



**ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ**

**ΤΜΗΜΑ: ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΚΑΙ ΑΝΘΟΚΟΜΙΑΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

*«Εκτίμηση απολυμαντικής ικανότητας αποβλήτων με την χρήση υπερήχων με ή χωρίς τη χρήση καταλύτη.»*



**ΣΠΟΥΔΑΣΤΡΙΑ: ΡΟΥΣΣΟΥ ΟΥΡΑΝΙΑ**

**ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: Δρ. ΜΑΝΙΟΣ ΘΡΑΣΥΒΟΥΛΟΣ**

**ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2008**

**ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ**

**ΤΜΗΜΑ:ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΚΑΙ ΑΝΘΟΚΟΜΙΑΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

*«Εκτίμηση απολυμαντικής ικανότητας αποβλήτων με την χρήση υπερήχων με ή χωρίς τη χρήση καταλύτη.»*

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΡΙΑ: ΡΟΥΣΣΟΥ ΟΥΡΑΝΙΑ**

**ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: Δρ. ΜΑΝΙΟΣ ΘΡΑΣΥΒΟΥΛΟΣ**

**ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2008**

*Στην οικογένεια μου...*

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

*Με την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον εισηγητή μου Δρ Μανιό Θρασύβουλο, για την υποστήριξη του και την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα, καθώς και για την γνώση και την εμπειρία που απέκτησα.*

*Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω το Φουντουλάκη Μιχάλη και τη Δρακοπούλου Σταυρούλα, που με καθοδήγησαν και με βοήθησαν στο πειραματικό μέρος, στην εκπόνηση και στη συγγραφή της πτυχιακής μου εργασίας, για την επιτυχή ολοκλήρωση της, καθώς και για τον πολύτιμο χρόνο που μου αφιέρωσαν και την κατανόηση που μου έδειξαν.*

*Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου για την ηθική υποστήριξη, την υπομονή και την κατανόηση που μου έδειξαν όλο αυτό το χρονικό διάστημα, γιατί συνέβαλαν, ο καθένας, με τον δικό του τρόπο στην ολοκλήρωση της προσπάθειάς μου.*

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή μελετήθηκε η επίδραση υπερήχων υψηλής ενέργειας (24 kHz), με την παρουσία και την απουσία των σωματιδίων του διοξειδίου του τιτανίου, για την καταστροφή διαφόρων ομάδων βακτηρίων. Εφαρμόζοντας συνολική ενέργεια 1500 W/L για 60 λεπτά (αυτό αντιστοιχεί σε 5400 kJ/L ειδικής ενέργειας) σε απόβλητα, η μέση καταστροφή των Gram-αρνητικών βακτηρίων, όπως είναι τα ολικά κολοβακτηρίδια (TC), τα κοπρανώδη κολοβακτηρίδια (FC) και οι ψευδομονάδες (PS) ήταν 99,5, 99,2 και 99,7% αντίστοιχα. Οι περισσότεροι ανθεκτικοί μικροοργανισμοί στους υπέρηχους ήταν τα Gram-θετικά βακτήρια *Clostridium perfringens* (CP) και οι κοπρανώδη στρεπτόκοκκοι (FS) με μέση απομάκρυνση 65,8 και 85% αντίστοιχα. Η παρουσία του TiO<sub>2</sub> προάγει την αύξηση της καταστροφής των αρνητικών κατά Gram βακτηρίων, που παράγουν τρεις με πέντε λογάριθμικούς βαθμούς. Η βελτίωση αυτή αντιστοιχεί σε εξοικονόμηση ενέργειας ύψους περίπου 50%, για την ίδια βακτηριοκτόνο επίδραση. Από την άλλη πλευρά, η σχετικά αδύναμη ηχοχημική αδρανοποίηση των θετικών κατά Gram βακτηρίων ελάχιστα επηρεάζεται από την παρουσία των στερεών σωματιδίων. Η ακτινοβολία των υπερήχων με ενέργεια 5.400 kJ/L και με παρουσία 5g/L TiO<sub>2</sub> πετυχαίνει συγκέντρωση ολικών κολοβακτηριδίων μικρότερη από 10<sup>3</sup> CFU/100ml, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνονται τα πρότυπα ποιότητας (USEPA) για την επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων.

## **ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1</b> .....	10
1. Εισαγωγή.....	10
1.1 Υγρά Απόβλητα .....	13
1.2 Χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων.....	14
1.2.1 Ποιοτικά χαρακτηριστικά των αποβλήτων. ....	14
1.2.1.1. Βιολογικά χαρακτηριστικά.....	14
1.2.1.2. Οργανικές ουσίες.....	16
1.2.1.3 Στέρεες ουσίες .....	17
1.2.1.4 Τοξικές ουσίες.....	18
1.2.2 Φυσικά χαρακτηριστικά. ....	18
1.2.2.1. Οσμή.....	19
1.2.2.2. Θερμοκρασία.....	19
1.2.2.3. Πυκνότητα.....	20
1.2.2.4. Θολότητα.....	20
1.2.2.5. Χρώμα.....	21
1.2.3. Χημικά χαρακτηριστικά.....	21
1.2.3.1. Χλωρίδα.....	21
1.2.3.2. Αλκαλικότητα.....	21
1.2.3.3. Άζωτο.....	22
1.2.3.4. Φώσφορος.....	23
1.2.3.5. Θείο.....	24
1.2.3.6. Τοξικά ανόργανα μείγματα.....	24
1.2.3.7. Βαρέα μέταλλα.....	25

1.2.3.8. Αέρια.....	25
1.2.3.9. Διαλυμένο οξυγόνο.....	25
1.2.3.10. Υδροθείο.....	26
1.2.3.11. Μεθάνιο.....	26
1.2.3.12. Οργανική ουσία.....	26
1.2.4. Βιολογικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων.....	30
1.2.4.1. Τα βακτήρια.....	30
1.2.4.2. Ιοί.....	31
1.2.4.3. Παράσιτα.....	31
1.2.5. Παθογόνοι οργανισμοί.....	31
1.2.6. Η χρήση των μικροβιακών δεικτών.....	31
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....</b>	<b>34</b>
2.1 Επεξεργασία καθαρισμού των υγρών αποβλήτων.....	34
2.2. Μέθοδοι επεξεργασίας.....	34
2.3. Στάδια καθαρισμού.....	35
2.3.1. Πρωτοβάθμιος μηχανικός καθαρισμός.....	37
2.3.2. Δευτεροβάθμιος βιολογικός καθαρισμός.....	39
2.3.2.1. Ενεργός ιλύς.....	41
2.3.2.2. Δευτεροβάθμια καθίζηση.....	41
2.3.3. Τριτοβάθμια επεξεργασία.....	41
2.3.3.1. Φιλτράρισμα.....	41
2.3.3.2. Λιμνοδεξαμενές.....	42
2.3.3.3. Σχεδιασμός εδαφών με υψηλή υγρασία.....	42
2.4. Μετακίνηση αποβλήτων.....	42
2.4.1. Απομάκρυνση του αζώτου.....	42
2.4.2. Αφαίρεση φωσφόρου.....	43

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 .....</b>	<b>44</b>
3.1. Επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων. ....	44
3.2. Τρόποι Επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων. ....	45
3.2.1. Γεωργική χρήση με έμφαση στην άρδευση.....	45
3.2.2. Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων. ....	49
3.2.3. Επαναχρησιμοποίηση για σκοπούς ύδρευσης. ....	52
3.2.4. Βιομηχανική χρήση. ....	53
3.3. Χρήση σημαντικών τεχνολογιών στην επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων.....	55
3.4. Άλλοι τρόποι διάθεσης των εκροών των υγρών αποβλήτων. ....	57
3.4.1. Τρόποι διάθεσης εκροών. ....	57
3.4.1.1. Διάθεση σε γήινους αποδέκτες. ....	57
3.4.1.2. Επιφανειακή διάθεση στο έδαφος. ....	58
3.4.1.3. Διάθεση σε επιφανειακά νερά. ....	61
3.5. Κατευθυντήριες οδηγίες για την επαναχρησιμοποίηση του νερού στην περιοχή της Μεσογείου. ....	64
 <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 .....</b>	 <b>65</b>
4. Απολύμανση.....	65
4.1. Χαρακτηριστικά του ιδανικού απολυμαντικού μέσου:.....	66
4.2. Μηχανισμοί της απολύμανσης και παράγοντες που επιρραάζουν την δράση τους.67	
4.3. Μέθοδοι απολύμανσης.....	68
4.3.1. Απολύμανση με όζον.....	68
4.3.2. Απολύμανση με χλωρίωση.....	68
4.3.3. Απολύμανση με υπεριώδης(UV).....	69



<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5</b> .....	72
5. Απολύμανση με υπερήχους.....	72
5.1. Η ιστορία της απολύμανσης.....	72
5.2. Η θεωρία της δημιουργίας κοιλοτήτων.....	73
5.3. Επιπτώσεις στους μικροοργανισμούς .....	73
5.4. Καταλληλότητα-Εφαρμοσιμότητα.....	75
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6</b> .....	76
6. Υλικά και Μέθοδοι.....	76
6.1. Υγρά Απόβλητα. ....	76
6.2. Πείραμα Απολύμανσης. ....	77
6.3. Μικροβιολογική Ανάλυση. ....	77
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7</b> .....	78
7. Αποτελέσματα και συζήτηση.....	78
7.1. Απόδοση Απολύμανσης. ....	78
7.2. Κινητική της απολύμανσης. ....	83
7.3. Η εκτίμηση της απολύμανσης εναντίον στη ποιότητα των υγρών αποβλήτων. ....	85
7.4. Μικροβιολογικές προδιαγραφές για την επαναχρησιμοποίηση.....	86
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	88

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### 1. Εισαγωγή

Η εξέλιξη της ανάκτησης των υγρών αποβλήτων, της ανακύκλωσης και της επαναχρησιμοποίησης έχει αρχίσει από τα πρώιμα συστήματα νερού και των υπονόμων, που ήταν χαρακτηριστικά των ανεπτυγμένων πολιτισμών των αρχαίων χρόνων, κυρίως του Μινωικού πολιτισμού στην αρχαία Ελλάδα.

Αν και η ανακύκλωση του νερού έχει γίνει σε πολλά μέρη του κόσμου για αιώνες, ένας αριθμός παραγόντων έχουν συμβάλει στο πρόσφατο ενδιαφέρον για ανακύκλωση του νερού. Υπόνομοι βρέθηκαν σε ερείπια προϊστορικών πόλεων όπως η Κρήτη, και η Συρία. Υπόνομοι οι οποίοι εξυπηρετούσαν την απομάκρυνση της βροχής στην Αρχαία Ρώμη λειτουργούν ακόμα και σήμερα. Κατά τον Μεσαίωνα άρχιζαν να χτίζονται και βόθροι. Όταν γέμιζαν οι εργάτες έπρεπε να τους αδειάζουν με χρέωση του ιδιοκτήτη. Ύστερα απομακρύνονταν σε θαλάσσιες περιοχές και σε λίμνες ή ποτάμια. Κατά το 19ο αιώνα άρχιζαν να χτίζονται καλύτερα αποχετευτικά συστήματα τα οποία βελτίωσαν την ποιότητα της ζωής. Το 20<sup>ο</sup> αιώνα πολλές πόλεις και βιομηχανίες κατάλαβαν ότι η απομάκρυνση των λυμάτων απευθείας σε ποταμιά και λίμνες προκαλούσε πολλά προβλήματα υγείας, όπως χολέρα. Αυτό οδήγησε στην κατασκευή εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων. Κατά το 1950 και το 1960 άρχιζαν να χτίζονται οι πρώτες εγκαταστάσεις.

Πολλά βιομηχανοποιημένα έθνη έχουν τεράστια προβλήματα που συνδέονται με την ανάπτυξη επαρκών πηγών νερού. Η δαπάνη της δημοτικής και βιομηχανικής διάθεσης των υγρών αποβλήτων, για την προστασία της ποιότητας του νερού και την ελάττωση της μόλυνσης αυξάνεται. Ιδιαίτερα σε ξηρές και ημίξηρες χώρες, το νερό είναι ένας αυξανόμενος ανεπαρκής πόρος και και γι' αυτό μελετούνται πηγές νερού, οι οποίες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά και οικονομικά ώστε να φέρουν μεγαλύτερη ανάπτυξη. Επίσης, η επέκταση του αστικού πληθυσμού σε μέρη με υπερμεγέθη συμπύεση σε πόρους με νερό και ξηρά, έχει σαν αποτέλεσμα την απελευθέρωση μεγάλου όγκου υγρών αποβλήτων, των οποίων τα περισσότερα είναι ανεξιχνίαστα.

Αυτό έχει σαν συνέπεια, οι περιοχές που έχουν περιορισμένους υδάτινους πόρους, που μπορεί να αντιμετωπίζουν και προβλήματα ρύπανσης, είτε αντιμετωπίζουν μια αυξημένη ζήτηση νερού κυρίως για άρδευση, ιδιαίτερα την περίοδο περιορισμένων βροχοπτώσεων, είτε έχουν ανάπτυξη του αστικού πληθυσμού και γι' αυτό μελετούν άλλες πηγές νερού, όπως αυτή των υγρών αποβλήτων.

Το 1992 στις ΗΠΑ, υπήρχαν 1900 έργα ανάκτησης-επαναχρησιμοποίησης. Η πολιτεία της Καλιφόρνια αλλά και άλλες πολιτείες ενδιαφερόταν για έργα επαναχρησιμοποίησης κυρίως για γεωργικούς και βιομηχανικούς σκοπούς όπως η άρδευση φυτών μεγάλης καλλιέργειας, δένδρων, πάρκων, γηπέδων και άλλων κοινόχρηστων χώρων, ο εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων και η δημιουργία τεχνητών υγροβιότοπων.

Η πρώτη Ευρωπαϊκή χώρα που εγκρίθηκε νομοθετικά η ελεγχόμενη εφαρμογή υγρών αποβλήτων με επαναχρησιμοποίηση τους στο έδαφος και βαθύτερους γεωλογικούς σχηματισμούς ήταν η Αγγλία. Περισσότερα από 100 έργα ελεγχόμενης εφαρμογής υγρών αποβλήτων στο έδαφος στα οποία περιλαμβάνονται και έργα εμπλουτισμού με υψηλές παροχές υπόγειων ασβεστολιθικών και τριτοζωικών ψαμμιτικών υδροφορέων. Στο Ισραήλ το 92% των υγρών αποβλήτων συλλέγεται σε δημόσια αποχετευτικά δίκτυα. Το 72% ανακτούνται και επαναχρησιμοποιούνται για άρδευση 42% και για εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων 30%. Η Γερμανία έχει αναπτύξει αξιόλογη τεχνογνωσία στην επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων για γεωργικούς σκοπούς. Συγκεκριμένα στην Ανατολική Γερμανία επίτευχθηκαν αυξημένες αποδόσεις σιτηρών, σακχαρότευτλων, πατάτας και διάφορων κτηνοτροφικών φυτών ύστερα από άρδευση που γινόταν από εκροές υγρών αποβλήτων χαμηλού επιπέδου προεπεξεργασίας. Στη Γαλλία, στην Ιταλία, στην Πορτογαλία, στην Ισπανία επαναχρησιμοποιούνται υγρά απόβλητα σε μικρές κοινότητες με τουριστικό ενδιαφέρον.

Το ξηροθερμικό κλίμα της Κύπρου και το μικρό σχετικά ύψος, η άνιση κατανομή των ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων σε συσχετισμό με την τουριστική ανάπτυξη δημιουργούν τις κατάλληλες προϋποθέσεις για έργα ανάκτησης-επαναχρησιμοποίησης.

Η επικράτηση αρχικά τεχνητών δεξαμενών σταθεροποίησης να υποχωρεί και να επεκτείνεται η βιολογική δευτεροβάθμια επεξεργασία και τριτοβάθμια επεξεργασία με φιλτράρισμα και απολύμανση.

Επίσης στην Ουγγαρία, στην Πολωνία, στην Ινδία, στην Λατινική Αμερική, στην Αργεντινή γίνεται ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση των εκροών των υγρών αποβλήτων κυρίως για αρδευτικούς σκοπούς.

Οι χρήσεις των υγρών αποβλήτων ύστερα από τα έργα ανάκτησης επαναχρησιμοποίησης καθορίζουν τον απαιτούμενο βαθμό επεξεργασίας τους, καθώς και την αξιοπιστία των διεργασιών επεξεργασίας και εκτέλεσης τους.

Τα προεπεξεργασμένα υγρά απόβλητα μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην άρδευση γεωργικών εκτάσεων για φυτικές καλλιέργειες, για εμπορικά φυτώρια κοινόχρηστων χώρων όπως: πάρκα, σχολικοί χώροι, εθνικοί δρόμοι, ιππόδρομοι, ελεύθεροι κοινοτικοί χώροι, περιφερειακές ζώνες πρασίνου. Επίσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη βιομηχανία για ψύξη και μεταποίηση, καθώς επίσης και στη βαρεία βιομηχανία.

Μια άλλη κατηγορία χρήσης των υγρών αποβλήτων είναι ο εμπλουτισμός υδροφορέων είτε με τη μέθοδο επιφανειακών λεκανών δίθησης, είτε με αυτή των γεωτρήσεων.

Τέλος, μία άλλη κατηγορία χρήσης των υγρών αποβλήτων που έχουν ανακτηθεί είναι διάφορες άλλες δραστηριότητες που αφορούν κυρίως λίμνες αναψυχής, υδατοκαλλιέργειες, καθαρισμό τουαλέτων, πυροπροστασία κτλ..

Σε αυτή την περίπτωση θα μελετήσουμε τη χρήση των αστικών υγρών αποβλήτων στην γεωργία, τα οποία είναι τα αρχικά οικιακά βοθρολύματα αλλά πιθανόν περιέχουν ένα ποσοστό βιομηχανικών εκροών που εκφορτώθηκαν σε δημόσιους υπονόμους. Η σπουδαιότητα της διάθεσης αυτών των υγρών αποβλήτων με ασφάλεια και προνομιούχα της δίνεται έμφαση στα επίκαιρα θέματα της υγείας του περιβάλλοντος και της μόλυνσης του νερού. Η χρήση των υγρών αποβλήτων στην γεωργία είναι μία σημαντική μελέτη σε ξηρές και ημίξερές περιοχές. Αυτό θα επέτρεπε την διατήρηση της υψηλής ποιότητας του νερού και της χρήσης του και για άλλους σκοπούς αλλίως για άρδευση.

Επαρκώς σχεδιασμένη χρήση των δημοτικών υγρών αποβλήτων ανακουφίζει τα προβλήματα της επιφανειακής μόλυνσης του νερού και ταυτόχρονα διατηρεί τις πολύτιμες πηγές νερού αλλά επίσης επωφελείται από τα θρεπτικά που περιέχουν τα υγρά απόβλητα για να αναπτυχθούν καλλιέργειες. Το νάτριο και ο φώσφορος σε αναλογία με τα υγρά απόβλητα μπορούν να μειώσουν ή και να εξαλείψουν ακόμα την χρήση των εμπορικών λιπασμάτων. Υπάρχουν βέβαια σοβαρά μειονεκτήματα για την ανθρώπινη

υγεία και το περιβάλλον, τα οποία είναι αποτέλεσμα της χρήσης των υπονόμων χωρίς επαρκείς ασφάλειες. Η αλλαγή είναι να εφαρμόσεις πρακτικές, οικονομικές ασφάλειες που δεν θα απειλήσουν τους ουσιώδεις πόρους ζωής εξαρτημένους από τα υγρά αποβλήτων, ή δεν θα ελαττώσουν τον σημαντικό ρόλο αυτής της πηγής που παίζει ρόλο στην επιτυχία της ασφάλειας του σπιτικού φαγητού και προωθώντας χαμηλού κόστους προϊόντα στις αναπτυγμένες πόλεις.

Στις μέρες μας, πολλές χώρες έχουν βάλει την επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων σε σημαντική διάσταση της μελέτης των πηγών του νερού. Είναι γενικά αποδεκτό ότι η χρήση των υγρών αποβλήτων στην γεωργία έχουν δικαιολογηθεί σε αγρονομικό και οικονομικό επίπεδο αλλά μεγάλη προσοχή πρέπει να δοθεί στην ελάττωση της επίδρασης των «εχθρικών» στην υγεία και στο περιβάλλον.

### 1.1 Υγρά Απόβλητα

**Υγρά απόβλητα** είναι οποιοδήποτε νερό που επηρεάζεται στην ποιότητα του από τον ανθρώπινο παράγοντα. Περιέχουν υγρά απόβλητα που προέρχονται από κατοικίες, ιδρύματα, βιομηχανικές εγκαταστάσεις, μεταφορικά μέσα ή μονάδες επεξεργασίας και γενικά από διάφορες εγκαταστάσεις μιας περιοχής, ακόμα και από την γεωργία. Τα οικιακά λύματα παράγονται από τις ανάγκες των ανθρώπων όπως η αφόδευση, η χρήση του μπάνιου, η προετοιμασία του φαγητού κ.α. Κατά μέσο όρο παράγονται 180-300 λίτρα κατά άτομο κάθε μέρα. Τα αστικά λύματα παράγονται από τα δημόσια κτήρια, τα νοσοκομεία κλπ. Η ποιότητα και η ποσότητα των βιομηχανικών αποβλήτων μεταβάλλεται συνεχώς και δεν είναι εύκολο να προσδιοριστεί, αφού πολλές βιομηχανίες ρίχνουν -παράνομως- ανεπεξέργαστα τα απόβλητά τους στο αποχετευτικό δίκτυο της πόλης. Για παράδειγμα ένα εργοστάσιο επεξεργασίας σιδήρου παράγει από 5700-151.000 λίτρα λυμάτων για την παραγωγή ενός τόνου σιδήρου. Σε τέτοιες περιπτώσεις (βαρέων βιομηχανιών, ελαιοτριβείων, τυροκομείων κ.α.) ο νόμος επιβάλλει συγκεκριμένη επεξεργασία **πριν** την απόρριψη των αποβλήτων τους στο αποχετευτικό δίκτυο. Έπειτα ακολουθεί η επεξεργασία από την *Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ)*. Η επεξεργασία των λυμάτων αποτελεί ένα σημαντικό -και στις μέρες μας με την γνωστή ρύπανση του Περιβάλλοντος ένα πλέον αναγκαίο- μέτρο, για τον περιορισμό των επιπτώσεων από τη διάθεση τους σε διάφορους αποδέκτες.

Τα υγρά απόβλητα είναι ένα σύνθετο υλικό, με πολλά διακριτικά χημικά χαρακτηριστικά. Περιέχουν υψηλή συγκέντρωση αμμωνίας, νιτρικά, φώσφορο, ανόργανα υλικά, μέταλλα, έχει υψηλή αγωγιμότητα(εξαιτίας των υψηλών διαλυμένων σωματιδίων), υψηλή αλκαλικότητα, με τυπική διακύμανση pH μεταξύ 7 και 8. Παθογενείς ή ασθενείς οργανισμοί παρουσιάζονται στα υγρά απόβλητα. Το 99.94% νερού με μόνο 0.06% υγρών αποβλήτων να διαλύονται και να αποβάλλονται υγρά υλικά. Η θολότητα των ανεπεξέργαστων βοθρολυμάτων οφείλεται στην αιώρηση των σωματιδίων.

## **1.2 Χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων.**

### **1.2.1 Ποιοτικά χαρακτηριστικά των αποβλήτων.**

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των αποβλήτων μπορούν να χωριστούν σε τέσσερις κατηγορίες:

1. Βιολογικά χαρακτηριστικά
2. Οργανικές ουσίες
3. Στερεές ουσίες
4. Τοξικές ουσίες

#### **1.2.1.1. Βιολογικά χαρακτηριστικά.**

Τα βιολογικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων είναι τα διάφορα μικρόβια που περιέχουν και διάφοροι σαπροφυτικοί οργανισμοί.

Τα μικρόβια προέρχονται από τις κοπρανώδεις ουσίες. Σ' αυτά περιλαμβάνονται η ομάδα των κολοβακτηριοειδών (με το κολοβακτηρίδιο), ο εντερόκοκκος, το διαθλαστικό κλωστρίδιο (τροφική δηλητηρίαση) και κατά περίπτωση παθογόνα εντεροβακτηρίδια, όπως π.χ. η σαλμονέλλα του τυφοειδούς πυρετού, οι σύγκελλες (δυσεντερία), το δονάκιο της χολέρας ή διάφοροι ιοί, π.χ. της λοιμώδους ηπατίτιδας, της πολιομυελίτιδας κλπ. Επίσης μπορεί να περιέχονται εντερικά παράσιτα, όπως αμοιβάδες ή αυγά σκουληκιών κλπ.

Η ανίχνευση της παρουσίας των διαφόρων παθογόνων παραγόντων στα υγρά απόβλητα απαιτεί σημαντική εργαστηριακή προσπάθεια και χρόνο. Γι' αυτό κατά τη μικροβιολογική εξέταση του νερού και των υγρών αποβλήτων χρησιμοποιείται σαν

γενικός δείκτης η ομάδα των κολοβακτηριοειδών και ειδικότερα για τη μόλυνση με περιττωματικές ουσίες, τα κολοβακτηρίδια (με χαρακτηριστικό αντιπρόσωπο το γένος *Escherichia coli*), που ζουν στον εντερικό σωλήνα των ανθρώπων (και θερμόαιμων ζώων), χωρίς γενικά να είναι παθογόνα (συμβίωση), καθώς και άλλα βακτήρια που δεν έχουν όμως περιττωματική προέλευση (π.χ. *Aerobacter aerogenes*), αλλά αναπτύσσονται στο έδαφος, στη χλόη ή στα σηπτόμενα φυλλώματα.

Εκτός από τους μικροβιακούς δείκτες μόλυνσεως και τα παθογόνα μικρόβια, που ενδιαφέρουν ιδιαίτερα από υγειονομική πλευρά, υπάρχει μεγάλη ποικιλία οργανισμών από μικροσκοπικοί μέχρι ορατοί με γυμνό μάτι, όχι γενικά παθογόνοι, που ζουν και αναπτύσσονται στα επιφανειακά νερά και τα λύματα και παίζουν καθοριστικό ρόλο στη φυσική διαδικασία καθαρισμού με τη μετατροπή των ασταθών οργανικών (ή και ανόργανων, όπως η  $\text{NH}_3$ ) ουσιών σε σταθερές ανόργανες ενώσεις και την παράλληλη καταστροφή διαφόρων μικροβίων. Αυτοί οι οργανισμοί ονομάζονται σαπροφυτικοί.

Οι οργανισμοί αυτοί αποτελούν στην πράξη τους βιολογικούς εργάτες, που έχει στη διάθεση του ο τεχνικός για την επεξεργασία καθαρισμού των αποβλήτων και είναι μονοκύτταροι ή πολυκύτταροι, ανήκουν στα ζώα ή τα φυτά καλύπτουν όλη τη κλίμακα μεγεθών από μικροσκοπικοί μέχρι ορατοί με γυμνό μάτι.

Ανάλογα με την πηγή άνθρακα, που χρησιμοποιούν, διακρίνονται σε αυτότροφους, αν διασπών το  $\text{CO}_2$  (και συνθέτουν οργανικές ουσίες με φωτοσύνθεση ή χημειοσύνθεση) και σε ετερότροφους, αν χρησιμοποιούν σαν πηγή άνθρακα τις οργανικές ενώσεις.

Εξάλλου οι οργανισμοί, ανάλογα με την ικανότητα να χρησιμοποιήσουν το οξυγόνο σε διάφορες μορφές διακρίνονται σε:

- Αερόβιους: όσοι μπορούν να χρησιμοποιούν μόνο ελεύθερο (μοριακό) οξυγόνο για τη λειτουργία της αναπνοής. Το περιβάλλον χωρίς ελεύθερο οξυγόνο είναι ασφυκτικό.
- Αναερόβιους: όσοι μπορούν να χρησιμοποιούν το δεσμευμένο οξυγόνο των οργανικών ουσιών. Η παρουσία ελεύθερου οξυγόνου είναι απαγορευτική γι' αυτούς.
- Επαμφοτερίζοντες: όσοι μπορούν να ζήσουν και στις δύο καταστάσεις.

Στην επεξεργασία καθαρισμού των αποβλήτων ορισμένα είδη οργανισμών παίζουν ιδιαίτερο ρόλο, όπως π.χ. τα βακτήρια, μύκητες, φύκη, πρωτόζωα, τροχόζωα, οστρακόδερμα, νηματώδεις, σκουλήκια, προνύμφες εντόμων κλπ.

### 1.2.1.2. Οργανικές ουσίες

#### A. Βιοχημική αποδόμηση

Οι οργανικές ουσίες, που βρίσκονται στα λύματα σε συνδυασμό με ορισμένα ανόργανα συστατικά αποτελούν το θρεπτικό υπόστρωμα αναπτύξεως ολόκληρης σειράς σαπροφυτικών οργανισμών. Για την αφομοίωση αυτών των ουσιών μπαίνει σε λειτουργία ένας πολυσύνθετος βιοχημικός μηχανισμός, που οδηγεί από τη μια μεριά στη σύνθεση των απαραίτητων ουσιών για την ανάπτυξη του κυττάρου και από την άλλη στην αποσύνθεση για την εξασφάλιση της απαιτούμενης ενέργειας. Ο μηχανισμός αυτός καταλήγει τελικά στην αποδόμηση των οργανικών ουσιών και στη μετατροπή τους σταδιακά στην πιο σταθερή μορφή των ανόργανων αλάτων και αερίων.

Η αποδόμηση διακρίνεται σε αερόβια, αν γίνεται από αερόβιους οργανισμούς(προϋπόθεση: η παρουσία ελεύθερου διαλυμένου οξυγόνου στα λύματα) ή σε αναερόβια, όταν δεν υπάρχει διαλυμένο ελεύθερο οξυγόνο.

Τα τελικά προϊόντα της αερόβιας βιοχημικής αποδομήσεως( $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $NO_3$  κλπ.) δεν είναι γενικά ανθυγιεινά ή ενοχλητικά, σ' αντίθεση με της αναερόβιας ( $H_2S$ ,  $CH_4$ ,  $NH_3$  κλπ.), που είναι δύσοσμα, τοξικά, ερεθιστικά ή εκρηκτικά. Γι' αυτό επιδιώκεται γενικά η εξασφάλιση αερόβιων συνθηκών αποδομήσεως στο περιβάλλον.

Η διαδικασία της αερόβιας αποδομήσεως των νεκρών οργανικών ουσιών παριστάνει συνοπτικά τον κύκλο του αζώτου, του άνθρακα και του θείου στη φύση.

