

Πολυτεχνείο Κρήτης
Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος

**Διαφοροποίηση της κατανομής του μεγέθους των
σωματιδίων υγρών αστικών αποβλήτων μετά από
επεξεργασία με μικροκοσκίνιση (Microsieving)**

Διπλωματική Εργασία



ΜΠΑΤΙΣΤΑΤΟΣ ΝΙΚΟΛΑΣ ΙΩΝ

Εξεταστική επιτροπή:
Γκίκας Πέτρος
Κομνίτσας Κωνσταντίνος
Καλογεράκης Νικόλας

Επιβλέπων καθηγητής: Γκίκας Πέτρος

Χανιά, Απρίλιος 2017

Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω την εταιρεία Devise Engineering AE, και προσωπικά τον μηχανικό κ. Χάρη Ελευθεριάδη, για την βοήθεια που παρέσχε για τη συντήρηση και εγκατάσταση του μικροκόσκινου στην θέση λειτουργίας του.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους τεχνικούς της Δημόσιας Επιχείρησης Ύδρευσης και Αποχέτευσης Ρεθύμνου για την πολύτιμη βοήθειά τους στην εγκατάσταση του μικροκόσκινου. Προσωπικά ευχαριστώ τον διευθυντή τομέα περιβάλλοντος της μονάδας κ. Μανώλη Βρυλλάκη για τις χρήσιμες συμβουλές του, καθώς και την εργαστηριακή αναλύτρια κα Χρύσα Βογιατζή για τις εργαστηριακές υποδείξεις της.

Ευχαριστώ το τμήμα Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης· προσωπικά τον καθηγητή κ. Κώστα Κομνίτσα και την εργαστηριακή βοηθό κα Όλγα Παντελάκη για την προθυμία της και τη βοήθειά της στις κατανομές του μεγέθους των σωματιδίων. Επίσης ευχαριστώ τον καθηγητή κ. Νικόλα Καλογεράκη για τις διορθώσεις του στην εργασία.

Για τις εργαστηριακές αναλύσεις επίσης, θέλω να ευχαριστήσω τον μηχανικό Χαρίδημο Μάρακα για τις πρακτικές οδηγίες που μου έδωσε, καθώς και το συμφοιτητή μου Θοδωρή Γερωνυμάκη.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Πέτρο Γκίκα για το συντονισμό όλων των συντελεστών και προσώπων που εργάστηκαν και βοήθησαν ώστε να εκπονηθεί η παρούσα διπλωματική. Ευχαριστώ επίσης τον υποψήφιο διδάκτορα Γιάννη Παλόγο για τη στήριξη και τη βοήθειά του στη συγγραφή της εργασίας.

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας, που εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Σχεδιασμού Περιβαλλοντικών Διεργασιών της Σχολής Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης, είναι να εξετάσει τη μέθοδο της μικροκοσκίνισης (microsieving), σε σύγκριση με την κλασσική πρωτοβάθμια καθίζηση. Η χρήση της καθίζησης, ενώ αποτελεί μια αρκετά αποτελεσματική μέθοδο απομάκρυνσης των στερεών, έχει αρκετά μειονεκτήματα. Απαιτεί μεγάλη έκταση για την εγκατάσταση των δεξαμενών (η χωροθέτησή της δε πρέπει να γίνει σε εμφανές σημείο από κατοικημένο ιστό), καθώς και έναν αρκετά μεγάλο χρόνο παραμονής του αποβλήτου σε αυτές (1,5-2,5 ώρες). Συχνά, η ποιότητα εκροής της δεν ικανοποιεί την ευρωπαϊκή νομοθεσία, ενώ σε άλλες περιπτώσεις όπου η εκροή της είναι εντός ορίων, ο ρυθμός της υπερχειλίσής της είναι αρκετά μικρός.

Σε αυτά τα πλαίσια, εγκαταστάθηκε στη μονάδα επεξεργασίας υγρών αστικών αποβλήτων του Ρεθύμνου, μετά το στάδιο της προεπεξεργασίας, ένα μηχάνημα μικροκοσκίνισης βιομηχανικού τύπου με άνοιγμα πόρων του ιμάντα 350μm. Με εργαστηριακές αναλύσεις μελετήθηκε η απομάκρυνση των στερεών σωματιδίων από τα υγρά αστικά απόβλητα που επιτυγχάνει η συγκεκριμένη μέθοδος, αντί της κλασσικής βαρυτικής καθίζησης. Οι δοκιμές αυτές έδωσαν αρκετά ενθαρρυντικά αποτελέσματα ως προς τις απομακρύνσεις των TSS ($29,2 \pm 9\%$), BOD₅ ($14 \pm 6\%$), COD ($16,45 \pm 6\%$), NH₃ ($9,1 \pm 15\%$) και NO₃⁻ ($13,5 \pm 2\%$). Τα ποσοστά αυτά είναι παρόμοια ή ελαφρώς μικρότερα σε σχέση με τα αντίστοιχα της πρωτοβάθμιας καθίζησης. Περαιτέρω μελέτη του μικροκόσκινου (με συνδυαστική χρήση χημικών) είναι απαραίτητη, ώστε να εξετασθούν οι βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας και απομακρύνσεων του μηχανήματος. Παρατηρήθηκε επίσης ότι η αυξανόμενη ταχύτητα περιστροφής του ιμάντα του μικροκόσκινου, σε συνθήκες σταθερής εισερχόμενης παροχής, μειώνει σημαντικά τα ποσοστά των απομακρύνσεων που επιτυγχάνει. Παράλληλα, η εξερχόμενη πρωτοβάθμια λάσπη μετά τη μικροκοσκίνιση, βρέθηκε να έχει περιεκτικότητα σε στερεά ύλη και οργανικά πτητικά στερεά (ποσοστό επί των ολικών στερεών) 26-44% και 82-85% αντίστοιχα, τη στιγμή που οι τιμές της παραγόμενης πρωτοβάθμιας λάσπης από καθίζηση δε ξεπερνούν το 3-6% και 65% αντίστοιχα. Η αφυδατωμένη λάσπη που παράγεται από το μικροκόσκινο θα μπορούσε να μειώσει τις απαιτήσεις για περαιτέρω αφυδάτωση με μηχανικά μέσα, ενώ η υψηλή περιεκτικότητά της σε VSS θα μπορούσε να δώσει μεγάλες ποσότητες μεθανίου για παραγωγή βιοαερίου. Επίσης συγκρίθηκαν οι καμπύλες κατανομών του μεγέθους των σωματιδίων των αποβλήτων που προέκυψαν στην είσοδο και στην έξοδο του μικροκόσκινου, με εκείνες της πρωτοβάθμιας καθίζησης. Από τις κατανομές αυτές συμπεραίνεται ότι το ποσοστό

μείωσης των στερεών μετά τη μικροκοσκίνιση των αποβλήτων, αναφέρεται κυρίως στα μεγαλύτερης διαμέτρου σωματίδια. Γενικά οι κατανομές μεταξύ των δύο μεθόδων δεν βρέθηκαν να διαφέρουν πολύ. Ο λόγος του οικολογικού αποτυπώματος του μικροκόσκινου έναντι της πρωτοβάθμιας καθίζησης είναι περίπου $1\div 10$, γεγονός που καθιστά τη μικροκοσκίνιση μια πλεονεκτική μέθοδο επεξεργασίας, σε εγκαταστάσεις με περιορισμούς στο χώρο.

Abstract

The purpose of the present thesis, which was prepared in the Environmental Processes Design Laboratory, part of Environmental Engineering School of the Technical University of Crete, is to examine the microsieving method, compared with the conventional primary sedimentation. The use of sedimentation, is an effective method for the solids removal, but has several disadvantages. It requires a large area for the tanks installation (their location should not be visible from residential areas), and a very long hydraulic retention time (1,5-2,5 hours). Oftentimes, the effluent quality does not meet the European legislation, while in other cases where the effluent is within limits, the rate of overflow is quite small.

In this thesis, an industrial type microscreen installation has been set up the municipal wastewater treatment plant of Rethymno city, with 350 μ m belt pore size openings, after pretreatment. Laboratory analysis was conducted so as to study the removal rates of solid particles from the wastewater which the microsieving method achieves, instead of using the classical gravitational sedimentation. These tests showed quite encouraging results in removals of TSS (29,2 \pm 9%), BOD₅ (14 \pm 6%), COD (16,5 \pm 6%), NH₃ (9,1 \pm 15%) και NO₃⁻ (13,5 \pm 2%). These removal percentages are marginal or slightly smaller in comparison with those of a typical primary sedimentation. Further studies in microsieving (with chemical coagulants and flocculants added), is necessary to examine the optimum operating conditions of the microscreen and the highest removal rates. It was also observed that the increasing speed of the belt, combined with steady incoming flow rate, significantly reduces the rate of the removals achieved. Meanwhile, the outgoing primary sludge after microsieving found to have a dry solids content and organic volatile solids (percentage on total SS) 26-44% and 82-85% respectively, while the prices of produced primary sludge from sedimentation does not exceed 3-6% and 65% respectively. The dewatered sludge produced by the microscreen could reduce the requirements for further dewatering by mechanical means, while the high content in VSS could give large quantities of methane for biogas production. In addition, a particle size distribution (Psd) analysis has been conducted (influent and effluent of the microscreen) to define the size of the wastewater particles. From these

distributions, it has been made clear that the solids removal rates that microsieving achieves, mainly refers to larger diameter particles. The microscreen Psd results were found to be identical in comparison with those from a primary sedimentation. The relative footprint ratio microscreen \div primary clarifier, for the same hydraulic capacity is approximately $1\div 10$, which makes the fine sieving process advantageous for wastewater treatment plants with space limitations.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1. Υγρά Απόβλητα	9
1.1 Γενικά	9
1.2 Ποιοτικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων	9
1.2.1 Στερεά	10
1.2.2 Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (BOD)	11
1.2.3 Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD)	12
1.2.4 Ολικός Οργανικός Άνθρακας (TOC)	13
1.2.5 Διαλυμένο Οξυγόνο (DO)	14
1.2.6 Θερμοκρασία αποβλήτων	14
1.2.7 Φώσφορος	15
1.2.8 Άζωτο	15
1.2.9 Κατανομή σωματιδίων (particle size distribution Psd)	16
1.3 Παραγωγή αστικών αποβλήτων ανά ισοδύναμο κάτοικο	21
1.4 Βασικές μέθοδοι επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων	22
1.4.1 Προεπεξεργασία υγρών αποβλήτων	22
1.4.2 Απομάκρυνση Στερεών από υγρά απόβλητα	23
1.4.3 Βιολογική επεξεργασία υγρών αποβλήτων	25
1.4.4 Τριτοβάθμια επεξεργασία υγρών αποβλήτων με στόχο την επαναχρησιμοποίηση	31
1.5 Ενεργειακές απαιτήσεις για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων	32
Κεφάλαιο 2. Σύγχρονες τάσεις στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων	36
2.1 Διεργασίες Νιτροποίησης-Απονιτροποίησης	36
2.1.1 Αιωρούμενη Βιομάζα	36
2.1.2 Ακίνητοποιημένη Βιομάζα	36
2.2 Τεχνολογία Μεμβρανών	39
2.3 Τεχνητοί Υγρότοποι	41
2.4 Μικροάλγη	42
Κεφάλαιο 3. Πρακτικές πρώιμης απομάκρυνσης αιωρούμενων στερεών από υγρά απόβλητα	43
3.1 Γενικά	43

3.2	Νομοθετικές διατάξεις.....	44
3.3	Μικροκοσκίνιση	48
3.4	Disc Filters	49
3.5	Επίπλευση Dissolved Air Flotation	50
3.6	Εσχάρωση στην προεπεξεργασία	51
3.7	Καθίζηση	53
Κεφάλαιο 4. Υλικά και μέθοδοι		55
4.1	Μικροκόσκινο βιομηχανικού τύπου	55
4.1	Αναλυτικές μέθοδοι	59
4.1.1	Μέτρηση TSS-VSS.....	59
4.1.2	BOD	60
4.1.3	COD	61
4.1.4	DO	61
4.1.5	Αμμωνία-Νιτρικά	61
4.1.6	Προσδιορισμός κατανομής σωματιδίων	62
Κεφάλαιο 5. Πειραματικό μέρος.....		64
5.1	Σχεδιασμός των πειραμάτων- Συλλογή δειγμάτων.....	64
5.2	Αποτελέσματα.....	66
5.3	Αποτελέσματα δοκιμών ταχύτητας περιστροφής ιμάντα.....	82
Κεφάλαιο 6. Συζήτηση των αποτελεσμάτων		92
6.1	Συμπεριφορά και απόδοση του μικροκόσκινου	92
6.1.1	Παράμετροι λειτουργίας	92
6.1.2	TSS.....	92
6.1.3	BOD	93
6.1.4	COD	94
6.1.5	Κατανομές σωματιδίων	94
6.1.6	Υγρασία και VSS	95
6.1.7	Επίδραση της ταχύτητας στην μικροκοσκίνιση με σταθερή παροχή	96
6.2	Δυνατότητες εφαρμογής των μικροκοσκίνων	97
Κεφάλαιο 7. Συμπεράσματα και προτάσεις για μελλοντική έρευνα		100
7.1	Συμπεράσματα δοκιμών μικροκοσκίνισης με βιομηχανικού τύπου μικροεσχάρες ως πρωτοβάθμια επεξεργασία	100

7.2	Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	101
Κεφάλαιο 8.	Βιβλιογραφία	102

Κεφάλαιο 1.

Υγρά Απόβλητα

1.1 Γενικά

Ως υγρά απόβλητα ορίζουμε το σύνολο των υγρών απορροών ή των ρύπων που μεταφέρονται σε υγρή φάση και απομακρύνονται από κατοικίες, ιδρύματα, εμπορικές και βιομηχανικές εγκαταστάσεις, μαζί με τα υπόγεια ύδατα, επιφανειακά νερά και όμβρια ύδατα που πιθανώς να υπάρχουν στην περιοχή (Metclaf and Eddy, Κεφ 2, 2003). Η αλόγιστη απόρριψη των ανεπεξέργαστων υγρών αποβλήτων οδηγεί στην παραγωγή δυσάρεστων οσμών, αισθητική όχληση, υποβάθμιση του περιβάλλοντος, και κινδύνους για την δημόσια υγεία. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας κατασκευάστηκαν μονάδες επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων, οι οποίες έχουν τόσο υψηλές αποδόσεις ώστε τα επεξεργασμένα απόβλητα να μπορούν να επιστρέψουν στους υδάτινους αποδέκτες από όπου παρελήφθησαν αρχικά ή στο έδαφος ή να επαναχρησιμοποιηθούν δίχως να προκαλούν επιβάρυνση στο περιβάλλον ή στον άνθρωπο. Η Οδηγία 91/271/ΕΟΚ 21.05.1991. διαχωρίζει τα υγρά απόβλητα σε τρεις βασικές κατηγορίες με βάση την προέλευση τους. Η κατηγοριοποίηση των υγρών αποβλήτων είναι απαραίτητη ώστε να επιλεγεί η κατάλληλη μέθοδος για την επεξεργασία τους. Οι κατηγορίες που ορίζονται στην οδηγία είναι οι ακόλουθες:

1. «Αστικά λύματα»
2. «Οικιακά λύματα»
3. «Βιομηχανικά λύματα»

Ως «Αστικά λύματα» ορίζονται τα οικιακά λύματα ή το μίγμα οικιακών με βιομηχανικά λύματα ή/και όμβρια ύδατα. Ως «Οικιακά λύματα» ορίζονται τα λύματα από περιοχές κατοικίας και υπηρεσιών που προέρχονται κυρίως από τον ανθρώπινο μεταβολισμό και τις εμπορικές δραστηριότητες. Ως «Βιομηχανικά λύματα» ορίζονται οποιαδήποτε λύματα που απορρίπτονται από κτίρια και χώρους που χρησιμοποιούνται για οποιαδήποτε εμπορική ή βιομηχανική δραστηριότητα, και τα οποία δεν είναι οικιακά λύματα ή όμβρια ύδατα (Οδηγία 91/271/ΕΟΚ 21.05.1991.).

1.2 Ποιοτικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων

Όλα τα απόβλητα και λύματα χαρακτηρίζονται από ορισμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά και περιέχουν διαλυμένες και αιωρούμενες, ανόργανες και οργανικές ουσίες. Διακρίνονται σε τέσσερα βασικά ποιοτικά χαρακτηριστικά. Τα φυσικά (χρώμα, θολότητα, θερμοκρασία κλπ), τα ανόργανα χημικά (Ρh, αλκαλικότητα κλπ), τα οργανικά χημικά (αμμωνία, συναφείς αζωτούχες ενώσεις της κλπ), καθώς και τα βιολογικά (βακτήρια, μικροοργανισμοί κλπ).

1.2.1 Στερεά

Ένα από τα κυριότερα φυσικά χαρακτηριστικά των αποβλήτων είναι τα στερεά. Εντοπίζονται σε πολλές διαφορετικές κατηγορίες, ανάλογα με το είδος και τη μορφή που έχουν. Αποτελούνται από οργανικά και ανόργανα συστατικά και μπορεί να είναι αιωρούμενα ή διαλυμένα στη μάζα των αποβλήτων. Βάσει των φυσικών ιδιοτήτων τους, χωρίζονται σε τέσσερεις βασικές κατηγορίες: τα ολικά στερεά, τα πτητικά στερεά, τα σταθερά στερεά και τα καθιζάνονται στερεά.

-Τα ολικά στερεά ορίζονται ως το υπόλειμμα δείγματος αποβλήτων μετά από εξάτμιση και ξήρανση στους 105 °C και έχουν μονάδα μέτρησης το mg υπολείμματος ανά λίτρο. Διακρίνονται σε διαλυμένα και αιωρούμενα. Σε αυτά συμπεριλαμβάνονται τα διαλυμένα στερεά (dissolved solids DS) και τα στερεά που συγκρατούνται στο ειδικό φίλτρο (suspended solids SS). Τα διαλυμένα στερεά αναφέρονται στη συγκέντρωση των στερεών συστατικών που βρίσκονται σε διαλυμένη ή κολλοειδή μορφή στη μάζα των αποβλήτων και ορίζονται ως τα στερεά του δείγματος που περνούν μέσα από ειδικό χάρτινο φίλτρο. Τα αιωρούμενα στερεά αναφέρονται στην ποσότητα που συγκρατείται στο ειδικό φίλτρο. Το άθροισμα των παραπάνω μας δίνει μαθηματικά τα ολικά στερεά ενός δείγματος.

-Ως ολικά πτητικά στερεά (total volatile solids) ορίζουμε το σύνολο των πτητικών περιεχόμενων ουσιών. Αυτά προσδιορίζονται με πύρωση του στερεού υπολείμματος σε θερμοκρασία 550°C όπου πρακτικά οξειδώνονται όλες οι οργανικές ουσίες. Η απώλεια αυτή κατά τη διάρκεια της καύσης είναι τα ολικά πτητικά στερεά. Τα στερεά αυτά επίσης διακρίνονται τόσο σε διαλυμένα, όσο και σε αιωρούμενα. Τα διαλυμένα πτητικά στερεά (volatile dissolved solids) είναι εκείνα που εξατμίζονται κατά την πύρωση των ολικών διαλυμένων στερεών σε θερμοκρασία 550°C. Τα αιωρούμενα πτητικά στερεά (volatile suspended solids) είναι εκείνα που προέρχονται από την εξάτμιση των ολικών αιωρούμενων στερεών κατά την πύρωση του δείγματος σε θερμοκρασία 550°C.

-Ως ολικά σταθερά στερεά (total fixed solids) περιγράφεται το υπόλειμμα που παραμένει μετά την πύρωση σε θερμοκρασία 550°C. Αντίστοιχα διακρίνονται σε διαλυμένα και αιωρούμενα. Τα στερεά που παραμένουν μετά από την πύρωση των ολικών διαλυμένων στερεών στους 550°C ονομάζονται σταθερά διαλυμένα στερεά (fixed dissolved solids), ενώ τα στερεά που παραμένουν μετά από την πύρωση των ολικών αιωρούμενων στερεών σε θερμοκρασία 550°C ονομάζονται σταθερά αιωρούμενα στερεά (fixed suspended solids). Από την αναλογία πτητικών στερεών προς σταθερών στερεών μπορούμε να εξαγάγουμε συμπεράσματα για τον δείκτη του περιεχόμενου οργανικού υλικού σε ένα δείγμα.

-Τα καθιζάνοντα στερεά είναι οι αδιάλυτες στερεές ουσίες που καθιζάνουν σε συνθήκες ηρεμίας. Η μέτρησή τους στα λύματα γίνεται σε ειδικά βαθμονομημένο

κώνο (κώνος του Imhoff, εικόνα 1-1) στον οποίο μετράται ο όγκος των ουσιών που καθιζάνουν κατά τη διάρκεια συγκεκριμένου χρόνου (Βλυσίδης, 2006).



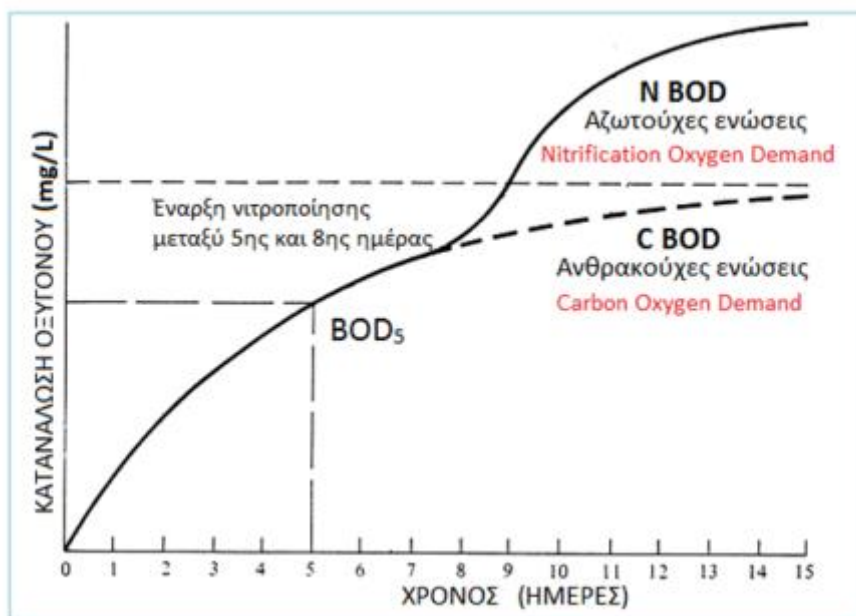
1-1 Κώνοι Imhoff (Νταρακάς, 2016)

1.2.2 Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (BOD)

Το Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (Biochemical Oxygen Demand, BOD) είναι η παράμετρος που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του οργανικού φορτίου των υγρών αποβλήτων και των ρυπασμένων νερών. Είναι δηλαδή η ποσότητα του διαλυμένου οξυγόνου που απαιτείται από τους μικροοργανισμούς για την πλήρη βιοχημική οξείδωση των περιεχόμενων οργανικών ουσιών. Η ταχύτητα της βιολογικής αυτής οξείδωσης εξαρτάται από το είδος της οργανικής ύλης που περιέχεται στο προς εξέταση δείγμα. Υπάρχουν οργανικές ουσίες που οξειδώνονται (αποικοδομούνται) βιολογικά σχετικά εύκολα αλλά υπάρχουν και αυτές που δεν οξειδώνονται βιολογικά (μη βιοδιασπάσιμες ύλες). Ως γνωστόν τα υγρά αστικά λύματα περιέχουν κυρίως υδατάνθρακες όπως κυτταρίνη, σάκχαρα, άμυλο, καθώς επίσης και αζωτούχες (ουρία, πρωτεΐνες) και θειούχες ενώσεις. Οι περισσότερες απ' αυτές τις ουσίες κατά την βιολογική οξείδωση διασπώνται σε άλλες απλούστερες και δίνουν ανάλογα προϊόντα όπως διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), αμμωνία (NH_3) και νερό (H_2O). Οι οξειδωτικές αυτές αντιδράσεις είναι συνυφασμένες με υψηλή κατανάλωση οξυγόνου, η οποία λαμβάνεται σαν μέτρο της οργανικής ρύπανσης των νερών. Γενικά, η απαίτηση για οξυγόνο οφείλεται σε τρεις κατηγορίες ενώσεων:

- σε βιοδιασπάσιμες οργανικές ενώσεις που χρησιμοποιούνται ως υπόστρωμα (πηγή τροφής) από διάφορους μικροοργανισμούς
- σε διάφορες μορφές αζώτου που δύνανται να οξειδωθούν, και
- σε αναγωγικές ενώσεις όπως, SO_3^{2-} , S^{2-} και Fe^{2+} , οι οποίες οξειδώνονται από το διαλυμένο οξυγόνο.

Η βιολογική αποικοδόμηση των ρυπαντικών (οργανικών) ουσιών γίνεται σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο αποικοδομούνται κυρίως οι ενώσεις του άνθρακα (υδατάνθρακες, λίπη), προηγείται δηλαδή η οξείδωση των ευκολότερα βιοδιασπάσιμων ουσιών, ενώ στο δεύτερο οι ενώσεις του αζώτου (πρωτεΐνες, αμινοξέα). Το πρώτο στάδιο, για θερμοκρασία 20 °C, αρχίζει αμέσως και ολοκληρώνεται μέσα σε 20 περίπου ημέρες. Το δεύτερο στάδιο, για θερμοκρασία 20 °C, αρχίζει μετά την πάροδο 7 - 8 ημερών και διαρκεί πολύ περισσότερο χρόνο. Σημειώνεται ότι σε υψηλές θερμοκρασίες η αποικοδόμηση των οργανικών ουσιών γίνεται ταχύτερα και ότι κατά το στάδιο οξείδωσης των αζωτούχων ενώσεων παράγεται νιτρικό οξύ το οποίο στη συνέχεια αντιδρά με τα περιεχόμενα στα οικιακά λύματα ανθρακικά και όξινα ανθρακικά και ουδετεροποιείται. Όπως προκύπτει και από το διάγραμμα 1-2, ολοκλήρωση της μέτρησης απαιτεί πολύ χρόνο. Για θερμοκρασία 20°C απαιτούνται περίπου 20 ημέρες για να ικανοποιηθούν τα 95-99 % του ολικού BOD και γι αυτό η κατανάλωση του οξυγόνου καθορίζεται με βάση τον προσδιορισμό του Βιοχημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου σε πέντε ημέρες (BOD₅). Είναι προφανές ότι η ταχύτητα αποικοδόμησης των οργανικών ουσιών είναι διαφορετική στις διάφορες θερμοκρασίες. Σε υψηλές θερμοκρασίες η αποικοδόμηση πραγματοποιείται ταχύτερα (Νταρακάς, 2016).



1-2 Μεταβολή του BOD σε σχέση με το χρόνο (Νταρακάς, 2016)

1.2.3 Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD)

Με τον όρο Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο, COD (Chemical Oxygen Demand) εννοούμε την ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για την χημική οξείδωση της οργανικής ύλης σε CO₂ και H₂O. Η οξείδωση αφορά το σύνολο των οργανικών ενώσεων που περιέχονται σε ένα δείγμα και μπορούν να οξειδωθούν με ένα ισχυρό

οξειδωτικό μέσο. Σαν τέτοιο οξειδωτικό χρησιμοποιείται το διχρωμικό κάλιο ($K_2Cr_2O_7$) σε όξινο περιβάλλον. Η οξείδωση του οργανικού φορτίου γίνεται σε συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών και χαμηλού pH παρουσία θειικού αργύρου (Ag_2SO_4) σαν καταλύτη. Η εξουδετέρωση των χλωριούχων ιόντων που συνήθως υπάρχουν στο δείγμα, γίνεται με θειικό υδράργυρο ($HgSO_4$). Η εξουδετέρωση της περίσσειας των διχρωμικών ($Cr_2O_7^{2-}$) ιόντων γίνεται με διάλυμα θειικού αμμωνιούχου σιδήρου ($FeSO_4(NH_4)_2SO_4 \cdot 6H_2O$) γνωστής κανονικότητας. Για την ογκομετρική ανάλυση (τιτλοδότηση) χρησιμοποιείται δείκτης Ferroin. Η μέτρηση του COD στα υγρά απόβλητα χρησιμοποιείται πολλές φορές αντί της μέτρησης του BOD ή συμπληρωματικά. Η ταχύτητα της μέτρησης είναι το μεγάλο πλεονέκτημα της αφού ολοκληρώνεται σε 2-3 ώρες, σε αντίθεση με τη μέτρηση του BOD₅, η οποία διαρκεί πέντε ημέρες. Το μειονέκτημα όμως είναι ότι με το COD μετράται όχι μόνο η βιοδιασπάσιμη αλλά και η μη βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη. Συνεπώς, η μέτρηση του COD είναι κατά κάποιο τρόπο λιγότερο αντιπροσωπευτική από τη μέτρηση του BOD₅ όταν πρόκειται για προσδιορισμό του οργανικού φορτίου που υπάρχει στα υγρά αστικά λύματα. Τα αποτελέσματα εκφράζονται σε mg/L. Κατά κανόνα το COD είναι πάντα μεγαλύτερο από το BOD₅ και για τα αστικά λύματα ο λόγος COD/BOD₅ είναι 1,2 – 1,5 (Νταρακάς, 2016).

1.2.4 Ολικός Οργανικός Άνθρακας (TOC)

Ο οργανικός άνθρακας στο νερό και στα απόβλητα συναντάται σε διάφορες οξειδωτικές καταστάσεις μέσα από μια ποικιλία οργανικών συμπλόκων που σχηματίζει. Μερικά από αυτά τα οργανικά σύμπλοκα μπορούν να οξειδωθούν περαιτέρω με βιολογικές ή χημικές διαδικασίες. Ο Ολικός Οργανικός άνθρακας (TOC) είναι μια πιο βολική και άμεση έκφραση του περιεχομένου του ολικού οργανικού άνθρακα από το BOD και το COD, αν και δεν παρέχει το ίδιο είδος πληροφοριών. Σε αντίθεση με το BOD ή το COD, το TOC δεν έχει να κάνει με την οξειδωτική κατάσταση του οργανικού φορτίου και δεν μετρά άλλα οργανικώς δεσμευμένα στοιχεία, όπως άζωτο, υδρογόνο και ανόργανα συστατικά τα οποία μπορούν να συνεισφέρουν στο απαιτούμενο οξυγόνο μετρούμενα με BOD και COD. Η μέτρηση του TOC είναι ζωτικής σημασίας κατά το χειρισμό και επεξεργασία του νερού και την επεξεργασία αποβλήτων. Όσον αφορά το πόσιμο νερό οι τιμές του TOC ποικίλουν από λιγότερο από 100 μg/L σε περισσότερο από 25.000 μg/L. Τα απόβλητα μπορεί να περιέχουν πολύ υψηλά επίπεδα οργανικών συστατικών ($TOC > 100$ mg/L). Για τον προσδιορισμό της ποσότητας του οργανικώς δεσμευμένου άνθρακα, τα οργανικά μόρια πρέπει να σπάσουν και να μετατραπούν σε ένα απλό μοριακό είδος το οποίο να μπορεί να προσδιορίζεται ποσοτικά. Οι μέθοδοι με το TOC χρησιμοποιούν υψηλή θερμοκρασία, καταλύτες και οξυγόνο ή χαμηλότερες θερμοκρασίες ($< 100^\circ C$) με υπεριώδη ακτινοβολία, χημικά οξειδωτικά μέσα ή προσμίξεις αυτών των οξειδωτικών για τη μετατροπή του οργανικού άνθρακα σε διοξείδιο του άνθρακα (CO_2). Το CO_2 μπορεί να διαχωριστεί από το δείγμα, να

αποξηρανθεί και να μεταφερθεί μέσω ενός αερίου μεταφοράς σε έναν αναλυτή υπερύθρου ή σε κουλομετρική τιτλοδότηση. Εναλλακτικώς, μπορεί να διαχωριστεί από το δείγμα υγρής φάσης με μια μεμβράνη η οποία είναι εκλεκτική για το CO₂ με υψηλής καθαρότητας νερό στο οποίο η αντίστοιχη αύξηση της αγωγιμότητας θα σχετίζεται με τη δίοδο του CO₂ μέσω της μεμβράνης (Νταρακάς, 2010).

1.2.5 Διαλυμένο Οξυγόνο (DO)

Το διαλυμένο οξυγόνο, DO (Dissolved Oxygen) είναι συχνά η πιο σημαντική παράμετρος για το χαρακτηρισμό των υδάτων στις μελέτες ρύπανσης, αφού η έλλειψη οξυγόνου συχνά υποδηλώνει μεγάλο ρυπαντικό φορτίο. Η συγκέντρωση του αποτελεί καθοριστική παράμετρο ελέγχου της ποιότητας και του βαθμού ρύπανσης των νερών. Εξαρτάται κυρίως από την θερμοκρασία και την συγκέντρωση των διαλυμένων αλάτων (Νταρακάς, 2010). Το διαλυμένο οξυγόνο προσδιορίζεται τη στιγμή της δειγματοληψίας. Τα δείγματα είναι δυνατόν να συντηρηθούν για μερικές ώρες (μέχρι 8h) σε φιάλες χωρίς αέρα με προσθήκη 0,7ml H₂SO₄ και 1ml διαλύματος NaN₃. Τα δυο αυτά αντιδραστήρια διακόπτουν κάθε βιολογική δράση η οποία καταναλώνει οξυγόνο. Ορισμένες φορές οι τιμές του DO των επιφανειακών νερών εμφανίζονται υψηλότερες από τις τιμές κορεσμού. Αυτό οφείλεται στο φαινόμενο της φωτοσύνθεσης στην διάρκεια της οποίας παράγεται οξυγόνο. Το οξυγόνο διαλύεται ελάχιστα στο νερό (9 ppm στους 20 °C σε 1 atm). Η διαλυτότητα του, όπως και άλλων αερίων, μειώνεται, όταν αυξάνεται η θερμοκρασία αυξάνεται, όταν αυξάνεται η πίεση. Μονάδα μέτρησης του διαλυμένου οξυγόνου είναι το mg ανά λίτρο νερού. Ο προσδιορισμός του διαλυμένου οξυγόνου γίνεται χημικά ή ηλεκτροχημικά.

1.2.6 Θερμοκρασία αποβλήτων

Η θερμοκρασία των αποβλήτων είναι συνήθως μεγαλύτερη από του πόσιμου νερού και από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος (με εξαίρεση τις ζεστές μέρες του καλοκαιριού), από 10 – 22 °C. Η θερμοκρασία είναι ρυθμιστικός παράγοντας του βιολογικού και χημικού χαρακτήρα των αποβλήτων. Η αύξηση της θερμοκρασίας επιφέρει ανάπτυξη μικροοργανισμών που ευνοούνται από υψηλές θερμοκρασίες ενώ επιταχύνει τις βιολογικές διεργασίες. Επίσης επιφέρει μείωση της διαλυτότητας αερίων στη μάζα των αποβλήτων (κυρίως οξυγόνου) και τέλος επιταχύνει τις χημικές αντιδράσεις. Η διοχέτευση θερμών αποβλήτων σε ένα υδάτινο φορέα οδηγεί σε υποβάθμιση της ποιότητας του υδάτινου περιβάλλοντος, καθώς και σε σοβαρή μείωση του διαλυμένου οξυγόνου. Επιδρά αρνητικά στο οικοσύστημα του φορέα (θάνατος ωφέλιμων οργανισμών). Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η διοχέτευση νερού ψύξης βιομηχανικών εγκαταστάσεων ή μονάδων παραγωγής ενέργειας στο υδάτινο περιβάλλον. Το ιδανικό εύρος θερμοκρασιών για να αναπτυχθούν οι διεργασίες των βακτηρίων είναι από 25- 35°C (Τσέζος, 2012).

1.2.7 Φώσφορος

Ο φώσφορος εμφανίζεται στα αστικά υγρά απόβλητα από αστικές, εμπορικές και βιομηχανικές δραστηριότητες. Οι βιομηχανικές και εμπορικές πηγές φωσφόρου είναι ιδιαίτερα μεταβλητές και μπορούν να επηρεάσουν πολύ την πραγματική εισρέουσα συγκέντρωση φωσφόρου στα υγρά απόβλητα. Οι κατά προσέγγιση συνεισφορές των φωσφορικών αλάτων από σημαντικές πηγές στα αστικά υγρά απόβλητα υπολογίζονται σε kg φωσφόρου/κάτοικο/χρόνο ως: 0,60 από τα ανθρώπινα απόβλητα, 0,30 kg από απορρυπαντικά πλυντηρίων χωρίς τους περιορισμούς στην περιεκτικότητα σε φώσφορο και 0,10 kg από τα οικιακά απορρυπαντικά και άλλα καθαριστικά (Sedlak, 1991). Ο φώσφορος εμφανίζεται στα υγρά απόβλητα με διάφορες μορφές φωσφορικού άλατος σε διαλυμένη ή στερεά μορφή. Το μεγαλύτερο ποσοστό του φωσφόρου στα αστικά απόβλητα είναι με την μορφή του διαλυμένου φωσφορικού άλατος. Χωρίς σημαντικά εμπορικά ή βιομηχανικά φορτία, η εισρέουσα συγκέντρωση του συνολικού φωσφόρου μπορεί να κυμανθεί από 6 –8 mg/L P. Περίπου 50% είναι με την μορφή ορθοσφωρικών αλάτων, 35% είναι με την μορφή συμπυκνωμένων φωσφορικών αλάτων (π.χ., pyrophosphate, tripolyphosphate, trimetaphosphate), και 15% είναι με την μορφή οργανικών φωσφορικών αλάτων (π.χ. φωσφολιπίδια, νουκλεοτίδια). Όταν θα επιβληθούν οι περιορισμοί στη χρήση των απορρυπαντικών φωσφόρου, τότε οι εισερχόμενες συγκεντρώσεις στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων θα είναι χαμηλότερες, μεταξύ 4-5 mg/L. Η αφαίρεση φωσφόρου από τα υγρά απόβλητα απαιτεί τη μεταφορά του φωσφορικού άλατος από την υγρή μορφή σε μια στερεά μορφή, που θα ακολουθείται από μια διεργασία διαχωρισμού υγρών-στερεών και στο τέλος την απομάκρυνση του φωσφόρου με την περίσσεια ιλύος (Νταρακάς, 2010).

1.2.8 Άζωτο

Το άζωτο στα υγρά απόβλητα απαντάται σε τέσσερις μορφές: ως οργανικό άζωτο, ως αμμωνία και ως νιτρώδη και νιτρικά. Οι δύο πρώτες μορφές είναι οι κυριότερες. Το 40% του συνολικού αζώτου στα υγρά απόβλητα είναι οργανικό και το 60% είναι με τη μορφή της αμμωνίας. Στο συνηθισμένο pH των υγρών αποβλήτων (6-7) η αμμωνία βρίσκεται σχεδόν εξ ολοκλήρου στη μορφή του αμμωνίου (NH_4^+). Όπως αναφέρθηκε, η απομάκρυνση του αζώτου επιβάλλεται με σκοπό κυρίως την αποφυγή του φαινομένου του ευτροφισμού στους φυσικούς αποδέκτες. Πιο συγκεκριμένα αυξημένες συγκεντρώσεις αζώτου είναι δυνατό να προκαλέσουν την ανεξέλεγκτη ανάπτυξη φυκών και υδρόβιων φυτών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ότι με το θάνατο των φυτών αυτών, οι οργανικές ουσίες που περιέχουν, δεσμεύουν το διαλυμένο οξυγόνο κατά την βιολογική τους αποδόμηση. Με αυτό τον τρόπο προκαλείται θάνατος στα ψάρια και σε όλους τους ζωικούς οργανισμούς οι οποίοι

διαβιούν στους αποδέκτες (Λυμπεράτος, 2001, Στάμου, 1995). Επίσης, η ύπαρξη νιτρικών στο πόσιμο νερό αποτελεί σημαντικό κίνδυνο για τη δημόσια υγεία. Τα νιτρικά αντιδρούν με άλλες ενώσεις και σχηματίζουν καρκινογόνες ουσίες ή ενώσεις που προκαλούν μεταλλάξεις στα ανθρώπινα κύτταρα. Ακόμη, τα νιτρικά ανάγονται σε νιτρώδη στο στομάχι των βρεφών και σχηματίζουν στο αίμα την μεθαιμοσφαιρίνη προκαλώντας έτσι τη νόσο μεθαιμοσφαιρινεμία. Τέλος τα νιτρώδη είναι πάρα πολύ τοξικά για τον ανθρώπινο οργανισμό σε οποιαδήποτε ηλικία γιατί προκαλούν μεταλλάξεις στα ανθρώπινα κύτταρα και σχετίζονται με την ανάπτυξη πολλών μορφών καρκίνου (Λυμπεράτος, 2001). Η απομάκρυνση του αζώτου μπορεί να είναι ένα ολοκληρωμένο κομμάτι του συστήματος βιολογικής επεξεργασίας ή μια επιπλέον διεργασία σε μια ήδη υπάρχουσα μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Όλες οι διεργασίες βιολογικής απομάκρυνσης αζώτου περιλαμβάνουν ένα αερόβιο στάδιο στο οποίο λαμβάνει χώρα νιτροποίηση. Για την ολοκλήρωση της απομάκρυνσης του αζώτου πρέπει να υπάρχει και ένα ανοξικό στάδιο στο οποίο λαμβάνει χώρα απονιτροποίηση (Νταρακάς, 2010).

1.2.9 Κατανομή σωματιδίων (particle size distribution Psd)

Η επεξεργασία υγρών αποβλήτων καθώς και οι σχεδιαστικοί παράμετροί της συνήθως καθορίζονται από ποιοτικούς παράγοντες σύστασης των αποβλήτων όπως το BOD και τα SS. Ωστόσο, η απομάκρυνση των ρύπων κάθε είδους αποτελεί μια σύνθετη διεργασία αφού περιλαμβάνει τόσο σωματιδιακούς, όσο και διαλυτούς ρύπους διαφόρων ειδών. Σύμφωνα με προηγούμενες μελέτες (Tchobanoglous et al., 1985), η επεξεργασία των αποβλήτων συνδέεται στενά με την κατανομή και το μέγεθος των σωματιδίων-ρυπαντών. Ο χαρακτηρισμός και η κατανόηση των διαφόρων μεγεθών των σωματιδίων στα απόβλητα είναι απαραίτητος για τη σχεδίαση και βελτιστοποίηση των μεθόδων επεξεργασίας. Ενδεικτικά, η αποτελεσματικότητα των διεργασιών καθίζησης, προσρόφησης, μεταφοράς μάζας, διάχυσης και βιοχημικών αντιδράσεων σχετίζεται άμεσα με την κατανομή των σωματιδίων.

