



Πανεπιστήμιο Δυτικής  
Αττικής  
Τμήμα Πολιτικών  
Μηχανικών



Πρόγραμμα  
Μεταπτυχιακών Σπουδών

Εφαρμοσμένες Πολιτικές και Τεχνικές  
Προστασίας Περιβάλλοντος (Ε.Π.Τ.Ε.Π.Π.)



Ευρωπαϊκό  
Πανεπιστήμιο Κύπρου  
Τμήμα Διοίκησης,  
Διαχείρισης και  
Μάρκετινγκ

## ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Δημιουργία Προγράμματος Υπολογισμού,  
διαστασιολόγησης και κοστολόγησης για λίμνες  
σταθεροποίησης

Επιμέλεια: Βάνγκιους Σούτα

Επιβλέπων: Δρ Δημήτριος Ε. Αλεξάκης, Αναπληρωτής Καθηγητής

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΝΙΟΣ - 2021

**ΤΙΤΛΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ: Δημιουργία Προγράμματος Υπολογισμού,  
διαστασιολόγησης και κοστολόγησης για λίμνες σταθεροποίησης**

Επιβλέπων καθηγητής: Αλεξάκης Δημήτριος

Συνεπιβλέπων Καθηγητής:

Η Τριμελής Επιτροπή

Γεώργιος Βαρελίδης

Δημήτριος Αλεξάκης,

Σινιόρος Παναγιώτης

### **ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Βάνγκιους Σούτα. Του Χριστάκη, με αριθμό μητρώου 133 φοιτητής του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Εφαρμοσμένες Πολιτικές και Τεχνικές Προστασίας Περιβάλλοντος» του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών

**B. ΣΟΥΤΑ**



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ .....	4
ΕΙΚΟΝΕΣ.....	6
ΠΙΝΑΚΕΣ.....	6
ΣΧΗΜΑΤΑ.....	7
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	8
ABSTRACT .....	9
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	10
1.1 Η σημασία της επεξεργασίας των υγρών αστικών αποβλήτων .....	10
1.1.3.1 Σύγχρονη εποχή.....	15
1.2 Ορισμός και χαρακτηριστικά των αστικών λυμάτων .....	16
1.2.1 Ορισμός αστικών λυμάτων .....	16
1.2.2 Επεξεργασία λυμάτων.....	17
1.2.3 Προέλευση και είδη .....	17
1.3 Χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων.....	18
1.4 Στερεά συστατικά υγρών αποβλήτων .....	20
1.5 Οργανικά συστατικά .....	22
1.6 Ορισμός BOD.....	23
1.7 Ορισμός COD.....	24
1.8 Άζωτο .....	25
1.9 Φωσφόρος .....	25
1.10 Θερμοκρασία.....	26
1.11 pH και αλκαλικότητα .....	27
1.12 Χλωριούχα.....	27
1.13 Ενώσεις του θείου .....	28
1.14 Τοξικά συστατικά – βαρέα μέταλλα .....	28
1.15 Λάσπη .....	28
1.16 Ρυπαντική σύσταση λυμάτων.....	29
1.17 Επεξεργασία υγρών αποβλήτων .....	30
1.18 Φυσικά συστήματα επεξεργασίας - Λίμνες σταθεροποίησης .....	32
1.18.1 Τα Συστήματα Λιμνών Σταθεροποίησης (wastewater stabilization ponds systems - WSP).....	34
1.18.2 Λειτουργία λιμνών σταθεροποίησης και απομάκρυνση ρύπων ..	35

1.18.3	Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα λιμνών σταθεροποίησης .....	36
1.18.4	Βασικές Αρχές Λειτουργίας .....	38
1.18.4.1	Αναερόβιες λίμνες .....	39
1.18.4.2	Επαμφοτερίζουσες λίμνες .....	41
1.18.4.3	Λίμνες ωρίμανσης .....	44
1.18.4.4	Σχεδιασμός αναερόβιας λίμνης .....	45
2.	Μεθοδολογία κατασκευαστικά στοιχεία λιμνών σταθεροποίησης .....	48
2.1	Αναερόβιες Δεξαμενές. ....	49
2.2	Επαμφοτερίζουσες δεξαμενές .....	51
2.3	Δεξαμενές ωρίμανσης .....	54
2.4	Κόστος λιμνών σταθεροποίησης .....	56
3.	Αποτελέσματα .....	58
3.1	Παρουσίαση της λογικής προσομοίωσης ενός μαθηματικού προβλήματος στο MATLAB .....	58
3.2	Βασικές εντολές .....	60
3.2.1	Η εντολή input .....	60
3.2.2	Η εντολή display .....	60
3.3	Παρουσίαση των αλγορίθμων που κατασκευάστηκαν στην εργασία .....	60
4.	Συμπεράσματα .....	65
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: Ο ΚΩΔΙΚΑΣ MATLAB .....	66
❖	ΕΠΑΜΦΟΤΕΡΙΖΟΥΣΕΣ ΛΙΜΝΕΣ .....	66
❖	ΛΙΜΝΕΣ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ .....	69
❖	ΒΑΚΤΗΡΙΑ ΠΕΡΙΤΤΩΜΑΤΩΝ .....	71
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΠΗΓΕΣ .....	72
	ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	73

## **ΕΙΚΟΝΕΣ**

Εικόνα 1.2: ο νεολιθικός οικισμός Skara brae – Σκωτία (Εκπα, 2003) .....	10
Εικόνα 1.2: Οι Βικτοριανοί υπόνομοι του Μπράιτον – Αγγλία, (Εκπα, 2003).....	12
Εικόνα 2.1: Διατάξεις των λεκανών σταθεροποίησης των λυμάτων .....	47
Εικόνα 3.1: Αποτέλεσμα του προαναφερθέντος συνόλου μαθηματικών πράξεων (Λογισμικό MATLAB έκδοση 7.7.0, E2008b) .....	56

## **ΠΙΝΑΚΕΣ**

Πίνακας 1.4.1 : Κατάταξη και σειρά μεγέθους σωματιδίων στα υγρά απόβλητα (Βλυσίδης, 2007) .....	19
Πίνακας 1.16: Τυπική Σύσταση Βιομηχανικών και Αστικών Λυμάτων (Αυλωνίτης 2013) .....	27
Πίνακας 1.18.4.: Ογκομέτρηση φόρτισης( Mara and Pearson, 1986) .....	44
Πίνακας 2 : Χαρακτηριστικά των δεξαμενών σταθεροποίησης (Reed et al., 1995)...	46

## ΣΧΗΜΑΤΑ

Σχήμα 1.3.1 : Ταξινόμηση υγρών απόβλητων με βάση τα φυσικά χαρακτηριστικά και τη σύσταση τους. (Βλυσίδης, 2007).....	17
Σχήμα 1.3.2: Χαρακτηριστισμός αποβλήτων.....	18
Σχήμα 1.4.2 Διαχωρισμός και ανάλυση κατά κατηγορίες των στερεών που περιέχονται στα υγρά απόβλητα (Βλυσίδης, 2007).....	20

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, αποσκοπεί στη διερεύνηση θεμάτων σχετικά με τις λίμνες σταθεροποίησης. Συγκεντρώθηκαν βιβλιογραφικά δεδομένα, κατασκευαστικά στοιχεία και στοιχεία για τις διαδικασίες υπολογισμού, διαστασιολόγησης και κοστολόγησής τους, και δημιουργήθηκε αλγόριθμος σε γλώσσα προγραμματισμού MATLAB.

Ο αλγόριθμος μπορεί να χρησιμοποιεί δεδομένα εισόδου από τον χρήστη και στη συνέχεια να υπολογίζει διαστάσεις και να κοστολογεί μια γενική περίπτωση λίμνη σταθεροποίησης.

Ενδεικτική μέθοδος υπολογισμού μιας λίμνης σταθεροποίησης, είναι αυτή των McGarry and Pescod αλλά στην εργασία θα συζητηθούν πλεονεκτήματα, μειονεκτήματα και τυχόν περιορισμοί της μεθόδου αυτής.

Ο αλγόριθμος παρατίθεται στο παράρτημα της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας.

**ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ** : *συστήματα λιμών σταθεροποίησης, απόβλητα, matlab, περιβάλλον.*



## **ABSTRACT**

The present dissertation aims to investigate issues related to stabilisation ponds.

Literature data, data from construction, calculation, dimensioning and cost evaluation processes were collected and an algorithm was created in MATLAB programming language.

The algorithm can use user inputs and then calculate dimensions and the cost of a general stabilization pond case.

An indicative method for the calculation of a stabilisation pond is that of McGarry and Pescod, but in the present work advantages, disadvantages and limitations of this method are discussed.

The algorithm is presented in the appendix of this dissertation.

**KEY WORDS:** *wastewater stabilization ponds systems, wastes, Matlab, Environment.*

# 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Η σημασία της επεξεργασίας των υγρών αστικών αποβλήτων

Από τότε που οι άνθρωποι άρχισαν να συγκροτούν κοινότητες υπήρχαν προβλήματα λόγω της πληθυσμιακής συμφόρησης. Από την αρχαιότητα η ρύπανση (στερεά και υγρά αστικά απόβλητα) λόγω των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων αποτελούσε σοβαρό πρόβλημα (ΕΚΠΑ, 2003).

Το αποτελεσματικό αποχετευτικό σύστημα ήταν ανέκαθεν ο μεγάλος πονοκέφαλος της ανθρωπότητας, από τη στιγμή δηλαδή που σταματήσαμε να ζούμε σαν νομάδες και είπαμε να φτιάξουμε οργανωμένες κοινότητες.

Κάθε εξέλιξη μάλιστα λογιζόταν ορόσημο εκσυγχρονισμού και αποφασιστικός παράγοντας για την αύξηση του πληθυσμού, μετατρέποντας τους προϊστορικούς οικισμούς σε σοφιστικές πόλεις. (ΕΚΠΑ, 2003).

Οι αρχαιολόγοι συνεχίζουν εξάλλου να εντυπωσιάζονται από τα πρωτοποριακά αποχετευτικά συστήματα που φέρνουν στο φως μέσα στα συντρίμια πανάρχαιων πολιτισμών (ΕΚΠΑ, 2003).

Είναι γνωστό ότι η παλιότερη και ευκολότερη λύση ήταν η διοχέτευση των λυμάτων στο κοντινότερο σώμα νερού. Η διαδικασία διευκολύνθηκε καθοριστικά από τον πρώτο πήλινο αποχετευτικό αγωγό που εμφανίστηκε στη Βαβυλώνα ήδη από το 4000 π.Χ. Άλλοι λαοί της Μεσοποταμίας

χρησιμοποιούσαν καταβόθρες διαφόρων μεγεθών και κάποιες από αυτές συνδέονταν σε ένα κεντρικό σύστημα (ΕΚΠΑ, 2003).

Υπάρχουν ακόμα και αρχαιολογικές ενδείξεις για περίπλοκα συστήματα τουαλετών και αγωγών παντού στον κόσμο, από τη Σκωτία και τη Ρώμη μέχρι την Αίγυπτο και το Πακιστάν. Μετά την εντυπωσιακή αυτή αρχή, ο αποχετευτικός σχεδιασμός εξελίχθηκε ακόμα περισσότερο, μιας και πλέον είχε να λάβει υπόψη του μεγαλύτερους πληθυσμούς αλλά και πρωτόγνωρους κινδύνους για την υγεία του κόσμου από την πλημμυλή επεξεργασία των λυμάτων (ΕΚΠΑ, 2003).

Για παράδειγμα στο Λονδίνο, το 1858 υπήρχε μεγάλο και δύσοσμο πρόβλημα, λόγω των τεράστιων ποσοτήτων περιττωμάτων που χωρίς καμία επεξεργασία κατέληγαν στον ποταμό Τάμεση. Λύση στο πρόβλημα έδωσε ένας πολιτικός μηχανικός που σχεδίασε την κατασκευή ενός δικτύου διασυνδεδεμένων αγωγών που θα χυνόταν στα περίχωρα της μητρόπολης, ένα σύστημα που είναι ακόμα και σήμερα σε χρήση (ΕΚΠΑ, 2003).

Παρακάτω παρουσιάζονται σημαντικοί σταθμοί στην εξέλιξη του αποχετευτικού συστήματος, όπως αυτές εμφανίστηκαν σε διάφορες γωνιές του πλανήτη.

### 1.1.1 Οι νεολιθικές τουαλέτες του Skara Brae - Σάντγουικ, Σκωτία

Ο μικρός νεολιθικός οικισμός των σκωτσέζικων ακτών, ο οποίος παραμένει ένας από τους πιο καλοδιατηρημένους της Ευρώπης, εντυπωσιάζει τους ειδικούς ακόμα και σήμερα με το επίπεδο της καθαριότητάς του. Στην περιοχή Skara Brae (Σκωτία) υπάρχει ένα από τα παλιότερα γνωστά αποχετευτικά συστήματα του πλανήτη που χρονολογείται μεταξύ 3100-2500 π.Χ. (Εικόνα 1.1.) ( ΕΚΠΑ, 2003)



**Εικόνα 1.1 :** Ο νεολιθικός οικισμός Skara Brae-Σκωτία ( ΕΚΠΑ, 2003)

Τα σπίτια διέθεταν τουαλέτες με αποχετεύσεις εντοιχισμένες στους εξωτερικούς τοίχους, την ίδια ώρα που υπήρχαν ακόμα και δίκτυα (υδρορροές) στις στέγες μέσω των οποίων τα βρόχινα νερά και τα υγρά απόβλητα κατέληγαν στον ωκεανό. Λόγο του βάθους που βρίσκονται οι συγκεκριμένοι αγωγοί, οι αρχαιολόγοι υποθέτουν ότι το αποχετευτικό

σύστημα προϋπήρχε του χτισίματος των, στέλνοντας την πολεοδομική οργάνωση σε νέα ύψη (ΕΚΠΑ,2003).

Είναι ξεκάθαρο ότι αυτή η αρχαία φυλή εκτιμούσε πολύ την υγιεινή, γι' αυτό και έφτιαξε αυτό που ήταν πιθανότατα το πιο σύγχρονο αποχετευτικό σύστημα του καιρού(ΕΚΠΑ,2003).

### **1.1.2 Ο Μεγάλος Υπόνομος της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας - Ρώμη, Ιταλία**

Στο Ανάκτορο της Κνωσού διέθεταν δίκτυο αποχέτευσης βρόχινων νερών και υγρών αποβλήτων (1950-1500 π.Χ.), με κατάληξη στον χείμαρρο Καίρατο. Στην Ακρόπολη της Αθήνας έχουν βρεθεί κομμάτια αγωγών από ψημένο πηλό, ήδη από τον 6ο αιώνα π.Χ. είχε κατασκευαστεί ο καινοτόμο αποχετευτικό σύστημα το οποίο ονομάστηκε «Cloaca Maxima» (Μεγάλος Υπόνομος) και η αρχική του χρήση ήταν η αποστράγγιση των βάλτων ώστε να χτιστεί η Ρωμαϊκή Αγορά. Αργότερα επεκτάθηκε όμως ώστε να μεταφέρει τα ανθρώπινα λύματα από τα δημόσια λουτρά και τις τουαλέτες. Έντεκα υδραγωγεία ήταν συνδεδεμένα στο ευρή σύστημα που ήταν το πιο σύγχρονο της εποχής (ΕΚΠΑ,2003).

Χαρακτηριστικό είναι εδώ το γεγονός πως το θαύμαζε εξίσου και ο Πλίνιος ο Πρεσβύτερος, ο οποίος θαμπώθηκε με την αντοχή και την αποτελεσματικότητα του δικτύου 700 χρόνια αργότερα (ΕΚΠΑ,2003).