#### B. Απαιτούμενο οξυγόνο

Το στοιχειακό οξυγόνο, που χρειάζεται για τη βιοχημική αποδόμηση των οργανικών ουσιών των υγρών αποβλήτων από αερόβιους μικροοργανισμούς, ονομάζεται βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BAO ή αγγλικά **BOD**) και αποτελεί μέτρο για την εκτίμηση της πυκνότητας των υγρών αποβλήτων από την πλευρά των ενοχλήσεων, που μπορεί να προκαλέσει το οργανικό τους φορτίο στο περιβάλλον. Ο ρυθμός της βιοχημικής αποδόμησης εξαρτάται και από τη θερμοκρασία.

Αν στα απόβλητα υπάρχουν ουσίες, που αποδομούνται δύσκολα βιολογικά (π.χ. κυτταρίνη) ή είναι απαγορευτικές για την ανάπτυξη των σαπροφυτικών οργανισμών ή ακόμη τοξικές, το BOD παρουσιάζεται μειωμένο, παρότι υπάρχουν οργανικές ουσίες,



όπως μπορεί να συμβεί με τα βιομηχανικά απόβλητα. Για την εκτίμηση του απαιτούμενου οξυγόνου, ανεξάρτητα από τη βιοαποδομησιμότητα των αποβλήτων, γίνεται χημική οξείδωση των οργανικών ουσιών. Η ποσότητα του οξειδωτικού παράγοντα, που χρειάζεται για την οξείδωση των οργανικών ουσιών των αποβλήτων με εργαστηριακά μέσα, ονομάζεται χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (ΧΑΟ, αγγλικά **COD**).

Επίσης, χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του οργανικού κλάσματος στα υγρά απόβλητα, για συγκεντρώσεις μεγαλύτερες των 30-50mg/l. Σύμφωνα με τη νομοθεσία μας, τα απόβλητα που αποθηκεύονται σε επιφανειακά ρεύματα ή στη θάλασσα πρέπει να έχουν COD μικρότερο από 120mg/L ενώ σε μερικές περιπτώσεις είναι αυστηρότερα τα όρια.

### **1.2.1.3 Στέρεες ουσίες**

Μια βασική παράμετρος για τον χαρακτηρισμό των υγρών αποβλήτων είναι τα ολικά στερεά (ΟΣ), [Total solids, TS]. Ολικά στερεά ορίζονται ως η ύλη που απομένει μετά από εξάτμιση στους 103-105° και είναι μια μέτρηση όλων των ιόντων που υπάρχουν σε διάλυση.

Η μέτρηση τους γίνεται με διήθηση του νερού για απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών, εξάτμιση μέχρι ξηρού του διηθήματος και ζύγιση του στέρεου υπολείματος. Αν και τα διαλυόμενα ολικά στερεά δεν φαίνεται να είναι επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία, συνήθως συνίσταται να είναι λιγότερα από 500mg/L στο πόσιμο νερό.

Η φυσική εμφάνιση των λυμάτων (θολότητα, χρώμα) εξαρτάται από τις περιεχόμενες ουσίες, αιωρούμενες και διαλυμένες.

Τα αιωρούμενα χαρακτηριστικά είναι το κύριο αίτιο της θολότητας ενώ τα καθιζάνοντα αντιπροσωπεύουν το τμήμα των αιωρούμενων, που απομακρύνεται εύκολα με απλή καθίζηση και επομένως δίνουν μία ένδειξη της δυνατότητας καθαρισμού.

Τα διαλυμένα στερεά αποτελούνται από τα κολλοειδή και τα πραγματικά διαλύματα.

Τα ενδεικτικά μεγέθη των διάφορων κατηγοριών στερεών είναι:

- Αιωρούμενα  $D \geq 0,1-1 \mu$ . (μικρό)
- Κολλοειδή  $D \geq 1\mu - 0,1\mu$

- Διαλυμένα  $D \geq 0,2 \mu\text{m} - 1 \mu\text{m}$

Όλα τα στερεά μπορούν να είναι οργανικά ή ανόργανα. Τα οργανικά στερεά περιέχουν πάντα άνθρακα και υδρογόνο και στις υψηλές θερμοκρασίες (500-600° C) σχηματίζεται διοξείδιο του άνθρακα, νερό και μερικές φορές άλλα μείγματα. Η καύση ή η εξάτμιση των οργανικών στερεών οδηγεί στον σχηματισμό των πτητικών στερεών. Όλα τα στερεά που καίγονται ή εξατμίζονται στους 500-600° C ονομάζονται πτητικά στερεά. Αυτά τα στερεά χρησιμοποιούνται σαν θρεπτικό υπόστρωμα για τα βακτήρια και για άλλους ζωντανούς οργανισμούς στην θεραπεία των αποικιών των υγρών αποβλήτων. Τα περισσότερα οργανικά στερεά σε δημοτικά απόβλητα προέρχονται από ζωντανές αποκίες ή ζώα.

Τα στερεά που δεν καίγονται ή δεν εξατμίζονται στους 500-600° C, αλλά παραμένουν σαν υπόλειμμα, ονομάζονται αμετάβλητα στερεά. Τα περισσότερα ανόργανα στερεά είναι από τις μη ζωντανές πηγές.

#### **1.2.1.4 Τοξικές ουσίες.**

Οι τοξικές ουσίες των λυμάτων προέρχονται κυρίως από τις διάφορες βιομηχανίες, που αποχετεύονται στο δίκτυο υπονόμων (χαλκός, μόλυβδος, άργυρος, χρώμιο, αρσενικό, βόριο, νικέλιο, κάδμιο, υδράργυρος, κυανιούχα, φαινόλες, πετροχημικά, DDT, PCB κλπ.).

Επηρεάζουν δυσμενώς τη ζωή στους αποδέχτες (επιφανειακά νερά, έδαφος) και με την τροφική αλυσίδα μπορεί να φθάσουν μέχρι τα ανώτερα ζώα και τον άνθρωπο με επιβλαβείς συνέπειες για τη δημόσια υγεία (νόσος Minamata από υδράργυρο).

Η εξουδετέρωση των τοξικών ουσιών πρέπει κατά κανόνα να γίνει στην πηγή τους(βιομηχανία).

#### **1.2.2 Φυσικά χαρακτηριστικά.**

Τα φυσικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων είναι η οσμή, η θερμοκρασία, η πυκνότητα, η θολότητα και το χρώμα.

### **1.2.2.1. Οσμή.**

Η οσμή στα οικιακά υγρά απόβλητα συνήθως οφείλεται στα αέρια που παράγονται από την αποσύνθεση του οργανικού υλικού ή από ουσίες που προστίθενται στα υγρά απόβλητα. Το φρέσκο νερό έχει μια λιγότερη δυσάρεστη μυρωδιά από την μυρωδιά των υγρών αποβλήτων που έχουν υποστεί αναερόβια αποσύνθεση. Η πιο χαρακτηριστική οσμή των σηπτικών υγρών αποβλήτων είναι αυτή του θειϊκού υδρογόνου, που παράγεται από την αναερόβιους μικροοργανισμούς. Τα βιομηχανικά υγρά απόβλητα μπορεί να περιέχουν άλλα εύοσμα μείγματα ή μείγματα που παράγουν οσμές κατά τη διάρκεια της θεραπείας των υγρών αποβλήτων.

Για τον έλεγχο των οσμών είναι απαραίτητη η μέτρηση και η ποσοτικοποίηση τους. Είναι μία μαζική μελέτη στο σχέδιο και στην εφαρμογή της συλλογής των υγρών αποβλήτων, της θεραπείας και της ευκολίας της διάθεσης, ειδικά όταν υπάρχει η δημόσια αποδοχή. Όταν υπάρχουν ελάχιστες συγκεντρώσεις αερίων τότε μπορεί να καθοριστεί η απαιτούμενη μέθοδος επεξεργασίας. Οι περισσότερες πηγές οσμών, ωστόσο, χαρακτηρίζονται από ένα ευρύ φάσμα συστατικών, που η σύσταση τους είναι άγνωστη. Σε τέτοιες περιπτώσεις μόνο το οσφρητικό σύστημα του ανθρώπου, αποτελεί μοναδικό αποδεκτό μέτρο για την ανίχνευση και τον καθορισμό της έντασης της δυσοσμίας (οργανοληπτικές μεθόδους).

### **1.2.2.2. Θερμοκρασία.**

Η θερμοκρασία των υγρών αποβλήτων είναι συνήθως υψηλότερη από την πηγή του νερού, εξαιτίας του νερού που προέρχεται από τις κατοικίες και τις βιομηχανικές ενέργειες. Τα υγρά απόβλητα έχουν υψηλότερη θερμοκρασία αέρα κατά τη διάρκεια του χρόνου και χαμηλότερες κατά τη διάρκεια των ζεστών μηνών του καλοκαιριού. Εξαρτημένη από την γεωγραφική περιοχή, μια μέση ετήσια θερμοκρασία των υγρών αποβλήτων είναι 10-21° C, μία αντιπροσωπευτική τιμή είναι 15,6° C.

Η θερμοκρασία του νερού είναι μία πολύ σημαντική παράμετρος, επειδή είναι αποτέλεσμα χημικών αντιδράσεων και της τάξης της αντίδρασης, της υδρόβιας ζωής και της καταλληλότητας του νερού για ευεγρετικές χρήσεις. Το οξυγόνο είναι λιγότερο διαλυτό σε ζεστό νερό παρά σε κρύο νερό. Μία αύξηση στην τιμή των βιοχημικών αντιδράσεων έχει σαν συνέπεια και αύξηση της θερμοκρασίας καθώς και μείωση της ποσότητας του οξυγόνου που παρουσιάζεται στα επιφανειακά νερά. Όλα αυτά έχουν σαν

συνέπεια την πρόκληση σοβαρής κένωσης σε διαλυμένες συγκεντρώσεις οξυγόνου τους καλοκαιρινούς μήνες. Μία ξαφνική αλλαγή στη θερμοκρασία μπορεί να προκαλέσει μία ανώμαλη υψηλή θανάτωση της υδρόβιας ζωής, υψηλές θερμοκρασίες μπορούν να αυξήσουν τα δυσάρεστα φυτά του νερού και της μούχλας των υγρών αποβλήτων.

Ευνοϊκές θερμοκρασίες για την δραστηριότητα των βακτηρίων είναι 25-35°C. Η αερόβια χώνεψη και η αζωτοποίηση σταματάει όταν ανέβει σε θερμοκρασίες των 50°C. Όταν η θερμοκρασία πέφτει γύρω στους 15°C, η μεθανοπαραγωγή των βακτηρίων γίνεται αδρανής, και γύρω στους 5°C, τα αυτοτροφικά-με ενώσεις αζώτου βακτήρια πρακτικά τερματίζει λειτουργικά. Στους 2°C, τα χημειοτροφικά βακτήρια ενεργούν σε υλικά που είναι πλούσια σε άνθρακα και πέφτουν ουσιαστικά σε λήθαργο.

Αλλαγές στις θερμοκρασίες των υγρών αποβλήτων επηρεάζουν την τακτοποίηση της ποσότητας, διαλύονται τα επίπεδα του οξυγόνου και η βιολογική δράση. Η θερμοκρασία των υγρών αποβλήτων είναι πολύ σημαντική στην εφαρμογή των συγκεκριμένων μονάδων των υγρών αποβλήτων, όπως είναι η δεξαμενή ιζηματοποίησης και τα φίλτρα ανακυκλοφορίας.

#### **1.2.2.3. Πυκνότητα.**

Η πυκνότητα των υγρών αποβλήτων εκφράζεται σαν τη μάζα ανα μονάδα όγκου σε  $\text{kg/m}^3$ . Η πυκνότητα είναι ένα σημαντικό φυσικό χαρακτηριστικό των υγρών αποβλήτων εξαιτίας της δυναμικότητας της δομής της τωρινής πυκνότητας στις δεξαμενές της ιζηματοποίησης και σε άλλες μονάδες της θεραπείας. Η πυκνότητα είναι θερμοκρασία εξαρτημένη και ποικίλλει με τη συγκέντρωση των ολικών στερεών των υγρών αποβλήτων.

#### **1.2.2.4. Θολότητα.**

Η θολότητα είναι ένα μέτρο της ελαφριάς μεταδοτικής ιδιότητας του νερού. Είναι άλλο ένα τεστ που χρησιμοποιείται για να δείξει την ποιότητα των αποβλήτων που εκφορτώνονται και των φυσικών νερών που εμπλέκουν τα κολλοειδή και το υπόλειμμα με την αιωρούμενη ουσία. Η μέτρηση της βασίζεται στη σύγκριση της έντασης του φωτός που διασκορπίζεται σε ένα δείγμα και συγκρίνεται με το φως που διασκορπίζεται σε ένα με αιωρήματα κάτω από τις ίδιες συνθήκες. Τα κολλοειδή θα διασκορπίσουν το φως ή θα το απορροφήσουν και έτσι θα προκύψει η μετάδοση.

Γενικά δεν υπάρχει σχέση μεταξύ της θολότητας και της συγκέντρωσης και στα αιωρούμενα στερεά σε αθεράπευτα υγρά απόβλητα. Υπάρχει, ωστόσο, μία λογική σχέση μεταξύ της θολότητας και των αιωρούμενων στερεών της δευτεροβάθμιας εκροής από την ενεργή πρόοδο της λάσπης.

#### **1.2.2.5. Χρώμα.**

Τα φρέσκα υγρά απόβλητα, που περιέχουν διαλυμένο οξυγόνο(DO), έχουν ένα ανοιχτόχρωμο καφέ-γκρι χρώμα. Αλλά στο σύστημα συλλογής, το χρώμα αλλάζει από γκρί σε σκούρο γκρί-μαύρο. Όταν το χρώμα είναι μαύρο, τα υγρά απόβλητα περιέχουν λίγο ή καθόλου διαλυμένο οξυγόνο και ονομάζονται σηπτικά. Στις περισσότερες περιπτώσεις το γκρί, το σκούρο γκρί και το μαύρο είναι εξαιτίας της αναπτυξης των μεταλλικών σουλφιδών, τα οποία προκύπτουν από την παραγωγή των σουλφιδών κάτω από αναερόβιες συνθήκες που αντιδρούν με τα μέταλλα στα υγρά απόβλητα.

Η μέτρηση γίνεται με τη φασματοφωτομετρική μέθοδο. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή η χροιά εκφράζεται με το χαρακτηριστικό μήκος κύματος, ο βαθμός λαμπρότητας με τον όρο φωτεινότητα και ο βαθμός κορεσμού με την καθαρότητα. Οι τιμές αυτές προσδιορίζονται από μετρήσεις της απορρόφησης σε μια σειρά από διαφορετικά μήκη κύματος.

### **1.2.3. Χημικά χαρακτηριστικά.**

#### **1.2.3.1. Χλωρίδα.**

Η χλωρίδα στο φυσικό νερό είναι αποτέλεσμα από τη διήθηση της χλωρίδας, που περιέχει πέτρες και χώματα, με τα οποία το νερό έρχεται σε επαφή, και σε παραλιακές περιοχές, από την εισβολή του αλμυρού νερού.

#### **1.2.3.2. Αλκαλικότητα.**

Η αλκαλικότητα στα υγρά απόβλητα είναι αποτέλεσμα της παρουσίας των υδροξειδίων, του διοξειδίου του άνθρακα, του ανθρακικού νατρίου των στοιχείων όπως του ασβεστίου, του μαγνησίου, του νατρίου, του καλίου, ή της αμμωνίας. Το ανθρακικό ασβέστιο και το ανθρακικό μαγνήσιο είναι τα περισσότερα γνωστά. Το άλας του βορίου, του πυριτικού οξέος, του φωσφόρου και άλλων μειγμάτων μπορούν να συμβάλλουν στην αλκαλικότητα.

Η αλκαλικότητα στα υγρά απόβλητα βοηθά στην αντίδραση της αλλαγής στο pH εξαιτίας της προσθήκης των οξέων. Τα υγρά απόβλητα είναι αλκαλικά, η αλκαλικότητα τους οφείλεται στις πηγές των νερών, των υπόγειων νερών και των υλικών που προστίθενται κατά τη διάρκεια της οικιακής χρήσης. Η αλκαλικότητα προσδιορίζεται από την ποσοτική ανάλυση εναντίον ενός συνήθους οξέος. Τα αποτελέσματα εκφράζονται σε σχέση με το άλας του ασβεστίου (CaCO<sub>3</sub>). Η συγκέντρωση της αλκαλικότητας των υγρών αποβλήτων είναι σημαντική για το ποια χημική θεραπεία θα χρησιμοποιηθεί, σε βιολογική τροφή και πως θα απομακρυνθεί η αμμωνία με τον αέρα.

### 1.2.3.3. Άζωτο.

Τα στοιχεία, άζωτο και φώσφορος είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη των προτίστων και των φυτών και είναι γνωστά ως θρεπτικά ή διεγερτικά. Μικροποσότητες άλλων στοιχείων, όπως σίδηρος, χρειάζεται επίσης για τη βιολογική ανάπτυξη, αλλά το άζωτο και ο φώσφορος έχουν την μεγαλύτερη θρεπτική σημασία. Το άζωτο είναι ένα βασικό στοιχείο για τη σύνθεση της πρωτεΐνης, το άζωτο χρειάζεται για την αποτίμηση της χρησιμότητας των υγρών αποβλήτων με τη βιολογική πρόοδο.

Όταν ο έλεγχος της ανάπτυξης των αλγών από το νερό που λαμβάνεται είναι απαραίτητο να προστατευτεί η προνομιούχα χρήση, η αφαίρεση ή η μείωση του αζώτου των προηγούμενων υγρών αποβλήτων ίσως είναι επιθυμητή.

Μορφές αζώτου:

Το συνολικό άζωτο αποτελείται από οργανικό άζωτο, αμμωνία, νιτρώδων και νιτρικών εστέρων. Το αμμωνιακό άζωτο υπάρχει σε υδαρές διάλυμα ή σαν αμμωνιακό ιόν ή αμμωνία και εξαρτάται από το pH του διαλύματος:  $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$

Σε pH γύρω στο 7, η ισορροπία μετακινείται προς τα αριστερά, σε pH κάτω από 7 το ιόν της αμμωνίας επικρατεί.

Η αμμωνία προσδιορίζεται με την αύξηση του pH, διύλιση της αμμωνίας με ισχύ παράγεται όταν το δείγμα αναβράζει, και με συμπυκνωμένη ισχύς, συγκεντρώνει το αέριο της αμμωνίας. Η μέτρηση γίνεται με μέτρηση του χρώματος, στοιχειομετρικά ή με ειδικά ιοντικά ηλεκτρόδια.

Το νιτρικό άζωτο προσδιορίζεται χρωματικά, είναι σχετικά ευμετάβλητο και εύκολα οξειδώνεται με νιτρικό άλας. Είναι ένας δείκτης πέρας της μόλυνσης στη πρόοδο της σταθεροποίησης και σπάνια υπερβαίνουν το 1mg/l στα υγρά απόβλητα ή 0.1mg/L στο

επιφανειακό νερό και στο υπόγειο νερό. Αν και παρουσιάζεται σε χαμηλές συγκεντρώσεις, τα νιτρώδη είναι πολύ σημαντικά στα υγρά απόβλητα ή σε μελέτες της μόλυνσης του νερού επειδή είναι πολύ τοξικά στα περισσότερα ψάρια και άλλα υδρόβια είδη.

Το νιτρικό άζωτο έχει πολύ οξειδωτική μορφή του αζώτου που βρίσκονται στα υγρά απόβλητα. Τα νιτρικά μπορεί να ποικίλουν σε συγκεντρώσεις 0-20mg/L σαν άζωτο των εκροών των υγρών αποβλήτων. Μία τυπική κλίμακα είναι 15-20mg/l σαν άζωτο. Η συγκέντρωση των νιτρικών είναι επίσης, συνήθως προσδιορίζεται από χρωματογραφικές μεθόδους.

Το άζωτο παρουσιάζεται σε φρέσκα υγρά απόβλητα είναι πρωταρχικά συνδισμένα σε πρωτεϊνικές ουσίες και ουρία. Η αποσύνθεση των βακτηρίων αλλάζει τη μορφή της αμμωνίας. Η ηλικία των υγρών αποβλήτων υποδεικνύουν τη συγκεκριμένη ποσότητα της αμμωνίας που παρουσιάζεται. Σε αερόβιο περιβάλλον, τα βακτήρια μπορούν να οξειδώσουν την αμμωνία του αζώτου σε νιτρώδη και νιτρικά. Η επικράτηση του νιτρικού αζώτου στα υγρά απόβλητα δηλώνει ότι τα απόβλητα έχουν σταθεροποιηθεί με την εκτίμηση της απαίτησης του οξυγόνου.

Τα νιτρικά μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν για να φτιάξουν πρωτεΐνη από άλγη ή άλλα φυτά, έτσι είναι απαραίτητο να εξαλείψουν ή να ελαττώσουν το άζωτο που παρουσιάζεται για να σταματήσει η ανάπτυξη τους.

#### **1.2.3.4. Φώσφορος.**

Ο φώσφορος είναι επίσης απαραίτητος στην ανάπτυξη των αλγών και άλλων βιολογικών οργανισμών. Τα αστικά υγρά απόβλητα, για παράδειγμα, μπορούν να περιέχουν 4-15mg/L σαν φώσφορο, P.

Οι συνηθισμένες μορφές του φώσφορου βρίσκονται σε υδαρή διάλυμα που περιέχεται ορθοφωσφορικά, πολυφωσφορικά και σαν οργανικό φωσφορικό άλας. Τα ορθοφωσφορικά,  $\text{PO}_4^{-3}$ ,  $\text{HPO}_4^{-2}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , είναι διαθέσιμα για τον βιολογικό μεταβολισμό χωρίς περαιτέρω αποσύνθεση. Το πολυφωσφορικό άλας περιέχει μόρια με 2 ή περισσότερα άτομα φωσφόρου, άτομα οξυγόνου, και σε μερικές περιπτώσεις, τα άτομα υδρογόνου συνδιάζονται σε ένα πολύπλοκο μόριο. Το πολυφωσφορικό άλας που υποβάλλεται σε υδρόλυση σε υδαρές διάλυμα και επανέρχεται σε ορθοφωσφορική μορφή, ωστόσο αυτή η υδρόλυση είναι συνήθως πολύ αργή. Ο οργανικός δεσμός του φωσφόρου είναι ένα σημαντικό στοιχείο στα βιομηχανικά απόβλητα και στη λάσπη των υγρών αποβλήτων.

Το ορθοφωσφορικό άλας μπορεί να προσδιοριστεί με την ακριβή προσθήκη μιας ουσίας, όπως αμμωνίας, μολύβδου, που θα δημιουργήσουν ένα σύμπλοκο με τον φώσφορο. Τα πολυφωσφορικά και ο οργανικός φώσφορος μπορούν να μετατραπούν σε ορθοφωσφορικά, χρησιμοποιώντας σαν σκαλοπάτι ένα οξύ για χώνευση, πριν καθοριστεί με έναν παρόμοιο τρόπο δράσης.

#### 1.2.3.5. Θείο.

Το ιόν του θειϊκού οξέος βρίσκεται φυσικά στις περισσότερες πηγές νερού και γι' αυτό παρουσιάζεται στα υγρά απόβλητα. Το θείο χρησιμεύει στη σύνθεση των πρωτεϊνών και το απελευθερώνει από τον εκφυλισμό. Το θειϊκό οξύ ανάγεται βιολογικά κάτω από αναερόβιες συνθήκες σε σουλφίδιο, που μπορεί να συνδυαστεί με το υδρογόνο και να μετατραπεί σε υδρόθειο.

βακτήρια



Το θειϊκό οξύ ελαττώνει τα σουλφίδια στη χωνεμένη λάσπη και ίσως ανατρέπει τη βιολογική πρόοδο εάν η συγκέντρωση των σουλφιδίων υπερβαίνει τα 200mg/L αλλά τέτοιες συγκεντρώσεις είναι σπάνιες. Το αέριο του υδρόθειου, το οποίο είναι ανεπτυγμένα και αναμειγμένα με τα αέρια των υγρών αποβλήτων ( $\text{CH}_4 + \text{CO}_2$ ), είναι διαβρωτικό στη σωλήνωση του αερίου.

#### 1.2.3.6. Τοξικά ανόργανα μείγματα.

Επειδή πολλά είναι τοξικά, κάποια κατιόντα είναι μεγάλης σπουδαιότητας στη θεραπεία και στη διάθεση των υγρών αποβλήτων. Πολλά από αυτά τα μείγματα ταξινομούνται σαν πρωταρχικοί μολυντές. Ο χαλκός, ο μολύβδος, ο άργυρος, το χρώμιο, το νικέλιο, το αρσενικό, και το βόριο είναι τοξικά σε διάφορες βαθμίδες στους μικροοργανισμούς και πρέπει να λαμβάνεται υπόψη σε μια μελέτη για βιολογική θεραπεία της αποικίας. Εισαγωγή αυτών των ιόντων μπορούν να σκοτώσουν τους μικροοργανισμούς και έτσι να σταματήσει η θεραπεία. Το νάτριο είναι επίσης τοξικό σε υψηλές συγκεντρώσεις. Άλλα τοξικά κατιόντα περιέχουν το κάλιο και η αμμωνία στα 4000mg/L. Η αλκαλικότητα παρουσιάζεται στη χωνεμένη λάσπη που συνδιάζονται και κατακρημνίζουν τα ιόντα του ασβεστίου πριν η συγκέντρωση του ασβεστίου φτάσει στα τοξικά επίπεδα.

Μερικά τοξικά ανιόντα, που περιέχουν κυανίδες και χρωματίδες, παρουσιάζονται επίσης στα βιομηχανικά απόβλητα. Το φθόριο είναι ένα άλλο τοξικό ανιόν που βρίσκεται κυρίως



στα υγρά απόβλητα από τις ηλεκτρικές συσκευές. Οργανικά μείγματα βρίσκονται σε μερικά βιομηχανικά απόβλητα και είναι επίσης τοξικά.

#### **1.2.3.7. Βαρέα μέταλλα.**

Έχνη μερικών μετάλλων, όπως το νικέλιο, το μαγνήσιο, ο μόλυβδος, το χρώμιο, το κάδμιο, ο ψευδάργυρος, ο χαλκός, ο σίδηρος και ο υδράργυρος είναι σημαντική συνιστώσα των περισσοτέρων νερών. Πολλά από αυτά τα μέταλλα θεωρούνται πρωταρχικοί μολυντές. Μερικά μέταλλα είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη της βιολογικής ζωής και απουσία της επαρκούς ποσότητας τους μπορεί να περιορίσει την ανάπτυξη των αλγών, για παράδειγμα. Η παρουσία σε υπερβολικές ποσότητες αυτών των μετάλλων θα παρέμβει σε πολλές καλές χρήσεις του νερού λόγω της τοξικότητάς τους, γι' αυτό είναι καλό να μετράμε και να ελέγχουμε τις συγκεντρώσεις αυτών των στοιχείων. Μέθοδοι για τον προσδιορισμό αυτών των συγκεντρώσεων ποικίλουν πολύ με το ανακάτεμα των ουσιών που παρουσιάζεται. Ποσότητες αυτών των μετάλλων μπορούν να βρεθούν σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις με οργανικές μεθόδους όπως πολαρογραφία και ατομική απορρόφηση φυσικής ύλης και ακτινοβολίας.

#### **1.2.3.8. Αέρια.**

Τα αέρια που συνήθως συναντάμε στα ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα περιέχουν:

- Άζωτο, οξυγόνο, διοξείδιο του άνθρακα: όλα τα αέρια της ατμόσφαιρας, βρίσκονται σε όλα τα νερά που εκθέτονται στον αέρα.
- Υδροθείο, αμμωνία και μεθάνιο: λαμβάνονται από την αποσύνθεση του οργανικού υλικού που γίνεται στα υγρά απόβλητα.

Δεν βρίσκονται σε ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα:

- Χλωρίνη και Όζον: χρησιμοποιούνται για απολύμανση και έλεγχο της μυρωδιάς.
- Οξείδια του θείου και του αζώτου: για την πρόοδο της καύσης.

#### **1.2.3.9. Διαλυμένο οξυγόνο.**

Το διαλυμένο οξυγόνο (DO) είναι απαραίτητο για την αναπνοή των αερόβιων μικροοργανισμών, όπως και άλλων αερόβιων μορφών ζωής. Ωστόσο, το οξυγόνο είναι το μόνο διαλυτό στο νερό. Η ακριβής ποσότητα του οξυγόνου, και άλλων αερίων που παρουσιάζονται διαλυμένα ελέγχονται με τη διαλυτότητα του αερίου, με την μερική πίεση του αερίου στην ατμόσφαιρα, με τη θερμοκρασία, τη καθαρότητα του νερού.

Επειδή η εκτίμηση των βιοχημικών αντιδράσεων που χρησιμοποιείται το οξυγόνο αυξάνεται με τη θερμοκρασία, το διαλυμένο οξυγόνο είναι περισσότερο επικίνδυνο τους καλοκαιρινούς μήνες.

Η παρουσία του διαλυμένου οξυγόνου στα υγρά απόβλητα είναι επιθυμητή επειδή εμποδίζει άλλες μορφές επικίνδυνων μυρωδιών.

Τέλος, το διαλυμένο οξυγόνο (DO) αποτελεί χαρακτηριστική παράμετρο καθαρότητας των επιφανειακών νερών, γιατί αν βρίσκεται στην περιοχή του κορεσμού, σημαίνει ότι είναι πολύ περιορισμένο (ή και μηδενικό) το οργανικό φορτίο.

#### **1.2.3.10. Υδρόθειο.**

Το υδρόθειο αναπτύσσεται από την αναερόβια αποσύνθεση του οργανικού υλικού που περιέχει θείο ή από την ελάττωση των ανόργανων του θειϊκού ή θειώδους οξέος. Το αέριο είναι άχρωμο, εύφλεκτο και η μυρωδιά του μοιάζει με χαλασμένα αυγά. Το μαύρο χρώμα των υγρών αποβλήτων και της λάσπης είναι αποτέλεσμα του συνδυασμού του υδρόθειου με το σίδηρο που παρουσιάζεται σε μορφή σιδηρούχου θείου.

