τους τρόπους εφαρμογής του νερού, η μέθοδος του καταιονισμού δεν επιτρέπεται.

Η ελάχιστη προτεινόμενη επεξεργασία λυμάτων για την περιορισμένη άρδευση είναι δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία για την παραγωγή εκροής με συγκεντρώσεις BOD και SS χαμηλότερες από 25 και 35 mg/l αντίστοιχα, για το 80% των δειγμάτων και συγκεντρώσεις περιττωματικών κολοβακτηριδίων χαμηλότερες από 200 FC/100 ml, ως διάμεση τιμή, μέσω κατάλληλης απολύμανσης των δευτεροβάθμιων εκροών.

Οι τιμές νιτρικών στις δευτεροβάθμιες εκροές δεν υπερβαίνουν τα 35 mg/l, τιμή που είναι αποδεκτή υπό κανονικές συνθήκες. Ωστόσο σε περιπτώσεις μεγάλων χρόνων αποθήκευσης των λυμάτων σε επιφανειακούς ταμιευτήρες ή άρδευσης ευπρόσβλητων στη νιτρορύπανση ζωνών, απαιτείται προχωρημένη επεξεργασία για την απομάκρυνση θρεπτικών, ώστε η τελικά παραγόμενη εκροή να περιέχει συγκεντρώσεις αζώτου μικρότερες από 15 mg/l.

Οι προτεινόμενες μέθοδοι δευτεροβάθμιας επεξεργασίας περιλαμβάνουν τα συστήματα ενεργού ιλύος, βιολογικά φίλτρα και περιστρεφόμενους βιολογικούς δίσκους. Άλλα συστήματα όπως φυσικά ή επί τόπου συστήματα που παράγουν εκροή με ισοδύναμη ποιότητα (BOD/SS = 25/35) είναι αποδεκτά κατόπιν επαρκούς τεκμηρίωσης.

Η **απεριόριστη άρδευση** μεταξύ άλλων, αφορά σε όλα τα άλλα είδη καλλιεργειών όπως λαχανικά, αμπέλια, ή καλλιέργειες των οποίων τα προϊόντα καταναλώνονται ωμά και θερμοκήπια. Κατά την απεριόριστη άρδευση επιτρέπονται διάφορες μέθοδοι εφαρμογής του νερού συμπεριλαμβανομένου του καταιονισμού.

Η ελάχιστη προτεινόμενη επεξεργασία που απαιτείται για απεριόριστη άρδευση είναι δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία, που ακολουθείται από τριτοβάθμια (κατ' ελάχιστο κροκίδωση, διύλιση) και στη συνέχεια απολύμανση, για την παραγωγή εκροής με συγκεντρώσεις BOD και SS μικρότερες από 10 mg/l για το 80% των δειγμάτων και τιμές θολότητας μικρότερες από 2 NTU ως διάμεση τιμή. Η συγκέντρωση των περιττωματικών κολοβακτηριδίων θα πρέπει να διατηρείται μικρότερη από 5 FC/100 ml για το 80% των δειγμάτων.

Οι απαιτήσεις ως προς την απομάκρυνση αζώτου είναι κοινές με τις αντίστοιχες στην περίπτωση της απεριόριστης άρδευσης, όπως και οι μέθοδοι δευτεροβάθμιας επεξεργασίας.

Άλλες μέθοδοι τριτοβάθμιας επεξεργασίας μπορεί να εφαρμοσθούν κατόπιν επαρκούς τεκμηρίωσης και με δεδομένο την ποιότητα επεξεργασίας, η οποία πρέπει να είναι ισοδύναμη με το τυπικό σύστημα τριτοβάθμιας επεξεργασίας.

#### Επαναχρησιμοποίηση λυμάτων για αστική χρήση πλην πόσης και χρήσεις αναψυχής

Οι δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης περιλαμβάνουν το πότισμα μεγάλων εκτάσεων (νεκροταφεία, πρανή αυτοκινητοδρόμων, γήπεδα γκολφ, δημόσια πάρκα) και εγκαταστάσεων αναψυχής, την κατάσβεση πυρκαγιών, νερό για τη συμπίκνωση εδαφών, νερό για τον καθαρισμό οδών και πεζοδρομίων, νερό για διακοσμητικά σιντριβάνια και νερό για καθαρισμό τουαλετών.

Ως προς την απαιτούμενη επεξεργασία η περιορισμένη αστική χρήση απαιτεί δευτεροβάθμια επεξεργασία, ενώ η απεριόριστη προϋποθέτει επιπρόσθετα τριτοβάθμια επεξεργασία.

Ο διαχωρισμός μεταξύ περιορισμένης και απεριόριστης αστικής χρήσης είναι μια αξιόπιστη και ασφαλής διαδικασία υπό την προϋπόθεση ότι τα θεσμικά, οργανωτικά και διαχειριστικά μέσα μπορούν να εξασφαλίσουν τη σωστή εφαρμογή της. Η εκπλήρωση αυτής της προϋπόθεσης είναι ωστόσο αμφίβολη στην περίπτωση της Ελλάδας.

Προτείνονται λοιπόν κοινά όρια τόσο για την περιορισμένη όσο και για την απεριόριστη αστική χρήση και τις χρήσεις αναψυχής, τα οποία είναι αντίστοιχα με αυτά της απεριόριστης άρδευσης.

### Επαναχρησιμοποίηση στη βιομηχανία

Η επαναχρησιμοποίηση λυμάτων στη βιομηχανία περιλαμβάνει νερά ψύξης, λεβήτων και χρήσης κατά τις διάφορες διεργασίες.

Σε περιπτώσεις νερών ψύξης μιας χρήσης, μπορεί να χρησιμοποιηθούν δευτεροβάθμια επεξεργασμένα λύματα, τα οποία μετά από απολύμανση περιέχουν συγκεντρώσεις περιττωματικών κολοβακτηριδίων μικρότερες από 200 FC /100 ml (διάμεση τιμή).

Για όλες τις άλλες περιπτώσεις, συμπεριλαμβανομένου του νερού που ανακυκλώνεται στα αντίστοιχα συστήματα ψύξης, η ελάχιστη απαίτηση επεξεργασίας είναι η τριτοβάθμια. Πρόσθετη επεξεργασία μπορεί να απαιτηθεί σε ειδικές περιπτώσεις.

### Άμεση ή έμμεση επαναχρησιμοποίηση λυμάτων για πόση

Προτείνεται η απαγόρευση της επαναχρησιμοποίησης λυμάτων για άμεση ή έμμεση πόση.

### Εμπλουτισμός υπόγειου υδροφορέα για χρήση εκτός πόσης

Ο εμπλουτισμός υπόγειου υδροφορέα με επεξεργασμένα λύματα μπορεί να επιτραπεί στις περιπτώσεις όπου αποδεδειγμένα ο υδροφορέας δε χρησιμοποιείται για σκοπούς ύδρευσης. Η ποιότητα των υπόγειων υδάτων μετά τον εμπλουτισμό του υδροφορέα με λύματα θα πρέπει να είναι κατ' ελάχιστον ισοδύναμη με την ποιότητα που απαιτείται για απεριόριστη αρδευτική ή αστική χρήση.

Ωστόσο, με δεδομένη την αβεβαιότητα ως προς μελλοντικές πιθανές χρήσεις του υδροφορέα θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή για την αποφυγή συσσώρευσης οργανικών στα υπόγεια ύδατα. Κατά συνέπεια, απαιτείται επαρκής βαθμός επεξεργασίας για την απομάκρυνση οργανικών, που θα περιλαμβάνει, εκτός από δευτεροβάθμια

βιολογική και τριτοβάθμια επεξεργασία, προχωρημένες μεθόδους κατάλληλες για την απομάκρυνση διαλυτού οργανικού υλικού (π.χ. ενεργός άνθρακας ή μεμβράνες).

Σε περιπτώσεις εμπλουτισμού μέσω διήθησης από την επιφάνεια του εδάφους με κατάλληλα χαρακτηριστικά και επαρκές βάθος αναμένεται απομάκρυνση των οργανικών που θα κατακρατηθούν στο έδαφος, με αποτέλεσμα να αποφεύγεται η προχωρημένη επεξεργασία.