Μέγεθος σωματιδίων οργανικής ύλης στα απόβλητα

Ανάλογα με το μέγεθος των σωματιδίων και τις τεχνολογίες επεξεργασίας υγρών αστικών αποβλήτων, αυτά παραδοσιακά χωρίζονται σε 4 μεγάλες κατηγορίες. Δηλαδή σε διαλυμένα (soluble solids, $<0,08\mu\text{m}$), σε κολλοειδή και υπέρ-κολλοειδή (colloidal, $0,08\text{-}1,0\mu\text{m}$, supra-colloidal, $1\text{-}100\mu\text{m}$) και σε καθιζάνοντα (settleable solids, $>100\mu\text{m}$). Στον πίνακα 1-3 παρουσιάζεται το ποσοστό συνεισφοράς των σωματιδίων ανάλογα με το μέγεθός τους στα ποιοτικά χαρακτηριστικά ενώ στον πίνακα 1-4 δίνεται η περιεκτικότητα σε οργανική ύλη για τα διάφορα μεγέθη των σωματιδίων. Στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων, τα σωματίδια που έχουν τη μεγαλύτερη επί τοις 100 συνεισφορά σε SS και BOD είναι τα σωματίδια μικρότερα των $50\mu\text{m}$. Πιο συγκεκριμένα, τα κολλοειδή και τα υπερκολλοειδή

παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον. Με συμβατικές τεχνικές μέτρησης των στερεών, σωματίδια κάτω των 1 μm είναι συνήθως μη ανιχνεύσιμα, ωστόσο υπάρχει πλήθος ανόργανων στοιχείων και ιών που έχουν μικρότερο μέγεθος από το όριο αυτό. Στην πλειονότητά τους είναι ιοί, μακρομόρια, πολυσακχαρίτες, πρωτεΐνες, λιπίδια και νουκλεϊνικά οξέα. Παρά το γεγονός αυτό, η μεγαλύτερη περιοχή ενδιαφέροντος βρίσκεται στα σωματίδια μεγαλύτερα από 0,1 μm καθώς αποτελούν το 30-85% της οργανικής ρύπανσης στα απόβλητα. Ο TOC και το COD σε ποσοστό 63-70% και 48-69% αντίστοιχα, εντοπίζονται επίσης σε ίδιου εύρους σωματίδια (Levine et al., 1991). Αξίζει να σημειωθεί ότι η ποιοτική σύσταση των λυμάτων διαφέρει από τόπο σε τόπο-άρα και το μέγεθος των σωματιδίων, ενώ ένας ακόμη παράγοντας που διαφοροποιεί τη σύσταση των αστικών λυμάτων είναι το μέγεθος του αποχετευτικού δικτύου και των σωληνώσεων του. Έχει παρατηρηθεί ότι μεγάλα σε μήκος αποχετευτικά συστήματα οδηγούν σε μεγαλύτερο χρόνο μεταφοράς των λυμάτων στις σωληνώσεις με αποτέλεσμα την μείωση του μεγέθους των σωματιδίων που τελικά εισέρχονται προς επεξεργασία (Gikas et al., 2013). Τέλος, εκτός από τις σωματιδιακές διαφοροποιήσεις, στο δίκτυο σωληνώσεων λαμβάνουν χώρα και άλλες διεργασίες, που διαφοροποιούν εν πολλοίς την οργανική σύσταση των αποβλήτων (Ødegaard, 1992).

Sample	Percent of organic matter contained in indicated size range, μm				Reference
	<0.001	0.001-1	1-100	> 100	
Untreated wastewater	41	16	28	15	Balrat (1957)
	31	14	24	31	Heukelekian and Balrat (1959)
	38	13	19	30	Painter and Viney (1959)
	29	13	31	27	Walter (1961a,b)
	29	15	22	34	Walter (1961a,b)
	25	14	27	34	Hunter and Heukelekian (1961)
	18	15	25	42	Hunter and Heukelekian (1961)
	25	14	27	34	Hunter and Heukelekian (1965)
	23	14	23	40	Hunter and Heukelekian (1965)
	30	19	10	41	Hunter and Heukelekian (1965)
	50	9	18	23	Rickert and Hunter (1967)
	47	9	19	25	Rickert and Hunter (1967)
	40	10	21	29	Rickert and Hunter (1971)
	12	15	30	43	Munch <i>et al.</i> (1980)
Primary effluent	9	48	15	28	Munch <i>et al.</i> (1980)
	51 ^a	8 ^b	34 ^c	7 ^d	Levine (1985)
	50 ^a	19 ^b	26 ^c	5 ^d	Levine (1985)
	25 ^a	2 ^b	13 ^c	60 ^d	Levine (1985)
	35 ^a	11 ^b	13 ^c	41 ^d	Levine (1985)
Secondary effluent					
Activated sludge	79	2	18	1	Rickert and Hunter (1967)
	78	3	16	3	Rickert and Hunter (1967)
	74	5	31	—	Rickert and Hunter (1971)
	28 ^a	3 ^b	20 ^c	49 ^d	Levine (1985)
	30 ^a	2 ^b	38 ^c	30 ^d	Levine (1985)
	26 ^a	9 ^b	49 ^c	16 ^d	Levine (1985)
	46 ^a	7 ^b	34 ^c	13 ^d	Levine (1985)
Trickling filter	40	60	—	—	Painter (1973)
Wastewater sludge					
Primary	5	1	4	90	Karr and Keinath (1978)
Secondary	3	0.1	1	96	Karr and Keinath (1978)
Anaerobic	5	3	19	72	Karr and Keinath (1978)

^a < 0.1 μm ; ^b 0.1-1 μm ; ^c 1-12 μm ; ^d > 12 μm .

1-3 Ποσοστά οργανικής ύλης σωματιδίων ανάλογα με το μέγεθός τους (Levine et al., 1991)

Item	Classification			
	Sol- uble	Col- loidal	Supra- colloidal	Settle- able
Size range (μm)	<0.08	0.08–1.0	1–100	>100
COD (% of total)	25	15	26	34
TOC (% of total)	31	14	24	31
Organic constituents (% of total solids)				
Grease	12	51	24	19
Protein	4	25	45	25
Carbohydrates	58	7	11	24
Biochemical oxidation rate, k , d^{-1} (base 10)	0.39	0.22	0.09	0.08

1-4 Συνεισφορά των σωματιδίων στα ποιοτικά χαρακτηριστικά ανάλογα με το μέγεθος τους (Levine et al., 1985)

Αλληλεπίδραση μεγέθους σωματιδίων στις τεχνολογίες επεξεργασίας

Καθίζηση

Πολλές από τις διεργασίες επεξεργασίας αποβλήτων επηρεάζονται άμεσα λειτουργικά από το μέγεθος των σωματιδίων που περιέχονται στα απόβλητα. Σε μια τυπική πρωτοβάθμια καθίζηση, τα στερεά που καθιζάνουν αποτελεσματικά είναι συνήθως μεγαλύτερα από 50 μm . Φυσικά μεγάλο ρόλο σε αυτό παίζει η ταχύτητα καθίζησης που εξαρτάται από το μέγεθος όσο και από την πυκνότητα του σωματιδίου. Μαθηματικά περιγράφεται και υπολογίζεται από το νόμο του Stokes. Για τυπικές τιμές σχεδίασης υπερχειλίσας από 32-48 $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ σε δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης με χρόνο παραμονής μιάμιση με δυόμιση ώρες, το μικρότερο μέγεθος σωματιδίων που θα απομακρυνθεί είναι προσεγγιστικά από 54-67 μm , υποθέτοντας μια μέση πυκνότητα υγρού αποβλήτου 1,2 g/m^3 και μέση θερμοκρασία 25 °C. Αν η κατανομή μεγέθους και το ειδικό βάρος των στερεών είναι γνωστά, η συνολική ποσοστιαία απομάκρυνση για συγκεκριμένη επιφανειακή φόρτιση μπορεί να προσδιοριστεί από την εξίσωση 1, Bhargava-Rajagopal:

$$\frac{1}{R} = \left(\frac{U}{177,88 + 44,71U} \right) + \left\{ \frac{1}{\exp \left[(0,003186U + 2,036) \ln P_{10} + \exp \left(\frac{\ln U + 4,627}{2,809} \right) \right]} \right\} V_s \left(\frac{2,65 - 1}{s - 1} \right) \left(\frac{v_T}{v_{30}} \right)$$

Εξίσωση 1: Bhargava-Rajagopal (συνολική ποσοστιαία απομάκρυνση για συγκεκριμένη επιφανειακή φόρτιση)

όπου R: συνολική απομάκρυνση, %

U: συντελεστής ομοιομορφίας (uniformity coefficient) της κατανομής μεγέθους

P_{10} : ενεργό μέγεθος (effective size) της κατανομής μεγέθους (σε mm)

V_s : ταχύτητα καθίζησης (σε m/s)

s: ειδικό βάρος

v_T, v_{30} : κινηματικό ιξώδες σε θερμοκρασία T και 30 °C αντίστοιχα

Η παραπάνω σχέση έχει προκύψει για στερεά ειδικού βάρους 2,65 (π.χ. άμμος) και θερμοκρασία 30 °C και ισχύει για αιωρήματα που περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις ανόργανων υλικών. Για διαφορετικά ειδικά βάρη και θερμοκρασίες απαιτείται διόρθωση της ταχύτητας καθίζησης σύμφωνα με τους δύο τελευταίους όρους της εξίσωσης. Ο συντελεστής ομοιομορφίας και το ενεργό μέγεθος είναι χαρακτηριστικά στοιχεία μιας κατανομής μεγέθους σωματιδίων, η οποία προσδιορίζεται με κοσκίνιση προζυγισμένης ξηρής ποσότητας στερεών σε σειρά κοσκίνων. Το ενεργό μέγεθος (P_{10}) ορίζεται ως η διάμετρος εκείνη από την οποία το 10% κατά βάρος του υλικού έχει μικρότερη διάμετρο. Ο συντελεστής ομοιομορφίας ορίζεται ως το πηλίκο (P_{60}/P_{10}), όπου P_{60} είναι η διάμετρος εκείνη από την οποία το 60% κατά βάρος του υλικού έχει μικρότερη διάμετρο. Γενικά η καθίζηση μπορεί να ενισχυθεί χημικά με προσθήκη ενός άλατος σιδήρου, δίνοντας έτσι καλύτερα αποτελέσματα απομάκρυνσης στερεών (Hendricks, 2006).

Βιολογική επεξεργασία

Κατά τη διάρκεια της βιολογικής επεξεργασίας, οι κατανομές και το μέγεθος των σωματιδίων αλλάζουν συνεχώς λόγω της νέας κυτταρικής σύνθεσης, του μηχανισμού της προσρόφησης, της βιοχημικής οξείδωσης αλλά και της ενζυματικής διάσπασης των μακρομορίων. Το εύρος των μεγεθών κατά τη βιολογική επεξεργασία διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην αποτελεσματικότητα της διεργασίας. Μόρια με μοριακή μάζα μικρότερη από 10^3 amu μπορούν να απορροφηθούν από τα βακτήρια. Γενικά, κατά τη διαδικασία της νιτροποίησης-απονιτροποίησης, τα μικρότερου μεγέθους σωματίδια προσροφώνται ευκολότερα. Επίσης, η διεργασία του αερισμού μπορεί να γίνει πιο αποδοτική και με μικρότερη απαίτηση σε οξυγόνο εάν το απόβλητο πριν εισέρθει για βιολογική επεξεργασία έχει προεπεξεργαστεί με σκοπό τη μείωση της ποσότητας των μεγάλου μεγέθους σωματιδίων. Ιδιαίτερη σημασία έχει και η συγκέντρωση των σωματιδίων εκείνων με μέγεθος από 1-10 μ m, τα λεγόμενα μακροκολλοειδή (macrocolloidal), τα οποία παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη δυσκολία απομάκρυνσης μετά από αερόβια βιολογική επεξεργασία (Levine et al., 1991). Σε συστήματα με αρκετά μεγάλους χρόνους παραμονής (εκτεταμένος αερισμός), η συγκέντρωση των μακροκολλοειδών δεν είναι τόσο σημαντική.

Εκτός όμως από τις παραπάνω διεργασίες, σημαντικά επηρεάζονται και οι διεργασίες της λάσπης, όπως η αερόβια και η αναερόβια χώνευση. Έχει παρατηρηθεί ότι σωματίδια μεγαλύτερα των 100 μ m είναι πολύ πιο δύσκολο να χωνευθούν αποτελεσματικά. Τα σωματίδια αυτά, έχουν την τάση να διασπώνται σε μικρότερα κατά τη διάρκεια της χώνευσης και από καθιζάνοντα (>100 μ m) μετατρέπονται σε κολλοειδή και υπερκολλοειδή. Τα τελευταία είναι και τα σημαντικότερα για την αφυδάτωση της λάσπης (Karr and Keinath, 1978). Επίσης, η πρωτοβάθμια παραγόμενη λάσπη έχει το 90% της οργανικής της ύλης σε σωματίδια μεγαλύτερα των 100 μ m (καθιζάνοντα). Τέλος, εκτός της βιολογικής επεξεργασίας, διεργασίες όπως η απολύμανση (τόσο για χλωρίωση όσο και για χρήση υν ακτινοβολίας) γίνεται αποτελεσματικότερη όταν το απόβλητο είναι απαλλαγμένο από τα πιο ογκώδη σωματίδια. Αυτό συμβαίνει κυρίως λόγω του ότι τα μεγαλύτερα στερεά λειτουργούν ως ασπίδα με αποτέλεσμα να χρειάζονται μεγαλύτερες ποσότητες χλωρίου, καθώς και μεγαλύτερες δόσεις ακτινοβολίας. Προφανώς αυξάνονται μαζί και οι χρόνοι παραμονής.

1.3 Παραγωγή αστικών αποβλήτων ανά ισοδύναμο κάτοικο

Εάν σε μια εγκατάσταση επεξεργασίας αστικών λυμάτων διατεθούν και βιομηχανικά απόβλητα για επεξεργασία, τότε το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD) των αστικών λυμάτων, όπως και άλλες παράμετροι επιβαρύνονται. Στον υπολογισμό της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων είναι απαραίτητο στην ποσότητα των αστικών λυμάτων να προστεθούν και τα βιομηχανικά απόβλητα. Σαν

μέτρο σύγκρισης της οργανικής ρύπανσης των βιομηχανικών αποβλήτων σε σχέση με την ρύπανση των αστικών λυμάτων χρησιμοποιείται ο όρος «Ισοδύναμος Αριθμός Κατοίκων (I.A.K.)» ή «Ισοδύναμος πληθυσμός (I.Π.)». Για κατανάλωση νερού 167 λίτρων ανά κάτοικο και ημέρα, η τιμή του BOD είναι 360 mg/l. Έτσι η ρύπανση ανά κάτοικο και ημέρα είναι: Επεξεργασία $360 \times 167 = 60000$ mg ή 60 gr BOD / κάτοικο και ημέρα. Με την αύξηση του βιοτικού επιπέδου και τη μεγάλη κατανάλωση νερού, η τιμή αυτή θεωρείται σήμερα χαμηλή και τελευταία λαμβάνεται συχνά η τιμή 70 ή και 80 gr BOD ανά κάτοικο και ημέρα. Σύμφωνα με την οδηγία 91/271/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 21/5/91 για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων, Ισοδύναμος Πληθυσμός είναι το αποικοδομήσιμο οργανικό φορτίο που παρουσιάζει BOD₅ ίσο προς 60 gr / ημέρα. Με τη βοήθεια των παραπάνω αριθμών υπολογίζεται και η επιβάρυνση των βιομηχανικών αποβλήτων σε σχέση με τα αστικά λύματα. Παράδειγμα επιβάρυνσης με ισοδύναμους κατοίκους δίνεται στον πίνακα 1-5.

Κλάδος βιομηχανίας	Βιομηχανία	Μονάδα παραγωγής	Κατανάλωση νερού ανά μονάδα παραγωγής (m ³)	I.A.K.
Βιομηχανίες τροφίμων	Εργοστάσιο σιτηρών	1 τόνος σιτηρών	2 – 8	500
	Κονσερβοποιεία λαχανικών	1 τόνος κονσερβών	4 – 14	500
	Εργοστάσιο ζαχαροπλαστικής	1 τόνος γλυκών	6 – 26	40 – 150
	Εργοστάσιο ζάχαρης	1 τόνος τεύτλων	10 – 20	120 – 400
	Επεξεργασία κρεάτων	1 βοοειδής ή 2 χοίροι	0,3 – 0,4	70 – 200
	Γαλακτοκομεία (χωρίς παραγωγή τυριών)	1000 lt γάλακτος	4 – 6	10 – 30
	Γαλακτοκομεία (με παραγωγή τυριών)	1000 lt γάλακτος	10	50 – 250
	Βιομηχανία μαργαρίνης	1 τόνος μαργαρίνης	20	500
	Ζυθοποιία	1000 lt ζύθου	5 – 20	300 – 2000
	Οινοποιεία – ποτά	1000 lt σταφύλια	4 – 6	1500 - 2000
Βιομηχανίες δέρματος και υφανσίμων υλών	Βυρσοδεψεία	1 τόνος ακατέργαστων δερμάτων	40 – 60	1000 – 4000
	Πλυντήρια μαλλιού	1 τόνος μαλλιού	30 – 70	2000 – 3000
	Λευκαντήρια	1 τόνος εμπορεύματος	50 – 100	250 – 350
	Βαφεία	1 τόνος εμπορεύματος	20 – 50	2000 – 3500

1-5 Παράδειγμα επιβάρυνσης ισοδύναμων κατοίκων (Νταρακάς, 2006)

1.4 Βασικές μέθοδοι επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων

1.4.1 Προεπεξεργασία υγρών αποβλήτων

Η συμβατική επεξεργασία των αποβλήτων και συγκεκριμένα της απομάκρυνσης των στερεών κάθε είδους περιλαμβάνει αρκετές φάσεις και τεχνικές. Κάθε μέθοδος εφαρμόζεται σε συγκεκριμένο στάδιο επεξεργασίας και εξυπηρετεί συγκεκριμένο σκοπό. Αρχικά στην προεπεξεργασία, τα λύματα περνούν από εσχάρες διήθησης

όπου απομακρύνονται μεγάλου μεγέθους κυρίως σωματιδίων. Οι εσχάρες είναι διατάξεις παράλληλων μεταλλικών ράβδων με διάκενα των οποίων η διάμετρος καθορίζεται από το μέγεθος των σωματιδίων (5 έως 150mm). Απαιτείται καθαρισμός τους σε τακτά χρονικά διαστήματα, που γίνεται συνήθως μηχανικά. Εναλλακτικά είναι δυνατόν για την κατακράτηση ογκωδών σωματιδίων να χρησιμοποιούνται περιστρεφόμενα κόσκινα. Τα σωματίδια που κατακρατούνται από τη διαδικασία οδηγούνται για ταφή ή αλέθονται και προστίθενται πάλι στα λύματα. Συνήθως υπάρχουν εφεδρικά κανάλια σε περίπτωση εργασιών συντήρησης στις κύριες εσχάρες. Η εσχάρωση μπορεί επίσης να γίνει και χειροκίνητα. Στην εικόνα 1-6 παρουσιάζεται μια τυπική διάταξη μηχανικής εσχάρωσης.



1-6 Τυπική διάταξη μηχανικής εσχάρωσης (ΔΕΥΑ Λέσβου)

Μετά την εσχάρωση, τα λύματα οδηγούνται σε εξαμμωτές. Η εξάμμωση γίνεται σε δεξαμενές καθίζησης συνεχούς ροής (κανάλια διήθησης) και έχει σκοπό την κατακράτηση υλικών με μεγάλο ειδικό βάρος όπως η άμμος. Η διαδικασία μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε σε οριζόντια είτε σε αεριζόμενη διάταξη. Εναλλακτικά χρησιμοποιείται φυγοκέντριση. Τα συλλεγόμενα στερεά ξηραίνονται και συνήθως οδηγούνται προς ταφή.

1.4.2 Απομάκρυνση Στερεών από υγρά απόβλητα

Πρωτοβάθμια επεξεργασία

Βασική συμβατική μέθοδος απομάκρυνσης μεγάλου όγκου στερεών που ακολουθεί της προεπεξεργασίας είναι η βαρυτική καθίζηση. Στην πρωτοβάθμια επεξεργασία, τα λύματα αφήνονται σε ηρεμία σε μεγάλες δεξαμενές με χρόνο παραμονής περίπου μιάμιση με δυόμιση ώρες ώστε να καθιζάνουν σε μορφή ιζήματος τα

στερεά κάθε μεγέθους που περιέχονται στο λύμα. Το ίζημα συλλέγεται με μηχανικά ξέστρα και οδηγείται σε μετέπειτα επεξεργασία ενώ η υπερχειλίση της δεξαμενής αντίστοιχα συνεχίζει σε επόμενη διεργασία. Το βάθος του στρώματος της λάσπης πρέπει να είναι τουλάχιστον 1,2 – 1,5 μέτρα κάτω από τον υπερχειλιστή, ενώ το πάχος του στρώματος δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 0,9-1,2 μέτρα (US Environmental Protection Agency , 1977). Οι τυπικές τιμές απομάκρυνσης στερεών για μια πρωτοβάθμια καθίζηση ανέρχονται σε 40-50%, ενώ για το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD_5) ανέρχεται σε 22-26% (Zhou, 1992). Οι τιμές για μια ιδανική κατάσταση καθίζησης είναι 50-70%. Για τη σχεδίαση μιας τυπικής διάταξης δεξαμενών καθίζησης καθοριστικός παράγοντας είναι η παροχή εισόδου. Στη δευτεροβάθμια καθίζηση επιτυγχάνεται η διαύγαση με ποσοστά απομάκρυνσης των στερεών 80- 90%. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι παρόμοια με αυτή της πρωτοβάθμιας καθίζησης. Συχνά στις παραπάνω φυσικές διεργασίες, γίνεται προσθήκη χημικών κροκιδωτικών (συνήθως μεταλλικά άλατα όπως ο τριχλωρικός σίδηρος) ώστε να επιταχυνθεί η διαδικασία. Αυτό γίνεται επίσης στην τριτοβάθμια επεξεργασία πριν το λύμα οδηγηθεί για απολύμανση. Σε αυτή την περίπτωση έχουμε χημική και βαρυτική καθίζηση-κατακρήμνιση. Στην εικόνα 1-7 παρουσιάζεται μια κυκλική δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης. Σημαντικό στοιχείο είναι ότι στις ελληνικές ΕΕΛ (κυρίως σε επαρχιακές πόλεις), η χρήση της πρωτοβάθμιας καθίζησης αποφεύγεται κατά κύριο λόγο και στη θέση της χρησιμοποιείται συνήθως σύστημα εκτεταμένου αερισμού. Βασικοί λόγοι είναι οι μεγάλες απαιτήσεις σε εκτάσεις για τις δεξαμενές καθίζησης, καθώς και η μετέπειτα επεξεργασία της πρωτοβάθμιας παραγόμενης λάσπης, που απαιτεί ενεργοβόρες διεργασίες (πάχυνση, χώνευση, αφυδάτωση).



1-7 Κυκλική δεξαμενή καθίζησης (Hellas Environment, Βι.Πε Πάτρας)

Σηπτικές Δεξαμενές- Δεξαμενές Imhoff

Σε αποκεντρωμένα συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων που εξυπηρετούν μεμονωμένες οικίες ή μικρά συγκροτήματα οικιών, χρησιμοποιούνται συχνά σηπτικές δεξαμενές που υποκαθιστούν αρκετές διεργασίες ενός συμβατικού βιολογικού καθαρισμού. Στην σηπτική δεξαμενή απομακρύνονται περίπου 50-80% των αιωρούμενων στερεών ενώ παράλληλα γίνεται μερική αναερόβια χώνευση, λιποσυλλογή και μετατροπή-με κατάλληλους μικροοργανισμούς-διαφόρων οργανικών ενώσεων σε αέρια (διοξείδιο του άνθρακα, υδρόθειο κλπ). Έτσι, επιτυγχάνεται ταυτόχρονα η απομάκρυνση των στερεών και η βιολογική επεξεργασία. Αντίστοιχη δράση έχει και η δεξαμενή καθίζησης τύπου Imhoff για μεγαλύτερες παροχές εισόδου. Οι δεξαμενές Imhoff αποτελούνται από δύο κατακόρυφες λεκάνες τετραγωνικής ή κυκλικής διατομής με κωνικούς πυθμένες. Οι δεξαμενές αυτές επιτελούν δύο λειτουργίες ταυτόχρονα. Ο άνω θάλαμος λειτουργεί σαν δεξαμενή καθίζησης διευκολύνοντας την απομάκρυνση των στερεών σωματιδίων ενώ ο κάτω θάλαμος λειτουργεί σαν περιοχή αναερόβιας χώνευσης. Η απομάκρυνση των στερεών είναι άνω του 50% (ΥΠΕΚΑ, 2012).

1.4.3 Βιολογική επεξεργασία υγρών αποβλήτων

Τεχνικές απομάκρυνσης του BOD

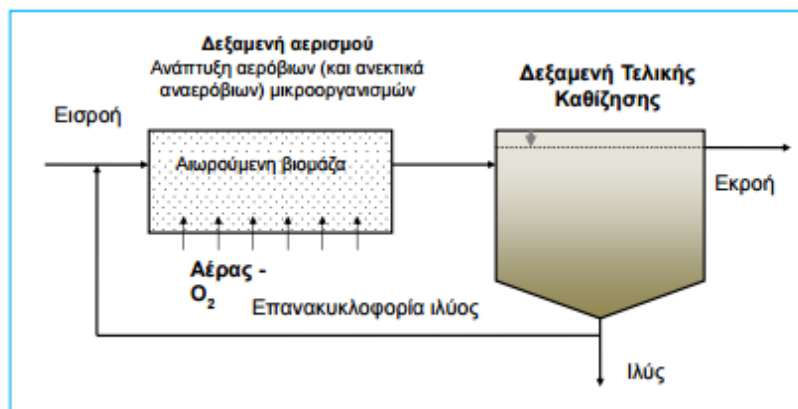
Γενικά, η επεξεργασία που ακολουθείται για την απομάκρυνση του BOD εξαρτάται από το είδος του αποβλήτου που έχουμε προς επεξεργασία. Σημαντικός παράγοντας είναι ο λόγος του BOD/COD (chemical oxygen demand) καθώς και η περιεκτικότητα του αποβλήτου σε τοξικές ουσίες. Βασικές κατηγορίες είναι η χημική και η βιολογική οξείδωση. Η χημική οξείδωση των αποβλήτων βασίζεται στην παραγωγή ριζών υδροξυλίου ($\bullet\text{OH}$) και περιλαμβάνει πρακτικά τις παρακάτω

τεχνικές: 1) φωτοκαταλυτική οξείδωση 2) ηλεκτρολυτική οξείδωση 3) οξείδωση με αντιδράσεις fenton 4) οξείδωση με υπερήχους 5) οξείδωση με UV σε συνδιασμό με H_2O_2 ή O_3 . Η βιολογική οξείδωση βασίζεται στη χρήση του οργανικού ρυπαντικού φορτίου από βακτήρια σαν θρεπτικό υπόστρωμα για την ανάπτυξή τους. Ανάλογα με την παρουσία ή όχι οξυγόνου στην αποδόμηση του οργανικού φορτίου από τα βακτήρια, η βιολογική οξείδωση χαρακτηρίζεται σε αερόβια και αναερόβια. Στην αερόβια βιολογική οξείδωση, η παρουσία οξυγόνου κατά τη διάρκεια της αποδόμησης του BOD παρέχει πλούσια ενέργεια στα αερόβια βακτήρια με αποτέλεσμα η δευτερογενής βιολογική λάσπη που παράγεται αποτελεί μεγάλο μέρος του αρχικού BOD (60% περίπου). Τεχνικές αερόβιας βιολογικής επεξεργασίας είναι το σύστημα ενεργού ιλύος, τα βιόφιλτρα και οι βιοδίσκοι. Στην αναερόβια βιολογική αποδόμηση, η έλλειψη οξυγόνου που απαιτείται κατά την αναερόβια αποδόμηση του BOD αναγκάζει το αναερόβιο οικοσύστημα να καταναλώσει μεγάλο μέρος του υποστρώματος για τις ενεργειακές του ανάγκες και έτσι η δευτερογενής βιολογική λάσπη που παράγεται αποτελεί μικρό μέρος του αρχικού BOD (10% περίπου). Τεχνικές αναερόβιας βιολογικής επεξεργασίας είναι τα συστήματα ενεργού ιλύος πλήρους αναμίξεως, τα αναερόβια βιόφιλτρα και οι αντιδραστήρες UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) (Στάμος, 2004).

Σύστημα ενεργού ιλύος

Το σύστημα ενεργού ιλύος αποτελεί το πιο διαδεδομένο και αποτελεσματικό σύστημα βιολογικής επεξεργασίας αστικών λυμάτων. Η εκτεταμένη ανάπτυξη κι εφαρμογή του συστήματος, αρχικά με τη χρήση μόνο της αερόβιας διεργασίας, οφείλεται στην οικονομία του και στην εξασφάλιση εκροής υψηλής ποιότητας. Η φιλοσοφία στην οποία βασίστηκε η μέθοδος της ενεργούς ιλύος είναι η απομάκρυνση του οργανικού φορτίου των λυμάτων από τους μικροοργανισμούς που αναπτύσσονται στο περιβάλλον της αερόβιας δεξαμενής. Σημαντικότερο στοιχείο στην ιστορική εξέλιξη του σχεδιασμού συστημάτων επεξεργασίας λυμάτων με ενεργό ιλύ, υπήρξε η χρήση ανοξικών και αναερόβιων αντιδραστήρων για την βιολογική απομάκρυνση των θρεπτικών, αζώτου και φωσφόρου χωρίς την χρήση χημικών. Η απόδοση μίας εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων (ΕΕΛ) με τη μέθοδο της ενεργού ιλύος εξαρτάται άμεσα από την ικανότητα της δεξαμενής δευτεροβάθμιας καθίζησης να επιτρέπει την ταχεία καθίζηση της εισερχόμενης σε αυτή βιομάζας και το διαχωρισμό της από τα επεξεργασμένα λύματα (διαύγαση). Καθοριστικό ρόλο παίζει επίσης και η επαρκής συμπύκνωση της βιομάζας, έτσι ώστε να είναι αποτελεσματική και οικονομική η επανακυκλοφορία της. Τόσο η ταχύτητα καθίζησης της βιομάζας όσο και ο βαθμός συμπύκνωσής της, εξαρτώνται από τη φύση των βιοκροκίδων. Ο κύκλος λειτουργίας της περιγράφεται ως εξής: Τα αερόβια βακτήρια αναπτύσσονται καθώς ταξιδεύουν εντός της δεξαμενής αερισμού. Στη συνέχεια πολλαπλασιάζονται γρήγορα λόγω της επάρκειας τροφής, οξυγόνου αλλά και του είδους του περιβάλλοντος που τους παρέχεται. Τη στιγμή

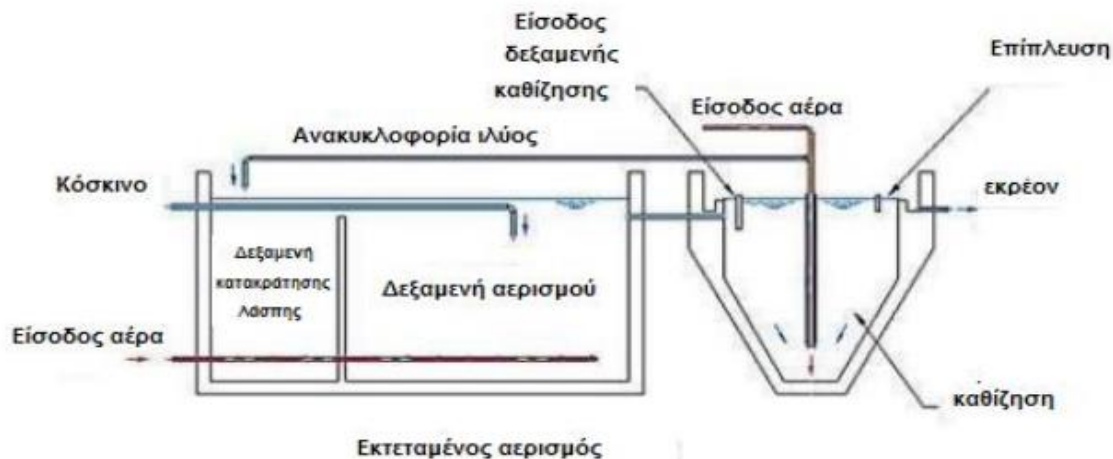
που τα απόβλητα φθάνουν στο τέλος της δεξαμενής (τέσσερις έως οκτώ ώρες), οι μικροοργανισμοί έχουν χρησιμοποιήσει το μεγαλύτερο μέρος της οργανικής ύλης για τη συντήρησή τους και την παραγωγή νέων κυττάρων. Ο κύκλος ξανά ξεκινά με την προσθήκη μέρους της ιλύος στην αρχή της δεξαμενής αερισμού. Το διάγραμμα ροής ενός συστήματος ενεργού ιλύος παρουσιάζεται στην εικόνα 1-8.



1-8 Κάτοψη συστήματος ενεργού ιλύος (Νταρακάς, 2014)

Σύστημα παρατεταμένου αερισμού

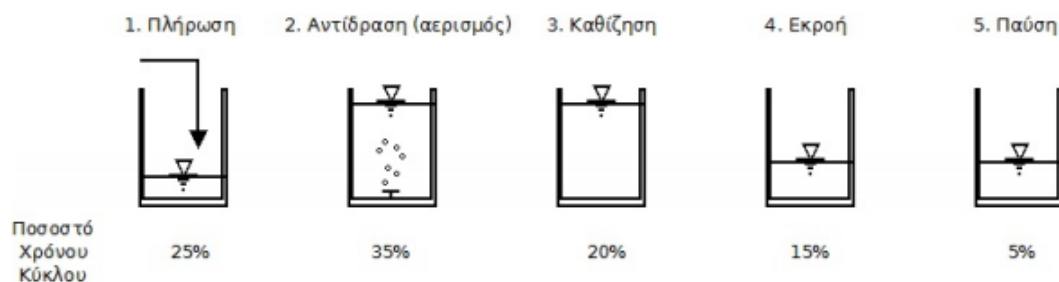
Η διαδικασία λαμβάνει χώρα σε δεξαμενές αερισμού για περισσότερο από 18 ώρες. Ο αέρας μπορεί να παρέχεται με μηχανικό τρόπο ή με κατάλληλους διαχυτήρες. Η ανάμιξη γίνεται με αερισμό ή μηχανικό τρόπο. Αυτή η μέθοδος λειτουργεί σε υψηλούς χρόνους κατακράτησης των στερεών με αποτέλεσμα μια κατάσταση όπου μπορεί να λάβει χώρα και νιτροποίηση, με τους μικροοργανισμούς να ανταγωνίζονται για τις μικρές ποσότητες τροφής. Αυτή η εξαιρετικά ανταγωνιστική κατάσταση οδηγεί σε μικρή παραγωγή περίσσειας ιλύος. Η διαδικασία εκτεταμένου αερισμού μπορεί να δέχονται περιοδικά (διαλείπουσα) υψηλές φορτίσεις, χωρίς να διαταράσσεται το σύστημα. Η μέθοδος παράγει μικρότερες ποσότητες λάσπης από άλλες μεθόδους αερόβιας επεξεργασίας. Η εύκολη λειτουργία και εγκατάστασή του, καθώς και η μικρή παραγωγή περίσσειας λάσπης είναι από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματά του. Ωστόσο έχει σχετικά υψηλές ανάγκες σε ενέργεια, δεν επιτυγχάνει από-νιτροποίηση και δε μπορεί να διαχειριστεί αποτελεσματικά λύματα με διαφορετικά ποιοτικά χαρακτηριστικά. Στην εικόνα 1-9 παρουσιάζεται μια τυπική διάταξη συστήματος παρατεταμένου αερισμού. Επίσης, ως ένα τέτοιο σύστημα λειτουργούν και οι οξειδωτικοί τάφροι με μεγάλους χρόνους παραμονής. Η παραλλαγή αυτή συνήθως επιλέγεται για μικρότερες εισερχόμενες παροχές (έως 20000 ισοδύναμοι κάτοικοι).



1-9 Σύστημα παρατεταμένου αερισμού (Σαρηγιαννής, 2015)

Αντιδραστήρες διαλείπουσας λειτουργίας (SBR)

Στους αντιδραστήρες αυτού του τύπου οι διεργασίες του αερισμού, οξείδωσης και καθίζησης λαμβάνουν χώρα εντός της ίδιας δεξαμενής, σε αντίθεση με άλλα συστήματα όπου απαιτούνται διαφορετικές δεξαμενές για τις διαφορετικές φάσεις. Τα συστήματα SBR αποτελούνται από πέντε αλληπάλλληλα βήματα: πλήρωση, αντίδραση (αερισμός), καθίζηση, απομάκρυνση και αδράνεια. Η απομάκρυνση της περίσσιας υλός λαμβάνει χώρα κατά τη φάση της καθίζησης. Το σύστημα SBR λειτουργεί ως λεκάνη εξίσωσης κατά την πλήρωση, επιτρέποντας του έτσι να ανέχεται υψηλές ροές αιχμής και μεγάλα οργανικά φορτία. Αφού τα λύματα περάσουν μέσα από ένα κόσκινο για να αφαιρεθούν χοντρά σωματίδια, εισέρχονται σε ένα μερικώς γεμάτο αντιδραστήρα. Μόλις ο αντιδραστήρας πληρωθεί, δρα σαν ένα συμβατικό σύστημα ενεργής υλός χωρίς εισροή ή εκροή. Ο αερισμός και η ανάμιξη διακόπτονται με την ολοκλήρωση της αντίδρασης, τα στερεά αφήνονται να καθιζάνουν, και το επεξεργασμένο απόβλητο (υπερκείμενο) απομακρύνεται. Τα πλεονάζοντα στερεά αφαιρούνται ανά πάσα στιγμή κατά τη διάρκεια της διαδικασίας. Σημαντική παράμετρος λειτουργίας είναι η απαίτηση ειδικών γνώσεων λειτουργίας λόγω του χρονισμού που πρέπει να επιτευχθεί μεταξύ των διαφορετικών φάσεων λειτουργίας (Βλυσίδης, 2006). Η εικόνα 1-10 δείχνει τα βήματα ενός αντιδραστήρα SBR.



1-10 Διάταξη συστήματος SBR (Envima, 2013)

Trickling Filters

Τα trickle filters είναι μία ακόμη εφαρμογή βιολογικής επεξεργασίας απομάκρυνσης οργανικού φορτίου. Αποτελούνται από μια μεγάλη δεξαμενή συνήθως κατασκευασμένη από μπετόν, η οποία χρησιμοποιεί σαν υλικό πλήρωσης πέτρες, άμμο, χαλίκι, οπτάνθρακα, αφρό πολυουρεθάνης και άλλα, ενώ στον πυθμένα του γίνεται σχηματισμός ενός στρώματος μικροοργανισμών (βιοφίλμ). Στο εσωτερικό και στον πυθμένα, επικρατούν αερόβιες συνθήκες είτε μέσω της διάχυσης, είτε μέσω φυσικού ή μηχανικού αερισμού. Η εισαγωγή του αποβλήτου γίνεται από το άνω μέρος του φίλτρου συνήθως με περιστροφικό ψεκασμό.

Οι κυριότεροι μηχανισμοί επεξεργασίας που εφαρμόζονται είναι η προσρόφηση και η βιοχημική οξείδωση των οργανικών και ανόργανων ρύπων. Το trickle filter συνδυάζει νιτροποίηση και απονιτροποίηση σε αερόβιες και αναερόβιες συνθήκες αντίστοιχα ενώ συνήθως ακολουθείται από μια δεξαμενή διαχωρισμού-διαύγασης, που διαχωρίζει τη συσσωρευμένη λάσπη του βιοφίλμ από το υγρό επεξεργασμένο απόβλητο. Το αρκετών χιλιοστών πάχος του βιοφίλμ επιτρέπει την διαμόρφωση τόσο αερόβιας όσο και αναερόβιας ζώνης, που αποτελείται από μια ζελατινώδης στρώση που περιέχει πρωτόζωα, βακτήρια και άλλα. Υπάρχει επίσης και ένα σύστημα ανακυκλοφορίας. Τα trickle filters χρησιμοποιούνται τόσο για επεξεργασία βιομηχανικών αποβλήτων, όσο και σε συμβατικές εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων (Metcalf and Eddy, 2003).

Μέθοδος απομάκρυνσης του Φωσφόρου

Οι κυριότερες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση του φωσφόρου είναι η χημική κατακρήμνιση του και η ενισχυμένη βιολογική αφαίρεσή του. Η χημική επεξεργασία για την αφαίρεση φωσφόρου περιλαμβάνει την προσθήκη των αλάτων μετάλλων που αντιδρούν με τον διαλυτό φώσφορο και σχηματίζουν στερεά ιζήματα φωσφορικού άλατος που αφαιρούνται με τις διαδικασίες διαχωρισμού στερεών από υγρά όπως η διαύγαση και η διήθηση. Η κατακρήμνιση φωσφορικών επιτυγχάνεται με την προσθήκη αλάτων μετάλλων τα οποία σχηματίζουν μη διαλυτές ενώσεις φωσφορικών. Τα συνήθη μέταλλα είναι το

αργίλιο ο σίδηρος και το ασβέστιο. Ο φώσφορος στην εισροή είναι ενσωματωμένος στα κύτταρα της βιομάζας και στη συνέχεια απομακρύνεται από τη διεργασία μέσω της απόρριψης της ιλύος. Οι οργανισμοί που συσσωρεύουν το φώσφορο (Phosphorous Accumulating Organisms, PAO-ροζ-χρώση) αυξάνονται και καταναλώνουν φώσφορο σε συστήματα όπου χρησιμοποιούνται διατάξεις αντιδραστήρων, που παρέχουν στα PAO ευνοϊκές συνθήκες ανάπτυξης έναντι των άλλων βακτηρίων. Η απομάκρυνση του φωσφόρου στα βιολογικά συστήματα βασίζεται στις ακόλουθες παρατηρήσεις: Πλήθος βακτηρίων είναι ικανά να αποθηκεύσουν μεγάλες ποσότητες φωσφόρου ως πολυφωσφορικά στα κύτταρά τους. Σε αναερόβιες συνθήκες, τα PAO θα αφομοιώσουν τα προϊόντα της ζύμωσης (π.χ. πτητικά λιπαρά οξέα) σε προϊόντα αποθήκευσης μέσα στα κύτταρα, με τη συνακόλουθη έκλυση φωσφόρου από τα αποθηκευμένα πολυφωσφορικά. Σε αερόβιες συνθήκες, παράγεται ενέργεια από την οξείδωση των προϊόντων αποθήκευσης και η αποθήκευση των πολυφωσφορικών στα κύτταρα αυξάνεται. Γενικά, οι βασικές αρχές που περιγράφουν τη βιολογική αφαίρεση του φωσφόρου είναι οι ακόλουθες: 1) Απαιτείται μία αναερόβια δεξαμενή 2) Δεν επιτρέπεται να υφίστανται ή να εισέρχονται από πλάγια ρεύματα ανακυκλοφορίας, διαλυμένο οξυγόνο ή/και νιτρικά 3) Στην αναερόβια δεξαμενή θα πρέπει να είναι διαθέσιμες επαρκείς ποσότητες εύκολα διασπάσιμου οργανικού φορτίου 4) Απαιτείται η παρουσία μονάδας αφαίρεσης των νιτρικών ή κατ' ελάχιστο αφαίρεση των νιτρικών στο ρεύμα ανακυκλοφορίας της ιλύος (Στάμος, 2004).

Απομάκρυνση Αζώτου-Νιτροποίηση-Απονιτροποίηση

Νιτροποίηση είναι ο όρος ο οποίος χρησιμοποιείται για να περιγραφεί η δύο σταδίων βιολογική διεργασία, κατά την οποία η αμμωνία οξειδώνεται σε πρώτη φάση σε νιτρώδη ($\text{NO}_2\text{-N}$), και στη συνέχεια τα νιτρώδη οξειδώνονται περαιτέρω προς νιτρικά ($\text{NO}_3\text{-N}$). Η νιτροποίηση επιτυγχάνεται στην πλειονότητα των διαφόρων διεργασιών, ταυτόχρονα με την απομάκρυνση του BOD. Οι διεργασίες αυτές είναι συνήθως διεργασίες ενεργούς ιλύος ή δραστικής λάσπης όπως ονομάζονται. Στις διεργασίες δραστικής λάσπης, στην πιο απλή τους μορφή, γίνεται επεξεργασία των υγρών αποβλήτων σε μια δεξαμενή αερισμού, όπου λαμβάνει χώρα ταυτόχρονα η βιολογική οξείδωση των οργανικών (BOD) και η νιτροποίηση από μικροοργανισμούς που αναπτύσσονται στη δεξαμενή αυτή. Η δεξαμενή αερισμού ακολουθείται από μια δεξαμενή καθίζησης όπου λαμβάνει χώρα διαχωρισμός του επεξεργασμένου υγρού από τους μικροοργανισμούς καθώς και μερική απομάκρυνση αυτών από το σύστημα στη συνέχεια. Ταυτόχρονα υπάρχει και ένα ρεύμα ανακύκλωσης της λάσπης, από τη δεξαμενή καθίζησης στη δεξαμενή αερισμού, με σκοπό τη διατήρηση σταθερής συγκέντρωσης μικροοργανισμών στην τελευταία.