#### **1.2.3.11. Μεθάνιο.**

Το κύριο παραπροϊόν της αναερόβιας αποσύνθεσης της οργανικής ουσίας των υγρών αποβλήτων είναι το αέριο του μεθάνιου. Το μεθάνιο είναι άχρωμο, χωρίς μυρωδιά, με καύσιμο υδρογονάνθρακα. Κανονικά δεν βρίσκονται μεγάλες ποσότητες σε ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα επειδή ακόμα και μικρές ποσότητες οξυγόνου τήνει να είναι τοξικό σε οργανισμούς που είναι υπεύθυνοι για την παραγωγή του μεθανίου. Σε θεραπεία αποικιών, το μεθάνιο παράγεται από την πρόοδο της αναερόβιας θεραπείας που χρησιμοποιείται για να σταθεροποιηθεί η λάσπη των υγρών αποβλήτων.

#### **1.2.3.12. Οργανική ουσία.**

Στα υγρά απόβλητα μέσης δύναμης, περίπου 75% αιωρούμενα στερεά και 40% διήθητα στερεά είναι οργανικά στη φύση. Αυτά τα στερεά παράγονται από τα βασίλεια των ζώων και των φυτών και τις δραστηριότητες του ανθρώπου, συνδέονται με τη σύνθεση του οργανικού μείγματος. Τα οργανικά μείγματα παράγονται από τον συνδυασμό του άνθρακα, του υδρογόνου και του οξυγόνου μαζί με το άζωτο σε μερικές περιπτώσεις. Άλλα σημαντικά στοιχεία είναι το θείο, ο φώσφορος και ο σίδηρος που μπορεί να παρουσιαστούν.

Μαζί με τις πρωτεΐνες, τους υδρογονάνθρακες, τα λίπη και τα έλαια, και την ουρία, τα υγρά απόβλητα περιέχουν μικρές ποσότητες μεγάλου αριθμού διαφορετικών συνθετικών οργανικών μοριακών διακυμάνσεων από απλά έως πολυσύνθετα σύμπλοκα στην κατασκευή. Αυτές οι ουσίες περιπλέκουν την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων επειδή πολλά από αυτά μπορούν πολύ αργά ή δεν μπορούν καθόλου να αποσυνθετηθούν βιολογικά.

#### ***A. Πρωτεΐνες.***

Αποτελούν το 40-60%. Είναι το κύριο συστατικό των ζωικών οργανισμών. Είναι λιγότερες ποσοτικά στα φυτά. Τα ανεπεξέργαστα ζώα και φυτά περιέχουν πρωτεΐνες. Οι πρωτεΐνες είναι σύμπλοκο χημικής δομής και είναι ευμετάβλητες, και λαμβάνουν μέρος σε πολλές μορφές αποσύνθεσης. Μερικές είναι ευδιάλυτες στο νερό και άλλες είναι αδιάλυτες. Όλες οι πρωτεΐνες περιέχουν άνθρακα, υδρογόνο και οξυγόνο. Τα ξεχωριστά χαρακτηριστικά τους οφείλονται στην αρκετή υψηλή συγκέντρωση του αζώτου, γύρω στο 16%. Σε πολλές περιπτώσεις περιέχουν θείο, φώσφορος, και σίδηρο. Η ουρία και οι πρωτεΐνες είναι οι κύριες πηγές αζώτου των υγρών αποβλήτων. Όταν οι πρωτεΐνες παρουσιάζουν μεγάλες ποσότητες, πολύ έντονες μυρωδιές παράγονται από τη αποσύνθεσή τους. Η ουρία, το κύριο συστατικό των ούρων είναι ένα άλλο σπουδαίο οργανικό συστατικό που αποτελούνται τα υγρά απόβλητα.

#### ***B. Υδρογονάνθρακες.***

Οι υδρογονάνθρακες είναι 25-50%, περιέχουν ζάχαρα, άμυλο, κυτταρίνη και ξύλινες ίνες. Όλα βρίσκονται στα υγρά απόβλητα. Οι υδρογονάνθρακες περιέχουν άνθρακα, υδρογόνο και οξυγόνο. Οι συνήθεις υδρογονάνθρακες περιέχουν 6 ή και περισσότερα άτομα άνθρακα σε ένα μόριο, υδρογόνο και οξυγόνο αναλόγως πόσα βρίσκονται στο νερό. Μερικοί υδρογονάνθρακες, κυρίως τα ζάχαρα είναι διαλυτά στο νερό, το άμυλο είναι αδιάλυτο. Τα ζάχαρα τήνουν να αποσυνθεθούν, τα ένζυμα μερικών βακτηρίων και ο βρασμός βοηθούν στο να γίνει η ζύμωση με την παραγωγή οινόπνευματος και διοξειδίου του άνθρακα. Το άμυλο είναι περισσότερο σταθερό αλλά μετατρέπουν τα ζάχαρα από μικροβιακή δράση σε ανόργανα μεταλλικά οξέα. Η κυτταρίνη είναι οι πιο σπουδαίοι υδρογονάνθρακες που βρίσκονται στα υγρά απόβλητα.

### ***Γ. Λίπη και Έλαια.***

Είναι το τρίτο σημαντικό στοιχείο των τροφίμων. Ο όρος γράσο περιέχει τα λίπη, τα λάδια, τα κεριά και άλλα σχετικά συστατικά βρίσκονται στα υγρά απόβλητα. Τα λίπη και τα λάδια συνθέτονται από οινόπνευμα ή γλυκερόλη(γλυκερίνη) με λιπαρά οξέα. Αυτά είναι χημική σύνθεση από άνθρακα, υδρογόνο και οξυγόνο.

Τα λίπη είναι μεταξύ των περισσοτέρων σταθερών των οργανικών μειγμάτων και δεν αποσυντίθενται εύκολα από βακτήρια. Τα ανόργανα οξέα που προσβάλλουν αυτά, ωστόσο, απορρέουν στην δομή της γλυκερίνης και των λιπαρών οξέων. Η παρουσία του αλκαλικού υλικού, όπως καυστικό νάτριο, η γλυκερίνη ελευθερώνεται, και το αλκαλικό άλας των λιπαρών οξέων αναπτύσσονται. Αυτό το αλκαλικό άλας γνωστά σαν σαπούνια, και σαν λιπαρά, είναι σταθερά. Είναι διαλυτά στο νερό, αλλά η παρουσία της σκληρότητας των συνιστοσών, το άλας του νατρίου αλλάζει σε άλατα του μαγνησίου και του ασβεστίου των λιπαρών οξέων ή όπως ονομάζονται ανόργανα σαπούνια. Αυτά είναι αδιάλυτα και κατακάθονται.

Η κιροζίνη, η λίπανση και το πετρέλαιο περιέχουν άνθρακα και υδρογόνο. Αυτά τα λάδια μερικές φορές εκτείνονται σε υπονόμους σε μεγάλες ποσότητες όγκου και για περισσότερα τμήματα, αυτά επιπλέουν στα υγρά απόβλητα, ωστόσο μία μερίδα μεταφέρεται στη λάσπη στη τακτοποίηση των στερεών. Ακόμα περισσότερα λιπαρά, λάδια, και σαπούνια, τα ανόργανα λίπη φροντίζουν να επικαλείψουν επιφανειακά. Τα σωματρία συγκρούονται με βιολογική δράση και προκαλούνται προβλήματα.

Το λίπος περιέχεται στα υγρά απόβλητα μπορούν να προκαλέσουν πολλά προβλήματα σε υπονόμους και στη θεραπεία των αποβλήτων. Εάν το λίπος δεν μετακινηθεί, πριν την εκφόρτωση των αποβλήτων, αυτό μπορεί να εκφορτωθεί με τη βιολογική ζωή στα επιφανειακά νερά και δημιουργούν επιπλέοντες ουσίες και μεμβράνες.

#### ***Δ. Τα απολυμαντικά.***

Τα απολυμαντικά ή οι παράγοντες που δρουν επιφανειακά είναι οργανικά μόρια, τα οποία είναι διαλυτά λεπτοκαμωμένα στο νερό και προκαλούν αφρισμό στη θεραπεία των υγρών αποβλήτων. Τα απολυμαντικά τήνουν να συλλέγουν τον αέρα του νερού σαν μέσο αλληλεπίδρασης. Κατά τον αερισμό των υγρών αποβλήτων, αυτά τα μείγματα τα συλλέγουν στην επιφάνεια των μπουρμπουλίθρων αέρα και έτσι δημιουργεί ομάδα

αφρών. Ο προσδιορισμός των απολυμαντικών συμπληρώνεται με μέτρηση της χρωματικής αλλαγής με το πρότυπο διάλυμα βαφής του μπλε του μεθυλενίου.

Πριν το 1965, τα είδη απολυμαντικών παρουσιάζει τα συνθετικά καθαριστικά, ονομάζονται αλκαλικό βενζονικό θειϊκό οξύ(ABS), προκαλούν προβλήματα επειδή αντιδρούν με κατάλυση με βιολογικές ουσίες. Από τη νομοθεσία του 1965, το ABS έχουν αντικαταστήσει τα απολυμαντικά με αλκαλική αλυσίδα θειϊκού οξέος (LAS), που είναι βιοδιασπώμενα. Επειδή τα απολυμαντικά προέρχονται κυρίως από συνθετικά καθαριστικά, το πρόβλημα του αφρισμού έχει περιοριστεί πάρα πολύ.

#### ***E. Υψηλής προτεραιότητας ρυπαντές.***

Υπάρχουν περίπου 129 τέτοιοι ρυπαντές που κατηγοριοποιούνται ως γνωστές ή «ύποπτες» ουσίες που προκαλούν καρκινογένεση, μεταλλάξεις, ή τερατογενέσεις ή έχουν υψηλή τοξικότητα. Πολλοί οργανικοί ρυπαντές είναι πτητικές οργανικές ουσίες (VOCs).

Μέσα στα υγρά απόβλητα και στο σύστημα επεξεργασίας, οι οργανικοί ρυπαντές μπορούν να εξαλειφθούν, να μεταφερθούν, να αναπαραχθούν ή απλά να μεταφερθούν μέσα από το σύστημα αναλλοίωτοι. Περιλαμβάνονται 5 κυρίως μηχανισμοί:

1. Εξάτμιση (φεύγει ως αέριο).
2. Διάσπαση.
3. Απορρόφηση των σωματιδίων και των μορίων.
4. Διέλευση (π.χ. διέλευση μέσω όλου του συστήματος).
5. Παραπροϊόντα ως αποτέλεσμα της χλωρίωσης ή ως υποπροϊόντα της υποβάθμισης των πρόδρομων ενώσεων.

#### ***ΣΤ. Πτητικές Οργανικές Ενώσεις(ΠΟΕ-VOCs).***

Οργανικές ενώσεις που έχουν σημείο βρασμού 100 °C και / ή μια πίεση ατμών > 1mmHg σε 25°C θεωρούνται γενικά ότι είναι πτητικές οργανικές ενώσεις (ΠΟΕ-VOCs).

Οι πτητικές οργανικές ενώσεις έχουν μεγάλο ενδιαφέρον επειδή τέτοιες ενώσεις είναι σε στάδιο εξάτμισης, είναι πάρα πολύ κινητικές και έτσι, έχουν περισσότερες πιθανότητες να ελευθερώνονται στο περιβάλλον. Η παρουσία αυτών των ενώσεων στην ατμόσφαιρα μπορεί να θέσει σε σημαντικό κίνδυνο τη δημόσια υγεία. Αυτές συμβάλλουν στη γενική

αύξηση των αντιδρώντων υδρογονανθράκων στην ατμόσφαιρα, η οποία μπορεί να οδηγήσει στο σχηματισμό των φωτοχημικών οξειδωτικών.

### **Z. Μικροβιοκτόνα και Χημικά γεωργίας.**

Τιμη οργανικών ενώσεων, όπως τα παρασιτοκτόνα, ζιζανιοκτόνα και άλλες χημικές ουσίες της γεωργίας είναι τοξικές για τις περισσότερες μορφές ζωής και, επομένως, μπορεί να είναι σημαντικό μολύνον υλικό των επιφανειακών υδάτων. Αυτές οι χημικές ουσίες προέρχονται κυρίως από επιφανειακές απορροές από τις γεωργικές εκτάσεις. Συγκεντρώσεις αυτών των χημικών ουσιών μπορεί να προκαλέσουν θάνατο των ψαριών, μόλυνση της σάρκας των ψαριών και εξασθένιση των πηγών νερού. Πολλά από αυτά τα χημικά είναι επίσης ταξινομημένες στους υψηλής προτεραιότητας ρυπαντές.

#### **1.2.4. Βιολογικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων.**

Υπάρχουν τρεις βιολογικοί οργανισμοί που παρουσιάζονται στα υγρά απόβλητα. Αυτοί είναι τα βακτήρια, οι ιοί και τα παράσιτα.

##### **1.2.4.1. Τα βακτήρια.**

Είναι απλά κύτταρα, προκαρυωτικά, ευβακτήρια. Τα περισσότερα βακτήρια μπορούν να ομαδοποιηθούν σε 4 κατηγορίες:

- Σφαιροειδή: κόκκοι, 1-3μm
- Ραβδοειδή: βάκιλλοι, πλάτος 0.3-1.5μm, μήκος 1-10μm (π.χ. *Escherichia coli*)
- Καμπυλωτή ράβδος: γένος νίβριο, πλάτος 0,6-1μm, μήκος 2-6μm ή σπινάλι: μήκος 50μm
- Νηματοειδής: 100μm και μακρύτερα.

Τα υγρά απόβλητα περιέχουν τεράστιες ποσότητες βακτηρίων, τα περισσότερα των οποίων δεν προκαλούν κακό στον άνθρωπο. Ωστόσο, παθογενείς οργανισμοί (που προκαλούν ασθένειες), όπως τύφο, δυσεντερία και άλλα εντερικά προβλήματα που μπορεί να παρουσιάζονται στα υγρά απόβλητα. Τεστ για ολικά κολοβακτηριδία (TC) και κολοβακτήρια κοπράνων (FC) που δεν είναι παθογενή βακτήρια συνήθως ενδείκνυται η παρουσία για παθογενή βακτήρια. Επειδή είναι εύκολο να εξεταστούν για κολοβακτήρια, τα τεστ των FC έχουν αποδειχτεί ο καλύτερος δείκτης της μόλυνσης των κοπράνων. Τα FC μετρήθηκαν 100εκατ. ανά 100 χιλιοστά του λίτρου βρίσκονται σε οικιακά ανεπεξέργαστα βρωμόνερα. Ανιχνεύσεις επιδράσεις στην υγεία βρίσκονται στα επίπεδα 2,300 στα 2,400 ολικά κολοβακτηριδία ανά 100 χιλιοστά του λίτρου σε ύδατα αναψυχής.

Τα βακτήρια μπορούν να ταξινομηθούν σύμφωνα με την ανάγκη τους σε απαιτούμενο οξυγόνο. Τα αερόβια βακτήρια είναι βακτήρια που χρειάζονται διαλυμένο οξυγόνο για να ζήσουν. Τα αναερόβια βακτήρια δεν μπορούν να ζήσουν παρουσία οξυγόνου. Τα προαιρετικώς αερόβια βακτήρια μπορούν να ζήσουν με ή χωρίς το διαλυμένο οξυγόνο.

#### **1.2.4.2. Ιοί.**

Τα υγρά απόβλητα συχνά περιέχουν ιούς που μπορεί να προκαλέσουν ασθένειες. Κρούσματα της λοιμώδους ηπατίτιδας αναζητούνται μέσω του συστήματος υδάτων εξαιτίας των λυμάτων που τροφοδοτούνται. Με την σωστή και αποτελεσματική χρήση της καθίζησης, της διήθησης και της απολύμανσης, συνήθως απομακρύνουν τους ιούς.

#### **1.2.4.3. Παράσιτα.**

Υπάρχουν πολλά είδη παρασίτων που μεταφέρονται από τα υγρά απόβλητα. Ο κύκλος ζωής κάθε παρασίτου είναι χαρακτηριστική. Μερικά είναι επικίνδυνα για τον άνθρωπο και για τα ζώα φάρμας, ειδικά κατά τη διάρκεια ορισμένων φάσεων του κύκλου ζωής τους. Η δυσεντερία από αμοιβάδες είναι μία συνηθισμένη ασθένεια που προκαλείται από αμοιβοειδή παράσιτα. Η χλωρίωση, χημική κατακρήμνιση, καθίζηση ή φίλτρο της άμμου χρησιμοποιούνται για να διασφαλιστεί προστασία από τα παράσιτα.

#### **1.2.5. Παθογόνοι οργανισμοί.**

Οι κύριες κατηγορίες των παθογόνων οργανισμών που βρίσκονται στα υγρά απόβλητα είναι τα βακτήρια, οι ιοί, τα πρωτόζωα και τα σκουλήκια του εντέρου.

Οι συνηθισμένοι βακτηριακοί παθογόνοι οργανισμοί εκκρίνονται από τον άνθρωπο από περιπτώσεις ασθένειας του γαστρεντερικού συστήματος όπως τυφωειδής και παρατυφωειδής πυρετός, δυσεντερία, διάρροια και η χολέρα. Εξαιτίας αυτών των οργανισμών που είναι πολύ μολυσματικοί, οφείλονται πολλοί χιλιάδες θάνατοι, κάθε χρόνο σε περιοχές με φτωχή εξυγίανση.

#### **1.2.6. Η χρήση των μικροβιακών δεικτών.**

Εξαιτίας του αριθμού των παθογόνων οργανισμών που παρουσιάζονται στα απόβλητα και στα μολυσμένα νερά, είναι λίγο δύσκολο να απομονωθούν και να προσδιορίσουν την ταυτότητα, οι οργανισμοί των κολοβακτηριδίων που είναι περισσότερα πολυάριθμοι και εύκολα εξεταζόμενοι, χρησιμοποιούνται σαν οργανισμοί δείκτες.

Τα εντερικά συστήματα των ανθρώπων περιέχουν λιγότερα ραβδοειδή βακτήρια γνωστά σαν οργανισμοί κολοβακτηριδίων. Ο κάθε άνθρωπος εκφορτώνει από 100-400δισεκατομ. οργανισμούς κολοβακτηριδίων ανά ημέρα, επιπροσθέτως με άλλα είδη βακτηρίων. Έτσι η παρουσία των οργανισμών κολοβακτηριδίων είναι ενδεικτική των παθογόνων οργανισμών που επίσης παρουσιάζονται, και η απουσία των οργανισμών κολοβακτηριδίων παίρνεται σαν ένδειξη ότι το νερό είναι ελεύθερο από παραγωγή οργανισμών με ασθένειες.

Τα κολοβακτηρίδια περιέχουν το γένος *Escherichia* και *Aerobacter*. Η χρήση των κολοβακτηριδίων σαν μικροβιακοί δείκτες, συμπληρώνονται από το γεγονός, ότι το *Aerobacter* και κυρίως το *Escherichia*, μπορούν να μεγαλώσουν στο έδαφος. Έτσι, η παρουσία των κολοβακτηριδίων δεν σημαίνει πάντα μόλυνση με τα ανθρώπινα απόβλητα.

Προφανώς λοιπόν, η *Escherichia coli*, είναι εξ ολοκλήρου κοπρανώδους προέλευσης. Υπάρχει δυσκολία στον προσδιορισμό της, με τον αποκλεισμό των κολοβακτηριδίων εδάφους. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το σύνολο της ομάδας των κολοβακτηριδίων να χρησιμοποιούνται σαν δείκτες κοπρανώδους ρύπανσης.

Έχει εκτιμηθεί ότι 3-4% των συνολικών κολοβακτηριδίων είναι *Escherichia coli*.

Πειράματα έχουν δείξει ότι η διάκριση σε ολικά κολοβακτηρίδια, κοπρανώδη κολοβακτηρίδια, αποικίες κολοβακτηριδίων που υπάρχουν γίνεται με βάση την ικανότητα να παράγουν αέριο ή αποικίες σε υψηλή θερμοκρασία επώασης ( $44.5 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$  για  $24 \pm 2\text{h}$ ).

Για την ποιοτική αποκατάσταση του νερού για την χρήση στη γεωργική άρδευση, τα ολικά κολοβακτηρίδια θα πρέπει να χρησιμοποιούνται σαν οργανισμοί δείκτες. Για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων, θα χρησιμοποιούμε τα συνολικά κολοβακτηρίδια αλλά και τα κοπρανώδη κολοβακτηρίδια.



**ΠΙΝΑΚΑΣ 1: Είδη και Αριθμοί των μικροοργανισμών που τυπικά βρίσκονται σε ανεπεξέργαστα τυπικά οικιακά υγρά απόβλητα.**

<b>ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ</b>	<b>CFU/ml</b>
Total coliforms	$10^5-10^6$
Faecal coliforms	$10^4-10^5$
Faecal streptococci	$10^3-10^4$
Enterococci	$10^2-10^3$
Shigella	Present (test positive or negative)
Salmonella	$10^0-10^2$
Pseudomonas aeruginosa	$10^1-10^2$
Clostridium perfringens	$10^1-10^3$
Mycobacterium tuberculosis	Present
Protozoan cysts	$10^1-10^3$
Cryptosporidium cysts	$10^{-1}-10^1$
Helminth ova	$10^{-2}-10^1$
Enteric Virus	$10^1-10^2$
Giardia cysts	$10^{-1}-10^2$

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2**

### **2.1 Επεξεργασία καθαρισμού των υγρών αποβλήτων.**

Η επεξεργασία καθαρισμού των υγρών αποβλήτων αποβλέπει στην απομάκρυνση, εξουδετέρωση ή κατάλληλη τροποποίηση των επιβλαβών χαρακτηριστικών τους, ώστε να εξαιρεθούν ή να ελαττωθούν σε αποδεκτό επίπεδο οι δυσμενείς για τον τελικό αποδέκτη (έδαφος, επιφανειακά νερά κλπ.) συνέπειες.

Τυπικά, η επεξεργασία των λυμάτων περιλαμβάνει τρία στάδια: την πρωτοβάθμια, την δευτεροβάθμια και την τριτοβάθμια επεξεργασία. Αρχικά τα στερεά διαχωρίζονται από την ροή των υγρών αποβλήτων. Στη συνέχεια, η βιολογική ύλη διαλύεται σταδιακά και μετατρέπεται σε μια στέρεη μάζα, χρησιμοποιώντας τα πλωτά βακτήρια. Τέλος, τα βιολογικά στερεά είναι εξουδετερωμένα και στη συνέχεια διατίθενται ή επαναχρησιμοποιούνται και το επεξεργασμένο νερό μπορεί να απολυμανθεί φυσικά ή χημικά. Η τελική εκροή μπορεί να εκφορτωθεί σε ένα ρέμα, ποτάμι, όρμος, λίμνη ή υγρότοπο ή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την άρδευση. Αν είναι αρκετά καθαρό, μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για επαναφόρτιση των υπόγειων υδάτων, κτλ. Τα αστικά υγρά απόβλητα, αν δεν περιέχουν μεγάλο ποσοστό βιομηχανικών αποβλήτων, είναι σχετικά σταθερής ποιότητας και μπορούν να υποβληθούν σε τυποποιημένες μεθόδους επεξεργασίας καθαρισμού με δοκιμασμένα ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Αντίθετα τα βιομηχανικά απόβλητα παρουσιάζουν ιδιάζοντα χαρακτήρα και ποικιλία ποιοτήτων. Περιέχουν πολλές φορές δύσκολα βιοαποδομήσιμες ή τοξικές ουσίες, που παρεμποδίζουν την κανονική ανάπτυξη του βιολογικού παράγοντα. Γι' αυτό είναι πολλές φορές απαραίτητο τα βιομηχανικά απόβλητα, προτού οδηγηθούν στο γενικό δίκτυο συλλογής, να υποστούν μέσα στο εργοστάσιο ειδική προεπεξεργασία για την απομάκρυνση ή εξουδετέρωση των ανεπιθύμητων ειδικών χαρακτηριστικών.

### **2.2. Μέθοδοι επεξεργασίας.**

Οι διάφορες μέθοδοι καθαρισμού των λυμάτων (εκτός από τις καθαρά χημικές) αποτελούν απομίμηση με ελεγχόμενες ευνοϊκές συνθήκες των διάφορων διεργασιών, που γίνονται στη φύση, όταν διατεθούν υγρά απόβλητα.

Οι πιο συνηθισμένες διαδικασίες καθαρισμού, που εμφανίζονται, είναι:

- Σχάρισμα ή άλεση : για τα χοντρά υλικά.
- Αμμοσυλλογή : για τα βαριά, κυρίως αδρανή, υλικά (άμμος, χαλίκια, σπόροι).
- Ξάφρισμα – λιποσυλλογή : για τα επιπλέοντα υλικά (λάδια, λίπη, λεπτά υλικά κλπ.)
- Καθίζηση: για την απομάκρυνση μέρους των αιωρουμένων λεπτών στερεών. Η καθίζηση διακρίνεται συνήθως σε απλή (πρωτοβάθμια), με χημική υποστήριξη (κροκύδωση), μετά από βιολογική επεξεργασία(δευτεροβάθμια).
- Δύλιση: είναι μηχανική καταρχήν επεξεργασία, που εφαρμόζεται σε ορισμένες περιπτώσεις (άρδευση, αμμοδιυλιστήριο) για τα πολύ λεπτά υλικά, αλλά συνδυάζεται ταυτόχρονα με βιολογική αποδόμηση των οργανικών με τη βοήθεια του εδαφικού οξυγόνου.
- Κροκύδωση(χημική): για τα κολλοειδή υλικά (ανόργανα και οργανικά).
- Βιολογική επεξεργασία: για τα πολύ λεπτά ή διαλυμένα οργανικά υλικά.
- Χημική επεξεργασία: για τα διαλυμένα ανόργανα συστατικά(οξέα, άλατα).
- Απολύμανση: για τους παθογόνους παράγοντες.

Σε κάθε περίπτωση καθαρισμού αποβλήτων δεν εφαρμόζονται ταυτόχρονα όλες οι πιο πάνω επεξεργασίες. Σε κάθε περίπτωση γίνεται ο πιο κατάλληλος συνδυασμός. Η εκλογή του γίνεται από ειδικό μελετητή με βάση την επαγγελματική του εκτίμηση και ανάλογα με την ποιότητα και την ποσότητα των αποβλήτων, την αφομοιωτική ικανότητα και τις επιθυμητές χρήσεις του αποδέκτη της τελικής απορροής, την οικονομικότητα, τις τοπικές συνθήκες και την ακολουθούμενη γενικά τοπική πολιτική για το περιβάλλον κλπ. και πάντα μέσα στα πλαίσια διασφάλισης της δημόσιας υγείας και γενικότερα της προστασίας του περιβάλλοντος και της ποιότητας ζωής.

### **2.3. Στάδια καθαρισμού.**

Από την πρακτική εφαρμογή των διάφορων συνδυασμών των διαδικασιών επεξεργασίας των αστικών λυμάτων έχουν διαμορφωθεί τρία κυρίως βασικά στάδια καθαρισμού, που εκφράζουν φραστικά το βαθμό της καθαρότητας της τελικής απορροής:

#### ***A. Πρωτοβάθμιος ή μηχανικός καθαρισμός.***

Περιλαμβάνει συνήθως σχάρισμα, αφαίρεση άμμου και ενδεχόμενων επιπλέοντων υλικών (προκαταρκτική επεξεργασία) και βασικά την πρωτοβάθμια καθίζηση με απαραίτητο συμπλήρωμα την επεξεργασία της λάσπης (π.χ. αναερόβια χώνευση κλπ.),

που δεν είναι πάντως εξολοκλήρου μηχανική επεξεργασία. Ο μηχανικός καθαρισμός μπορεί να ελαττώσει το ρυπαντικό φορτίο (οργανικά, στερεά, μικρόβια), κατά μέσον όρο, από 35-50% περίπου.

### ***B. Δευτεροβάθμιος καθαρισμός.***

Εάν οι συνθήκες του αποδέκτη απαιτούν ψηλότερο βαθμό καθαρισμού, ακολουθεί δευτεροβάθμια επεξεργασία για την απομάκρυνση κατά το δυνατό των πολύ λεπτών και διαλυμένων ουσιών. Η επεξεργασία αυτή αποτελείται, είτε από βιολογική αποδόμηση των οργανικών ουσιών και στη συνέχεια απομάκρυνση των σχηματιζομένων αιωρημάτων με δευτεροβάθμια καθίζηση, είτε από χημική υποστήριξη της αρχικής απλής καθιζήσεως με κροκύδωση σε συνδυασμό με άλλες χημικές διεργασίες κυρίως για τα βιομηχανικά απόβλητα.

Η δευτεροβάθμια επεξεργασία και ειδικότερα η βιολογική, που δίνει σε σημαντικό βαθμό οξειδωμένα προϊόντα ( $\text{NO}_3$ , κλπ.), αποτελεί συνήθως το τελικό στάδιο και χαρακτηρίζεται συμβατικά σαν «πλήρης». Παρότι και σήμερα εξακολουθεί να θεωρείται αρκετή σαν τελικό στάδιο, σε ειδικές περιπτώσεις γίνεται πιο προχωρημένος καθαρισμός (τριτοβάθμιος).

Η ελάττωση του ρυπαντικού φορτίου (BOD, αιωρούμενα στερεά, κολοβακτηρίδια) κατά το δευτεροβάθμιο καθαρισμό (σε συνδυασμό με τον πρωτοβάθμιο) είναι κατά μέσον όρο της τάξεως του 80-90%.

### ***Γ. Τριτοβάθμιος ή προχωρημένος καθαρισμός.***

Ακολουθεί τα προηγούμενα στάδια και συμπληρώνεται με την απομάκρυνση κυρίως του αζώτου (με τη μορφή της αμμωνίας,  $\text{NH}_3$ , ή των νιτρικών,  $\text{NO}_3$ ) και του φωσφόρου ( $\text{PO}_4$ ), είτε για την αντιμετώπιση των κινδύνων ευτροφισμού του τελικού αποδέκτη (λίμνη, θάλασσα), είτε και για επαναχρησιμοποίηση της τελικής απορροής για δευτερεύουσες χρήσεις ή ακόμη και για ύδρευση, ύστερα από πιο πέρα επεξεργασία (ενεργό άνθρακα, απολύμανση κλπ.).

Οι εφαρμοζόμενες διαδικασίες είναι φυσικές(π.χ. αερισμός για  $\text{NH}_3$  ή αντίστροφη ώσμωση για  $\text{NO}_3$  και  $\text{PO}_4$ ) ή χημικές (ιζηματοποίηση για  $\text{PO}_4$ ) ή βιολογικές(ανάπτυξη μικροφυκών, απονιτροποίηση). Η καθίζηση, η προσρόφηση και η απολύμανση είναι τα πιο κοινά παραδείγματα. Στη χημική καθίζηση, η θεραπεία επιτυγχάνεται με την εκπόνηση ενός χημικού ιζήματος που θα σταθεροποιηθεί. Αυτό το βήμα συνήθως

συνδυάζεται με άλλες διαδικασίες για την αφαίρεση των στερεών, όπως το φιλτράρισμα. Η προσρόφηση έχει σαν αποτέλεσμα την απομάκρυνση των συγκεκριμένων ενώσεων από τα υγρά απόβλητα σε στέρεες επιφάνειες χρησιμοποιώντας τις δυνάμεις της έλξης των σωματίων.