Θα πρέπει να τονιστεί ωστόσο ότι ανεξάρτητα από τον ελάχιστο απαιτούμενο βαθμό επεξεργασίας, είναι απαραίτητη η εκτέλεση ειδικών υδρογεωλογικών μελετών που θα αναφέρονται στην εκάστοτε περιοχή, ώστε να είναι δυνατή η ασφαλής αποφυγή διείσδυσης λυμάτων σε υπόγειους υδροφορείς που χρησιμοποιούνται για απόληψη πόσιμου νερού [26].

### ***7.3 Επιλεγόμενος τρόπος διάθεσης των επεξεργασμένων λυμάτων στην παρούσα εργασία***

Μεταξύ των χρήσεων που καταλαμβάνουν το σημαντικότερο ποσοστό επαναχρησιμοποίησης είναι η άρδευση καλλιεργειών και χώρων πρασίνου.

Στην παρούσα περίπτωση, συγκρίνοντας την ποιότητα εκροής των σεναρίων που μελετήθηκαν στο κεφάλαιο 5, με τα προτεινόμενα ποιοτικά όρια για περιορισμένη άρδευση με επεξεργασμένα λύματα στην Ελλάδα (Πίνακας 7-8), είναι δυνατή η επιφανειακή διάθεση της εκροής, για στάγδην (περιορισμένη) άρδευση δέντρων της περιοχής και κυρίως ελαιώνων, καθώς και του πρασίνου της περιοχής, όπως δασικές εκτάσεις και καλλωπιστικά φυτά.

Έχει αποδειχθεί ότι η άρδευση ελαιόδεντρων με δευτεροβάθμια καθαρισμένα λύματα δεν επηρεάζει το δέντρο ή τον καρπό, αντίθετα μάλιστα, οι μικρές ποσότητες αζώτου και φωσφόρου που περιέχουν τα καθαρισμένα λύματα βοηθούν στη φυσική λίπανση και έτσι

αποφεύγεται η χρήση χημικών λιπασμάτων, με αποτέλεσμα την παραγωγή βιολογικού ελαιολάδου.

Η επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων, άλλωστε, συμβάλλει στην εξοικονόμηση υδατικών πόρων και προσδίδει στο Δήμο και τους κατοίκους του οικονομικά οφέλη. Συν το γεγονός ότι οι μεγαλύτερες ποσότητες λυμάτων συμπίπτουν χρονικά με τις μεγάλες θερμοκρασίες, δηλαδή το καλοκαίρι, όποτε παρατηρείται μεγάλη εξατμισοδιαπνοή και μεγάλη έλλειψη νερού, κάνει την επαναχρησιμοποίηση την καλύτερη επιλογή. Παράλληλα, το νερό αυτό είναι πλουσιότερο σε θρεπτικά στοιχεία, όπως άζωτο και φώσφορο, για φυσική λίπανση, κατάλληλο για βιολογικές καλλιέργειες.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 7-8**  
**Προτεινόμενα ποιοτικά όρια για περιορισμένη άρδευση με**  
**επεξεργασμένα λύματα στην Ελλάδα**

ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΗ ΑΡΔΕΥΣΗ	Όρια
Δάση, εκτάσεις όπου δεν αναμένεται πρόσβαση του κοινού, καλλιέργειες ζωοτροφών, βιομηχανικές καλλιέργειες, λιβάδια, δέντρα (συμπεριλαμβανομένων των οπωροφόρων με την προϋπόθεση ότι κατά τη συλλογή οι καρποί δε βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος), καλλιέργειες σπόρων και καλλιέργειες που παράγουν προϊόντα τα οποία υποβάλλονται σε περαιτέρω επεξεργασία πριν την κατανάλωσή τους	
BOD <sub>5</sub> (mg/l)	25
COD (mg/l)	125
TSS (mg/l)	35
N υπό κανονικές συνθήκες (mg/l)	35
N άρδευσης ευπρόσβλητων στη νιτρορύπανση ζωνών (mg/l)	15
FC/100 ml	200

Όπως προαναφέρθηκε, τα επεξεργασμένα λύματα θα διατίθενται με τη μέθοδο της στάγδην άρδευσης, η οποία στη συγκεκριμένη περίπτωση θεωρείται η πλέον ενδεδειγμένη, λόγω του ότι το σύστημα αυτό θεωρείται το πιο κατάλληλο για την προστασία της ανθρώπινης υγείας, καθώς είναι κλειστό και επομένως περιορίζει ή ελαχιστοποιεί την καταιόνηση και την ανθρώπινη έκθεση. Έτσι η μέθοδος αυτή καθίσταται ασφαλέστατη για τους γεωργούς

Από τα παραπάνω προκύπτει το συμπέρασμα πως σε όλα τα σενάρια, εκτός του σεναρίου 4i, η ποιότητα εκροής είναι κατάλληλη για επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων για άρδευση δέντρων (κυρίως ελαιώνων), δασικών εκτάσεων και καλλωπιστικών φυτών της περιοχής, με τη μέθοδο της στάγδην άρδευσης.



Σε γενικές γραμμές πάντως αναφέρεται πως, οι κύριοι παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη σε κάθε έργο επαναχρησιμοποίησης είναι τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των εκροών (φυσικοχημικά και μικροβιακά) οι ποιοτικές απαιτήσεις των καλλιεργειών, τα εδαφικά χαρακτηριστικά, το αρδευτικό σύστημα και η ενημέρωση των χρηστών [28].

Στο σημείο αυτό αναφέρεται πως ο Δήμος Αρχαγγέλου αποτελεί έναν παραθαλάσσιο Δήμο, με αποτέλεσμα να δίδεται η επιλογή διάθεσης των επεξεργασμένων λυμάτων στη θάλασσα, με τη βοήθεια υποθαλάσσιων αγωγών. Στην περίπτωση αυτή, όμως, στερείται ο δήμος των προαναφερόμενων πλεονεκτημάτων της επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων για άρδευση.

#### **7.4 Απαιτούμενη έκταση για άρδευση με τα επεξεργασμένα λύματα**

Διακρίνεται η περίπτωση του χειμώνα και του καλοκαιριού

##### **Χειμώνας**

Μέγιστη δυνατή ποσότητα εκροής =  $2030 \text{ m}^3/\text{d}$

Απαίτηση σε άρδευση =  $3 \text{ m}^3/\text{d}/\text{στρέμμα}$ .

Άρα, είναι δυνατή η άρδευση 677 στρεμμάτων

##### **Καλοκαίρι**

Ποσότητα εκροής =  $2897 \text{ m}^3/\text{d}$

Απαίτηση σε άρδευση =  $5 \text{ m}^3/\text{d}/\text{στρέμμα}$ .

Άρα, είναι δυνατή η άρδευση 579 στρεμμάτων

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8<sup>ο</sup>

## ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

### **8.1 Ισχύουσα νομοθεσία**

Στη συνέχεια παρατίθεται η ισχύουσα νομοθεσία:

- ✚ Ευρωπαϊκή Οδηγία 91/271/ΕΟΚ «επεξεργασία των αστικών λυμάτων»
- ✚ ΚΥΑ 5673/400/97 (ΦΕΚ 192/Β/97) «μέτρα και όροι για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων»
- ✚ ΚΥΑ 114218/97 (ΦΕΚ 1016/Β/97) «κατάρτιση πλαισίου προδιαγραφών και γενικών προγραμμάτων διαχείρισης στερεών αποβλήτων»
- ✚ Υγειονομική διάταξη Ε1β/221/65 (ΦΕΚ 138/Β/65) «περί διαθέσεως λυμάτων και βιομηχανικών αποβλήτων»
- ✚ Υγειονομική διάταξη Ε1β 3161/61 (ΦΕΚ 444/Β/61) «οδηγίας κατασκευής και λειτουργίας ιδιωτικών συστημάτων διαθέσεων λυμάτων 9οικιακά λύματα οικοδομών κατοικιών)»

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9<sup>ο</sup>

ΕΠΙΛΟΓΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ  
ΤΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### **9.1 Γενικά**