Η νιτροποίηση, η μετατροπή δηλαδή του αμμωνιακού αζώτου σε νιτρικά δεν επαρκεί για την βιολογική απομάκρυνση του αζώτου. Δεν είναι δυνατή η απευθείας διάθεση των αποβλήτων σε αυτό το στάδιο διότι τα NO_3 έχουν μεγάλη τοξικότητα και είναι επικίνδυνα για τη δημόσια υγεία όταν βρίσκονται σε σημαντικές ποσότητες στους φυσικούς αποδέκτες. Η απομάκρυνση των νιτρικών που παράγονται σε αυτό το στάδιο γίνεται με τη διεργασία της απονιτροποίησης. Με τον όρο αυτό περιγράφεται η βιολογική αναγωγή των νιτρικών και των νιτρωδών προς αέριο άζωτο, με ενδιάμεσα προϊόντα NO , N_2O . Το άζωτο απομακρύνεται από το σύστημα εξαιτίας της χαμηλής διαλυτότητάς του στις συνθήκες που επικρατούν. Η βιολογική απομάκρυνση του αζώτου είναι τελικά ένας συνδυασμός νιτροποίησης και απονιτροποίησης (Metcalf and Eddy, 2003).

1.4.4 Τριτοβάθμια επεξεργασία υγρών αποβλήτων με στόχο την επαναχρησιμοποίηση

Διήθηση-Μεμβράνες

Επίσης βασική φυσική διεργασία απομάκρυνσης στερεών αποτελεί η διήθηση με αμμόφιλτρα. Το επεξεργασμένο πλέον νερό εισέρχεται σε μια κωνική στήλη που περιέχει διαφορετικά είδη άμμου, ενεργό άνθρακα, ιοντοανταλλάκτες και άλλα υλικά και απαλλάσσεται από τα τελευταία μικρά σωματίδια που παραμένουν στο λύμα. Η είσοδος του νερού γίνεται υπό πίεση και η συγκράτηση των στερεών γίνεται είτε μηχανικά, είτε ανάμεσα στους πόρους του υλικού, είτε στην επιφάνεια του φίλτρου. Από τους συνηθέστερους τύπους φίλτρων είναι η διήθηση βαθέως στρώματος, η διήθηση εν κενώ και η διήθηση με φίλτρα με πλάκες και πλαίσια. Μέρος της παροχής εισόδου χρησιμοποιείται για έκπλυση του πληρωτικού υλικού, αφού η καλή λειτουργία του φίλτρου εξαρτάται σημαντικά από τον καθαρισμό του υλικού. Τέλος, απομάκρυνση διαλυμένων στερεών επιτυγχάνεται και με άλλες διεργασίες όπως υπερδιήθηση και αντίστροφη όσμωση, με τη χρήση κατάλληλων ημιπερατών μεμβρανών. Έτσι απομακρύνονται κυρίως μεγάλα μόρια, πρωτεΐνες και άλλα κολλοειδή. Η βασική λειτουργική αρχή της αντίστροφης όσμωσης είναι η έλευση του νερού μέσα από ημιπερατή μεμβράνη, καθώς και η κίνησή του από χαμηλές σε υψηλές συγκεντρώσεις ρύπων με αποτέλεσμα τον διαχωρισμό του επεξεργασθέντος νερού από τους κατακρατημένους ρύπους (Burchett, 1999).

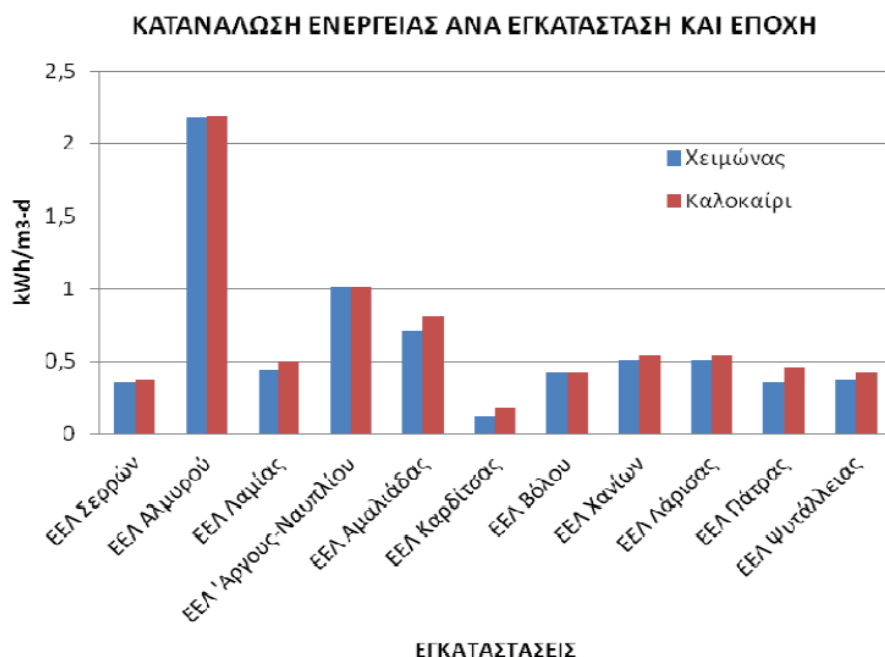
Οι δύο παραπάνω μέθοδοι αποτελούν βασικές τεχνολογίες τριτοβάθμιας επεξεργασίας σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων, κυρίως όταν ο στόχος είναι η επαναχρησιμοποίηση του νερού (συνήθως για αρδευτικές ανάγκες). Στην τριτοβάθμια επεξεργασία συμπεριλαμβάνεται επίσης ένα σύστημα κροκίδωσης-συσσωμάτωσης και χημικής καθίζησης, καθώς και κάποιο απολυμαντικό μέσο (ακτινοβολία UV, χλωρίωση, οζονισμός). Εκτός όμως από τη

συμβατική τριτοβάθμια επεξεργασία για επαναχρησιμοποίηση, θα μπορούσαν να σχεδιαστούν και συστήματα συλλογής ημι-ακάθαρτων νερών με ξεχωριστό δίκτυο σωληνώσεων, πριν καταλήξουν για συνολική επεξεργασία σε εγκατάσταση. Βρόχινο νερό ή νερό από οικιακές εκπλύσεις θα μπορούσε να αποθηκεύεται και με απλές διεργασίες να επεξεργάζεται με σκοπό την άρδευση κήπων, νεόδμητων οικοδομών και αγροτικών εκτάσεων. Στην Ελλάδα δε γίνεται ακόμη χρήση τέτοιων συστημάτων σε αντίθεση με άλλες χώρες όπως η Κύπρος, που αντιμετωπίζει μεγαλύτερο πρόβλημα έλλειψης υδατικών πόρων.

1.5 Ενεργειακές απαιτήσεις για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων

Γενικά

Οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων χαρακτηρίζονται ως οι κύριες από τις μικρού μεγέθους πηγές εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και συμβάλλουν στη δημιουργία του φαινομένου. Κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας παράγονται κυρίως CO₂, CH₄ και N₂O ενώ παράλληλα εκπέμπουν επιπλέον CO₂, CH₄ λόγω των ενεργειακών τους απαιτήσεων και της κατανάλωσης υγρών καυσίμων. Τις τελευταίες δύο δεκαετίες, λόγω της αύξησης του όγκου των υγρών αποβλήτων, έχουν αυξηθεί αντίστοιχα και οι μονάδες επεξεργασίας ενώ η αυστηρότερη νομοθεσία στην ποιότητα εκροής των εγκαταστάσεων οδηγεί και σε εισαγωγή νέων τεχνολογιών που είναι πιο ενεργοβόρες (Nakagawa et al., 2006). Γενικά, οι απαιτήσεις σε ενέργεια των μονάδων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων είναι μεγάλες. Παράλληλα, αυξάνει και το κόστος ενέργειας από μία μέση τιμή των 0,075 ευρώ / kWh το 2005 σε 0.102 ευρώ / kWh το 2009. Μέσα σε τέσσερα δηλαδή χρόνια, το κόστος της ενέργειας αυξήθηκε κατά 74% (Molinos-Senante et al., 2010). Στην Ελλάδα, το κόστος της κιλοβατώρας διαμορφώνεται ανάλογα με την ποσότητα της ενέργειας που καταναλώνεται. Ο μέσος όρος της τιμής της για τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων είναι περίπου 0,115 ευρώ / kWh (Προσωπική επικοινωνία με τον διευθυντή της ΕΕΛ Ρεθύμνου). Το ποσό της ενέργειας το οποίο απαιτείται για την λειτουργία των μονάδων εξαρτάται άμεσα και από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της καθεμιάς. Βασικοί παράγοντες είναι το μέγεθος της μονάδας, οι τεχνολογίες που χρησιμοποιεί, τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του αποβλήτου που εισέρχονται για επεξεργασία, καθώς και η απαιτούμενη ποιότητα το εκρέοντος υγρού. Εν τούτοις, η μέση κατανάλωση ενέργειας ανά κυβικό μέτρο υγρού αποβλήτου προς επεξεργασία δεν διαφέρει σημαντικά μεταξύ των χωρών παγκοσμίως, παρά τις τεχνολογικές διαφορές (Water Environmental Research Foundation, 2010). Στο διάγραμμα 1-11 παρουσιάζονται οι καταναλώσεις ενέργειας διαφόρων ελληνικών ΕΕΛ, χειμώνα και καλοκαίρι.



1-11 Κατανάλωση ενέργειας ελληνικών ΕΕΛ ανά υδραυλικό φορτίο kWh / m³-day, χειμώνα και καλοκαίρι (Δημοπούλου Αργυρή, 2011)

ΧΩΡΑ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (kWh/m ³)
Η.Π.Α	0,45
Ολλανδία	0,36
Σιγκαπούρη	0,56
Ελβετία	0,52
Αυστραλία	0,39
Ισπανία	0,53

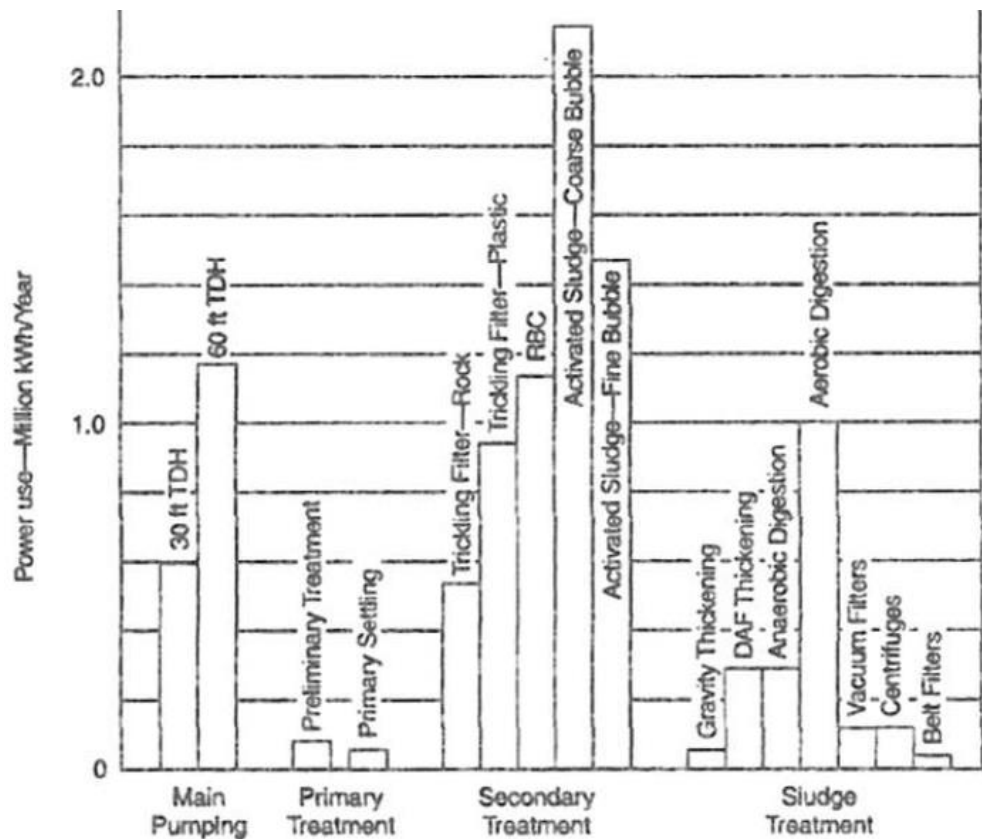
1-12 Μέση κατανάλωση ενέργειας ανά χώρα για την επεξεργασία 1m³ υγρού αποβλήτου (WERF, 2010)

Στον πίνακα 1-12 παρουσιάζονται οι μέσες καταναλώσεις ηλεκτρικού ρεύματος ανά κυβικό μέτρο αποβλήτου. Ο μέσος όρος καταναλισκόμενης ενέργειας στις ελληνικές μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων είναι 0,64 kWh / m³-day το χειμώνα και 0,68 kWh / m³-day το καλοκαίρι, τιμές που προσεγγίζουν τις ανώτερες μέσες τιμές στη διεθνή πραγματικότητα (Οικονόμου και Γκρατζιου, 2005). Αν απομονώσουμε το στοιχείο αυτό από τα επιμέρους ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της κάθε μονάδας (μέγεθος, ποιότητα εκροής κλπ), καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι οι ελληνικές ΕΕΛ είναι αρκετά ενεργοβόρες και έχουν σημαντικά περιθώρια βελτίωσης. Έρευνα του ERPI (Electric Power Research Institute, 2002) και του IDAE (Institute for Diversification and Energy Saving, 2010) έχει δείξει ότι οι μονάδες επεξεργασίας με μικρότερη δυναμική επεξεργασίας υγρού αποβλήτου καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια σε σχέση με τις μεγάλες μονάδες. Επιπλέον ρόλο παίζει και η ηλικία των μονάδων, καθώς και το επίπεδο προδιαγραφών στην έξοδο του εκρέοντος υγρού. Όσο μεγαλύτερες είναι οι απαιτήσεις στην εκροή, τόσο μεγαλύτερη είναι και η κατανάλωση ενέργειας, ενώ όσο αυξάνει το μέγεθος και η ηλικία της μονάδας τόσο

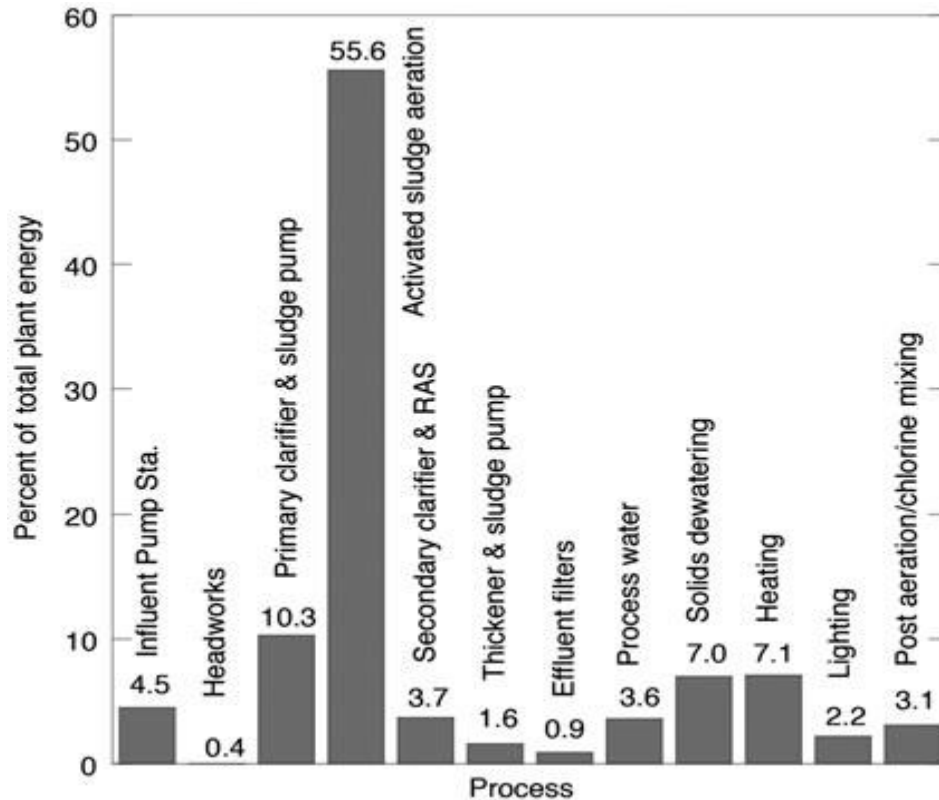
μειώνεται η κατανάλωση ενέργειας. Στη νησιωτική Ελλάδα, το πρόβλημα φαίνεται εντονότερα αφού συναντάμε μικρές σε μέγεθος ΕΕΛ, με μεγάλες ενεργειακές απαιτήσεις.

Κατανάλωση ενέργειας ανά στάδιο επεξεργασίας

Σχετικά με την ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται ανά στάδιο επεξεργασίας των αποβλήτων στα διάφορα μέρη των μονάδων, το μισό ποσό της συνολικής καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας καταναλώνεται στη διαδικασία του αερισμού (Pitas et al., 2010). Παρόμοια ποσά ενέργειας καταναλώνονται για αναδεύσεις που χρησιμοποιούνται καθώς και για κίνηση των αποβλήτων με αντλίες. Πιο συγκεκριμένα, ο αερισμός με φυσαλίδες (activated sludge, coarse and fine bubbles), καταναλώνει το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας, ενώ σε παρόμοια ποσοστά εκτός από τις αντλίες κυμαίνονται και οι βιοδίσκοι (RBC). Σε ότι αφορά το κομμάτι της λάσπης, τα πρωτεία κατέχει η αερόβια χώνευση, κυρίως λόγω του αερισμού που χρειάζεται για την προσθήκη οξυγόνου στη διεργασία. Σε σχετικά χαμηλά επίπεδα κινούνται οι ενεργειακές απαιτήσεις της προεπεξεργασίας, καθώς και των βαρυτικών καθιζήσεων (πίνακας 1-13, 1-14). Μοναδική διαφοροποίηση ως προς τα παραπάνω παρουσιάζουν μεγάλες ΕΕΛ που επαναχρησιμοποιούν το βιοαέριο που παράγεται κατά την επεξεργασία της λάσπης για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Ψυττάλεια). Αξίζει να σημειωθεί ότι η ενεργειακή κατανάλωση των ΕΕΛ αναμένεται να αυξηθεί τα επόμενα χρόνια εξαιτίας της αύξησης του πληθυσμού-άρα και η υπερφόρτωση των μονάδων με επιπλέον ποσότητες υγρών αποβλήτων. Σε αυτό συμβάλλει και η αυστηροποίηση της νομοθεσίας στην ποιότητα εκροής για επαναχρησιμοποίηση ή διάθεση σε αποδέκτη. Η ενεργειακή βελτιστοποίηση των συστημάτων και μεθόδων επεξεργασίας χρήζει περαιτέρω μελέτης.



1-13 Ενεργειακό προφίλ μιας μέσης ΕΕΛ σε εκατομμύρια kWh/year (WERF, 2009)



1-14 Ποσοστιαία κατανάλωση ενέργειας ανά στάδιο επεξεργασίας (Gikas and Tsoutsos, 2015)

Κεφάλαιο 2. Σύγχρονες τάσεις στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων

2.1 Διεργασίες Νιτροποίησης-Απονιτροποίησης

2.1.1 Αιωρούμενη Βιομάζα

Στα συστήματα αιωρούμενης βιομάζας, οι μικροοργανισμοί βρίσκονται αιωρούμενοι στο νερό, μεμονωμένοι ή σε συστάδες (κροκίδες). Στη μέθοδο αυτή, λόγω του μεγάλου χρόνου διπλασιασμού, υπάρχει κίνδυνος έκπλυσης των μικροοργανισμών, δηλαδή της μείωσης της συγκέντρωσης των ενεργοποιημένων μικροοργανισμών σε σημείο στο οποίο η εγκατάσταση δεν επιφέρει τα επιθυμητά αποτελέσματα. Προκειμένου να αποφευχθεί αυτό γίνεται ανακυκλοφορία ενεργού υλός, με βιοκροκιδώματα και ενεργοποιημένους μικροοργανισμούς, μέσω της οποίας διατηρούμε την συγκέντρωση των ενεργοποιημένων νιτροποιητών σε επιθυμητά επίπεδα. Η ηλικία της υλός θα πρέπει να είναι από 10 έως 20 μέρες στους 10ο C και από 4 έως 7 μέρες στους 20 °C. (Tchobanoglous, 2006).

2.1.2 Ακίνητοποιημένη Βιομάζα

Στα συστήματα ακίνητοποιημένης βιομάζας, οι μικροοργανισμοί παραμένουν μέσα στον αντιδραστήρα, ενώ υπάρχει είσοδος λυμάτων, και έξοδος επεξεργασμένων λυμάτων. Επίσης υπάρχει έξοδος μικροοργανισμών που αφήνουν την επιφάνεια προσκόλλησης. Οι πιο συνηθισμένες μορφές ακινητοποίησης μικροοργανισμών είναι η προσκόλληση σε επιφάνεια, ο περιορισμός πίσω από κάποιο εμπόδιο, και η αυτο-συσσωμάτωση, και τέλος ο εγκλωβισμός σε πορώδες υλικό. Στα συστήματα αιωρούμενης βιομάζας, και σε σχετικά μικρούς χρόνους παραμονής παρατηρείται το φαινόμενο της έκπλυσης, δηλαδή της απομάκρυνσης των μικροοργανισμών από τον αντιδραστήρα. Αυτό σημαίνει ότι ο ρυθμός αναπαραγωγής των μικροοργανισμών συν τον ρυθμό εισαγωγής μικροοργανισμών, είναι μικρότερος από τον ρυθμό με τον οποίο οι μικροοργανισμοί εξέρχονται από το σύστημα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η συγκέντρωση βιομάζας να μην διατηρείται στα επιθυμητά επίπεδα και να απαιτείται διαχωρισμός της βιομάζας και ανακυκλοφορία της, για την ομαλή λειτουργία της βιολογικής διεργασίας.

Βιοδίσκοι (RBC)

Τα κύτταρα μπορούν να προσκολληθούν στην επιφάνεια από κομμάτια ξύλου, κολλαγόνο, μικρομεταφορείς, ή κάποια είδη ρητίνης. Στην περίπτωση αυτή, οι μικροοργανισμοί προσκολλούνται στην επιφάνεια ενός από τα προαναφερθέντα, και ξεκινάνε να πολλαπλασιάζονται πάνω σε αυτό μέχρι να δημιουργηθεί ένα είδος βιοφιλμ γύρω από αυτό, το οποίο ερχόμενο σε επαφή με το προς επεξεργασία

υγρό, καταναλώνει το εκάστοτε φορτίο, και το καθαρότερο πλέον υγρό αφαιρείται από τη δεξαμενή. Ο βιολογικός δίσκος αποτελείται από σειρά κατακόρυφων κυλινδρικών δίσκων με πτυχόμενη επιφάνεια από πολυπροπυλένιο που περιστρέφεται σε οριζόντιο άξονα, με ταχύτητα μέχρι 2,2 rpm, μέσα σε χαλύβδινη δεξαμενή (ορθογωνικής διατομής κατάλληλης εσωτερικής διαμόρφωσης), όπου οδηγούνται τα λύματα ύστερα από την πρωτοβάθμια επεξεργασία. Οι δίσκοι είναι βυθισμένοι στα λύματα κατά 40–45% και καθώς περιστρέφονται η επιφάνειά τους έρχεται περιοδικά σε επαφή με το οργανικό φορτίο και τον ατμοσφαιρικό αέρα. Με αυτό τον τρόπο ευνοείται η ανάπτυξη της βιολογικής μεμβράνης στην επιφάνεια του δίσκου. Πρέπει να επισημανθεί επίσης, ότι το οξυγόνο που απαιτείται για την αερόβια επεξεργασία στους βιοδίσκους δεν παρέχεται με μηχανικά μέσα αλλά εξασφαλίζεται με φυσικό τρόπο από το φαινόμενο της φυσικής διάχυσης που υπακούει στο νόμο του Fick και πραγματοποιείται κατά την επαφή αέρα (δίσκου και δίσκου) λυμάτων. Το φαινόμενο της οξυγόνωσης δεν αφορά άμεσα τη μάζα των υγρών αλλά τον ίδιο το δίσκο. Το οξυγόνο προσροφάται επάνω στην επιφάνεια του δίσκου κατά τη φάση της ανάδυσης και επομένως το οξυγόνο που βρίσκεται επάνω στη βιολογική μεμβράνη καταναλώνεται κατά το μεγαλύτερο μέρος επάνω στον ίδιο τον δίσκο.

Moving bed bioReactors (MBBR)

Σε αυτού του είδους τα συστήματα, η βιομάζα μπορεί να αναπτυχθεί τόσο σε αιωρούμενους βιοφορείς, όσο και σε σταθερά τοποθετημένα βιοφίλτρα, με αποτέλεσμα την αύξηση της βιομάζας στον αντιδραστήρα (επίτευξη καλύτερης ποιότητας εκροής) χωρίς την παράλληλη αύξηση του φορτίου στη δευτεροβάθμια καθίζηση και χωρίς την απαίτηση για ανακυκλοφορία ιλύος. Η τεχνολογία που χρησιμοποιεί τους αιωρούμενους βιοφορείς και μπορεί να λειτουργήσει χωρίς την ανακυκλοφορία ιλύος ονομάζονται βιοαντιδραστήρες κινούμενης κλίνης ή MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor), ενώ η παραλλαγή της, στην οποία γίνεται και ανακυκλοφορία ενεργού ιλύος ονομάζεται IFAS (Intergraded Fixed-Film Activated Sludge). Η τεχνολογία των MBBR εφαρμόζεται κυρίως σε εγκαταστάσεις που κατασκευάζονται εξ αρχής για αυτό το σκοπό και χρησιμοποιεί χιλιάδες βιοφορείς, συνήθως από πολυαιθυλένιο (PVC), οι οποίοι ρίχνονται σε έναν πλήρους μίξης αεριζόμενο βιοαντιδραστήρα. Όλες οι βιολογικές διεργασίες πραγματοποιούνται κυρίως από τη σχηματιζόμενη βιομάζα που αναπτύσσεται στους βιοφορείς. Συνεπώς, κάθε βιοφορέας αυξάνει τη λειτουργικότητα της εγκατάστασης και προσφέροντας μια προστατευμένη επιφάνεια για την ανάπτυξη των αυτοτροφικών και ετεροτροφικών μικροοργανισμών στα λύματα, επιτυγχάνει υψηλούς ρυθμούς αποικοδόμησης στο σύστημα. Σημειώνεται ότι το βιοφίλμ που δημιουργείται πάνω στους βιοφορείς μπορεί να ανταποκριθεί αυτόματα στις εναλλαγές του φορτίου εισόδου. Αντίθετα, η τεχνολογία των IFAS εγκαθίσταται συνήθως σε ήδη υπάρχουσες εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, οι οποίες βρίσκονται

στα όρια της χωρητικότητας τους και υπολειτουργούν. Η αναβάθμιση με IFAS λοιπόν προσφέρει μια εξαιρετικά οικονομικά αποδοτική λύση, αποφεύγοντας την επέκταση της εγκατάστασης και αξιοποιώντας τα ήδη υπάρχοντα συστήματα και εξοπλισμό. Η τεχνολογία είναι επίσης συμβατή με συστήματα αερισμού λεπτής φυσαλίδας και έχει καλή απόκριση σε δυναμική φόρτιση. Οι βασικές κατηγορίες συστημάτων MBBR είναι δύο: οι διασκορπιζόμενοι βιοφορείς, που παγιδεύονται στη δεξαμενή αερισμού και τα σταθερά μέσα, όπως δομημένες πλάκες ή πλέγματα, τοποθετημένα σε σταθερό μέρος στη δεξαμενή (Calderón et al., 2012).

Ενθυλάκωση

Τα κύτταρα μπορούν να εγκλωβιστούν μέσα σε μικροκάψουλες που έχουν είτε μόνιμη είτε μη μόνιμη ημιπερατή μεμβράνη. Το πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι η μεγάλη επιφάνεια επαφής με το λύμα, και ότι η ημιπερατή μεμβράνη επιλεκτικά επιτρέπει μόνο σε ενώσεις με μικρό μοριακό βάρος να περάσουν, και άρα οι μικροοργανισμοί παραμένουν ακινητοποιημένοι μέσα στις μικροκάψουλες. Βασικό μειονέκτημα της τεχνικής αυτής είναι ότι υπάρχει περίπτωση να μην είναι επαρκής η διάχυση οξυγόνου, και όσο οξυγόνο διαχέεται εντός της μικροκάψουλας να καταναλώνεται πριν φτάσει στο κέντρο, με αποτέλεσμα να δημιουργείται μια νεκρή περιοχή στον πυρήνα (diffusion inhibition). Προς αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού, η εταιρία Lenticats δημιούργησε μια σειρά βιοκαταλυτών, μεταξύ των οποίων και νιτροποιητές.

Οι βιοκαταλύτες αυτοί είναι μικροοργανισμοί εγκλωβισμένοι σε πολυβυνλική αλκοόλη, και έχουν σχήμα δίσκου, αντί σφαίρας, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει η νεκρή ζώνη στον πυρήνα, και να υπάρχει επαρκές οξυγόνο σε κάθε σημείο της μικροκάψουλας. Το δισκοειδές σχήμα υπερέχει σε σχέση με το σφαιρικό γιατί ενώ μειώνεται το βάθος της διάχυσης, παράλληλα διατηρείται σχετικά μεγάλη διάμετρος, ώστε να καθίσταται ευκολότερη η συγκράτηση των καψουλών στον αντιδραστήρα. Ο εγκλωβισμός έγινε δημιουργώντας το πορώδες μέσο γύρο από αποικίες επιλεκτικά αναπαραγμένων μικροοργανισμών. Μέθοδοι εγκλωβισμού σε PVA, και χρήσεις αυτού περιγράφονται από τους Ariga et al. Το PVA είναι ένα υλικό αρκετά οικονομικό στην παρασκευή του, και οι εγκλωβισμένοι σε αυτό μικροοργανισμοί αποκτούν ανθεκτικότητα σε ειδικά τοξικές συγκεντρώσεις αλάτων, ή άλλων ανασταλτικών ουσιών ή παραγόντων. (Boušková, 2011).

Αυτοσυσσωμάτωση

Η αυτοσυσσωμάτωση μπορεί να θεωρηθεί μέθοδος ακινητοποίησης, γιατί τα βιοκροκιδώματα (συσσωματωμένα κύτταρα) παρέχουν πλεονεκτήματα ανάλογα των άλλων μεθόδων ακινητοποίησης (το φαινόμενο αυτό παρατηρείται και στη διεργασία της ενεργού ιλύος). Ορισμένες φορές χρειάζεται η προσθήκη κάποιου

κροκιδωτικού παράγοντα για να επιτευχθεί συσσωμάτωση. Για να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος αυτή ως εγκλωβισμένη βιομάζα, απαιτείται μεγάλο μέγεθος βιοκροκιδωμάτων το οποίο επιτυγχάνεται με ήπιο ρυθμό ανάδευσης. Ωστόσο, οι κροκίδες γενικά δε μπορούν να συγκρατηθούν στο χώρο αντίδρασης, λόγω μεγέθους και πυκνότητας. Γνωρίζοντας όμως ότι στο εσωτερικό των κροκίδων η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου μειώνεται σε μεγάλο βαθμό, πρέπει να διατηρήσουμε μεγάλη παροχή οξυγόνου στο υγρό, προκειμένου να αυξήσουμε την απόδοση της εκάστοτε διαδικασίας.

Εγκλωβισμός σε πορώδες μέσο

Τα κύτταρα εισέρχονται αρκετά εύκολα σε πόρους υλικών όπως για παράδειγμα το τούβλο, και αν τους επιτραπεί να διχοτομηθούν αρκετές φορές, η βιομάζα που δημιουργείται, εγκλωβίζεται μέσα στους πόρους. Όταν το πορώδες υλικό με εγκλωβισμένους μικροοργανισμούς εισέλθει σε ρυπασμένο υγρό, το υγρό εισέρχεται στους πόρους, επεξεργάζεται από τους μικροοργανισμούς, και βγαίνει εξυγιασμένο. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται συνήθως για εγκλωβισμό μικροοργανισμών, είναι τούβλα, πορώδες γυαλί, κολλαγόνο, και κάποια πολυμερή. Εκτός από το να επιτρέψουμε σε μικροοργανισμούς να αναπτυχθούν σε ένα έτοιμο πορώδες υλικό, μπορούμε να δημιουργήσουμε πορώδες υλικό γύρω από μια αποικία μικροοργανισμών, μια μέθοδος η οποία εξασφαλίζει περισσότερο το ότι δεν θα μολυνθεί κάποιος πόρος με κάποιο άλλο μικροοργανισμό, και ότι οι εγκλωβισμένοι μικροοργανισμοί θα παραμείνουν σε αυτήν την κατάσταση. (Dutta, 2008)

2.2 Τεχνολογία Μεμβρανών

Ανάλογα με την απαιτήσεις διαχωρισμού των ρύπων στα απόβλητα χρησιμοποιούνται διαφορετικοί τύποι μεμβρανών που διακρίνονται από την διαφορετικότητα των υλικών κατασκευής, την παροχή και την εκλεκτικότητα. Τέσσερις είναι οι κύριες μέθοδοι διαχωρισμού που χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία: 1) Η μικροδιήθηση (Microfiltration), με σύστημα εγκάρσιας διήθησης με μέγεθος πόρου από 3 έως 0.1μm. Κλασικές εφαρμογές αυτής της χαμηλής πίεσης διεργασίας είναι η απομάκρυνση ενώσεων μεγάλου μοριακού βάρους όπως βακτήρια, λίπη, ζύμες και μύκητες. Κατάλληλη για την διήθηση χημικών, τροφίμων, βιολογικών, φαρμακευτικών ή για διαύγαση προϊόντων και για επεξεργασία υγρών αποβλήτων. 2) Η υπερδιήθηση (Ultrafiltration) χαμηλής πίεσης διεργασία εκλεκτικής διήθησης μορίων με ειδικό μέγεθος και βάρος. Ουσίες με μοριακό βάρος που κυμαίνεται από 1.000 έως 1.000.000 κατακρατούνται από τις μεμβράνες υπερδιήθησης καθώς μικρού μοριακού βάρους ενώσεις, άλατα και νερό διέρχονται. Κλασικές εφαρμογές της τεχνολογίας αυτής είναι η συμπύκνωση και η ανάκτηση ενώσεων μεγάλου μοριακού βάρους, διαχωρισμός-απομάκρυνση ρυπαντών, διαύγαση, απομάκρυνση κολλοειδών και αιωρούμενων στερεών και για τον λόγο

αυτό χρησιμοποιείται ως στάδιο προ-επεξεργασίας σε μονάδες αντίστροφης όσμωσης. 3) Η νανοδιήθηση (Nanofiltration), διεργασία που βασίζεται σε εφαρμογή πίεσης παρόμοια με την αντίστροφη όσμωση καλύπτοντας την περιοχή μεταξύ αντίστροφης όσμωσης και υπερδιήθησης. Μονοσθενή ιόντα και χαμηλού μοριακού βάρους οργανικά διέρχονται της μεμβράνης καθώς μεγαλύτερου μοριακού βάρους ενώσεις απορρίπτονται. Η νανοδιήθηση καλύπτει μοριακά βάρη μεταξύ 150-500 και κλασικές εφαρμογές της τεχνολογίας αυτής είναι η προεπεξεργασία φαρμακευτικών, απομάκρυνση του χρώματος και της σκληρότητας από το νερό. 4) Αντίστροφη όσμωση (Reverse Osmosis), είναι διεργασία διαχωρισμού υπό υψηλή πίεση για την απομάκρυνση ουσιών χαμηλού μοριακού βάρους σε διάλυση (άλατα, οργανικά μόρια) από τον διαλύτη (νερό). Ο διαχωρισμός επιτυγχάνεται μέσω εφαρμοζόμενης πίεσης μεγαλύτερης της οσμωτικής πίεσεως που οδηγεί τον διαλύτη (νερό) να διέλθει της μεμβράνης ενώ η ουσία σε διάλυση απορρίπτεται, εμπεριέχοντας και τα μονοσθενή ιόντα. Η πίεση λειτουργίας κυμαίνεται από 100-120 bar (Κατσουφίδου, 2009).

Βιοαντιδραστήρας Μεμβρανών (MBR)

Ο βιοαντιδραστήρας μεμβρανών είναι συνδυασμός μονάδας βιολογικού καθαρισμού ενεργού ιλύος και μιας μονάδας υπερδιήθησης (Ultrafiltration) για μία βέλτιστη απομάκρυνση των οργανικών ρυπαντών από τα υγρά απόβλητα. Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του εισερχόμενου απόβλητου και τις απαιτήσεις στην εκροή, υπάρχει η δυνατότητα δύο ειδών μονάδων ανάλογα με τον τρόπο τοποθέτησης των μεμβρανών: διάταξη πλευρική και υποβρύχια. Στην πλευρική διάταξη τα στοιχεία των μεμβρανών είναι σε ξεχωριστή μονάδα και έχουμε συνεχή κυκλοφορία της λάσπης στην δεξαμενή αερισμού ενώ στην υποβρύχια διάταξη τα στοιχεία μεμβρανών εγκαθίστανται εντός της δεξαμενής αερισμού. Οδηγός δύναμη είναι η αρνητική πίεση στην πλευρά του διερχόμενου ρεύματος. Στον βιοαντιδραστήρα μεμβρανών ελαχιστοποιούνται οι αποδομήσιμες ενώσεις, και εάν είναι αναγκαίο, η αμμωνία και οι ενώσεις αζώτου μπορούν να απομακρυνθούν. Η μονάδα υπερδιήθησης (ultrafiltration) αντικαθιστά το κλασικό στάδιο καθίζησης με βαρύτητα και επιτρέπει την ανακυκλοφορία και τον διαχωρισμό της βιολογικής λάσπης εξασφαλίζοντας υψηλή συγκέντρωση στερεών εντός της δεξαμενής αερισμού μεταξύ 20-25gr/l σε σχέση με τις παραδοσιακές μονάδες βιολογικού καθαρισμού (3-7 g/l). Οι μεμβράνες υπερδιήθησης αποτελούν ένα απόλυτο εμπόδιο για την λάσπη ενώ παράλληλα αποτρέπουν την διαρροή λάσπης στο επεξεργασμένο απόβλητο, πρόβλημα που συνήθως εμφανίζεται στις κλασικές δεξαμενές καθίζησης λόγω του φαινομένου συσσωμάτωσης (bulking). Ο βιοαντιδραστήρας μεμβρανών είναι εξαιρετικά αποτελεσματικό στάδιο επεξεργασίας στις εγκαταστάσεις «ανακύκλωσης νερού μηδενικής απόρριψης» και είναι εξαιρετικά σημαντικό το επεξεργασμένο απόβλητο να έχει ποιότητα τέτοια ώστε να μπορεί να υποστεί περαιτέρω επεξεργασία μέσω της τεχνολογίας

αντίστροφης όσμωσης. Τα πλεονεκτήματα του συστήματος επιγραμματικά είναι τα ακόλουθα: εξάλειψη δεξαμενής καθίζησης και υψηλής ποιότητας εκροή, υψηλός βαθμός απομάκρυνσης οργανικών ουσιών λόγω υψηλής συγκέντρωσης βιομάζας και διαχωρισμό ουσιών με μεγάλο μοριακό βάρος, μείωση της παραγόμενης λάσπης, φαινόμενο αυτοκατάλυσης, λόγω υψηλής συγκέντρωσης βιομάζας, αύξηση της ανοχής των συνήθων τοξικών ενώσεων για την βιομάζα χάρη στον υψηλό λόγο βιομάζας / τοξικότητας και τέλος μικρό ίχνος χώρου εγκατάστασης με χαμηλό λειτουργικό κόστος και υψηλή χημική αντοχή (Κατσουφίδου, 2009).

2.3 Τεχνητοί Υγρότοποι

Η μέθοδος επεξεργασίας υγρών αποβλήτων με τεχνητό υγρότοπο προσφέρει μια αποτελεσματική εναλλακτική λύση για την επεξεργασία λυμάτων συνδυάζοντας πολλά πλεονεκτήματα. Αντικαθιστά πλήρως τους παραδοσιακούς βιολογικούς παρέχοντας υψηλότερη απόδοση λειτουργίας, ενώ ταυτόχρονα είναι φιλική προς το περιβάλλον και συνάμα οικονομική. Εφαρμόζεται για περισσότερο από 40 χρόνια και εγκαταστάσεις της λειτουργούν σε όλο τον κόσμο με επιτυχία. Χρησιμοποιείται ευρύτατα σε πολλές χώρες της Ευρώπης (Γερμανία, Γαλλία, Ισπανία , Πολωνία), στην Ταϊλάνδη και στη Νότιο Αφρική. Η μέθοδος αυτή, είναι μια φυσική μέθοδος καθαρισμού που βασίζεται στις αυτορυθμιζόμενες διεργασίες των ενεργών εδαφικών συστημάτων (biofilm). Τέτοια συστήματα καθαρισμού με φυτά είναι από τα παλαιότερα που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία λυμάτων. Με τον ίδιο τρόπο με τον οποίο το νερό στη φύση διαπερνά το έδαφος, ρέει κατά μήκος των ριζών, φιλτράρεται από διαδοχικά στρώματα άμμου και χαλικιού και καθαρίζεται από μικροοργανισμούς, τα εξελιγμένα συστήματα καθαρισμού με φυτά εκμεταλλευόμενα αυτή την ιδιότητα της φύσης χρησιμοποιούν ένα συνδυασμό από μηχανικούς και βιολογικούς πόρους για την επεξεργασία των αποβλήτων. Η μέθοδος των τεχνητών υγροτόπων πλεονεκτεί έναντι των άλλων, καθώς περιλαμβάνει και τριτοβάθμια επεξεργασία με ποσοστό απολαβής 60% της εκροής, που μπορεί να αξιοποιηθεί για άρδευση, ενώ ταυτόχρονα είναι η πλέον φιλική προς το περιβάλλον μέθοδος, καθώς οι ενεργειακές απαιτήσεις για τη λειτουργία της είναι μηδαμινές και παρουσιάζει αρμονική προσαρμογή στο φυσικό τοπίο. Μοναδικό μειονέκτημα της μεθόδου των τεχνητών υγροτόπων είναι η μεγάλη επιφάνεια που απαιτείται για την εγκατάστασή τους.

Η αρχή της μεθόδου στηρίζεται στο συνδυασμό της δράσης του εδάφους, των ριζών και των μικροοργανισμών. Τα απόβλητα, τα οποία υφίστανται μηχανική προεπεξεργασία σε μια σηπτική δεξαμενή με τρεις ή τέσσερις θαλάμους, διοχετεύονται με ένα σύστημα ειδικών σωληνώσεων σε ένα εδαφικό σώμα που αποτελείται από διαδοχικά στρώματα άμμου και χαλικιού και είναι φυτεμένο με μια συγκεκριμένη ποικιλία καλαμιών του είδους *Phragmites australis*, φυτά αυτοφυή στην περιοχή μας. Το σύστημα σωληνώσεων εγγυάται την ισομερή

διάθεση των λυμάτων στο εδαφικό σώμα για την αποτελεσματικότερη διήθησή τους. Το ριζικό σύστημα των φυτών εξασφαλίζει συνεχή αερισμό του εδάφους μέσω του συστήματος των αγγείων τους, αλλά και εξαιτίας της μείωσης της συνοχής των εδαφικών υλικών με την ανάπτυξη των διακλαδώσεων τους. Οι μικροοργανισμοί, που φιλοξενούνται στις ρίζες, διασπούν το οργανικό φορτίο των αποβλήτων σε τέτοιο βαθμό ώστε ακόμη και πολύπλοκες, δύσκολα διασπώμενες ενώσεις να αποικοδομούνται. Καμία ενσωμάτωση ξένων ουσιών δεν παρατηρείται στα φυτά, ούτε υπάρχει συμφόρηση στο έδαφος. Το επεξεργασμένο νερό συλλέγεται στη συνέχεια σε συλλεκτήριους σωλήνες, στο κατώτερο μέρος του εδαφικού σώματος και οδηγείται σε ένα φρεάτιο ελέγχου όπου μπορεί να ελεγχθεί. Από εκεί, μπορεί να διοχετευτεί στη θάλασσα, σε ποτάμι, λίμνη ή στο έδαφος χωρίς καμία επιβάρυνση στο περιβάλλον, ή να αξιοποιηθεί για στάγδην άρδευση (Σωτηράκης, 2005).