Και στα τρία στάδια καθαρισμού μπορεί να εφαρμοσθεί μόνιμα ή περιοδικά απολύμανση της τελικής απορροής, συνήθως με χλωρίωση, αν κριθεί απαραίτητη, λόγω της φύσεως των αποβλήτων (νοσοκομειακά) ή των ειδικών χρήσεων του αποδέκτη (ύδρευση, αλιεία οστακοδέρμων, κολύμβηση, άρδευση κλπ.)

Η χλωρίωση ελαττώνει μερικά τις οργανικές ουσίες (BOD) και κυρίως το μικροβιακό φορτίο(μέχρι και 99%).

### **2.3.1. Πρωτοβάθμιος μηχανικός καθαρισμός.**

Η πρωτοβάθμια επεξεργασία μετακινεί τις ουσίες που μπορούν εύκολα να συλλεκτούν από τα ανεπεξέργαστα λύματα και να απαλλακτούν από αυτές. Οι τυπικές ουσίες είναι λίπη, λάδια, λιπαντικά, άμμος, χαλίκια και πέτρες(χοντρόκοκκοι άμμος), μεγαλύτερα στερεά απόβλητα, όπως των ανθρώπων και επιπλέοντα υλικά. Όλα αυτά μετακινούνται κατά τη διάρκεια της πρωτοβάθμιας επεξεργασίας. Όλο αυτό το στάδιο γίνεται εντελώς με μηχανήματα, είναι μία μηχανική επεξεργασία. Ο μηχανικός καθαρισμός περιλαμβάνει δύο στάδια, την προκατακτική επεξεργασία και την απομάκρυνση της πρωτοβάθμιας καθιζήσεως.

#### **I. Προ-Επεξεργασία.**

Η προ-επεξεργασία αποτελείται από τη σχάρα, τον αμμοσυλλέκτη και τον λιποσυλλέκτη-εξαφριστήρα.

Η σχάρα μπορεί να συγκρατήσει τα παρασυρόμενα σχετικά μεγάλα υλικά(από 5-150mm), για να προφυλάξει τις επόμενες εγκαταστάσεις από μηχανικές εμφράξεις και φθορές. Η διάθεση των σχαρισμάτων γίνεται με ταφή, χώνευση, καύση, διάθεση με τα απορρίματα ή με άλεση.

Σαν συμπλήρωμα του απλού σχαρισμού χρησιμοποιείται πολλές φορές η άλεση, που τεμαχίζει μηχανικά τα σχαρίσματα και ακολουθούν την πορεία των λυμάτων και έτσι δεν υπάρχει πρόβλημα διαθέσεως. Οι σχάρες, όπως και κάθε άλλη μονάδα, συμπληρώνονται με παρακαμπτήρια γραμμή για περίπτωση εμφράξεως ή συντηρήσεως.

Ο αμμοσυλλέκτης έχει σαν σκοπό την συγκράτηση των παρασυρμένων υλικών με μεγάλο ειδικό βάρος διαμετρήματος συνήθως πάνω από 0,15-0,2mm, κυρίως ανόργανα(άμμος,σπόροι,κλπ.) για την προστασία των εγκαταστάσεων, που ακολουθούν από μηχανικές φθορές (αντλίες) ή εμφράξεις (σωληνώσεις) και κυρίως για την αποφυγή του συχνού καθαρισμού της δεξαμενής χωνεύσεως από τα αδρανή ιζήματα. Για την αποτελεσματική λειτουργία του αμμοσυλλέκτη παίζει σημαντικό ρόλο η προβλεπόμενη (σταθερή) οριζόντια και κατακόρυφη ταχύτητα των μορίων.

Ο λιποσυλλέκτης διαμορφώνεται σαν παγίδα για την συγκράτηση των επιπλεόντων γενικά υλικών και ουσιών, μεταξύ των οποίων λίπη και λάδια. Δεν είναι πάντα απαραίτητος, αν δεν υπάρχει ιδιαίτερο πρόβλημα επιπλεόντων και η δεξαμενή καθιζήσεως έχει κατάλληλο μηχανισμό για τον εξαφρισμό. Σε μεγάλες μονάδες επεξεργασίας αποβλήτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο αεριζόμενος εξαφριστήρας, που εξασφαλίζει μαζί με την καλύτερη απομάκρυνση των επιπλεόντων και είδος προαερισμού των αποβλήτων.

## **II. Πρωτοβάθμια Καθίζηση.**

Η απομάκρυνση της πρωτοβάθμιας καθιζήσεως γίνεται με την δεξαμενή καθιζήσεως, την σπητική δεξαμενή, την δεξαμενή καθιζήσεως IMHOFF και με επίπλευση.

Η δεξαμενή καθιζήσεως αποτελεί τη πρώτη βασική μονάδα καθαρισμού ύστερα από τη προκαταρκτική επεξεργασία στις προηγούμενες εγκαταστάσεις. Η αρχή λειτουργίας της στηρίζεται στη σημαντική ελάττωση της ταχύτητας ροής των λυμάτων. Αυτό έχει σαν συνέπεια και την ελάττωση της συρτικής ικανότητας, με αποτέλεσμα τα μεγαλύτερα και βαρύτερα αιωρούμενα (όχι διαλυμένα) υλικά να καθιζάνουν στον πυθμένα. Η λάσπη, που καθιζάνει στον πυθμένα, έχει σημαντικό οργανικό φορτίο, γι' αυτό πρέπει να απομακρύνεται συνεχώς με μηχανικό σάρωθρο(αλυσίδα με ξέστρα) ή με άλλον αποτελεσματικό τρόπο, γιατί αν παραμένει, μετά από λίγες ώρες θα αρχίσει η αναερόβια αποδόμηση και η δημιουργία σοβαρών δυσοσμιών. Ταυτόχρονα με τη λάσπη ο ίδιος μηχανισμός αφαιρεί συνήθως και τα επιπλέοντα υλικά από τη δεξαμενή (ξάφρισμα).

Η σπητική δεξαμενή χρησιμοποιείται κυρίως στα μικρά (ιδιωτικά) συστήματα αποχετεύσεως (κατοικίες, ιδρύματα κλπ.) για την επεξεργασία λυμάτων πριν από την τελική τους διάθεση τους στο υπέδαφος (απορροφητικό βόθρο, υπεδάφιο απορροφητικό πεδίο κλπ.) ή στο τυχόν ελαττωματικό δίκτυο αποχετεύσεως για τη μείωση του ρυπαντικού φορτίου.

Τα διερχόμενα από πάνω λύματα, ενώ απαλλάσσονται από μέρος των αιωρούμενων στερεών, εμπλουτίζονται ταυτόχρονα με τεμάχια σηπόμενης λάσπης, που παρασύρονται στην επιφάνεια με φυσαλίδες, και με τα δύσοσμα αέρια της αποσυνθέσεως ( $H_2S$ ,  $NH_3$ ,  $CH_4$ ). Έτσι, ενώ η απορροή της σηπτικής δεξαμενής είναι βελτιωμένη από την καθίζηση, έχει επιβαρυνθεί με σηπτική χλωρίδα και αναδίδει δυσοσμία και γι' αυτό δεν μπορεί να διατεθεί επιφανειακά.

Η σηπτική δεξαμενή πρέπει να αερίζεται καλά για την ανεμπόδιστη απομάκρυνση των δύσοσμων και εύλεκτων αερίων της αποσυνθέσεως και να έχει κατάλληλα φρεάτια επιθεωρήσεως στην είσοδο και έξοδο των υγρών.

Η δεξαμενή καθιζήσεως IMHOFF χρησιμοποιείται για τις μεγαλύτερες ιδιωτικές εγκαταστάσεις και η τελική απορροή μπορεί να διατεθεί τόσο στο υπέδαφος, όσο και σε επιφανειακές εγκαταστάσεις γιατί διατηρείται νωπή και άσηπτη. Τα λύματα που βγαίνουν από τη δεξαμενή μετά από καθίζηση χωρίς σηπτική επιβάρυνση είναι σχετικά διαυγή και άοσμα.

Η επίπλευση χρησιμοποιείται κυρίως για την επεξεργασία ακάθαρτων υγρών, με μεγάλη ποσότητα βιομηχανικών αποβλήτων, που μεταφέρουν σημαντικό φορτίο, από λεπτά αιωρούμενα υλικά και λίπη (βυρσοδεψεία, διωλιστήρια πετρελαίου, κονσερβοποιεία τροφίμων, σφαγεία, πλυντήρια κλπ.). Επίσης, είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για απόβλητα, που δημιουργούν αφρό.

Ο κύριος σκοπός της πρωτοβάθμιας επεξεργασίας είναι να παραχθεί ένα ομογενές υγρό που μπορεί να επεξεργαστεί βιολογικά και μίας λάσπης που μπορεί να επεξεργαστεί ξεχωριστά ή σε σύνολο. Η ιλύς που συλλέγεται οδηγείται συνεχώς προς μία δεξαμενή με σωλήνα εξαγωγής στη βάση της δεξαμενής και με άντληση οδηγείται σε περαιτέρω στάδια επεξεργασίας ιλύος.

### **2.3.2. Δευτεροβάθμιος βιολογικός καθαρισμός.**

Η υποβάθμιση του βιολογικού γίνεται εξαιτίας της υποβάθμισης των αποβλήτων, που προέρχονται από απόβλητα του ανθρώπου, απόβλητα τροφών, σαπούνια και απορρυπαντικά. Η πλειοψηφία των δημοτικών και βιομηχανικών εγκαταστάσεων, αντιμετωπίζουν τα υγρά απόβλητα με αερόβια βιολογική διεργασία, για την αφαίρεση της οργανικής ουσίας από τα υγρά απόβλητα. Σε ειδικές περιπτώσεις χρησιμοποιείται κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες η αναερόβια διαδικασία (χώνευση λάσπης).

Οι οργανικές ουσίες, που παραμένουν μετά την πρωτοβάθμια καθίζηση στα λύματα, βρίσκονται σε λεπτό καταμερισμό ή είναι διαλυμένες. Για να διευκολυνθεί η αποδόμηση και η απομάκρυνση τους, δημιουργούνται κατάλληλες συνθήκες για την ανάπτυξη σαπροφυτικών οργανισμών, που χρησιμοποιούν μεταξύ άλλων το οργανικό υπόστρωμα των λυμάτων για σύνθεση νέων κυττάρων και παραγωγή της απαραίτητης ενέργειας. Κάποιες φορές για να είναι αποτελεσματικά, χρειάζονται το απαιτούμενο οξυγόνο τους. Οι σχετικές χημικές διεργασίες διευκολύνονται και επιταχύνονται με την έκκριση από τους οργανισμούς διάφορων ενζύμων μέσα ή και έξω από το κύτταρο (ενδο- ή εξω – ένζυμα), που δρουν καταλυτικά και εξασφαλίζουν τη διάσπαση και μεταβολισμό των ουσιών. Τα βακτήρια και τα πρωτόζωα καταναλώνουν τις βιοαποδομήσιμες διαλυτές οργανικές προσμείξεις από τα λύματα ως πηγή τροφής (ζάχαρα, λίπη, οργανικά μόρια με μικρή αλυσίδα άνθρακα) και μετατρέπουν τα λιγότερα διαλυτά σε κλάσματα μπερδεμένης μάζας.

Το σύστημα της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας ταξινομείται σαν σταθεροποιητική μεμβράνη ή σαν το στάδιο που αναστέλλει την ανάπτυξη.

Στα συστήματα σταθεροποιητικής μεμβράνης αναπτύσσονται μικροοργανισμοί πάνω σε υποστρώματα, όπως άμμος, πέτρες, ή πλαστικό. Τα υγρά απόβλητα είναι κατανομημένα στο υπόστρωμα, επιτρέποντας στα υγρά απόβλητα να κυκλοφορούν διαμέσου της μεμβράνης των μικροοργανισμών που σταθεροποιούν το υπόστρωμα. Η μεμβράνη των μικροοργανισμών αναπτύσσεται και τρέφονται με την οργανική ουσία και θρεπτικά που απορροφούν από τα υγρά απόβλητα. Παραδείγματα συστημάτων σταθεροποιητικής μεμβράνης είναι βραδείας φόρτισης, περιστρεφόμενα βιολογικής επαφής, που η βιομάζα αναπτύσσεται σε μέσα και τα λύματα περνούν πάνω από το υπόστρωμα.

Η θεραπεία με τα roughing φίλτρα είναι ιδιαίτερα δυνατή ή ευμεταβλητή στα οργανικά φορτία, ιδιαίτερα τα βιομηχανικά, και έπειτα, τους επιτρέπει να αντιμετωπιστούν με τη συμβατική μέθοδο της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας. Τα χαρακτηριστικά τους είναι: ψηλά κυκλικά, με φίλτρα που είναι γεμάτα με ανοιχτά συνθετικά μέσα φίλτρου στα οποία τα υγρά απόβλητα είναι μέσα σε σχετικά υψηλό βαθμό. Αυτά επιτρέπουν υψηλή υδραυλική φόρτιση και μία υψηλή ροή του αέρα που μερικές φορές μπορεί να είναι και δυνατή.

Ανέστειλε την ανάμειξη συστημάτων ανάπτυξης και ανέστειλε τους μικροοργανισμούς των υγρών αποβλήτων. Όσο οι μικροοργανισμοί απορροφούν οργανικές ουσίες και



θρεπτικά από τα υγρά απόβλητα, αυτοί αναπτύσσονται σε μέγεθος και αριθμό. Αφού οι οργανισμοί έχουν ανασταλεί για πολλές ώρες στα υγρά απόβλητα, αυτά εγκαθίστονται σαν λάσπη. Ένα μέρος της λάσπης επιστρέφει στην αρχή των υγρών αποβλήτων για να τα εφοδιάσει με τους μικροοργανισμούς. Τα κατάλοιπα αποβάλλονται και στέλνονται στην διαδικασία επεξεργασίας ιλύος. Ενεργός ιλύς, εκτεταμένος αερισμός, οξείδωση τάφρου και διαδοχικά συστήματα αντιδραστήρων επεξεργασίας είναι όλα παραδείγματα που αναστέλλουν τα συστήματα σταθεροποιητικής μεμβράνης.

#### **2.3.2.1. Ενεργός ιλύς.**

Η μικροοργανισμοί τις ενεργού ιλύος χρησιμοποιούν μια μεγάλη ποικιλία μηχανισμών και διαδικασιών ώστε να χρησιμοποιήσουν το διαλυμένο οξυγόνο, το οποίο συμβάλλει στην ανάπτυξη της βιολογικής μάζας που θα απομακρύνει την οργανική ουσία. Μπορεί, υπό ιδανικές συνθήκες, να μετατρέψουν την αμμωνία σε νιτρώδη και νιτρικά άλατα τελικά σε άζωτο.

#### **2.3.2.2. Δευτεροβάθμια καθίζηση.**

Το τελικό βήμα του σταδίου της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας είναι να εγκαταστήσει εκτός τη βιολογική μάζα ή την ουσία του φίλτρου και να παράγουν λύματα που περιέχουν πολύ χαμηλά επίπεδα οργανικής ουσίας και αιωρούμενων σωματιδίων.

#### **2.3.3. Τριτοβάθμια επεξεργασία.**

Η τριτοβάθμια επεξεργασία παρέχει ένα τελικό στάδιο στην αύξηση της ποιότητας των εκροών πριν αποφορτιστεί στο περιβάλλον υποδοχής. Περισσότερες από μία διαδικασίες της τριτοβάθμιας επεξεργασίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οποιαδήποτε μονάδα επεξεργασίας λυμάτων. Εάν εφαρμόζεται απολύμανση, τότε είναι πάντα η τελική διαδικασία.

##### **2.3.3.1. Φιλτράρισμα.**

Τα φίλτρα της άμμου απομακρύνουν τα περισσότερα υπολείμματα από αιωρούμενες ουσίες. Το φιλτράρισμα δραστηροποιεί τον άνθρακα που απομακρύνει τις τοξίνες που παραμένουν.

### **2.3.3.2. Λιμνοδεξαμενές.**

Η λιμνοδεξαμενη εξασφαλίζει την αποκατάσταση και την περαιτέρω βιολογική βελτίωση με την αποθήκευση σε μεγάλες χειροποίητες λίμνες ή δεξαμενές. Αυτές οι στέρνες είναι πολύ αερόβιες και έχουν αποικίες από φυσικά μακρόφυτα, ειδικά καλάμια. Τα μικρά φίλτρα τρέφουν ασπόνδυλα όπως δάφνη και είδη Rotifera και αυτό βοηθά πολύ στην θεραπεία με εκκαθάριση των λεπτών σωματιδίων.

### **2.3.3.3. Σχεδιασμός εδαφών με υψηλή υγρασία.**

Ο σχεδιασμός εδαφών με υψηλή υγρασία περιέχει ίσια επιφάνεια για καλλιέργεια καλαμιών και μία ποικιλία παρόμοιων μεθόδων, οι οποίες όλες εξασφαλίζουν έναν μεγάλο βαθμό αερόβιας βιολογικής βελτίωσης και μπορεί συχνά να χρησιμοποιηθεί αντί της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας για μικρές κοινότητες.

## **2.4. Μετακίνηση αποβλήτων.**

Τα υγρά απόβλητα περιέχουν υψηλά επίπεδα θρεπτικών, σε άζωτο και φώσφορο. Υπερβολική απελευθέρωση στο περιβάλλον μπορεί να οδηγήσει σε συσσώρευση θρεπτικών. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται ευτροφισμός, ο οποίος μπορεί να προκαλέσει υπερανάπτυξη των ζιζανίων, των αλγών και των κυανοβακτηριδίων (μπλε-γκρι άλγες).

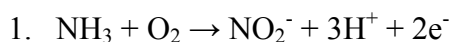
Η αποσύνθεση των αλγών από βακτήρια μπορεί να εξαντλήσει τόσο πολύ οξυγόνο στο νερό, ώστε τα περισσότερα ζώα να πεθαίνουν, το οποίο δημιουργεί περισσότερη οργανική ουσία για τα βακτήρια για να αποσυνθέσουν. Στην περίπτωση που προκαλείται αντιοξυγόνωση, μερικά είδη αλγών παράγουν τοξίνες που μολύνουν τις πόσιμες πηγές νερού. Διάφορες θεραπείες επεξεργασίας απαιτούν την απομάκρυνση του αζώτου και του φωσφόρου.

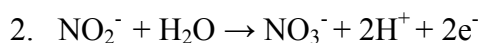
### **2.4.1. Απομάκρυνση του αζώτου.**

Η απομάκρυνση του αζώτου είναι αποτέλεσμα της βιολογικής οξειδωσης του αζώτου από αμμωνία (αζωτοποίηση) σε νιτρικό οξύ ακολουθώντας αφαίρεση αζώτου, η αναγωγή του νιτρικού οξέος σε αέριο άζωτο.

Το αέριο του αζώτου απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα και έτσι απομακρύνεται από το νερό.

### **Νιτροποίηση:**





### **Απονιτροποίηση:**



Η νιτροποίηση είναι μία αερόβια διαδικασία με δύο βήματα. Το καθένα διευκολύνεται από διάφορα είδη βακτηρίων. Η οξείδωση της αμμωνίας ( $\text{NH}_3$ ) σε νιτρώδες ( $\text{NO}_2^-$ ) χρησιμοποιεί περισσότερο το *Nitrosomonas spp.* Η νιτρώδης οξείδωση σε νιτρική ( $\text{NO}_3^-$ ) χρησιμοποιεί αποκλειστικά το *Nitrospira spp.*

Η απονιτροποίηση απαιτεί ανοξειδωτές καταστάσεις για να επιτρέψει να βγάλει από κατάπτωση τις κατάλληλες βιολογικές κοινότητες. Αυτή διευκολύνεται από μία εκτεταμένη ποικιλία βακτηρίων. Τα φίλτρα άμμου, οι στέρνες, οι ίσιες επιφάνειες για καλλιέργεια καλαμιών μπορούν όλα να χρησιμοποιηθούν για την ελάττωση του αζώτου, αλλά η διαδικασία της ενεργούς ιλύος μπορούν να τη διευκολύνουν περισσότερο. Η απονιτροποίηση είναι μία μετατροπή από νιτρική σε διάζωτο αέριο, έτσι ένα ηλεκτρόνιο δότης είναι αναγκαίο. Αυτή μπορεί να είναι, ανάλογα με τα λύματα, η οργανική ουσία(από κόπρανα), το θείο ή ένας προστιθέμενος δότης όπως μεθανόλη.

Μερικές φορές η μετατροπή της τοξικής αμμωνίας σε νιτρικά είναι η μόνη που αναφέρεται ως τριτοβάθμια επεξεργασία.

### **2.4.2. Αφαίρεση φωσφόρου.**

Ο φώσφορος μπορεί να απομακρυνθεί σε μια βιολογική διαδικασία. Η ειδική πολυφωσφορική συσσώρευση βακτηρίων είναι επιλεκτικά εμπλουτισμένη και συσσωρεύεται σε μεγάλες ποσότητες του φωσφόρου στο εσωτερικό των κυττάρων τους (μέχρι 20% της μάζας). Όταν η βιομάζα εμπλουτισμένη με αυτά τα βακτήρια είναι χωρισμένη από το επεξεργασμένο νερό, αυτά τα βιοσωματίδια έχουν υψηλή αξία λιπάσματος.

Η αφαίρεση φωσφόρου μπορεί επίσης να επιτευχθεί με χημική καθίζηση, συνήθως με άλατα του σιδήρου (π.χ. χλωριούχος σίδηρος) ή αλουμίνιο (π.χ. στύψη. Η χημική λάσπη που προκύπτει είναι δύσκολο να αντιμετωπιστεί και η προσθήκη χημικών ουσιών μπορεί να είναι δαπανηρή, αλλά η χημική αφαίρεση φωσφόρου απαιτεί σημαντικά μικρότερο καταλαμβανόμενο χώρο από τη βιολογική απομάκρυνση και είναι πιο εύκολο να λειτουργήσει.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### 3.1. Επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων.

Η επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων δεν είναι μία πρόσφατη εφεύρεση. Υπάρχουν ενδείξεις ότι τα υγρά απόβλητα χρησιμοποιούντουσαν για άρδευση στην αρχαία Ελλάδα και στον Μινωικό πολιτισμό(περίπου το 3000-1000πΧ). (ANGELAKIS ET AL., 1999; ASANO AND LEVIN, 1996). Κατά τη διάρκεια του 1950-1960, ενδιαφέρον υπήρχε στην εφαρμογή των υγρών αποβλήτων σε εκτάσεις στο δυτικό ημισφαίριο, καθώς η τεχνολογία της επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων προόδευε και η ποιότητα των εκροών από την επεξεργασία σταδιακά βελτιώνοταν. Η εφαρμογή της έκτασης έγινε μία οικονομικά-αποτελεσματική, εναλλακτική εκφόρτωση των εκροών σε επιφανειακά υδατικά συστήματα.

Τα ανεπεξέργαστα ή τα μερικώς επεξεργασμένα υγρά απόβλητα εφαρμόζονται σε πολλές περιοχές σε όλο τον κόσμο. Αυτά δεν εφαρμόζονται χωρίς να προκληθούν σοβαρές συνέπειες στην δημόσια υγεία και αρνητικές περιβαλλοντικές συνέπειες. Δημιουργούνται από την ύπαρξη ενδημικών και σχεδόν επιδημικών ασθενειών.

Σε πολλές ξηρές και ημίξηρες περιοχές του κόσμου, το νερό έχει γίνει ένας περιοριστικός παράγοντας, ειδικά για την ανάπτυξη της γεωργίας και της βιομηχανίας. Τα σχέδια πηγών νερού συνεχίζουν να ψάχνουν επιπρόσθετες πηγές νερού ώστε να συμπληρώσουν τις περιοριστικές πηγές της περιοχής τους. Από την άλλη πλευρά , ο όγκος των λυμάτων αυξάνεται. Μεγάλες περιοχές μπορούν να προμηθευτούν με ανακυκλώμενο νερό, το οποίο επίσης χρησιμοποιείται για διάφορους σκοπούς, που εξαρτώνται από την απαίτηση, τα χαρακτηριστικά του νερού, την καταλληλότητα, κτλ.

Η επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων μπορεί να αποτελέσει μία σπουδαία επιλογή για την διαχείριση υδάτων, τόσο για την ενίσχυση των συνβατικών πόρων, όσο και για την μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τις εκφορτίσεις. Ωστόσο, είναι ουσιαστικής σημασίας, ότι η ανάπτυξη της επαναχρησιμοποίησης του νερού στην γεωργία και σε άλλους τομείς βασίζεται σε επιστημονικά στοιχεία για τις συνέπειες της στο περιβάλλον και στη δημόσια υγεία.

Κινητήριες δυνάμεις για την επαναχρησιμοποίηση του νερού είναι:

- Οι πηγές νερού ( είναι σπάνιο το νερό σε περιβάλλον που απειλείται από ρύπανση),

- Οικονομικές (η αποτελεσματικότητα του κόστους της χρήσης του ανακυκλωμένου νερού),
- Περιβαλλοντικά θέματα ( σταδιακά περισσότεροι αυστηροί κανονισμοί της ποιότητας του νερού που εκφορτώνεται).

Οι κύριοι τρόποι επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων στην περιοχή είναι για άρδευση στην γεωργία, σε τοπία και για εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφορέων.

### **3.2. Τρόποι Επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων.**

#### **3.2.1. Γεωργική χρήση με έμφαση στην άρδευση.**

Σε ξηρές και ημιξηρικές περιοχές γίνεται η μεγαλύτερη και πιο μαζική χρήση νερού για άρδευση γεωργικών και άλλων εκτάσεων. Σε σχετικά υγρές περιοχές, η άρδευση γίνεται συμπληρωματικά των βροχοπτώσεων ώστε να επιτευχθεί η καλύτερη ανάπτυξη και αύξηση της παραγωγής των φυτικών καλλιεργειών καθώς και για ανάπτυξη και διατήρηση κοινόχρηστων εκτάσεων και χώρων αναψυχής πχ πάρκα, golf. Γενικά, σε παγκόσμιο επίπεδο, το ποσοστό του νερού που χρησιμοποιείται για γεωργικές εφαρμογές, υπερβαίνει το 70% της συνολικής κατανάλωσης νερού. Στην Ελλάδα, το ποσοστό αυτό ανέρχεται περίπου στο 86%. Σε περίπτωση που οι υδατικοί πόροι μιας περιοχής δεν επαρκούν για τις αγροτικές εφαρμογές, μπορεί να εμπλουτιστούν με κατάλληλα επεξεργασμένα απόβλητα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την εξοικονόμηση υδάτινων πόρων, σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να έχει θετικές επιπτώσεις στην αγροτική παραγωγή.

Για να πετύχει η πρακτική των αρδεύσεων ύστερα από την ανάκτηση των υγρών αποβλήτων πρέπει να λάβουμε υπόψη την ποιότητα του αρδευτικού νερού.

Η αλατότητα είναι η πιο σημαντική παράμετρος του αρδευτικού νερού. Προσδιορίζεται με την ηλεκτρική αγωγιμότητα (ECw). Παράλληλα με την αλατότητα, η ηλεκτρική αγωγιμότητα μπορεί να ελέγξει και τη συγκέντρωση των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS).

Η παρουσία αλάτων στο αρδευτικό νερό επιρρεάζει την ανάπτυξη των φυτών με τρεις διαφορετικές διεργασίες:

- Την ωσμωτική επίδραση, που προξενεί η συνολική συγκέντρωση διαλυμένων αλάτων στην εδαφική διάλυση.

- Την ειδική τοξικότητα ιόντων, που προξενεί η συγκέντρωση ενός ειδικού ιόντος.
- Τη διασπορά των εδαφικών σωματιδίων που προξενεί η υψηλή συγκέντρωση Νατρίου και η χαμηλή ECw.

Όταν είναι αυξημένη η εδαφική αλατότητα στη ριζόσφαιρα, τα φυτά καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια τους, με την πρόσληψη του απαιτούμενου νερού για την προσαρμογή τους σε υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων στους ιστούς τους. Έτσι μειώνεται η διαθέσιμη ενέργεια για φυτική ανάπτυξη και παραγωγή.

Για να αποφύγουμε αυτές τις ζημιές στα φυτά, ενισχύεται η κατακόρυφη ροή του εδαφικού νερού.

Αυτή επιτυγχάνεται με σωστή στράγγιση, η οποία επιτρέπει τη συνεχή μεταφορά νερού και αλάτων κάτω από την περιοχή ανάπτυξης ενεργών ριζών. Όταν εφαρμόζεται στο έδαφος μεγαλύτερο ύψος νερού από αυτό που αντιστοιχεί στις ανάγκες της καλλιέργειας, τότε επιδρά θετικά στη μεταφορά αλάτων που είναι συσσωρευμένα κάτω από την περιοχή ανάπτυξης των ριζών. Το κλάσμα που εφαρμοζόμενου νερού που φθάνει κάτω από το βάθος ανάπτυξης των ριζών και κατασδύει σε βαθύτερα στρώματα ονομάζεται συντελεστής απόπλυσης (LR).

Όταν η δυσμενής ανάπτυξη της φυτικής βλάστησης οφείλεται σ' ένα ειδικό ιόν και όχι στην ωσμωτική επίδραση τότε ονομάζεται «ειδική τοξικότητα αυτού του δεδομένου ιόντος».

Όταν γίνεται άρδευση με ανακτώμενα υγρά απόβλητα τα ιόντα που μας ενδιαφέρουν είναι τα στοιχεία νάτριο, χλώριο και βόριο.

Στα αστικά υγρά, η κυρίως τοξικότητα είναι αυτή του βορίου, το οποίο προέρχεται από οικιακά απορρυπαντικά και ειδικές βιομηχανικές και βιοτεχνικές μονάδες, ενώ οι συγκεντρώσεις νατρίου και χλωρίου αυξάνονται όταν χρησιμοποιούνται αποσκληρυντές νερού.

Διορθωτικές επεμβάσεις σε ευαίσθητες καλλιέργειες γίνεται με αλλαγή της καλλιέργειας ή του διαθέσιμου νερού άρδευσης.