Η γνώση των αντικειμένων της διαχείρισης των υδατικών πόρων, συμπεριλαμβανόμενης και αυτής των υγρών αποβλήτων, γίνεται όλο και περισσότερο απαραίτητη για την ελληνική πραγματικότητα. Η ανάγκη για ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων και ιδιαίτερα η απαίτηση για βέλτιστους και αξιόπιστους σχεδιασμούς έργων διαχείρισης των υγρών αποβλήτων έγινε εντονότερη το 1991, μετά την έκδοση της Οδηγίας (91/271/ΕΟΚ) του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων σχετικά με την επεξεργασία των υγρών αστικών αποβλήτων (ΚΥΑ 5673/400/1997 για εναρμόνιση της ελληνικής νομοθεσίας), η οποία επιβάλλει την εγκατάσταση ΜΕΥΑ σε όλες τις πόλεις της Κοινότητας. Η χρησιμοποίηση μονάδων επεξεργασίας υγρών αστικών αποβλήτων αποτέλεσε το πρώτο βήμα για την προστασία των υδάτινων αποδεκτών. Η λειτουργία των συμβατικών μονάδων επεξεργασίας λυμάτων έδειξε ότι μεγάλο ποσοστό αυτών δεν αποδίδουν ικανοποιητικά, ιδίως σε μικρούς οικισμούς, εξαιτίας του μεγάλου κόστους λειτουργίας και συντήρησης, αλλά και της έλλειψης εξειδικευμένου προσωπικού. Οι λόγοι αυτοί οδήγησαν στην αναζήτηση και εφαρμογή εναλλακτικών μεθόδων επεξεργασίας, που βασίζονται σε φυσικές διεργασίες, όπως είναι τα φυσικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Τα συστήματα αυτά παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως πολύ χαμηλές απαιτήσεις σε ενέργεια, χαμηλό λειτουργικό κόστος, μη χρησιμοποίηση πρόσθετων χημικών μέσων και εύκολη, χαμηλού κόστους, συντήρηση. Το σημαντικότερο μειονέκτημά τους είναι η μεγάλη έκταση, που απαιτείται για τη λειτουργία τους, γεγονός που περιορίζει την εφαρμογή τους, κυρίως σε μικρές πόλεις και οικισμούς. Αξίζει να σημειωθεί ότι στην πράξη, η απαιτούμενη έκταση μπορεί να μειωθεί έως και 50% με τη χρήση ειδικής τεχνικής/τεχνολογίας (πατέντα) από τους ειδικούς. Η βέλτιστη επιλογή συστήματος επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων δεν είναι πάντα προφανής, αφού εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, ενώ επιπλέον, στη διαδικασία απόφασης λαμβάνουν μέρος πολλοί συμμετέχοντες με ποικίλα συμφέροντα.

## **9.2 Επιλογή φυσικού συστήματος επεξεργασία των λυμάτων του Δήμου Αρχαγγέλου και διάθεση των εκροών**

Τα σενάρια που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία περιλαμβάνουν:

5. Σύστημα σηπτικής δεξαμενής, υγροβιότοπου υποεπιφανειακής ροής και απολύμανση με UV ακτινοβολία.
6. Σύστημα σηπτικής δεξαμενής, υγροβιότοπου ελεύθερης επιφάνειας και απολύμανση με UV ακτινοβολία.
7. Σύστημα σηπτικής δεξαμενής, βιολογικού αμμόφιλτρου και απολύμανση με UV ακτινοβολία.
8. Σύστημα λιμνών σταθεροποίησης

Προκειμένου για τη διάθεση των επεξεργασμένων από τη μονάδα λυμάτων, επιλέγεται η **επαναχρησιμοποίησή τους για άρδευση ελαιώνων, αμπέλων, δασικών εκτάσεων και καλλωπιστικών φυτών, με τη μέθοδο της στάγδην άρδευσης**, καθώς αποτελεί μια ασφαλή και περιβαλλοντικά αποδεκτή πρακτική, εφ' όσον τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των εκροών ικανοποιούν θεσμοθετημένα κριτήρια ή έγκυρες επιστημονικές απόψεις. Τα μέχρι σήμερα αποτελέσματα πιλοτικών και ερευνητικών, κυρίως, έργων στη χώρα μας, συνηγορούν στην άμεση υιοθέτηση της επαναχρησιμοποίησης ως βασικής επιλογής διάθεσης-αξιοποίησης των εκροών μονάδων επεξεργασίας, οι οποίες λειτουργούν ικανοποιητικά και ευρίσκονται πλησίον γεωργικών εκτάσεων.

Άλλωστε, η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση νερού έχει σαν συνέπεια αφ' ενός την εξάντληση των υδάτινων αποθεμάτων, και αφ' ετέρου την επιστροφή μεγάλων ποσοτήτων ποιοτικά υποβαθμισμένου νερού στο περιβάλλον. Η επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων κατά τον ένα ή τον άλλο τρόπο είναι πλέον μονόδρομος, πρέπει όμως να εφαρμόζονται αυστηρά κριτήρια ποιότητας για την αποφυγή δημιουργίας

οξύτερων περιβαλλοντικών προβλημάτων και για τη διασφάλιση της υγείας του πληθυσμού που θα έρθει σε άμεση ή έμμεση επαφή. Γεγονός είναι πως η τεχνολογία για την παραγωγή υψηλής ποιότητας ύδατος από ανακυκλωμένα λύματα υπάρχει, σε κάθε περίπτωση όμως απαιτείται η εκπόνηση τεchnοοικονομικής μελέτης ώστε να προσδιοριστεί ο βαθμός απαιτούμενης επεξεργασίας σε σχέση με την επιδιωκόμενη χρήση.

Σύμφωνα με τους υπολογισμούς, τα επεξεργασμένα λύματα θα χρησιμοποιούνται για άρδευση 677 στρεμμάτων κατά την περίοδο του χειμώνα και 579 στρεμμάτων κατά την περίοδο του θέρους, με τη μέθοδο της στάγδην άρδευσης.

Εν συνεχεία παρατίθεται ο πίνακας 7-8, σχετικά με τα προτεινόμενα ποιοτικά όρια για περιορισμένη άρδευση με επεξεργασμένα λύματα στην Ελλάδα.

<b>ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΗ ΑΡΔΕΥΣΗ</b>	
Δάση, εκτάσεις όπου δεν αναμένεται πρόσβαση του κοινού, καλλιέργειες ζωοτροφών, βιομηχανικές καλλιέργειες, λιβάδια, δέντρα (συμπεριλαμβανομένων των οπωροφόρων με την προϋπόθεση ότι κατά τη συλλογή οι καρποί δε βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος), καλλιέργειες σπόρων και καλλιέργειες που παράγουν προϊόντα τα οποία υποβάλλονται σε περαιτέρω επεξεργασία πριν την κατανάλωσή τους	Όρια
BOD <sub>5</sub> (mg/l)	25
COD (mg/l)	125
TSS (mg/l)	35
N υπό κανονικές συνθήκες (mg/l)	35
N άρδευσης ευπρόσβλητων στη νιτρορύπανση ζωνών (mg/l)	15
FC/100 ml	200

Στην επόμενη σελίδα παρατίθενται οι πίνακες 5-13, σχετικά με τις συγκριτικές αποδόσεις των σεναρίων και 6-3, σχετικά με τις συγκριτικές κοστολογήσεις των σεναρίων.

Μελετώμενα σενάρια	BOD (mg/l)		TN (mg/l)		TP (mg/l)		SS (mg/l)		TC (απ./100ml)		FC (απ./100ml)		Εμβαδόν (m <sup>2</sup> )
	X	K	X	K	X	K	X	K	X	K	X	K	
Σενάριο 1: Σηπτική δεξαμενή + Υγροβιότοπος υποεπιφανειακής ροής + Απολύμανση με UV	9,98	2,89	12,4	10,6	10,1	9	6,5	4,6	100	100	10	10	38903
Σενάριο 2: Σηπτική δεξαμενή + Υγροβιότοπος ελεύθερης επιφάνειας + Απολύμανση με UV	9,89	9,11	12,5	10,7	10,3	9,2	7,3	5,2	100	100	10	10	37044
Σενάριο 3: Σηπτική δεξαμενή + Βιολογικό αμμόφιλτρο + Απολύμανση με UV	10	6,6	27	21,6	5,1	3,9	5,8	4	1000	1000	100	100	22986
Σενάριο 4: i) Λίμνες σταθεροποίησης (αναερόβια + επαμφοτερίζουσα + 5 λίμνες ωρίμανσης)	35,6	23,6	4,6	5,3	10,7	8	14,5	10	100	100	10	10	73040
Σενάριο 4: ii) Λίμνες σταθεροποίησης (αναερόβια + επαμφοτερίζουσα + 8 λίμνες ωρίμανσης)	15	10	1,3	1,5	10,3	7,7	14,5	10	100	100	10	10	81201