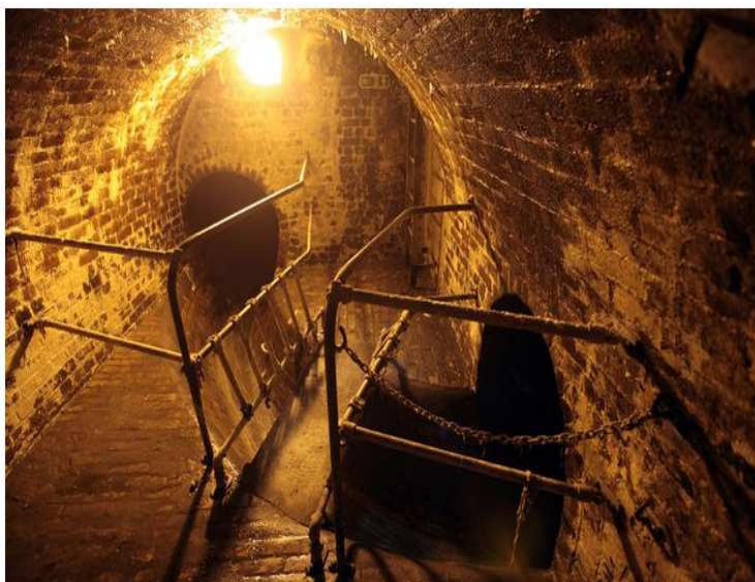
### **1.1.3 Οι Βικτοριανοί Υπόνομοι του Μπράιτον - Μπράιτον, Αγγλία**

Για τους κατοίκους του Λονδίνου, το παραθαλάσσιο Μπράιτον ήταν το κοντινότερο θέρετρο, όπου συνωστίζονταν από τα μέσα του 19<sup>ου</sup> αιώνα οι

Λονδρέζοι, κάτι που έδωσε μεγάλη ώθηση στην ακμή της πόλης. Όσο ο πληθυσμός αυξανόταν όμως, το ίδιο έκαναν και τα απόβλητα (ΕΚΠΑ,2003).

Τα παραθαλάσσια καταλύματα του Μπράιτον ήταν χτισμένα από πορώδη υλικά και τα ακατέργαστα λύματα που βάλτωναν στις καταβόθρες έβρισκαν κάπως τον δρόμο προς τους τοίχους των σπιτιών, ειδικά σε περιόδους βροχής. Κι έτσι στη δεκαετία του 1860 το πράγμα έφτασε στο απροχώρητο, με τους κατοίκους να καλούν οργισμένοι σε επείγουσα λύση. Η λύση ήρθε μεν, αν και όχι αμέσως (ΕΚΠΑ,2003).

το 1874 ο σερ John Hawkshaw σχεδίασε έναν αγωγό από τούβλα ο οποίος είχε μήκος μερικών χιλιομέτρων. Σκοπός του ήταν η απομάκρυνση των λυμάτων του Μπράιτον από την πόλη (Εικόνα 1.2). Ως αποτέλεσμα ήταν ένα υπέροχο δείγμα βικτοριανής κατασκευαστικής δεινότητας, τόσο αποτελεσματικό που λειτουργεί ακόμα και σήμερα αποτελεί το βασικό δίκτυο της πόλης (ΕΚΠΑ,2003).



**Εικόνα 1.2 :** Οι Βικτοριανοί Υπόνομοι του Μπράιτον, Αγγλία (ΕΚΠΑ, 2003).

### 1.1.3.1 Σύγχρονη εποχή

Καθημερινά ο άνθρωπος αντιμετωπίζει προβλήματα με τις επιπτώσεις του περιβάλλοντος εξαιτίας των παρεμβάσεων του σε αυτό. Τέτοια προβλήματα είναι η αύξηση της θερμοκρασίας, λόγω της κλιματικής αλλαγής, η όξινη βροχή, η ρύπανση του εδάφους και του νερού. Αυτά τα προβλήματα προέκυψαν κυρίως εξαιτίας της έλλειψης πρόληψης της ρύπανσης. Λόγο των ανθρώπινων δραστηριοτήτων και ενεργειών παράγονται απόβλητα τα οποία πολλές φορές αποτελούν κίνδυνο για την υγεία των ανθρώπων. Όπως καταλαβαίνουμε , αποτελεί αδήριτη ανάγκη η επεξεργασία των αποβλήτων πριν αυτά καταλήξουν στο έδαφος , το νερό ή τον αέρα. Υγρά απόβλητα είναι τα ύδατα που δημιουργούνται είτε από οικιακές δραστηριότητες, τουαλέτα ακόμα και απόνερα οικιακής χρήσης, είτε από βιομηχανίες, είτε από διάφορες άλλες ανθρώπινες ενέργειες. Επίσης είναι αυτά που στη συνέχεια συλλέγονται στο σύστημα αποχέτευσης του κάθε αστικού κέντρου και καταλήγουν στο χώρο επεξεργασίας τους. Επεξεργασία υγρών αποβλήτων είναι το σύνολο των διεργασιών που έχουν ως αποτέλεσμα να μειώσουν τις αρνητικές επιπτώσεις των υγρών αποβλήτων στον άνθρωπο και το περιβάλλον (ΕΚΠΑ,2003).

## 1.2 Ορισμός και χαρακτηριστικά των αστικών λυμάτων

### 1.2.1 Ορισμός αστικών λυμάτων

**Αστικά λύματα** υπάρχουν στους υπονόμους του αποχετευτικού συστήματος που μεταφέρει τα υγρά απόβλητα μιας ανθρώπινης κοινότητας. Τα αστικά λύματα προέρχονται από σπίτια, εμπορικά καταστήματα, εργοστάσια και από γεωργικές και κτηνοτροφικές ενέργειες (Στασινάκης, 2003).

Τα λύματα είναι ένα θολό υγρό που αποτελείται κατά 99,9% από νερό. Επίσης αποτελείται από σύμπλοκα οργανικά και ανόργανα προϊόντα. Αυτά είναι αιωρούμενα στερεά σωματίδια ή πολύ λεπτομερή στερεά κολλοειδή σωματίδια, ως διαλυμένα συστατικά και ως μικροοργανισμοί. Το οργανικό υλικό που υφίσταται αναερόβια βακτηριακή διάσπαση είναι υπεύθυνο για την άσχημη οσμή και το χρώμα τους. Στα λύματα υπάρχουν οργανικά υλικά που είναι συνήθως χαρτί, κόπρανα, ούρα, σαπουνία και υπολείμματα τροφών. Στα ανόργανα συστατικά τους περιλαμβάνονται άμμος, άργιλος, αμμωνία και άλατα αμμωνίου, που προέρχονται εξαιτίας της διάσπαση των ούρων, των μεταλλικών νιτρικών και άλλων αλάτων (Στασινάκης, 2003).

Με λίγα λόγια, τα αστικά απόβλητα προκαλούνται από τις χρήσεις του νερού που ο άνθρωπος χρησιμοποιεί για να καλύψει τις ανάγκες του. Εξαιτίας ότι τα λύματα περιέχουν πολλά οργανικά θρεπτικά συστατικά, όταν καταλήγουν σε κλειστούς κόλπους, σε 2 λίμνες ή σε αργά κινούμενα ποτάμια, δημιουργούν την ανάγκη για μεγάλες ποσότητες οξυγόνου, για να διασπαστούν αερόβια από βακτήρια ή μύκητες. Όταν υπάρχει αρκετό οξυγόνο για να αποσυντεθούν τα οργανικά συστατικά του νερού, δεν



υπάρχουν δυσοσμία και ιζήματα. Όσο αυξάνονται οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών ουσιών στο νερό, επιταχύνουν την αύξηση των φυτών. Το επιπλέον οργανικό φορτίο για να ανοικοδομηθεί χρειάζεται παραπάνω οξυγόνο, και έτσι δημιουργούνται συνθήκες αναερόβιας διάσπασης και περιβαλλοντικά δυσάρεστες καταστάσεις. Όταν λύματα και νερό συνυπάρχουν, έχουμε ως αποτέλεσμα την μείωση του οξυγόνου, πράγμα που σημαίνει την παύση οποιασδήποτε μορφής ζωής. (Στασινάκης, 2003)

### **1.2.2 Επεξεργασία λυμάτων**

Για να μπορέσει το νερό να χρησιμοποιηθεί στο περιβάλλον προϋπάρχει μία επεξεργασία με την οποία διαχωρίζονται οι επικίνδυνες ουσίες από το νερό στα λύματα. Αυτά μέσω των υπονόμων πάνε σε εγκαταστάσεις καθαρισμού, καθώς επίσης κάποιες φορές χρησιμοποιούνται και ειδικά βυτιοφόρα οχήματα (Στασινάκης, 2003).

### **1.2.3 Προέλευση και είδη**

Όταν λέμε λύματα εννοούμε τα υγρά απόβλητα από τις κατοικίες και τα υγρά αστικά λύματα. (Στασινάκης, 2003). Όταν στα υγρά αστικά απόβλητα περιέχονται και αρκετές ποσότητες υγρών εργοστασιακών λυμάτων τότε ονομάζονται υγρά αστικά απόβλητα. Η απόβληση, η χρήση του μπάνιου και άλλες ανθρώπινες ανάγκες παράγουν τα οικιακά λύματα. Κατά μέσο όρο παράγονται 180 - 300 λίτρα για κάθε άτομο ανά ημέρα. Δημόσια κτήρια και υπηρεσίες, νοσοκομεία κ.λ.π παράγουν τα αστικά λύματα. Το γεγονός ότι

πολλά εργοστάσια ρίχνουν παράνομα τα απόβλητα τους χωρίς καμία επεξεργασία στο αστικό δίκτυο αποχέτευσης καθιστούν δύσκολο να προσδιοριστεί η ποιότητα και η ποσότητα των βιομηχανικών αποβλήτων γιατί μεταβάλλεται συνεχώς (Στασινάκης, 2003).

### **1.3 Χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων**

Τα χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες (Βλυσίδης, 2007) ( *Σχήμα 1.3.1*):

#### ***α) Φυσικά χαρακτηριστικά:***

χρώμα -στερεά - θερμοκρασία - οσμή - διαλυμένο οξυγόνο -θολότητα (ή θολερότητα)

#### ***β) Χημικά χαρακτηριστικά:***

***β.1. Οργανικές ενώσεις*** - υδατάνθρακες - έλαια – φυτοφάρμακα - λιπαντικά - πρωτεΐνες - οργανικό άζωτο (ολικό άζωτο κατά kjeldahl) - παρασιτοκτόνα – φαινολικές ενώσεις - εντομοκτόνα –λίπη – επιφανειακά ενεργές ενώσεις - οργανοχλωρισμένες ενώσεις

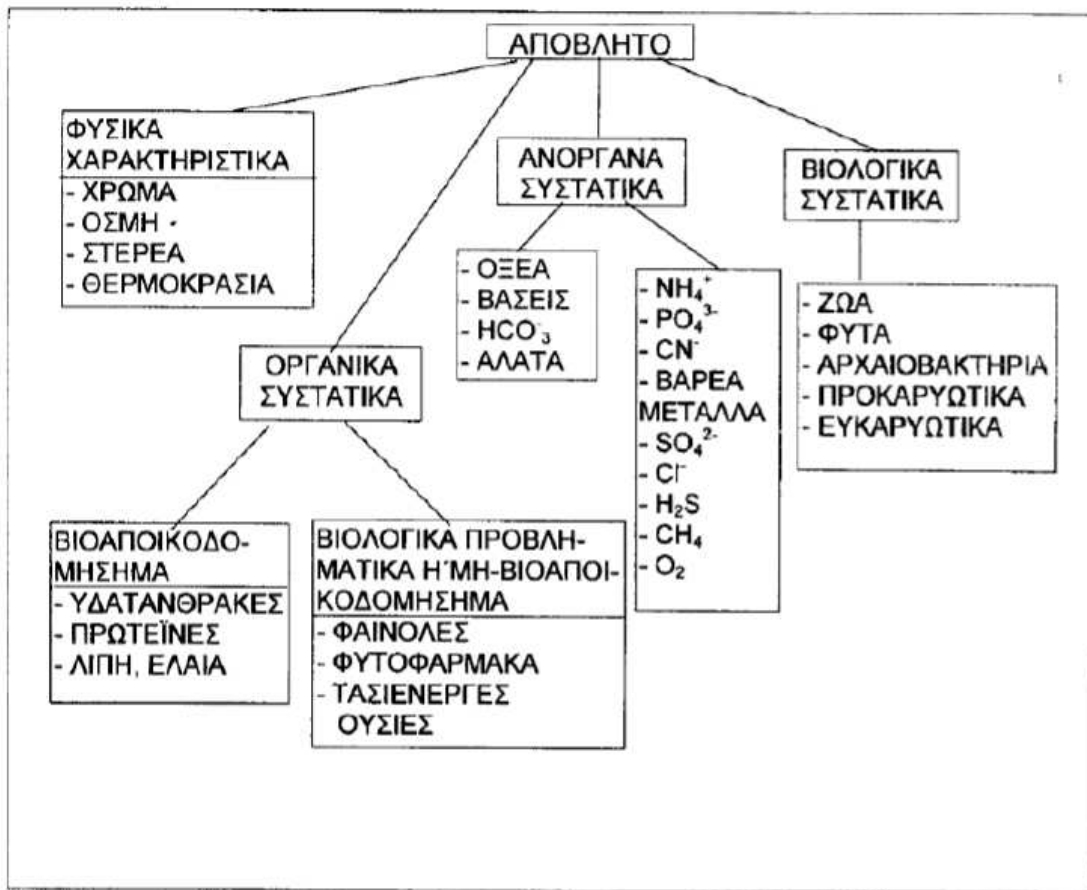
***β.2. Ανόργανες ενώσεις*** - αλκαλικότητα - ολικό θείο – μεταλλικά κατιόντα – χλωροϊόντα - νιτρικά – νιτρώδη - ολικός φώσφορος – τοξικές ενώσεις - φωσφορικά - pH - θειικά – θειώδη - βαρέα μέταλλα - χλώριο (ελεύθερο και δεσμευμένο)

#### ***γ) Μικροβιολογικά χαρακτηριστικά***

- παθογόνοι μικροοργανισμοί δείκτες μικροοργανισμών -

Στην παρακάτω διάταξη βλέπουμε μία ταξινόμηση των υγρών αποβλήτων με

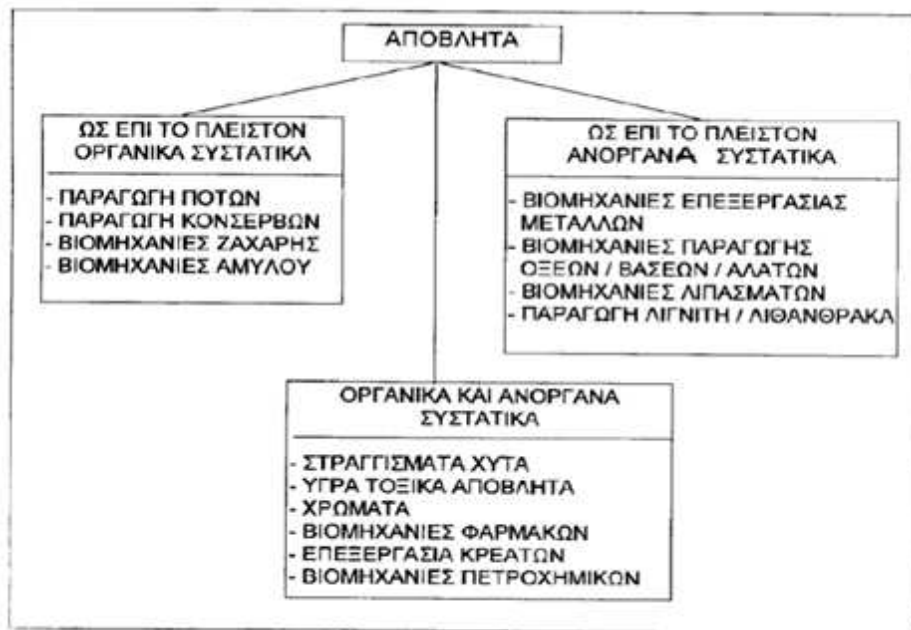
βάση τα φυσικά τους χαρακτηριστικά και την σύστασή τους.