Όταν το αρδευτικό νερό περιέχει στοιχεία σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις από τις συνιστώμενες, τότε παρατηρούμε συγκέντρωση τους στο έδαφος και στα φυτά με αποτέλεσμα να είναι φυτοτοξικά στα φυτά και επικίνδυνα στην υγεία ζώων και ανθρώπων.

Η υψηλή συγκέντρωση του νατρίου επιρρεάζει τις φυσικές συνθήκες του εδάφους (δημιουργία κρούστας, μείωση περατότητας κτλ). Όταν μειώνεται σημαντικά η ταχύτητα διήθησης δεν μπορεί το φυτό να εφοδιαστεί με υγρασία με αποτέλεσμα να επιρρεάζεται αρνητικά η ανάπτυξη και η παραγωγή τους.

Τα προβλήματα διήθησης επικεντρώνεται συνήθως στο επιφανειακό έδαφος και σχετίζονται άμεσα με τη σταθερότητα της δομής του εδάφους. Για την πρόβλεψη ενός τέτοιου προβλήματος χρησιμοποιείται η SAR. Για κάθε δεδομένη SAR, η ταχύτητα διήθησης του εδαφικού νερού αυξάνει όσο αυξάνει η αλατότητα του και αντιστρόφως.

Επίσης πρέπει να χρησιμοποιείται μαζί με την ηλεκτρική αγωγιμότητα του αρδευτικού νερού (EC<sub>w</sub>). Τα συστήματα άρδευσης με ανακτώμενα υγρά απόβλητα εγκαθίστανται σε εδάφη υποβαθμισμένα ή εδάφη που έχουν προβλήματα περατότητας ή διαχείρισης τους, γι' αυτό είναι απαραίτητες οι διορθωτικές επεμβάσεις σ' αυτά μηχανικά ή με προσθήκη εδαφοβελτιωτικών.

Τα ανακτώμενα υγρά απόβλητα περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις ασβεστίου και γι' αυτό η διάλυση και απόπλυση ποσότητας ασβεστίου από το επιφανειακό έδαφος είναι περιορισμένη. Το νερό είναι πολλές φορές πλούσιο σε νάτριο, με αποτέλεσμα η υψηλή SAR να αποτελεί σημαντικό παράγοντα κατά το σχεδιασμό αρδευτικών έργων με εκροές προεπεξεργασμένα υγρά απόβλητα.

Τα υγρά απόβλητα περιέχουν όλα τ' απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία για το φυτό. Όταν όμως τα θρεπτικά αυτά στοιχεία βρίσκονται σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από τις ανάγκες των φυτών τότε προξενούνται διάφορα προβλήματα.

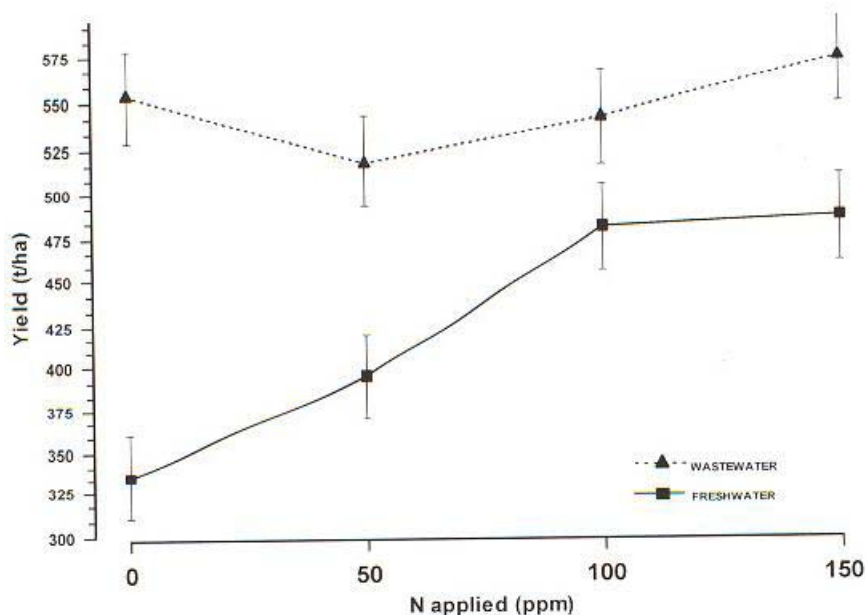
Για τη θρέψη γεωργικών, δασικών και καλλωπιστικών φυτών είναι το άζωτο και ο φώσφορος και κάποιες φορές το κάλιο, ο ψευδάργυρος, το βόριο και το θείο. Στα ανακτώμενα υγρά απόβλητα το κύριο και πιο ωφέλιμο στοιχείο είναι το άζωτο.

Αυτό το άζωτο που προορίζεται για άρδευση μπορεί να αντικαταστήσει ισοδύναμη ποσότητα εμπορικού αζωτούχου λιπάσματος.

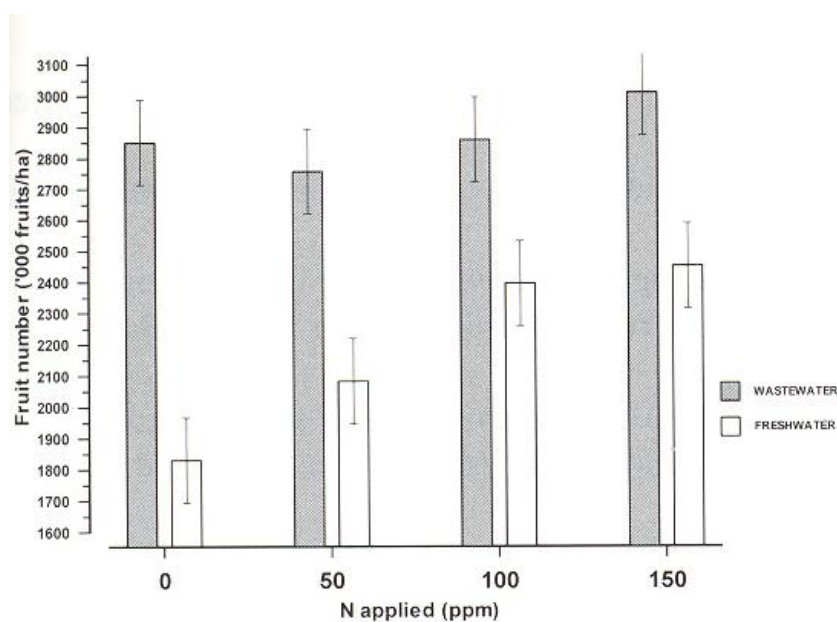
Το άζωτο είναι ωφέλιμο στην αρχική και ενδιάμεση περίοδο ανάπτυξης. Εάν έχουμε πλεονασματική εφαρμογή του αζώτου στο τέλος της περιόδου ανάπτυξης των φυτών μπορεί να είναι επιβλαβής, μπορεί να δημιουργηθεί υπερβολική βλάστηση, να καθυστερήσει η ωρίμανση ή η ποιοτική υποβάθμιση των παραγόμενων προϊόντων. Γι' αυτό το λόγο συνίσταται η αλλαγή του νερού άρδευσης με άλλο διαθέσιμο χαμηλής

περιεκτικότητας σε άζωτο ή η ανάμειξη του με άλλο αρδευτικό νερό έτσι που να ελέγχεται η συγκέντρωση του αζώτου.

Σε πειραματική μελέτη καλλιέργειας μελιτζάνας στην Κύπρο, όπου τα φυτά αρδεύτηκαν με επεξεργασμένα απόβλητα που ήταν εμπλουτισμένα με άζωτο παρουσίασαν αυξημένη παραγωγικότητα σε σχέση με τα φυτά που αρδεύτηκαν με νερό εμπλουτισμένο με την ίδια ποσότητα αζώτου.



**ΣΧΗΜΑ 1.** Παραγωγή μελιτζάνας σε t/ha σε συνάρτηση με την παραγωγή αζώτου.



**ΣΧΗΜΑ 2.** Παραγωγή μελιτζάνας σε καρπούς/ha σε συνάρτηση με την παραγωγή αζώτου.



Και στις δύο περιπτώσεις παρατηρείται αυξημένη παραγωγικότητα όταν το νερό αντικαθίσταται με τα επεξεργασμένα λύματα.

Οι αποφράξεις συστημάτων άρδευσης με καταιονισμό και στάγδην είναι συνήθη, ιδιαίτερα όταν χρησιμοποιούνται εκροές πρωτοβάθμιας επεξεργασίας ή τεχνητών λιμνών σταθεροποίησης. Επίσης προεπεξεργασμένα υγρά απόβλητα που έχουν χλωριωθεί, δεν προξενούν ζημιές στο φύλλωμα των φυτών, όπως στην περίπτωση καταιονισμού, ιδιαίτερα όταν το υπολειμματικό χλώριο είναι σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 5mg/l.

### **3.2.2. Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων.**

Ο εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφορέων έχει σαν στόχο την αποθήκευση πλεονασμάτων επιφανειακών νερών και την ενίσχυση των αποθεμάτων νερού του υδροφορέα και προστασία του από την υπεράντληση ή ρύπανση που πολλές φορές οφείλεται στην διείσδυση θαλάσσιου νερού στους υδροφορείς.

Ο εμπλουτισμός επιτυγχάνεται κατά την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων με εφαρμογή τους στο έδαφος ή κατά τη διάθεση εκροών υγρών αποβλήτων σε διάφορους αποδέκτες δια μέσου της διήθησης και κατεισδυσης στο έδαφος και σε βαθύτερους γεωλογικούς σχηματισμούς. Γενικά ο τεχνητός εμπλουτισμός των υδροφορέων επιτυγχάνεται με την επεξεργασία των εφαρμοζόμενων εκροών, δια μέσου των φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών που συμβαίνουν στο σύστημα έδαφος-υδροφορέας.

Οι κύριες μέθοδοι εμπλουτισμού των υπόγειων υδροφορέων με εκροές που ανακτώνται κατά την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων είναι:

1. Η επιφανειακή κατάκλυση σε λεκάνες διήθησης.
2. Οι γεωτρήσεις εμπλουτισμού κατευθείαν στον υδροφορέα.

Με την επιφανειακή κατάκλυση το νερό εμπλουτισμού, που εφαρμόζεται σε λεκάνες διήθησης, κατεισδύει δια μέσου της ακόρεστης εδαφικής ζώνης σε βαθύτερους σχηματισμούς. Υπό ευνοϊκές συνθήκες, ο εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφορέων με λεκάνες διήθησης μπορεί να υλοποιηθεί με πολύ προσιτά, φυσικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, όπως αυτά της ταχείας διήθησης που είναι γνωστά και ως συστήματα εδάφους-υδροφορέας-επεξεργασίας (SAT).

Το νερό που ανακτάται από τον υπόγειο υδροφορέα χρησιμοποιείται άμεσα για οποιαδήποτε μη πόσιμη χρήση. Για να χρησιμοποιηθεί για ύδρευση πρέπει η προεπεξεργασία των εκροών των υγρών αποβλήτων να ξεπερνά τη συμβατική δευτεροβάθμια επεξεργασία. Επίσης, το αντλούμενο νερό περιέχει μικρές συγκεντρώσεις συνθετικών οργανικών ενώσεων όπως είναι οι αλογονωμένες και μη αλογονωμένες και αρωματικές ενώσεις. Ο μόλυβδος και τα συνολικά διαλυμένα στερεά είναι ασυνήθιστα υψηλά. Γι' αυτό απαιτείται συμπληρωματική επεξεργασία και απολύμανση της εκροής με εφαρμογή της αντίστροφης ώσμωσης και προσρόφησης με ενεργό άνθρακα για το ήμισυ της χρησιμοποιούμενης παροχής και απολύμανση ολόκληρης της παροχής που τελικά ανακτάται πριν τη χρήση της ύδρευσης.

Ο εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφορέων με γεωτρήσεις είναι άμεσος γιατί το εφαρμοζόμενο νερό μεταφέρεται και διοχετεύεται κατευθείαν στον υπόγειο υδροφορέα. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται όταν το υπόγειο νερό βρίσκεται σε μεγάλο βάθος ή όταν η τοπογραφία ή το ανάγλυφο του εδάφους δεν επιτρέπει την επιφανειακή κατάκλυση και διήθηση.

Εφαρμόζεται πολύ αποτελεσματικά σε έργα δημιουργίας υδραυλικών φρακτών σε παράκτιους υδροφορείς για την παρεμπόδιση διείσδυσης και ανάμειξης του θαλάσσιου νερού με γλυκό νερό ή για απλή διάθεση εκροών δευτεροβάθμιας επεξεργασίας σε μη χρησιμοποιούμενους υδροφορείς (Bouwer, 1978 και Todd, 1980).

Οι εκροές των υγρών αποβλήτων περιέχουν ίχνη οργανικών ενώσεων και διάφορα μη βιοαποδομήσιμα οργανικά συστατικά και παθογόνα τα οποία είναι πολύ κρίσιμα στοιχεία αξιολόγησης των έργων εμπλουτισμού των υπόγειων υδροφορέων. Τα εξειδικευμένα συστατικά περιλαμβάνουν μικροοργανισμούς που σε συστήματα ταχείας διήθησης απομακρύνονται κυρίως με τους μηχανισμούς της διήθησης.

Οι εκροές των προεπεξεργασμένων υγρών αποβλήτων έχουν συνήθη διαλυμένα μέταλλα και διάφορα διαλυμένα στοιχεία σε ίχνη. Για την απομάκρυνση αυτών των ανόργανων συστατικών δεν επαρκεί το φιλτράρισμα και απαιτούνται οι κατάλληλες φυσικές, χημικές και βιολογικές αντιδράσεις για την αδρανοποίησή τους. Γι' αυτό το λόγο πρέπει να λαμβάνονται υπόψη η εναλλακτική ικανότητα των κατιόντων, η χημική κατακρίμνηση, η επιφανειακή απορρόφηση, η χηλικοποίηση και η πολυπλοκότητα.

Επειδή τα εδάφη μπορούν να κατακρατούν σημαντικές ποσότητες μετάλλων πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η θέση που θα γίνει ένα τέτοιο έργο. Η απομάκρυνση διαλυμένων

οργανικών στερεών επιρρεάζεται από τις διεργασίες της βιοαποδόμησης και της προσρόφησης που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια του εμπλουτισμού. Με τη βιοαποδόμηση επιτυγχάνεται η μετατροπή των τοξικών οργανικών ουσιών σε παράγωγα μειωμένης επικινδυνότητας. Επίσης, με την προσρόφηση η οργανική ουσία μπορεί να εξαπλώνεται ανάλογα με τη μοριακή διάχυση ή την υδροδυναμική διασπορά αντίστοιχα, να κινείται βραδύτερα από το νερό εμπλουτισμού με αποτέλεσμα τη μείωση της μάζας της που οφείλεται σε βιολογική αποδόμηση.

Πολλοί παθογόνοι μικροοργανισμοί φτάνουν έως τους υπόγειους υδροφορείς.

Πολλά βακτήρια και ιοί βρίσκονται υποεπιφανειακά ανάλογα από τα χαρακτηριστικά επιβίωσης και κατακράτησης τους στο έδαφος. Αυτές οι ιδιότητες προσδιορίζονται από τις εδαφολογικές και κλιματολογικές συνθήκες, το είδος και τη φύση των μικροοργανισμών.

Υπό συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών παρατηρείται αδρανοποίηση και φυσική καταστροφή των παθογόνων. Η βροχή εξαιτίας του χαμηλού pH απελευθερώνει προσροφημένα σωματίδια με ιούς και μπορούν να μεταφερθούν σε υπόγειους υδροφορείς.

Όλοι οι παράγοντες που επιρρεάζουν την ικανότητα συγκράτησης της εδαφικής υγρασίας πχ το pH και η οργανική ουσία επιρρεάζουν και την επιβίωση των βακτηρίων και ιών στο έδαφος. Οι διάφοροι μικροοργανισμοί αντέχουν σε αντίξοες περιβαλλοντικές επιδράσεις ανάλογα με τα διάφορα είδη και τις φυλές τους.

Έτσι τα βακτήρια απομακρύνονται κυρίως με τις διεργασίες της διήθησης ενώ οι ιοί με το μηχανισμό ελέγχου τους που είναι η προσρόφηση τους στη στερεά μάζα του θεωρούμενου μέσου.

Για όλους αυτούς τους λόγους κάθε έργο εμπλουτισμού υδροφορέων με ανακτώμενες εκροές υγρών αποβλήτων πρέπει να περιλαμβάνει ένα ολοκληρωμένο τμήμα ελέγχου στην πηγή με σκοπό τον περιορισμό των ποσοτήτων των συστατικών με αυξημένη δυνατή επικινδυνότητα που εισέρχονται στο αποχετευτικό σύστημα.

Στο Orange country της Καλιφόρνιας, στις Η.Π.Α., χρησιμοποιούνται απόβλητα επεξεργασμένα σε ποιότητα πόσιμου ύδατος για την 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.

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.

Σήμερα, οι ποσότητες των ανακτώμενων υγρών αποβλήτων που χρησιμοποιούνται για αστική χρήση και κυρίως για ύδρευση είναι σε χαμηλά επίπεδα και στο προσεχές μέλλον θα αυξηθούν.

Γι' αυτό το λόγο πρέπει να δίνεται μεγάλη προσοχή στα ποιοτικά κριτήρια των χρησιμοποιούμενων εκροών ώστε να περιορίζεται η επικινδυνότητα τους στη δημόσια υγεία και την προ-στασία των υδατικών πόρων και γενικότερα του περιβάλλοντος.

### **3.2.3. Επαναχρησιμοποίηση για σκοπούς ύδρευσης.**

Τα έργα επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων μπορούν να εφαρμοστούν για άμεση ή έμμεση ύδρευση. Συμβαίνει συνήθως σε περιοχές, όπως μερικές κοινότητες όπου είναι περιορισμένη η ύδρευση και δεν είναι δυνατή ή είναι δύσκολη η αξιοποίηση άλλων διαθέσιμων πόρων.

Αν και η τεχνολογία παραγωγής πόσιμου ύδατος από λύματα είναι δεδομένη, η χρήση των επεξεργασμένων λυμάτων από τους καταναλωτές για άμεση πόση δεν έχει ιδιαίτερη απήχηση. Αυτό γιατί εκτός από το παθογόνο μικροβιακό φορτίο που βρίσκεται στα λύματα, παρόν είναι και ένα πλήθος οργανικών χημικών ενώσεων που δύναται να διαφύγουν της επεξεργασίας. Εκτιμάται ότι μόνο το 10% κατά βάρος των οργανικών ενώσεων του πόσιμου ύδατος έχει ταυτοποιηθεί, ενώ η έρευνα για τις επιδράσεις τους στην υγεία είναι ακόμη σε πρωταρχικό στάδιο. Αυτό οφείλεται στο ότι μπορεί να προκληθούν πιθανές χρόνιες επιδράσεις στην υγεία από πιθανή αντίδραση και ανάμειξη ανόργανων και οργανικών συστατικών που παραμένουν στην ανακτώμενη ροή ακόμα και υπο συνθήκες πολύ προχωρημένης επεξεργασίας (WHO, 1980 και U.S. Nat. Res. Council, 1982). Παρόλα αυτά, σε περιοχές όπου το πόσιμο νερό είναι δυσεύρετο χρησιμοποιούνται επεξεργασμένα λύματα για άμεση πόση, σε ανάμειξη με άλλες πηγές. Αυτό συμβαίνει συνήθως σε περιοχές, όπως μερικές κοινότητες όπου είναι περιορισμένη η ύδρευση και δεν είναι δυνατή ή είναι δύσκολη η αξιοποίηση άλλων διαθέσιμων πόρων.

Η πρωτεύουσα της Ναμίμπια, Windhoek, βρίσκεται μεταξύ των ερήμων Kalahari και Namib, ενώ ο ποταμός Okavango, ο κοντινότερος ποταμός συνεχούς ροής, διέρχεται σε απόσταση 750km 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 στην συνέχεια επεκτάθηκε στα 21.000m<sup>3</sup>/d, με εφαρμογή τεχνολογίας μεμβρανών αντίστροφης όσμωσης. Το παραγόμενο ανακυκλωμένο νερό 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).

#### **3.2.4. Βιομηχανική χρήση.**

Οι ανάγκες του νερού για τις κατασκευαστικές βιομηχανίες είναι υψηλές. Η ανάκτηση των υγρών αποβλήτων βοηθά στην ταχεία αύξηση του νερού. Συνήθως χρησιμοποιείται στη βιομηχανία ανακυκλωμένο νερό, το οποίο συνήθως παράγεται ως παραπροϊόν κατά τις διάφορες διεργασίες.

Έτσι το νερό αυτό που προκύπτει μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην ψύξη δημιουργώντας ψυκτικούς υδατοπύργους, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, διυλιστήρια και πολλές κατασκευαστικές βιομηχανίες. Οι υδατοπύργοι ψύξης λειτουργούν στα κλειστά ανεξάρτητα συστήματα και γι'αυτό θεωρούνται ανεξάρτητα από τις βιομηχανικές μονάδες σαν υδατικά συστήματα με ιδιαίτερες ποσοτικές απαιτήσεις. Η βασική αρχή λειτουργίας των ψυκτικών υδατοπύργων είναι η συμπύκνωση με εξάτμιση και η εναλλαγή λανθάνουσας θερμότητας η οποία απελευθερώνεται θερμότητα με εξαέρωση με τη μείξη αέρα και νερού. Οι απώλειες νερού γίνονται συνήθως με τον υγρασιακό ατμό και με τον άνεμο. Επειδή υπάρχει η πιθανότητα να δημιουργηθούν κατακρημνίσματα από την αυξημένη συγκέντρωση των αλάτων λόγω της εξάτμισης νερού, διατηρούμε το κατάλληλο ισοζύγιο αλάτων. Ένα μέρος εκρέει από το σύστημα και αντικαθίστανται με άλλο νερό χαμηλής συγκέντρωσης αλάτων. Η εκροή από το σύστημα που οφείλεται σε υψηλή συγκέντρωση αλάτων ονομάζεται εκροή προς τα κάτω.

Τα προβλήματα ποιότητας του νερού που αντιμετωπίζονται σε βιομηχανικούς ψυκτικούς υδατοπύργους είναι:

- Οι εναποθέσεις αλάτων.

- Η μεταλλική διάβρωση.
- Η βιολογική ανάπτυξη.
- Η πρόσφυση και η ανάπτυξη των διαφόρων εναποθέσεων.

Οι εναποθέσεις αλάτων που συμβαίνει συνήθως σε θερμές επιφάνειες μειώνει την αποδοτικότητα θερμικής εναλλαγής.

Οι εναποθέσεις αλάτων στα συστήματα συμβαίνουν με άλατα ασβεστίου κυρίως ανθρακικά, θειικά και φωσφορικά. Οι πυριτικές εναποθέσεις συναντούν δυσκολία στην απομάκρυνση τους από επιφάνειες θερμικών εναλλαγών. Για να ελαττωθεί αυτό στο νερό που ανακτάται από υγρά απόβλητα ελέγχεται ο σχηματισμός του φωσφορικού ασβεστίου που είναι το πρώτο άλας που σχηματίζεται όταν είναι διαθέσιμη για το σκοπό αυτό  $PO_4^{3-}$ .

Αυτό επιτυγχάνεται στην προεπεξεργασία του αποβλήτου με απομακρύνση του  $PO_4^{3-}$  με κατακρήμνιση. Άλλος τρόπος είναι διεργασία της ιοντικής εναλλαγής στην οποία απομακρύνονται το ασβέστιο και το μασγνήσιο.

Η μεταλλική διάβρωση είναι ένα άλλο πρόβλημα που εμφανίζεται στα ψυκτικά συστήματα όταν δημιουργείται ηλεκτρικό δυναμικό μεταξύ ανόμοιων μεταλλικών επιφανειών. Η ποιότητα του νερού επιδρά σημαντικά στη μεταλλική διάβρωση. Συστατικά όπως τα TDS (συνολικά διαλυμένα στερεά) αυξάνουν την ηλεκτρική αγωγιμότητα της διάλυσης και επιταχύνουν αντιδράσεις σχετικά με τη διάβρωση. Το διαλυμένο οξυγόνο και μερικά μέταλλα όπως ο σίδηρος, το μαγνήσιο, το αλουμίνιο προάγουν τη διάβρωση εξαιτίας του υψηλού τους δυναμικού για οξείδωση. Το δυναμικό για διάβρωση στο νερό ψύξης ελέγχεται με την προσθήκη χημικών παρεμποδιστών.

Το νερό που προέρχονται από ανάκτηση υγρών αποβλήτων έχει 2-5 φορές μεγαλύτερη συγκέντρωση TDS σε σχέση με το φυσικό νερό άρα απαιτείται μεγαλύτερος έλεγχος.

Επίσης τα συστήματα των υδατοπύργων έχουν ιδεώδες εσωτερικό περιβάλλον για την προαγωγή των βιολογικών αντιδράσεων. Αυτό οφείλεται στο ότι επικρατεί σε αυτά η ευνοϊκή θερμοκρασία και η υγρασία αλλά και διατίθενται θρεπτικά συστατικά όπως το άζωτο, ο φώσφορος και άλλα οργανικά συστατικά που ευνοούν την ανάπτυξη των μικροοργανισμών, οι οποίοι παρεμποδίζουν τη μεταφορά της θερμότητας και της ροής του νερού. Γι' αυτό το λόγο προστίθενται βιοκτόνα που είναι μέρος της εσωτερικής χημικής επεξεργασίας, η οποία μπορεί να περιλαμβάνει προσθήκη οξέων για να ελέγχεται το pH, τη χρήση βιοκτόνων και την εφαρμογή παρεμποδιστών.

Τέλος, στα ψυκτικά συστήματα εφαρμόζονται συνήθως εκροές δευτεροβάθμιας επεξεργασίας που έχουν απολυμανθεί χωρίς επανακυκλοφορία. Όταν γίνεται επανακυκλοφορία οι περισσότερες εκροές υγρών αποβλήτων περιέχουν συστατικά (πχ αιωρούμενα στερεά, ιλύς, διάφορα προϊόντα διάβρωσης, ανόργανα συστατικά), τα οποία αν δεν απομακρυνθούν δημιουργούν λειτουργικά προβλήματα στους ψυκτικούς υδατοπύργους διαφόρων βιομηχανιών.

Γι' αυτό απαιτείται συμπληρωματική επεξεργασία όπως διαύγηση με ασβέστιο, κατακρήμνιση με αλουμίνια και ιοντική εναλλαγή.

Το σύνολο σχεδόν των υγρών αποβλήτων της πόλης Phoenix, στο New Mexico των Η.Π.Α., που ανέρχεται σε περίπου 250.000 m<sup>3</sup>/d χρησιμοποιεί ως νερό ψύξης τον πυρηνικό σταθμό ηλεκτροπαραγωγής του Palo Verde, που βρίσκεται 55 km δυτικά της πόλης.

Στην Σιγκαπούρη έχει κατασκευαστεί μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων δυναμικότητας 72.000 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/d.

Στο Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Ψυτάλειας, όπου βρίσκεται εγκατεστημένη η μονάδα επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων του λεκανοπεδίου Αθηνών, ανακυκλώνονται περίπου 30.000 m<sup>3</sup>/d αποβλήτων, αφού επεξεργαστούν σε αυτόματους ηθμούς. Τα 2/3 του ανακυκλωμένου ύδατος χρησιμοποιείται ως νερό ψύξης των συμπιεστών αέρα και ως νερό παρασκευής διαλυμάτων πολυηλεκτρολυτών, ενώ το υπολειπόμενο 1/3 απολυμαίνεται με εφαρμογή ακτινοβολίας UV, και χρησιμοποιείται για άρδευση του πρασίνου και ως νερό πλύσης διαφόρων εξαρτημάτων.

### **3.3. Χρήση σημαντικών τεχνολογιών στην επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων.**

Μια μονάδα ανάκτησης των υγρών αποβλήτων πρέπει να είναι αξιόπιστη. Αυτό εκτιμάται σε σχέση με την ικανότητα της να παράγει σταθερά αποδεκτή εκροή, που ανακτάται από υγρά απόβλητα. Τα προβλήματα συνήθως οφείλονται συνήθως σε ατέλειες στον σχεδιασμό, σε μηχανικές ζημιές και λειτουργικές ελλείψεις. Επίσης μπορεί να οφείλονται σε προβλήματα που προκαλούνται εξαιτίας της μεταβλητότητας της

εισροής του υγρού απόβλητου ακόμα και όταν όλες οι συνθήκες έχουν υψηλές ποιοτικές προδιαγραφές.

Όταν υπάρχει ένα από τα δύο προβλήματα πρέπει να συμπεριληφθούν στο σχεδιασμό του συστήματος ανάκτησης του απόβλητου μια σειρά από διεργασίες ώστε να λυθούν τα προβλήματα.

Σήμερα η κύρια χρήση των ανακτώμενων εκροών των αστικών υγρών αποβλήτων είναι για αστική χρήση π.χ. χώροι πρασίνου, εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων και η βιομηχανική ψύξη. Γι' αυτό το λόγο πρέπει να αποφεύγονται όλοι οι κίνδυνοι για την δημόσια υγεία. Οι κίνδυνοι αυτοί συνήθως οφείλονται σε παθογόνα και οργανωτικά συστατικά. Για την αδρανοποίηση και την απομάκρυνση τους πρέπει:

1. Η εκροή να είναι χαμηλής συγκέντρωσης σε αιωρούμενα στερεά και θολότητα πριν από την απολύμανση της, έτσι ώστε να περιορίζει προστατευτικά μέσα ανάπτυξης των μικροοργανισμών και να ελαττώνεται το απαιτούμενο χλώριο. Γι' αυτό το λόγο εφαρμόζεται τριτοβάθμιο φιλτράρισμα με τη χρήση χοντρόκοκκων υλικών.
2. Να εφαρμόζεται επαρκή δόση απολυμαντικού και ο χρόνος επαφής με την ανακτώμενη εκροή να είναι αυτός που χρειάζεται.

Επίσης όταν γίνεται υδατοτροφοδοσία για υδρευτικούς σκοπούς, κατά την ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων μας ενδιαφέρουν οι ιοί, τα οργανικά στα οποία περιλαμβάνονται και τα βιοκτόνα, καθώς και τα βαρεία μέταλλα.