\* X: Χειμώνας και K: Καλοκαίρι

Σύστημα επεξεργασίας	Κατασκευαστικό κόστος (€)	Κόστος λειτουργίας και συντήρησης (€/έτος)	Κόστος Γης (€)	Αρχικό κόστος (Κατασκευαστικό + Κόστος Γης) (€)	Συνολικό κόστος (€)
Σενάριο 1: Σηπτική δεξαμενή + Υγροβιότοπος υποεπιφανειακής ροής + Απολύμανση	1.906.235	116.230	184.500	2.090.735	6.739.435
Σενάριο 2: Σηπτική δεξαμενή + Υγροβιότοπος ελεύθερης επιφάνειας + Απολύμανση	1.448.635	116.230	175.500	1.624.135	6.273.335
Σενάριο 3: Σηπτική δεξαμενή + Βιολογικό αμμόφιλτρο + Απολύμανση	1.637.109	116.230	112.500	1.749.609	6.398.809
Σενάριο 4i: Λίμνες σταθεροποίησης με 5 λίμνες ωρίμανσης	1.461.446	77.492	333.000	1.794.446	4.894.126
Σενάριο 4ii: Λίμνες σταθεροποίησης με 8 λίμνες ωρίμανσης	1.652.069	77.492	369.000	2.021.069	5.120.749



Μελετώντας τους παραπάνω πίνακες γίνεται αντιληπτό πως το σενάριο 4i, που περιλαμβάνει σύστημα λιμνών σταθεροποίησης με 5 λίμνες ωρίμανσης, δεν επαρκεί προκειμένου να ικανοποιούνται τα όρια σχετικά με το BOD εκροής το χειμώνα, ώστε να τα λύματα να χρησιμοποιηθούν για άρδευση. Παράλληλα, η απαιτούμενη έκταση για την κατασκευή του είναι αρκετά μεγάλη, ενώ παρόλο το χαμηλό αρχικό του κόστος, υπάρχουν σενάρια που παρουσιάζουν ακόμη χαμηλότερο. Βέβαια, το συνολικό κόστος του σεναρίου αυτού είναι το μικρότερο συγκριτικά με τα υπόλοιπα, αλλά δεδομένου της μακράς χρονικής περιόδου των 40 ετών, δίδεται μεγαλύτερη βαρύτητα στο αρχικό κόστος.

Όσον αφορά το σενάριο 3, που περιλαμβάνει σηπτική δεξαμενή, βιολογικό αμμόφιλτρο και απολύμανση με UV ακτινοβολία, αυτό απαιτεί τη μικρότερη συγκριτικά έκταση και το δεύτερο μικρότερο αρχικό κόστος. Παρόλα αυτά, το σενάριο αυτό απορρίπτεται, καθώς υστερεί στην ποιότητα εκροής συγκριτικά με τα υπόλοιπα, όσον αφορά το μικροβιακό φορτίο, ενώ παραβιάζει τα όρια του αζώτου στην εκροή, μόνο στην περίπτωση ευπρόσβλητων στη νιτρορύπανση ζωνών. Βέβαια, παρουσιάζει την καλύτερη απόδοση σχετικά με τις συγκεντρώσεις φωσφόρου και στερεών στην εκροή.

Συνεχίζοντας με το σενάριο 4ii (σύστημα λιμνών σταθεροποίησης με 8 λίμνες ωρίμανσης), αυτό δεν παραβιάζει κανένα από τα παραπάνω ως προς την άρδευση όρια, και ενώ παρουσιάζει το μικρότερο συνολικό κόστος, εντούτοις το αρχικό του κόστος είναι το δεύτερο μεγαλύτερο. Μεγάλο μειονέκτημα του σεναρίου αυτού, εκτός του αρχικού του κόστους, είναι η πολύ μεγάλη απαιτούμενη έκταση για την κατασκευή του.

Τα εναπομείναντα σενάρια αποτελούν το σενάριο 1 (σηπτική δεξαμενή, υδροβιότοπος υποεπιφανειακής ροής και απολύμανση με UV ακτινοβολία) και το σενάριο 2 (σηπτική δεξαμενή, υδροβιότοπος ελεύθερης επιφάνειας και απολύμανση με UV ακτινοβολία), με κανένα από αυτά να παραβιάζουν τα παραπάνω ως προς την άρδευση όρια, ενώ απαιτούν έκταση παρόμοιου εμβαδού για την κατασκευή τους. Εξετάζοντας τα κόστη των δύο αυτών σεναρίων παρατηρείται πως το σενάριο 2 πλεονεκτεί, τόσο ως προς το αρχικό του κόστος, όσο και ως προς το συνολικό.




Γίνεται λοιπόν αντιληπτό πως το **επιλεγόμενο σενάριο για το Δήμο Αρχαγγέλου** είναι το σενάριο 2. Δηλαδή η μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί περιλαμβάνει **επεξεργασία σε σηπτική δεξαμενή, τεχνητό υγροβιότοπο επιφανειακής ροής και απολύμανση με ακτινοβολία UV της εκροής**, η οποία θα είναι υψηλής ποιότητας και θα χρησιμοποιείται για **στάγδην άρδευση ελιάς, αμπέλου, δασικών εκτάσεων και καλλωπιστικών φυτών** της περιοχής. Το έργο αυτό απαιτεί έκταση περίπου **40 στρεμμάτων** για την κατασκευή του.

Η επιλεγείσα μέθοδος έχει το μικρότερο συγκριτικά **αρχικό κόστος της τάξης των 1.625.000 €** και εν γένει, μικρό κόστος κατασκευής, συντήρησης και λειτουργίας. **Το συνολικό κόστος για τη 40ετία υπολογίστηκε περίπου στα 6.275.000 €.**

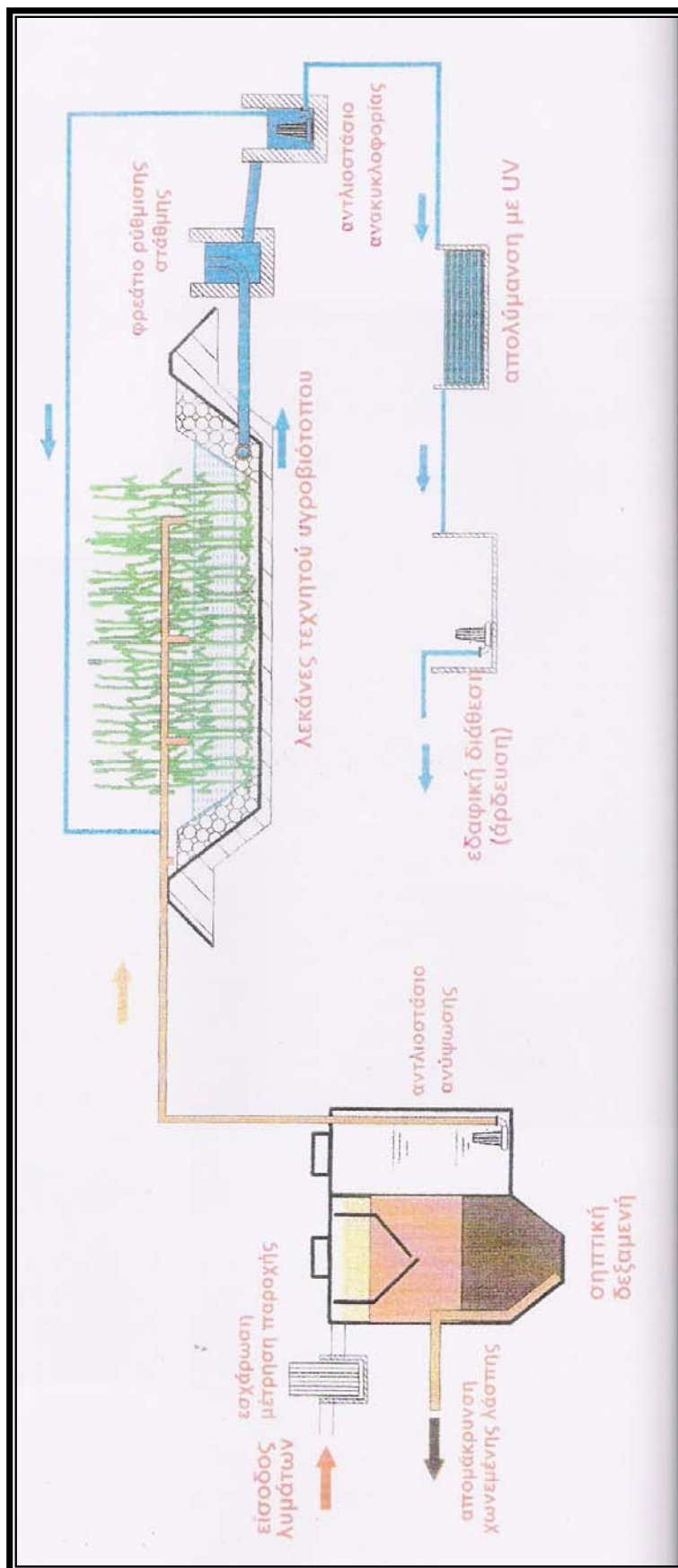
Σε γενικές γραμμές, τα πλεονεκτήματα του συστήματος που επιλέχθηκε είναι τα εξής :