**Σχήμα 1.3.1 :** Ταξινόμηση υγρών απόβλητων με βάση τα φυσικά χαρακτηριστικά και την σύστασή τους (Βλυσίδης, 2007).

Με λίγα επί μέρους συστατικά που συναντάμε σε απόβλητα καταλήγουμε με απλές μεθόδους στο αποτέλεσμα που θέλουμε. Αντίθετα όταν έχουμε απόβλητα με σύνθετη σύσταση απαιτούνται παραπάνω διεργασίες και συνεπώς και μεγαλύτερο κόστος (Βλυσίδης, 2007).

Η κατηγοριοποίηση των λυμάτων παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.3.2



Σχήμα 1.3.2 : Χαρακτηρισμός αποβλήτων ( Βλυσίδης, 2007)

#### 1.4 Στερεά συστατικά υγρών αποβλήτων

Ένα από τα σημαντικότερα φυσικά χαρακτηριστικά των νερών και των υγρών αποβλήτων είναι τα στερεά που εμπεριέχονται σ' αυτά και τα οποία χωρίζονται σε (Βλυσίδης, 2007):

- α) στερεά που αιωρούνται και τα οποία με την πάροδο του χρόνου είτε θα καθιζάνουν είτε θα επιπλεύσουν
- β) στερεά που είναι διαλυμένα
- γ) στερεά που βρίσκονται σε κolloειδή διασπορά και τα οποία για να καθιζάνουν ή να επιπλεύσουν απαιτούν διαδικασίες κροκίδωσης

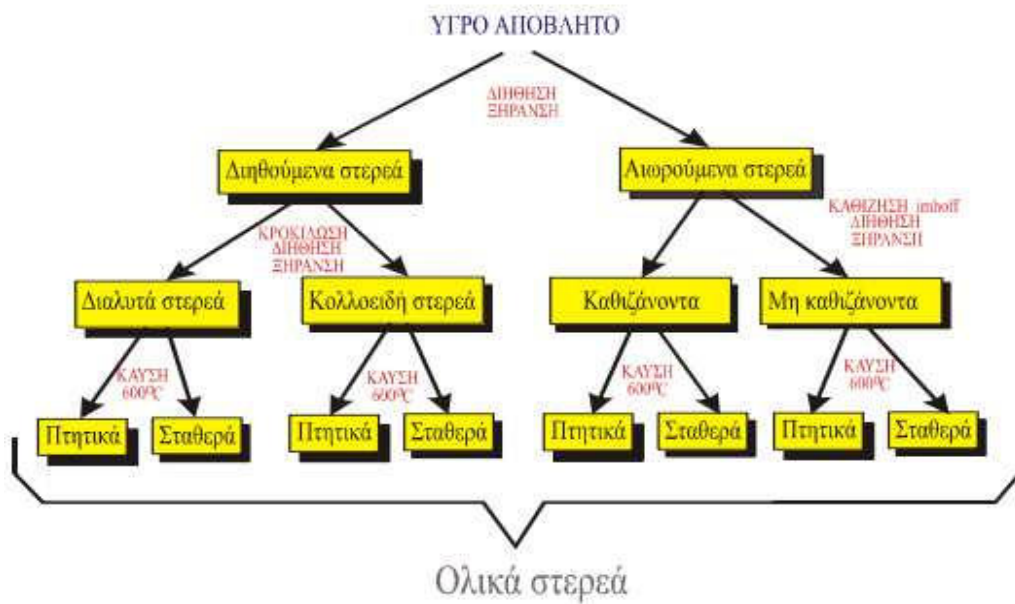
Ονομάζονται ολικά στερεά TS (Total Solids) το στερεό υπόλειμμα ενός υγρού αποβλήτου, το οποίο παραμένει σε θερμοκρασία 103-105°C μετά από εξάτμιση προζυγισμένου δείγματος αποβλήτου και μετράται σε mg/l ή σε % αναλογία (βάρος ανά όγκο). (Βλυσίδης, 2007).

Τα ολικά στερεά υποδιαιρούνται σε αιωρούμενα SS (Suspended Solids) και σε διαλυτά στερεά ή στερεά που δύνανται να διηθηθούν DS (Dissolved Solids) (Βλυσίδης, 2007).

Η κατάταξη και η σειρά μεγέθους των σωματιδίων στα υγρά απόβλητα παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 1.4.1.

**Πίνακας 1.4.1 :** Κατάταξη και σειρά μεγέθους σωματιδίων στα υγρά απόβλητα (Βλυσίδης, 2007)





**Σχήμα 1.4.2:** Διαχωρισμός και ανάλυση κατά κατηγορίες των στερεών που περιέχονται στα υγρά απόβλητα (Βλυσίδης, 2007)

## 1.5 Οργανικά συστατικά

Στα βιομηχανικά απόβλητα καταγράφεται μεγάλος αριθμός οργανικών ενώσεων. Αυτό το αποτέλεσμα προκύπτει λόγω της συνεχής σύνθεσης νέων οργανικών μορίων από την οργανική βιομηχανία τα τελευταία χρόνια. Οι διάφορες οργανικές ουσίες εκτός από τον χημικό χαρακτήρα τους, διαφέρουν σημαντικά και στην ικανότητα τους να οξειδώνονται βιολογικά (δηλαδή να βιοαποικοδομούνται). Οι υδατάνθρακες, οι πρωτεΐνες και τα λίπη ανήκουν στην κατηγορία των βιοαποικοδομήσιμων οργανικών. Η σύσταση των αστικών λυμάτων είναι 40-60% πρωτεΐνες, 25-50% υδατάνθρακες και 10% λιπίδια (Kampragou, 2010).

Όμως υπάρχουν πολλές μεγάλες ποικιλίες οργανικών ουσιών που βιολογικά δεν ανοικοδομούνται. Αποτελούν χαρακτηριστικό παράδειγμα τα αλκυλιωμένα σουλφονικά Βενζένια (ABS) που για αρκετά χρόνια χρησιμοποιούντουσαν σαν επιφανειακά ενεργές ουσίες στα εργοστάσια απορρυπαντικών, δημιουργώντας υπερβολικά προβλήματα ρύπανσης των επιφανειακών υδάτων. Είναι γεγονός ότι τα χλωριωμένα παρασιτοκτόνα για παράδειγμα το DDT έχει μεγάλες ανθεκτικές ενώσεις στην βιολογική αποικοδόμηση, παραμένοντας για ολόκληρους μήνες ή και χρόνια στο νερό.(Kampragou, 2010 ).

Ο υπολογισμός των οργανικών συστατικών ενός αποβλήτου στην πράξη είναι αδύνατη διότι η σύστασής του είναι πολύπλοκη. Οπότε ως μέτρο των οργανικών συστατικών, και γενικότερα του ρυπαντικού φορτίου ενός αποβλήτου, γίνεται χρήση η ποσότητα του οξυγόνου που χρειάζεται για να οξειδώσει εντελώς τα οργανικά συστατικά του. (Kampragou, 2010 ).

## **1.6 Ορισμός BOD**

Το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (Biochemical Oxygen Demand) είναι η παράμετρος για τον οποίο πολλές φορές χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του οργανικού ρυπαντικού φορτίου των αποβλήτων. Ο χρόνος διάρκειας του πειράματος μετριέται συνήθως στις 5 ημέρες (BOD<sub>5</sub>). Το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο, από τους αερόβιους μικροοργανισμούς του περιβάλλοντος ορίζεται η ποσότητα οξυγόνου που καταναλώνεται για την βιοοξείδωση ενός λίτρου αποβλήτου στην θερμοκρασία των 20° C (Kampragou, 2010).

## 1.7 Ορισμός COD

Ως χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD) ορίζεται η ποσότητα οξυγόνου που χρειάζεται για την πλήρη χημική οξείδωση της οργανικής ύλης σε νερό και διοξείδιο του άνθρακα. Η οξείδωση δημιουργείται με ένα δυνατό χημικό οξειδωτικό μέσο σε συνθήκες όξινης και υψηλής θερμοκρασίας παρουσία καταλύτη. Για το σκοπό αυτό το διχρωμικό κάλιο θεωρείται το ιδανικό οξειδωτικό μέσο. Το COD υπολογίζεται από την ποσότητα του διχρωμικού καλίου που χρησιμοποιήθηκε. Το COD τεστ για την μέτρηση του οργανικού φορτίου εργοστασιακών αποβλήτων που έχουν τοξικές ουσίες στην βιολογική ζωή είναι απαραίτητο το COD test. Η τιμή του BOD είναι πάντα χαμηλότερη από αυτή του COD, αφού τις περισσότερες φορές οι ενώσεις μπορούν να οξειδωθούν χημικά αντί βιολογικά. (Kampragou, 2010 )

Η πρακτική σημασία των δύο αυτών παραμέτρων είναι μεγάλη στην μετέπειτα επιλογή του συστήματος καθαρισμού ενός νερού. Έχει δηλαδή ένα νερό μικρό BOD και μεγάλο COD σημαίνει ότι το νερό αυτό μπορεί να καθαριστεί επαρκώς σε ένα σύστημα του βιολογικού καθαρισμού, διότι σε αυτό θα καθαρισθεί μόνο μία μικρή ποσότητα των ρύπων που αντιστοιχεί στην τιμή του BOD. (Kampragou, 2010 )



## 1.8 Άζωτο

Το αέριο άζωτο ( $N_2$ ) περιέχεται στην ατμόσφαιρα σε ποσοστό 79%. Επίσης, συμπεριλαμβάνεται ως συστατικό της αμμωνίας ( $NH_3$ ), των νιτρικών ( $NO_3^-$ ) και νιτρώδων ( $NO_2^-$ ) ιόντων και σε οργανικές ενώσεις, όπως οι πρωτεΐνες χλωροφύλλη κτλ. Οι οργανικές ενώσεις αζώτου είναι δυνατό να μετατραπούν σε αμμωνία από αζωτοβακτηρίδια και παρουσία οξυγόνου σε νιτρικά ιόντα, τα οποία σε αυτή την μορφή παραμένουν στο νερό. Η αυξημένη περιεκτικότητα του νερού σε ενώσεις αζώτου έχει σαν αποτέλεσμα να επικρατήσουν συνθήκες ευτροφισμού και μείωση του διαλυμένου οξυγόνου, όπως επίσης και ανάπτυξη σε άλγη, προσδίδοντας πράσινο χρώμα στο νερό. Όταν στο νερό υπάρχει μεγάλη συγκέντρωση ποσότητας αμμωνία έχει σαν αποτέλεσμα να επικρατήσει τοξικότητα για τα ψάρια. Επιστημονικές έρευνες έχουν δείξει ότι τα νιτρικά ιόντα επιδρούν στα νεαρά ζώα και στον άνθρωπο. Η αιμογλοβίνη προτιμά να συνδέεται με νιτρικά ιόντα αντί με οξυγόνο, και η έλλειψη οξυγόνου προκαλεί μπλε χροιά στο σώμα και σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να επιφέρει και ασφυξία. Από την άλλη πλευρά τα νιτρικά ιόντα αποτελούν τροφή για τα φυτά. (Αυλωνίτης, 2013)

## 1.9 Φωσφόρος

Ο φωσφόρος εμφανίζεται στο νερό με την μορφή των φωσφορικών ιόντων ( $PO_4^{3-}$ ). Χρησιμοποιείται εκτεταμένα ως συστατικό των λιπασμάτων, αλλά περιέρχεται και σε απόβλητα των ζώων και των ανθρώπων. Από τις γεωργικές καλλιέργειες μέσω βροχοπτώσεων, διαλύεται και μεταφέρεται στο

νερό, επιφανειακό ή υπόγειο, καθώς και τα λύματα. Αν και ο φωσφόρος δεν είναι τοξικός, έμμεσα μέσω συνθηκών ευτροφισμού, σε αυξημένες συγκεντρώσεις μπορεί να προκαλεί σοβαρά προβλήματα στα οικοσυστήματα. ( Αυλωνίτης, 2013)

### **1.10 Θερμοκρασία**

Η θερμοκρασία του νερού είναι ίσως η κυριότερη παράμετρος αφού επηρεάζει την υδρόβια ζωή, την ταχύτητα των χημικών και βιοχημικών αντιδράσεων και τις συνθήκες παραγωγικής χρήσης. Η αύξηση της θερμοκρασίας των επιφανειακών νερών, προκαλεί αλλαγή στα είδη των ψαριών που υπάρχουν και υποβοηθάει την δημιουργία ανεπιθύμητων υδροβίων φυτών (φύκια κ.ά.). Επίσης σημαντικό είναι να αναφέρουμε ότι μια απότομη αλλαγή της θερμοκρασίας των επιφανειακών νερών που προκαλείται για παράδειγμα από την εκβολή μεγάλης ποσότητας θερμών εργοστασιακών απορροών, σαν αποτέλεσμα μπορεί να έχει στην υδρόβια ζωή θνησιμότητα. Το οξυγόνο γνωρίζουμε ότι είναι περισσότερο διαλυτό στο κρύο παρά στο ζεστό νερό. Μία απότομη αύξηση της θερμοκρασίας του υδάτινου αποδέκτη, και την παράλληλη αύξηση του ρυθμού εργοστασιακών αντιδράσεων, είναι δυνατόν να προκαλέσει τους καλοκαιρινούς μήνες αυξημένα προβλήματα μείωσης της συγκέντρωσης του οξυγόνου με δυσάρεστα συνακόλουθα αποτελέσματα. τα σοβαρότατα αποτελέσματα της θερμικής ρύπανσης που αναφέραμε πιο πάνω, τα προκαλούν βιομηχανικές εγκαταστάσεις, οι οποίες κάνουν χρήση το επιφανειακό νερό για ψυκτικούς σκοπούς. Η ιδανική θερμοκρασία για τα επιφανειακά νερά που προορίζονται για χρήσεις αναψυχής, δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 30 °C εκτός και

αν προκαλείται από φυσικά φαινόμενα. Η προφύλαξη και διατήρηση των θαλασσίων οργανισμών απαιτεί όπως η προσθήκη θερμότητας τεχνητής προέλευσης στα παράκτια νερά να μη προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας τους πάνω από 2.5 °C για τους μήνες από Σεπτέμβριο μέχρι Μάιο και 1°C για τους καλοκαιρινούς μήνες. (Malmsten, 2010)

### **1.11 pH και αλκαλικότητα**

pH: Το μέτρο της οξύτητας ή της αλκαλικότητας των υγρών αποβλήτων.

Αλκαλικότητα: (  $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} + \text{OH}^- - \text{H}^+$  ) Το μέτρο της ρυθμιστικής ικανότητας των υγρών αποβλήτων (της ικανότητάς τους να εξουδετερώνουν οξέα) ( Malmsten, 2010).