Για να γίνει επαναχρησιμοποίηση για ύδρευση απαιτούνται προωθημένες διεργασίες, όπως διάγαση, απομάκρυνση θρεπτικών στοιχείων, επανανθρακοποίηση, φιλτράρισμα, προσρόφηση με ενεργό άνθρακα, αντίστροφη ώσμωση και απολύμανση με χλώριο ή όζον ή και με τα δύο μέσα

Τέλος, πρέπει να γίνεται χρήση της ανάλυσης κινδύνου της υγιεινής κατά την ανάπτυξη και εφαρμογής κριτηρίων ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης τόσο στην επεξεργασία των αποβλήτων όσο και στον έλεγχο, εκτίμηση και καταλληλότητα της χρήσης τους.



### **3.4. Άλλοι τρόποι διάθεσης των εκροών των υγρών αποβλήτων.**

Οι εκροές των υγρών αποβλήτων, εκτός από τη χρήση που έχουμε ήδη πει, μπορούν να διατεθούν και στο περιβάλλον και να επανεισέρθουν στον υδρολογικό κύκλο.

Μεγάλο και σημαντικό ρόλο παίζουν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που μπορεί να προκληθούν. Υπάρχουν πολυάριθμοι περιβαλλοντικοί κανονισμοί, κριτήρια, επισκοπήσεις και πολιτικές ώστε να διασφαλίζεται ότι οι επιπτώσεις βρίσκονται σε αποδεκτά πλαίσια.

Γι' αυτό το λόγο η επεξεργασία και η διάθεση των υγρών αποβλήτων δεν πρέπει να θεωρούνται ανεξάρτητα αλλά σαν μια συνεχής και ενιαία διεργασία.

Όταν μελετούνται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το διαλυμένο οξυγόνο.

Αυτό οφείλεται στην αφομοιωτική ικανότητα του υδατικού αποδέκτη που δέχεται την εκροή και γι' αυτό πρέπει να γίνεται προσδιορισμός του BOD<sub>5</sub> που μπορεί να αφομοιώνεται χωρίς να γίνεται επιβάρυνση του επιπέδου του διαλυμένου οξυγόνου στον περιβάλλοντα υδατικό χώρο.

Επίσης πρέπει να λαμβάνονται υπόψη θρεπτικά στοιχεία, τοξικές ουσίες και μια ποικιλία οργανικών ουσιών.

#### **3.4.1. Τρόποι διάθεσης εκροών.**

##### **3.4.1.1. Διάθεση σε γήινους αποδέκτες.**

Οι γήινοι αποδέκτες είναι το έδαφος, το υπέδαφος και οι βαθύτεροι γεωλογικοί σχηματισμοί.

Μπορεί να γίνεται υπόγεια διάθεση, η οποία περιλαμβάνει το στεγανό αποχωρητήριο, το σηπτικό και το χημικό, το υγιεινό αποχωρητήριο ξερού τύπου, ο απορροφητικός βόθρος ή απορροφητική τάφρος, η λεκάνη απορροφήσεως και το υπεδάφιο πεδίο διαθέσεως των αποβλήτων.

Το βασικότερο συστατικό των περισσότερων ρυπαντών που φθάνουν στο περιβάλλον, έδαφος-νερό είναι ο οργανικός άνθρακας.

Κατά τη μετατροπή και μεταφορά των οργανικών συστατικών στο περιβάλλον έδαφος-νερό συμμετέχουν οργανικές ουσίες, οι οποίες είναι:

1. Υψηλού μοριακού βάρους χημικές ενώσεις (σε ποσοστό 60-70% του TOC (συνολικό οργανικό άνθρακα)
2. Υδατάνθρακες, όπως κυτταρίνη, ημικυτταρίνη, λιγνίνη σε ποσοστά 5-10% του TOC.
3. Πρωτεΐνες.
4. Λίπη και Έλαια.
5. Ευκολοοξειδωμένες διαλυμένες οργανικές ουσίες.

#### **3.4.1.2. Επιφανειακή διάθεση στο έδαφος.**

Γίνεται με ένα από τους συμβατικούς τρόπους αρδύσεως ύστερα από την απαραίτητη επεξεργασία.

Η διαδικασία της επεξεργασίας των αποβλήτων στο έδαφος μπορεί να γίνει με τέσσερις γενικά τρόπους: επιφανειακή απορροή, απλή άρδευση, ταχύρρυθμη άρδευση και απορρόφηση-διείσδυση.

Κάθε μέθοδος έχει ξεχωριστά χαρακτηριστικά και η καταλληλότερη για κάθε περίπτωση εξαρτάται από τα στοιχεία του γηπέδου, το είδος των αποβλήτων και τους ισχύοντες περιβαλλοντικούς περιορισμούς.

Η επιφανειακή απορροή γίνεται με σκοπό τη μεγιστοποίηση της επεξεργασίας σε εδάφη που έχουν μικρή διαπερατότητα ή έχουν υψηλό υπόγειο ορίζοντα νερών και η φόρτιση τους είναι 150-750cm/χρόνο. Η τελική διάθεση είναι κοντά στην επιφανειακή απορρόφηση και μερικά στην εξατμισο-διαπνοή και στα υπόγεια νερά.

Η επιφανειακή απορροή επιδρά στην ποιότητα των αποβλήτων ελαττώνοντας σημαντικά το BOD και τα αιωρούμενα στερεά. Γίνεται ελάττωση των θρεπτικών ουσιών με δέσμευση και ανάπτυξη των φυτών, καθώς και αύξηση των διαλυμένων στερεών στην επιφανειακή απορροή.

Η άρδευση έχει σαν σκοπό την μεγιστοποίηση της γεωργικής παραγωγής. Τα κατάλληλα εδάφη είναι αυτά που έχουν προσφορά για αρδευτικές καλλιέργειες και έχουν φόρτιση 30-150 cm/χρόνο. Η τελική διάθεση των νερών γίνεται κοντά στην εξατμισοδιαπνοή, μερικά στο υπέδαφος και λίγα ή τίποτα στην επιφανειακή απορροή.

Η άρδευση επιδρά στην ποιότητα των αποβλήτων με απομάκρυνση του BOD και των αιωρούμενων στερεών. Τα θρεπτικά καταναλώνονται από τα φυτά ή δεσμεύονται και γίνεται σημαντική αύξηση των διαλυμένων στερεών στα νερά που διεισδύουν.

Η ταχύρρυθμη άρδευση έχει σαν σκοπό την μεγιστοποίηση επεξεργασίας με εξατμισοδιαπνοή και διείσδυση, χωρίς σχεδόν επιφανειακή απορροή και η γεωργική παραγωγή είναι ευεργετικό παραπροϊόν. Τα κατάλληλα εδάφη είναι πολύ διαπερατά εδάφη προσφορά για αρδευτικές καλλιέργειες. Μπορεί να χρησιμοποιηθούν δριακά εδάφη αν έχουν αδρή δομή. Η ενδεικτική φόρτιση είναι 60-300cm/χρόνο. Η τελική διάθεση των νερών γίνεται με την εξατμισοδιαπνοή και στα υπόγεια νερά. Γίνεται περιορισμένη ή καθόλου επιφανειακή απορροή. Η επίδραση στην ποιότητα των αποβλήτων γίνεται με απομάκρυνση σημαντικού BOD και αιωρούμενων στερεών. Επίσης επιδρά στην ποιότητα των αποβλήτων με ελάττωση θρεπτικών ουσιών και στην ουσιαστική αύξηση των διαλυμένων στερεών στα νερά που διεισδύουν.

Τέλος, η διαδικασία της απορρόφησης-διείσδυσης έχει σαν σκοπό τον εμπλουτισμό των υπόγειων νερών ή διήθηση των υγρών και επίσης να γίνεται δυνατή η γεωργική καλλιέργεια με μικρό ή καθόλου όφελος. Κατάλληλα εδάφη είναι τα πάρα πολύ διαπερατά αμμώδη και χαλικώδη εδάφη, που έχουν ενδεικτική φόρτιση 600-15.000cm/χρονο. Η τελική διάθεση των νερών γίνεται στα υπόγεια νερά με λίγη εξατμισοδιαπνοή χωρίς επιφανειακή απορροή. Η διαδικασία αυτή επιδρά στην ποιότητα των αποβλήτων με ελάττωση του BOD και των αιωρούμενων στερεών, καθώς γίνεται και μικρή μεταβολή των διαλυμένων στερεών στα νερά που διεισδύουν.

Για να λειτουργήσει σωστά το εδαφικό σύστημα πρέπει να εξασφαλίζεται η απορρόφηση του υδραυλικού φορτίου, οξείδωση των οργανικών ουσιών αερόβια, ενσωμάτωση των αιωρούμενων στερεών στο έδαφος χωρίς φράξιμο των πόρων, η αφομοίωση των θρεπτικών υλικών από τα φυτά, η ισορροπία των αλάτων του Na έναντι του Ca και Mg, η επιτρεπτή συγκέντρωση των ανόργανων συστατικών και η αποδεκτές συνθήκες υγιεινής και περιβάλλοντος.

Η απορροφητική ικανότητα του εδάφους είναι ο ρυθμός τροφοδοτήσεως της επιφάνειας με νερό, χωρίς να δημιουργείται επιφανειακή απορροή, ενώ υδατοπερατότητα είναι ο ρυθμός διεισδύσεως του νερού στο υπέδαφος. Τα απόβλητα πρέπει να έχουν στρώμα 1-1,5m καλά αεριζόμενου εδάφους στην περιοχή των ριζών. Αν δεν έχουν αρκετή

υδατοπερατότητα , οι καλλιέργειες θα πνιγούν, αφού το υπόγειο νερό θα φτάσει μέχρι τη ζώνη των ριζών και θα τις πνίξει.

Το οργανικό φορτίο εκφράζεται με το BOD και το COD. Το BOD με μορφή των αιωρούμενων στερεών παγιδεύεται στην επιφανειακή στιβάδα του εδάφους, όπου οι σαπροφυτικοί μικροοργανισμοί τροφοδοτούνται με οξυγόνο από την ατμόσφαιρα για την αερόβια αποδόμηση των οργανικών ουσιών. Αντίθετα το διαλυμένο BOD διεισδύει βαθύτερα και αποδομείται αερόβια, μόνο αν ο ρυθμός φορτίσεως δεν υπερβαίνει τη δυνατότητα αναοξυγονώσεως του εδάφους. Για να διατηρηθούν οι αερόβιες συνθήκες στο έδαφος πρέπει η φόρτιση να γίνεται περιοδική με διαστήματα αναπαύσεως ώστε να απομακρύνονται με στράγγιση και εξάτμιση η πρόσθετη υγρασία και ξανατροφοδοτείται με αέρα και οξυγόνο το πορώδες του εδάφους. Η έμφραξη του εδάφους οφείλεται σε ανεπαρκή βιολογική διάσπαση των οργανικών ουσιών σε αναερόβιο περιβάλλον.

Τα αδρανή αιωρούμενα στερεά μπορούν να φράξουν τους πόρους του εδάφους, οπότε απαιτείται όργωμα. Το φορτίο που επιτρέπεται για τα αιωρούμενα στερεά είναι

$$L = 3\text{kg SS/m}^2 \cdot \chi\rho$$

$$L_{\max} = 8\text{kg SS/m}^2 \cdot \chi\rho$$

Τα κυριότερα θρεπτικά υλικά για τα φυτά που περιέχονται στα απόβλητα, είναι τα άλατα του αζώτου, του φωσφόρου και του καλίου ( $\text{NO}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ). Η μορφή με την οποία διατίθενται τα διάφορα υλικά στο έδαφος, δεν είναι πάντα άμεσα χρησιμοποιήσιμη από τα φυτά. Για παράδειγμα, για να αφομοιωθεί το άζωτο με τη μορφή των νιτρικών και αμμωνιακών αλάτων, πρέπει να γίνει ανόργανο από οργανικό. Η διαδικασία της ανοργανοποίησης είναι χρονοβόρα, ενώ παράλληλα σημειώνεται απώλεια των θρεπτικών υλικών. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, τα θρεπτικά υλικά που είναι διαθέσιμα για αφομοίωση από τα φυτά, να είναι λιγότερα από τα προστιθέμενα κατά τον πρώτο χρόνο εφαρμογής.

Ορισμένα απόβλητα μπορεί να περιέχουν χημικά συστατικά που επιβραδύνουν την ανάπτυξη των φυτών ή είναι ριζοκίνδυνα για την υγεία των καταναλωτών.

Η παρουσία παθογόνων παραγόντων στα απόβλητα που χρησιμοποιούνται για άρδευση φαγώσιμων ειδών ή τοπίων που συχνάζουν άτομα ή με τεχνητή βροχή θέτει περιορισμούς στην ελεύθερη χρησιμοποίησή τους. Οι παθογόνοι παράγοντες πρέπει να ελαττωθούν

πριν από την άρδευση στα επίπεδα που θεωρούνται ασφαλή για τη δημόσια υγεία από τις αρμόδιες υγειονομικές αρχές.

Ο χρόνος επιβίωσης των παθογόνων μικροβίων στο έδαφος ποικίλλει σημαντικά από μέρες μέχρι μήνες.

### **3.4.1.3. Διάθεση σε επιφανειακά νερά.**

#### **A. Διάθεση σε ποταμό**

Ο ποταμός αποτελεί ζωντανό οικοσύστημα που αφομοιώνει και αποδομεί τα οργανικά συστατικά των απορριπτομένων ρυπαντικών ουσιών σε βάρος του διαλυμένου στο νερό οξυγόνου που ανανεώνεται συνεχώς κυρίως από την ατμόσφαιρα και σε ορισμένο βαθμό από τη φωτοσύνθεση της υδρόβιας χλωρίδας. Παράλληλα καταστρέφονται τα διάφορα παθογόνα μικρόβια λόγω δυσμενούς περιβάλλοντος, ελλείψεως τροφής, ηλιακής ακτινοβολίας κτλ.

Η φυσική αυτή διαδικασία στο ποτάμι της οξυγονώσεως των οργανικών ουσιών και αναοξυγονώσεως του νερού χαρακτηρίζεται σαν ικανότητα αυτοκαθαρισμού.

Όταν διατεθούν υγρά απόβλητα σε ένα ποτάμι, προκαλείται ρύπανση που μετακινείται τοπικά με το ρεύμα και παράλληλα μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου, λόγω του μηχανισμού του αυτοκαθαρισμού. Για την παρακολούθηση της χωροχρονικής αυτής εξέλιξης της ρύπανσης, ώστε να επισημανθούν έγκαιρα και να ελεγχθούν οι ανεπιθύμητες συνέπειες από τη διάθεση, εκλέγονται αντιπροσωπευτικά ορισμένες κρίσιμες παράμετροι, όπως

-το οργανικό φορτίο (BOD<sub>5</sub> ή και COD, mg/l)

-το διαλυμένο οξυγόνο (DO mg/l)

-ο μικροβιακός πληθυσμός(ΠΑΚ/100 mg/l)

Και παρακολουθείται η χωροχρονική ποσοτική εξέλιξη τους με κατάλληλο μαθηματικό σνήθως ομοίωμα.

## **B. Διάθεση στη θάλασσα**

Η διάθεση των αποβλήτων ύστερα από την κατάλληλη επεξεργασία στη θάλασσα και γενικά σε βαθιά υδάτινη μάζα, π.χ λίμνη, γίνεται με υποβρύχιο αγωγό που καταλήγει σε σύστημα διαχύσεως με πολλές θυρίδες ή σχισμές. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται η αρχική αραιώση των αποβλήτων κατά την ανοδική πορεία των υγρών στην επιφάνεια λόγω της διαφοράς πυκνότητας εξαιτίας της αλατότητας και της θερμοκρασίας και στη συνέχεια επιφανειακή κυρίως διασπορά και αραιώση, λόγω των ρευμάτων με ταυτόχρονη ελάττωση του μικροβιακού φορτίου, λόγω εξαφανίσεως και καταστροφής των μικροβίων στο δυσμενές εξωτερικό περιβάλλον. Τα στάδια αραιώσεως είναι τα εξής:

- **Αρχική αραιώση**: τα απόβλητα, κατά την έξοδο από τον αγωγό, λόγω του μικρότερου ειδικού βάρους (θερμότερα, μικρότερη αλατότητα) έχουν ανοδική συνιστώσα που συνεχώς ελαττώνεται, λόγω της αναμίξεως με τα νερά του αποδέκτη.

Έτσι διαμορφώνεται ο κώνος αραιώσεως. Εάν ο αποδέκτης έχει σταθερή πυκνότητα, τότε η αραιωμένη, σε πρώτο στάδιο απορροή, φτάνει μέχρι την επιφάνεια και από εκεί αρχίζει η επιφανειακή διασπορά, με την επίδραση κυρίως των ρευμάτων. Αντίθετα, αν ο αποδέκτης έχει συνεχή ελάττωση της πυκνότητας κατακόρυφα, τότε η ανερχόμενη δέσμη της απορροής αποκτά την πυκνότητα του υγρού μέσου, με αποτέλεσμα να σταματήσει η πιο πάνω πορεία και να αρχίσει η υποθαλάσσια οριζόντια διασπορά, η οποία θεωρείται ευνοϊκή και για αυτό επιδιώκεται η διάθεση αποβλήτων σε περίπτωση στρωματώσεως κάτω από το πυκνοκλινές στρώμα. Η αρχική αραιώση στον άξονα του κώνου, αυξάνει κυρίως με το βάθος διαθέσεως και την ελάττωση του διαμετρήματος των θυρίδων και μπορεί να φτάσει σε σημαντικό ύψος.

- **Διασπορά**: όταν τα απόβλητα φτάσουν στην επιφάνεια ή στο υποθαλάσσιο στρώμα παγιδεύσεως, αρχίζει, με την επίδραση των ρευμάτων κυρίως, η οριζόντια διασπορά που περιλαμβάνει:

- Μετακίνηση των αραιωμένων αποβλήτων μακριά από τα σημεία διαθέσεως με τα ρεύματα

- Τυρβώδη διάχυση των αποβλήτων στο υγρό μέσο, καθώς απομακρύνονται.

- **Αποσύνθεση των αποβλήτων**: είναι ο τρίτος σημαντικός παράγοντας που συμβάλλει στην πιο πέρα αραιώση και ελάττωση της συγκεντρώσεως των παραμέτρων της

ρυπάνσεως, είναι ο ρυθμός αποσυνθέσεως και φθοράς των αποβλήτων στο υδατικό περιβάλλον. Στην ελάττωση των μικροβίων ο ρυθμός εξαφανίσεως οφείλεται σε πολλούς παράγοντες, μεταξύ των οποίων το φως ( υπεριώδης ακτινοβολία) φαίνεται να παίζει πολύ σημαντικό ρόλο.

- Ολική αραιώση, η συνολική αραιώση είναι γινόμενο των μερικών αραιώσεων και η συγκέντρωση των κολοβακτηριοειδών στην εξεταζόμενη περιοχή προστασία προκύπτει σαν πηλίκο του αρχικού μικροβιακού φορτίου, της απορροής με την συνολική αραιώση. Η τιμή της τελικής συγκέντρωσης των κολοβακτηριοειδών πρέπει να βρίσκεται στα επιτρεπτά όρια για την προβλεπόμενη χρήση της περιοχής.

### Γ. Θαλάσσια ρεύματα

Βασικός παράγοντας για την μεταφορά των ρύπων και την οριζόντια διασπορά των αποβλήτων είναι τα θαλάσσια ρεύματα που οφείλονται σε διάφορες αιτίες, εσωτερικές και εξωτερικές.

-Εσωτερικές αιτίες είναι η ανομοιόμορφη κατανομή της πυκνότητας , λόγω διαφορετικής θερμοκρασίας και αλατότητας, που δημιουργεί αστάθεια, ώστε να εμφανίζεται κυκλοφορία υδάτινης μάζας, οριζόντια ή κατακόρυφα.

-Εξωτερικές αιτίες είναι κυρίως οι άνεμοι, οι παλίρροιες, η μεταφορά μάζων με τον κυματισμό, ιδιαίτερα σε αβαθείς παράκτιες περιοχές και η εκβολή σημαντικών ποταμών.

Οι διάφορες αιτίες μπορεί να συνυπάρχουν ή επίσης μια μόνο να είναι καθοριστική για τα θαλάσσια ρεύματα, που βασική αιτία είναι ο άνεμος. Τα ρεύματα λόγω ανέμου δεν έχουν περιοδικό χαρακτήρα, αλλά προσδιορίζονται σε συνδυασμό με την διεύθυνση και την ένταση του ανέμου και με τον τρόπο μεταφοράς της ρευστής μάζας. Ο άνεμος θέτει σε κίνηση με τις δυνάμεις τριβής, την υδάτινη μάζα, που λόγω αδράνειας χρειάζεται ορισμένο χρόνο για να αποκτήσει μόνιμες συνθήκες ροής.

### **3.5. Κατευθυντήριες οδηγίες για την επαναχρησιμοποίηση του νερού στην περιοχή της Μεσογείου.**

Τα κριτήρια για την ασφαλή χρήση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, κυρίως στη γεωργία, που απαιτούνται για να μεγιστοποιήσουν τα οφέλη για τη δημόσια υγεία και την ίδια στιγμή να επιτρέψουν την επωφελή χρήση των πόρων που φοβίζονται. Τα ποιοτικά κριτήρια για τα εντερικά νηματώδη, FC, TSS θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν για την ασφαλή εφαρμογή της ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης του νερού, σύμφωνα με τις συνιστώμενες χρήσεις.

Αυτά τα κριτήρια είναι για την άρδευση των τοπίων και στη γεωργία, και για την επαναφόρτιση των υπόγειων νερών. Η επαναχρησιμοποίηση στη βιομηχανία σπάνια εφαρμόζεται στην Ελλάδα και στις περισσότερες μεσογειακές χώρες.

Τα ρίσκα στην υγεία συμπεριλαμβάνουν μικροβιολογικά και χημικά ρίσκα. Ο οδηγός ή τα κριτήρια της ποιότητας των υγρών αποβλήτων πρέπει να είναι ανάλογα με το κλίμα της κάθε περιοχής, τη ροή του νερού και τα χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων και θα πρέπει να σχεδιάζονται για την προστασία των ατόμων εναντίον των πραγματικών τεραστίων εκθέσεων. Αυτά θα πρέπει να είναι:

- Ρεαλιστικά σε σχέση με τις τοπικές συνθήκες (επιδημιολογικές, κοινωνικομορφωτικές και περιβαλλοντικοί παράγοντες).
- Οικονομικά ανεκτά.
- Εκτελεστές.

Οι οδηγίες για την επαναφόρτιση των υγρών αποβλήτων εξαρτώνται από τον υδροφόρο ορίζοντα του νερού αν είναι πόσιμος ή όχι, την προβλεπόμενη χρήση του μη πόσιμου επαναφορτιζόμενου υδροφόρου ορίζοντα, την τεχνική της επαναφόρτισης και το υδρογεωλογικό περιβάλλον.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### 4. Απολύμανση.

Η πρωτοβάθμια, η δευτεροβάθμια και η τριτοβάθμια επεξεργασία δεν μπορούν να αφαιρέσουν 100% το εισερχόμενο φορτίο των αποβλήτων, με αποτέλεσμα πολλοί οργανισμοί να υπάρχουν ακόμη στη ροή των αποβλήτων. Η απολύμανση χρησιμεύει στην πρόληψη της εξάπλωσης των ασθενειών που μεταδίδονται με το νερό και γενικά στο περιβάλλον, στην ελαχιστοποίηση των προβλημάτων της δημόσιας υγείας, στη ρύθμιση της ενέργειας που απαιτείται για την καταστροφή των παθογόνων οργανισμών των υγρών αποβλήτων.

Η απολύμανση είναι μία επεξεργασία, στην οποία ένα σημαντικό ποσοστό παθογόνων οργανισμών σκοτώνονται ή ελέγχονται, ο κύριος σκοπός της είναι η καταστροφή όλων των παθογόνων. Αυτό οφείλεται στο ότι δεν καταστρέφονται κατά της διάρκειας της επεξεργασίας όλοι οι οργανισμοί. Οι περισσότεροι μικροοργανισμοί δεν είναι παθογόνοι, αλλά πρέπει να είναι ένα ενδεχόμενο που μπορεί να παρουσιαστεί. Έτσι εάν τα υγρά απόβλητα απορρίπτονται σε ύδατα υποδοχής, που μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την ύρδευση, το κολύμπι κτλ, πρέπει να μειωθεί ο βακτηριακός αριθμός για να ελαχιστοποιηθούν και οι κίνδυνοι για την υγεία.

Οι διαδικασίες που εφαρμόζονται στην απολύμανση, έχουν σαν αποτέλεσμα την σημαντική μείωση του συνόλου των μικροβίων και του βακτηριακού αριθμού σε ασφαλές επίπεδο.

Η απολύμανση ολοκληρώνεται με την χρήση φυσικών ή χημικών μέσων. Τα χημικά μέσα που μπορεί να χρησιμοποιηθούν είναι το χλώριο και οι ενώσεις του, το βρώμιο, το ιόδιο, το όζον, η φαινόλη και οι φαινολικές ενώσεις, οι αλκοόλες, τα βαρέα μέταλλα, οι βαφές, τα σαπούνια και τα απορρυπαντικά, τετραδικές αμμωνιακές ενώσεις, υπεροξείδιο του υδρογόνου και τα διάφορα αλκαλικά και οξέα.

Από αυτά, η χλωρίωση είναι αυτή που χρησιμοποιείται συχνότερα. Το βρώμιο και το ιόδιο επίσης χρησιμοποιούνται για την απολύμανση των υγρών αποβλήτων. Το όζον είναι πολύ αποτελεσματικό και η χρήση του αυξάνεται συνέχεια επειδή δεν αφήνει υπολείματα. Υψηλά όξινο ή αλκαλικό νερό μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να καταστρέψει τα παθογενή βακτήρια επειδή το pH τους είναι μεγαλύτερο από 11 και λιγότερο από 3 το οποίο είναι σχετικά τοξικό για τα περισσότερα βακτήρια.

Γενικά η χημική οξείδωση(π.χ. χλωρίωση) υποφέρει από τον σχηματισμό των παραπροϊόντων της απολύμανσης, τα οποία αυξάνουν την τοξικότητα στους υδρόβιους οργανισμούς και τους υψηλότερους καταναλωτές συμπεριλαμβανομένου και τους ανθρώπους, ιδιαίτερα σε εκτεταμένη έκθεση τους σε αυτή.

Τα φυσικά μέσα :

Θέρμανση: δεν είναι πάντα ευφικτός τρόπος απολύμανσης για μεγάλες ποσότητες υγρών αποβλήτων εξαιτίας του υψηλού κόστους που έχει.

Ακτινοβολία: ηλεκτρομαγνητική(ακτίνα-γ), ακουστική(υπέρηχοι) και σωματιδίων(UV).

Μηχανικά μέσα: τα βακτήρια και άλλοι οργανισμοί μετακινούνται με μηχανικά μέσα κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων. Ο συνδιασμός της βιοδιάσπασης με το φιλτράρισμα περιορίζει την μετακίνηση των παθογόνων.

Η αποτελεσματικότητα της απολύμανσης εξαρτάται από την ποιότητα του νερού που επεξεργάζεται(πχ από την θολότητα, το pH, κτλ), το είδος της απολύμανσης που χρησιμοποιείται και η δοσολογία της(χρόνος και συγκέντρωση), και από άλλες περιβαλλοντικές μεταβλητές.

#### **4.1. Χαρακτηριστικά του ιδανικού απολυμαντικού μέσου:**

- Διαθεσιμότητα: πρέπει να είναι διαθέσιμο σε μεγάλες ποσότητες και σε λογικές τιμές.
- Πρέπει να αφαιρεί τις οσμές που δημιουργούνται κατά την απολύμανση.
- Ομοιογένεια: το διάλυμα πρέπει να είναι ομοιόμορφο κατά τη σύνθεση.
- Αλληλεπίδραση με εξωγενή υλικά: δεν θα πρέπει να απορροφούνται από την οργανική ουσία αλλά από τα βακτηριακά κύτταρα.
- Θα πρέπει να μην είναι διαβρωτικό και να μην βάφει: να μην παραμορφώνει τα μέταλλα και θα πρέπει να μην αλλάζει χρώμα στα ρούχα.
- Δεν θα πρέπει να είναι τοξικό σε υψηλές μορφές ζωής: θα πρέπει να είναι τοξικό στους μικροοργανισμούς και να μην τοξικό σε ανθρώπους και άλλα ζώα.
- Διεσδυτικότητα: θα πρέπει να έχουν την ικανότητα να διεσδύουν διαμέσου των επιφανειών.
- Ασφάλεια: Θα πρέπει να είναι ασφαλές στη μεταφορά, στην αποθήκευση, στο χειρισμό και στη χρήση.
- Διαλυτότητα: πρέπει να είναι διαλυτό στο νερό ή στο κυτταρικό ιστό.

- Σταθερότητα: θα πρέπει να έχουν χαμηλή δράση βλαστικής ικανότητας κατά τη διάρκεια του χρόνου.
- Τοξικότητα στους μικροοργανισμούς: Θα πρέπει να είναι αποτελεσματικό σε υψηλά διαλύματα.
- Τοξικότητα στις θερμοκρασίες περιβάλλοντος: θα πρέπει να είναι αποτελεσματικό σε ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών περιβάλλοντος.

#### **4.2. Μηχανισμοί της απολύμανσης και παράγοντες που επιρρεάζουν την δράση τους.**

Τέσσερις μηχανισμοί έχουν προταθεί για να εξηγήσουν την δράση της απολύμανσης:

- Τραυματισμός του κυτταρικού τοιχώματος: λύση του κυττάρου και θανάτωση(η πενικιλίνη αναστέλλει την σύνθεση του βακτηριακού κυτταρικού τοιχώματος).
- Αλλοίωση της κυτταρικής διαπερατότητας: τα φαινορικά σύμπλοκα και τα απολυμαντικά μπορούν να καταστρέψουν την επιλεκτική διαπερατότητα της μεμβράνης και να επιτρέψουν στα ζωτικά θρεπτικά στοιχεία, όπως άζωτο και φώσφορο, να διαφύγουν.
- Αλλοίωση της κολλοειδούς φύσης του πρωτοπλάσματος: θέρμανση, ακτινοβολία και πολύ όξινα ή αλκαλικά μέσα
- Αναστολή της ενζυμικής δραστηριότητας: οξειδωτικά μέσα, όπως η χλωρίνη, μπορούν να μεταβάλλουν την χημική ρύθμιση των ενζύμων και να απενεργοποιήσουν τα ένζυμα.

Οι παράγοντες που επιρρεάζουν την δράση των απολυμαντικών είναι:

- Χρόνος επαφής: είναι ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες. Έχει παρατηρηθεί ότι σε μια δεδομένη συγκέντρωση απολύμανσης, όσο περισσότερο χρόνο επαφής έχει τόσο περισσότεροι θάνατοι υπάρχουν.
- Συγκέντρωση και τύπος του χημικού μέσου.
- Ένταση και φύση του φυσικού μέσου.
- Θερμοκρασία.
- Αριθμός και είδος των οργανισμών.
- Φύση του ανασταλτικού υγρού.