- ✚ Χαμηλό κόστος κατασκευής, συντήρησης και λειτουργίας.
- ✚ Χαρακτηρίζεται από απλότητα στο χειρισμό.
- ✚ Δεν απαιτείται στελέχωση με εξειδικευμένο προσωπικό για την επαρκή συντήρηση και σωστή λειτουργία του.
- ✚ Παρουσιάζει μεγάλη ανθεκτικότητα και ελαστικότητα σε μεταβολές του υδραυλικού και βιολογικού φορτίου, ακόμα και σε απότομες μεταβολές. Παράλληλα, εμφανίζει μεγάλη αντοχή σε διακοπές ηλεκτρικού ρεύματος.
- ✚ Εξασφαλίζει υψηλής ποιότητας εκροή, κατάλληλη για άρδευση δενδροκομικών καλλιεργειών στην περιοχή.
- ✚ Η παραγόμενη λάσπη από τις σηπτικές δεξαμενές θα είναι αρκετά σταθεροποιημένη και η ποσότητα ελάχιστη, ώστε να μπορεί να διατεθεί σε αγρούς

ή χώρους ταφής απορριμμάτων. Στην παρούσα περίπτωση προτείνεται η **μεταφορά της λάσπης στη μονάδα επεξεργασίας βοθρολυμάτων του Δήμου Ρόδου**.

-  Δε δημιουργεί αισθητικά προβλήματα και εξουδετερώνει με μεγάλες αποδόσεις τα παθογόνα μικρόβια των λυμάτων.
-  Παρουσιάζει πλήρη κάλυψη των μονάδων προεπεξεργασίας και όλων των οχλουσών τμημάτων της μονάδας (π.χ. σηπτικές δεξαμενές), πράγμα που αποκλείει την όχληση στην περιοχή.
-  Δεν υπάρχει κανένας κίνδυνος για το περιβάλλον και τη δημόσια υγεία, εφόσον τα έργα κατασκευαστούν σωστά και ακολουθηθούν οι κανόνες ορθής λειτουργίας και παρακολούθησης.

Στην επόμενη σελίδα παρατίθεται το διάγραμμα ροής της υπό κατασκευή μονάδας.

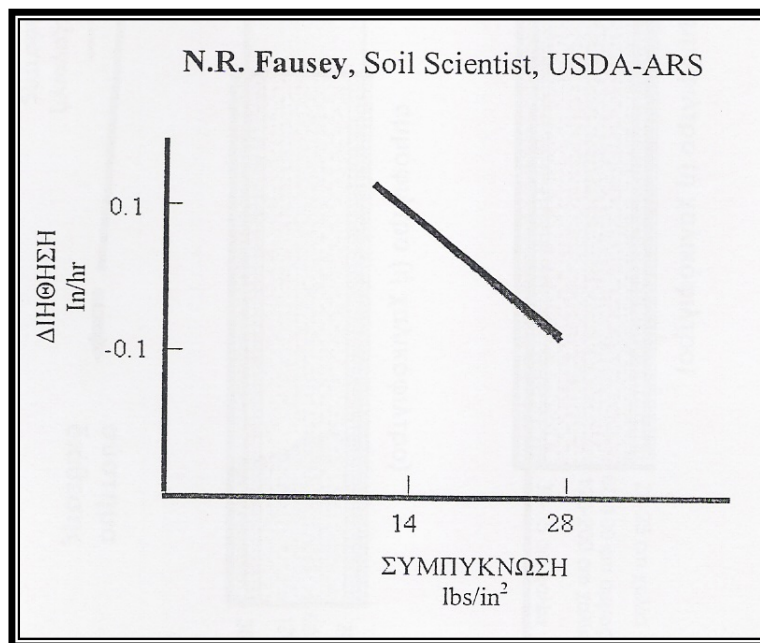


ΕΙΚΟΝΑ 9-1  
Διάγραμμα ροής της υπό κατασκευή μονάδας [7]

Όπως φαίνεται από την παραπάνω εικόνα, στη μονάδα εφαρμόζεται διαλείπουσα λειτουργία με ανακυκλοφορία λυμάτων.

Στο σημείο αυτό τονίζεται πως τα φυσικά συστήματα πρέπει να διαθέτουν στεγανό πυθμένα για να αποφεύγεται η πιθανότητα ρύπανσης των υπογείων υδάτων. Αυτό επιτυγχάνεται με τοποθέτηση μεμβράνης ή με εδαφικό υπόστρωμα περατότητας μικρότερης της 1,5 cm/h και πάχους 1,5 m, μικρής περιεκτικότητας σε οργανικά. Η επίτευξη αποδεκτής περατότητας του εδαφικού υποστρώματος συντελείται με κατάλληλη συμπίεση του υποστρώματος. Η σχέση διήθησης - συμπίεσης του εδάφους φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα.

**ΕΙΚΟΝΑ 9-2**  
**Σχέση διήθησης - συμπίεσης του εδάφους [20]**



### **9.3 Οφέλη από την κατασκευή του έργου στο Δήμο Αρχαγγέλου**

Προκειμένου να γίνει κάποια εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ενός έργου, πρέπει πρώτα να καθοριστούν οι παράμετροι του περιβάλλοντος, οι οποίες υφίστανται τις επιπτώσεις, κατόπιν να αξιολογηθούν οι προκαλούμενες μεταβολές της ποιότητάς τους και τέλος να περιγραφούν οι ενέργειες ελαχιστοποίησης και τα έργα επανόρθωσης των αρνητικών επιπτώσεων.

Αναλυτικότερα, οι πιθανές επιπτώσεις ενός έργου αναφέρονται στα παρακάτω στοιχεία:

- ~ Γειτνιάζοντες οικισμοί
- ~ Γεωργική γη
- ~ Γειτονικά ρέματα
- ~ Έδαφος-υπέδαφος-υπόγειοι υδροφορείς
- ~ Έργα υποδομής
- ~ Χλωρίδα
- ~ Πανίδα
- ~ Υγεία και ασφάλεια εργαζομένων
- ~ Αισθητική τοπίου
- ~ Κοινωνική αποδοχή

Το προτεινόμενο έργο επεξεργασίας υγρών αποβλήτων των οικισμών του Δήμου Αρχαγγέλου είναι έργο περιβαλλοντικής εξυγίανσης διότι συμβάλλει στην:

- Πρόληψη της ρύπανσης των υπόγειων νερών.
- Εξυγίανση των υδάτινων αποδεκτών της περιοχής.
- Βελτίωση των δυνατοτήτων αξιοποίησης της γεωργικής γης, καθώς το επεξεργασμένο νερό θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση (και ενδεχομένως η ιλύς ως οργανικό εδαφοβελτιωτικό).