### **1.12 Χλωριούχα**

Τα χλωριούχα που πιθανόν να περιέχουν τα υγρά απόβλητα, είναι μία παράμετρος για την εκτίμηση της ποιότητας της επεξεργασμένης εκροής, ειδικά για την επαναχρησιμοποίηση για γεωργική χρήση (άρδευση).

(Αυλωνίτης, 2013)

### **1.13 Ενώσεις του θείου**

Οι ενώσεις του θείου είναι μία παράμετρος για την εκτίμηση της πιθανότητας δημιουργίας οσμών και για την εκτίμηση της «επεξεργασιμότητας» της ιλύος. (Αυλωνίτης, 2013)

### **1.14 Τοξικά συστατικά – βαρέα μέταλλα**

Τα μέταλλα που πιθανόν να υπάρχουν στα υγρά απόβλητα είναι: *Ca, Na, Mg, K, Cr, Co, Cu, Hg, Pb, Cd, Fe, Mo, Ni, As, Se, Zn*.

Ο προσδιορισμός της περιεκτικότητας των υγρών αποβλήτων σε μέταλλα είναι απαραίτητος ώστε να γίνει η εκτίμηση της καταλληλότητας της εκροής για την επαναχρησιμοποίησή τους. Ωστόσο ίχνη ορισμένων μετάλλων είναι απαραίτητα και για μερικές βιολογικές διεργασίες. (Αυλωνίτης, 2013)

### **1.15 Λάσπη**

Δεν αποτελεί τόσο σοβαρό πρόβλημα σε μικρές εγκαταστάσεις η διάθεση της των συμπυκνωμένων ρύπων και της λάσπης. Στις μεγάλες όμως εγκαταστάσεις των μητροπολιτικών περιοχών οι τεράστιες ποσότητες λάσπης και τα δυσμενή ποιοτικά χαρακτηριστικά της, καθιστούν επιβαρυντικό το πρόβλημα της επεξεργασίας και της τελικής διάθεσης. Οι πρακτικές όπως υποβρύχιος αγωγός μεγάλου μήκους ή με ειδικές φορηγίδες για την διάθεση της λάσπης σε ανοιχτή θάλασσα δεν αποτελούν ευνοϊκές μεθόδους για αυτό η προτιμότερη διαδικασία είναι, αυτή της αφυδάτωσης και η υγειονομική ταφή, καύση ή διάθεση σαν λίπασμα, με την προϋπόθεση ότι θα

απομακρυνθούν οι τοξικές ουσίες για το έδαφος και τις καλλιέργειες. (Malmsten, 2010).

### 1.16 Ρυπαντική σύσταση λυμάτων

Είναι γεγονός και αποδεδειγμένο ότι η ρυπαντική τους σύσταση και η ποσότητα των λυμάτων, μεταβάλλεται σημαντικά καθ' ολη τη διάρκεια της ημέρας. Όμως ένα μέσο εύρος της ρυπαντικής σύστασης τόσο των αστικών όσο και των βιομηχανικών λυμάτων, παρουσιάζεται στον Πίνακα 1.16 (Στασινάκης, 2003).

**Πίνακας 1.16** :Τυπική σύσταση βιομηχανικών και αστικών λυμάτων ( Στασινάκης, 2003)

Προέλευση αποβλήτων	Συγκέντρωση BOD (kg/ton προϊόντος)	Συγκέντρωση TSS (kg/ton προϊόντος)
Αστικά λύματα	0,025 (kg/day/ατομο)	0,022 (kg/day/ατομο)
Βιομηχανία γάλακτος	5,3	2,2
Βιομηχανία Ζυμαρικών	125	18,7
Βιομηχανία Ζάχαρης	13,4	9,7
Βιομηχανία κονσερβοποίησης φρούτων και λαχανικών	12,5	4,3
Υφαντουργία – Βιομηχανία Υφασμάτων	30-314	55-196
Χαρτοβιομηχανία	4-130	11,5-26
Βιομηχανία ποτών	2,5-220	1,3-155

### 1.17 Επεξεργασία υγρών αποβλήτων

Η μέθοδος επεξεργασία αποβλήτων, είναι η διαδικασία που διαχωρίζει από το νερό, τις επικίνδυνες ουσίες και τα απόβλητα, ώστε το νερό να μπορεί να χρησιμοποιηθεί στον αποδέκτη. Έρευνα που έχει γίνει με θέμα επεξεργασία και παρακολούθηση του νερού, μας παρουσιάζουν πολλές απόψεις επί του θέματος, ωστόσο η επικρατέστερή πρόταση είναι η επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων αποβλήτων ως νερό ψύξης σε βιομηχανίες. Η πρακτική επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης νερών που προκύπτουν από την επεξεργασία των αποβλήτων είναι σχετικά πρόσφατη στην χώρα μας. Η απαιτούμενη ολοκληρωμένη διαχείριση των υγρών αποβλήτων είναι απαραίτητο να έχει διαδικασίες, όπως την συλλογή, την επεξεργασία και τη διάθεσή τους.

Με το αποχετευτικό σύστημα μιας πόλης, συλλέγονται τα υγρά απόβλητα αλλά και εισροές από υπόγεια ή επιφανειακά νερά. Ενδοχομένως να δέχεται και εργοστασιακά απόβλητων τα οποία έχουν υποστεί κάποιου είδους προεπεξεργασία. Το αποχετευτικό συστήματα καταλήγει σε έναν Κεντρικό Αποχετευτικό Αγωγό (Κ.Α.Α.) ο οποίος καταλήγει σε μια Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων (Ε.Ε.Λ.) εκεί τα λύματα υφίστανται επεξεργασία με σκοπό τη δέσμευση και την εξουδετέρωση των ανεπιθύμητων συστατικών τους. Πολλές φορές στις Ε.Ε.Λ. καταλήγουν και βοθρολύματα (Λέκκας, 2010).

Η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων συμβάλλει στην προστασία του περιβάλλοντος, τις δυσμενείς επιπτώσεις στους αποδέκτες και διαφυλάσσει την οικολογική ισορροπία. Οι τεχνικές ως φυσικές διεργασίες είναι μέθοδοι

επεξεργασίας με φυσικές δυνάμεις, ενώ οι μέθοδοι κατά τις οποίες η απομάκρυνση των ρυπογόνων ουσιών επιτυγχάνεται με χημικές και βιολογικές αντιδράσεις είναι γνωστές ως χημικές και βιολογικές διεργασίες. (Λέκκας, 2010)

Τα κύρια στάδια της επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων είναι τα εξής: (Λέκκας, 2010).

- Προ επεξεργασία, κατά την διαδικασία αυτού του σταδίου γίνεται η απομάκρυνση των υλικά όπως πανιά, ξύλο, πλαστικά, χαλίκια, άμμος, λάδια και λίπη τα οποία προκαλούν ζημιές στο ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό της εγκατάστασης και προβλήματα στη συντήρηση και τη λειτουργία της Ε.Ε.Λ.
- Πρωτοβάθμια επεξεργασία, κατά την διαδικασία αυτού του σταδίου γίνεται η απομάκρυνση των οργανικών και ένα μέρος των αιωρούμενων στερεών ουσιών. Αυτό πραγματοποιείται με το φυσικό φαινόμενο της καθίζησης.
- Δευτεροβάθμια επεξεργασία, κατά την διαδικασία αυτού του σταδίου γίνεται η απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών και των βιοαποικοδομήσιμες οργανικές ουσίες με χρήση βιολογικών και χημικών διεργασιών. Διευκρινίζουμε ότι η απολύμανση περιλαμβάνεται στον τυπικό ορισμό της συμβατικής δευτεροβάθμιας επεξεργασίας.
- Τριτοβάθμια επεξεργασία, κατά την διαδικασία αυτού του σταδίου γίνεται η απομάκρυνση των υπολειμμάτων από την δευτεροβάθμια επεξεργασία αιωρούμενων ουσιών , και επιτυγχάνεται με την μέθοδο της διήθησης.
- Προχωρημένη επεξεργασία, κατά την διαδικασία αυτού του σταδίου γίνεται η απομάκρυνση των διαλυμένων αλλά και των αιωρούμενων ουσιών που έχουν παραμένουν στα απόβλητα, μετά την βιολογική επεξεργασία, όταν το νερό θέλουμε να το επαναχρησιμοποιήσουμε σε διάφορες άλλες εφαρμογές .

Η μέθοδος της επεξεργασία αυτής επιτυγχάνεται σε συνδυασμό των φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών. Συνήθως περιλαμβάνει διήθηση, χρήση μεμβρανών, αντίστροφη ώσμωση, προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα ή ιοντοεναλλαγή.

- Απολύμανση, κατά την διαδικασία αυτού του σταδίου γίνεται η απολύμανση του νερού και εξουδετέρωση παθογόνων μικροοργανισμών, με χρήση χλωρίου ή ακτινοβολίας. (Λέκκας, 2010).

. Το 1930 και μετά ξεκίνησε στην Ευρώπη η κατασκευή των πρώτων Ε.Ε.Λ.. Στην εποχή μας διαθέτουμε υπερσύγχρονα δίκτυα αποχέτευσης τα οποία ξεκίνησαν να κατασκευάζονται στην Ευρώπη περίπου πριν από 100 χρόνια. Να σημειωθεί ότι και σε όλες σχεδόν τις πόλεις της Ελλάδας έχουν κατασκευαστεί σύγχρονες Ε.Ε.Λ., οι οποίες περιλαμβάνουν πολλά στάδια επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και κάθε στάδιο επεξεργασίας περιλαμβάνει περισσότερες από μια διεργασίες (ΕΚΠΑ,2003).

### **1.18 Φυσικά συστήματα επεξεργασίας - Λίμνες σταθεροποίησης**

Από το 1880 χρονολογείται η μέθοδος των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας. Η πρώτη προσπάθεια ελέγχου και περιορισμού της υδατικής ρύπανσης έλαβε χώρα στην Ευρώπη, στην Αμερική και σε άλλες χώρες με την ανάπτυξη και εφαρμογή της “γεωργική εκμετάλλευση λυμάτων” (sewage farming).

Αυτά τα συστήματα αντικαταστάθηκαν, στα μέσα του 20<sup>ου</sup> αιώνα. Η επεξεργασία γινόταν σε επιτόπια συστήματα, είτε με ειδικές γεωργικές εκμεταλλεύσεις, είτε τα επεξεργασμένα απόβλητα τα χρησιμοποιούσαν για



φυτική παραγωγή, είτε για άρδευση διαφόρων περιβαλλόντων και κοινοχρήστων χώρων, είτε για εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων. Η εκμετάλλευση των φυσικών συστημάτων με στόχο το έδαφος έχει αλλάξει, λόγω της έμφασης που δίδεται στην επαναχρησιμοποίηση του νερού, λόγω της ανακύκλησης των θρεπτικών στοιχείων, επίσης και λόγω της έμφασης στην χρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων για την άρδευση γεωργικές καλλιεργειών. Ταυτόχρονα, άρχισε να δίνεται οικονομική υποστήριξη για ερευνητικά προγράμματα και αναπτυξιακά προγράμματα τεχνολογίας στα συστήματα φυσική επεξεργασίας, το οποίο οδήγησε στην στην ισότιμη αναγνώρισή τους, ως τεχνικής διαχείρισης στον τομέα της μηχανικής υγρών αποβλήτων. Τα πιο πρόσφατα επιτεύγματα αφορούν τα φυσικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, είναι οι λεγόμενοι τεχνητοί υγροβιότοποι. (Λέκκας, 2010).

Τα φυσικά συστήματα επιμερίζονται σε πέντε βασικές κατηγορίες:(Λέκκας, 2010):

1. Τα συστήματα των σηπτικών δεξαμενών ή βόθρων ή επιτόπια συστήματα (septic tanks or on site systems)
2. Τα εδαφικά συστήματα επεξεργασίας λυμάτων (land treatment wastewater systems)
3. Τα συστήματα υδροχαρώνφυτών για την επεξεργασία λυμάτων (aquatic plants treatment systems)
4. Τα συστήματα τεχνητών υγροτόπων επεξεργασίας λυμάτων (wastewater constructed wetlands treatment systems)
5. Τα συστήματα λιμνών (δεξαμενών) σταθεροποίησης για την επεξεργασία λυμάτων (wastewater stabilization ponds systems)

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

Οι λίμνες σταθεροποίησης (WSPs) είναι φυσικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, από τα πιο διαδεδομένα και αποτελούν την καταλληλότερη μέθοδο επεξεργασίας των οικιακών και των δημοτικών απόβλητων στις αναπτυσσόμενες χώρες, με σημαντικό παράγοντα το κλίμα για την καλύτερη αποτελεσματικότητα της λειτουργίας τους. (Λέκκας, 2010). Το κόστος λειτουργίας, των λίμνων σταθεροποίησης είναι χαμηλό, επίσης χαμηλής συντήρησης, εξολοκλήρου φυσική μορφής και με υψηλό επίπεδο βιωσιμότητας. Οι λίμνες φυσικών συστημάτων δεν απαιτούν ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό, μειώνοντας το κόστος σχετικά με την απαιτούμενη συντήρηση και την απαιτούμενη ενέργεια, να σημειωθεί ότι η ενέργεια που καταναλώνεται είναι η ηλιακική ενέργεια. Η μόνη απαίτηση είναι οι μεγάλες εκτάσεις γης σε σύγκριση με τις συμβατικές ηλεκτρομηχανολογικές μεθόδους επεξεργασίας. (Λέκκας, 2010).

Όταν μιλάμε για λίμνες σταθεροποίησης αναφερόμαστε σε ρηχές, ανθρωπογενούς προελεύσεως λίμνες, μέσα στις οποίες πραγματοποιείται η ροή των αποβλήτων και μετά την παραμονή για αρκετό χρόνο, (για κάποιες ημέρες) σε σύγκριση με τα συμβατικά συστήματα όπου ο χρόνος παραμονής είναι της τάξης των μερικών ωρών, και βγαίνει σε ένα καλώς επεξεργασμένο ρεύμα. (Λέκκας, 2010)

### **1.18.2 Λειτουργία λιμνών σταθεροποίησης και απομάκρυνση ρύπων**

Οι λίμνες σταθεροποίησης είναι μεγάλες, ανοιχτές, χωμάτινες, τεχνητές λεκάνες μικρού βάθους, στις οποίες εισρέουν τα υπό επεξεργασία λύματα και από τις οποίες, μετά από παραμονή ορισμένων ημερών, προκύπτει εκροή ικανοποιητικού βαθμού επεξεργασίας. Η απομάκρυνση των οργανικών ουσιών (διαλυμένων ή σε μορφή στερεών) που εισρέουν στις λίμνες, λαμβάνει χώρα με μια σειρά από φυσικοχημικές και βιολογικές διεργασίες που συμβαίνουν στη φύση κατά τη διοχέτευση των αποβλήτων σε υδάτινο περιβάλλον (Λέκκας, 2010).

Οι λίμνες σταθεροποίησης χρησιμοποιούνται διεθνώς για την επεξεργασία οικιακών και βιομηχανικών αποβλήτων. Οι βασικές λειτουργίες τους είναι (Λέκκας, 2010):

- 1.** μείωση BOD
- 2.** μείωση αιωρούμενων στερεών
- 3.** μείωση παθογόνων (κολοβακτηριδίων, αυγών λεβίθων, ιών)
- 4.** αφαίρεση θρεπτικών (αζώτου, φωσφόρου)
- 5.** αφαίρεση βαρέων μετάλλων

### **1.18.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα λιμνών σταθεροποίησης**

Όσον αφορά στα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των λιμνών σταθεροποίησης, σύμφωνα με τον (Λέκκας, 2010) δίνονται όπως ακολουθεί:

#### **Πλεονεκτήματα**

- **Απλότητα**

Η απλότητα στην κατασκευή, στη συντήρησή και στη λειτουργία τους.