### 4.3. Μέθοδοι απολύμανσης.

#### 4.3.1. Απολύμανση με όζον.

Το όζον παράγεται όταν μόρια οξυγόνου( $O_2$ ) διαχωρίζονται από μία ενεργειακή πηγή σε άτομα οξυγόνου και επακολούθως συγκρούεται με ένα μοριο οξυγόνου και σχηματίζει ένα ασταθές αέριο, το όζον( $O_3$ ), το οποίο χρησιμοποιείται για την απολύμανση των υγρών αποβλήτων.

Οι περισσότερες εγκαταστάσεις επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων παράγουν όζον επιβάλλοντας ένα μία μεγάλη διαφορά δυναμικού εναλλασσόμενου ρεύματος (από 6 σε 20kV) διαμέσου ενός διηλεκτρικού εκφορτισμένου διάκενου, το οποίο περιέχει ένα αέριο που φέρει οξυγόνο. Το όζον παράγεται επιτόπου επειδή είναι ασταθές και αποσυντίθεται σε στοιχειώδες οξυγόνο σε μικρό χρονικό διάστημα μετά την παραγωγή.

Το όζον είναι ένα πολύ ισχυρό οξειδωτικό μέσο και “φάρμακο” κατά των ιών. Οι μηχανισμοί της απολύμανσης που χρησιμοποιούν το όζον περιέχουν:

- Ακριβή οξείδωση ή καταστροφή του κυτταρικού τοιχώματος με διαρροή των κυτταρικών σωματιδίων έξω από το κύτταρο.
- Αντίδραση με ρίζες παραπροϊόντων της αποσύνθεσης του όζοντος.
- Τραυματισμός των σωματιδίων των νουκλεϊκών οξέων (πυρίνες και πυριμιδίνες).

Όταν το όζον διαλύεται στο νερό, οι ελεύθερες ρίζες του υπεροξειδίου του υδρογόνου( $HO_2$ ) και του υδροξυλίου(OH) τα οποία σχηματίζονται έχοντας μεγάλη ικανότητα οξείδωση και παίζουν ένα ενεργό ρόλο στην πρόοδο της απολύμανσης. Τα βακτήρια καταστρέφονται εξαιτίας της οξείδωσης του πρωτοπλάσματος που είναι αιτία για την αποσύνθεση του κυτταρικού τοιχώματος (κυτταρική διάλυση). Η αποτελεσματικότητα της απολύμανσης με αυτό τον τρόπο εξαρτάται από την ευπάθεια των οργανισμών, το χρόνο επαφής και τη συγκέντρωση του όζοντος.

#### 4.3.2. Απολύμανση με χλωρίωση.

Η χλωρίωση είναι η πρώτη μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε τόσο για την απολύμανση των υγρών αποβλήτων όσο και για το νερό. Είναι ο πιο συνηθισμένος τρόπος απολύμανσης για τα δημοτικά υγρά απόβλητα. Καταστρέφει οργανισμούς στόχους οξειδώνοντας την κυτταρική ουσία. Το χλώριο μπορεί να συναντηθεί σε διάφορες μορφές:

- Αέριο χλώριο( $Cl_2$ )
- Υποχλωριώδες διάλυμα και άλλες ενώσεις χλωρίου σε στερεή ή υγρή μορφή.

Η συνηθισμένη μορφή απολύμανσης με χλώριο είναι χλωρίωση με υποχλωριώδες νάτριο( $NaOCl$ ). Ο τρόπος δράσης του χλωρίου που περιέχεται στο  $NaOCl$  είναι ότι το

υποχλωριώδες νάτριο διαπερνά την κυτταρική μεμβράνη των μικροοργανισμών και αδρανοποιεί ορισμένα ένζυμα που είναι απαραίτητα για την επιβίωση τους. Στην αρχή, όταν διοχετεύεται το υποχλωριώδες νάτριο στα υγρά απόβλητα, καταναλώνεται αποκλειστικά για την οξειδωση των συστατικών των αποβλήτων χωρίς να περισσεύει για απολυμαντική δράση. Καθώς το υποχλωριώδες νάτριο συνεχίζει να προστίθεται, αντιδρά με την αμμωνία και τα αμμωνιακά άλατα που περιέχονται στα απόβλητα και σχηματίζουν ενώσεις, όπως χλωραμίνες. Το υποχλωριώδες νάτριο είναι απολυμαντικό αλλά όχι όσο το ελεύθερο υποχλωριώδες νάτριο. Η συγκέντρωση του ελεύθερου νατρίου μειώνεται. Το υποχλωριώδες νάτριο που προστίθεται οξειδώνει τις χλωραμίνες σε άζωτο και οξείδια του αζώτου και ανάγεται σε χλωριούχα. Το υποχλωριώδες νάτριο ενώ αντιδρά, παραμένει ελεύθερο. Το σύνολο του ελεύθερου και του ενωμένου χλωρίου αποτελεί το υπολειμματικό χλώριο.

Η χλωρίωση ενώ είναι ένα καλό απολυμαντικό μέσο, επιδρά αρνητικά στο υδάτινο περιβάλλον που διοχετεύονται τα χλωριωμένα απόβλητα. Αυτό έχει σαν συνέπεια να δημιουργούνται άμεσα(πχ στα ψάρια, εξαιτίας της τοξικότητας του χλωρίου) ή έμμεσα(πχ με τον σχηματισμό των οργανοχλωριούχων ενώσεων που πιθανολογείται ότι είναι καρκινογόνες) προβλήματα. Γι' αυτούς τους λόγους προσπαθούν να βελτιώσουν την απόδοση της χλωρίωσης με τη διαδικασία της αποχλωρίωσης με διοξείδιο του θείου.

#### **4.3.3. Απολύμανση με υπεριώδης(UV).**

Το σύστημα της απολύμανσης με υπεριώδη μεταφέρει ηλεκτρομαγνητική ενέργεια από έναν λαμπτήρα τόξου με υδράργυρο στο γενετικό υλικό ενός οργανισμού(DNA και RNA). Η πηγή της UV ακτινοβολίας είναι είτε χαμηλής πίεσης είτε μεσαίας πίεσης λαμπτήρα τόξου με υδράργυρο χαμηλής ή με υψηλής έντασης. Κατά τη μέθοδο αυτή γίνεται διέλευση του νερού μέσα από ειδικές συσκευές που εκπέμουν υπεριώδη ακτινοβολία. Η ακτινοβολία αυτή περιλαμβάνει μήκη κύματος από 200 έως 400nm και υποδιαιρείται σε τρεις περιοχές. Οι περιοχές αυτές αντιστοιχούν σε ακτινοβολίες UVA, UVB και UVC. Η ακτινοβολία UVC έχει φανεί, ότι αδρανοποιεί τους μικροοργανισμούς και συνήθως έχει μήκος κύματος 250 έως 270nm. Γενικά η μέγιστη καταστροφική ικανότητα της UV ακτινοβολίας γίνεται σε μήκη κύματος 240-380nm, στα οποία παρατηρείται η μέγιστη απορρόφηση της από τα νουκλεϊνικά οξέα.

Η μικροβιοκτόνος δράση της UV ακτινοβολίας οφείλεται στην φωτοχημική δράση στο DNA και στο RNA των μικροοργανισμών, δηλαδή στην απορρόφηση της ακτινοβολίας από το γενετικό υλικό των κυττάρων, με αποτέλεσμα να μην λειτουργεί ο αναπαραγωγικός τους μηχανισμός.

Η απολύμανση με UV είναι αποτελεσματική στους περισσότερους ιούς, σπόρια και κύστες. Δεν υπάρχουν υπολειματικά αποτελέσματα που είναι βλαβερά για τον άνθρωπο και την υδρόβια ζωή. Χρησιμοποιείται εύκολα από τους χειριστές της. Επίσης, ο χρόνος επαφής αυτής της απολύμανσης σε σύγκριση με τις άλλες είναι μικρότερος κατά 20 με 30 δευτερόλεπτα.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2: Σύγκριση ορισμένων χαρακτηριστικών μεταξύ των τριών μεθόδων απολύμανσης.**

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗΣ		
	ΟΖΟΝ	UV	ΧΛΩΡΙΩΣΗ
Απομάκρυνση κολοβακτηριδίων	Πολύ καλή	Πολύ καλή	Πολύ καλή
Απομάκρυνση ιών	Πολύ καλή	Καλή	Μέτρια
Πιθανότητες επανάπτυξης μικροοργανισμών	Καμία	Σημαντική	Ελάχιστη
Επίδραση στο υδάτινο περιβάλλον του αποδέκτη	Καμία	Καμία	Αύξηση διαλυτών στερεών
Παραπροϊόντα απολύμανσης	Κανένα	Κανένα	Αλογονοφόρμια
Επικινδυνότητα παραπροϊόντων	Μηδενική	Μηδενική	Μεγάλη
Επικινδυνότητα χρησιμοποιούμενων χημικών	Καμία	Καμία	Μεγάλη
Κόστος εγκατάστασης	Σημαντικό	Σημαντικό	Μέσο
Κόστος λειτουργίας και συντήρησης	Μέσο	Σημαντικό	Μέσο
Προσωπικό λειτουργίας	Δεν απαιτείται επιπλέον προσωπικό	1 άτομο/βάρδια	1 άτομο/βάρδια
Απαιτούμενη Έκταση	Μέση	Μικρή	Μεγάλη

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα (2) και κάποιες μελέτες που έχουν διεξαχθεί, έχει παρατηρηθεί ότι οι παραπάνω μέθοδοι έχουν κάποια πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα. Τέτοιες περιπτώσεις για παράδειγμα είναι:

Η χημική οξειδωση (π.χ. χλωρίωση) δοκιμάζεται με το σχηματισμό των υποπροϊόντων της απολύμανσης, τα οποία μπορεί να παρουσιάσουν αυξημένη τοξικότητα για τους υδρόβιους οργανισμούς και για τους υψηλότερους καταναλωτές συμπεριλαμβανομένου των ανθρώπων, ειδικά σε παρατεταμένη έκθεση τους. Η αποτελεσματικότητα της UV-C ακτινοβολίας στην απολύμανση μειώνει σημαντικά στην παρουσία της αυξημένης συγκέντρωσης βιομάζας, καθώς επηρεάζεται αρνητικά από τη θολότητα του νερού. Η επίστροψη της μεμβράνης στα υγρά απόβλητα μπορεί να απαιτεί συχνά αντίστροφο καθαρισμό και χημικές διαδικασίες καθαρισμού. Επιπλέον, οι τεχνολογίες της μεμβράνης απαιτούν παρακολούθηση, έλεγχο και συνεχή συντήρηση για να εξασφαλίζεται ακεραιότητα. Εκτός από αυτά τα μειονεκτήματα, υπάρχουν αρκετά άλλα ανερχόμενα προβλήματα στην απολύμανση. Μερικοί μικροοργανισμοί γίνονται ανθεκτικοί ή επαναενεργοποιούνται μετά την εφαρμογή των υφιστάμενων τεχνικών απολύμανσης συμπεριλαμβανομένου των βιοκτόνων ουσιών, του υπεριώδους φωτός, του χλωρίου ή αντιβιοτικών και της θερμικής μεταχείρισης. Στην περίπτωση των μικροοργανισμών που βρέθηκαν σε συμβατικές μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων (WWTPs) με ηλικία ιλύος δέκα έως δώδεκα ημέρες, η ανάπτυξη των περισσότερο ανθεκτικών ειδών είναι ευνοημένες. Για τους παραπάνω λόγους και για την αποφυγή τέτοιων περιορισμών, η έρευνα έχει επικεντρωθεί στην ανάπτυξη εναλλακτικών μεθόδων απολύμανσης.

Στην εργασία αυτή θα μελετήσουμε μία άλλη μέθοδο απολύμανσης των υγρών αποβλήτων, την ικανότητα απολύμανσης με την ακτινοβολία των υπέρηχων με την απουσία ή την παρουσία των σωματιδίων  $TiO_2$  σε πέντε επιλεγμένα είδη βακτηρίων που ονομάζονται: ολικά κολοβακτηρίδια (TC), κολοβακτηρίδια κοπράνων (FC), *Pseudomonas sp* (PS), Στρεπτόκοκοι κοπράνων (FS) και *Clostridium perfringens* (CP), που βρίσκονται στα σημερινά αστικά υγρά απόβλητα που είχαν ήδη υποβληθεί σε δευτεροβάθμια επεξεργασία.. Έμφαση δόθηκε στον προσδιορισμό της κινητικής της απολύμανσης καθώς και στην αξιολόγηση της ελάχιστης μεταχείρισης που απαιτείται για την επίτευξη των κατευθυντήριων γραμμών ποιότητας USEPA για τη διάθεση και την επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### 5. Απολύμανση με υπερήχους.

#### 5.1. Η ιστορία της απολύμανσης.

Η καταστροφή των μικροοργανισμών από την ισχύ των υπερήχων έχουν αποκτήσει αξιοσημείωτο ενδιαφέρον από το 1920 όταν πρωτοδημοσιεύτηκε η εργασία του Harvey και Loomis. Η εργασία τους εξετάζει την μείωση της βάσης της εκπομπής από το διάλυμα του νερού θαλάσσης του βακτηρίου σε σχήμα ράβδου του *Bacillus fisheri* εξαιτίας της καταστροφής των ιών από υπερήχους στους 375kHz κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες θερμοκρασίας. Αυτοί έδειξαν ότι η ζέστη τραυματίζει τις βακτηριακές αποικίες αλλά ο υπέρηχος έδειξε ότι έχει μεγαλύτερο αποτέλεσμα.

Το 1960, έρευνες συγκεντρώθηκαν στην κατανόηση του μηχανισμού της αλληλεπίδρασης των υπερήχων με τα μικροβιακά κύτταρα. Το φαινόμενο της δημιουργίας κοιλοτήτων και η σύνδεση του με τον διαχωρισμό της διάσπασης, την εντοπισμένη θέρμανση και τον σχηματισμό των ελεύθερων ριζών βρέθηκαν να συντελούν στις αιτίες.

Το 1975, σε μία σύντομη έρευνα φάνηκε ότι οι υπέρηχοι προκαλούν μείωση του κυτταρικού τοιχώματος που αποδίδεται στην απελευθέρωση της κυτοπλασματικής μεμβράνης από το κυτταρικό τοίχωμα.

Οι Scherba et al. εκθέτουν υδάτινα αιωρήματα, ειδικών βακτηρίων, των μυκήτων και των ιών σε υπέρηχους συχνότητας 26 kHz. Αυτοί ανακάλυψαν ότι, το ποσοστό % των βακτηρίων που πέθαιναν, αυξανόταν με μία αύξηση του χρόνου εκθέσεως και αύξηση της έντασης των υπερήχων.

Σε ένα κατάλληλο επίπεδο της έντασης των υπερήχων, η ενδοκυτταρική μικροροή παρατηρείται μέσα στα κύτταρα των ζώων και των φυτών με περιστρεφόμενη ροπή στα χυμοτόπια των φυτικών κυττάρων.

Αυτά τα αποτελέσματα μπορούν να παράγουν μία αύξηση στις μεταβολικές λειτουργίες μπορεί να είναι σημαντική στη βιοδιάσπαση. Για πολλά χρόνια, ήταν γνωστό ότι οι υπέρηχοι προάγουν την μαζική μεταφορά διαμέσου των βιολογικών μεμβρανών. Επίσης, αποδεικνύεται ότι οι υπέρηχοι θα μπορούσαν ουσιαστικά να βελτιώσουν το αποτέλεσμα μιας βιοκτόνου ουσίας (χλώριο) στην διαδικασία της απολύμανσης.

Οι γενικότερες χρήσεις των υπερήχων συνδυάζονται με άλλες μεθόδους απολύμανσης όπως έχει αναφερθεί πρόσφατα. Πολλές από αυτές τις μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί σε μια μικρή ομάδα βαθμολογημένης κλίμακας έτσι οι υπολογισμοί αναγκάζονται να γίνονται σε μεγαλύτερη κλίμακα της ισχύος της κατανάλωσης στη βιομηχανική χρήση έχουν προλεχθεί πολύ μεγαλύτερες αξίες για την ισχύ της ανάγκης. Αυτό δεν μπορεί πλέον να διορθωθεί καθώς οι δυνάμεις της νομοθεσίας για την ποιότητα του νερού είναι σε υψηλό βαθμό και η αποτελεσματικότητα του εφοδιασμού των υπερήχων βελτιώνεται. Καθώς η εκτίμηση του δείκτη των οργανισμών (όπως των FC) συνήθως δεν ελαττώνει τα



ανεκτά επίπεδα με μια τυπική διαδικασία θεραπείας, ένα επιπλέον διαδοχικό βήμα απολύμανσης είναι αναπόφευκτο.

## **5.2. Η θεωρία της δημιουργίας κοιλοτήτων.**

Η δημιουργία κοιλοτήτων είναι ο σχηματισμός μερικών κενών σε ένα υγρό, το οποίο είναι αποτέλεσμα της εφαρμογής των υπερηχητικών κυμάτων. Τα ηχητικά κύματα σε συχνότητες πολύ υψηλές για τους περισσότερους ανθρώπους για να ακούνε ονομάζονται υπερηχητικά κύματα. Συχνότητες υψηλότερες από 16 kHz ή 16.000 cycles/sec θεωρούνται γενικά σαν υπέρηχοι. Όταν τα υγρά εκτίθενται σε αυτές τις υψηλές συχνότητες κυμάτων, τότε συμβαίνει εναλλαγή συμπίεσης και αραιώσης, τα οποία οδηγούν στην θεωρία της δημιουργίας κοιλοτήτων. Στην φάση της αραιώσης, το υγρό χρησιμοποιείται πλήρως με συνέπεια τον σχηματισμό των μικροφουσκάλων με μειωμένη πίεση. Το αέριο διαλύεται στο υγρό, εξατμίζεται και γεμίζει τις μικροφουσκάλες. Οι φουσκάλες αυξάνονται και μειώνονται σε διάμετρο, κατά τη διάρκεια των κυμάτων της διαστολής και της συμπίεσης, αντίστοιχα. Η ζωή μιας φουσκάλας είναι τυπικά ένα κλάσμα του δευτερολέπτου.

Καθώς οι εναλασσόμενοι κύκλοι συνεχίζουν, οι φουσκάλες σκάνε προς τα μέσα κατά τη διάρκεια του κύκλου συμπίεσης. Το μέγεθος στο οποίο οι φουσκάλες συντρίβονται διαφοροποιούνται αναλόγως το υγρό και την συχνότητα των υπερήχων που εφαρμόζονται. Για παράδειγμα, στα 20kHz, η ακτίνα στην οποία οι φουσκάλες συντρίβονται είναι 100 με 170μm. Η δημιουργία των κοιλοτήτων προκαλεί ακραία θερμική ενέργεια και διαφορικές πιέσεις εσωτερικά του υγρού στη κλίμακα του μικροσκοπιού.

Η θερμοκρασία των φουσκάλων μπορεί να ανέρθει στα 500K και η πίεση μπορεί να φτάσει τις 1000ατμόσφαιρες. Η θερμοκρασία και η πίεση επηρεάζεται από τη δημιουργία κοιλοτήτων και μπορεί να διαρκέσει μικρότερη και από το εκατομμυριαστό του δευτερολέπτου.

## **5.3. Επιπτώσεις στους μικροοργανισμούς**

Οι υπέρηχοι μπορούν να αδρανοποιήσουν τα βακτήρια και να μην επιτρέψουν την συσσώρευση των βακτηριακών σωρών διαμέσου ενός αριθμού φυσικών, μηχανικών, και χημικών επιδράσεων, όλες ανέρχονται από την ακουστική δημιουργία κοιλοτήτων. Τα μήκη κύματος των υπερηχητικών κυμάτων είναι πολύ μεγάλα για να συγκριθούν με τα μόρια στα άμεσα αποτελέσματα των μοριακών αντιδράσεων, παρ' όλα αυτά η δημιουργία κοιλοτήτων που προκαλείται από τα κύματα των υπερήχων επιδρούν σε μοριακό επίπεδο. Τα υπερηχητικά κύματα μπορούν να παράγουν ένα περιβάλλον οξείδωσης. Η συντριβή των μικροφουσκάλων οδηγεί σε πολύ υψηλές τοπικές θερμοκρασίες και πιέσεις.

Από αυτές τις πολύ προσωρινές συνθήκες προκύπτει μία απελευθέρωση ενός μεγάλου ποσού ενέργειας και δημιουργίας υψηλών ακραίων αντριδράσεων που είναι υπεύθυνα για

να ξεκινήσουν ή να προάγουν πολλές γρήγορες αναγωγές-οξειδωτικές αντιδράσεις. Έχει παρατηρηθεί μία αύξηση της επανανεργοποίησης του υδρογόνου με ακόρεστα οργανικά μείγματα.

Στην απολύμανση των υγρών αποβλήτων, το ενδιαφέρον συγκεντρώνεται στο πως η δημιουργία κοιλοτήτων μπορεί να επιδράσει βιολογικά τα μόρια και τις αντιδράσεις, και εάν οι λειτουργίες του κυττάρου μπορούν επαρκώς να μεταβάλλουν την αδρανοποίηση των κυττάρων των οργανισμών στην επεξεργασία του νερού.

Κατά τη διάρκεια της ακτινοβολίας των υπερήχων σε υδατικό διάλυμα, ένα κρουστικό κύμα και μία αντίδραση των ελεύθερων ριζών (πχ του  $\cdot\text{OH}$ ,  $\text{HO}\cdot^2$  και  $\text{O}\cdot$ )επηρεάζονται από τη βίαιη συντριβή της δημιουργίας κοιλοτήτων των φουσκάλων. Το αποτέλεσμα της μηχανικής καταστροφής εξαιτίας του κρουστικού κύματος δίνει την εντύπωση ότι επικρατεί για την απολύμανση των μικροοργανισμών παρά την χημική επίδραση των ριζών του  $\text{OH}$ . Οι μηχανικές επιδράσεις της ισχύς των υπερήχων που προκύπτουν από τη δημιουργία των κοιλοτήτων και αυτές οι δυνάμεις έχουν μία δραματική επιρροή στο βιολογικό σύστημα.

Η ακουστική δημιουργία κοιλοτήτων μπορούν ευρέως να χωριστούν σε δύο είδη, προσωρινή και μόνιμη.

Η προσωρινή δημιουργία κοιλοτήτων συμβαίνει, όταν με τη δημιουργία κοιλοτήτων σχηματίζονται φουσκάλες, γεμίζουν με αέρα ή ατμούς, υφίστανται ακανόνιστη ταλάντωση. Αυτό παράγει υψηλές τοπικές θερμοκρασίες και πιέσεις, τα οποία αποσυνθέτουν τα βιολογικά κύτταρα ή/και μετουσιώνουν οποιοδήποτε ένζυμο παρουσιάζεται. Οι συμπιεσμένες φουσκάλες επίσης παράγουν υψηλές δυνάμεις συνάφειας ισχύος και το υγρό ξεχύνεται στο διαλύτη, οι οποίες ίσως έχουν επαρκή ενέργεια για φυσική φθορά του κυτταρικού τοιχώματος ή της κυτταρικής μεμβράνης.

Η μόνιμη δημιουργία κοιλοτήτων σχετίζεται με την ομαλή ταλάντωση των φουσκάλων για πολλούς ακουστικούς κύκλους. Οι φουσκάλες προκαλούν μικροροές στο τριγύρω υγρό και μπορούν επίσης να προκαλέσουν πίεση σε οποιοδήποτε μικροβιολογικό είδος παρουσιαστεί. Η επίδραση της μικροροής δίνουν μία μεγάλη δύναμη, χωρίς οι φουσκάλες να σπάνε.

Η συγκέντρωση των φυσαλίδων αερίου με τη σειρά, αναμένεται να προκαλέσει ρήξη των κυτταρικών μεμβρανών και να προκαλέσει σύγκρουση με άλλους οργανισμούς. Έτσι, η απόδοση της θανάτωσης στη θεραπεία των υδάτων με αιωρούμενα ιζήματα ή άλλες ανόργανες ή οργανικές ουσίες, θα ήταν καλύτερο να συγκριθεί με τα αποτελέσματα από ύδατα με λιγότερο αιωρούμενο υλικό. Αυτό διαφέρει από την αποδοτικότητα της θεραπείας με UV ή όζον, στα οποία ένα μεγάλο μέρος του φορτίου, οργανικού ή ανόργανου υλικού, της θολότητας κτλ, απαιτεί περισσότερη ενέργεια. Εάν μια συσκευή φιλτραρίσματος είναι τοποθετημένη πριν τη συσκευή των υπερήχων, το φιλτράρισμα θα έχει ένα ανάμεικτο αποτέλεσμα στην διαδικασία της μεταχείρισης: το φιλτράρισμα θα ελαττώνει το σύνολο των οργανισμών που αντιμετωπίζονται με υπερήχους, αλλά οι υπόλοιποι οργανισμοί θα χρειάζονται περισσότερη ενέργεια

υπερήχων εξαιτίας της έλλειψης των τριβών και των συγκρούσεων με τα βυθιζόμενα σωματίδια.

#### **5.4. Καταλληλότητα-Εφαρμοσιμότητα.**

Τα είδη των τεχνικών της απολύμανσης είναι ποικίλα: περιέχουν φυσικές, χημικές, έμφυτες/βιολογικές μεθόδους. Ωστόσο, η δραστηριότητα των μεθόδων απολύμανσης εξαρτάται πάρα πολύ από τη συγκέντρωση του δείγματος σε αιωρούμενα στερεά(SS), επειδή τα αιωρούμενα στερεά μπορούν να δράσουν σαν προστασία από τα βακτήρια και τους ιούς. Για παράδειγμα, η δραστηριότητα της UV ακτινοβολίας επηρεάζεται από τις υψηλές συγκεντρώσεις των αιωρούμενων ουσιών:

Μελέτες έχουν δείξει ότι μεγάλα σωματίδια, μεγαλύτερα από 50μm διάμετρο, είναι δύσκολο να διαπεραστούν, έτσι η ανάγκη για UV αυξάνεται δραστικά. Σωματίδια μεγαλύτερα από 50μm μετακινούνται σε ένα ταχύ φίλτρο άμμου, αλλά όταν έρχεται σε εφαρμογές με πραγματική κλίμακα ωστόσο, αυτά υποφέρουν από πολλά μειονεκτήματα (πχ βουλώματα, ανάπτυξη αλγών, επιστροφή λόγω δυνάμεων). Επιπλέον, τα γρήγορα φίλτρα άμμου είναι ακριβά στην κατασκευή και στη συντήρηση. Μία άλλη προσπάθεια για αξιοσημείωτη μείωση του κλάσματος αυτών των προβληματικών μεγάλων στερεών που παρουσιάζονται στα υγρά απόβλητα είναι η εφαρμογή των υπερήχων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### 6. Υλικά και Μέθοδοι.

#### 6.1. Υγρά Απόβλητα.

Τα δείγματα συλλέχθηκαν από την έξοδο της επεξεργασίας της ενεργού ιλύος (λειτουργικό σε ηλικία λάσπης των 10ημερών) της μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων της πόλης του Ηρακλείου (ισοδύναμης επεξεργασίας 160.000 ανθρώπων). Τα δείγματα αμέσως αναλύθηκαν (δηλαδή μέσα σε μια ώρα μετά τη δειγματοληψία) για διάφορες ιδιότητες, σύμφωνα με το Standard Methods (1995). Οι σημαντικότερες φυσικοχημικές ιδιότητες συνοψίζονται στον Πίνακα 3, ενώ οι Πίνακες 4 και 5 παρουσιάζουν τις αρχικές συγκεντρώσεις και των πέντε μικροοργανισμών που μελετήθηκαν. Το φάσμα των φυσικοχημικών και μικροβιολογικών ιδιοτήτων που καταγράφηκαν είναι μάλλον αναμενόμενο για αυτό το είδος αυτό των εκροών και σύμφωνα με τις προηγούμενες αναφορές.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3: Φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων (Μέσες τιμές 13δοκιμών).**

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΤΙΜΕΣ
Χημικά Απαιτούμενο οξυγόνο (mg/L)	56 ± 14
Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (mg/L)	31 ± 5
Ολικά αιωρούμενα στερεά (mg/L)	21 ± 4.6
Ολικό Άζωτο (mg/L)	34 ± 8.5
pH (-)	7.3 ± 0.1
Αγωγιμότητα (mS/cm)	1.7 ± 0.2

## **6.2. Πείραμα Απολύμανσης.**

Στο πείραμα χρησιμοποιήθηκε το σύστημα παραγωγής υπερήχων (sonicator) UP400S (dr Hielscher Gmbr) που λειτουργεί σε σταθερή συχνότητα 24 kHz και χρησιμοποιεί ονομαστική απόδοση ισχύος μέχρι 300W. Συγκεκριμένη ποσότητα (200 ml) υγρών αποβλήτων υποβάλλονται σε συνεχή καταστροφή των ιών με υπερήχους σε μέγιστη ένταση ώστε να παραχθεί ένα γρήγορο, άμεσο αποτέλεσμα βακτηριοκτονίας. Κατά τη διάρκεια του πειράματος, η θερμοκρασία διατηρείται σταθερή στους 15°C με λουτρό νερού σε συνδυασμό με κυκλοφορητές. Το επίπεδο του νερού στο εσωτερικό του δοχείου είναι 4cm και η πηγή δύναμης υπερήχων είναι τοποθετημένη στη μέση του κλωβού, με την άκρη 2 εκατοστά από τον πυθμένα. Όλα τα πειράματα για την καταστροφή των ιών με υπερήχους διεξήχθησαν στο σκοτάδι για να αποφευχθούν τυχόν επιπτώσεις από τη καθοδήγηση με φως. Για τα πειράματα που επιτυγχάνονται παρουσία σωματιδίων TiO<sub>2</sub>, χρησιμοποιήθηκαν 5g/L του καταλύτη Degussa P-25.