- Προστασία της δημόσιας υγείας, αφού με την ολοκλήρωσή του θα εξαλειφθούν οι εστίες συγκέντρωσης παθογόνων μικροοργανισμών που υπάρχουν στα λύματα και είναι πιθανόν να προκαλέσουν διάφορες ασθένειες.
- Βελτίωση της εικόνας της περιοχής και εξάλειψη των δυσοσμιών

Έτσι, το έργο με τη λειτουργία του θα επιφέρει σημαντικές θετικές επιπτώσεις στην κοινωνική, αναπτυξιακή και αισθητική φυσιογνωμία της περιοχής και οι βασικότερες εξ αυτών είναι:

- Θα συμβάλλει ουσιαστικά στην προστασία του περιβάλλοντος, της δημόσιας υγείας και των υπογείων νερών.
- Θα αναβαθμίσει μακροπρόθεσμα τις αξίες γης στην περιοχή, αφού θα αντιμετωπίσει αποτελεσματικά τα μεγάλα προβλήματα αποχέτευσης και διαχείρισης των λυμάτων και θα δώσει αρδευτικό νερό υψηλής ποιότητας, κατάλληλο για άρδευση ελαιώνων, αμπελών, δασικών εκτάσεων και καλλωπιστικών φυτών.
- Η σωστή και καλαίσθητη αρχιτεκτονικά διάταξη των έργων και των εγκαταστάσεων θα ενταχθεί αρμονικά στο ευρύτερο περιβάλλον της περιοχής.
- Θα απασχοληθούν 1 με 2 εργαζόμενου περιοδικά, οι οποίοι θα λειτουργούν και θα συντηρούν το έργο.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ



- [1] Α.Ν. Αγγελάκης. *Ανάγκη για αποκεντρωμένα συστήματα διαχείρισης αστικών υγρών αποβλήτων*. Ενημερωτικό Δελτίο ΤΕΕ, Τεύχος 2031, Δευτέρα 14 Δεκεμβρίου 1998.
- [2] Αναπτυξιακή Δωδεκανήσου, ΑΝ.ΔΩ. URL: <http://www.ando.gr>. (προσπέλαση: 10/05/2007).
- [3] ΦΙΛΟΤΗΣ-ΤΡΑΠΕΖΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΦΥΣΗ, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. URL: <http://www.itia.ntua.gr/filotis>. (προσπέλαση: 15/03/2005).
- [4] Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων. URL: <http://www.minenv.gr>. (προσπέλαση: 15/03/2005).
- [5] *Υδρογεωλογική μελέτη Νήσου Ρόδου και σύνταξη μαθηματικού μοντέλου Κ Α : 9481722*, (Ιούνιος 1999), ΥΔΡΟΕΡΕΥΝΑ Α.Ε.
- [6] Λύδια Βαμβακερίδου-Λυρούδια. *Σχεδιασμός και μαθηματική προσομοίωση δικτύων ύδρευσης*. (Αθήνα 2001). Τομέας υδατικών πόρων, υδραυλικών και θαλάσσιων έργων, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- [7] Διαλυνάς Γιώργος, Κεφαλάκης Νίκος, Μαυράκης Γιάννης, Παρίσης Σάββας, Τσαγκαράκη Ειρήνη, Φιλοξενίδη Χαρούλα. (Ηράκλειο, Φεβρουάριος 2001). *Δήμος Καστελλίου - Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων Οικισμών: Καστελλίου, Διαβαϊδέ, Πολυθέας, Σκλαβεροχωρίου, Καρδουλιανού, Γαλενιανού, Αρχαγγέλου, Αποστόλων, Αεροδρόμιο - Σύστημα Τεχνητού Υγροβιότοπου - Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων*. Οργανισμός Ανάπτυξης Ανατολικής Κρήτης.
- [8] Α. Ν. Αγγελάκης. (Λάρισα, Σεπτέμβριος 2004). *Διαχείριση Αστικών Υγρών Αποβλήτων*. Ένωση Δημοτικών Επιχειρήσεων Ύδρευσης και Αποχέτευσης.
- [9] Α. Ν. Αγγελάκης, G. Tchobanoglous. (Ηράκλειο Κρήτης, Οκτώβριος 1995). *Υγρά Απόβλητα – Φυσικά Συστήματα Επεξεργασίας και Ανάκτηση, Επαναχρησιμοποίηση και Διάθεση Εκροών*. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.
- [10] Ε.Δ.Ε.Υ.Α – Διαχείριση Αστικών Υγρών Αποβλήτων. *Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή στη Διαχείριση Υγρών Αποβλήτων*. URL: <http://www.envi-e.gr/results/edeya/edeya13.htm>. (προσπέλαση: 24/07/2007).
- [11] ΚΤΙΡΙΟ – ΤΕΧΝΙΚΟ ΠΕΡΙΟΔΙΚΟ. *Αποχέτευση Λυμάτων σε Μεμονωμένα Κτίρια Και Οικισμούς*. Άρθρο Ερωτόκριτου Τσίγκα. URL: [http://www.ktirio.gr/gr/\\_statP/home.asp](http://www.ktirio.gr/gr/_statP/home.asp). (προσπέλαση: 24/07/2007).
- [12] Παπαδημητρίου Κων. Χρήστος. (Χανιά 2004). *Εμπειρίες και σχεδιασμός διαχείρισης λυμάτων σε μικρούς οικισμούς με φυσικά συστήματα-Εφαρμογή στο δήμο Τυλίσου Ηρακλείου*. Εργαστήριο Αερίων, Υγρών και Στερεών Αποβλήτων, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος Πολυτεχνείου Κρήτης.
- [13] Α.Ν. Αγγελάκης, Κ.Π. Τσαγκαράκης. *Φυσικά συστήματα επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων*. Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής έρευνας, Ινστιτούτο Ηρακλείου.
- [14] Γιώτα Μάνια, Καλαμπόγια Ευδοκία, Κουμπούρης Εμμανουήλ, Στεργιάδη Στέλλα. (Χανιά 2006). *Μελέτη Εναλλακτικών Μεθόδων Διαχείρισης Υγρών Αποβλήτων – Διάθεση Επεξεργασμένων Λυμάτων Δήμου Καστελλίου Νομού Ηρακλείου*. Εργασία Μεταπτυχιακού Διατμηματικού Τμήματος και Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος Πολυτεχνείου Κρήτης.
- [15] Ecosphere, Νίκος Νικολαΐδης. URL: <http://www.ecosphere.gr>. (προσπέλαση: 24/07/2007).
- [16] Bruce Lesikar, Extension Agricultural Engineering Specialist. *On-site wastewater treatment systems*. Texas Agricultural Extension Service, The Texas A&M University System.

- [17] David M. Gustafson, James L. Anderson, Sara Heger Christopherson. Innovative Onsite Sewage Treatment Systems. *Single-Pass Sand Filters*. University of Minnesota. URL: <http://www.extension.umn.edu/index.html>. (προσπέλαση: 30/07/2007).
- [18] EPA 832-F-99-067. (September 1999). *Wastewater Technology Fact Sheet - Intermittent Sand Filters*. Office of Water Washington, D.C. United States Environmental Protection Agency.
- [19] Α. Ανδρεαδάκης, Δ. Μαμάης, Ε. Γαβαλάκη. *Απολύμανση Λυμάτων. Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π.*
- [20] Διαλυνάς Γεώργιος, Λιπάκης Μιχάλης, Παρίτης Σάββας, Τσαγκαράκη Ρένα. (Ηράκλειο, Απρίλης 2000). *Δήμος Καστελλίου, Επεξεργασία-Διάθεση Λυμάτων, Α Φάση: Διαχειριστικό Σχέδιο (Master Plan)*. Οργανισμός Ανάπτυξης Ανατολικής Κρήτης (ΟΑΝΑΚ).
- [21] Διαλυνάς Γιώργος, Κεφαλάκης Νίκος, Παρίτης Σάββας, Τσαγκαράκη Ειρήνη (Ηράκλειο, Αύγουστος 2000). *Προέγκριση Χωροθέτησης επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και δικτύων μεταφοράς τους των οικισμών Δήμου Καστελλίου (Καστέλλι, Διαβαιδέ, Πολυθέας, Σκλαβεροχωρίου, Καρδουλιανού, Γαλενιανού, Αρχαγγέλου, Αποστόλων, Αεροδρόμιο) με φυσικά συστήματα (τεχνητός υγροβιότοπος)*. Οργανισμός Ανάπτυξης Ανατολικής Κρήτης.
- [22] Ισοτιμία.gr. URL: <http://www.isotimia.gr>. (προσπέλαση: 07/08/2007).
- [23] Γκράτζιου Μαρία. *Αξιολόγηση Συστημάτων Επεξεργασίας Λυμάτων Μονάδων Μικρής Δυναμικότητας*. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης.
- [24] Κώστας Τσακίρης. *Λίμνες Σταθεροποίησης*. ΔΕΥΑ Καβάλας.
- [25] Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. *Στάδια επεξεργασίας αποβλήτων*. URL: <http://aix.meng.auth.gr/~amalama/waste%20water%20treat%20%C2-black.pdf>. (προσπέλαση: 08/08/2007).
- [26] Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. *Επαναχρησιμοποίηση Λυμάτων*. URL: <http://www.hydro.ntua.gr/labs/sanitary/postgraduate/reclamation.pdf>. (προσπέλαση: 08/08/2007).
- [27] Πέτρος Γκίκας, Χημικός Μηχανικός, Επιβλέπων Μηχανικός β' Φάσης Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων Ψυττάλειας. *ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΚΑΙ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΛΥΜΑΤΩΝ*. Ε.Υ.Δ.Ε.-Α.Ε.Λ.Μ.Π./Γ.Γ.Δ.Ε./Υ.Π.Ε.ΧΩ.ΔΕ.
- [28] Γ. Παρισόπουλος<sup>1</sup>, Α. Παπαδόπουλος<sup>2</sup>, Φ. Παπαδόπουλος<sup>2</sup>. *ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΓΡΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΜΕ ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥΣ ΓΙΑ ΑΡΔΕΥΣΗ*. 1: ΕΘΙΑΓΕ/Ι.Γ.Ε.Μ.Κ., 2: ΕΘΙΑΓΕ/Ινστιτούτο Εδαφολογίας Θεσσαλονίκης.
- [29] Διαμαντής Ν. Καραμούζης, καθηγητής Γεωπονικής Σχολής Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. (Δράμα 28 & 29 Ιανουαρίου 2006). *1ο Θεματικό Πεδίο Υποδομές - Μικρά αποκεντρωμένα συστήματα επεξεργασίας λυμάτων*. Αναπτυξιακό συνέδριο νομού Δράμας.