- **Κόστος**

Χαμηλό κόστος κατασκευής και συντήρησης, γιατί δε χρειάζεται ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός όπως είναι τα συμβατικά συστήματα επεξεργασίας των αποβλήτων, να σημειωθεί ότι έχει ελάχιστα ποσά κατανάλωσης ενέργειας.

- **Αποτελεσματικότητα**

- I. Υψηλή αποτελεσματικότητα
- II. Ευρωστία
- III. Ανταπόκριση σε αιχμές ρυπαντικού φορτίου
- IV. Μικρές διακυμάνσεις με τη θερμοκρασία

- **Απόδοση**

Έχει υψηλά ποσοστά απόδοση, καθώς επιτυγχάνεται απομάκρυνση της τάξης του 70 – 90 % για το ολικό άζωτο, ποσοστό της τάξεως 30 – 45 % για το φώσφορο, και ποσοστό υψηλότερο από 90 % για το BOD και τους παθογόνους μικροοργανισμούς.

- **Ενέργεια**

- I. Ενεργειακή αυτονομία
- II. Μη απαίτηση ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού
- III. Χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

- **Περιβάλλον**

- I. Φιλικά προς το περιβάλλον
- II. Μηδαμινοί ρύποι
- III. Αισθητική αποδοχή, ελκυστική εμφάνιση

- **Προσωπικό**

Οι μικρότερες απαιτήσεις σε εξειδικευμένο προσωπικό.

- **Ίλος**

Η μικρή παραγωγή ίλως

- **Αντοχή**

Η αντοχή τους σε οργανικά και υδραυλικά “σοκ” φορτία.

## **Μειονεκτήματα**

Τα μειονεκτήματα των λιμνών σταθεροποίησης μπορούμε να πούμε ότι είναι:

- Οι τεράστιες εκτάσεις γης.
- Οι τεράστιες απώλειες νερού.
- Η υψηλή συγκέντρωση σε αιωρούμενα στερεά στην εκροή.
- Ο κίνδυνος οσμών.
- Η ανάπτυξη κουνουπιών.
- Ο κίνδυνος μόλυνσης του υπόγειου υδροφορέα.

### **1.18.4 Βασικές Αρχές Λειτουργίας**

Στις λίμνες σταθεροποίησης συναντάμε τρία διαφορετικά είδη λιμνών (Λέκκας, 2010):

- I. οι αναερόβιες
- II. οι επαμφοτερίζουσες
- III. οι λίμνες ωρίμανσης.

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

Παρακάτω θα γίνει ανάλυση και περιγραφή τριών διαφορετικά είδη λιμνών (Mara et al, 1992).

#### 1.18.4.1. Αναερόβιες λίμνες

Οι αναερόβιες λίμνες είναι οι μικρότερες μονάδες σε αυτή τη σειρά των λιμνών. Χαρακτηριστικό τους είναι η εισροή των υγρών αποβλήτων στον πυθμένα της λίμνης, καθώς και από τη μικρή, σε σύγκριση με το συνολικό όγκο τους, επιφάνεια. Ο πυθμένας των αναερόβιων λιμνών μπορεί να φτάσει και να κυμαίνεται από 2,5 έως 5 m και το τελικό βάθος είναι ανάλογο των εδαφολογικών συνθηκών και του τοπικού κόστους εκσκαφών (το οποίο αυξάνεται με την αύξηση του βάθους). Το βάθος που συναντάμε συνήθως είναι τα 3m με 4m. Οι αναερόβιες λίμνες διαστασιολογούνται σύμφωνα με την οργανική ογκομετρική φόρτισή τους, αναλυτικότερα από 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 είναι δυνατόν να δεχτούν τέτοιες φορτίσεις στο εύρος των 100 με 350 gr BOD<sub>5</sub>/m<sup>3</sup> /day, κάτι το οποίο είναι ανάλογο της θερμοκρασία σχεδιασμού. Αυτά τα υψηλά επίπεδα φορτίσεως συγκεντρώνεται ένα αυστηρά αναερόβιο περιβάλλον μέσα στον όγκο της λίμνης (π.χ. είναι περιορισμένη ύπαρξη του διαλυμένου οξυγόνου και το δυναμικό οξειδοαναγωγής είναι αρνητικό). Αναερόβιες λίμνες ενδέχεται να χρησιμοποιηθούν σε περιπτώσεις ισχυρών εργοστασιακών αποβλήτων και αστικών αποβλήτων με υψηλό επίπεδο συγκέντρωσης οργανικού φορτίου. Η επικάλυψη της επιφάνειας των λιμνών γίνεται με φυσικό τρόπο, με λίπη και έλαια που υπάρχουν στα απόβλητα, αλλά και με τεχνητό τρόπο δηλαδή με πλαστικά ή άλλα υλικά με σκοπό να παγιδέψουν την υψηλή θερμοκρασία,

ιδιαίτερα σε ψυχρές περιοχές. Στα θερμά κλίματα η λειτουργία των αναερόβιων λιμνών είναι εξαιρετικά πιο αποτελεσματική λόγω της θερμοκρασίας που παγιδύεται από την επιφάνεια των λυμάτων. Να αναφέρουμε ένα παράδειγμα σωστής λειτουργίας και σχεδίασης της λίμνης, η οποία 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 εντός των αναερόβιων λίμνων καθορίζεται από τους ίδιους μηχανισμούς που συναντώμαι 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. Ειδικότερα, πάντως αναφέρεται πως ο χρόνος παραμονής είναι της τάξεως των 24 έως 50 ωρών. Όσον αφορά την αποπνικτική ατμοσφαιρική κατάσταση που επικρατεί, λόγω της παρουσίας δύσοσμων αερίων, όπως αμμωνία, μεθάνιο και κυρίως υδρόθειου, υπήρξε πάντοτε ένα ζήτημα που απασχολούσε τους σχεδιαστές μηχανικούς. Παρά ταύτα, η οσμή ή η κακοσμία δεν αποτέλεσε ποτέ πρόβλημα, εφόσον οι αναερόβιες λίμνες είναι σωστά σχεδιασμένες και η συγκέντρωση των θειικών στα ανεπεξέργαστα απόβλητα είναι μικρότερη από 500 mg SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/L. 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. (Mara et al., 1992).



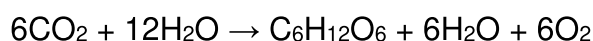
#### 1.18.4.2 Επαμφοτερίζουσες λίμνες

Τις επαμφοτερίζουσες λίμνες τις κατηγοριοποιούμε σε δύο είδη, οι πρωτοβάθμιες επαμφοτερίζουσες λίμνες που δέχονται ανεπεξέργαστα απόβλητα και οι δευτεροβάθμιες επαμφοτερίζουσες λίμνες που δέχονται 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. Επομένως 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, εξαρτάται από τη θερμοκρασία σχεδιασμού) για να αναπτυχθεί ένας ενεργός πληθυσμός αλγης. Τα άλγη αυτά είναι απαραίτητα στην απομάκρυνση του οργανικού φορτίου με το οξυγόνο που παράγουν λόγω της φωτοσύνθεσης (Mara et al.,1992).

Πολύ σημαντική είναι η συντήρηση ενός υγιούς πληθυσμού αλγών, γιατί είναι απαραίτητα να παράγουν το οξυγόνο που χρειάζονται τα βακτήρια για να απομακρύνουν το BOD<sub>5</sub>. Τα άλγη σχηματίζουν στη λίμνη ένα σκούρο πράσινο χρώμα, όταν όλα λειτουργούν υπο κανονικές συνθήκες. Σε μερικές 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>. Επομένως, η αλλαγή χρώματος σε αυτές τις λίμνες είναι δυνατόν να αποτελέσει έναν καλό ποσοτικό δείκτη της λειτουργίας της λίμνης. Η συγκέντρωση των αλγών σε μία καλώς λειτουργούσα επαμφοτερίζουσα λίμνη είναι ανάλογη της φόρτισης και της θερμοκρασίας. Κατά μέσο όρο κυμαίνεται στο εύρος των 500 – 2000 μg χλωροφύλλης 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. Οι συγκεντρώσεις του διαλυμένου οξυγόνου αυξάνουν με τις πρώτες ακτίνες του ηλίου, ως αποτέλεσμα των φωτοσυνθετικών διεργασιών, και η κορύφωση να επιτυγχάνεται τις πρώτες απογευματινές ώρες (η συγκέντρωση του DO μπορεί να αυξηθεί μέχρι και πάνω από 20 mg/lit, π.χ. σε υψηλά υπερκορεσμένες συνθήκες) και τις νυχτερινές ώρες να έχουμε το ελάχιστο (απουσία ηλιακής ενέργειας), όπου η φωτοσύνθεση μηδενίζεται. Ανάλογα το βάθος έχουμε και διαφορετική συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου όσο πηγαίνουμε προς το βάθος τόσο ελαττώνεται και μαζί με αυτό αλλάζει και το pH, αφού στη μέγιστη δράση των αλγών ανθρακικά και δισανθρακικά ιόντα αντιδρούν και παρέχουν περισσότερο διοξείδιο του άνθρακα για τα άλγη, επιτρέποντας 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 περίπου από 1 έως 2 m. Αλλά αυτό το οποίο είναι το πιο διαδεδομένο είναι έως και 1,5 m. (Mara et al.,1992;).

Όσο αφορά τις 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 κυμαίνεται σε ποσοστό 70% όσον αφορά δείγμα που δεν έχει υποστεί φίλτραση και κυμαίνεται σε ποσοστό μεγαλύτερο 90% για δείγμα που έχει υποστεί φίλτραση. Στις επαμφοτερίζουσες λίμνες η αμμωνία εισχωρεί στη βιομάζα των αλγών. Όταν αυτά ωριμάζουν και καθιζάνουν στον πυθμένα της λίμνης, σε αναλογία 20% της κυτταρικής μάζας είναι μη βιοαποικοδομήσιμο και το άζωτο που συνδέεται με αυτό το ίζημα παγιδεύεται στο ίζημα του πυθμένα. Αυτό που ενσωματώνεται με το βιοαποικοδομήσιμο μέρος, εισχωρεί στη λίμνη και επιστρέφει στην σύνθεση των αλγών. Η ποσότητα αμμωνίας μπορεί να απομακρυνθεί από τη λίμνη με εξάτμιση, σε περίπτωση υψηλού pH. Η σημαντικότερη διαφοροποίηση των επαμφοτεριζουσών λιμνών με τα συμβατικά συστήματα, διακρίνεται στο ότι το οξυγόνο που χρειάζονται τα βακτήρια τις φωτοσυνθετικές δραστηριότητες το λαμβάνουν από τις αλγες που αναπτύσσονται στις λίμνες αυτές και όχι με άλλο τεχνικό μηχανικό μέσο. Οι αλγες με τη σειρά τους εξαρτώνται από τα βακτήρια, για το διοξείδιο του άνθρακα το οποίο μετατρέπουν φωτοσυνθετικά σε σάκχαρα, σύμφωνα με την αντίδραση (Mara et al.,1992):



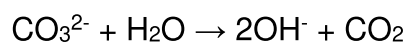
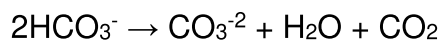
#### 1.18.4.3 Λίμνες ωρίμανσης

Οι λίμνες ωρίμανσης δέχονται το εξαγόμενο ρεύμα από τις επαμφοτερίζουσες λίμνες και ο αριθμός τους και το μέγεθός τους είναι ανάλογο από την απαιτούμενη βακτηριακή ποσότητα που θα πρέπει να έχει το τελικό εξαγόμενο ρεύμα. Οι λίμνες ωρίμανσης είναι συνήθως πιο ρηχές από τις επαμφοτερίζουσες, με το βάθος τους να κυμαίνεται από 1 έως 1,5 m, και το βέλτιστο βάθος να αποτελεί το 1 m. Να αναφέρουμε πως βάθη μικρότερα του 1m είναι υπεύθυνα για την ανάπτυξη μακροφυτών μέσα στη λίμνη, με αποτέλεσμα να αναπτύσσονται η ανάπτυξη κουνουπιών. (Mara et al.,1992).

Οι λίμνες αυτές σχεδιάζονται με κύριο σκοπό για την απομάκρυνση παθογόνων. Επίσης είναι δυνατόν να επιτύχουν παράλληλα και μικρή απομάκρυνση οργανικού φορτίου (μικρή απομάκρυνση του BOD<sub>5</sub>), αλλά έχει διαπιστωθεί ότι γίνεται απομάκρυνση θρεπτικών (αζώτου και φωσφόρου). Οι κύριοι μηχανισμοί απομάκρυνσης των παθογόνων βακτηρίων είναι (Mara et al.,1992).:

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

η θερμοκρασία και ο χρόνος παραμονής είναι από τους κυριότερους παράγοντες που απαιτούνται στο σχεδιασμό των λιμνών ωρίμανσης, αφού ο ρυθμός μείωσης της συγκέντρωσης των παθογόνων είναι ανάλογη του χρόνου και της θερμοκρασίας. Οι υψηλές τιμές του pH επιτυγχάνονται λόγω της γρήγορης φωτοσύνθεσης από τα άλγη της λίμνης, που καταναλώνουν το διοξείδιο του άνθρακα ταχύτερα από ότι μπορεί να αναπληρωθεί από την αναπνοή των βακτηρίων, έχοντας ως 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. (Mara et al.,1992).



Λόγω της χαμηλότερης οργανικής φόρτισης των αποβλήτων που εισχωρούν στις λίμνες ωρίμανσης, έχουν περίσσιο οξυγόνο σε όλο το βάθος τους. Οι πληθυσμοί των αλγών είναι εντελώς διαφορετικοί από ότι στις επαμφοτερίζουσες λίμνες. Αυτή η διαφορετικότητα αυξάνει από λίμνη σε λίμνη κατά μήκος των σειρών τους. (Mara et al.,1992).

#### **1.18.4.4 Σχεδιασμός αναερόβιας λίμνης**

Οι κυριότεροι παράμετροι που λαμβάνουν υπόψιν τους οι υπεύθυνοι για τον σχεδιασμό λιμνών σταθεροποίησης είναι κυρίως, η θερμοκρασία, η παροχή και το οργανικό φορτίο (Mara et al.,1992).

**Θερμοκρασία.** Η θερμοκρασία σχεδιασμού λαμβάνεται υπόψιν η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος τον ψυχρότερο μήνα ή το ψυχρότερο δεκαπενθήμερο του έτους. Αυτή η παράμετρος δίνει ένα περιθώριο ασφάλειας, καθώς η θερμοκρασία των λυμάτων στις λίμνες κυμαίνεται από 2 έως 3°C υψηλότερη από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, για τους χειμερινούς μήνες και από 2 έως 3°C χαμηλότερη από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, για του καλοκαιρινούς μήνες. Στη μελέτη μας ως θερμοκρασία σχεδιασμού, θα θεωρηθεί η 11,9°C, που αντιστοιχούν στη μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος τον ψυχρότερο μήνα. (Mara et al.,1992).