## **6.3. Μικροβιολογική Ανάλυση.**

Τα δείγματα που λαμβάνονται από το δοχείο μετά από 15, 30 και 60 λεπτά της καταστροφής των ιών με υπερήχους μεταφέρθηκαν σε 0,8% αλατούχο διάλυμα Ringer. Ένα χιλιοστό του λίτρου(0,001L) από αυτά τα διαλύματα, φιλτράρονται αρχικά μέσω μεμβρανών 0,45μm και έπειτα τοποθετούνται σε επιλεκτικά μέσα καλλιέργειας για κάθε βακτηρικό είδος και επωάζονται σε διάφορους θαλάμους. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε εις τριπλούν και στα αποτελέσματα παραθέτονται οι μέσες τιμές.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

### 7. Αποτελέσματα και συζήτηση.

#### 7.1. Απόδοση Απολύμανσης.

Οι Πίνακες 4 και 5 δείχνουν την επίδραση της ακτινοβολίας των υπερήχων στον πληθυσμό των μικροοργανισμών ως συνάρτηση του χρόνου έκθεσης σε περίπτωση απουσίας και παρουσίας των σωματιδίων  $TiO_2$  αντίστοιχα. Η μέση λογαριθμική μείωση πέτυχε και για τις δύο σειρές πειραμάτων και συνοψίζεται στον Πίνακα 6.

Τα αρνητικά κατά Gram βακτήρια (TC, FC και PS) ήταν πιο ευαίσθητα στην καταστροφή των ιών με υπερήχους από τα θετικά κατά Gram (FS και CP), πετυχαίνοντας υψηλές απομακρύνσεις ως και 99,9% μετά από 60 λεπτά παρουσίας του  $TiO_2$ . Οι αντίστοιχες τιμές απομάκρυνσης χωρίς στερεά ήταν 99,5%, 99,2% και 99,7%. Η καταστροφή των ιών με υπερήχους για 60 λεπτά στα FS και CP είχε σαν αποτέλεσμα την απομάκρυνση τους κατά 84 και 65,8% αντίστοιχα στην απουσία των σωματιδίων· οι αντίστοιχες τιμές με την παρουσία του  $TiO_2$  ήταν 72,8 και 87,1%. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι για τα πειράματα που διεξάγονται με  $TiO_2$ , η απομάκρυνση υπολογίστηκε σε σχέση με τον αρχικό πληθυσμό πριν από την προσθήκη του  $TiO_2$ . Όπως φαίνεται στον Πίνακα 3, ο καλλιεργήσιμος βακτηριακός πληθυσμός μειώθηκε περίπου 45-65% (ανάλογα με το είδος), και μετά ακολούθησε προσθήκη των στερεών σωματιδίων και η επαφή τους με τα βακτήρια για μόλις 5 λεπτά χωρίς ακτινοβολία των υπερήχων. Αυτό σημαίνει ότι τα βακτήρια αλληλεπιδρούν με την επιφάνεια των καταλυτών και η αλληλεπίδραση αυτή είχε ως αποτέλεσμα την απώλεια της καλλιεργησιμότητάς τους.

Ένας τρόπος για να αποτιμήσει την απόδοση της απολύμανσης της προτεινόμενης μεθόδου είναι η σύγκριση της λογαριθμικής μείωσης για κάθε μικροοργανισμό, σύμφωνα με την κατάταξη που προτάθηκε από Madge και Jensen. Πρότειναν ότι η απολύμανση θα ήταν ανεπαρκής εάν η λογαριθμική μείωση ήταν μικρότερη από ένα, μεσαία εάν η λογαριθμική μείωση ήταν μεταξύ του ένα και του δύο, καλή εάν η μείωση είναι μεταξύ δύο και τρία, και πολύ καλή εάν είναι μεγαλύτερη από τρία. Από

την εκτίμηση αυτή, η επίδραση της 60λεπτης απολύμανσης είναι πολύ καλή και για τα τρία αρνητικά κατά Gram είδη, όπως είναι συνεπώς μεγαλύτερη από τρία, ανεξάρτητως από το αν τα στερεά σωματίδια είναι ή δεν είναι παρόντες. Αντιστρόφως, η επίδραση είναι ανεπαρκής για τα θετικά κατά Gram βακτήρια, καθώς παίρνει τιμές κάτω από τη μονάδα.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4: Μέσος αρχικός, τελικός πληθυσμός και απομάκρυνση των πέντε μικροοργανισμών υπό την επίδραση των 24 kHz υπερηχητικής ακτινοβολίας.**

Αρχικά	15 min		30 min		60 min		
	cfu / 100 ml	cfu / 100 ml	Απομάκρυνση %	cfu / 100 ml	Απομάκρυνση %	cfu / 100 ml	Απομάκρυνση %
TC <sup>I</sup>	4.22 x 10 <sup>6</sup>	2.53 x 10 <sup>5</sup>	94	1.13 x 10 <sup>5</sup>	97.3	2.21 x 10 <sup>4</sup>	99.5
FC <sup>II</sup>	7.23 x 10 <sup>5</sup>	8.37 x 10 <sup>4</sup>	88.4	8.67 x 10 <sup>3</sup>	98.8	5.85 x 10 <sup>3</sup>	99.2
PS <sup>III</sup>	1.22 x 10 <sup>7</sup>	1.11 x 10 <sup>6</sup>	90.9	8.73 x 10 <sup>4</sup>	99.3	4.12 x 10 <sup>4</sup>	99.7
FS <sup>IV</sup>	5.24 x 10 <sup>5</sup>	3.43 x 10 <sup>5</sup>	34.5	2.07 x 10 <sup>5</sup>	60.5	8.36 x 10 <sup>4</sup>	84
CP <sup>IV</sup>	3.38 x 10 <sup>4</sup>	1.38 x 10 <sup>4</sup>	59.1	1.2 x 10 <sup>4</sup>	64.4	1.16 x 10 <sup>4</sup>	65.8

<sup>I</sup> Μέσες τιμές απο 13 δοκιμές

<sup>II</sup> Μέσες τιμές απο 16 δοκιμές

<sup>III</sup> Μέσες τιμές απο 12 δοκιμές

<sup>IV</sup> Μέσες τιμές απο 11 δοκιμές

Οι διαφορές μεταξύ των Gram-θετικών και αρνητικών βακτηρίων, ήταν περισσότερο σημαντικές σε επεξεργασίες που γίνονται σε σύντομο χρονικό διάστημα (πχ 15 και 30 λεπτά), με την μετακίνηση να είναι πάντα λιγότερη από το περίπου 65% και για τα δύο FS και CP. Οι θετικοί κατά Gram οργανισμοί συνήθως έχουν ένα πιο παχύρευστο, συμπιεσμένο, προσκολλημένο στρώμα πολυπεπτιδίου σακχαρόζης παρά

αρνητικούς κατά Gram οργανισμούς, επειδή οι τελευταίοι έχουν λιποπολυσακχαρίτες, οι οποίοι συμβάλλουν σημαντικά στην δομική ακεραιότητα τους και προστατεύουν τη μεμβράνη από ορισμένα είδη χημικής προσβολής. Συνεπώς, ο σκοπός της επίδρασης των υπερήχων μπορεί να είναι τα λιποπολυσακχαριωδή ή το εσωτερικό (κυτοπλασματικής)μεμβράνης. Στην περίπτωση του CP, η παρουσία των τοπικών θερμικών σημείων ή η μεταβολή της πίεσης μπορεί να οδηγήσει στο σχηματισμό σπορίων, η οποία θα μπορούσε να εξηγήσει τη μεγαλύτερη επιβίωση αυτών των βακτηρίων σύμφωνα με την ακτινοβολία των υπερήχων. Αντίστοιχες διαπιστώσεις έχουν αναφερθεί στη βιβλιογραφία για άλλο σχηματισμό σπορίων των βακτηρίων. Οι Pisanno et al. αναφέρουν μικρότερη από μία λογαριθμική μείωση 8 ώρες μετά την καταστροφή των ιών με υπερήχων για τα σπόρια *Bacillus subtilis var. niger*, καθώς οι Burgos et al. επίσης βρήκαν μικρή απομάκρυνση των σπορίων του *B. cereus* και *B. licheniformis* μετά από 12 λεπτά της καταστροφής των υπερήχων. Οι Palacios et al. κατέστρεψαν τους ιούς με υπερήχους με ένα ειαώρημα των σπορίων *B. stearothermophilus* για 30 λεπτά, και κατέγραψαν ξανά μικρή απομακρυνση.

Ο Πίνακας 6 επίσης δείχνει τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης (ANOVA) όσον αφορά τη λογαριθμική μείωση σε όλες τις περιπτώσεις και για όλα τα βακτήρια. Είναι προφανές ότι η αύξηση του χρόνου της ακτινοβολήσης (ή εφαρμοζόμενης ενέργειας) κατά κανόνα οδηγεί σε στατιστικά σημαντική βελτίωση της απολύμανσης για όλα τα βακτήρια εκτός το CP, το τελευταίο είναι αρκετά ανθεκτικό στους υπερήχους-επηρεάζοντας την αδρανοποίηση ακόμα και μετά από παρατεταμένη επεξεργασία. Από την άλλη πλευρά, οι επιδράσεις από την προσθήκη σωματιδίων  $TiO_2$  στην απολύμανση είναι στατιστικά λιγότερο σημαντικές για τον ίδιο επίπεδο ενέργειας των υπερήχων. Σε γενικές γραμμές, οι επιδόσεις επ'αυξάνονται με την παρουσία του  $TiO_2$  και αυτό ισχύει κυρίως για τα αρνητικά κατά Gram βακτήρια.



**ΠΙΝΑΚΑΣ 5: Μέσος αρχικός και τελικός πληθυσμός και οι αντίστοιχες μειώσεις για τους πέντε μικροοργανισμούς που υποβλήθηκαν σε υπέρηχους παρουσία 5 g / L TiO<sub>2</sub>.**

	Αρχική (cfu / 100 ml)		15 min + TiO <sub>2</sub>		30 min + TiO <sub>2</sub>		60 min + TiO <sub>2</sub>	
	Πριν την προσθήκη του TiO <sub>2</sub>	Μετά την προσθήκη του TiO <sub>2</sub>	cfu / 100 ml	Απομάκρυνση %	cfu / 100 ml	Απομάκρυνση %	cfu / 100 ml	Απομάκρυνση %
<b>TC</b> <sup>1</sup>	4.68 x 10 <sup>6</sup>	1.66 x 10 <sup>6</sup>	1.74 x 10 <sup>5</sup>	96,3	3.73 x 10 <sup>4</sup>	99,2	1.60 x 10 <sup>3</sup>	99,9
<b>FC</b> <sup>1</sup>	9.06 x 10 <sup>5</sup>	3.06 x 10 <sup>5</sup>	4.68 x 10 <sup>4</sup>	94,8	1.73 x 10 <sup>3</sup>	99,8	2.58 x 10 <sup>1</sup>	99,9
<b>PS</b> <sup>1</sup>	1.16 x 10 <sup>7</sup>	6.25 x 10 <sup>6</sup>	7.00 x 10 <sup>5</sup>	94,0	4.37 x 10 <sup>5</sup>	96,2	7.00 x 10 <sup>2</sup>	99,9
<b>FS</b> <sup>1</sup>	5.79 x 10 <sup>5</sup>	2.31 x 10 <sup>5</sup>	4.54 x 10 <sup>5</sup>	21,6	3.67 x 10 <sup>5</sup>	36,7	1.58 x 10 <sup>5</sup>	72,8
<b>CP</b> <sup>1</sup>	3.33 x 10 <sup>4</sup>	1.07 x 10 <sup>4</sup>	2.45 x 10 <sup>4</sup>	26,2	1.28 x 10 <sup>4</sup>	61,5	4.28 x 10 <sup>3</sup>	87,1

<sup>1</sup>Μέσες τιμές από 5 δοκιμές

**ΠΙΝΑΚΑΣ 6.** Μέση λογαριθμική μείωση και το τυπικό σφάλμα για τους πέντε μικροοργανισμούς που υποβλήθηκαν σε υπέρηχους παρουσία 5 g / L TiO<sub>2</sub>. Μέσες τιμές με διαφορετικό σύμβολο σε κάθε γραμμή είναι στατιστικά διαφορετικές (p < 0.05).

	15 min		30 min		60 min	
	Χωρίς TiO <sub>2</sub>	Με TiO <sub>2</sub>	Χωρίς TiO <sub>2</sub>	Με TiO <sub>2</sub>	Χωρίς TiO <sub>2</sub>	Με TiO <sub>2</sub>
<b>TC (cfu / 100 ml)</b>	1.086 ± 0.258 a	1.46 ± 0.19 a	1.768 ± 0.606 b	2.087 ± 0.134 b, c	3.259 ± 0.19 c, d	3.897 ± 0.756 d
<b>FC (cfu / 100 ml)</b>	1.023 ± 0.159 a	1.43 ± 0.449 b	1.933 ± 0.588 b	4.217 ± 1.60 c	3.93 ± 1.743 c	5.4 ± 0.927 c
<b>PS (cfu / 100 ml)</b>	0.891 ± 0.229 a	1.213 ± 0.097 b	2.157 ± 0.96 b	1.549 ± 0.176 b	3.158 ± 1.387 c	4.363 ± 0.419 c
<b>FS (cfu / 100 ml)</b>	0.236 ± 0.229 a, b	0.109 ± 0.041 a	0.607 ± 0.63 b, c	0.204 ± 0.131 a, b	0.921 ± 0.56 c	0.588 ± 0.176 c
<b>CP (cfu / 100 ml)</b>	0.706 ± 0.568 a	0.138 ± 0.485 a	0.739 ± 0.658 a	0.438 ± 0.529 a	0.74 ± 0.712 a	0.93 ± 0.556 a

Ασφαλή συμπεράσματα δεν είναι δυνατόν να επιτευχθούν για τα θετικά κατά Gram βακτήρια, τα οποία παρουσιάζουν σοβαρή αντίσταση στην καταστροφή των ιών με υπερήχους.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ο υπέρηχος είναι πιθανόν να αδρανοποιήσει τα βακτήρια και να μην συσσωρεύσει το βακτηριακό σωρό μέσω ενός αριθμού από φυσικές, μηχανικές και χημικές επιδράσεις που προκύπτουν από την ακουστική δημιουργία κοιλοτήτων, δηλαδή: (i) χημική επίδραση από τις ηχοπαραγόμενες ρίζες υδροξυλίου και άλλων αντιδρόντων ειδών οξυγόνου, (ii) πίεση και οι μεταβολές της πίεσης που προκύπτουν από τη συντριβή των φυσαλίδων προκαλείται κυτταρική βλάβη εξαιτίας της μηχανικής κόπωσης και (iii) η ισχύος των δυνάμεων συνάφειας που προκαλείται από μικροροές που συμβαίνουν εντός και συνεπώς τραυματίζουν τα βακτηριακά κύτταρα. Η ευεργετική επίδραση που σχετίζεται με την παρουσία των σωματιδίων του  $TiO_2$  μπορεί να οφείλεται (i) στην προώθηση της δημιουργίας κοιλοτήτων από ετερογενή πυρήνα, με συνέπεια την αύξηση της συγκέντρωσης των ριζών υδροξυλίου, (ii) στον σχηματισμό του  $TiO_3$ , ένα ενεργό και σταθερό οξειδωτικό που θα προοθούσε την οξείδωση, και (iii) στη διέγερση του  $TiO_2$  λόγω ηχοφωτοβολίας, η οποία στη συνέχεια μπορεί να λειτουργήσει ως φωτοκαταλύτης.

## 7.2. Κινητική της απολύμανσης.

Η αδρανοποίηση των βακτηρίων συνήθως υπακούει μία πρώτη άποψη για την κινητική έκφραση, δηλαδή:

$$N = N_0 \exp(-kt) \Leftrightarrow \ln \frac{N}{N_0} = -kt \quad (1)$$

όπου  $N_0$  όπου και  $N$  είναι ο βακτηριακός πληθυσμός σε  $t=0$  και  $t=t$  και  $k$  είναι μία σταθερά της απολύμανσης. Εάν τα αποτελέσματα των πινάκων 4 και 5 σχεδιαστούν με τη μορφή της εξίσωσης (1), οι ευθείες γραμμές (δεν εμφανίζονται) προσαρμόζουν τα πειραματικά δεδομένα που ταιριάζουν αρκετά καλά για όλους τους μικροοργανισμούς εκτός του CP. Από τις κλίσεις που προκύπτουν από τις ευθείες

γραμμές, υπολογίζονται οι τιμές  $k$  και συνοψίζονται στον Πίνακα 7. Για τις συγκεντρώσεις των TC, FS, PS και FS υπάρχει όντως πολύ καλή προσαρμογή στην κινητική της απολύμανσης, όπως προκύπτει από τις λογαριθμικές μειώσεις που παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.

Οι τιμές  $k$  ( $s^{-1} \times 10^{-2}$ ) που βρίσκονται στην παρούσα εργασία, σαν μέσο των μετακινήσεων των 13 δοκιμών έχουν ως εξής:

- για τα ολικά κολοβακτηρίδια(χωρίς  $TiO_2$ ):  $5,85 \times 10^{-2} s^{-1}$ ,
- για τα ολικά κολοβακτηρίδια( $5g/l TiO_2$ ):  $8,20 \times 10^{-2} s^{-1}$ ,
- για τα κολοβακτηρίδια των κοπράνων(χωρίς  $TiO_2$ ):  $5,70 \times 10^{-2} s^{-1}$ ,
- για τα κολοβακτηρίδια των κοπράνων( $5g/l TiO_2$ ):  $11,58 \times 10^{-2} s^{-1}$ .

Ο CP και ο FS είναι τόσο ανθεκτικά με την απολύμανση με αποτέλεσμα η μείωση του CFU δεν ακολουθεί την εξίσωση 1. Η γραμμική συσχέτιση δεν ήταν καλή, έτσι δεν υπάρχει λόγος να γίνει σύγκριση της κινητικής σταθεράς σε αυτές τις περιπτώσεις. Οι Madge και Jensen ανέφεραν επίσης ότι η εκτίμηση της σταθεράς της απολύμανσης ήταν  $3 \times 10^{-2} s^{-1}$  σε πυκνότητα ισχύος  $1250 W/dm^3$  για την *E. coli*, πολύ μικρότερη από αυτή των αποτελεσμάτων μας είτε για ολικά κολοβακτηρίδια είτε για κολοβακτηρίδια κοπράνων. Η υψηλότερη τιμή οφείλεται στο γεγονός ότι στην περίπτωση μας χρησιμοποιήσαμε μεγαλύτερη πυκνότητα ( $1500 W/l$ ). Οι παραπάνω συγγραφείς δεν ρύθμισαν τη θερμοκρασία του διαλύματος κατά τη διάρκεια της ακτινοβολίας των υπερήχων και η θερμοκρασία ανήλθε σε  $338 K$  προκαλώντας βακτηριοκτόνο επίδραση που εμείς δεν την εξασκήσαμε εδώ.

Οι Kubo et al.(2005) μελέτησαν την απολύμανση με υπερήχους της *E.coli*, με την παρουσία  $TiO_2$  που δρα σε πλήρες σκοτάδι, και επαληθεύτηκε η επίδραση του συνδυασμού της ακτινοβολίας των υπερήχων με το  $TiO_2$ . Το ποσοστό της απολύμανσης με την παρουσία του  $TiO_2$  είχε σημαντικά ταχύτερους ρυθμούς από ότι σε περίπτωση απουσίας του. Η προσθήκη  $5g/ml TiO_2$  αύξησε την σταθερά  $k$  σχεδόν δέκα φορές. Όπως φαίνεται καθαρά στους Πίνακες 4 έως 7, η ίδια τάση είναι και εδώ επικυρωμένη για τα ολικά κολοβακτηρίδια, τα κοπρανώδη κολοβακτηρίδια και τις ψευδομονάδες, οι ομάδες των βακτηρίων είναι ευπαθείς στην καταστροφή των ιών με υπερήχους. Από τις τιμές του  $k$  που αναφέρονται στον πίνακα 7, μπορεί να εκφράσει

τις τιμές που είναι σχεδόν διπλάσιες γι 'αυτές τις τρεις ομάδες, όταν ο καταλύτης TiO<sub>2</sub> προστέθηκε.

### 7.3. Η εκτίμηση της απολύμανσης εναντίον στη ποιότητα των υγρών αποβλήτων.

Οι κινητικές σταθερές της απολύμανσης που φαίνονται στον Πίνακα 7 είναι ο μέσος όρος των 13 δοκιμών. Για να συσχετιστεί η επίδραση της απολύμανσης και η ποιότητα των λυμάτων, χρησιμοποιούμε μόνο τα στοιχεία από τρεις μελέτες στις οποίες η συγκέντρωση COD κυμάνθηκε μεταξύ της ελάχιστης τιμής 35, μέσης τιμής 75 και μέγιστης τιμής των 115mg/l. Έτσι προτείνουμε ένα ψευτο-πρώτης τάξεως μοντέλο κινητικής που θα πρέπει να περιγράφει καλύτερα την κινητική της απολύμανσης. Και μια διορθωμένη τιμή k θα πρέπει να ενσωματωθεί στην εξίσωση 1, η οποία στη συνέχεια γίνεται  $k'[\text{NO}]T = \log(N/\text{NO})$ .

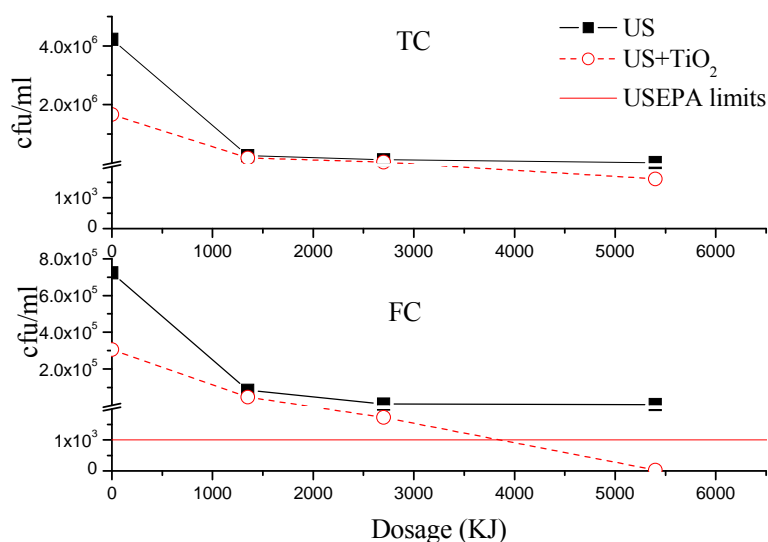
**ΠΙΝΑΚΑΣ 7: Σταθερές κινητικής απολύμανσης.**

Μέθοδος	$k \times 10^{-2} \times \text{min}^{-1}$	$R^2$
TC χωρίς TiO <sub>2</sub>	3.51	0.8896
TC με TiO <sub>2</sub>	4.92	0.9927
FC χωρίς TiO <sub>2</sub>	3.42	0.8153
FC με TiO <sub>2</sub>	6.95	0.9916
FS χωρίς TiO <sub>2</sub>	3.14	0.9537
FS με TiO <sub>2</sub>	0.89	0.9994
PS χωρίς TiO <sub>2</sub>	4.05	0.8519
PS με TiO <sub>2</sub>	6.45	0.9439
CP χωρίς TiO <sub>2</sub>	2.56	0.5918
CP με TiO <sub>2</sub>	-	0.7736

Οι επιπτώσεις της αρχικής συγκέντρωσης των αιωρούμενων στερεών στην απολύμανση επίσης αξιολογήθηκε από τους Salleh-Mack και Roberts αλλά δεν είχαν βρει καμία διαφοροποίηση στο εύρος του TSS που εξετάστηκε(0-8g/l).

#### 7.4. Μικροβιολογικές προδιαγραφές για την επαναχρησιμοποίηση.

Όσον αφορά τις μικροβιολογικές προδιαγραφές της επαναχρησιμοποίησης και της διάθεσης των υγρών αποβλήτων, προκειμένου να εξασφαλίσουν επαρκή ασφάλεια κατά τη διάρκεια της επαναχρησιμοποίησης και της διάθεσης των υγρών αποβλήτων, μόνο ο αριθμός των κολοβακτηριδίων των κοπράνων ή οι στρεπτόκοκκοι πρέπει να είναι λιγότεροι από  $10^3$  βακτήρια ανά 100 ml. Αυτή ήταν η συγκέντρωση στόχος που έχουμε θέσει στο δοκιμές μας. Έτσι, η δόση της ακτινοβολίας, όσον αφορά το προϊόν της καταστροφής των ιών με υπερήχους σε ένταση και χρόνο, ήταν ρυθμισμένη έτσι ώστε η επίδραση της συνολικής δόση να είναι σε θέση να ανταποκριθεί σε αυτές τις μικροβιολογικές προδιαγραφές για την επαναχρησιμοποίηση. Ο υπολογισμός της CFU κατά τη δόση απεικονίζονται στο Σχήμα 3.



**ΣΧΗΜΑ 3.** Δόση υπερήχων σε σχέση με την απόδοση απολύμανσης παρουσία και απουσία TiO<sub>2</sub>.

Είναι σαφές από το σχήμα (3) ότι οι μικροβιολογικές προδιαγραφές για τα κολοβακτηριωδή των κοπράνων που προτείνεται από το WHO και το US-EPA <1000CFU/100ml επιτυγχάνονται μόνο με την υψηλότερη δόση των 4000KJl<sup>-1</sup> περίπου. Στην περίπτωση των στρεπτόκοκκων, καμία από τις διάφορες δοκιμές δεν ήταν σε θέση να μειώσει τον αριθμό τους εντός των ορίων που συνιστώνται από US-EPA. Το ποσό της ενέργειας που απαιτείται είναι πολύ υψηλό και έτσι η διαδικασία δεν είναι εφικτή.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. Αγγελάκης, Α.Ν. και Tchobanoglous, G. 1995. Υγρά απόβλητα: Φυσικά Συστήματα Επεξεργασίας και Ανάκτηση, Επαναχρησιμοποίηση και Διάθεση Εκροών. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης. Ηράκλειο.
2. Αγγελάκης, Α.Ν., Τσαγκαράκης, Κ.Π., Κοτσελίδου, Ο.Ν. και Βαρδάκου Ε. 2000. Ανάγκη Θέσπισης Ελληνικών Προδιαγραφών Ανάκτησης και Επαναχρησιμοποίησης Εκροών Επεξεργασμένων Αστικών Υγρών Αποβλήτων. Μελέτη για το Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. και την Ε.Δ.Ε.Υ.Α. Δ.Ε.Υ.Α. Λάρισας. Λάρισα
3. Γάκη, Ε. και Μπάνου, Στ. 2004. Πτυχιακή Εργασία. Εκτίμηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του συστήματος διάθεσης και επαναχρησιμοποίησης της εκροής της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων του δήμου Χερσονήσου. Χανιά.
4. Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας, Ινστιτούτο Ηρακλείου. Επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων αστικών υγρών αποβλήτων: Ανάγκη θέσπισης κριτηρίων. Αγγελάκης, Α.Ν. και Παρανυχιανάκης, Ν.Β.
5. Μανιός, Θρ. 2001. Σημειώσεις στα πλαίσια του μαθήματος Τεχνολογία και Διαχείριση Υγρών Αποβλήτων. Τ.Ε.Ι. Ηρακλείου. Τμήμα Φυσικών Πόρων. Χανιά.
6. Μαρκαντωνάτος, Γ. 1990. Επεξεργασία και διάθεση υγρών αποβλήτων, αστικά λύματα, βιομηχανικά απόβλητα, ζωικά απορρίματα. Β' Έκδοση. Αθήνα.
7. Μήτρακας, Μ. 1996. Ποιοτικά Χαρακτηριστικά και Επεξεργασία Νερού, Θεσσαλονίκη.
8. Πρακτικά Ημερίδας, 22/3/2000. Με θέμα «Παγκόσμια Ημέρα Νερού-Νερό και Περιβάλλον». Ε.Υ.Δ.Α.Π. Αθήνα.
9. Στάμου, Αναστάσιος Ι. 1995. Βιολογικός καθαρισμός αστικών αποβλήτων με παρατεταμένο αερισμό και βιολογική απομάκρυνση θρεπτικών. Εκδόσεις Παπασωτηρίου.
10. Τσώνης, Στυλιανός Π. Επεξεργασία λυμάτων. Εκδόσεις Παπασωτηρίου. Αθήνα.
11. Τσώνης, Στυλιανός Π. 2003. Καθαρισμός νερού. Εκδόσεις Παπασωτηρίου. Αθήνα.
12. Χουσιά, Στ. 2006. Πτυχιακή εργασία. Επαναδραστηροποίηση παθογόνων μικροοργανισμών μετά από χλωρίωση σε επεξεργασμένα υγρά απόβλητα. Ηράκλειο.



## ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Bouwer, H. 1978. Groundwater Hydrology. McGraw-Hill. Book Co. New York.
2. Drakopoulou, S., Terzakis, S., Fountoulakis, M.S., Mantzavinos, D. and Manios, T. Ultrasound-induced inactivation of gram-negative and gram-positive bacteria in secondary treated municipal wastewater. Crete.
3. Joyce, E., Phull, S.S., Lorimer, J.P., Mason, T.J. 2003. The development and evaluation of ultrasound for the treatment of bacterial suspensions. A study of frequency, power and sonication time on cultured *Bacillus* species. Ultrasonic Sonochemistry 10..315-318.
4. Lejeune, Em. 2007. Efficiency of wastewater disinfection using Ultrasound. Study of School of Agriculture Technology. Heraklion. 66p.
5. Madge, B. A. and Jensen, J. N. 2002. Disinfection of Wastewater Using a 20-kHz Ultrasound Unit. Water Environ. Res. Vol 4...159-169.
6. Metcalf & Eddy. Μηχανική υγρών αποβλήτων, Επεξεργασία & Επαναχρησιμοποίηση. Εκδόσεις Τζιόλα, Τόμος Α. Αθήνα.
7. Nels, U. and Blume, T. 2003. Ultrasonic disinfection of wastewater effluents for high-quality reuse. Water Science and Technology: Water Supply. Vol.3 No4..261-267.
8. Oyane, I., Furuta, M., Stavarache, C.E., Hashiba, K., Mukai, S., Nakanishi, M., Kimata, I., and Maeda, Y. 2005. Inactivation of *Cryptosporidium parvum* by Ultrasonic Irradiation. Environ. Sci. Technol. Vol.39 No18..7294-7298.
9. Todd, D. K 1980. Groundwater Hydrology. 2nd Ed. John Wiley & Sons. New York.

## ΠΗΓΕΣ ΑΠΟ INTERNET

1. [www.eydap.gr](http://www.eydap.gr)
2. [www.tee.gr](http://www.tee.gr)
3. [www.wwf.gr](http://www.wwf.gr)
4. [www.ethiage.gr](http://www.ethiage.gr)
5. [www.minenv.gr](http://www.minenv.gr)
6. [www.fao.org](http://www.fao.org)