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

*Υποχρεώσεις των φορέων αναφορικά με τις παραμέτρους που εξετάζονται για τον έλεγχο και την παρακολούθηση των ΜΕΑΛ ανεξάρτητα του σημείου απόρριψης των εκροών*

Παράμετροι ελέγχου βάσει Ευρωπαϊκής Νομοθεσίας	Παράμετροι ελέγχου βάσει Ευρωπαϊκής Νομοθεσίας	Παράμετροι ελέγχου βάσει Ευρωπαϊκής Νομοθεσίας
<b>BOD<sub>5</sub></b> (Οδ.77/795/ΕΟΚ, 75/440/ΕΟΚ, 91/271/ΕΚ)	<b>Ρυθμός ροής τη στιγμή δειγματοληψίας</b> (Οδ.77/795/ΕΟΚ, 75/440/ΕΟΚ)	(Οδ.77/795/ΕΟΚ, 75/440/ΕΟΚ)
<b>COD</b> (Οδ.77/795/ΕΟΚ, 75/440/ΕΟΚ, 91/271/ΕΚ)	<b>Θερμοκρασία</b> (Οδ.77/795/ΕΟΚ, 75/440/ΕΟΚ, 2000/60/ΕΚ)	<b>Στρεπτόκοκκοι κοπράνων</b> (Οδ.77/795/ΕΟΚ, 75/440/ΕΟΚ)
<b>SS</b> (Οδ. 91/271/ΕΟΚ)	<b>pH</b> (Οδ.77/795/ΕΟΚ, 75/440/ΕΟΚ)	<b>Σαλμονέλλες</b> (Οδ.77/795/ΕΟΚ, 75/440/ΕΟΚ)
<b>Ολικός Φώσφορος, P</b> (Οδ.77/795/ΕΟΚ, 75/440/ΕΟΚ, 91/271/ΕΚ, 2000/60/ΕΚ)	<b>Αγωγιμότητα στους 20<sup>0</sup>C</b> (Οδ.77/795/ΕΟΚ, 75/440/ΕΟΚ)	<b>Βιολογική ποιότητα</b> (Οδ.77/795/ΕΟΚ, 75/440/ΕΟΚ)
<b>Ολικό N</b> (Οδ. 91/271/ΕΟΚ, 91/676/ΕΟΚ)	<b>Χλωριούχα</b> (Οδ.77/795/ΕΟΚ, 75/440/ΕΟΚ)	<b>Λίπη και έλαια</b> (Οδ. 75/440/ΕΟΚ)
<b>Ολικό Cd</b> (Οδ.77/795/ΕΟΚ, 75/440/ΕΟΚ)	<b>Νιτρικά</b> (Οδ.77/795/ΕΟΚ, 75/440/ΕΟΚ)	
<b>Υδράργυρος, Hg</b> (Οδ.77/795/ΕΟΚ, 75/440/ΕΟΚ)	<b>Νιτρώδη</b> (Οδ. 91/271/ΕΟΚ)	
<b>Βαρέα Μέταλλα</b> (Οδ. 75/440/ΕΟΚ)	<b>Αμμωνιακά</b> (Οδ.77/795/ΕΟΚ, 75/440/ΕΟΚ)	
<b>CN</b> (Οδ. 75/440/ΕΟΚ)	<b>Διαλυμένο Οξυγόνο</b> (Οδ.77/795/ΕΟΚ, 75/440/ΕΟΚ, 2000/60/ΕΚ)	
<b>Εντερικά κολοβακτηρίδια</b> (Οδ.77/795/ΕΟΚ, 75/440/ΕΟΚ)		
<b>Ολικά Κολοβακτηρίδια</b>		

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

Ερωτηματολόγιο εκτίμησης επιπτώσεων  
(Πίνακας 3, ΙΙ της Κ.Υ.Α. 69269/5387/1990)

<b>1. ΕΔΑΦΟΣ:</b> Το προτεινόμενο έργο θα προκαλέσει:	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
α) ασταθείς καταστάσεις εδάφους ή αλλαγές στη γεωλογική διάταξη των πετρωμάτων:	-	-	-
β) διασπάσεις, μετατοπίσεις, συμπίεσεις ή υπερκαλύψεις του επιφανειακού στρώματος του εδάφους:	-	-	-
γ) αλλαγές στην τοπογραφία ή στα ανάγλυφα χαρακτηριστικά της επιφάνειας του εδάφους:	-	-	-
δ) καταστροφή, επικάλυψη ή αλλαγή οποιουδήποτε μοναδικού γεωλογικού ή φυσικού χαρακτηριστικού:	-	-	-
ε) οποιαδήποτε αύξηση της διάβρωσης του εδάφους από τον άνεμο ή το νερό, επί τόπου ή μακριά του τόπου αυτού:	-	-	-
στ) αλλαγές στην εναπόθεση ή διάβρωση της άμμου των ακτών ή αλλαγές στη δημιουργία λάσπης, στην εναπόθεση ή διάβρωση που μπορούν να αλλάξουν την κοίτη ενός ποταμού ή ρυακιού ή τον πυθμένα της θάλασσας ή οποιουδήποτε κόλπου, ορμίσκου ή λίμνης:	-	-	-
ζ) κίνδυνο έκθεσης ανθρώπων ή περιουσιών σε γεωλογικές καταστροφές όπως σεισμοί, κατολισθήσεις εδαφών ή λάσπης, καθιζήσεις ή παρόμοιες καταστροφές:	-	-	-
<b>2. ΑΕΡΑΣ:</b> Το προτεινόμενο έργο θα προκαλέσει:			
α) σημαντικές εκπομπές στην ατμόσφαιρα ή υποβάθμιση της ποιότητας της ατμόσφαιρας:	-	-	-
β) δυσάρεστες οσμές:	-	-	-
γ) αλλαγή των κινήσεων του αέρα, της υγρασίας ή της θερμοκρασίας ή οποιαδήποτε αλλαγή στο κλίμα είτε τοπικά είτε σε μεγαλύτερη έκταση:	-	-	-
<b>3. ΝΕΡΑ:</b> Το προτεινόμενο έργο θα προκαλέσει:			
α) αλλαγές στα ρεύματα, ή αλλαγές στην πορεία ή κατεύθυνση των κινήσεων των πάσης φύσεως επιφανειακών υγρών:	-	-	-
β) αλλαγές στο ρυθμό και την ποσότητα απόπλυσης του εδάφους:	-	-	-
γ) μεταβολές στην πορεία ροής των νερών από πλημμύρες:	-	-	-
δ) αλλαγές στην ποσότητα του επιφανειακού νερού σε			