2.4 Μικροάλγη

Τα μικροάλγη αποτελούν μια τεράστια ομάδα ετερότροφων φωτοσυνθετικών οργανισμών που δύναται να καλλιεργηθούν για την παραγωγή ενέργειας. Μπορούν να καλλιεργηθούν κάτω από δύσκολες κλιματικές συνθήκες και μπορούν να παράξουν μεγάλη ποικιλία οικονομικά ενδιαφερόντων βιοπροϊόντων όπως λίπη, έλαια, σάκχαρα και λειτουργικές βιοενεργές ενώσεις. Συγκεκριμένα είδη μικροαλγών είναι αποτελεσματικά για παραγωγή υδρογόνου και οξυγόνου μέσω της βιοφωτόλυσης, ενώ άλλα παράγουν φυσικά υδρογονάνθρακες κατάλληλους για άμεση χρήση σαν υγρά καύσιμα υψηλής ενέργειας. Το μικρό τους μέγεθος δίνει πλήθος εξελισσόμενων επιλογών. Εξετάζονται εύκολα σε εργαστηριακές συνθήκες ενώ στη βιομάζα τους ενσωματώνονται εύκολα σταθερά ισότοπα, επιτρέποντας με αυτόν τον τρόπο γενετικές και μεταβολικές έρευνες να πραγματοποιούνται σε πολύ μικρότερη χρονική περίοδο από ότι τα συμβατικά φυτά. Συνδυαστικά με άλλες μεθόδους επεξεργασίας, μπορούν να αποτελέσουν ένα πλήρες σύστημα νιτροποίησης-απονιτροποίησης.

Κεφάλαιο 3. Πρακτικές πρώιμης απομάκρυνσης αιωρούμενων στερεών από υγρά απόβλητα

3.1 Γενικά

Όλα τα απόβλητα υφίστανται προεπεξεργασία πριν οδηγηθούν στις συμβατικές τεχνολογίες απορρύπανσης, αφού τα οφέλη είναι πολλά και σε διαφορετικά επίπεδα. Οι επιμέρους διεργασίες γίνονται αποδοτικότερες, μειώνεται ο χρόνος παραμονής, το κόστος λειτουργίας και αναλώσιμων, καθώς και οι ενεργειακές απαιτήσεις των εγκαταστάσεων. Συχνά όμως δίνονται και λύσεις σε θέματα χωροταξικά αφού μειώνεται ο χώρος εγκατάστασης που απαιτείται-άρα και μικρότερο οικολογικό αποτύπωμα-με αποτέλεσμα την ευκολότερη εγκατάσταση υποδομών σε δυσπρόσιτα ή απομονωμένα μέρη. Αυτό αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα αφού οι μεγάλες δεξαμενές για τις διάφορες διεργασίες καταλαμβάνουν σημαντική έκταση, που πολλές φορές είναι δύσκολο να ανεβρεθεί. Βάση προηγούμενων πειραμάτων και μελετών που έχουν διεξαχθεί, η χρήση νέων συστημάτων πρώιμης απομάκρυνσης στερεών (με προσθήκη χημικών και μη), έχει αποδειχθεί ότι οι απομακρύνσεις των εγκαταστάσεων κινούνται πάντα μέσα στα νομοθετικά όρια της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Συστήματα που αξιολογήθηκαν είναι τα μικροκόσκινα, μεγάλες σηπτικές δεξαμενές, φίλτρανση βαθείας κλίνης, καθώς και συμβατικές δεξαμενές καθίζησης. Στην πρωτοβάθμια επεξεργασία, σύμφωνα με την ευρωπαϊκή οδηγία (Οδηγία 2000/60/ΕΚ) , απαιτείται η απομάκρυνση τουλάχιστον του 20% του BOD₅, ενώ για τα SS τουλάχιστον το 50%. Σε εγκαταστάσεις με 12 δείγματα ελέγχου το χρόνο, 10 από αυτά πρέπει να συμβαδίζουν με τα παραπάνω όρια κατ' ελάχιστο. Σε εγκαταστάσεις με 24 δείγματα ελέγχου το χρόνο, τα 21 από αυτά πρέπει κατ' ελάχιστο να συμβαδίζουν (πίνακας 3.1). Στην πράξη όμως αποδείχθηκε ότι για να επιτευχθούν οι παραπάνω στόχοι, το ποσοστό απομάκρυνσης των SS στην πρωτοβάθμια επεξεργασία πρέπει να αγγίζει το 65% κατά μέσο όρο. Σημαντικό επίσης είναι να αναφερθεί ότι η νομοθεσία έχει γίνει πιο αυστηρή τόσο στην ποιότητα εκροής του επεξεργασμένου νερού για διάθεση σε αποδέκτη, όσο και για επαναχρησιμοποίηση (Ødegaard, 1998).

Σταθμοί επεξεργασίας δυναμικότητας	Ελάχιστος ετήσιος αριθμός δειγμάτων
2000 – 9999 ι.π.	<ul style="list-style-type: none">♦ 12 δείγματα τον πρώτο χρόνο λειτουργίας♦ 4 δείγματα τα επόμενα χρόνια εφόσον αποδειχθεί ότι τον πρώτο χρόνο το νερό πληροί τις διατάξεις της Οδηγίας♦ Εάν κανένα από τα 4 δείγματα δεν είναι ικανοποιητικό, τότε τον επόμενο χρόνο πρέπει να λαμβάνονται 12 δείγματα.
10000 – 49999 ι.π.	<ul style="list-style-type: none">♦ 12 δείγματα ετησίως
Άνω των 50 000 ι.π.	<ul style="list-style-type: none">♦ 24 δείγματα ετησίως

3-1 Αριθμός δειγμάτων ελέγχου ανάλογα με τον Ισοδύναμο Πληθυσμό (Σημειώσεις μαθήματος Περιβάλλον & Ανάπτυξη, τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ)

3.2 Νομοθετικές διατάξεις

Η ελληνική νομοθεσία που ισχύει στην περίπτωση της διαχείρισης αστικών υγρών αποβλήτων βασίζεται στην κοινοτική οδηγία 91/271 της ΕΕ που είναι δεσμευτική και έχει ενσωματωθεί στο εθνικό δίκαιο (ΚΥΑ 5673/400/1997). Σύμφωνα με την οδηγία, ο βαθμός επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων προσδιορίζεται σε συνάρτηση με τον φυσικό αποδέκτη και το μέγεθος του πληθυσμού. Σύμφωνα με το άρθρο 3 της οδηγίας, οι οικισμοί με πληθυσμό άνω των 2.000 κατοίκων απαιτείται να διαθέτουν δίκτυο αποχέτευσης (ΔΑ), ομοίως σύμφωνα με το άρθρο 7 και οι οικισμοί με πληθυσμό κάτω των 2.000 που λύματα τους απορρίπτονται σε γλυκά νερά και εκβολές ποταμών. Σύμφωνα με το άρθρο 4, τα αστικά λύματα που διοχετεύονται σε ΔΑ πριν την διάθεσή τους σε υδάτινο αποδέκτη, υποβάλλονται σε δευτεροβάθμια ή ισοδύναμη επεξεργασία Σύμφωνα με το άρθρο 7, σε οικισμούς κάτω από 2.000 κατοίκους που τα λύματά τους διοχετεύονται σε ΔΑ πριν την διάθεσή τους σε υδάτινο αποδέκτη απαιτείται κατάλληλη επεξεργασία λιγότερο αυστηρή από την δευτεροβάθμια. Συγκεκριμένα έχουμε τις ακόλουθες κατηγορίες:

- Κατηγορία Α: Αφορά πληθυσμούς 10.000 Μονάδων Ισοδύναμου Πληθυσμού (ΜΙΠ) και άνω, που αποχετεύονται σε ευαίσθητους αποδέκτες. Απαιτείται αποχέτευση και επεξεργασία λυμάτων ανώτερη της δευτεροβάθμιας με αφαίρεση Ν ή Ν και Ρ (Άρθρα 3 και 5).
- Κατηγορία Β: Αφορά πληθυσμούς 10.000 ΜΙΠ και άνω, που αποχετεύονται σε κανονικούς αποδέκτες. Απαιτείται αποχέτευση και δευτεροβάθμια επεξεργασία των λυμάτων (Άρθρα 3 και 4).

- Κατηγορία Γ: Αφορά πληθυσμούς 2.000-10.000 ΜΙΠ που αποχετεύονται σε αποδέκτες γλυκού νερού και εκβολές ποταμών. Απαιτείται αποχέτευση και δευτεροβάθμια επεξεργασία λυμάτων (Άρθρα 3 και 4). Στην κατηγορία αυτή κατατάσσονται και οι οικισμοί 2.000-10.000 ΜΙΠ που αποχετεύονται στους θαλάσσιους αποδέκτες που έχουν χαρακτηριστεί ευαίσθητοι.
- Κατηγορία Δ: Αφορά πληθυσμούς 2.000-10.000 ΜΙΠ, που αποχετεύονται σε παράκτια νερά και πληθυσμούς κάτω των 2.000 ΜΙΠ, που αποχετεύονται σε αποδέκτες γλυκού νερού και εκβολές ποταμών. Απαιτείται αποχέτευση και κατάλληλη επεξεργασία λυμάτων λιγότερο αυστηρή από την δευτεροβάθμια (Άρθρο 7).
- Κατηγορία Μ: Αφορά μικρούς οικισμούς κάτω των 2.000 ΜΙΠ, που έχουν παράκτιους αποδέκτες. Οι οικισμοί αυτοί δεν έχουν υποχρέωση να έχουν δίκτυο αποβλήτων. Εφόσον, όμως, διαθέτουν θα πρέπει να έχουν και κατάλληλη επεξεργασία. Το ίδιο ισχύει και για οικισμούς οποιουδήποτε μεγέθους, σε υψόμετρο άνω των 1.500 m.

Οι εκροές των εγκαταστάσεων επεξεργασίας αστικών λυμάτων, σύμφωνα με τα άρθρα 4 και 5, πρέπει να πληρούν τις εξής προδιαγραφές: Βιοχημική απαίτηση οξυγόνου BOD_5 25mg/l, Χημική απαίτηση οξυγόνου COD 125mg/l, Σύνολο αιωρούμενων στερεών SS 35mg/l και σε ορεινές περιοχές με υψηλό υψόμετρο για οικισμούς κάτω από 10.000 κατοίκους 60mg/l. Επιπλέον οι απορρίψεις προς ευαίσθητες περιοχές με κίνδυνο ευτροφισμού πρέπει να πληρούνται και οι ακόλουθες απαιτήσεις: για πληθυσμό 100.000 κατοίκων και κάτω σύνολο φωσφόρου (P) 2 mg/l ανά κάτοικο και σύνολο αζώτου (N) 15 mg/l ανά κάτοικο. Τα βιομηχανικά υγρά απόβλητα που διοχετεύονται σε σταθμούς επεξεργασίας αστικών λυμάτων πρέπει να υποβάλλονται στην απαιτούμενη προκαταρκτική επεξεργασία σύμφωνα με την ΚΥΑ 5673/400/1997. Ο τρόπος διάθεσης αστικών και βιομηχανικών λυμάτων στα επιφανειακά νερά και οι απαιτούμενες διαδικασίες για τον καθορισμό ενός αποδέκτη, ανάλογα με τις προβλεπόμενες χρήσεις των νερών στην περιοχή, καθορίζονται σε επίπεδο νομαρχιών, με την υγειονομική διάταξη «Περί διάθεσης λυμάτων και βιομηχανικών αποβλήτων» Ε16/221/65. Με την ίδια διάταξη καθορίζονται οι όροι διάθεσης λυμάτων και βιομηχανικών αποβλήτων στο έδαφος (επιφανειακή ή υπεδάφια) και απαιτούμενες διαδικασίες για τη χορήγηση αδείας διάθεσης λυμάτων και βιομηχανικών αποβλήτων. Σύμφωνα με αυτήν, έχουν τεθεί χρονικά όρια προσαρμογής και τήρησης των όρων επεξεργασίας. Ευρωπαϊκές οδηγίες για την ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση εκροών αστικών υγρών αποβλήτων δεν υπάρχουν, είναι όμως βέβαιο ότι θα θεσπιστούν σύντομα. Η καθυστέρηση αυτή οφείλεται στη διαφορετικότητα Νότιων και Βόρειων χωρών σε ότι αφορά τη διαθεσιμότητα υδατικών πόρων. Στην Οδηγία 91/271/ΕΚ, άρθρο 12 παρ. 1, αναφέρεται ρητά ότι «επεξεργασμένα υγρά απόβλητα θα επαναχρησιμοποιούνται οποτεδήποτε θεωρούνται κατάλληλα». Για την

επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για άρδευση, διακρίνουμε δύο τύπους άρδευσης με βάση το είδος των καλλιεργειών, το σύστημα άρδευσης και την προσβασιμότητα του κοινού στην αρδευόμενη περιοχή: Α) Την άρδευση με περιορισμούς (περιορισμένη), η οποία αφορά μόνο σε καλλιέργειες που τα προϊόντα τους καταναλώνονται μετά από θερμική ή άλλη επεξεργασία ή δεν προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση ή δεν έρχονται σε άμεση επαφή με το έδαφος, όπως καλλιέργειες ζωοτροφών, βιομηχανικές καλλιέργειες, λιβάδια, δέντρα (μη συμπεριλαμβανομένων των οπωροφόρων), με την προϋπόθεση ότι κατά τη συλλογή οι καρποί δεν βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος, καλλιέργειες σπόρων. Β) Η άρδευση χωρίς περιορισμούς (απεριόριστη), η οποία μεταξύ άλλων, αφορά σε όλα τα άλλα είδη καλλιεργειών όπως λαχανικά, αμπέλια ή καλλιέργειες, των οποίων τα προϊόντα καταναλώνονται ωμά, ανθοκομικά. Κατά την απεριόριστη άρδευση επιτρέπονται διάφορες μέθοδοι χρήσης του ανακτημένου νερού, συμπεριλαμβανομένου του καταιονισμού και δεν απαιτούνται περιορισμοί στην πρόσβαση. Στους πίνακες 3-2 και 3-3 περιγράφονται οι συνθήκες για περιορισμένη και απεριόριστη άρδευση. Στους πίνακες 3-4, 3-5 συνοψίζονται τα επιτρεπτά όρια εκροών από εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αστικών αποβλήτων.

Τύπος επαναχρησιμοποίησης	<i>Escherichia coli</i> (EC/100 ml)	BOD ₅ (mg/l)	SS (mg/l)	Θολότητα (NTU)	Κατ ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία	Ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων νερού προς επαναχρησιμοποίηση
<p>Περιορισμένη άρδευση Περιοχές όπου δεν αναμένεται πρόσβαση του κοινού, καλλιέργειες ζωοτροφών, βιομηχανικές καλλιέργειες, λιβάδια, δέντρα (μη συμπεριλαμβανομένων των οπωροφόρων), με την προϋπόθεση ότι κατά τη συλλογή οι καρποί δεν βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος, καλλιέργειες σπόρων και καλλιέργειες που παράγουν προϊόντα τα οποία υποβάλλονται σε περαιτέρω επεξεργασία πριν την κατανάλωσή τους. Άρδευση με καταιονισμό δεν θα εφαρμόζεται</p> <p>Βιομηχανική χρήση Νερό ψύξης μιας χρήσης</p> <p>Τροφοδοτική υπόγειων υδροφορέων που δεν εμπίπτουν στις διατάξεις του άρθρου 7 του ΠΔ 51/2-3-2007, (με την επιφύλαξη των παραγράφων 4 και 5 του άρθρου 5 της παρούσας), με διήθηση διαμέσου εδαφικού στρώματος με επαρκές πάχος και κατάλληλα χαρακτηριστικά</p>	≤ 200 διάμεση τιμή	Σύμφωνα με τις επιταγές της ΚΥΑ 5673/400/1997	Σύμφωνα με τις επιταγές της ΚΥΑ 5673/400/1997	-	Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία Απολύμανση	<p>BOD₅, SS, N, P: σύμφωνα με τις επιταγές της ΚΥΑ 5673/400/5.3.97 (ΦΕΚ 192/Β/14.3.97)</p> <p>EC: μια ανά εβδομάδα</p> <p>Υπολειμματικό χλώριο: συνεχώς (εφόσον εφαρμόζεται χλωρίωση)</p>

3-2 Μικροβιολογικά κριτήρια για περιορισμένη άρδευση που υιοθετούνται με την νέα ΚΥΑ περί επαναχρησιμοποίησης του ΥΠΕΚΑ (Φ.Ε.Κ 354 Μάρτιος 2011)

Διαφοροποίηση της κατανομής του μεγέθους των σωματιδίων υγρών αστικών αποβλήτων μετά από επεξεργασία με μικροκοσκίνιση (Microsieving)

Τύπος επαναχρησιμοποίησης	<i>Escherichia coli</i> (EC/100 ml)	BOD ₅ (mg/l)	SS (mg/l)	Θολότητα (NTU)	Κατ ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία	Ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων νερού προς επαναχρησιμοποίηση
<p>Απεριόριστη άρδευση Όλες οι καλλιέργειες όπως λαχανικά, αμπέλια ή καλλιέργειες των οποίων τα προϊόντα καταναλώνονται ωμά, θερμοκήπια. Η απεριόριστη άρδευση επιτρέπει την εφαρμογή διάφορων μεθόδων εφαρμογής της άρδευσης συμπεριλαμβανομένου του καταιονισμού.</p> <p>Βιομηχανική χρήση πλην νερού ψύξης μιας χρήσης επανακυκλοφορούμενο νερό ψύξης, νερό για λέβητες, νερό διεργασιών κλπ</p>	<p>≤ 5 για το 80% των δειγμάτων και ≤ 50 για το 95 % των δειγμάτων</p>	<p>≤ 10 για το 80% των δειγμάτων</p>	<p>≤ 10 για το 80% των δειγμάτων</p>	<p>≤ 2 διάμεση τιμή</p>	<p>Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία ακολουθούμενη από Τριτοβάθμια επεξεργασία και Απολύμανση</p>	<p>BOD₅, SS, N, P: σύμφωνα με τις επιταγές της ΚΥΑ 5673/400/5.3.97 (ΦΕΚ 192/Β/14.3.97)</p> <p>Θολότητα και διαπερατότητα: για ανακτημένο νερό από εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μεγαλύτερο από 50000 κατοίκους τέσσερις ανά εβδομάδα και δύο ανά εβδομάδα στις υπόλοιπες περιπτώσεις</p> <p>EC: για ανακτημένο νερό από εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μεγαλύτερο από 50000 κατοίκους τέσσερις ανά εβδομάδα και δύο ανά εβδομάδα στις υπόλοιπες περιπτώσεις. Κατ εξαίρεση για νησιωτικές περιοχές με τεκμηριωμένη ελλείψη κατάλληλης εργαστηριακής υποδομής μία ανά εβδομάδα</p> <p>Υπολειμματικό Cl₂ συνεχώς (εφόσον εφαρμόζεται χλωρίωση)</p>

3-3 Μικροβιολογικά κριτήρια για απεριόριστη άρδευση που υιοθετούνται με την νέα ΚΥΑ περί επαναχρησιμοποίησης του ΥΠΕΚΑ (Φ.Ε.Κ 354 Μάρτιος 2011)

Παράμετροι συγκέντρωσης	Τιμή συγκέντρωσης	Ελάχιστη μείωση	Μέθοδοι μέτρησης /αναφοράς
Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο - BOD₅ (στους 20°C) χωρίς νιτροποίηση	25mg/l	70-90 % 40 % για ορεινές περιοχές (1500m υψόμετρο)	Ομοιογενοποιημένο, αδιάθικτο, χωρίς καθίζηση δείγμα. Προσδιορισμός του διαλυμένου οξυγόνου πριν και μετά από πενθήμερη επώαση στους 20°C ± 1°C, απουσία φωτός. Προσθήκη παρεμποδιστή της νιτροποίησης
Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο - COD	125 mg/l	75%	Ομοιογενοποιημένο, αδιάθικτο, χωρίς καθίζηση δείγμα. Προσδιορισμός με τη μέθοδο διχρωμικού καλίου
Ολικά αιωρούμενα στερεά - TSS	35 mg/l 35 mg/l (>10000ι.π.) 60 mg/l 2000-10000	90% 90% (>10000 ι.π.) 70% (2000 – 10000 ι.π.)	- Διήθηση δείγματος μέσω φίλτρου μεμβράνης των 0,45μm, ξήρανση σε θερμοκρασία 105°C και ζύγιση. - Φυγοκέντρωση δείγματος (επί 5 τουλάχιστον λεπτά, με μέση επιτάχυνση 2800-3200 rpm), ξήρανση σε θερμοκρασία 105°C

3-4 Απαιτήσεις για απορρίψεις από σταθμούς επεξεργασίας αστικών λυμάτων (εφαρμόζεται η τιμή συγκέντρωσης ή το συνολικό ποσοστό μείωσης) (Σημειώσεις μαθήματος Περιβάλλον & Ανάπτυξη, τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ)

Παράμετροι συγκέντρωσης	Τιμή συγκέντρωσης	Ελάχιστη μείωση	Μέθοδοι μέτρησης /αναφοράς
Ολικός Φόσφορος - P	2 mg/l (10000-100000 ιπ) 1 mg/l (>100000 ιπ)	80%	Φασματοφωτομετρία μοριακής απορρόφησης
Ολικό άζωτο – N	15 mg/l (10000-100000 ιπ) 10 mg/l (>100000 ιπ)	70-80%	Φασματοφωτομετρία μοριακής απορρόφησης

3-5 Απαιτήσεις για απορρίψεις από σταθμούς επεξεργασίας αστικών λυμάτων (εφαρμόζεται η τιμή συγκέντρωσης ή το συνολικό ποσοστό μείωσης) (Σημειώσεις μαθήματος Περιβάλλον & Ανάπτυξη, τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ)

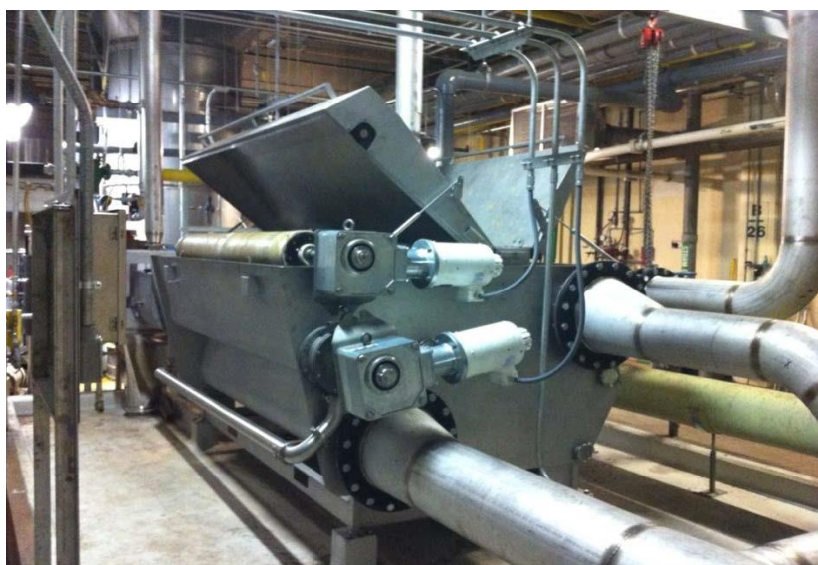
3.3 Μικροκοσκίνιση

Η χρήση της τεχνολογίας της μικροκοσκίνισης για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων, είναι μια αποδοτική εναλλακτική μέθοδος απομάκρυνσης σωματιδίων-κυρίως των πιο ογκωδών-που χρησιμοποιείται αντί της πρωτοβάθμιας καθίζησης. Εναλλακτικά η μικροκοσκίνιση περιγράφεται και ως μικροεσχάρωση (microscreening). Η φιλοσοφία της μικροκοσκίνισης με μικροεσχάρες, είναι η όσο το δυνατόν γρηγορότερη και αποδοτικότερη απομάκρυνση των στερεών, διευκολύνοντας την μετέπειτα επεξεργασία. Αυτό επιτυγχάνεται με μικρές ενεργειακές απαιτήσεις, σε πολύ περιορισμένο χώρο (μικρότερο οικολογικό αποτύπωμα με αυτό μιας δεξαμενής καθίζησης) και με θεωρητικά μηδενικό χρόνο παραμονής του αποβλήτου στο μηχάνημα. Μια περιστρεφόμενη ημιπερατή μεμβράνη με πόρους συλλέγει και απομακρύνει από το εισερχόμενο απόβλητο τα πιο ογκώδη στερεά (Gikas et al., 2013).

Η εφαρμογή της μπορεί να είναι αποτελεσματική σε περιοχές με έλλειψη χώρου για άλλου τύπου εγκαταστάσεις και μπορεί να λειτουργεί είτε συμπληρωματικά, είτε αντικαθιστώντας εξ ολοκλήρου την πρωτοβάθμια καθίζηση σε σχετικά μικρές ημερήσιες παροχές. Συχνά όμως η χρήση της γίνεται με πολλαπλά μηχανήματα σε σειρά με σκοπό την επεξεργασία μεγαλύτερων παροχών. Η λειτουργία της μικροκοσκίνισης γίνεται με φυσικό τρόπο και δεν απαιτεί προσθήκη χημικών. Ωστόσο η χρήση της μπορεί να γίνει και με συνδυαστική χρήση χημικών (συνήθως κατιονικά πολυμερή). Επίσης έχει χαμηλό κόστος συντήρησης και λειτουργίας. Συρρικνώνει την αισθητική υποβάθμιση σε σύγκριση με μια δεξαμενή καθίζησης ενώ ταυτόχρονα μειώνει αισθητά και τις οσμές που εκλύονται.

Σε αρκετές περιπτώσεις, τα μικροκόσκινα αντικαθιστούν και εκσυγχρονίζουν τις συμβατικές μεθόδους απομάκρυνσης στερεών. Σε αρκετές πόλεις των Η.Π.Α

(Fontana-California, Delecatto Winery-California, Kiel-Wisconsin, Concordia-Missouri) έχουν αντικαταστήσει πλήρως τις δεξαμενές καθίζησης στις μονάδες επεξεργασίας υγρών αστικών αποβλήτων. Η ανάγκη αυτή προκύπτει από τα αυστηρά κριτήρια ποιότητας στην εκροή, αλλά και από την ανάγκη επεξεργασίας μεγαλύτερου όγκου υγρών αποβλήτων σε μικρότερο χρονικό διάστημα. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα του προγράμματος «The Municipal Wastewater R&D Past and Present» (Research and Development) όπου σε μετρήσεις πέντε διαφορετικών εγκαταστάσεων καθίζησης μόνο μία βρέθηκε να πληροί το επιβαλλόμενο από τη νομοθεσία ποσοστό απομάκρυνσης των στερεών και μάλιστα με πολύ μικρό βαθμό υπερχειλίσσης (0,36 m/h) (Misund et al., 2004). Στην εικόνα 3-6 παρουσιάζεται μια εγκατάσταση μικροκόσκινου.



3-6 Εγκατάσταση μηχανήματος μικροκοσκίνισης (Hydro International)

3.4 Disc Filters

Παρόμοια τεχνολογία με αυτή των μηχανημάτων μικροκοσκίνισης χρησιμοποιούν και τα disc filters. Η συγκεκριμένη τεχνολογία επιταχύνει την απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών που απαιτούν ιδιαίτερα μεγάλο χρόνο για να καθιζάνουν. Είναι όμως εξίσου αποτελεσματική και για τα επιπλέοντα στερεά. Επιτυγχάνεται απομάκρυνση και συλλογή μη σιδηρούχων αλλά και αμέταλλων χημικών στοιχείων. Το απόβλητο εισέρχεται δια μέσω ενός αγωγού σε ένα μεγάλο κυκλικό τύμπανο, το οποίο διαθέτει ξεχωριστούς διαδοχικούς περιστρεφόμενους κυκλικούς δίσκους. Ο αγωγός διαπερνά τη διάταξη στο κέντρο της ενώ δεξιά και αριστερά του υπάρχουν χώροι συλλογής των στερεών αποβλήτων. Οι δίσκοι αποτελούνται από πολλά μικρά κόσκινα με συγκεκριμένο άνοιγμα πόρων και κατά την περιστροφή τους συλλέγουν τα στερεά σωματίδια που βρίσκονται στο απόβλητο. Ολοκληρώνοντας την περιστροφή τους καθαρίζονται με νερό υψηλής πίεσης, είτε μηχανικά, και

εναποθέτουν τα συλλεγμένα στερεά εκατέρωθεν του αγωγού. Η ταχύτητα περιστροφής είναι σχετικά αργή (περίπου 3rpm). Όπως και στις μικροσχάρες με περιστρεφόμενο ιμάντα, έτσι και εδώ δεν απαιτείται προσθήκη χημικών. Ωστόσο η διαδικασία απομάκρυνσης των στερεών μπορεί να βελτιστοποιηθεί με προσθήκη πολυμερών και αλάτων σιδήρου, με ταυτόχρονη όμως αύξηση της παραγωγής σε λάσπη. Η τεχνολογία αυτή βρίσκει εφαρμογή σε εγκαταστάσεις διαχείρισης βιομηχανικών αποβλήτων, κυρίως χημικής και τροφίμων. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και σε επεξεργασία αστικών λυμάτων, είτε σαν πρωτοβάθμια επεξεργασία, είτε ως δευτερογενής επεξεργασία με χρήση πολύ μικρότερου ανοίγματος πόρων στους δίσκους. Το οικολογικό αποτύπωμα της διάταξης είναι κατά πολύ μικρότερο σε σύγκριση με αντίστοιχες συμβατικές μεθόδους όπως για παράδειγμα οι δεξαμενές καθίζησης. Η εικόνα 3-7 δείχνει τη λειτουργία ενός disc filter.



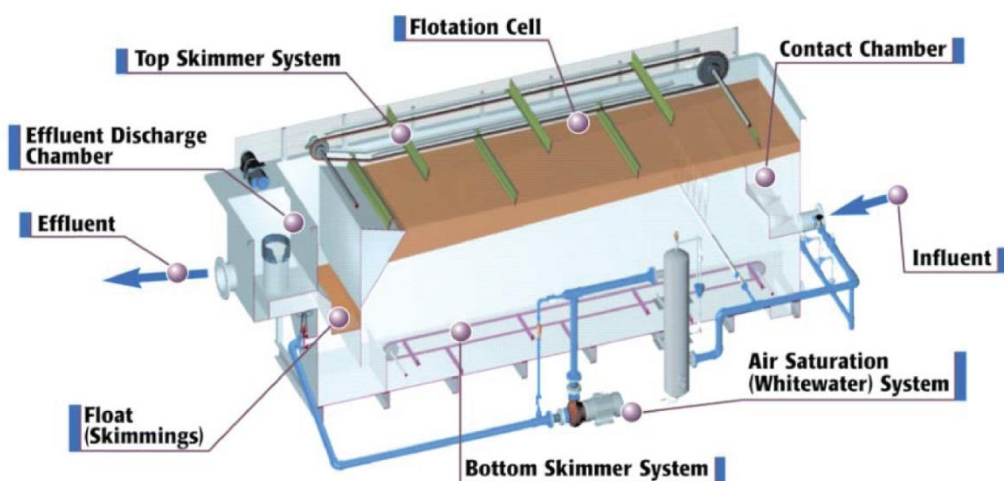
3-7 Τυπική διάταξη disc filter (FLSmidth)

3.5 Επίπλευση Dissolved Air Flotation

Η χρήση διαλυμένου ατμοσφαιρικού αέρα με σκοπό την επίπλευση (DAF) είναι μια μέθοδος επεξεργασίας απομάκρυνσης λιπών και αιωρούμενων στερεών από τα υγρά απόβλητα. Η απομάκρυνση επιτυγχάνεται με τη διάλυση αέρα υπό πίεση μέσα στο υγρό απόβλητο, απελευθερώνοντας το στη συνέχεια σε δεξαμενή με ατμοσφαιρική πίεση. Αποτέλεσμα είναι οι φυσαλίδες του αέρα να ανυψώνουν τα στερεά σωματίδια αλλά και τα λίπη ώστε αυτά να επιπλεύσουν και να απομακρυνθούν από την επιφάνεια. Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται ευρέως στη διαχείριση βιομηχανικών υγρών αποβλήτων, κυρίως σε διυλιστήρια πετρελαίου, πετροχημικές βιομηχανίες και μονάδες επεξεργασίας φυσικού αερίου. Σε ορισμένες περιπτώσεις, ανάλογα με τη σύσταση του αποβλήτου,

χρησιμοποιείται αέριο άζωτο αντί του οξυγόνου για να αποφευχθούν κίνδυνοι έκρηξης (Dissolved Gas Flotation). Επίσης, μια τυπική εγκατάσταση επίπλευσης DAF, χρησιμοποιεί συνήθως αρχικά και μια δεξαμενή ανάμιξης με κροκιδωτικό χημικό (σιδηρούχα και θειούχα άλατα), προκειμένου να μετασχηματίσει τα σωματίδια σε μεγαλύτερα στερεά κλάσματα για ευκολότερη απομάκρυνση. Τα συστήματα DAF κατηγοριοποιούνται σε κυκλικά και ορθογωνικά, τα τελευταία εκ των οποίων έχουν μεγαλύτερο χρόνο παραμονής (20-30 min).

Το απόβλητο αφού εισέλθει στη δεξαμενή ανάμιξης με κάποιο κροκιδωτικό χημικό, περνάει στη δεξαμενή επίπλευσης όπου γίνεται μηχανική διάχυση αέρα. Το στρώμα που δημιουργείται στο άνω μέρος απομακρύνεται μηχανικά. Μέρος της εκροής του επεξεργασμένου αποβλήτου οδηγείται σε ένα θάλαμο υπό πίεση, όπου γίνεται προσθήκη αέρα. Αφού επέλθει κορεσμός, με ένα σύστημα ανακυκλοφορίας, το απόβλητο οδηγείται ξανά στην κυρίως δεξαμενή επίπλευσης. Τελικά, οι φυσαλίδες που δημιουργούνται υπερνικούν την επίδραση της βαρύτητας και τα σωματίδια επιπλέουν στην επιφάνεια, δημιουργώντας ένα επιφανειακό στρώμα. Στην εικόνα 3-8 φαίνεται η λειτουργία ενός συστήματος επίπλευσης.

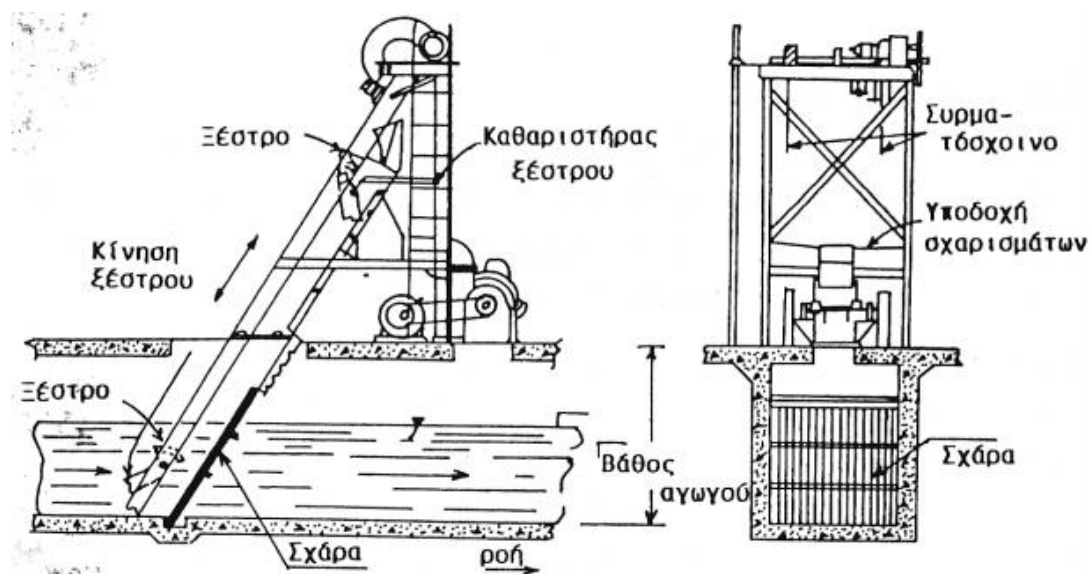


3-8 Διάταξη συστήματος DAF (C. Ross et al., 2003)

3.6 Εσχάρωση στην προεπεξεργασία

Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, πρώιμη και βασική απομάκρυνση των στερεών σωματιδίων στα εισερχόμενα υγρά απόβλητα, αποτελεί η εσχάρωση. Η εσχάρωση γίνεται στο στάδιο της προεπεξεργασίας των αποβλήτων, που συνήθως έχουν υποστεί μια μηχανική ανύψωση που διευκολύνει την διεργασία. Η εσχάρωση δεν αποτελεί πρωτοβάθμια επεξεργασία και έχει διαφορετική λειτουργία σε σχέση με τη μικροκοσκίνιση. Τα στερεά που απομακρύνονται με την σχάρα έχουν αρκετά μεγάλο μέγεθος και δεν συμπεριλαμβάνονται στα ολικά SS. Το σχήμα των εσχάρων είναι συνήθως ραβδωτό. Οι εσχάρες ανάλογα με το μέγεθός τους χωρίζονται σε

τρεις βασικές κατηγορίες: Χοντρές, με διάκενα 50-150mm, Μέσης διατομής με διάκενα 20-40mm και λεπτές διατομής με διάκενα 5-20mm. Οι εσχάρες με διάκενα 40mm κατακρατούν περίπου 0,3-3L αδρομερή ανά 100 m³ υγρών αποβλήτων ενώ οι εσχάρες με διάκενα 20mm περίπου 3-30L ανά 100 m³ υγρών αποβλήτων. Συνήθως σε μεγάλες μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, η διάταξη περιλαμβάνει δύο ειδών εσχάρες, μία με μεγαλύτερα ανοίγματα και ακολούθως μια με μικρότερα ανοίγματα. Η ταχύτητα προσέγγισης των λυμάτων στις εσχάρες είναι συνήθως 0,5 m/sec ενώ η ταχύτητα διέλευσής τους από αυτές δε ξεπερνά τα 0,7-1 m/sec (με εξαίρεση σε παντοροϊκό δίκτυο όπου η ταχύτητα διέλευσης μπορεί να φτάνει τα 2m/s). Ο έλεγχος της ανάντη ταχύτητας ροής της εσχάρας είναι σημαντικός ώστε να μην υπάρχει συσσώρευση άμμου στον πυθμένα του αύλακα πριν τη σχάρα. Ο έλεγχος της ταχύτητας διέλευσης της εσχάρας είναι επίσης σημαντικός ώστε να αποφεύγεται σε υψηλές ταχύτητες να διαπερνούν την εσχάρωση σωματίδια που έπρεπε βάσει μεγέθους να κατακρατηθούν. Στη χειροκίνητη εσχάρωση, η διάταξη τοποθετείται με κλίση 45° ενώ όταν αυτή γίνεται μηχανικά, η διάταξη τοποθετείται κατακόρυφα. Η εσχάρωη επιτυγχάνει συνήθως 5-10% απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών, 0-10% απομάκρυνση BOD₅, ενώ οι μεγαλύτερες αποδόσεις επιτυγχάνονται με χρήση πιο λεπτών εσχάρων. Τα εσχαρίσματα έχουν υψηλή υγρασία 70-90% και υψηλό οργανικό φορτίο 85%. Διατίθενται είτε για ταφή, χώνευση, καύση και διάθεση με άλλα στερεά απορρίμματα ή με άλεση. Η άλεση των εσχαρισμάτων χρησιμοποιείται συχνά ώστε τα τεμαχίδια που θα προκύψουν να ακολουθήσουν τα λύματα στα επόμενα στάδια επεξεργασίας. Συνηθέστεροι τύποι μηχανικών εσχάρων είναι οι εξής: Επίπεδη κεκλιμένη (πιο συνηθισμένη), είτε με παλινδρομικό ξέστρο είτε με αλυσιδωτό, Τοξωτή σχάρα, με περιστρεφόμενο βραχίονα καθαρισμού (μεγάλη ωφέλιμη επιφάνεια, χρήση σε ρηχά κανάλια), που μπορεί επίσης να είναι εξοπλισμένη με πολτοποιητή (όχι συχνή χρήση, αύξηση οργανικού φορτίου λυμάτων). Στην εικόνα 3-9 παρουσιάζονται κεκλιμένες και κάθετες διατάξεις εσχάρων.



3-9 Κεκλιμένες και κάθετες διατάξεις εσχαρών (Αστικά υδραυλικά έργα, σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π)

3.7 Καθίζηση

Η αφαίρεση των αιωρούμενων σωματιδίων γίνεται συνήθως με την βοήθεια των δυνάμεων της βαρύτητας με την χρήση των τεχνικών της καθίζησης (settling). Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι τεχνικές της καθίζησης μπορούν ωστόσο να ενισχυθούν χημικά, με προσθήκη κατάλληλων χημικών κροκιδωτικών. Οι τεχνικές χωρίς την προσθήκη χημικών, χρησιμοποιούν τη διαφορά ειδικού βάρους των αιωρούμενων σωματιδίων σε σχέση με το ειδικό βάρος του υγρού μέσου διασποράς τους. Η βαρυτική καθίζηση διακρίνεται σε τρεις τύπους ανάλογα με τον μηχανισμό που ισχύει σε κάθε περίπτωση, δηλαδή τη συγκέντρωση των στερεών και της τάσης τους να αλληλεπιδρούν.

Πρώτη ορίζεται η καθίζηση διακριτών σωματιδίων τα οποία δεν αλληλεπιδρούν μεταξύ τους κατά την πορεία τους προς τον πυθμένα της δεξαμενής που καθιζάνουν (discrete particle settling). Για την περίπτωση της καθίζησης των διακριτών σωματιδίων, αυτών δηλαδή που διατηρούν το μέγεθος, το σχήμα και την πυκνότητά τους, ισχύουν τα ακόλουθα. Όταν βρίσκονται σε ένα στάσιμο ρευστό, τα διακριτά σωματίδια επιταχύνονται μέχρι η δύναμη τριβής να εξισωθεί με τη δύναμη βαρύτητας. Όταν οι δυνάμεις αυτές εξισωθούν, τότε το σωματίδιο που καθιζάνει αποκτά ομοιόμορφη ταχύτητα καθίζησης, η οποία ονομάζεται τελική ταχύτητα καθίζησης. Η δύναμη που δρα στο σωματίδιο και το οδηγεί προς τα κάτω είναι η συνισταμένη της δύναμης βάρους (που δρα προς τα κάτω) και της άνωσης (που δρα προς τα πάνω).