**Παροχή.** Η μέση ημερήσια παροχή (Qd) θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί. Στη μελέτη μας, η μέση ημερήσια παροχή υπολογίστηκε 1353 m<sup>3</sup> /d, για τους χειμερινούς μήνες και 2145 m<sup>3</sup> /d, για τους καλοκαιρινούς. Στην περίπτωση έλλειψης στοιχείων, ως μέση παροχή λυμάτων μπορεί να θεωρηθεί το 85 % της κατανάλωσης νερού. (Mara et al.,1992).

**BOD.** Λαμβάνει την τιμή των 500 mg L<sup>-1</sup>, για τους χειμερινούς μήνες και 330 mg L<sup>-1</sup>, για τους καλοκαιρινούς.

Είναι σκόπιμο να αναφέρουμε ότι 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 αρκετά καλά και λειτουργικά και χωρίς να υπάρχει πρόβλημα της εμφάνισης οσμών, χρησιμοποιώντας σαν βάση την ογκομετρική φόρτιση του BOD<sub>5</sub> (λV, mg/lit-d), η οποία δίνεται από την παρακάτω σχέση: (Mara et al.,1992):

$$\lambda_v = L_i * Q / V_a \quad (\text{τύπος, 1})$$

όπου,

$L_i$ : BOD εισόδου,

mg/lt

$Q$ : 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 (Mara et al., 1992).

**Πίνακας 1.18.4:** Σχεδιαστικές τιμές για τα επιτρεπτά όρια ογκομετρικής φόρτισης BOD σε gr /  $m^3 \cdot d$  και ποσοστό απομάκρυνσης BOD σε διάφορες θερμοκρασίες (Mara and Pearson, 1986).

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ $\lambda_v$ (gr/ $m^3 \cdot d$ )	ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ 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 Πίνακα 1.4.4. και για  $T_{\text{σχεδιασμού}} = 11,9 \text{ } ^\circ\text{C}$ , υπολογίζεται η ογκομετρική φόρτιση  $\lambda_v$  :

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

## 2. Μεθοδολογία κατασκευαστικά στοιχεία λιμνών σταθεροποίησης

Οι δεξαμενές που απαιτούνται για τις λίμνες σταθεροποίησης διακρίνονται σε αναερόβιες(αερόβιες-αναερόβιες), επαμφοτερίζουσες (facultative) και ωρίμανσης (maturation). Στις αναερόβιες και επαμφοτερίζουσες λίμνες γίνεται κυρίως απομάκρυνση του BOD, ενώ στις ωρίμανσης γίνεται η απομάκρυνση των παθογόνων μικροοργανισμών (Papadopoulos et al., 2007).

Στον Πίνακα 2, δίνονται, διαγραμματικά διατάξεις και τα κύρια χαρακτηριστικά των λεκανών σταθεροποίησης. Τα πλεονεκτήματα των δεξαμενών σταθεροποίησης λυμάτων είναι (Reed et al., 1995):

(α) η υψηλή αποδοτικότητα, (β) η απλότητα στην κατασκευή) και (γ) το μικρό κόστος κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης.

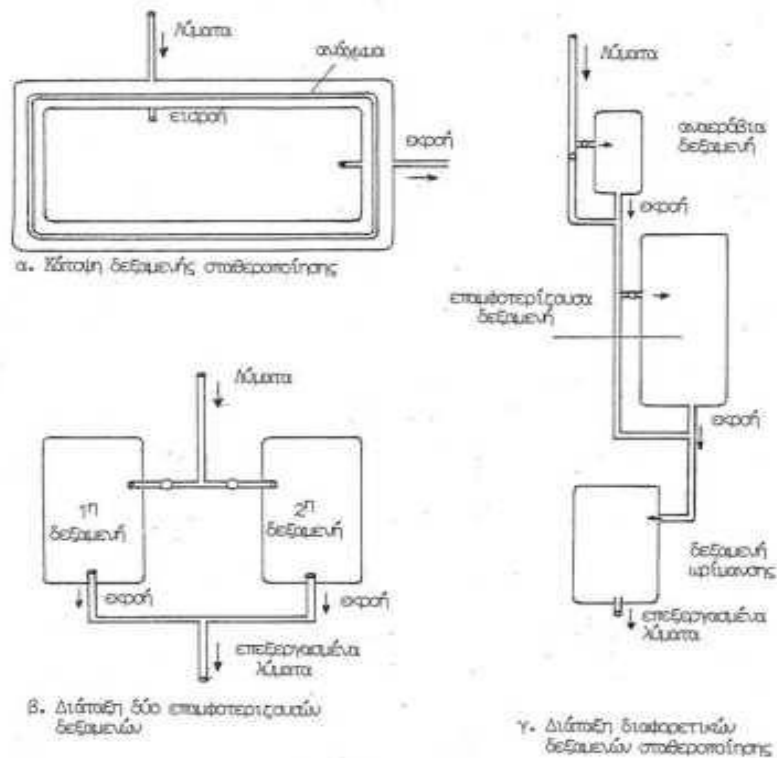
**Πίνακας 2 :** Χαρακτηριστικά των λιμνών σταθεροποίησης (Reed et al., 1995)

	ΧΡΟΝΟΣ ΠΑΡΑΜΟΝΗΣ ΗΜΕΡΕΣ	ΒΑΘΟΣ (m)	ΜΕΙΩΣΗ BOD	Φόρτιση BOD $\text{kg στρ}^{-1} \text{day}^{-1}$	Συγκέντρωση Φυκών $\text{mg L}^{-1}$
<b>Αναερόβιες</b>	5 - 50	2,5 – 4,5	50 – 80	28 - 450	Καθόλου
<b>Επαμφοτεριζούμενες</b>	7 – 50	1,0 – 2,5	70 – 95	2,2 – 8,5	10 – 50
<b>Ωρίμανσης</b>	5 - 20	1,1 – 1,5	60 – 80	< 20	Ναι



## 2.1 Αναερόβιες Δεξαμενές.

Οι αναερόβιες λιμνες (δεξαμενές) κατασκευάζονται με βάθος 2 έως 5 m για να δέχονται υψηλά οργανικά φορτία που ξεπερνούν τα  $100 \text{ gr BOD m}^3 \cdot \text{day}^{-1}$ , και τα οποία δεν περιέχουν φύκια και διαλυμένο οξυγόνο. Η βασική λειτουργία των λιμνών αυτών είναι η απομάκρυνση του BOD. Η μέγιστη απόδοση επιτυγχάνεται σε ζεστά κλίματα. Η απόδοση απομάκρυνσης του BOD πέφτει με θερμοκρασίες μικρότερες των  $10^\circ\text{C}$ , για φόρτιση των δεξαμενών με  $100 \text{ g} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{day}^{-1}$  όπου ανέρχεται στα 40%, σε θερμοκρασίες από  $10$  έως  $20^\circ\text{C}$  για φόρτιση από  $100$  έως  $300 \text{ g} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{day}^{-1}$  ανέρχεται από 40% έως 60%, και μπορεί να γίνει ακόμα μεγαλύτερη σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από  $20^\circ\text{C}$ . Λόγω των αναερόβιων συνθηκών, δημιουργούνται υδρόθειο και οσμές. Τα προβλήματα οσμών μπορούν να αποφευχθούν αν η φόρτιση είναι κατάλληλη και η συγκέντρωση θειικών είναι μικρότερη των  $500 \text{ mg SO}_4^{2-} \text{ L}^{-1}$  (Reed et al., 1995).



**Εικόνα 2.1** : Διατάξεις των δεξαμενών σταθεροποίησης των λυμάτων (Papadopoulos, 2007).

Το λειτουργικό σύστημα των αναερόβιων λιμνών στηρίζεται στον μηχανισμό της απομάκρυνσης του οργανικού φορτίου όπως με την καθίζηση των βαρύτερων αιωρούμενων στερεών (SS) και την αναερόβια ζύμωση και χώνευση των πτητικών οργανικών ενώσεων υπό τις συνθήκες έλλειψης οξυγόνου. Η δημιουργία λάσπη από τα καθιζάνοντα στερεά αποικοδομείται αναερόβια από τις διαφορετικές ομάδες μικροοργανισμών που αναπτύσσονται στο εσωτερικό της δεξαμενής. Ο σχεδιασμός των αναερόβιων λιμνών είναι βασισμένο στο φορτίο οργανικού υλικού που εκφράζεται από τη σχέση: (Reed et al., 1995).

$$\lambda_v = C_{in} Q / V_a \quad (\text{τύπος, 2})$$

όπου  $C_{in}$  είναι η συγκέντρωση του BOD κατά την εισροή ( $mg \cdot L^{-1}$ ),  $Q$  είναι η παροχή λυμάτων ( $m^3 \cdot day^{-1}$ ) και  $V_a$  είναι ο όγκος της δεξαμενής ( $m^3$ ). Το φορτίο ( $\lambda_v$ ) εκφράζεται σε  $g \cdot m^3 \cdot day^{-1}$ . Το μέγιστο επιτρεπόμενο φορτίο προς τη δεξαμενή έχει σχέση από τη θερμοκρασία και αυξάνεται με αύξηση της θερμοκρασίας. Τα συνιστάμενα φορτία έχουν εύρος από 100 έως 400  $g \cdot m^3 \cdot day^{-1}$  έτσι ώστε να διατηρούνται αναερόβιες συνθήκες και να αποφεύγονται οι οσμές. (Reed et al., 1995).

## 2.2 Επαμφοτερίζουσες δεξαμενές

Οι επαμφοτερίζουσες λίμνες σχεδιάζονται έτσι ώστε να απομακρύνουν το BOD από λύματα με μια σχετική μικρή επιφανειακή φόρτιση (100 έως 400  $kg \text{ BOD } ha^{-1} \text{ day}^{-1}$ ), επιτρέποντας έτσι την ανάπτυξη φυτοπλαγκτού που έχει ως σκοπό τον εμπλουτισμό της δεξαμενής με οξυγόνο που δημιουργείται παράγεται από τη φωτοσύνθεση. Με την παρουσία των φυκών, οι δεξαμενές αποκτούν σκοτεινό πράσινο χρώμα και πολλές περιπτώσεις ροζ ή κόκκινο χρώμα από την παρουσία των αναερόβιων κοκκινωπών φωτοσυνθετικών βακτηρίων. Η συγκέντρωση των φυκών σε λίμνες με καλή λειτουργία εξαρτάται από τη θερμοκρασία και το φορτίο, αλλά πολλές φορές κυμαίνεται από 500 έως 2000  $\mu g$  χλωροφύλλη  $a/L$ . Λόγω της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας των φυκών, εμφανίζονται ημερήσιες διακύμανσης στη συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου. Η σχεδίαση των επαμφοτερίζουσών λιμνών βασίζεται στην επιφανειακή φόρτιση, όπου εκτιμάται από τη σχέση (Reed et al., 1995):

$$\lambda_s = 10C_{in} Q/ A \text{ (τύπος, 3)}$$

όταν A είναι η επιφάνεια της δεξαμενής (m<sup>2</sup>), C<sub>in</sub> είναι η συγκέντρωση του BOD κατά την εισροή (mg/L) και Q είναι η παροχή λυμάτων (m<sup>3</sup>/day). Η επιτρεπόμενη επιφανειακή φόρτιση σχεδιασμού αυξάνει με τη θερμοκρασία. Παρακάτω ο Mara (1987) έχει προτείνει την εξίσωση εκτίμησης της παροχής σχεδιασμού, για θερμοκρασίες από 8 έως 35 °C:

$$\lambda_s = 350(1.107 - 0.002T)^{T-25} \quad (\text{τύπος, 4})$$

Ο χρόνος παραμονής των λυμάτων στη δεξαμενή υπολογίζεται ως εξής:

$$t = A \cdot d / Q_m \quad (\text{τύπος, 5})$$

όπου d είναι το βάθος στη δεξαμενή σε m, με διακύμανση από 1 έως 2 m και Q<sub>m</sub> είναι η μέση παροχή των λυμάτων (m<sup>3</sup>/day<sup>-1</sup>) και A είναι το εμβαδόν της δεξαμενής που επιλέγεται από τον μελετητή. Ο προαναφερθείς τύπος χρησιμεύει στη διαστασιολόγηση των λιμνών ωρίμανσης και στην εκτίμηση του χρόνου παραμονής, των λυμάτων στις επαμφοτερίζουσες ή αναερόβιες λίμνες που προηγούνται.

Η μέση παροχή είναι το ημιάθροισμα εισροής-εκροής. Η εκροή υπολογίζεται με την παροχή εισροής αφαιρώντας τις απώλειες εξάτμισης. Η αφαίρεση του αζώτου στις επαμφοτερίζουσες δεξαμενές γίνεται με τη μέθοδο της εξάτμισης της αεριοποιημένης αμμωνίας.

Άλλες σχέσεις που ισχύουν και έχουν χρησιμοποιηθεί στον αλγόριθμο είναι οι εξής:

-Το εμβαδόν της λίμνης, προσδιορίζεται από την εξής σχέση:

$$A = Q \cdot (L_i - L_e) / (18d \cdot (1.05)^{(T-20)}) \quad (\text{τύπος, 6})$$

Όπου:

- T θεωρείται η μέση θερμοκρασία του αέρα για τον πιο δυσμενή (κρύο) μήνα, που εμφανίζεται στην εξεταζόμενη τοποθεσία. Για την Αθήνα, ο μήνας αυτός είναι ο Δεκέμβριος και παρουσιάζει θερμοκρασία ίση με: 10 °C.
- d είναι το βάθος της λίμνης, το οποίο επιλέγεται να έχει τιμές μεταξύ 1-2 μ.
- Li είναι η συγκέντρωση BOD για τα μη επεξεργασμένα λύματα, στην είσοδο της λίμνης σταθεροποίησης.
- Le είναι η συγκέντρωση BOD για τα επεξεργασμένα λύματα, στην έξοδο της λίμνης σταθεροποίησης. Συνήθως επιλέγεται μια τιμή εξόδου ίση με 50-70 mg/l mg L<sup>-1</sup> για τις επαμφοτερίζουσες λίμνες και 25 mg/l για τις λίμνες ωρίμανσης.

Αξίζει να σημειωθεί ότι καλές και ευσταθείς επιλογές σχεδιασμού για όλους τους τύπους των (ορθογωνίου σχήματος) λιμνών σταθεροποίησης, θεωρούνται οι αναλογίες 2:1, όσον αφορά την αναλογία μικρής και μεγάλης διάστασης.

Η κλίση των λιμνών λαμβάνεται με μια αναλογία 1:3 ή μικρότερη και αυτό γίνεται για αποφεύγονται αναλύσεις ευστάθειας πρηνών, αν οι κλίσεις επιλεχθούν να είναι πιο απότομες.

Είναι προφανές ότι αν W, η διάσταση στην επιφάνεια της λίμνης, τότε για τη διάσταση  $W_{\text{bottom}}$  στον πυθμένα ισχύει το εξής:

$$W_{\text{bottom}} = W \cdot d \cdot (1/\text{slope}) \quad (\text{τύπος, 7})$$

Όπου d το επιλεχθέν βάθος και slope η ποσοστιαία κλίση της λίμνης.

Μια άλλη συνθήκη που πρέπει να ισχύει, είναι ότι το επιλεχθέν εμβαδόν επαμφοτερίζουσας λίμνης δεν θα πρέπει να ξεπερνά το εμβαδόν, που προκύπτει από την εξής σχέση:

$$A_{max} = (Q \cdot L_i) / (2 \cdot T - 12) \quad (\text{τύπος, 8})$$

Όπου T, η μέση θερμοκρασία του αέρα για τον πιο δυσμενή (κρύο) μήνα, που εμφανίζεται στην εξεταζόμενη τοποθεσία, Q η παροχή σχεδιασμού και  $L_i$  η συγκέντρωση BOD εισόδου.