οποιονδήποτε υδάτινο όγκο:	-	-	-
ε) απορρίψεις υγρών αποβλήτων σε επιφανειακά ή υπόγεια νερά με μεταβολή της ποιότητάς των:	-	-	-
στ) μεταβολή στην κατεύθυνση ή στην παροχή των υπογείων υδάτων:	-	-	-
ζ) αλλαγή στην ποσότητα των υπογείων υδάτων είτε δι' απευθείας προσθήκης νερού ή απόληψης αυτού, είτε δια παρεμποδίσεως ενός υπογείου τροφοδότη των υδάτων αυτών σε τομές ή ανασκαφές:	-	-	-
η) σημαντική μείωση της ποσότητας του νερού, που θα ήταν κατά τα άλλα διαθέσιμο για το κοινό:	-	-	-
θ) κίνδυνο έκθεσης ανθρώπων ή περιουσιών σε καταστροφές από νερό, όπως πλημμύρες ή παλιρροιακά κύματα:	-	-	-
<b>4. ΧΛΩΡΙΔΑ:</b> Το προτεινόμενο έργο θα προκαλέσει:			
α) αλλαγή στην ποικιλία των ειδών ή στον αριθμό οποιωνδήποτε ειδών φυτών (περιλαμβανομένων και δέντρων, θάμνων κλπ.):	-	-	-
β) μείωση του αριθμού οποιωνδήποτε μοναδικών σπανίων ή υπό εξαφάνιση ειδών φυτών:	-	-	-
γ) εισαγωγή νέων ειδών φυρών σε κάποια περιοχή ή παρεμπόδιση της φυσιολογικής ανανέωσης των υπαρχόντων ειδών:	-	-	-
δ) μείωση της έκτασης οποιασδήποτε αγροτικής καλλιέργειας:	-	-	-
<b>5. ΠΑΝΙΔΑ:</b> Το προτεινόμενο έργο θα προκαλέσει:			
α) αλλαγή στην ποικιλία των ειδών ή στον αριθμό οποιωνδήποτε ειδών ζώων (πηγνών, ζώων περιλαμβανομένων των ερπετών, ψαριών και θαλασσινών βενθικών οργανισμών ή εντόμων):	-	-	-
β) μείωση του αριθμού οποιωνδήποτε μοναδικών σπανίων ή υπό εξαφάνιση ειδών ζώων:	-	-	-
γ) εισαγωγή νέων ειδών ζώων σε κάποια περιοχή ή παρεμπόδιση της αποδημίας ή των μετακινήσεων των ζώων:	-	-	-
δ) χειροτέρευση του φυσικού περιβάλλοντος των υπαρχόντων ψαριών ή άγριων ζώων:	-	-	-
<b>6. ΘΟΡΥΒΟΣ:</b> Το προτεινόμενο έργο θα προκαλέσει:			
α) αύξηση της υπάρχουσας στάθμης θορύβου;	-	-	-
β) έκθεση ανθρώπων σε υψηλή στάθμη θορύβου;	-	-	-
<b>7. ΧΡΗΣΗ ΓΗΣ:</b> Το προτεινόμενο έργο θα προκαλέσει			

σημαντική μεταβολή της παρούσας ή της προγραμματισμένης για το μέλλον χρήσης γης;			
<b>8. ΦΥΣΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ:</b> Το προτεινόμενο έργο θα προκαλέσει:			
α) αύξηση του ρυθμού χρήσης/αξιοποίησης οποιουδήποτε φυσικού πόρου;	-	-	-
β) σημαντική εξάντληση οποιουδήποτε μη ανανεώσιμου φυσικού πόρου;	-	-	-
<b>9. ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΑΝΩΜΑΛΩΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ:</b> Το προτεινόμενο έργο ενέχει:			
- κίνδυνο έκρηξης ή διαφυγή επικίνδυνων ουσιών (περιλαμβανομένων, εκτός των άλλων, και πετρελαίου, εντομοκτόνων, χημ. ουσιών ή ακτινοβολίας) σε περίπτωση ατυχήματος ή ανώμαλων συνθηκών;	-	-	-
<b>10. ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ:</b> Το προτεινόμενο έργο θα αλλάξει την εγκατάσταση, διασπορά, πυκνότητα ή ρυθμό αύξησης του ανθρώπινου πληθυσμού της περιοχής ίδρυσης του έργου;	-	-	-
<b>11. ΚΑΤΟΙΚΙΑ:</b> Το προτεινόμενο έργο θα επηρεάσει την υπάρχουσα κατοικία ή θα δημιουργήσει ανάγκη για πρόσθετη κατοικία στην περιοχή ίδρυσης του έργου;	-	-	-
<b>12. ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ/ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ:</b> Το προτεινόμενο έργο θα προκαλέσει:			
α) δημιουργία σημαντικής επιπρόσθετης κίνησης τροχοφόρων;	-	-	-
β) επιπτώσεις στις υπάρχουσες θέσεις στάθμευσης ή στην ανάγκη για νέες θέσεις στάθμευσης;	-	-	-
γ) σημαντική επίδραση στα υπάρχοντα συστήματα συγκοινωνίας;	-	-	-
δ) μεταβολές στους σημερινούς τρόπους κυκλοφορίας ή κίνησης ανθρώπων και / ή αγαθών;	-	-	-
ε) μεταβολές στη θαλάσσια, σιδηροδρομική ή αέρια κυκλοφοριακή κίνηση;	-	-	-
στ) αύξηση των κυκλοφοριακών κινδύνων;	-	-	-
<b>13. ΕΝΕΡΓΕΙΑ:</b> Το προτεινόμενο έργο θα προκαλέσει:			
α) χρήση σημαντικών ποσοτήτων καυσίμου ή ενέργειας;	-	-	-
β) σημαντική αύξηση της ζήτησης των υπάρχουσών πηγών ενέργειας ή απαίτηση για δημιουργία νέων πηγών ενέργειας;	-	-	-
<b>14. ΚΟΙΝΗ ΩΦΕΛΕΙΑ:</b> Το προτεινόμενο έργο θα συντελέσει στην ανάγκη για σημαντικές αλλαγές στους εξής τομείς κοινής ωφέλειας:			

α) ηλεκτρισμός;	-	-	-
β) συστήματα επικοινωνιών;	-	-	-
γ) ύδρευση;	-	-	-
δ) υπονόμους ή σηπτικούς βόθρους;	-	-	-
ε) αποχέτευση νερού βρόχινου;	-	-	-
στ) στερεά απόβλητα και διάθεση αυτών;	-	-	-
<b>15. ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ:</b> Το προτεινόμενο έργο θα προκαλέσει:			
α) δημιουργία οποιουδήποτε κινδύνου ή πιθανότητας κινδύνου για βλάβη της ανθρώπινης υγείας (μη συμπεριλαμβανομένης της ψυχικής υγείας);	-	-	-
β) έκθεση ανθρώπων σε πιθανούς κινδύνους βλάβης της υγείας τους;	-	-	-
<b>16. ΑΙΣΘΗΤΙΚΗ:</b> Το προτεινόμενο έργο θα προκαλέσει παρεμπόδιση οποιασδήποτε θέας του ορίζοντα ή οποιασδήποτε κοινής θέας ή θα καταλήξει στη δημιουργία ενός μη αποδεκτού αισθητά τοπίου, προσιτού στην κοινή θέα;			
<b>17. ΑΝΑΨΥΧΗ:</b> Το προτεινόμενο έργο θα έχει επιπτώσεις στην ποιότητα ή ποσότητα των υπάρχουσών δυνατοτήτων αναψυχής;			
<b>18. ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΗ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑ:</b> Το προτεινόμενο έργο θα καταλήξει σε αλλαγή ή καταστροφή κάποιας αρχαιολογικής περιοχής;			
<b>19. ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ:</b> Το προτεινόμενο έργο βρίσκεται σε προστατευτέα περιοχή σύμφωνα με το άρθρο 21 του Ν. 1650/86;			
<b>20. ΣΥΝΑΓΩΓΗ ΣΗΜΑΝΤΙΚΩΝ ΠΟΡΙΣΜΑΤΩΝ:</b> Έχει το υπό εκτέλεση έργο τη δυνατότητα να προκαλέσει δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον; Στην περίπτωση καταφατικής απαντήσεως ("ναι") ή καταφατικής απαντήσεως με επιφύλαξη ("ίσως"), το ερωτηματολόγιο συνοδεύεται από:			
α) Τις πιθανές σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον (π.χ. είδη και ποσότητες εκπεμπόμενων ρύπων, επιπτώσεις στη χλωρίδα, την πανίδα και το τοπίο της περιοχής του έργου).			
β) Τεχνική περιγραφή των προτεινομένων μέτρων πρόληψης και αντιμετώπισης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.			
γ) Περιγραφή των τυχόν υφισταμένων εναλλακτικών λύσεων.			