Δεύτερη ορίζεται η καθίζηση σωματιδίων τα οποία συσσωματώνονται και αλλάζουν την χαρακτηριστική συμπεριφορά καθίζησης στην διάρκεια της πορείας τους προς

τον πυθμένα της δεξαμενής όπου καθιζάνουν (floculent settling). Πολλά σωματίδια τείνουν να συσσωματώνονται καθώς καθιζάνουν, με αποτέλεσμα να σχηματίζονται μεγαλύτερα σωματίδια διαφορετικού μεγέθους, σχήματος και βάρους. Καθώς τα σωματίδια συσσωματώνονται καθιζάνουν με μεγαλύτερη ταχύτητα (σύμφωνα με το νόμο του Stokes). Καθώς τα σωματίδια αυξάνουν σε μέγεθος, έχουν ολοένα και μεγαλύτερη ταχύτητα καθίζησης και, έτσι, η τροχιά που διανύουν μέσα στη δεξαμενή καθίζησης είναι καμπύλη και όχι ευθεία, όπως στην πρώτη περίπτωση. Η συνολική διεργασία καθίζησης επηρεάζεται από τα χαρακτηριστικά συσσωμάτωσης και καθίζησης των σωματιδίων. Ο ρυθμός με τον οποίο τα σωματίδια συσσωματώνονται σχετίζεται με τη συχνότητα σύγκρουσης των σωματιδίων. Σε έναν κύλινδρο με στάσιμο ρευστό (ρευστό σε ηρεμία) ή σε μια ιδανική δεξαμενή καθίζησης, οι συγκρούσεις μεταξύ των σωματιδίων είναι αποτέλεσμα της επαφής των βαρύτερων σωματιδίων με τα ελαφρότερα καθώς αυτά "τα προσπερνούν", προχωρώντας προς τον πυθμένα της δεξαμενής. Η συχνότητα σύγκρουσης είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των σωματιδίων και της διαφοράς τους στις ταχύτητες καθίζησης. Καθώς ο συνολικός αριθμός των συγκρούσεων αυξάνει με το χρόνο, ο ρυθμός συσσωμάτωσης εξαρτάται επίσης από το χρόνο παραμονής των σωματιδίων μέσα στη δεξαμενή. Η επίδραση της συσσωμάτωσης στο ρυθμό καθίζησης είναι περισσότερο φανερή στην περιοχή του πυθμένα της δεξαμενής καθώς περνά ο χρόνος. Η απομάκρυνση των σωματιδίων είναι συνάρτηση του χρόνου παραμονής και του ρυθμού υπερχειλίσης (φόρτισης) της δεξαμενής. Αντίθετα, η απομάκρυνση των διακριτών σωματιδίων εξαρτάται μόνο από το ρυθμό υπερχειλίσης της δεξαμενής. Ο ρυθμός συσσωμάτωσης δεν μπορεί να προβλεφθεί μόνο από την ταχύτητα σύγκρουσης των σωματιδίων. Η συνένωση των σωματιδίων εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως η φύση της επιφάνειάς τους, η παρουσία φορτίων, το σχήμα και η πυκνότητά τους.

Τρίτη ορίζεται η καθίζηση σωματιδίων τα οποία καθιζάνουν ως ζώνη δημιουργώντας μια σαφή διεπιφάνεια μεταξύ του καθιζάνοντος πολφού και του διαυγασθέντος υγρού (zone settling). Τα σωματίδια διατηρούν τις μεταξύ τους αποστάσεις για αρκετό διάστημα στην πορεία της καθίζησης τους προς τον πυθμένα της δεξαμενής. Λαμβάνει χώρα σε συστήματα με ενδιάμεσες συγκεντρώσεις στερεών. Οι αλληλεπιδράσεις των σωματιδίων είναι τέτοιες ώστε να παρεμποδίζεται η καθίζηση γειτονικών σωματιδίων. Τα σωματίδια σχηματίζουν, λόγω ισχυρής συσσωμάτωσης, ένα στρώμα που καθιζάνει ως μια μάζα (Στάμος, 2004).

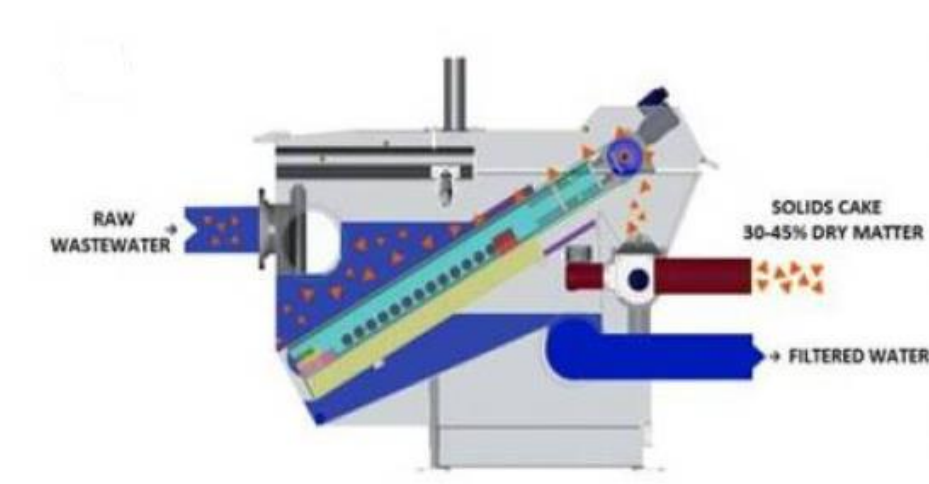
Κεφάλαιο 4. Υλικά και μέθοδοι

4.1 Μικροκόσκινο βιομηχανικού τύπου

Η λειτουργία του μηχανήματος θα πραγματοποιηθεί χωρίς τη χρήση χημικών κροκιδωτικών ουσιών. Η συγκεκριμένη εγκατάσταση (ΕΕΛ Ρεθύμνου) χρησιμοποιεί σύστημα παρατεταμένου αερισμού και δε διαθέτει πρωτοβάθμια καθίζηση. Τα λύματα θα εισάγονται από το κανάλι εξόδου του εξαμμωτή με χρήση υποβρύχιας αντλίας, συνδεδεμένη με το σύστημα μικροκοσκίνισης. Εκεί ακριβώς, πάνω στη σχάρα του καναλιού θα γίνει και η τοποθέτηση του συστήματος. Θα χρησιμοποιεί μέρος της παροχής εισόδου, που έχει υποστεί προεπεξεργασία. Στο εσωτερικό του μηχανήματος, υπάρχουν δύο περιστρεφόμενοι κύλινδροι οι οποίοι κινούν ένα πλαστικό υφασμάτινο ιμάντα, με πόρους με συγκεκριμένο άνοιγμα. Το άνοιγμα συνήθως κυμαίνεται από 100μm έως 300μm για αστικά απόβλητα. Στη συγκεκριμένη εγκατάσταση θα χρησιμοποιηθεί ιμάντας με άνοιγμα πόρων 350μm. Η εισαγωγή του αποβλήτου γίνεται από τη μία πλευρά στον θάλαμο του μηχανήματος και σαρώνεται από την μεμβράνη διαγώνια από τον πυθμένα, απομακρύνοντας τα πιο ευμεγέθη σωματίδια. Παράλληλα το φιλμ που δημιουργείται πάνω στην ταινία από τα στερεά σωματίδια φιλτράρει και μικρότερης διαμέτρου σωματίδια. Αυτά προσκολλώνται πάνω στην ταινία, απομακρύνονται με σύστημα διαχωρισμού (με έκφυση αέρα) και συλλέγονται σε ειδικό θάλαμο. Ο ιμάντας ολοκληρώνει την περιστροφή της και επανεισέρχεται καθαρισμένος για σάρωση στερεών. Σε περίπτωση που αυξηθεί το υδραυλικό φορτίο

Το απόβλητο που έχει υποστεί την αφαίρεση των στερεών συνεχίζει για μετέπειτα επεξεργασία ενώ τα συλλεγόμενα στερεά συμπιέζονται με τη βοήθεια ενός κοχλία Αρχιμήδη και οδηγούνται και αυτά προς επεξεργασία. Η έξοδος του κοχλία παράγει πρωτοβάθμια λάσπη, η περιεκτικότητά της οποίας σε ξηρή ύλη ανέρχεται σε 30-45%). Επίσης στο σημείο εξόδου της λάσπης γίνεται ψεκασμός νερού υπό πίεση για να διευκολύνεται η ροή ενώ υπάρχει και έξοδος στο κάτω μέρος του για τα υγρά στραγγίσματα. Ο χρόνος που πρακτικά παραμένει το απόβλητο στο μηχανήμα δε ξεπερνά περίπου τα 16 sec γι αυτό και θεωρητικά δεν υπάρχει υδραυλικός χρόνος παραμονής. Η ισχύς του κινητήρα που περιστρέφει την μεμβράνη είναι ρυθμιζόμενη, ώστε να μπορεί να περιστραφεί γρηγορότερα ή βραδύτερα. Αυτό βοηθά στην αντιμετώπιση ενός στιγμιαία αυξημένου όγκου αποβλήτου ώστε να μην υπάρχουν φαινόμενα υπερχειλίσσης. Ο έλεγχος της μονάδας γίνεται από ηλεκτρονικό πίνακα που ρυθμίζει την ταχύτητα περιστροφής της ταινίας, την ταχύτητα περιστροφής του κοχλία, την ισχύ της αντλίας και τέλος μετρά την εισερχόμενη παροχή. Ανά τακτά χρονικά διαστήματα και ανάλογα με το στάδιο της επεξεργασίας που χρησιμοποιείται το μικροκόσκινο, κρίνεται απαραίτητος ο καθαρισμός της ταινίας ώστε να αποφευχθούν τυχόν φραξίματα από λάσπη, λίπη,

έλαια και τυχόν συσσωρευμένες ποσότητες σιδήρου και μαγνησίου (Hendricks, 2006). Αυτό επιτυγχάνεται με κάποιο διάλυμα χλωρίου για την απομάκρυνση της λάσπης, με ζεστό νερό για τα λίπη και τα έλαια και με προσθήκη διαλύματος οξέος για το σίδηρο και το μαγνήσιο. Η λειτουργία του μικροκόσκινου φαίνεται στην εικόνα 4-1.



4-1 Σύστημα λειτουργίας μικροκοσκίνισης (Gikas et al., 2013)

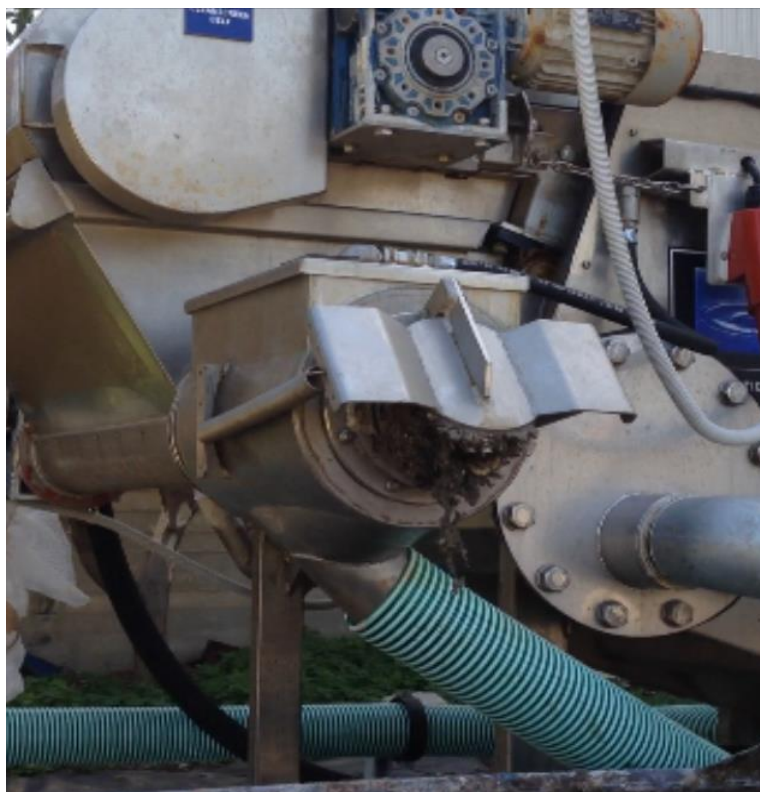
Για μια τυπική εγκατάσταση ενός μικροκόσκινου βιομηχανικού τύπου με άνοιγμα πόρων 200 μ m και λειτουργία επί εικοσιτετραώρου βάσεως, το μέγιστο υδραυλικό φορτίο (m³/h) είναι **500 / 400** (βιομηχανικά / κοινοτικά), η ισχύς του (hp) **2.5-7.0** και η κατανάλωση ενέργειας του **30-88 kWh/day**. Οι μέγιστες απομακρύνσεις που μπορεί να επιτύχει παρουσιάζονται στον πίνακα 4-2. Ο φυσητήρας που χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό της ταινίας λειτουργεί με πίεση περίπου 5 atm. Σε σχέση με μια συμβατική καθίζηση, οι ενεργειακές του απαιτήσεις είναι κατά 50% μειωμένες. Γενικά, η τεχνολογία της μικροκοσκίνισης στην Ελλάδα δε χρησιμοποιείται, σε αντίθεση με χώρες του εξωτερικού όπως οι Η.Π.Α, όπου σε πολλές εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων τα μικροκόσκινα έχουν δεσπόζουσα θέση. Στην εικόνα 4-3 απεικονίζεται ο περιστρεφόμενος ιμάντας του μικροκόσκινου ενώ στην εικόνα 4-4 φαίνεται το σημείο εξόδου της λάσπης.

Χαρακτηριστικά Λύματος	Μέγιστη απομάκρυνση
TSS (Total Suspended Solids)	70%
BOD (Biological Oxygen Demand)	40%
FOG (Fat, Oil & Grease)	40%
Phosphorus	10%

4-2 Μέγιστες απομακρύνσεις με τη χρήση μικροκοσκίνισης (Hydro International)



4-3 Μικροκόσκινο σε λειτουργία (Hydro International)



4-4 Έξοδος πρωτοβάθμιας λάσπης (εγκατάσταση Δ.Ε.Υ.Α.Ρ)

Λειτουργία μικροκόσκινων με προσθήκη χημικών-Ενισχυμένη πρωτοβάθμια επεξεργασία

Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων συνιστούν ακατάλληλη την απλή συμβατική χρήση των μικροκοσκίνων. Σε πραγματικής κλίμακας πειράματα (Bangsund WWTP, Norway) με χρήση δύο μηχανημάτων μικροκοσκίνισης με ενδιαμέση χρήση επίπλευσης και κροκιδωτικών χημικών, τα κατιονικά πολυμερή είχαν καλύτερα αποτελέσματα μόνα τους παρά σε συνδυαστική χρήση με μεταλλικά άλατα και άλλα πολυμερή. Οι βέλτιστες απομακρύνσεις μάλιστα επετεύχθησαν όταν το απόβλητο παρέκαμπτε το πρώτο μικροκόσκινο. Επίσης βέλτιστα αποτελέσματα παρουσιάστηκαν με χρήση πλαστικών υφασμάτων ανοίγματος 850 μ m στο πρώτο μηχάνημα, προσθήκη 1mg/l ενός κατιονικού πολυμερούς (Pemcat 163 με μεγάλο μοριακό βάρος) για επίπλευση και στη συνέχεια χρήση περιστρεφόμενης μεμβράνης ανοίγματος 250 μ m (Ødegaard, 2006). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι με προσθήκη μικρής ποσότητας κατιονικού πολυμερούς, τα μέσα ποσοστά απομάκρυνσης των στερεών ήταν 66%, αρκετά πάνω από το 50% που ορίζει η ευρωπαϊκή νομοθεσία. Αντίστοιχα πειράματα με μικροκόσκινα σε διαφορετική εγκατάσταση (Bergen, Norway) με χρήση σιδηρούχων κροκιδωτικών και κροκιδωτικών αλουμινίου, έδειξαν χειρότερα αποτελέσματα σε σχέση με αποτελέσματα που δεν έγινε χρήση τους (Ødegaard, 2006). Βασική αιτία αποτελεί το γεγονός ότι η χρήση χημικών στην πρωτοβάθμια επεξεργασία συνεπάγεται και με αυξημένη παραγωγή λάσπης, η οποία αν δεν

απομακρύνεται από το μικροκόσκινο αποτελεσματικά, μειώνει σημαντικά τα ποσοστά απομάκρυνσης. Επίσης, ο αυτοκαθαρισμός της μεμβράνης κατά την περιστροφή της, ορισμένες φορές δεν ήταν επαρκής για να απομακρύνει όλα τα συλλεγμένα σωματίδια (Ødegaard, 2006). Παράλληλα αξίζει να σημειωθεί ότι μαζί με τις παραπάνω παρατηρήσεις, έγιναν επίσης δοκιμές φίλτρων περιστρεφόμενων τυμπάνων (disc filters), τα οποία, ακόμη και με ανοίγματα κόσκινου 80μm απέτυχαν να πιάσουν τα νομοθετικά ποσοστά απομάκρυνσης στην πρωτοβάθμια επεξεργασία.

4.1 Αναλυτικές μέθοδοι

4.1.1 Μέτρηση TSS-VSS

Η μέτρηση των Ολικών Στερεών (Total Solids) μετράει όλα τα στερεά στο νερό (οργανικά και ανόργανα) είτε είναι αιωρούμενα είτε διαλυμένα. Προσδιορίζεται σύμφωνα με την Standard Method (solids 2540). Αυτή η μέτρηση γίνεται με την πλήρη εξάτμιση του δείγματος, ξήρανση και ζύγιση του υπολείμματος. Η ολική ποσότητα του στερεού υπολείμματος εκφράζεται συνήθως σε mg/L. Για τον ορθό προσδιορισμό της ξηρής μάζας απαιτείται θερμοκρασία ξήρανσης ελαφρά πάνω από το σημείο βρασμού του νερού (105°C) για περίπου 1 ώρα ώστε να απομακρυνθεί ακόμα και το νερό που έχει προσροφηθεί πάνω στην επιφάνεια σωματιδίων. Μία θερμοκρασία γύρω στους 108°C είναι απαραίτητη για να εξατμίσει και το απορροφηθέν από τα αιωρούμενα στερεά νερό. Τα περισσότερα αιωρούμενα στερεά μπορούν να απομακρυνθούν από το νερό με διήθηση. Έτσι, η συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών, σε ένα δείγμα νερού, μπορεί να υπολογισθεί προσεγγιστικά διηθώντας το νερό, ξηραίνοντας το φίλτρο με τα στερεά στους 105° C, και μετρώντας τη μάζα του στερεού υπολείμματος που παρέμεινε στο φίλτρο. Τα αποτελέσματα της μέτρησης των ολικών αιωρούμενων στερεών (Total Suspended Solids) εκφράζονται ως ξηρή μάζα ανά μονάδα όγκου δείγματος (mg/L). Το ποσό των Ολικών διαλυμένων Στερεών (Total Dissolved Solids) που διαπερνά το φίλτρο και εκφράζεται ως μάζα ανά μονάδα όγκου διαλύματος (mg/L) αποτελεί τη διαφορά μεταξύ των ολικών στερεών και των αιωρούμενων στερεών που περιέχονται σε ένα δείγμα νερού. Στις μετρήσεις που έγιναν, ο όγκος διήθησης του δείγματος ήταν 20ml και χρησιμοποιήθηκαν ηθμοί διαμέτρου 47mm, με άνοιγμα πόρων 1,5μm.

Για την μέτρηση των πτητικών στερεών VSS της εξερχόμενης πρωτοβάθμιας λάσπης, είναι αρχικά αναγκαίος ο προσδιορισμός της περιεχόμενης υγρασίας της. Αυτό επιτυγχάνεται με την πλήρη ξήρανση μιας ποσότητας λάσπης στους 110°C για περίπου 1 ημέρα. Η διαφορά των 2 τιμών σε ζυγό ακριβείας θα μας προσδιορίσει το ποσοστό υγρασίας, διαιρώντας με το αρχικό βάρος τη διαφορά αυτή. Στη συνέχεια η ξηραμένη λάσπη τοποθετείται σε φούρνο με θερμοκρασία 600°C σε ειδικό πυρίμαχο σκεύος. Ο χρόνος παραμονής της στους 600°C εξαρτάται από την

ποσότητα της λάσπης. Για περίπου 5g λάσπης με 0% υγρασία, απαιτούνται 2-3 ώρες. Με την πάροδο αυτού του διαστήματος ζυγίζουμε ξανά τη λάσπη και η διαφορά της τιμής αυτής με την τιμή μετά την ξήρανση της λάσπης μας δίνει τη μάζα των VSS. Επίσης η ποσότητα των πτητικών στερεών μας δίνει και την περιεκτικότητα της λάσπης σε οργανικά ενώ το υπολειπόμενο την ποσότητα των ανόργανων αντίστοιχα.

4.1.2 BOD

Η ολοκλήρωση του πειράματος BOD απαιτεί πολύ χρόνο. Απαιτούνται 20 ημέρες για τον προσδιορισμό του 95-99% του BOD_u και για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται το BOD₅ που είναι το BOD που προσδιορίζεται κατά τις 5 πρώτες μέρες του πειράματος σε θερμοκρασία 20°C. Ο έλεγχος BOD₅ βασίζεται στην ακριβή μέτρηση του διαλυμένου οξυγόνου στην αρχή και στο τέλος της περιόδου των πέντε ημερών, όταν το δείγμα φυλάσσεται σε σκοτεινό σημείο σε συνθήκες επώασης 20°C. Η διαφορά στη συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου μετά από πέντε μέρες αντιπροσωπεύει την «απαίτηση σε οξυγόνο» για την αναπνοή των αερόβιων βιολογικών μικροοργανισμών του δείγματος. Με τη χρήση κατάλληλου μαθηματικού τύπου προσδιορίζεται τελικά το BOD₅ του δείγματος. Σημειώνεται επίσης ότι για ένα δείγμα πραγματοποιούνται παραπάνω από 1 επαναλήψεις και σημειώνεται τελικά ο μέσος όρος τους. Αν κάποια τιμή των επαναλήψεων διαφέρει σημαντικά από τις υπόλοιπες, τότε απορρίπτεται.

Για την μέτρηση του βιοχημικώς απαιτούμενου οξυγόνου (BOD₅) ακολουθήθηκε η διαδικασία σύμφωνα με τα Standard Methods (BOD₅ 5210B). Χρησιμοποιήθηκε αραιώση 1:60, δηλαδή σε 750ml απιονισμένου νερού έγινε προσθήκη 12,5ml δείγματος. Στο δείγμα έγινε προσθήκη των απαραίτητων buffers:

- 1 ml φωσφορικού διαλύματος (το οποίο περιέχει σε 1 λίτρο νερού 8,5 gr KH₂PO₄, 21,7 gr K₂HPO₄, και 1,7 gr NH₄CL)
- 1 ml διαλύματος θειικού μαγνησίου (το οποίο περιέχει σε 1 λίτρο νερού 22,5 gr 1 ml MgSO₄·7H₂O)
- 1 ml διαλύματος χλωριούχου ασβεστίου (το οποίο περιέχει σε 1 λίτρο νερού 27,5 gr CaCl₂)

Μετά την προσθήκη nitrification inhibitor ώστε το μετρούμενο BOD₅ να έχει μόνο οργανική προέλευση, το δείγμα αεριζόταν μηχανικά για περίπου 3-4 λεπτά, εωσότου η μετρούμενη συγκέντρωση οξυγόνου έπαιρνε τιμή αρκετά πάνω από 7 mg/l. Με την πάροδο 5 ημερών σε θάλαμο επώασης, γινόταν μέτρηση της συγκέντρωσης οξυγόνου. Ο πολλαπλασιασμός του μέσου όρου των επαναλήψεων της διαφοράς των συγκεντρώσεων οξυγόνου με την αραιώση (1:60) μας δίνει την τελική συγκέντρωση BOD₅. Αυτό αντιστοιχεί στο 70-80% του BOD_u.

4.1.3 COD

Το COD είναι η απαιτούμενη ποσότητα οξυγόνου για την χημική οξείδωση των οργανικών ουσιών ενός αποβλήτου σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό από ισχυρό οξειδωτικό μέσο (διχρωμικό κάλιο) και σε όξινες συνθήκες. Κατά τον προσδιορισμό του COD έχουμε οξείδωση όλων των οργανικών ουσιών, βιοδιασπώμενων ή μη.

Η αντίδραση που λαμβάνει χώρα περιγράφεται στην εξίσωση 2:



Εξίσωση 2: Αντίδραση οξείδωσης

$$\text{Όπου } d = \frac{2n}{3} + \frac{a}{6} - \frac{c}{2} - \frac{b}{3}$$

Εξίσωση 3: Σχέση υπολογισμού του συντελεστή d

Για την μέτρηση του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD), ακολούθησε η Standard Method (COD 5220) με αντιδραστήρια της εταιρίας Hach. Η μέθοδος αυτή περιλάμβανε αντιδραστήρια, χρήση φούρνου όπου τοποθετούνταν τα φιαλίδια και τελική μέτρηση σε φασματοφωτόμετρο. Στις μετρήσεις έγινε αραιώση 1:8, δηλαδή στο φιαλίδιο με το αντιδραστήριο (με εύρος μέτρησης 15-150mg/l, ονομασία Hach Lck 314) έγινε προσθήκη 0,25ml δείγματος και 1,75ml απιονισμένου νερού. Η τελική συγκέντρωση προσδιορίστηκε φασματοφωτομετρικά, μετά από 2 ώρες θέρμανσής του στους 148°C. Η τελική συγκέντρωση προκύπτει πολλαπλασιάζοντας την ένδειξη του φασματοφωτόμετρου με το 8, αφού πρώτα η θερμοκρασία του φιαλιδίου έχει περίπου πέσει στους 20°C.

4.1.4 DO

Τα ειδικά όργανα μέτρησης λέγονται οξυγονόμετρα. Τα οξυγονόμετρα βαθμονομούνται σε σχέση με τον αέρα, με διαλύματα γνωστού DO ή με διαλύματα στα οποία το DO είναι μηδέν. Για την μέτρηση του διαλυμένου οξυγόνου χρησιμοποιήθηκε η συσκευή WTW Multi 3410.

4.1.5 Αμμωνία-Νιτρικά

Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης της αμμωνίας στην είσοδο και στην έξοδο του μηχανήματος μικροκοσκίνησης προσδιορίζεται φασματοφωτομετρικά, με την προσθήκη κατάλληλων αντιδραστηρίων που διαφοροποιούν το χρώμα του δείγματος (standard methods, Nessler 8038). Το φασματοφωτόμετρο που χρησιμοποιήθηκε είναι το DR2800 της εταιρίας Hach. Γίνεται χρήση φιαλιδίου όγκου 25ml με αραιώση 1:100. Δηλαδή, σε 25ml απιονισμένου νερού γίνεται προσθήκη 0,25ml δείγματος. Για τον προσδιορισμό των νιτρικών χρησιμοποιούνται στερεά αντιδραστήρια της εταιρείας Hach (standard methods, Chromotropic acid method 10020) χωρίς να απαιτείται αραιώση του δείγματός μας. Η συγκέντρωση

ξανά προσδιορίζεται φασματοφωτομετρικά. Σε 10ml δείγματος γίνεται προσθήκη μιας δόσης του αντιδραστηρίου, το οποίο ανακινείται βίαια για 1 λεπτό. Στη συνέχεια αφήνεται σε ηρεμία για 5 λεπτά και μετράται. Ως τυφλό για το μηδενισμό του οργάνου χρησιμοποιούνται 10ml του ιδίου δείγματος.

4.1.6 Προσδιορισμός κατανομής σωματιδίων

Σκέδαση με ακτίνες λέιζερ

Οι κατανομές σωματιδίων μπορεί να προκύψουν με τη μέθοδο της σκέδασης ακτίνων λέιζερ. Έτσι προσδιορίζεται η κατανομή μεγέθους (και κατά συνέπεια μπορεί να υπολογιστεί και το μέσο μέγεθος) σωματιδίων κόνεων στερεών σε ένα εύρος μεγεθών 0,01 - 2000 μm . Η εισαγωγή του δείγματος μπορεί να γίνει τόσο σε μορφή υδατικού αιωρήματος όσο και σε ξηρή μορφή. Τα λογισμικά των οργάνων διαθέτουν όλα τα συνήθη μοντέλα κατανομών μεγεθών κόνεων και παρέχουν τη δυνατότητα επιλογής αυτού βάσει του οποίου ο χρήστης επιθυμεί να γίνει η ανάλυση των πρωτογενών αποτελεσμάτων σκέδασης. Σημαντικά πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης μεθόδου είναι το μεγάλο εύρος μεγεθών που μπορεί να μετρηθεί, τα γρήγορα αποτελέσματα με μεγάλη ακρίβεια, καθώς και η εύκολη επανάληψη της διαδικασίας για πολλαπλά δείγματα. Επίσης, δεν υπάρχει αποκλεισμός ως προς τη μορφή του δείγματος (στερεό, εναιώρημα). Στη παρούσα εργασία γίνεται χρήση της συγκεκριμένης μεθόδου για υπολογισμό της κατανομής των σωματιδίων.

Η ποσότητα του δείγματος που εισάγεται προς μέτρηση μπορεί να διαφέρει, ανάλογα με τον δείκτη συσκότισης (obscuration), η τιμή του οποίου πρέπει να ξεπερνά απαραίτητως το 10. Ο δείκτης αυτός πρακτικά μας δείχνει το πλήθος των σωματιδίων που εισάγονται στο όργανο. Σημαντικό επίσης είναι ότι τα αποτελέσματα των μετρήσεων ανάγονται σε ισοδύναμες σφαιρικές διαμέτρους, ενώ στην πραγματικότητα τα σχήματα των μετρούμενων στερεών μπορεί να ποικίλλουν. Στο μπροστινό τμήμα του οργάνου, εισάγεται το απόβλητο, μαζί με προσθήκη νερού. Το δείγμα αποβλήτου πρέπει να ανακινηθεί ελαφρώς πριν την εισαγωγή του, ώστε να είναι σχετικά ομοιογενές. Στο θάλαμο εισαγωγής υπάρχει συνεχόμενη ανάδευση ενώ μπορεί να επιλεγεί και χρήση υπερήχων για σπάσιμο τυχόν συσσωματωμάτων. Η χρήση των υπερήχων δεν έδειξε σημαντική διαφοροποίηση στα αποτελέσματα και γι αυτό δεν έγινε εφαρμογή τους. Στη συνέχεια το απόβλητο διοχετεύεται στα κελιά του οργάνου, τα οποία διαπερνά μια ευθυγραμμισμένη ακτίνα λέιζερ. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται και αποθηκεύονται σε υπολογιστή. Το όργανο έχει προρυθμισμένα κλάσματα στα οποία ανιχνεύει το μέγεθος των σωματιδίων. Επίσης πέρα από τις καμπύλες κατανομών, σημαντικό στοιχείο είναι και ο δείκτης residual που πρέπει να έχει όσο

το δυνατόν μικρότερη τιμή, κοντά στο 0. Ενδεικτικές είναι και οι κοκκομετρικοί δείκτες d_{10} , d_{50} και d_{90} , οι οποίες μας υποδεικνύουν ότι οι διάμετροι του 5%-50%-90% του υλικού μας είναι μικρότεροι από την αναγραφόμενη τιμή. Αν για παράδειγμα σε μια μέτρηση το d_{50} είναι 240 μm , αυτό σημαίνει ότι το 90% του υλικού μας αποτελείται από σωματίδια, το μέγεθός των οποίων είναι μικρότερο από 240 μm . Το όργανο μέτρησης κατανομής των σωματιδίων που χρησιμοποιήθηκε (εικόνα 4-5) είναι το Mastersizer S, της εταιρείας Malvern.



4-5 Όργανο μέτρησης διαμέτρων σωματιδίων

Κεφάλαιο 5.

Πειραματικό μέρος

5.1 Σχεδιασμός των πειραμάτων- Συλλογή δειγμάτων

Οι δειγματοληψίες έγιναν στην Δ.Ε.Υ.Α.Ρ (Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης-Αποχέτευσης Ρεθύμνου), όπου έχει γίνει η εγκατάσταση ενός μικροκόσκινου βιομηχανικού τύπου, στο διάστημα από 15 Φεβρουαρίου έως 10 Μαρτίου του 2017 (εικόνα 5-1). Η άντληση της παροχής γινόταν από το κανάλι εξόδου της εξάμμωσης. Η συχνότητα της συλλογής ήταν περίπου 1 δείγμα ανά 2 ημέρες, ενώ οι ώρες συλλογής διέφεραν μεταξύ τους. Τις μεσημεριανές ώρες μέχρι και αργά το απόγευμα, η εισερχόμενη στο σταθμό παροχή είναι αυξημένη, όπως επίσης και οι φορτίσεις στα ποιοτικά χαρακτηριστικά, ενώ αντίστοιχα τις πρωινές ώρες παρουσιάζεται μείωση. Τα δείγματα συλλέχθηκαν κατά κύριο λόγο από τις 11π.μ έως τις 2μ.μ. Σημαντικό επίσης ρόλο στα αποτελέσματα παίζει και η διάθεση βοθρολυμάτων και λυμάτων σφαγείων, που οδηγεί σε στιγμιαίες υψηλές φορτίσεις.

Το μηχάνημα διαθέτει 2 εξόδους για συλλογή δειγμάτων, τόσο στην είσοδο όσο και στην έξοδό του. Τα αποτελέσματα αφορούν συνεπώς στιγμιαίες μετρήσεις που μπορεί να διαφέρουν μεταξύ τους. Επίσης, μια επαρκής ποσότητα συμπιεσμένης λάσπης συλλεγόταν από την έξοδο του κοχλία. Οι αναλύσεις έγιναν και με διαφορετικές παραμέτρους λειτουργίας του μικροκόσκινου (ταχύτητα περιστροφής ταινίας, εισερχόμενη παροχή) και πάντα χωρίς την παρουσία υπερχειλίσης εσωτερικά του μηχανήματος. Οι παροχές που χρησιμοποιήθηκαν για τις πρώτες 4 μετρήσεις κυμαίνονται από 34-38 m³/h ή 840 m³/day, ενώ για τις επόμενες 6 η παροχή κυμαίνεται από 53-60 m³/h ή 1400 m³/day. Η ταχύτητα περιστροφής της ταινίας ήταν 0,27 rpm και 0,66 rpm αντίστοιχα. Η ταχύτητα ρυθμίστηκε χειροκίνητα μετά από δοκιμές προκειμένου αφενός να μην έχουμε υπερχειλίση στο εσωτερικό του μηχανήματος και αφετέρου να επιτυγχάνεται αποτελεσματικά η φίλτρανση. Η συνολική εισερχόμενη παροχή στο σταθμό για τη χρονική αυτή περίοδο διαμορφώνεται στα 13000 m³/day. Η δειγματοληψία γινόταν τουλάχιστον μετά από 1 ώρα λειτουργίας του μικροκόσκινου. Οι δειγματοληψίες έγιναν κυρίως με αίθριο καιρό ώστε να μην υπάρχουν τυχόν αλλοιώσεις στις μετρήσεις. Βροχερές ημέρες έδωσαν οπτικά αραιωμένα δείγματα, παρότι το δίκτυο της παλαιάς πόλης του Ρεθύμνου είναι διαχωριστικό. Τα δείγματα μεταφέροντουσαν άμεσα πίσω στο Πολυτεχνείο Κρήτης για αναλύσεις.

Επίσης, έγινε δοκιμή διαφοροποίησης της ταχύτητας του ιμάντα με σταθερή εισερχόμενη παροχή. Δεδομένου του ότι κατά τη λειτουργία του μικροκόσκινου, πάνω στην ταινία σχηματίζεται ένα λεπτό φιλμ στερεών σωματιδίων, η μικροκοσκίνιση απομακρύνει και σωματίδια αρκετά μικρότερα των 350μm, που είναι το μέγεθος των πόρων της ταινίας. Στόχος έτσι είναι ο προσδιορισμός της αλληλεπίδρασης της ταχύτητας περιστροφής με την απομάκρυνση των TSS, BOD₅,

COD. Ως αρχική ταχύτητα περιστροφής ορίστηκαν οι 0,6 rpm ενώ η εισερχόμενη παροχή στα 56 m³/h. Ανά 10 λεπτά λειτουργίας συλλεγόντουσαν δείγματα στην είσοδο και στην έξοδο με ταχύτητες 1,05 rpm, 1,5 rpm, 1,95rpm, ξεκινώντας από τα 0,6 rpm. Η δοκιμή αυτή διεξήχθη στις 15/3 και τα αποτελέσματά της παρουσιάζονται ξεχωριστά. Για τα 8 αυτά δείγματα έγιναν επίσης κατανομές σωματιδίων.

Για την όσο το δυνατόν αντιπροσωπευτικότερη εξαγωγή αποτελεσμάτων, οι εργαστηριακές μετρήσεις έγιναν την ίδια μέρα με τη συλλογή των δειγμάτων. Στις περιπτώσεις όπου αυτό δεν ήταν δυνατόν, τα δείγματα αποθηκεύονταν στην ψύξη στους 5°C για το πολύ 1 ημέρα. Σε κάθε περίπτωση, η κατανομή των σωματιδίων υπολογιζόταν ταυτόχρονα με τη δειγματοληψία, αφού από τα αποτελέσματα προέκυψε ότι υπήρχε σημαντική διαφοροποίηση μετά την πάροδο μίας ημέρας, πιθανώς λόγω αυτοσυσσωμάτωσης των σωματιδίων, όσο αυτά βρίσκονταν σε ηρεμία. Οι μετρήσεις του COD και BOD₅ μπορούσαν να διεξαχθούν με ακρίβεια και μετά την πάροδο μίας ημέρας, όπως και αυτές των στερεών και των πτητικών στερεών. Για την διασταύρωση των αποτελεσμάτων, έγινε σύγκριση με τις τιμές των ποιοτικών χαρακτηριστικών εισόδου που μετρήθηκαν από το εργαστήριο της Δ.Ε.Υ.Α.Ρ., την εποχή αυτή.



5-1 Η εγκατάσταση του μικροκόσκινου πάνω από το τσιμεντένιο κανάλι εξόδου της εξάμμωσης στην ΕΕΛ Ρεθύμνου

5.2 Αποτελέσματα

Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων με τη χρήση μικροκοσκίνισης, τόσο στην είσοδο όσο και στην έξοδο του μηχανήματος (πίνακες 5-1 και 5-2). Οι μετρήσεις 15/2, 20/2, 24/2, 1/3 έχουν παρθεί με εισερχόμενη παροχή 35 m³/h και ταχύτητα περιστροφής του ιμάντα 0,27 rpm, ενώ οι μετρήσεις 2/3, 3/3, 7/3, 8/3, 9/3 και 10/3 έχουν παρθεί με εισερχόμενη παροχή 54 m³/h και ταχύτητα περιστροφής του ιμάντα 0,66 rpm. Επίσης παρουσιάζονται τα ποσοστά απομάκρυνσης των βιοχημικών χαρακτηριστικών πριν και μετά τη μικροκοσκίνιση (πίνακας 5-3). Η τυπική απόκλιση s υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση 4.

$$s = \sqrt{\frac{\sum(\chi - M)^2}{N}} \quad (4)$$

Εξίσωση 4: Προσδιορισμός τυπικής απόκλισης

Όπου:

N: ο αριθμός των δειγμάτων (10)

χ : η τιμή του δείγματος

M: ο μέσος όρος των δειγμάτων

Πίνακας 5-1 Μετρήσεις ποιοτικών χαρακτηριστικών εισόδου

Είσοδος	TSS (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	COD (mg/L)	NH ₃ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)
15-Φεβ	195	188	468	44	6,1
20-Φεβ	196	199	468	73	6,4
24-Φεβ	253	250	626	47	6,1
1-Μαρ	191	254	558	49	5,5
2-Μαρ	212	266	624	48	5,9
3-Μαρ	213	233	597	44	6
7-Μαρ	186	251	336	46	5,2
8-Μαρ	157	119	576	7	1,4
9-Μαρ	166	132	361	40	3,8
10-Μαρ	468	213	690	33	10,5
μέσος όρος	223,7	210,5	530,4	43,1	5,69
τυπική απόκλιση	85,24	48,85	111,77	15,47	2,15

Πίνακας 5-2 Μετρήσεις ποιοτικών χαρακτηριστικών εξόδου

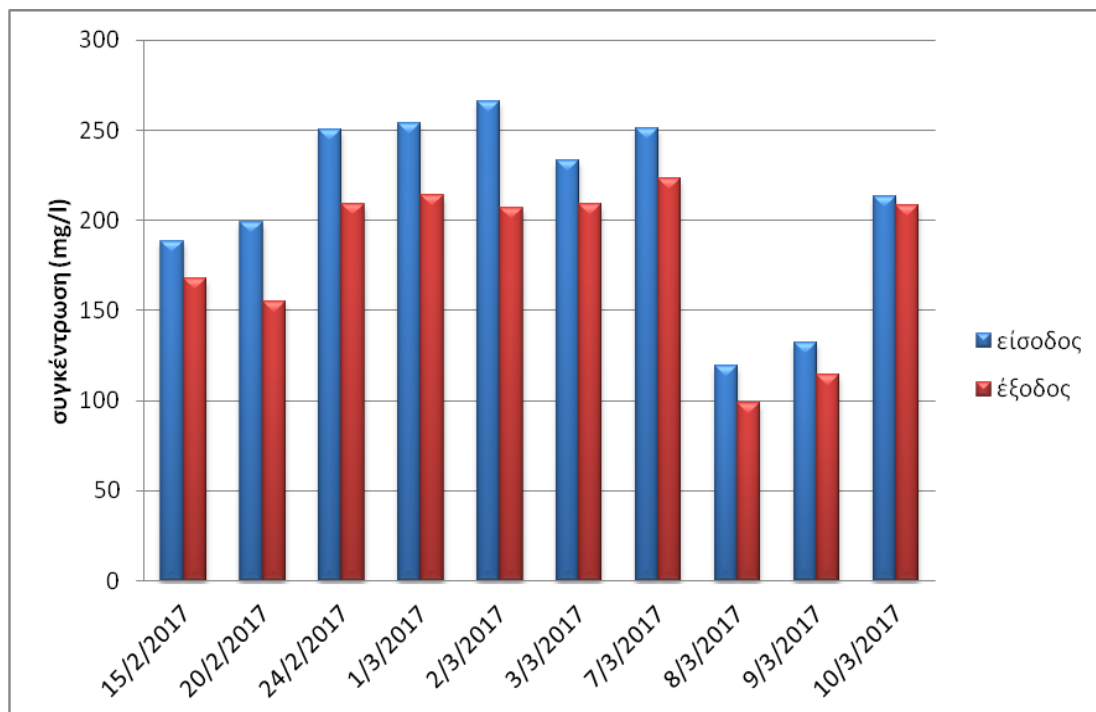
Έξοδος	TSS (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	COD (mg/L)	NH ₃ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)
15-Φεβ	117	168	338	43	5,8
20-Φεβ	151	155	389	67	5,9
24-Φεβ	154	209	554	40	4,9
1-Μαρ	138,5	214	504	47	4,4
2-Μαρ	152	207	448	45	5,5
3-Μαρ	153	209	504	40	5,7
7-Μαρ	122	223	272	42	4
8-Μαρ	118	99	512	6	0,6
9-Μαρ	102	114	320	37	2,6
10-Μαρ	432	208	602	32	9,8
μέσος όρος	163,95	180,6	444,3	39,9	4,92
τυπική απόκλιση	91,07	42,28	103,98	14,3	2,27

Πίνακας 5-3 Ποσοστά απομακρύνσεων TSS, BOD₅ , COD

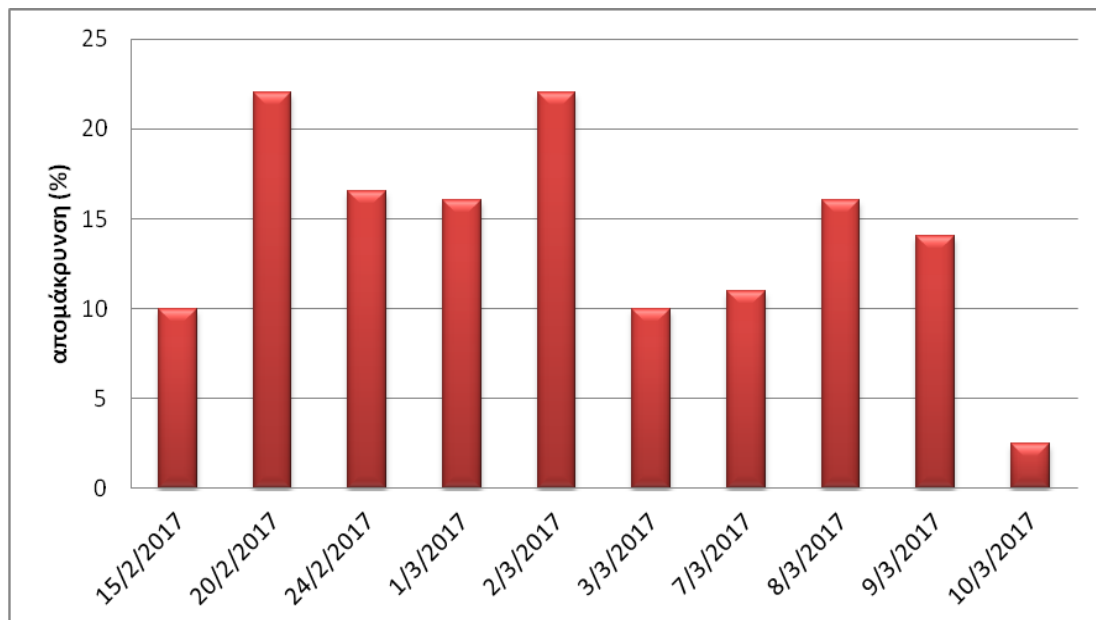
Ποσοστό απομάκρυνσης	TSS (%)	BOD ₅ (%)	COD (%)
15-Φεβ	40	10	28
20-Φεβ	23	22	17
24-Φεβ	39	16,5	12
1-Μαρ	27,5	16	10
2-Μαρ	29	22	28
3-Μαρ	28	10	15,5
7-Μαρ	34	11	19
8-Μαρ	25	16	11
9-Μαρ	38,5	14	11
10-Μαρ	8	2,5	13
μέσος όρος	29,2	14	16,45
τυπική απόκλιση	9,12	6	6,38

Ο φώσφορος PO₄-P τόσο στην είσοδο όσο και στην έξοδο του μηχανήματος στις 15/2 μετρήθηκε στα 5,16 mg/L. Ωστόσο λόγω της σωματιδιακής φύσης του είναι πιθανόν να υπάρχει ένα αξιόλογο ποσοστό απομάκρυνσής του μετά τη μικροκοσκίνιση και χρήζει περαιτέρω διερεύνησης. Η ταύτιση των μετρήσεων πιθανώς να οφείλεται σε πειραματικό σφάλμα. Στα διαγράμματα 1 έως 8

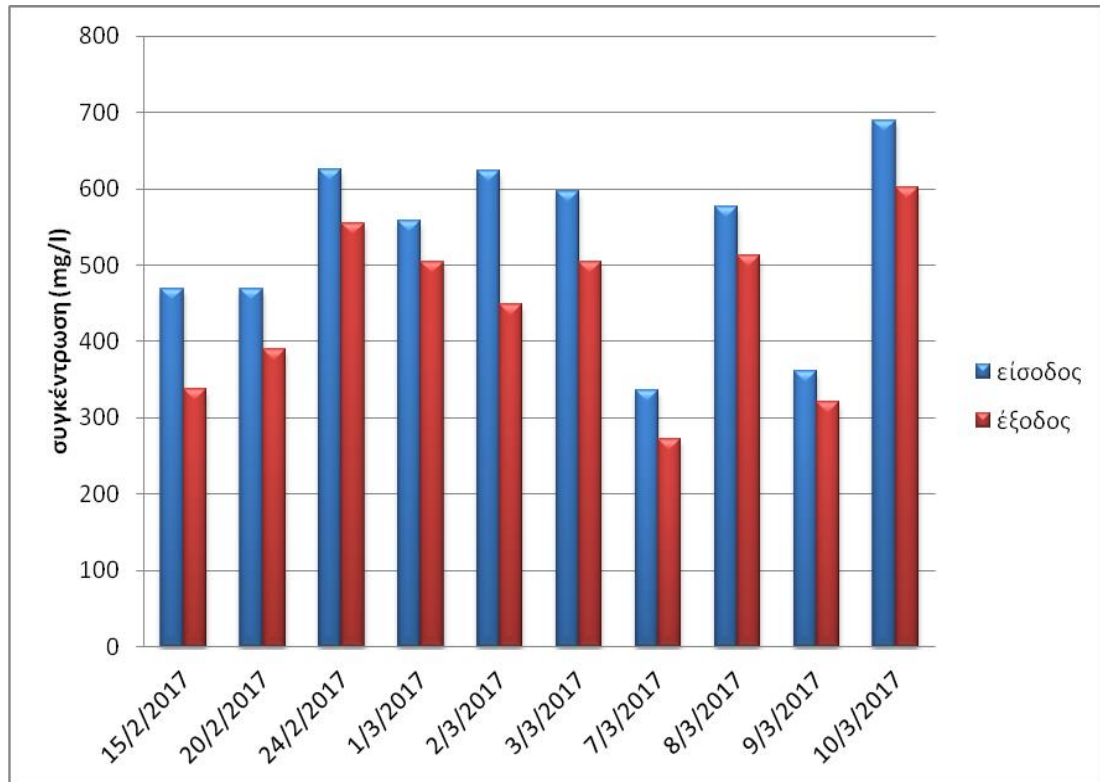
παρουσιάζονται σε ζεύγη οι συγκεντρώσεις εισόδου-εξόδου των BOD₅, COD, TSS, NH₃ και NO₃⁻ και οι αντίστοιχες απομακρύνσεις τους αντίστοιχα.