Άλλοι 2 τύποι που έχουν ενταχθεί στον αλγόριθμο δίνονται παρακάτω:

-Χρόνος παραμονής λυμάτων στην επαμφοτερίζουσα λίμνη:

$$t = A \cdot D / Q \quad (\text{τύπος, 9})$$

-Ποσοστό αποδοτικότητας λίμνης:

$$\text{pondefficiency} = (L_i - L_e) / L_i \cdot 100\% \quad (\text{τύπος, 10})$$

Οι συμβολισμοί που χρησιμοποιούνται αναλύθηκαν παραπάνω.

### 2.3 Δεξαμενές ωρίμανσης

Η βασική λειτουργία των λίμνων ωρίμανσης είναι η απομάκρυνση των παθογόνων οργανισμών. Στις λίμνες αυτές μειώνεται ελάχιστα το BOD συνήθως κατά 10 % έως 25 %. Η σχεδίαση των λίμνων αυτών βασίζεται στην απομάκρυνση των εντερικών κολοβακτηρίων. Η απομάκρυνση των κολοβακτηρίων εντερικών (fecal) θεωρείται ότι ακολουθεί κινητική αντίδραση πρώτης τάξης, σύμφωνα με τη σχέση:

$$N_e = N_{in} / (1 + K \cdot t) \quad (\text{τύπος, 11})$$

όπου  $N_e$  και  $N_{in}$  είναι ο αριθμός των εντερικών κολοβακτηρίων (fecal) κατά την εκροή και την εισροή (no/100 ml),  $K_T$  είναι η σταθερά πρώτης τάξης στη θερμοκρασία  $T$  ( °C), η οποία θεωρείται συνάρτηση της θερμοκρασίας.

Για επαμφοτερίζουσες και λίμνες ωρίμανσης σε σειρά, ισχύει ο εξής σχέση:

$$N_{final} = N_{influent} / ((1 + K_b * t_1) * (1 + K_b * t_2)^n) \quad (\text{τύπος, 12})$$

Όπου  $t_1$ , ο χρόνος σχεδιασμού σε ημέρες για την επαμφοτερίζουσα λίμνη και  $t_2$ , ο χρόνος σχεδιασμού σε ημέρες για τις λίμνες ωρίμανσης,  $n$  ο αριθμός των λιμνών ωρίμανσης.

Επίσης:

$$K_b = 2.6 * (1.19)^{(T-20)} \quad (\text{τύπος, 13})$$

Όπου:  $T$ , η μέση θερμοκρασία του αέρα για τον πιο δυσμενή (κρύο) μήνα.

Η έκταση που καταλαμβάνει η δεξαμενή ωρίμανσης υπολογίζεται από τη τύπο:

$$A = Q_i * t / (d + 0.001 * E * t) \quad (\text{τύπος, 14})$$

όπου  $E$  είναι η εξάτμιση ( $\text{mm} * \text{day}^{-1}$ ),  $d$  είναι το βάθος της δεξαμενής (m) και  $t$  είναι ο χρόνος παραμονής (day). Η εξάτμιση σε πολλές περιπτώσεις στην βιβλιογραφία παραλείπεται και αυτό θεωρείται συντηρητικότερη επιλογή σχεδιασμού.

## 2.4 Κόστος λιμνών σταθεροποίησης

Για το κόστος των λιμνών σταθεροποίησης λαμβάνονται υπ'όψιν 3 παράμετροι (Λέκκας 2010) :

Γενικές εκσκαφές, που στην περίπτωση μας, αφορούν τα ορθογώνια σχήματα, στην επιφάνεια της λίμνης, που είναι εφικτό να κατασκευαστούν με τη χρήση μηχανημάτων. Αυτή η εκσκαφή υπολογίζεται ως ο όγκος ενός ορθογώνιου παραλληλεπιπέδου, με τον εξής τύπο:

$$\text{Volume} = W * L * d \quad (\text{τύπος, 15})$$

Ειδικές εκσκαφές και διαμορφώσεις εδάφους, με τα προϊόντα της εκσκαφής για το σχηματισμό κλίσης στη λίμνη. Αυτές οι διαμορφώσεις υπολογίζονται ως η διαφορά του όγκου ενός ορθογώνιου παραλληλεπιπέδου μείον τον όγκο του τραπεζοειδούς, που προκύπτει όταν διαμορφωθούν οι κλίσεις.

Ο τύπος υπολογισμού ενός τραπεζοειδούς, είναι ο εξής:

$$\text{trapezoidvolume} = d/6 * (W * L_{\text{bottom}} + W_{\text{bottom}} * L + 2 * (W_{\text{bottom}} * L_{\text{bottom}} + W * L))$$

( τύπος, 16 )

Όπου, W και L, οι διαστάσεις του ορθογώνιου στην επιφάνεια της λίμνης και  $W_{\text{bottom}}$  και  $L_{\text{bottom}}$ , οι διαστάσεις του ορθογώνιου στην βυθό της λίμνης, ενώ d το βάθος της λίμνης.

-Επικάλυψη με μεμβράνες. Αυτές προκύπτουν εύκολα από τον εξής τύπο:



$$\text{Area} = W_{\text{bottom}} * L_{\text{bottom}} + ((W+W_{\text{bottom}})*d/2)^2 + ((L+L_{\text{bottom}})*d/2)^2$$

( τύπος, 17 )

-Σωληνώσεις.

-Τυχόν περιφράξεις για λόγους ασφαλείας.

-Οικίσκοι για φύλαξη των λιμνών.

### 3. Αποτελέσματα

#### 3.1 Παρουσίαση της λογικής προσομοίωσης ενός μαθηματικού προβλήματος στο MATLAB

Ένας μαθηματικός τύπος αποτελείται από γνωστές (δεδομένα εισόδου) και άγνωστες παραμέτρους (δεδομένα εξόδου). Το MATLAB χρησιμοποιεί μια σχετικά εύκολη τεχνική για την παροχή λύσεων σε μαθηματικά προβλήματα. Συγκεκριμένα, ο χρήστης πρέπει να ορίσει όλα τα δεδομένα εισόδου και στη συνέχεια τις μαθηματικές πράξεις ή συναρτήσεις, που θα οδηγήσουν στο επιθυμητό αποτέλεσμα.

Επιπλέον, τα δεδομένα εισόδου πρέπει πάντα να προηγούνται των δεδομένων εξόδου. Αλλιώς το MATLAB δεν θα «καταλάβει» πώς να παράγει το επιθυμητό αποτέλεσμα. Η μέθοδος με την οποία καθορίζονται οι απαιτούμενες μαθηματικές πράξεις προκειμένου να προκύψει ένα αποτέλεσμα είναι λίγο πολύ ο ίδιος με τους απλούς υπολογισμούς στο χέρι, ήτοι μια σειρά πράξεων (π.χ. πολλαπλασιασμός, διαίρεση, αφαίρεση) με αυστηρή λογική διαδοχή.

Οι εντολές `clc` και `clear`, θα διαγράψουν την οθόνη και αντίστοιχα τα αποτελέσματα από υπολογισμούς που έγιναν προηγουμένως. Αυτό θα βοηθήσει τον νέο αλγόριθμο να αναπτυχθεί χωρίς εμπόδια.

Το σύμβολο με ερωτηματικό (;) ζητά από το MATLAB να μην εμφανίσει το αποτέλεσμα της προηγούμενης μαθηματικής πράξης, ώστε να περιμένει ένα νέο.

Για παράδειγμα ο κώδικας:

```
clc
```

```
clear
```

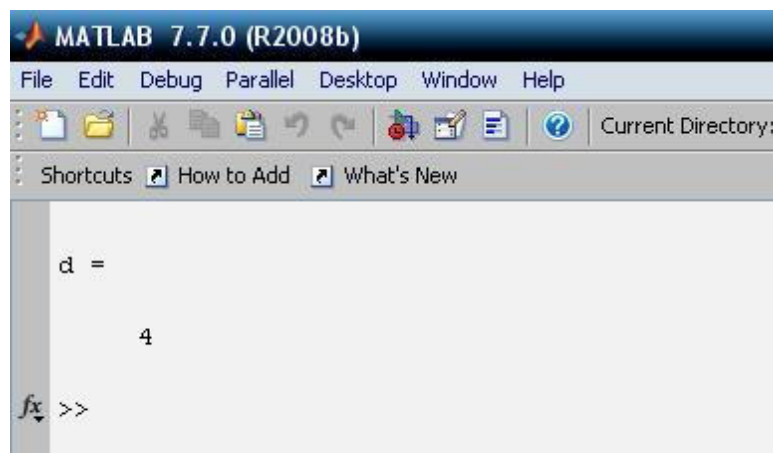
```
a = 5;
```

```
b = a + 7;
```

```
c = b * 4;
```

```
d = c / 12
```

είναι ένας απλός αλγόριθμος με αποτέλεσμα  $d = 4$ .



**Εικόνα 3.1:** Αποτέλεσμα του προαναφερθέντος συνόλου μαθηματικών πράξεων (Λογισμικό MATLAB έκδοση 7.7.0, R2008b)

Ένα άλλο συχνά χρησιμοποιούμενο σύμβολο είναι το % και μετά από αυτήν την έκφραση, ο,τι γράφεται αγνοείται (ή πρέπει να εκληφθεί ως σχόλιο ή υπόμνηση από τον αναγνώστη).

## 3.2 Βασικές εντολές

### 3.2.1 Η εντολή input

Η input είναι εντολή που ζητά από το χρήστη να καθορίσει μια τιμή για μια παράμετρο. Είναι χρήσιμη σε περιπτώσεις όπου μπορεί να υπάρχουν ποικίλες περιπτώσεις τιμών.

Για παράδειγμα:

```
C1 = input ('Define initial concentration :')
```

### 3.2.2 Η εντολή display

Αυτή η εντολή δείχνει στον χρήστη είτε ένα μήνυμα στην οθόνη, είτε μια τιμή που προήλθε από τους προηγούμενους υπολογισμούς.

Π.χ.:

```
disp ('fck == [ 16, 20, 25, 30, 35, 40, 50 ' )
```

## 3.3 Παρουσίαση των αλγορίθμων που κατασκευάστηκαν στην εργασία

Αρχικά δημιουργείται αρχείο facultative.m για τις επαμφοτερίζουσες λίμνες και προκύπτει ο παρακάτω διάλογος. Στα δεξιά του διαλόγου, εισάγονται κάποιες υποθετικές τιμές βάσει των οποίων προκύπτει ένας τελικός σχεδιασμός λίμνης σταθεροποίησης. Δεξιά των διαλυτικών,

εισάγονται οι υποθετικές τιμές. Μετά το σύμβολο % γράφονται κάποια κριτικά σχόλια, όσον αφορά τη διαδικασία που ακολουθεί το πρόγραμμα για να υπολογίσει τη λίμνη σταθεροποίησης.

Provide the water supply in cubic meters per day:179.12%παροχή

Provide the initial BOD: 400%αρχικό BOD

$L_i = 400$

Provide the expected BOD, after the processing:60%τελικό BOD

$L_e = 60$

Provide the design temperature (Mean temperature of the coldest month):10%Μέση Θερμοκρασία την πιο ψυχρή περίοδο του έτους (περιοχή: Αθήνα).

$T = 10$

Provide length to width ratio:2%Επιθυμητή αναλογία διαστάσεων λίμνης.

ratio = 2

Provide a slope (depth over projection at the bottom) lower than 0.333:.1

slope = 0.10000 %Επιθυμητή κλίση λίμνης.

$A = 3674.1$

$A_{mgpsc} = 8956$

check = 5281.9%ελέγχος αν το υπολογιζόμενο εμβαδόν λίμνης, είναι μικρότερο από μέγιστο επιτρεπόμενο σε σχέση με τις εξισώσεις Mac Garry and Pescod.

Area is OK! %Απεικόνιση αποτελέσματος ελέγχου.

$W = 42.861$

$L = 85.722$

$W = 43$

$L = 86$ %Στρογγυλοποίηση υπολογιζόμενων τιμών όσον αφορά την μικρή και την μεγάλη διάσταση της λίμνης (στην επιφάνειά της).

$W_{\text{bottom}} = 28$

$L_{\text{bottom}} = 71$ %Υπολογισμός με βάση την κλίση για την μικρή και την μεγάλη διάσταση της λίμνης (στον πυθμένα της).

Retention time in days, is equal to:

$t = 30.768$ %Υπολογισμός της διάρκειας παραμονής των λυμάτων στην λίμνη, μέχρι να πιαστεί η τιμή του τελικού BOD.

$\rho_{\text{on efficiency}} = 0.85000$

$\text{excavation cost} = 55470$ %Υπολογισμός εκσκαφών.

$\text{trapezoid volume} = 4208.2$ %Υπολογισμός όγκου λίμνης.

$\text{compressed soil cost} = 2945.3$ %Υπολογισμός χωμάτων όγκων, που θα χρησιμοποιηθούν για την δημιουργία των πρανών.

$\text{Area} = 2330$ %Υπολογισμός επιφάνειας λίμνης.

$\text{linercost} = 372,80$  Υπολογισμός κόστους μεμβράνης λίμνης.

Στη συνέχεια ακολουθώντας την ίδια διαδικασία, τρέχουμε το αρχείο maturation.m για τις λίμνες ωρίμανσης και προκύπτει ο παρακάτω διάλογος.

Provide the water supply in cubic meters per day:180

Provide length to width ratio:2

ratio = 2

Provide a slope (depth over projection) lower than 0.333:1

slope = 0.10000

A = 840

W = 20.494

L = 40.988

W = 21

L = 41

W<sub>bottom</sub> = 6

L<sub>bottom</sub> = 26

excavationcost = 8610

trapezoidvolume = 706.50

compressedsoilcost = 1287

Area = 297

linercost = 47.5

Έχει κατασκευαστεί και τρίτος αλγόριθμος με το όνομα Faecal Bacteria.m, ο οποίος ζητάει από τον χρήστη να προσδιορίζει την αρχική συγκέντρωση εντερικών κολοβακτηριδίων, τις ημέρες που βάσει του σχεδιασμού τα λύματα συγκρατούνται στις επαμφοτερίζουσες λίμνες και στις λίμνες ωρίμανσης και ο

αριθμός των λίμνες ωρίμανσης που συνδέονται μεταξύ τους, έτσι ώστε να επιτύχουμε την ζητούμενη μείωση στον αριθμό των βακτηριδίων.

Συνεπώς, όπως προαναφέρθηκε, η ίδια διαδικασία ακολουθείται και για τον αριθμό των εντερικών βακτηριδίων και τον υπολογισμό του κατά πόσο μειώνονται μέσω των λιμνών, όπως φαίνεται παρακάτω:

Provide the lower average temperature, for the given location:10 %Μέση θερμοκρασία σχεδιασμού τον πιο κρύο μήνα, στην Αθήνα.

$$T = 10$$

Provide the Ninfluent:1000 %Αρχική συγκέντρωση εντερικών κολοβακτηριδίων.

Provide the design retention time for the facultative pond, in days:15

$$t_1 = 15$$

Provide the design retention time for the maturation pond, in days:15

t2 = 15%Ημέρες συγκράτησης των λυμάτων, στην λίμνη βάσει του σχεδιασμού.