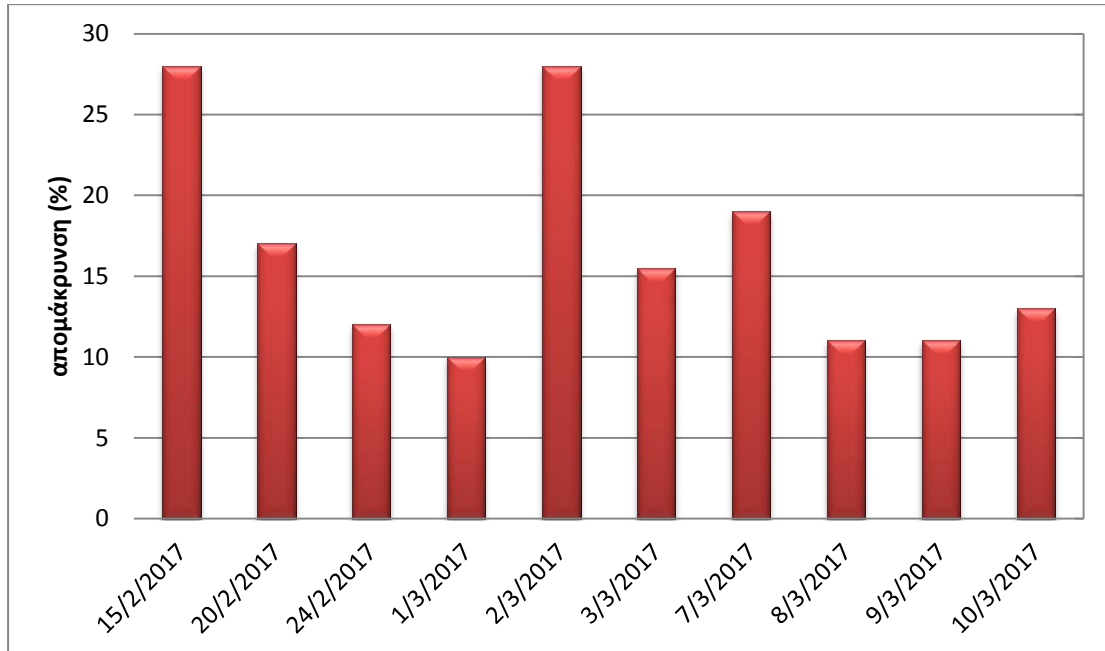
Διάγραμμα 1 Συγκεντρώσεις εισόδου-εξόδου BOD₅



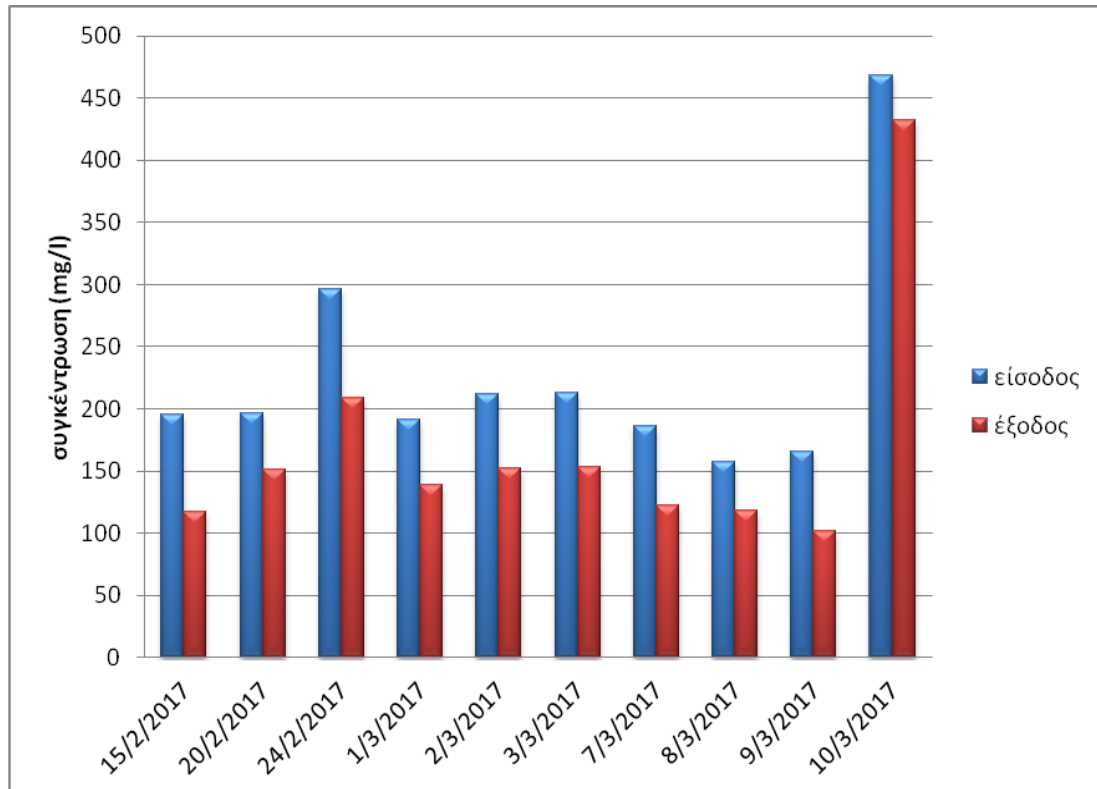
Διάγραμμα 2 Ποσοστά απομάκρυνσης BOD₅



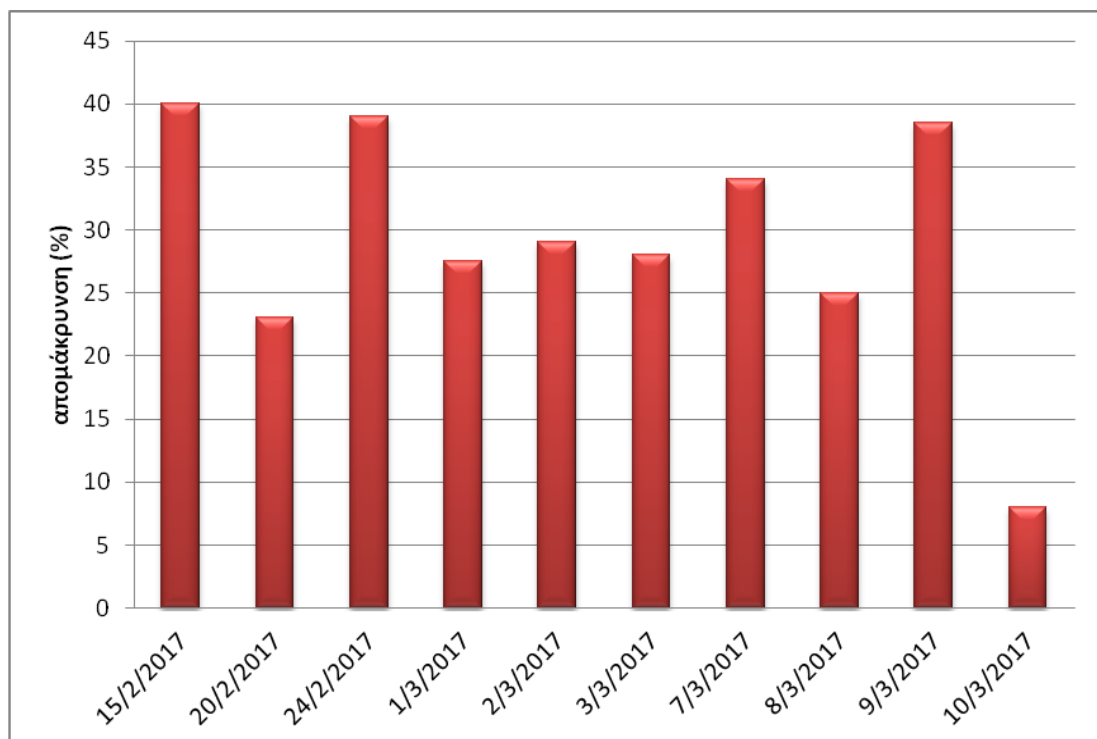
Διάγραμμα 3 Συγκεντρώσεις εισόδου-εξόδου COD



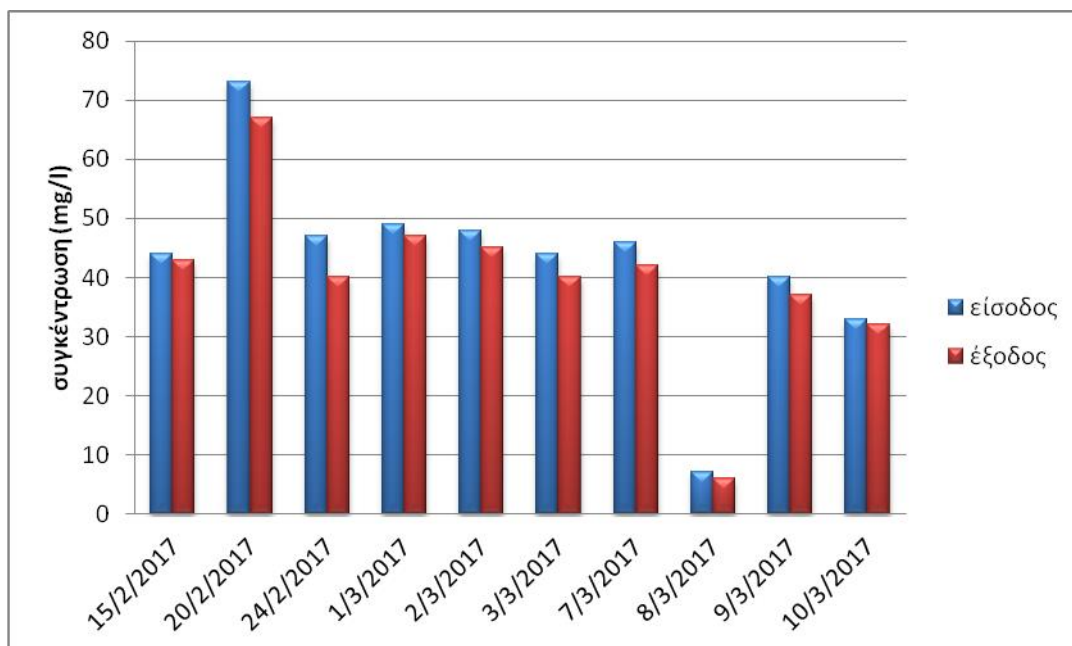
Διάγραμμα 4 Ποσοστά απομάκρυνσης COD



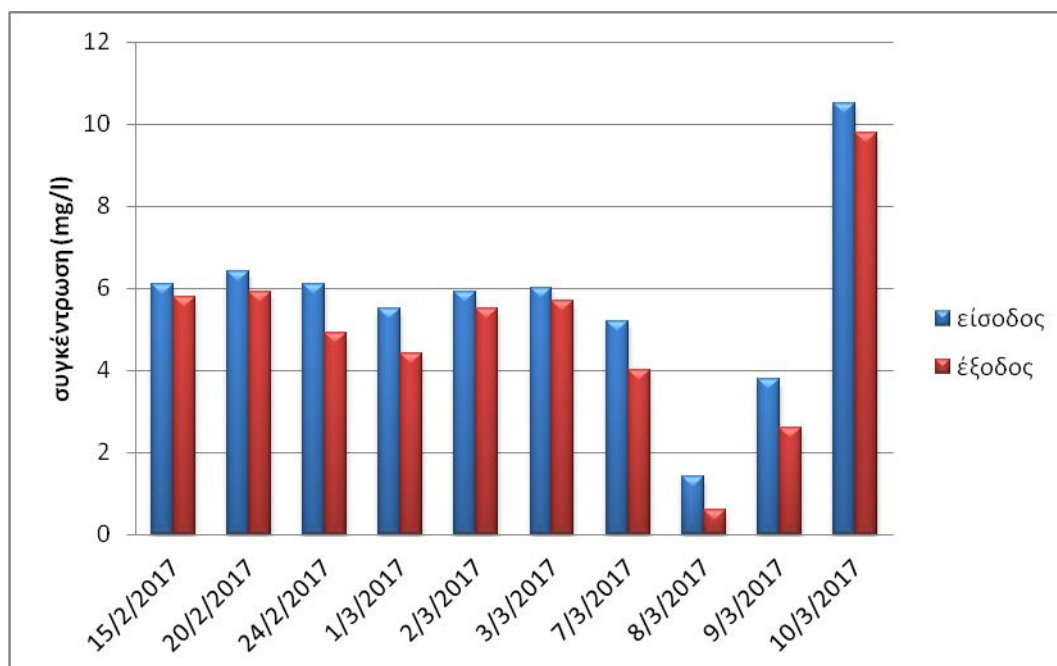
Διάγραμμα 5 Συγκεντρώσεις εισόδου-εξόδου TSS



Διάγραμμα 6 Ποσοστά απομάκρυνσης TSS



Διάγραμμα 7 Συγκεντρώσεις εισόδου-εξόδου NH_3

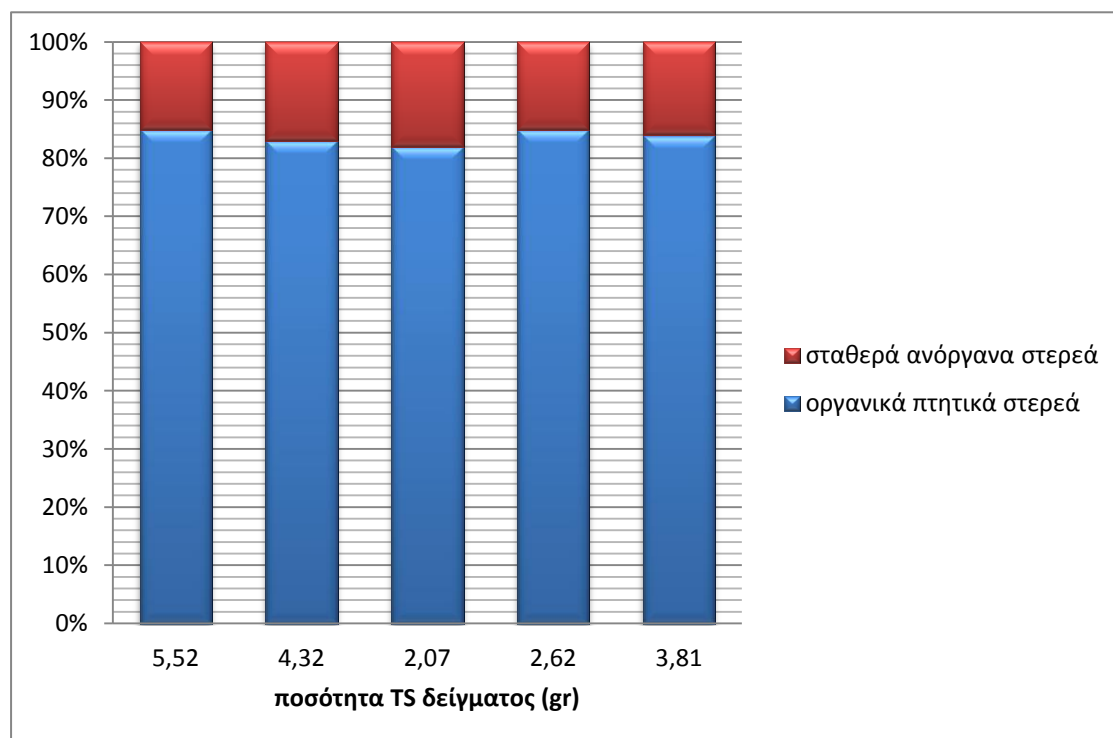


Διάγραμμα 8 Συγκεντρώσεις εισόδου-εξόδου NO_3^-

Η περιεκτικότητα της εξερχόμενης πρωτοβάθμιας λάσπης σε VSS και υγρασία δίδεται στον πίνακα 5-4. Στο διάγραμμα 9 παρουσιάζονται σχηματικά τα αποτελέσματα των TS-VSS.

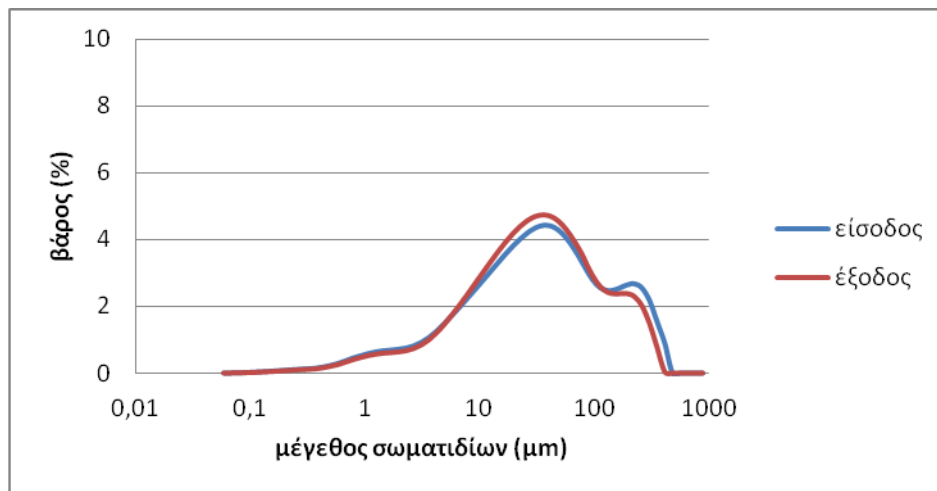
5-4 Περιεκτικότητα λάσπης σε υγρασία και VSS

Εξερχόμενη λάσπη	Υγρασία (%)	TS (%)	VSS (%)
15-Φεβ	74	26	85
20-Φεβ	56	44	83
1-Μαρ	64	36	82
7-Μαρ	56	44	85
15-Μαρ	66	34	84

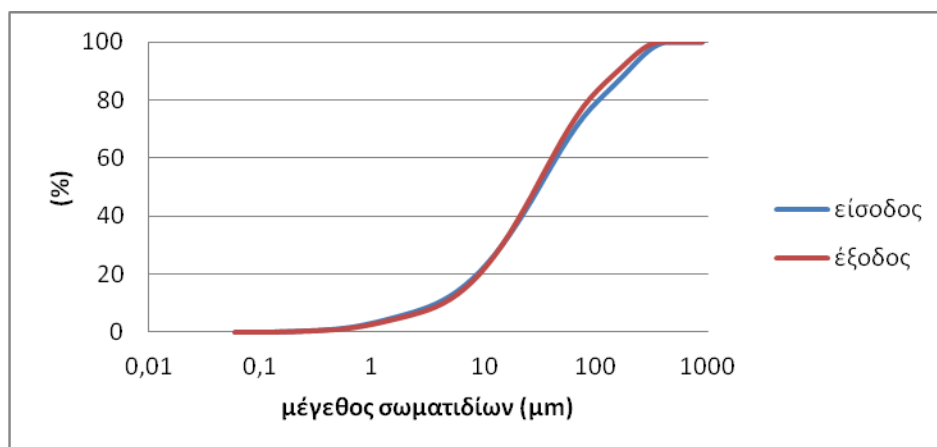


Διάγραμμα 9 Περιεκτικότητα VSS εξερχόμενης λάσπης

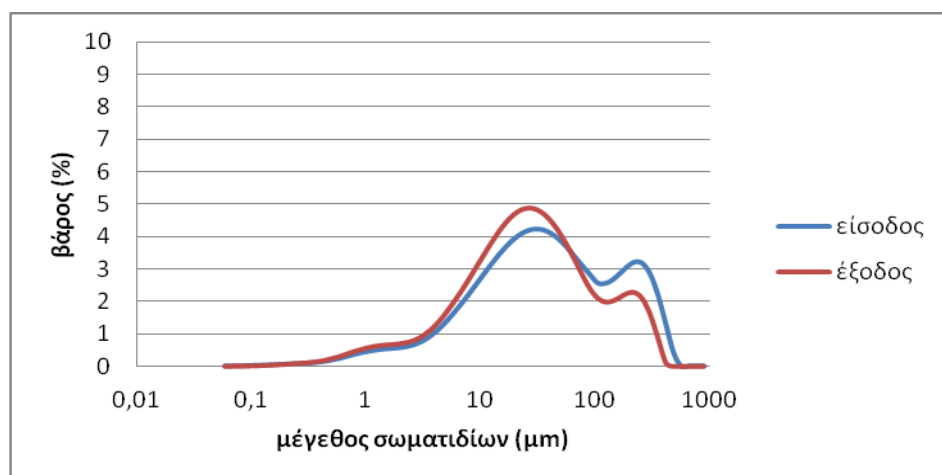
Για την κάθε μέτρηση που πάρθηκε προκύπτουν 2 διαγράμματα κατανομής σωματιδίων. Στο πρώτο παρουσιάζεται το μέγεθος των σωματιδίων σε συνάρτηση με το επί τοις 100 βάρος τους, ενώ στο δεύτερο (αθροιστικώς διερχόμενο) παρουσιάζεται το μέγεθος των σωματιδίων σε συνάρτηση με το ποσοστό επί τοις 100 διέλευσης του δείγματος. Στα διαγράμματα 10 έως 29 παρουσιάζονται οι αντίστοιχες κατανομές των μετρήσεων.



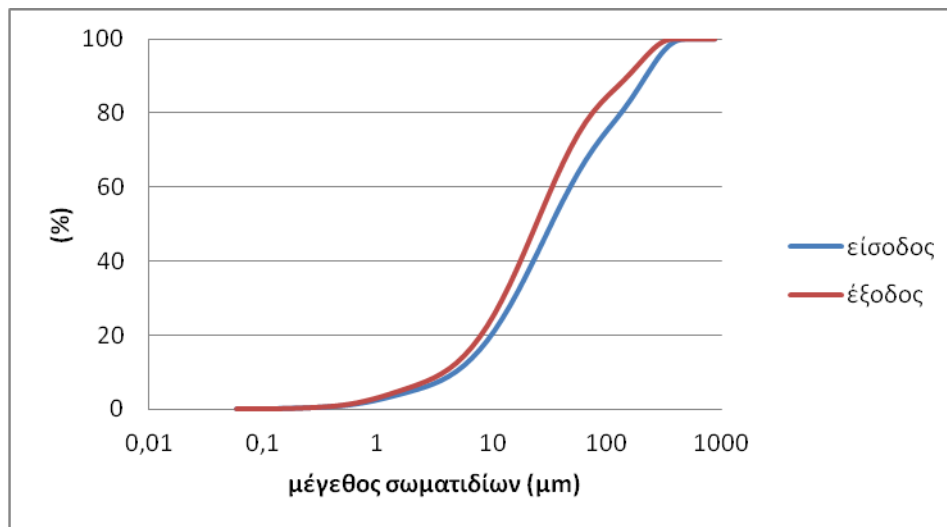
Διάγραμμα 10 Κατανομή μεγέθους σωματιδίων 15/2/2017



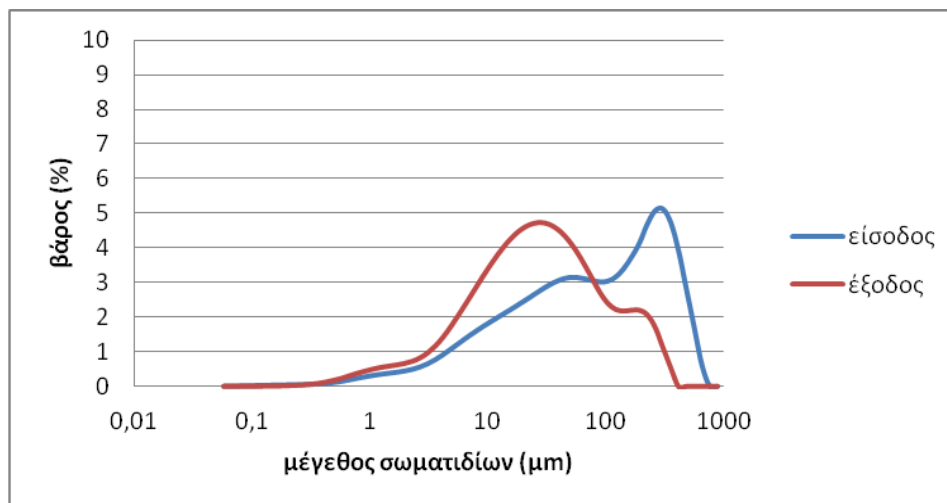
Διάγραμμα 11 Αθροιστικώς διερχόμενο υλικό 15/2/2017



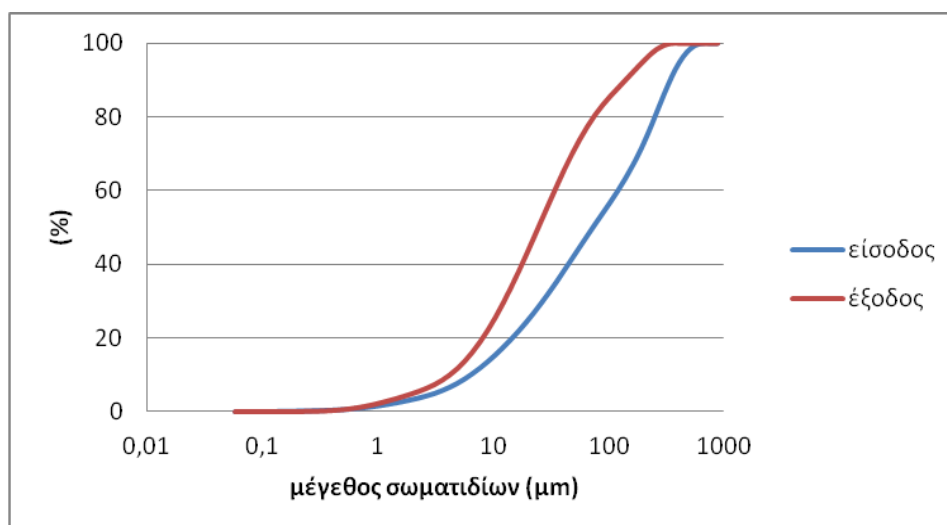
Διάγραμμα 12 Κατανομή μεγέθους σωματιδίων 20/2



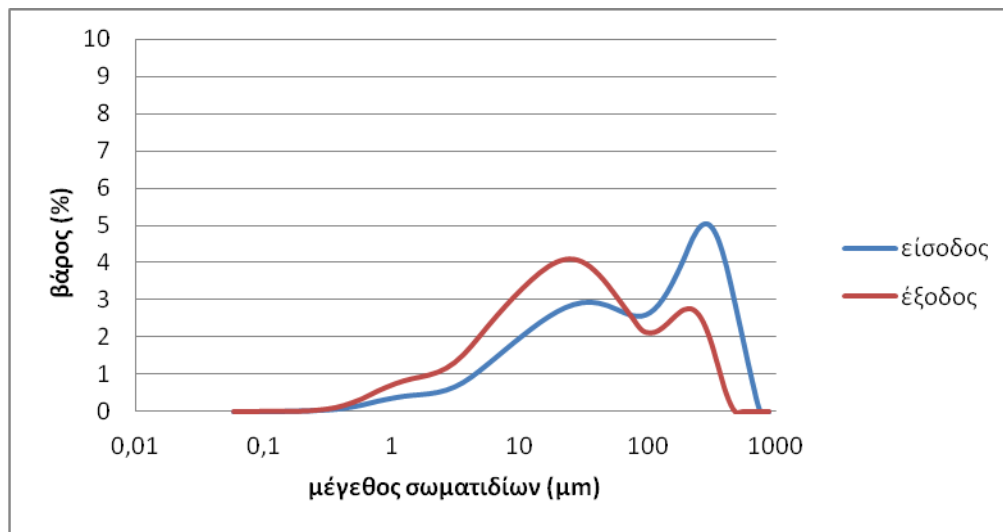
Διάγραμμα 13 Αθροιστικώς διερχόμενο υλικό 20/2



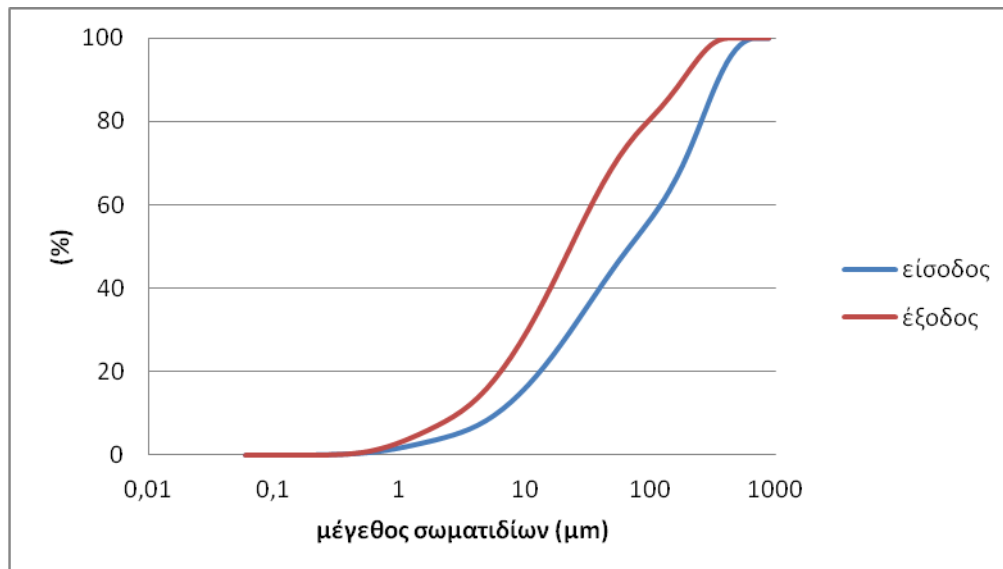
Διάγραμμα 14 Κατανομή μεγέθους σωματιδίων 24/2



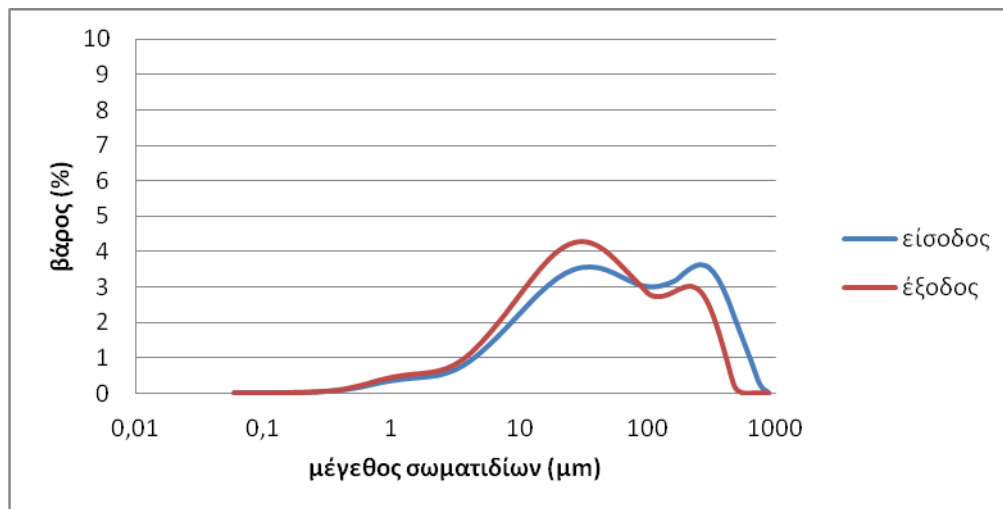
Διάγραμμα 15 Αθροιστικώς διερχόμενο υλικό 24/2



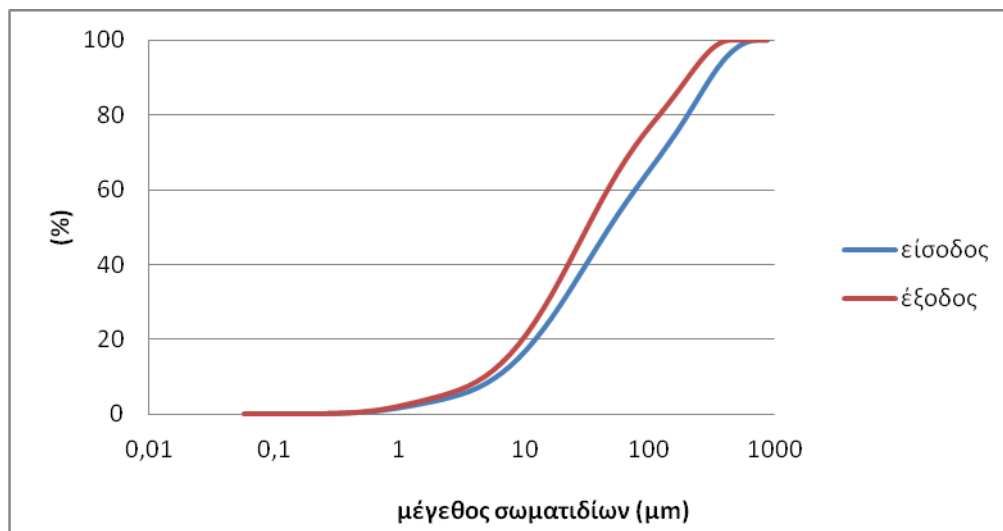
Διάγραμμα 16 Κατανομή μεγέθους σωματιδίων 1/3



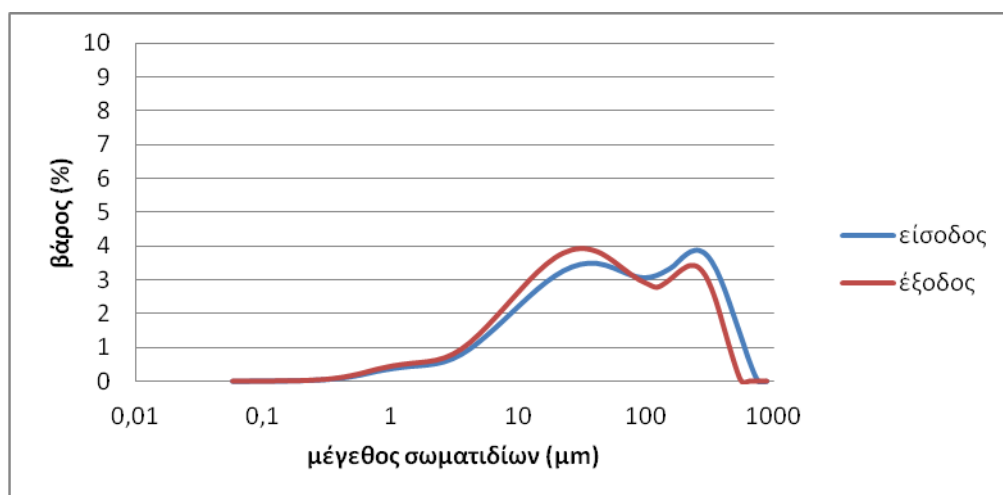
Διάγραμμα 17 Αθροιστικώς διερχόμενο υλικό 1/3



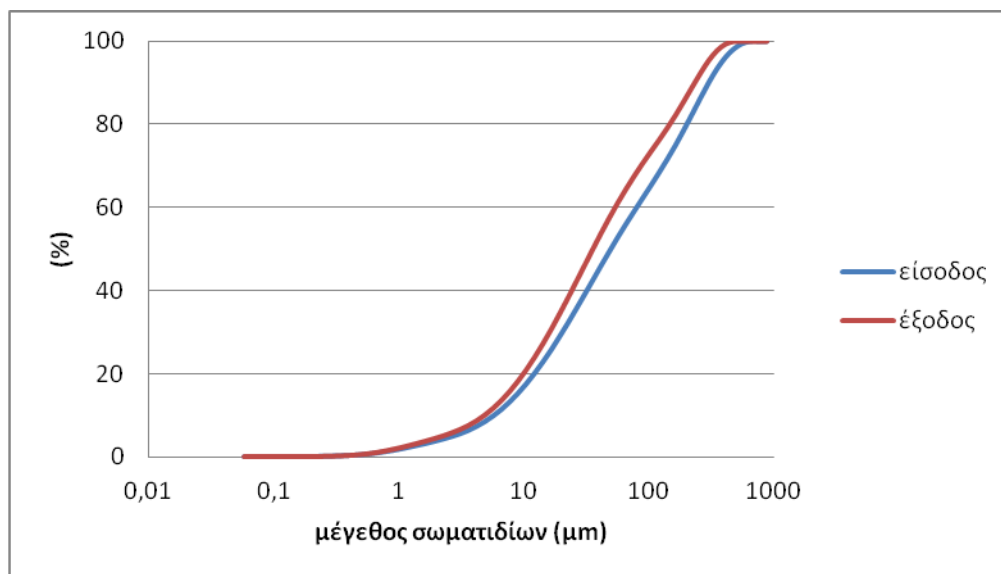
Διάγραμμα 18 Κατανομή μεγέθους σωματιδίων 2/3



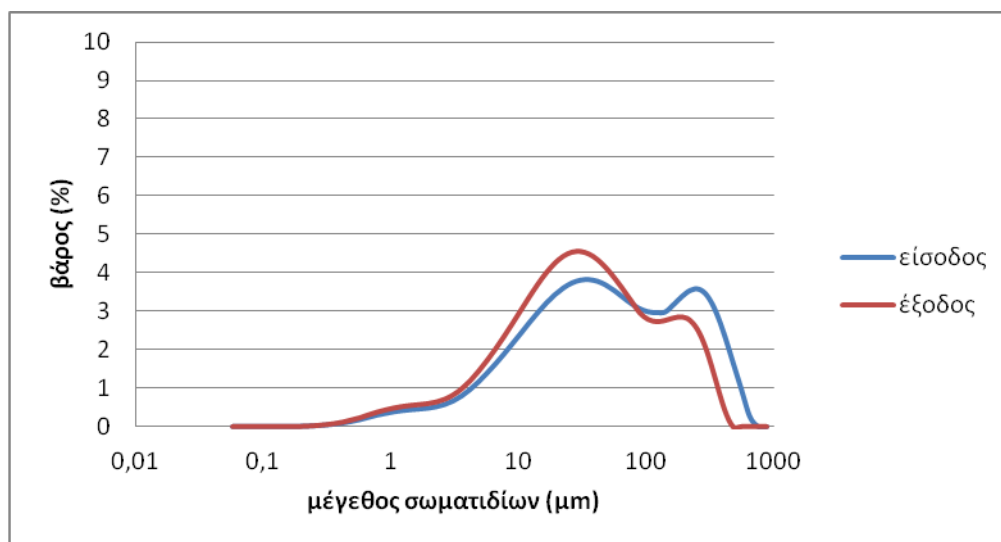
Διάγραμμα 19 Αθροιστικώς διερχόμενο υλικό 2/3



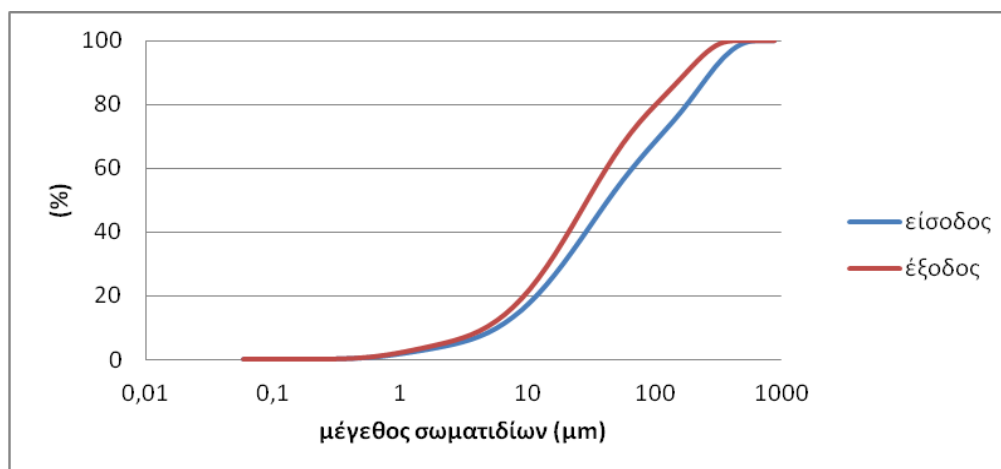
Διάγραμμα 20 Κατανομή μεγέθους σωματιδίων 3/3



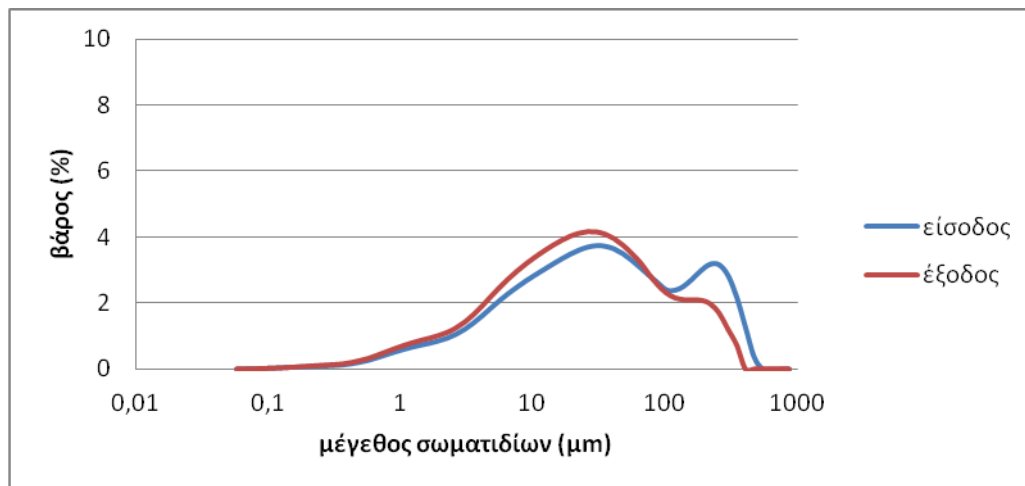
Διάγραμμα 21 Αθροιστικώς διερχόμενο υλικό 3/3



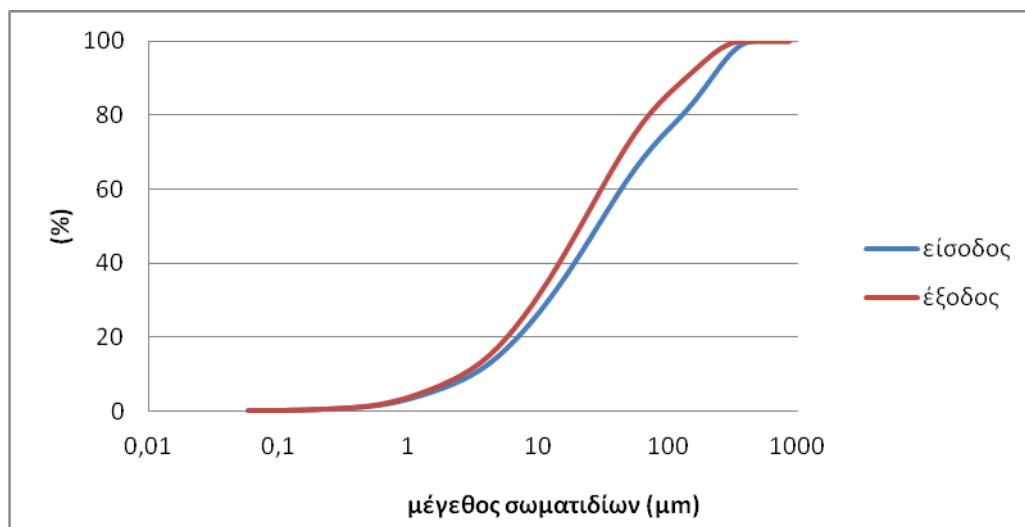
Διάγραμμα 22 Κατανομή μεγέθους σωματιδίων 7/3



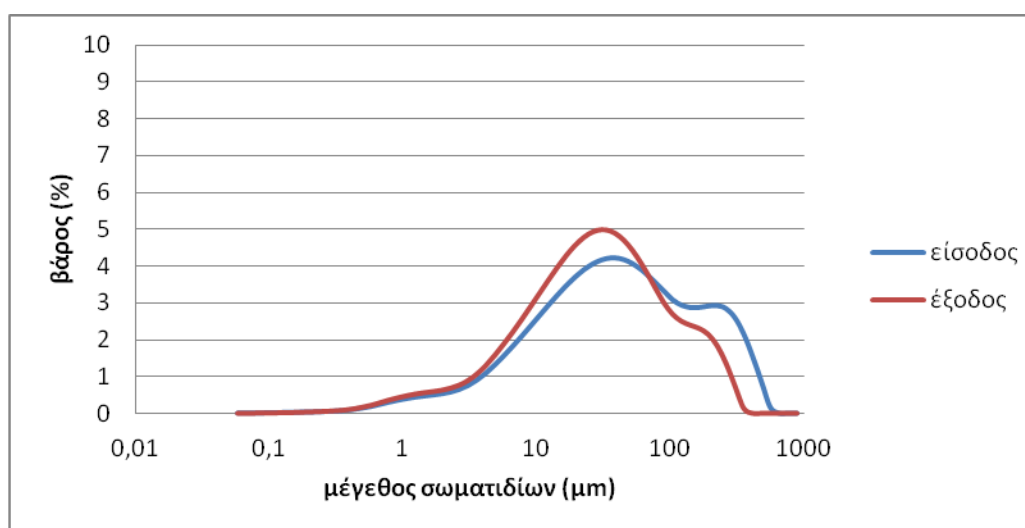
Διάγραμμα 23 Αθροιστικώς διερχόμενο υλικό 7/3



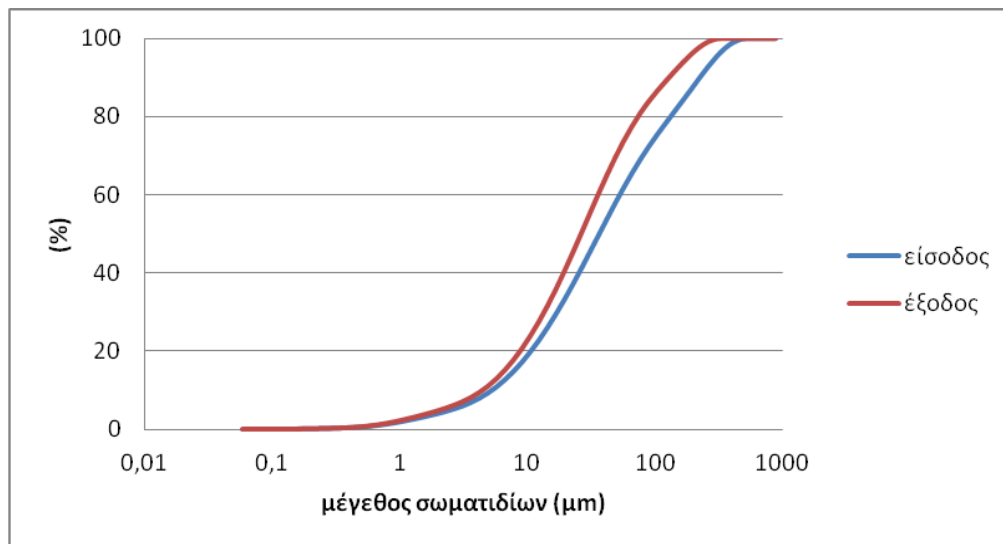
Διάγραμμα 24 Κατανομή μεγέθους σωματιδίων 8/3



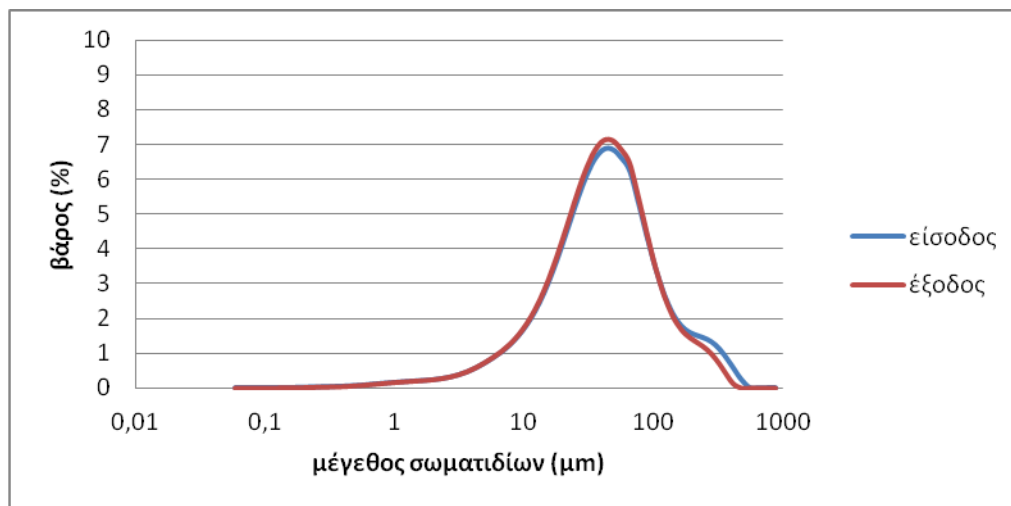
Διάγραμμα 25 Αθροιστικώς διερχόμενο υλικό 8/3



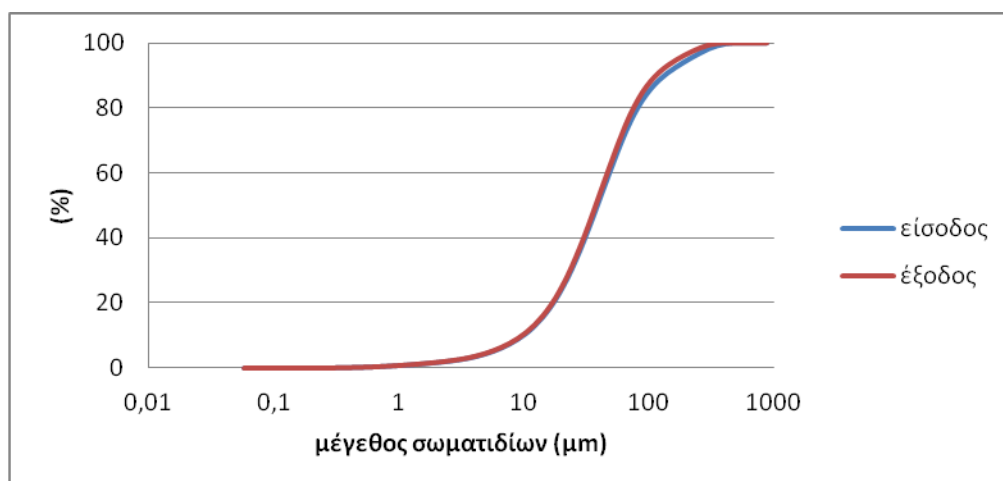
Διάγραμμα 26 Κατανομή μεγέθους σωματιδίων 9/3



Διάγραμμα 27 Αθροιστικώς διερχόμενο υλικό 9/3



Διάγραμμα 28 Κατανομή μεγέθους σωματιδίων 10/3

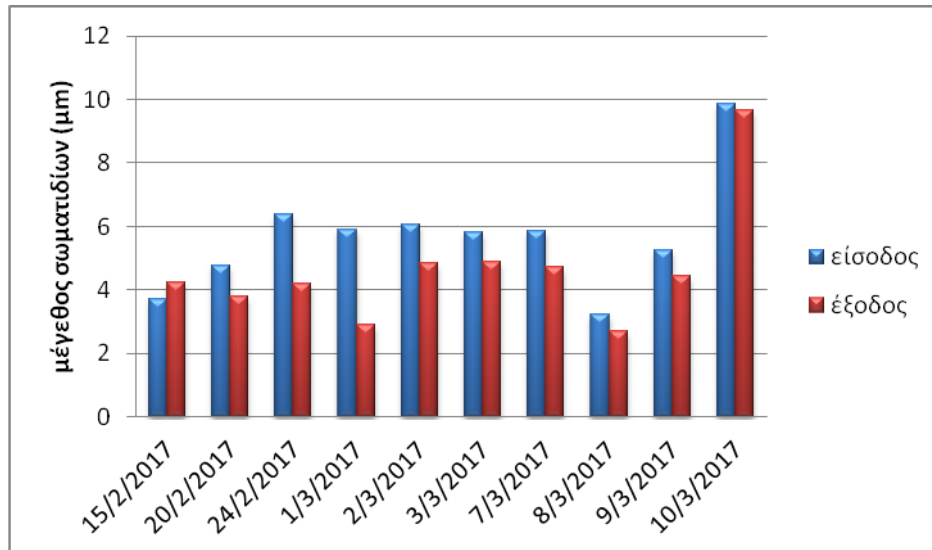


Διάγραμμα 29 Αθροιστικώς διερχόμενο υλικό 10/3

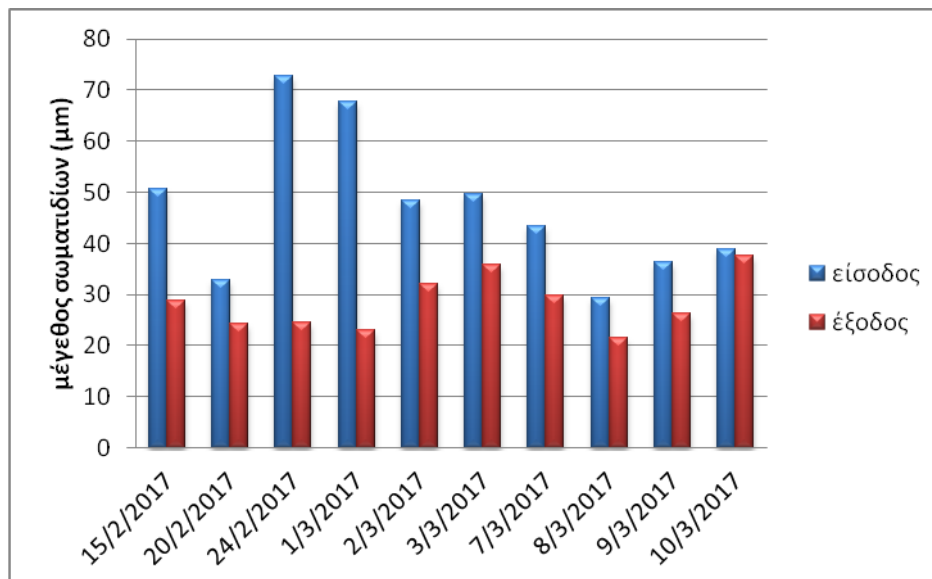
Για τους δείκτες κατανομής d_{10} , d_{50} , d_{90} όλων των μετρήσεων, καταγράφονται οι τιμές τους (εισόδου-εξόδου) και υπολογίζονται ο μέσος όρος και η τυπική τους απόκλιση. Τα στοιχεία παρουσιάζονται στον πίνακα 5-5. Η μεταβολή τους παρουσιάζεται στα διαγράμματα 30 έως 32.

Πίνακας 5-5 Τιμές δεικτών d_{10} , d_{50} , d_{90}

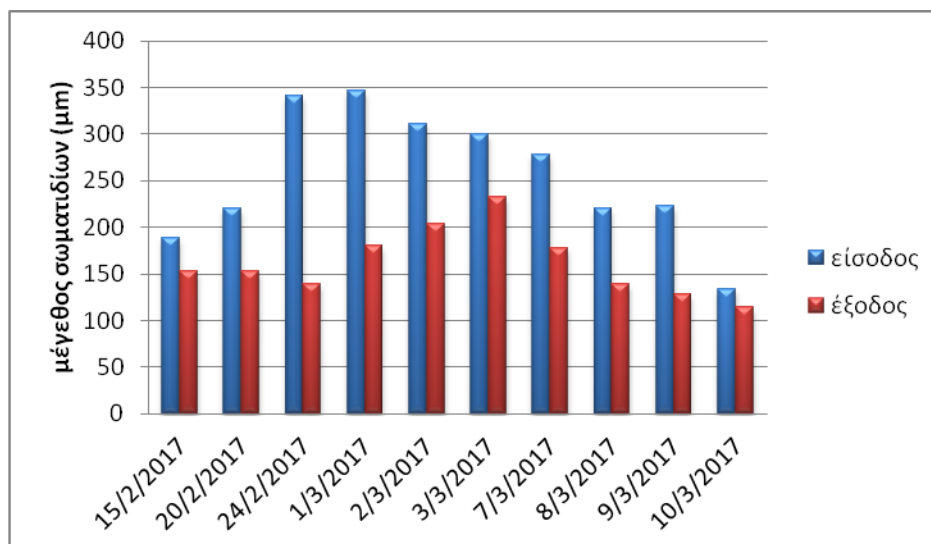
Είσοδος	d_{10} (μm)	d_{50} (μm)	d_{90} (μm)
15-Φεβ	3,71	50,52	189,02
20-Φεβ	4,77	32,79	220,2
24-Φεβ	6,37	72,83	340,43
1-Μαρ	5,89	67,77	346,13
2-Μαρ	6,07	48,3	311,41
3-Μαρ	5,8	49,66	300,43
7-Μαρ	5,84	43,33	278,42
8-Μαρ	3,22	29,21	220,72
9-Μαρ	5,25	36,37	223,5
10-Μαρ	9,87	38,78	132,91
μέσος όρος	5,67	46,95	256,31
τυπική απόκλιση	1,70	13,53	66,34
Έξοδος	d_{10} (μm)	d_{50} (μm)	d_{90} (μm)
15-Φεβ	4,23	28,7	153,39
20-Φεβ	3,81	24,21	152,93
24-Φεβ	4,2	24,58	139,51
1-Μαρ	2,9	23,03	180,09
2-Μαρ	4,85	32,15	204,09
3-Μαρ	4,87	35,7	232,23
7-Μαρ	4,73	29,7	178,09
8-Μαρ	2,7	21,46	138,52
9-Μαρ	4,43	26,17	127,87
10-Μαρ	9,66	37,59	113,84
μέσος όρος	4,63	28,32	162,05
τυπική απόκλιση	1,82	5,17	34,62



Διάγραμμα 30 Μεταβολή τιμής d_{10}



Διάγραμμα 31 Μεταβολή τιμής d_{50}



Διάγραμμα 32 Μεταβολή τιμής d_{90}

5.3 Αποτελέσματα δοκιμών ταχύτητας περιστροφής ιμάντα

Για τις δοκιμές της ταχύτητας που διεξήχθησαν, παρουσιάζονται στον πίνακα 5-6 οι τιμές εισόδου και εξόδου των ποιοτικών χαρακτηριστικών των λυμάτων, μαζί με την ταχύτητα που πάρθηκαν. Στον πίνακα 5-7 παρουσιάζονται οι αντίστοιχες απομακρύνσεις για τις διάφορες ταχύτητες.

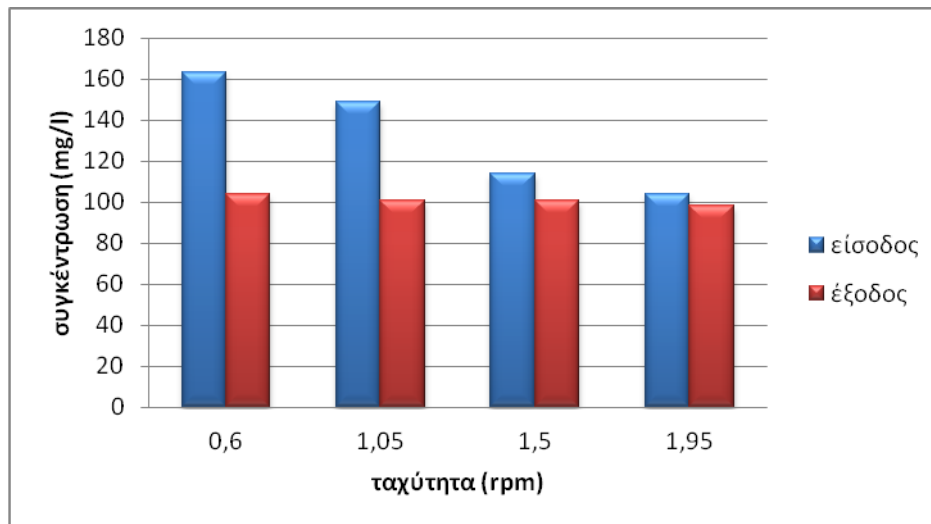
5-6 Μετρήσεις τιμών εισόδου-εξόδου ποιοτικών χαρακτηριστικών

ταχύτητα (rpm)	TSS είσοδος (mg/L)	TSS έξοδος (mg/L)	BOD ₅ είσοδος (mg/L)	BOD ₅ έξοδος (mg/L)	COD είσοδος (mg/L)	COD έξοδος (mg/L)
0,60	163	104	149	113	375	283
1,05	149	101	142	112	317	253
1,50	114	101	144	133	396	380
1,95	104	98	140	140	361	357

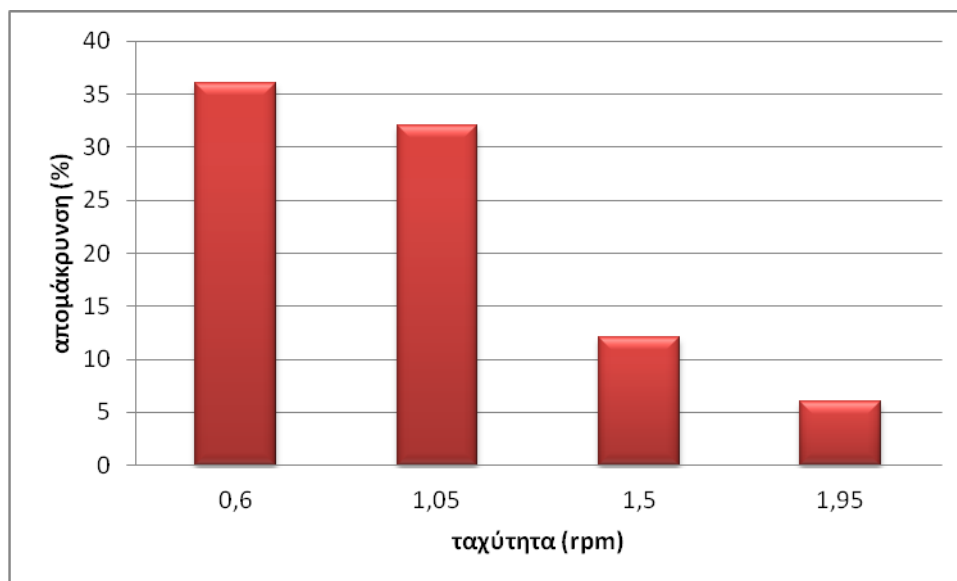
5-7 Ποσοστά απομάκρυνσης ποιοτικών χαρακτηριστικών

ταχύτητα (rpm)	Απομάκρυνση TSS (%)	Απομάκρυνση BOD ₅ (%)	Απομάκρυνση COD (%)
0,60	36	24	24,5
1,05	32	21	20
1,50	12	8	4
1,95	6	0	0

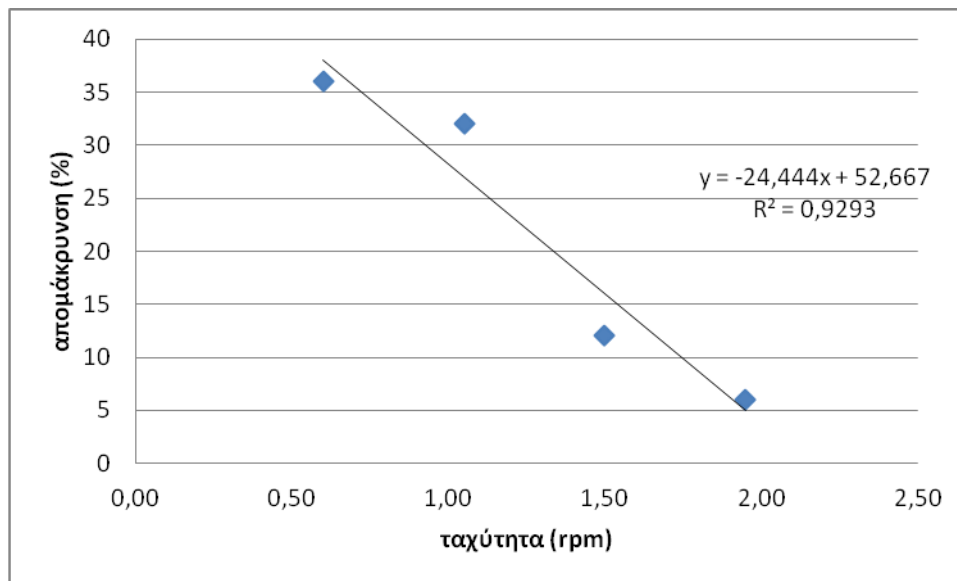
Στα διαγράμματα 33 έως 42 παρουσιάζονται σε ζεύγη οι απομακρύνσεις των TSS, BOD₅ και COD σε μονάδες συγκέντρωσης, ως ποσοστό απομάκρυνσης, καθώς και η σχέση της ταχύτητας με την απομάκρυνσή τους.



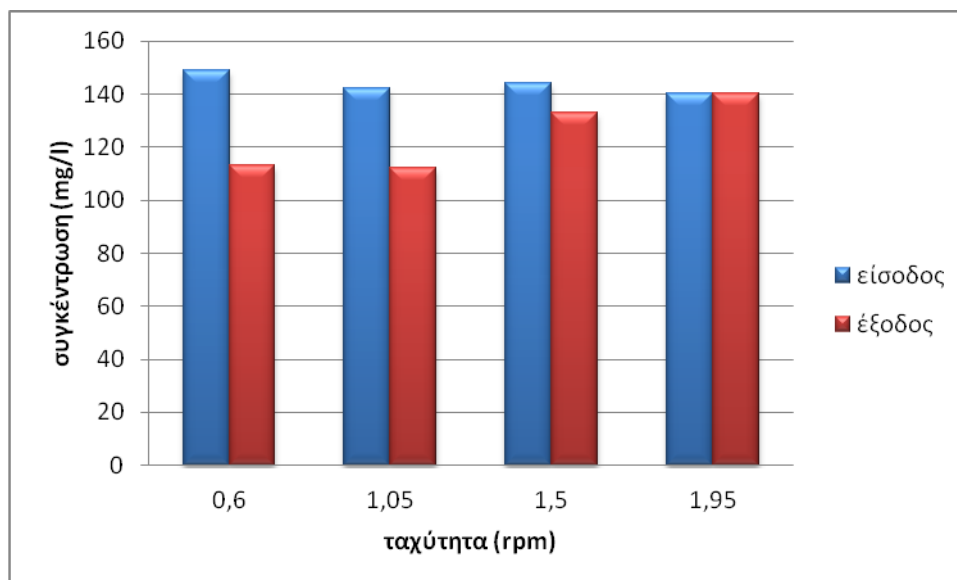
Διάγραμμα 33 Συγκέντρωση εισόδου-εξόδου TSS-δοκιμή ταχύτητας



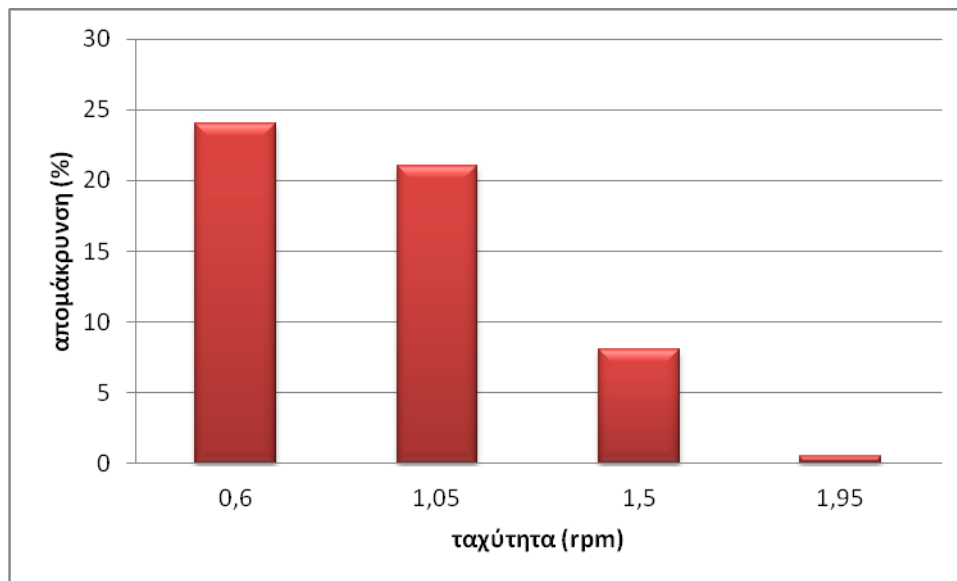
Διάγραμμα 34 Ποσοστό απομάκρυνσης TSS-δοκιμή ταχύτητας



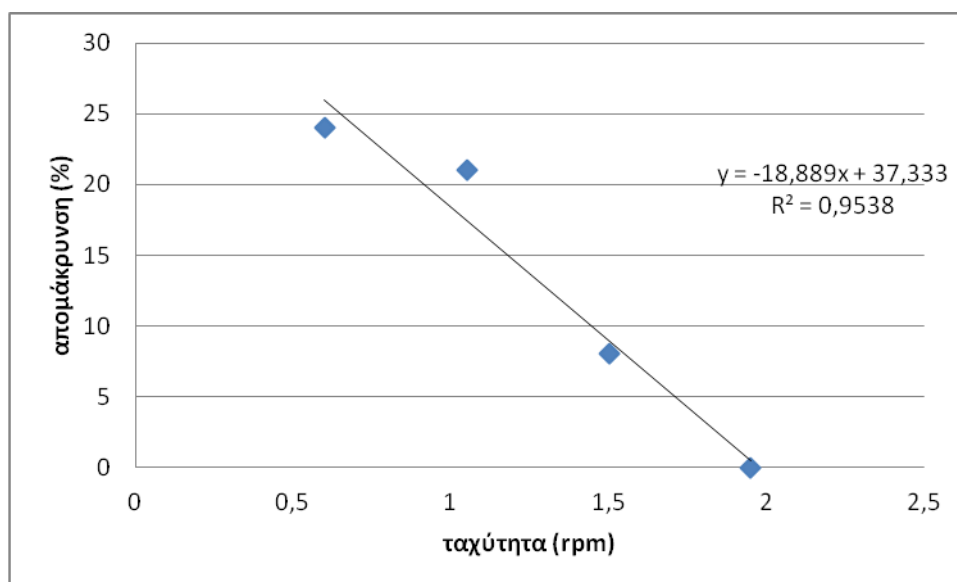
Διάγραμμα 35 Σχέση ταχύτητας-απομάκρυνσης TSS



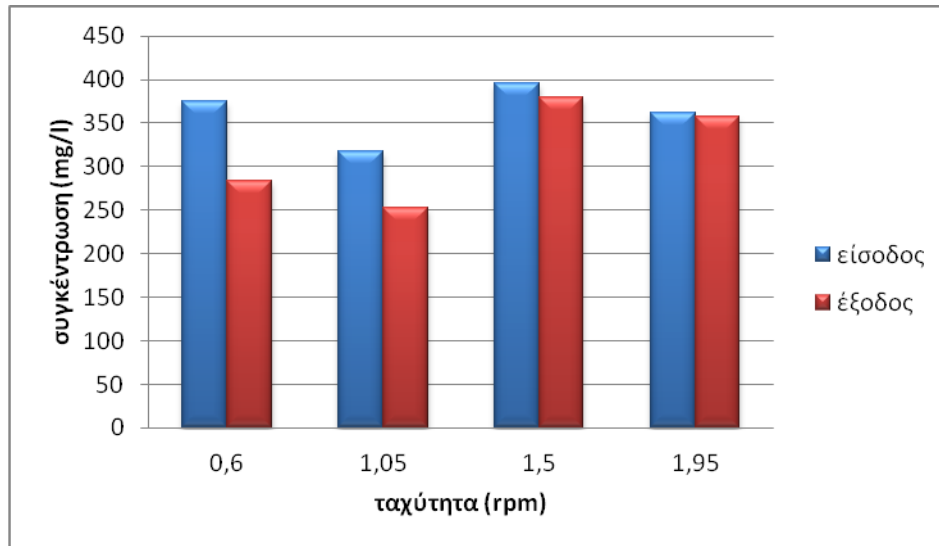
Διάγραμμα 36 Συγκέντρωση εισόδου-εξόδου BOD₅-δοκιμή ταχύτητας



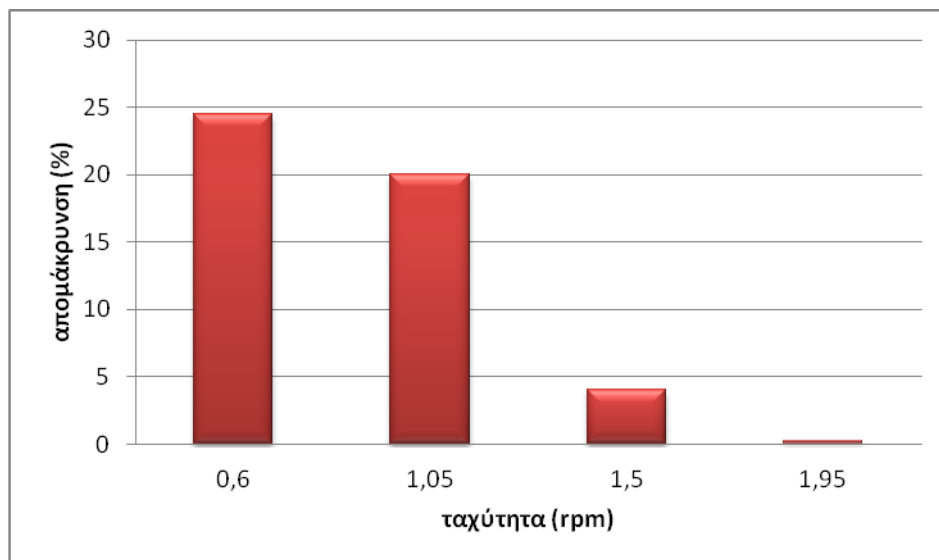
Διάγραμμα 37 Ποσοστό απομάκρυνσης BOD₅-δοκιμή ταχύτητας



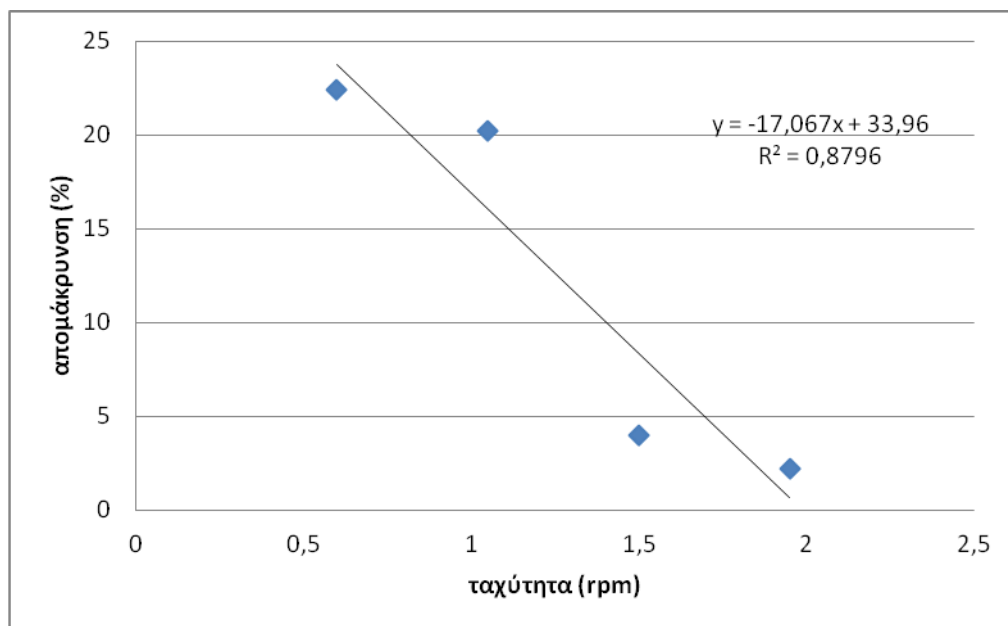
Διάγραμμα 38 Σχέση ταχύτητας-απομάκρυνσης BOD₅



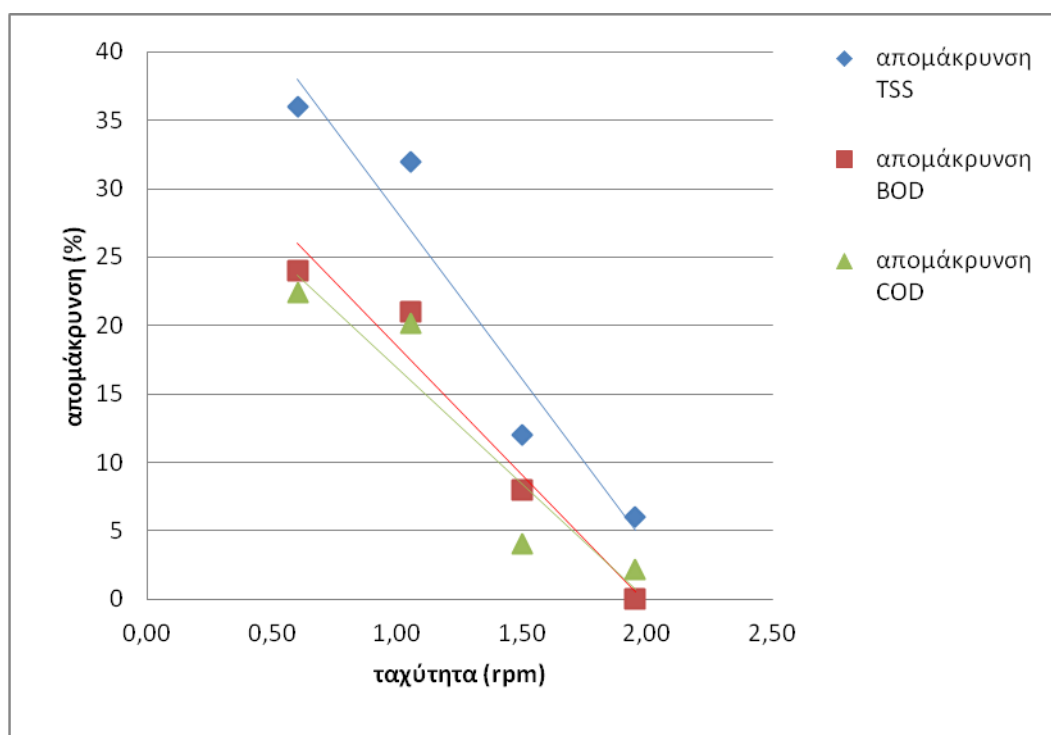
Διάγραμμα 39 Συγκέντρωση εισόδου-εξόδου COD-δοκιμή ταχύτητας



Διάγραμμα 40 Ποσοστό απομάκρυνσης COD-δοκιμή ταχύτητας

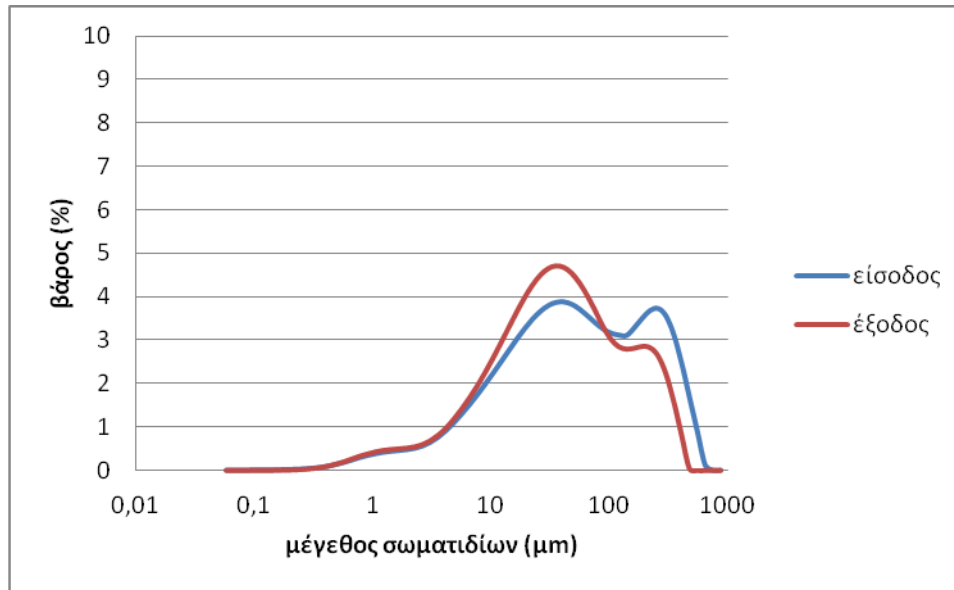


Διάγραμμα 41 Σχέση ταχύτητας-απομάκρυνσης COD

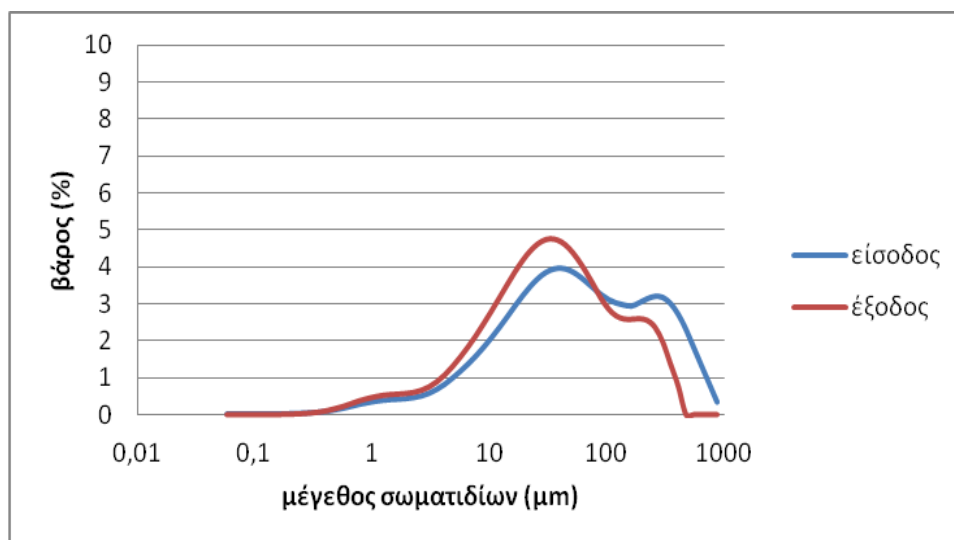


Διάγραμμα 42 Σχέσεις ταχύτητας περιστροφής-απομάκρυνσης TSS, BOD₅, COD

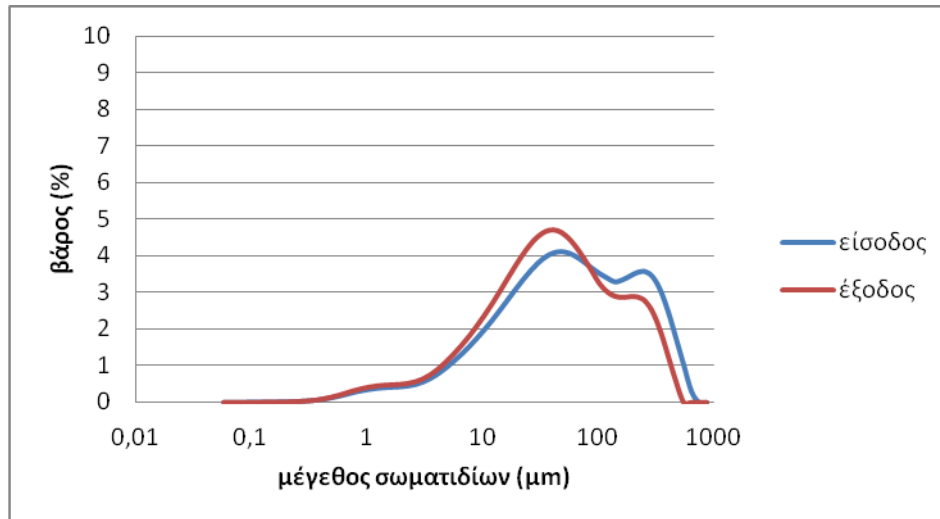
Στα διαγράμματα 43 έως 46 παρουσιάζονται οι καμπύλες κατανομών του μεγέθους των σωματιδίων για τις αντίστοιχες ταχύτητες περιστροφής του ιμάντα.