Provide the number of maturation ponds:2

$$n = 2\% \text{Αριθμός των λιμνών ωρίμανσης.}$$

Nfinal = 2.06%Τελική συγκέντρωση εντερικών κολοβακτηριδίων.



#### 4. Συμπεράσματα

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία δημιουργήθηκε πρόγραμμα υπολογισμού διαστασιολόγησης και κοστολόγησης για λίμνες σταθεροποίησης με σκοπό να συμβάλει στη σχεδίαση λιμνών σταθεροποίησης για την επεξεργασία των αποβλήτων. Πιο συγκεκριμένα, η μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία δίνει έμφαση στον σχεδιασμό και υπολογισμό κόστους μιας εγκατάστασης με την χρήση αναερόβιας δεξαμενής και τεχνητών λιμνών. Το λογισμικό μπορεί να βοηθήσει στην διαχείριση των αποβλήτων μιας περιοχής που απαρτίζεται από μικρούς, διάσπαρτους οικισμούς απομακρυσμένους από τα αστικά κέντρα μεγάλης κλίμακας.

Τα αποτελέσματα της κοστολόγησης μπορούν να δώσουν χρήσιμα συμπεράσματα και να γενικευτούν για αντίστοιχες περιπτώσεις.

Σε πολλές περιπτώσεις προκύπτει ότι το κόστος διασύνδεσης των οικισμών με το βιολογικό κέντρο υψηλό και καθιστά όλο και πιο μεγάλο το πρόβλημα επεξεργασίας λυμάτων για τους απομακρυσμένους οικισμούς.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας τα συγκεκριμένα συστήματα είναι αποτελεσματικά, έχουν χαμηλά κόστη και είναι φιλικά προς το περιβάλλον.

Επίσης η πολιτεία πρέπει να εκμεταλλευτεί τα χρηματοδοτικά προγράμματα για κατασκευή και εγκατάσταση λιμνών σταθεροποίησης επεξεργασίας αποβλήτων.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: Ο ΚΩΔΙΚΑΣ ΜΑΤΛΑΒ

### ❖ ΕΠΑΜΦΟΤΕΡΙΖΟΥΣΕΣ ΛΙΜΝΕΣ

```
clc
```

```
clear
```

```
Q = input('Provide the water supply in cubic meters per day:');%παροχή  
κυβικά μέτρα ανά ημέρα
```

```
Li = input('Provide the initial BOD:')
```

```
Le = input('Provide the expected BOD, after the processing:')
```

```
T = input('Provide the design temperature (Mean temperature of the coldest  
month):')
```

```
ratio = input('Provide length to width ratio:')
```

```
slope = input('Provide a slope (depth over projection at the bottom) lower  
than 0.333:')
```

```
D= 1.5;%Βάθος 1-1.5 m, συνήθως
```

```
A = Q*(Li-Le)/(18*D*(1.05)^(T-20))
```

```
Amgpescod = (Q*Li)/(2*T-12)
```

```
check = Amgpescod - A
```

```
if check > 0
```

```
disp ('Area is OK!')
```

$$W = (A/\text{ratio})^{0.5}$$

$$L = \text{ratio} * W$$

$$W = \text{ceil}(W)$$

$$L = \text{ceil}(L)$$

$$W_{\text{bottom}} = \text{ceil}(W) - D * (1/\text{slope})$$

$$L_{\text{bottom}} = \text{ceil}(L) - D * (1/\text{slope})$$

disp('Retention time in days, is equal to:')

$$t = A * D / Q$$

$$\text{pondefficiency} = (L_i - L_e) / L_i$$

$$\text{excavationcost} =$$

$$W * L * D * 10\% \text{https://www.chania.gr/files/55/33455/9\_osapyoikismoi\_analysh\_timvn\_trop1.pdf}$$

$$\text{trapezoidvolume} =$$

$$D/6 * (W * L_{\text{bottom}} + W_{\text{bottom}} * L + 2 * (W_{\text{bottom}} * L_{\text{bottom}} + W * L)) \text{https://keisan.casio.com/exec/system/1297652433}$$

$$\text{compressedsoilcost} = \text{abs}((W * L * D -$$

$$\text{trapezoidvolume})) * 2.2\% \text{https://www.chania.gr/files/55/33455/9\_osapyoikismo i\_analysh\_timvn\_trop1.pdf}$$

$$\text{Area} = W_{\text{bottom}} * L_{\text{bottom}} + ((W + W_{\text{bottom}}) * D / 2) * 2 + ((L + L_{\text{bottom}}) * D / 2) * 2$$

$$\text{linercost} =$$

$$\text{Area} * 0.16\% \text{https://www.google.gr/search?client=opera&hs=bzl&sxsrf=ALeKk010UNqXN8NDq60nf-}$$

$$\text{UVzkwzmJ37Fg\%3A1585497460657\&ei=dMWAXp3cJ4uSaN7NvLgB\&q=po}$$

$$\text{ol+liner+cost+per+square+foot\&oq=cost+liner+pool+PER\&gs\_lcp=CgZwc3kt}$$

$$\text{YWIQARgBMgYIABAWEB4yBggAEBYQHjIGCAAQFhAeOgQIABBHUIY9W}$$

KxDYIxdaABwAngAgAGhAogBIQaSAQUwLjluMpgBAKABAaoBB2d3cy13aX

o&scient=psy-ab

else

disp ('Area is not OK!')

%Change Q, Le, Li, D

endif

## ❖ ΛΙΜΝΕΣ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ

clc

clear

Q = input('Provide the water supply in cubic meters per day:');%παροχή

κυβικά μέτρα ανά ημέρα

t = 7;%μέρες σχεδιασμού για τη λίμνη ωρίμανσης

D= 1.5;%Βάθος 1-1.5 m, συνήθως

ratio = input('Provide length to width ratio:')

slope = input('Provide a slope (depth over projection) lower than 0.333:')

A = Q\*t/D%εμβαδόν λίμνης

W = (A/ratio)^0.5

L = ratio\*W

W = ceil(W)

L = ceil(L)

Wbottom = ceil(W)-D\*(1/slope)

Lbottom = ceil(L)-D\*(1/slope)

excavationcost =

W\*L\*D\*10%[https://www.chania.gr/files/55/33455/9\\_osapyoikismo\\_i\\_analysh\\_ti](https://www.chania.gr/files/55/33455/9_osapyoikismo_i_analysh_ti)

mvn\_trop1.pdf

trapezoidvolume = D/6\*(W\*Lbottom+Wbottom\*L+2\*(Wbottom\*Lbottom+W\*L))

compressedsoilcost = abs(W\*L\*D - trapezoidvolume)\*2.2%  
[https://www.chania.gr/files/55/33455/9\\_osapyoikismoim\\_analysh\\_timvn\\_trop1.pdf](https://www.chania.gr/files/55/33455/9_osapyoikismoim_analysh_timvn_trop1.pdf)

$$\text{Area} = W_{\text{bottom}} * L_{\text{bottom}} + ((W + W_{\text{bottom}}) * D / 2) * 2 + ((L + L_{\text{bottom}}) * D / 2) * 2$$

linercost = Area\*0.16%  
[https://www.google.gr/search?client=opera&hs=bzl&sxsrf=ALeKk010UNqXN8NDq60nf-UVzkwzmJ37Fg%3A1585497460657&ei=dMWAXp3cJ4uSaN7NvLgB&q=pool+liner+cost+per+square+foot&oq=cost+liner+pool+PER&gs\\_lcp=CgZwc3ktYWIQARgBMgYIABAWEb4yBggAEBYQHjIGCAAQFhAeOgQIABBHUIY9WKxDYIxdaABwAngAgAGhAogBIQaSAQUwLjluMpgBAKABAaoBB2d3cy13aXo&sclient=psy-ab](https://www.google.gr/search?client=opera&hs=bzl&sxsrf=ALeKk010UNqXN8NDq60nf-UVzkwzmJ37Fg%3A1585497460657&ei=dMWAXp3cJ4uSaN7NvLgB&q=pool+liner+cost+per+square+foot&oq=cost+liner+pool+PER&gs_lcp=CgZwc3ktYWIQARgBMgYIABAWEb4yBggAEBYQHjIGCAAQFhAeOgQIABBHUIY9WKxDYIxdaABwAngAgAGhAogBIQaSAQUwLjluMpgBAKABAaoBB2d3cy13aXo&sclient=psy-ab)

## ❖ ΒΑΚΤΗΡΙΑ ΠΕΡΙΤΤΩΜΑΤΩΝ

clc

clear

T = input('Provide the lower average temperature, for the given location:')

Kb = 2.6\*(1.19)^(T-20);

Ninfluent = ('Provide the design retention time for the facultative pond, in days:');

t1 = input('Provide the design retention time for the facultative pond, in days:')

t2 = input('Provide the design retention time for the maturation pond, in days:')

n = input('Provide the number of maturation ponds:')

Nfinal = Ninfluent/((1+Kb\*t1)\*(1+Kb\*t2)^n)

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΠΗΓΕΣ

Αυλωνίτης Σ.Α. (2013) Περιβαλλοντική Μηχανική Ι «Εισαγωγή στην Τεχνολογία του νερού και υγρών αποβλήτων»

Αυλωνίτης Σ.Α. (2013) Περιβαλλοντική Μηχανική ΙΙ «Εισαγωγή στην Τεχνολογία του νερού και υγρών αποβλήτων»

Abdullahi I. et al., (2014) Design of Waste Stabilization Pond for Sewage Treatment at Nigerian Defense Academy Staff Quarters, Permanent Site Mando Kaduna International Journal of Engineering and Applied Sciences (IJEAS)

Η ιστορία των ανθρώπων, Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Κέντρο Διαπολιτισμικής Αγωγής, (Αθήνα, 2003)

Kampragou E., Lekkas D.F., Assimacopoulos D. (2010) Water demand management: Implementation principles and indicative success stories. Water and Environment Journal, vol. 25 (2011) 466–476 (doi: 10.1111/j.1747-6593.2010.00240.x).

Kayombo et al. (2004) Waste Stabilization Ponds and Constructed Wetlands Design Manual.

Malmsten M., Lekkas D.F. (2010) An econometric cost analysis of urban water supply and waste water treatment processes. Application to a number of Swedish communities. Desalination, vol. 18, 327–340, (doi: 10.5004/dwt.2010.1961).

Στασινάκης Σ. Αθανάσιος (2003), Εισαγωγή στην περιβαλλοντική μηχανική.

Viessman Warren (2011) Εισαγωγή στην υδρολογία, Lewis L.Gary (2011)



## ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ Τεχνική Περιβάλλοντος -  
Υγρά

Απόβλητα: <https://opencourses.auth.gr/modules/document/file.php/OCRS460/%CE%A0%CE%B1%CF%81%CE%BF%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%AC%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82/%CE%98%CE%B5%CF%89%CF%81%CE%AF%CE%B1/%CE%95%CE%9501.pdf>. Ανάκτηση: Μάρτιος 2020.

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ Σχολή Χημικών Μηχανικών -  
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ - ΒΛΥΣΙΔΗΣ ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ  
Καθηγητής – Αθήνα 2007: <https://users.ntua.gr/vlysidis/municipal.pdf>  
Ανάκτηση: Μάρτιος 2020.

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ Σχολή Χημικών Μηχανικών -  
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΚΑΙ ΝΕΡΩΝ - ΒΛΥΣΙΔΗΣ  
ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ Καθηγητής – Αθήνα 2007:  
<http://users.ntua.gr/vlysidis/characteristics.pdf>

Εκτίμηση BOD ανά κατηγορία λυμάτων: [https://www.swim-sustain-water.net/fileadmin/resources/loading\\_s\\_calculations\\_by\\_Dr.\\_Ghaida\\_Abu\\_Rumman\\_EN.pdf](https://www.swim-sustain-water.net/fileadmin/resources/loading_s_calculations_by_Dr._Ghaida_Abu_Rumman_EN.pdf). Ανάκτηση: Απρίλιος 2020

Εισαγωγή στην επιφανειακή υδρολογία (Μ. Βαφειάδης 12/ 2000)  
<https://users.auth.gr/vmarios/courses/hydrology/%CE%A3%CF%85%CE%BD%CE%BF%CF%80%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE%20%CE%B5%CE%B9%CF%83%CE%B1%CE%B3%CF%89%CE%B3%CE%AE%20%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BD%20%CE%A5%CE%B4%CF%81%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%AF%CE%B1.pdf>

Η ιστορία των ανθρώπων» Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών,  
Κέντρο Διαπολιτισμικής Αγωγής, Αθήνα, 2003:  
[https://www.keda.uoa.gr/epam/pdf/el/istoria\\_antrwpwn.pdf](https://www.keda.uoa.gr/epam/pdf/el/istoria_antrwpwn.pdf), Ανάκτηση:  
Μάρτιος 2020.

Kayombo et al. (2004) Waste Stabilization Ponds and Constructed Wetlands  
Design Manual. Κόστος μεμβρανών liner:  
[https://www.google.gr/search?client=opera&hs=bzI&sxsrf=ALeKk010UNqXN8NDq60nf-UVzkwzmJ37Fg%3A1585497460657&ei=dMWAXp3cJ4uSaN7NvLgB&q=pool+liner+cost+per+square+foot&oq=cost+liner+pool+PER&gs\\_lcp=CgZwc3ktYWIQARgBMgYIABAWEB4yBggAEBYQHjIGCAAQFhAeOgQIABBHUIY9WKxDYIxdaABwAngAgAGhAogBIQaSAQUwLjIuMpgBAKABAaoBB2d3cy13aXo&sclient=psy-ab](https://www.google.gr/search?client=opera&hs=bzI&sxsrf=ALeKk010UNqXN8NDq60nf-UVzkwzmJ37Fg%3A1585497460657&ei=dMWAXp3cJ4uSaN7NvLgB&q=pool+liner+cost+per+square+foot&oq=cost+liner+pool+PER&gs_lcp=CgZwc3ktYWIQARgBMgYIABAWEB4yBggAEBYQHjIGCAAQFhAeOgQIABBHUIY9WKxDYIxdaABwAngAgAGhAogBIQaSAQUwLjIuMpgBAKABAaoBB2d3cy13aXo&sclient=psy-ab).  
Ανάκτηση: Μάρτιος 2020.

Όγκος τραπεζοειδούς: <https://keisan.casio.com/exec/system/1297652433>.  
Ανάκτηση: Μάρτιος 2020.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ Τομέας  
Περιβαλλοντικής Μηχανικής και Επιστήμης Εργαστήριο Διαχείρισης  
Αποβλήτων ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ Δρ.  
Αθανάσιος Σ. Στασινάκης Μυτιλήνη 2003  
<https://www2.env.aegean.gr/eda/fpdb/%CE%95%CE%B9%CF%83%CE%B1%CE%B3%CF%89%CE%B3%CE%AE%20%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BD%20%CE%A0%CE%B5%CF%81%CE%B9%CE%B2%CE%B1%CE%BB%CE%BB%CE%BF%CE%BD%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE%20%CE%9C%CE%B7%CF%87%CE%B1%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AE.pdf>. Ανάκτηση: Μάρτιος 2020.

Πίνακες ΑΤΟΕ για χρήση ως στοιχεία κόστους ανά μονάδα:  
[https://www.chania.gr/files/55/33455/9\\_osapyoikismoι\\_analysh\\_timvn\\_trop1.pdf](https://www.chania.gr/files/55/33455/9_osapyoikismoι_analysh_timvn_trop1.pdf)

Water demand management: implementation principles and indicative case studies  
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1747-6593.2010.00240.x> Eleni Kampragou, Demetris F. Lekkas, Dionysis Assimacopoulos First published: 23 August 2010