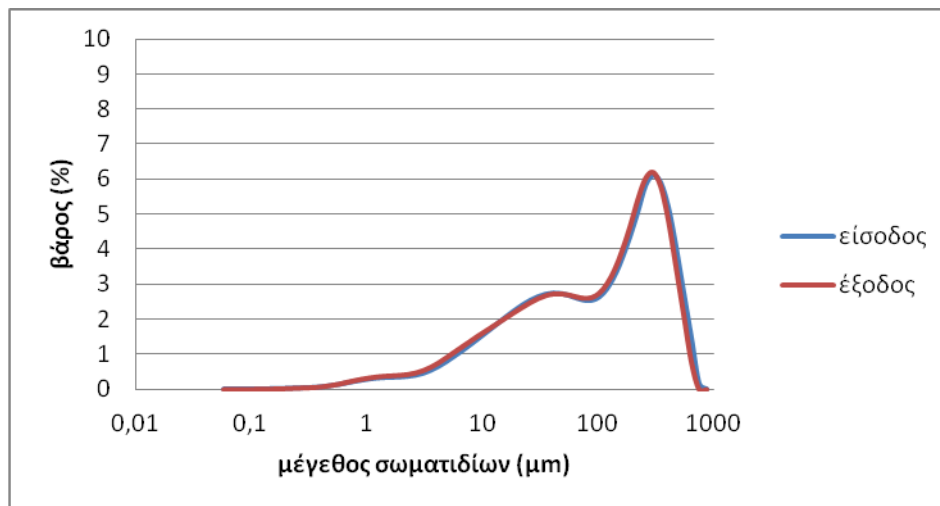
Διάγραμμα 43 Κατανομή μεγέθους σωματιδίων με ταχύτητα 0,60 rpm



Διάγραμμα 44 Κατανομή μεγέθους σωματιδίων με ταχύτητα 1,05 rpm



Διάγραμμα 45 Κατανομή μεγέθους σωματιδίων με ταχύτητα 1,50 rpm

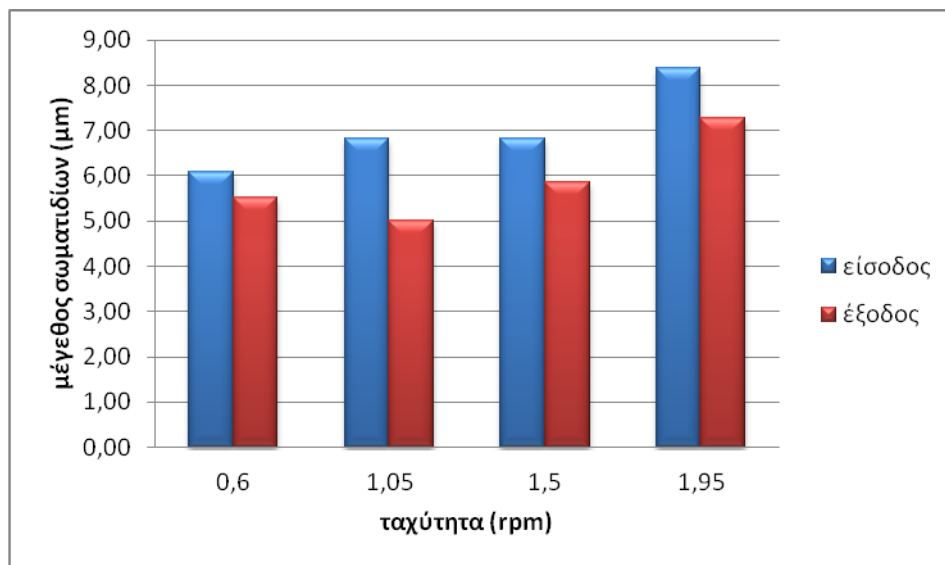


Διάγραμμα 46 Κατανομή μεγέθους σωματιδίων με ταχύτητα 1,95 rpm

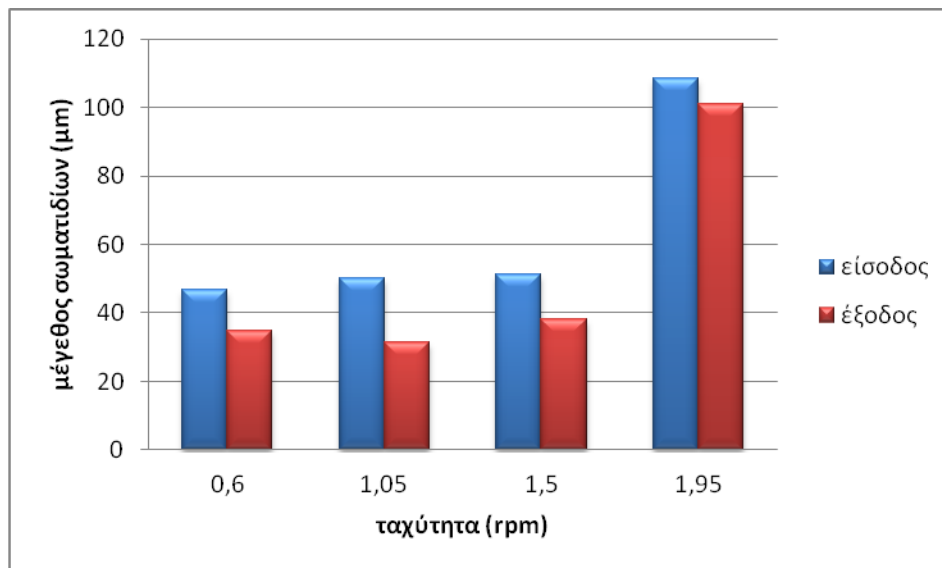
Για τους δείκτες κατανομής d_{10} , d_{50} , d_{90} των μετρήσεων για διαφορετικές ταχύτητες, καταγράφονται οι τιμές τους (εισόδου-εξόδου) και υπολογίζονται ο μέσος όρος και η τυπική τους απόκλιση. Τα στοιχεία παρουσιάζονται στον πίνακα 5-8. Η μεταβολή τους παρουσιάζεται στα διαγράμματα 47 έως 49.

5-8 Τιμές δεικτών d_{10} , d_{50} , d_{90} εισόδου και εξόδου

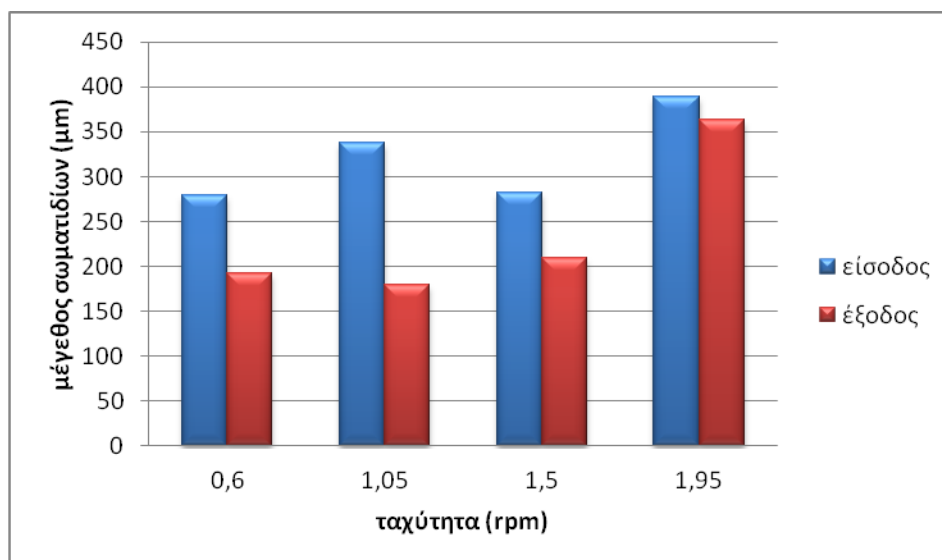
ΕΙΣΟΔΟΣ ταχύτητα (rpm)	d_{10} (μm)	d_{50} (μm)	d_{90} (μm)
0,60	6,08	46,79	279,88
1,05	6,81	49,99	337,98
1,50	6,83	51,16	282,14
1,95	8,37	108,41	389,35
μέσος όρος	7,02	64,08	322,33
τυπική απόκλιση	2,69	8,27	18,24
ΕΞΟΔΟΣ ταχύτητα (rpm)	d_{10} (μm)	d_{50} (μm)	d_{90} (μm)
0,60	5,53	34,59	192,56
1,05	5,01	31,54	180,04
1,50	5,85	38,15	209,55
1,95	7,28	101,02	363,47
μέσος όρος	5,91	51,32	236,40
τυπική απόκλιση	2,45	7,45	15,72



Διάγραμμα 47 Μεταβολή τιμής d_{10}



Διάγραμμα 48 Μεταβολή τιμής d_{50}



Διάγραμμα 49 Μεταβολή τιμής d_{90}

Κεφάλαιο 6.

Συζήτηση των αποτελεσμάτων

6.1 Συμπεριφορά και απόδοση του μικροκόσκινου

6.1.1 Παράμετροι λειτουργίας

Όπως ήδη αναφέρθηκε, οι πρώτες 4 μετρήσεις έγιναν με διαφορετική παροχή και ταχύτητα περιστροφής του ιμάντα, σε σχέση με τις υπόλοιπες 6. Ωστόσο, τα αποτελέσματα των μετρήσεων δεν έδειξαν να διαφοροποιούνται με την προϋπόθεση ότι μαζί με την παροχή, αυξάνεται και η ταχύτητα περιστροφής. Σε κάθε περίπτωση οι 2 αυτές παράμετροι πρέπει να εξασφαλίζουν την πρόληψη υπερχειλίσσης στο εσωτερικό του μηχανήματος. Το πώς επηρεάζει η αυξομείωση της ταχύτητας με σταθερή παροχή την επεξεργασία θα εξεταστεί αναλυτικά μετέπειτα. Οι συγκεντρώσεις των ποιοτικών χαρακτηριστικών των αποβλήτων στις 8/3, 9/3, 10/3, όπου υπήρχε βροχόπτωση, φαίνεται να επηρεάζονται αρκετά. Το δίκτυο του Ρεθύμνου είναι κυρίως παντοροϊκό, με εξαίρεση το κομμάτι της παλαιάς πόλης, όπου είναι διαχωριστικό. Μετρήσεις με υψηλό δείκτη βροχόπτωσης έδωσαν μειωμένες συγκεντρώσεις σε στερεά και BOD₅, ενώ πιθανώς να διαφοροποιείται και η κατανομή των σωματιδίων. Η εισροή λεπτών υλικών στο δίκτυο (άμμος, χώμα) λόγω έκπλυσης και συμμεταφοράς δύναται να μετατρέψουν σε λεπτόκοκκη την είσοδο του αποβλήτου, όπως χαρακτηριστικά φαίνεται από την κατανομή σωματιδίων 10/3 (διάγραμμα 28,29), με αποτέλεσμα τη μειωμένη κατακράτηση των στερεών στον περιστρεφόμενο ιμάντα.

6.1.2 TSS

Η μέση συγκέντρωση των TSS που μετρήθηκε στην είσοδο και η τυπική απόκλιση υπολογίστηκαν σε 223,7±85,2 mg/l αντίστοιχα. Η απομάκρυνση που επιτυγχάνει το μικροκόσκινο κατά μέσο όρο για τα ολικά στερεά και η τυπική απόκλιση, ανέρχονται σε 29,2±9,1% αντίστοιχα, με αρκετά μεγάλες διακυμάνσεις ωστόσο στην απομάκρυνση. Το γεγονός αυτό οφείλεται κατά βάση στην ποιότητα του εισερχόμενου αποβλήτου, το οποίο έχει μεγάλες διαφοροποιήσεις ως προς τη σύστασή του. Δεδομένου του ότι οι μετρήσεις που πάρθηκαν είναι στιγμιαίες, η διακύμανση στο ποσοστό απομάκρυνσης που μετρήθηκε είναι απόλυτα φυσιολογική. Κατά τη λειτουργία του μικροκόσκινου, παρατηρήθηκε πάνω στον ιμάντα αυξημένη ποσότητα από χαλίκια και πέτρες. Η παρουσία τους κατά τη μικροκοσκίνιση μπορεί να μειώσει σημαντικά την απόδοση του μηχανήματος. Δοκιμές που διεξήχθησαν (Ljunggren et al., 2005) έδειξαν ότι η αφαίρεση των στερεών μπορεί να φτάσει το 50%, αρκεί πρώτα να έχουν αφαιρεθεί τα χαλίκια και οι πέτρες. Σημαντικό επίσης ρόλο στην απομάκρυνση των στερεών διαδραματίζει και η ταχύτητα περιστροφής. Για τη μέγιστη δυνατή απομάκρυνση, θα πρέπει η δημιουργία του φιλμ στερεών πάνω στην ταινία να είναι τέτοια ώστε αφενός να συγκρατεί σωματίδια μικρότερης διαμέτρου από το άνοιγμα πόρων της και

αφετέρου να μη δημιουργεί έμφραξη με αποτέλεσμα να εμφανίζεται φαινόμενο υπερχειλίσσης στην είσοδο του μηχανήματος. Η δημιουργία αυτού του στρώματος ίσως είναι υπεύθυνη και για μια μικρή απομάκρυνση αμμωνίας και νιτρικών που παρατηρήθηκε, η οποία πιθανότατα αναφέρεται στην κυρίως διαλυτή μορφή που έχουν. Λόγω έλλειψης αντιδραστηρίων, για τη μέτρηση του φωσφόρου πάρθηκε μόνο ένα δείγμα, η συγκέντρωση του οποίου δε μεταβλήθηκε, παρόλο που λόγω της σωματιδιακής του φύσης θα αναμέναμε μια σχετική μείωση. Οι απομακρύνσεις νιτρικών και αμμωνίας πάντως (13,5-9,5% κατά μέσο όρο αντίστοιχα) είναι κάτι που δε μπορεί να συζητηθεί, καθώς ενώ μπορεί να φαίνονται αξιόλογες, αναφέρονται σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις και είναι αρκετά ευμετάβλητες από πειραματικά σφάλματα. Η μελλοντική μοντελοποίηση της δημιουργίας στρώματος στερεών πάνω στον περιστρεφόμενο ιμάντα μπορεί να προσδιορίσει αποτελεσματικά τις ιδανικές παραμέτρους λειτουργίας του μικροκόσκινου και να δώσει τα μέγιστα αποτελέσματα απομάκρυνσης στερεών σε μεγάλες εισερχόμενες παροχές (Hendricks, 2006). Το ποσοστό απομάκρυνσης των στερεών από μια τυπική πρωτοβάθμια καθίζηση σε σχέση με αυτό που επιτυγχάνει το μικροκόσκινο με άνοιγμα πόρων 350μm είναι παραπλήσιο (36-29% κατά μέσο όρο αντίστοιχα). Σε αυτό πρέπει να προστεθεί και ο παράγοντας του χρόνου παραμονής. Σε μια τυπική καθίζηση, αυτός κυμαίνεται μεταξύ 1,5-2,5 ωρών, όταν ο αντίστοιχος του μικροκόσκινου είναι μηδενικός. Παρόμοιες πιλοτικές δοκιμές στην πόλη της Πάτρας (Gikas et al., 2013) έδειξαν σχεδόν ταυτόσημα αποτελέσματα στην απομάκρυνση των στερεών. Αντίστοιχη δοκιμή στις Η.Π.Α (Tchobanoglous et al., 2011) έδειξε σαφώς βελτιωμένα αποτελέσματα (απομάκρυνση TSS 40-70%) που πιθανώς όμως να μην είναι συγκρίσιμα, κυρίως λόγω της διαφορετικής σύστασης των αποβλήτων. Η ίδια μελέτη έδειξε να υπάρχει συσχέτιση μεταξύ της συγκέντρωσης εισόδου των TSS και του ποσοστού απομάκρυνσής τους. Η αυξημένη συγκέντρωση στην είσοδο έδειξε μεγαλύτερα ποσοστά απομάκρυνσης μετά την μικροκοσκίνιση. Ο ισχυρισμός αυτός όμως μπορεί να είναι βάσιμος μόνο αν κανείς λάβει υπόψιν του και τις αντίστοιχες κατανομές σωματιδίων. Βάση των αποτελεσμάτων της παρούσας εργασίας, υψηλές συγκεντρώσεις στερεών σε λεπτόκοκκα υλικά δεν δίνουν απαραίτητα και υψηλά ποσοστά απομάκρυνσης. Τέλος, το ποσοστό απομάκρυνσης βρέθηκε να είναι ανεξάρτητο της παροχής εισόδου.

6.1.3 BOD

Για το δείκτη του BOD₅, η μέση συγκέντρωση εισόδου που μετρήθηκε και η τυπική απόκλιση ήταν 210,5±48,9 mg/l αντίστοιχα. Η απομάκρυνση που επιτυγχάνει το μικροκόσκινο και η τυπική απόκλιση, ανέρχεται κατά μέσο όρο σε 14±6% αντίστοιχα, ποσοστό παραπλήσιο ή λίγο μικρότερο με αυτό που επιτυγχάνει μια πρωτοβάθμια καθίζηση. Σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ των δύο μεθόδων είναι ότι στην περίπτωση της χρήσης μικροκοσκίνισης, η απομάκρυνση του BOD₅ είναι ανεξάρτητη του χρόνου παραμονής, σε αντίθεση με την πρωτοβάθμια καθίζηση

όπου για μια ανάλογη μείωση απαιτείται χρόνος τουλάχιστον 1,5 ώρας. Όπως και στην περίπτωση των TSS, η απομάκρυνση του BOD₅ είναι ανεξάρτητη της παροχής εισόδου. Επίσης, φαίνεται να υπάρχει αλληλεξάρτηση μεταξύ της συγκέντρωσης εισόδου του BOD₅ και του ποσοστού απομάκρυνσής του. Το υψηλότερο ποσοστό απομάκρυνσης του BOD₅ καταγράφηκε ταυτόχρονα με τη μεγαλύτερη μετρημένη συγκέντρωση που είχε στην είσοδο. Η συγκέντρωση των TSS στην είσοδο φαίνεται να είναι ανεξάρτητη της συγκέντρωσης του BOD₅ στην έξοδο. Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η ποσόστωση της απομάκρυνσης του διαλυτού και σωματιδιακού BOD₅ δεν ακολουθεί κάποιο σταθερό μοτίβο. Παρατηρώντας τα ποσοστά απομάκρυνσης των TSS σε σχέση με αυτά του BOD₅, φαίνεται πως δεν υπάρχει κάποια εξάρτηση μεταξύ τους. Υψηλά ποσοστά απομάκρυνσης των στερεών δε δίνουν απαραίτητα και υψηλό ποσοστό απομάκρυνσης του BOD₅, γεγονός που πιθανότατα οφείλεται στην ανεπάρκεια του δημιουργούμενου φίλμ σωματιδίων στον ιμάντα να απομακρύνει τη διαλυτή του μορφή.

6.1.4 COD

Η μέση συγκέντρωση COD που μετρήθηκε στην είσοδο και η τυπική απόκλιση ήταν $530,4 \pm 111,8$ mg/l αντίστοιχα. Η μέση απομάκρυνση και η τυπική απόκλιση του COD με τη χρήση μικροκόσκινου υπολογίστηκε σε ποσοστό $16,45 \pm 6,4\%$ αντίστοιχα. Σε σύγκριση με την απομάκρυνση μιας τυπικής πρωτοβάθμιας καθίζησης, το ποσοστό αυτό είναι ελαφρώς μειωμένο. Πιθανή αιτία αποτυχίας απομάκρυνσης επαρκούς ποσοστού μέσω του μικροκόσκινου είναι η αδυναμία του ιμάντα να συγκρατήσει τα σωματίδια που κυρίως συνεισφέρουν στο COD. Το ποσοστό του σωματιδιακού COD σε υγρά αστικά απόβλητα είναι συνήθως 65%, γεγονός που θα μας έκανε να αναμένουμε μεγαλύτερη μείωσή του (Orhon, 2006). Γνωρίζοντας ωστόσο ότι σωματίδια μικρότερα των 100μm συνεισφέρουν κατά 65% στο COD, είναι αντιληπτό ότι πληθώρα στερεών που θα έπρεπε να συγκρατηθούν στον ιμάντα, τον διαπερνούν. Επίσης, ο μηχανισμός της καθίζησης σε σχέση με τη μικροκοσκίνιση διαφέρει σημαντικά αφού στην δεύτερη είναι δυνατόν μεγαλύτερα καθιζάνοντα σωματίδια να παρασύρουν μαζί τους και άλλα μικρότερης διαμέτρου, επιτυγχάνοντας έτσι μεγαλύτερα ποσοστά απομάκρυνσης. Ακόμη ένας λόγος είναι οι μετασχηματισμοί που υφίσταται το απόβλητο κατά τη διαδρομή του στο δίκτυο, αφού ενδεχομένως διανύοντας μεγάλη απόσταση, τα μεγαλύτερα σωματίδια έχουν την τάση να διαχωρίζονται και να σπάνε σε μικρότερους κόκκους, κάνοντας δυσκολότερη τη μικροκοσκίνισή τους (Gikas et al., 2013). Ωστόσο σημαντικό πλεονέκτημα του μικροκόσκινου και εδώ, είναι η ανεξαρτησία της απομάκρυνσης του COD σε σχέση με τον χρόνο παραμονής, καθώς και την παροχή εισόδου.

6.1.5 Κατανομές σωματιδίων

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν ξεχωριστά και οι κατανομές των σωματιδίων. Χαρακτηριστικό της λειτουργίας του μικροκόσκινου δεν είναι απλώς η

απομάκρυνση των στερεών σωματιδίων αλλά η επιλεκτική αφαίρεση των πιο ογκωδών. Η κατανομή της 1/3 (διάγραμμα 16,17) είναι ενδεικτική και τεκμηριώνει απόλυτα τον ισχυρισμό αυτό. Ενώ στην είσοδο εντοπίζεται υψηλή συγκέντρωση σε σωματίδια γύρω από την περιοχή των 300μm, παρατηρούμε ότι μετά την μικροκοσκίνιση η συγκέντρωση αυτή τείνει να εξαφανισθεί και στη θέση της εμφανίζεται αυξημένη συγκέντρωση στην περιοχή των 25μm. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τον μέσο όρο του δείκτη d_{90} αφού αυτός βρέθηκε για την είσοδο και την έξοδο 256-162μm αντίστοιχα. Μάλιστα, όσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωση εισόδου σε χονδρόκοκκα σωματίδια, τόσο μεγαλύτερη είναι η απομάκρυνσή τους που μπορεί να επιτευχθεί (Ljunggren, 2006). Η μεγαλύτερη ποσοστιαία μείωση των δεικτών καταγράφηκε στους d_{90} , d_{50} (40-36% αντίστοιχα). Συγκεκριμένα, μια μεγάλη μείωση του δείκτη d_{90} ήταν αναμενόμενη αφού αυτός αναφέρεται σε σωματίδια διαμέτρου 150-350μm περίπου, επιβεβαιώνοντας τον ισχυρισμό της απομάκρυνσης ογκωδών σωματιδίων με τη μικροκοσκίνιση. Παράλληλα όμως, η μεγάλη μείωση του δείκτη d_{50} , που αναφέρεται σε σωματίδια διαμέτρου 30-70μm περίπου, αρκετά μικρότερα του ανοίγματος των πόρων του ιμάντα, δείχνει ότι το στρώμα στερεών που δημιουργείται πάνω στον ιμάντα περιστροφής είναι ικανό να απομακρύνει σωματίδια πολύ μικρότερα του μεγέθους των πόρων του. Γνωρίζοντας ότι η κατανομή σωματιδίων μπορεί να εξάγει χρήσιμα συμπεράσματα για την επεξεργασία των αποβλήτων, η ομογενοποίηση του μεγέθους των σωματιδίων που επιτυγχάνει η μικροκοσκίνιση μπορεί να βελτιώσει σημαντικά λειτουργικές παραμέτρους στην μετέπειτα επεξεργασία. Κατανομές σωματιδίων από τυπικές πρωτοβάθμιες καθιζήσεις χωρίς τη χρήση αλάτων σιδήρου (Neis and Tiehm, 1997) έδειξαν ότι στην έξοδο τους, το ποσοστό σωματιδίων μεγαλύτερο από 32μm ήταν 20-30%. Παρατηρώντας το διάγραμμα αθροιστικώς διερχομένου υλικού της κατανομής 1/3 (διάγραμμα 16,17), είναι εμφανές ότι το ποσοστό αυτό μετά τη μικροκοσκίνιση είναι σχεδόν ταυτόσημο. Ενδεικτικός είναι και ο δείκτης d_{50} της συγκεκριμένης κατανομής. Το 50% του δείγματος βρέθηκε να έχει σωματίδια μεγέθους μικρότερου από 23μm. Πέρα όμως από τη συγκεκριμένη κατανομή, αξίζει να σημειωθεί ότι ο μέσος όρος του δείκτη d_{50} (εξόδου) βρέθηκε να είναι 28μm, γεγονός που θα μπορούσε να επιβεβαιώνει τον παραπάνω ισχυρισμό για το σύνολο των μετρήσεων που έγιναν. Σε αυτά πρέπει να προστεθεί ξανά ο χρόνος παραμονής, όπου ενώ στο μικροκόσκινο είναι μηδενικός ενώ στην πρωτοβάθμια καθίζηση απαιτείται τουλάχιστον 1,5 ώρα για να επιτευχθούν τα συγκεκριμένα αποτελέσματα.

6.1.6 Υγρασία και VSS

Η εξερχόμενη πρωτοβάθμια λάσπη αφού συλλεχθεί, αφυδατώνεται με τη βοήθεια ενός κοχλία Αρχιμήδη και εξέρχεται του μηχανήματος. Στα χαρακτηριστικά της εξερχόμενης συλλεγμένης λάσπης, τα αποτελέσματα έδειξαν ποσοστά υγρασίας μεταξύ 56-74%, δηλαδή περιεκτικότητα σε ξηρή μάζα 26-44%, όσο δηλαδή έχουν

δείξει αντίστοιχες μελέτες όπως στην εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στο Davis της California (Tchobanoglous et al., 2011). Σε σύγκριση με την παραγόμενη λάσπη από μια τυπική πρωτοβάθμια καθίζηση, έχει ίσως 10 φορές την περιεκτικότητα της σε ξηρή μάζα, αφού η πρωτοβάθμια λάσπη από καθίζηση δε ξεπερνά σε περιεκτικότητα ξηρής μάζας το 5-6%. Η διαφοροποίηση αυτή στην υγρασία είναι πολύ σημαντική αν αναλογιστεί κανείς ότι οι συνηθισμένες ενεργοβόρες διεργασίες που ακολουθεί μια πρωτοβάθμια λάσπη είναι η πάχυνση, η αναερόβια ή αερόβια χώνευση και η αφυδάτωση με μηχανικά μέσα (ταινιοφιλτρόπρεσσα). Λειτουργικά κόστη και ενεργειακές ανάγκες θα μπορούσαν να μειωθούν σημαντικά. Σε ότι αφορά τα οργανικά πτητικά στερεά VSS, υπάρχει και εδώ μεγάλη διαφοροποίηση σε σχέση με μια πρωτοβάθμια λάσπη καθίζησης. Τυπική τιμή των VSS σε πρωτοβάθμιες λάσπες είναι συνήθως το 65% (Metcalf & Eddy, 2003), σε αντίθεση με αυτά που μετρήθηκαν από την έξοδο λάσπης του μικροκόσκινου, που βρέθηκαν από 82-85% (ποσοστό επί των ολικών στερεών) (δηλαδή 18-15% ανόργανα αντίστοιχα). Η ποσότητα αυτή των οργανικών θα μπορούσε να δώσει πολύ ικανοποιητικές ποσότητες μεθανίου για παραγωγή βιοαερίου, μεγαλύτερες σίγουρα από το αναμενόμενο.

6.1.7 Επίδραση της ταχύτητας στην μικροκοσκίνιση με σταθερή παροχή

Στη δοκιμή της ταχύτητας, με σταθερή παροχή $56 \text{ m}^3/\text{h}$ και αρχική ταχύτητα περιστροφής 0,6 rpm, αυξήσαμε την ταχύτητα σε 3 διαφορετικά επίπεδα, 1,05-1,5-1,95 rpm αντίστοιχα. Από τις μετρήσεις που πάρθηκαν ανά 10 λεπτά λειτουργίας, προκύπτει ότι η δημιουργία του στρώματος στερεών σωματιδίων πάνω στον ιμάντα, είναι κομβικής σημασίας για την αποτελεσματική απομάκρυνση τόσο των TSS, όσο και των BOD και COD. Ο χρόνος των 10 λεπτών κρίνεται υπεραρκετός ώστε να είναι τα δείγματα αντιπροσωπευτικά, δεδομένου του ότι ο χρόνος παραμονής του αποβλήτου στο μικροκόσκινο δε ξεπερνά τα 14-16 sec, ενώ ο περιστρεφόμενος ιμάντας αυτοκαθαρίζεται κάθε 1,51 min, χρόνος δηλαδή στον οποίο ολοκληρώνει μια πλήρη περιστροφή. Η αυξημένη ταχύτητα περιστροφής του ιμάντα, όταν αυτό δεν είναι απαιτητό από την εισερχόμενη παροχή, δρα ανασταλτικά στην επίτευξη βέλτιστων ποσοστών απομάκρυνσης. Βασικός λόγος μείωσης του ποσοστού απομάκρυνσης των TSS σε υψηλές ταχύτητες είναι η απουσία του φιλμ σωματιδίων πάνω στον ιμάντα, με αποτέλεσμα τα διαφόρων μεγεθών στερεά να τον διαπερνούν. Ανάλογη είναι και η μείωση του ποσοστού απομάκρυνσης των BOD και COD, γεγονός απόλυτα λογικό αφού η κύρια μορφή τους που απομακρύνει η μικροκοσκίνιση είναι η σωματιδιακή. Η εύρεση μαθηματικής συνάρτησης που να περιγράφει την ταχύτητα σε σχέση με την απομάκρυνση των ποιοτικών χαρακτηριστικών, χρήζει περαιτέρω διερεύνησης και σίγουρα περισσότερες δοκιμές στις ταχύτητες, σε μικρότερα χρονικά διαστήματα. Ένα επίσης σημαντικό στοιχείο που προκύπτει από τις δοκιμές της ταχύτητας είναι η σταθερή συγκέντρωση TSS εξόδου. Πιθανώς δηλαδή, η συγκέντρωση εισόδου των TSS είναι ανεξάρτητη του

ποσοστού απομάκρυνσής τους. Οι κατανομές του μεγέθους των σωματιδίων που προέκυψαν από τα 4 διαφορετικά δείγματα επιβεβαιώνουν πλήρως τα αποτελέσματα αυτά. Ενδεικτική είναι η καμπύλη κατανομής της μέγιστης ταχύτητας (διάγραμμα 46), όπου είναι εμφανής η σχεδόν ταυτόσημη καμπύλη εισόδου και εξόδου. Αντίστοιχα την ίδια συμπεριφορά, παρουσιάζουν και οι αυξομειώσεις στους δείκτες d_{10} , d_{50} και d_{90} (διαγράμματα 47,48,49).

6.2 Δυνατότητες εφαρμογής των μικροκοσκίνων

Η προεπεξεργασία σε συνδυασμό με πρώιμες πρακτικές απομάκρυνσης στερεών είναι ζωτικής σημασίας για τα βέλτιστα αποτελέσματα στις μεθόδους επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Σε αυτόν τον τομέα, τα μικροκόσκινα καθώς και παραλλαγές της όπως τα drum filters, μπορούν να εξυπηρετήσουν απόλυτα το σκοπό αυτό. Η μικροκοσκίνιση (microsieving) μπορεί να εφαρμοσθεί ως ολοκληρωμένη εναλλακτική της πρωτοβάθμιας καθίζησης, σε ότι αφορά την πρωτοβάθμια επεξεργασία. Επιτυγχάνει παρόμοια ποσοστά απομάκρυνσης σε ότι αφορά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των αποβλήτων ενώ η παραγόμενη λάσπη έχει πολλαπλάσια περιεκτικότητα σε στερεά ύλη, σε σύγκριση με την παραγόμενη πρωτοβάθμια λάσπη της καθίζησης. Παράλληλα, αυτά επιτυγχάνονται σε μηδενικούς χρόνους παραμονής, με υποδεκαπλάσιο οικολογικό αποτύπωμα και με περίπου τις μισές ενεργειακές ανάγκες. Η συνδυαστική χρήση της μικροκοσκίνισης με συστήματα επίπλευσης, μπορεί να δώσει ακόμη πιο θεαματικά αποτελέσματα, με τις απομακρύνσεις των στερεών να φτάνουν το 70% (Ødegaard, 2006). Στον τομέα της δευτερογενούς επεξεργασίας, τα μικροκόσκινα μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη διεργασία της ενεργού ιλύος, μετά τη δεξαμενή αερισμού και πριν την καθίζηση. Παρόμοια μελέτη από τους Kummer και Geiger (1994), χρησιμοποίησε τη συγκεκριμένη διάταξη με στόχο τη μείωση της παράσυρσης της λάσπης που διαπιστωνόταν σε παροχές με αυξημένη βροχόπτωση. Παρόμοια λειτουργία μπορεί να περιγραφεί με τη χρήση μεμβρανών (MBR) στην έξοδο της δεξαμενής αερισμού. Η μικροκοσκίνιση μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως τριτογενής επεξεργασία, με στόχο την αυξημένη ποιότητα εκροής. Σε μια σειρά από δοκιμές σε τέτοιου είδους μηχανήματα ως τριτοβάθμια επεξεργασία (microscreens, drum filters), με άνοιγμα πόρων 20-35 μ m, ο EPA (Environmental Protection Agency) δημοσίευσε το 1975 στοιχεία που δείχνουν ποσοστά απομάκρυνσης στερεών 45-85%, με συγκεντρώσεις εξόδου μόνιμα χαμηλότερες των 10 mg/l. Σε πιο πρόσφατη γερμανική μελέτη (Grau et al., 1994), η μικροκοσκίνιση με άνοιγμα πόρων 20 μ m έδωσε ποσοστά απομάκρυνσης στερεών 75-85% και με συγκέντρωση εκροής κάτω από τα 5 mg/l. Η πτώση στάθμης σε κάθε περίπτωση ήταν μικρότερη των 0,15m. Σήμερα, το επικρατέστερο άνοιγμα πόρων που χρησιμοποιείται στην τριτοβάθμια επεξεργασία με μικροκοσκίνιση είναι 10 μ m. Ωστόσο, η χρήση των μικροκοσκίνων

θα μπορούσε να γίνει και απευθείας σε σταθμούς άντλησης, αντίθετα με τη ροή του αποβλήτου, πολύ πριν αυτό καταλήξει σε εγκατάσταση επεξεργασίας. Δεδομένου ότι το απόβλητο δεν έχει ακόμη διανύσει μεγάλη διαδρομή στο δίκτυο, είναι ποιοτικά καταλληλότερο για μικροκοσκίνιση, αφού έχει διατηρήσει το αρχικό μέγεθος των σωματιδίων του. Αποτέλεσμα αυτού είναι η βελτιωμένη φίλτρανση σε συνδυασμό με την διατήρηση σε καλή κατάσταση του αποχετευτικού δικτύου (Gikas et al., 2013).

Τα μικροκόσκινα όμως, πέρα από τις χρήσεις τους σε συμβατικούς σταθμούς επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, μπορούν να αποτελέσουν και το αρχικό στάδιο επεξεργασίας ενός μικρότερου σε μέγεθος συστήματος, με εφαρμογή σε απομακρυσμένες ή νησιωτικές περιοχές. Μια τέτοια προσέγγιση (Gikas and Tsoutsos, 2014) περιέγραψε μια τυπική διάταξη, χρησιμοποιώντας μικροκοσκίνιση και ακολούθως βιολογική επεξεργασία με βιοφίλτρα (trickle filter σε συνδυασμό με αμμόφιλτρα και διαύγαση). Η συγκεκριμένη μέθοδος έδωσε συνολικά 80-90% μείωση στερεών και 60-70% απομάκρυνση του BOD₅. Το υδραυλικό φορτίο που μπορεί να εξυπηρετήσει μια τέτοια διάταξη υπολογίσθηκε σε 1000m³/day και η ενεργειακή του απαίτηση στα 10kW, σχεδόν η μισή σε σχέση με μια συμβατική εγκατάσταση επεξεργασίας με σύστημα ενεργού ιλύος (25kW). Σε απομακρυσμένες περιοχές ή σε περιοχές με έλλειψη χώρου, όπου τα απόβλητα έχουν την τάση να συλλέγονται και να οδηγούνται προς επεξεργασία σε μεγάλες μονάδες της περιοχής, μικρά αποκεντρωμένα compact συστήματα βρίσκουν ιδανική εφαρμογή. Ειδικότερα για τις περιοχές της νησιωτικής Ελλάδας, η χρήση μιας παρόμοιας ολοκληρωμένης λύσης μπορεί να κατασταθεί ακόμη πιο ανταγωνιστική, καταναλώνοντας ρεύμα που παράγεται από φωτοβολταϊκά συστήματα.

Οι λίμνες σταθεροποίησης, είναι ακόμη ένας τομέας όπου η μικροκοσκίνιση μπορεί να βρει εφαρμογή. Στο άνω μέρος της λίμνης επικρατούν αερόβιες συνθήκες, λόγω της επαφής της με τον ατμοσφαιρικό αέρα ή λόγω της παραγωγής οξυγόνου από φύκια και άλγη που αναπτύσσονται. Στο κατώτερο μέρος της, λόγω της απουσίας φωτός, επικρατούν αναερόβιες συνθήκες. Έτσι επιτυγχάνεται νιτροποίηση-παράλληλα με απονιτροποίηση και επιτυγχάνεται μια συνολικά αξιολογη απομάκρυνση οργανικού φορτίου, καθώς και φωσφόρου. Σημαντικό μειονέκτημα όμως της συγκεκριμένης μεθόδου είναι η ανάπτυξη αιωρούμενων στερεών που χρίζουν απομάκρυνσης, καθώς και η δυσκολία αφαίρεσης φυτών που δημιουργούνται κατά την επεξεργασία. Η χρήση της μικροκοσκίνισης σε τέτοιου είδους συστήματα, μπορεί με παροδική φίλτρανση να απομακρύνει τα αναπτυσσόμενα στη λίμνη φυτά, ενώ παράλληλα μπορεί να πληροί τις απαιτούμενες ποιότητες εκροής, αφαιρώντας τα αιωρούμενα στερεά. Οι συλλεγόμενες ποσότητες μάλιστα των φυκιών και των αλγών θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σαν πρώτη ύλη για παραγωγή βιομάζας. Αντίστοιχες εφαρμογές

της μικροκοσκίνισης απαντώνται σε ιχθυοκαλλιέργειες για βελτιστοποίηση της ποιότητας του περιβάλλοντος νερού, καθώς και σε άλλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις (Cripps and Bergheim, 2000).

Κεφάλαιο 7.

Συμπεράσματα και προτάσεις για μελλοντική

έρευνα

7.1 Συμπεράσματα δοκιμών μικροκοσκίνισης με βιομηχανικού τύπου μικροεσχάρες ως πρωτοβάθμια επεξεργασία

Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε χρήση ενός μηχανήματος μικροκοσκίνισης βιομηχανικού τύπου στην μονάδα επεξεργασίας αποβλήτων του Ρεθύμνου. Χρησιμοποιήθηκε μέρος της εισερχόμενης παροχής, που αντλούνταν κατάντη του καναλιού της εξάμμωσης. Πάρθηκαν μετρήσεις στην είσοδο και στην έξοδο του μηχανήματος, χρησιμοποιώντας 2 διαφορετικές παροχές και ταχύτητες, 32-54m³/h και 0,27-0,66 rpm αντίστοιχα. Οι συγκεντρώσεις των BOD₅, TSS, COD, NH₃ και νιτρικών, δεν επηρεάστηκαν από την ταυτόχρονη αλλαγή παροχής και ταχύτητας. Οι μέσες απομακρύνσεις των BOD₅, TSS, COD που υπολογίσθηκαν μαζί με το τυπικό σφάλμα βρέθηκαν 14±6%, 29,2±9,1% και 16,45±6,4% αντίστοιχα. Επίσης παρατηρήθηκε μηδενική έως πολύ μικρή μείωση στις συγκεντρώσεις αμμωνίας και νιτρικών. Τα ποσοστά αυτά είναι παραπλήσια ή λίγο μικρότερα σε σχέση με εκείνα που απομακρύνει μια τυπική πρωτοβάθμια καθίζηση. Ωστόσο δε μπορεί να υπάρξει αντικειμενική σύγκριση των τιμών καθώς η μονάδα του Ρεθύμνου δεν χρησιμοποιεί πρωτοβάθμια καθίζηση. Πιθανές εξηγήσεις της ελαφρώς μειωμένης απόδοσης πέρα από τη σύσταση και τον μετασχηματισμό των αποβλήτων στο αποχετευτικό δίκτυο, μας δίνουν και οι κατανομές σωματιδίων. Δείγματα με αρκετά χονδρόκοκκη σύσταση έχουν αρκετά υψηλά ποσοστά απομάκρυνσης, ενώ αντίθετα δείγματα με λεπτόκοκκη σύσταση είναι αρκετά δύσκολο να υποστούν αποτελεσματική μικροκοσκίνιση. Σε κάθε περίπτωση, από τις κατανομές σωματιδίων προέκυψε πως η απομάκρυνση των στερεών συντελείται κυρίως στα πιο ογκώδη σωματίδια. Συγκρίνοντας κατανομές σωματιδίων στην έξοδο της πρωτοβάθμιας καθίζησης με κατανομές στην έξοδο από το μικροκόσκινο, η σύσταση των κόκκων είναι παραπλήσια, αφού και οι 2 μέθοδοι επιτυγχάνουν περίπου το 70% της εκροής να αποτελείται από σωματίδια μεγέθους μικρότερου από 32μm. Σημαντική παράμετρος είναι η ανεξαρτησία των ποσοστών απομάκρυνσης BOD₅, TSS, COD από το χρόνο παραμονής του αποβλήτου, σε αντίθεση με τους μηχανισμούς καθίζησης, που απαιτούν 1,5-2,5 ώρες. Επίσης, η εξερχόμενη λάσπη της πρωτοβάθμιας καθίζησης έχει συνήθως 3-6% περιεκτικότητα σε στερεά ύλη και 65% σε VSS, σε αντίθεση με αυτή του μικροκόσκινου, που έχει 26-44% και 82-85% αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα αυτά είναι πολύ ενθαρρυντικά για την παραγωγή βιοαερίου. Η αύξηση της ταχύτητας περιστροφής με διατήρηση σταθερής παροχής έδειξε επίσης σημαντικά αποτελέσματα. Η απομάκρυνση των BOD₅, TSS και COD μειώθηκε σημαντικά, όταν αυξήθηκε η ταχύτητα. Συμπεραίνεται ότι η δημιουργία στρώματος στερεών πάνω στον ιμάντα ίσως είναι σχεδιαστικά σημαντικότερη παράμετρος από το μέγεθος των πόρων του, αφού αποτελεί ίσως

τον κύριο μηχανισμό απομάκρυνσης. Συμπερασματικά, η χρήση της μικροκοσκίνισης κρίνεται αρκετά ενθαρρυντική ως εναλλακτική πρωτοβάθμια επεξεργασία, αν κανείς λάβει υπόψιν του το υποδεκαπλάσιο οικολογικό αποτύπωμα της, το μισό περίπου κόστος εγκατάστασής της και τις μισές ενεργειακές της ανάγκες, σε σχέση με μια τυπική πρωτοβάθμια καθίζηση.

7.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Προτάσεις που αφορούν στην περαιτέρω μελέτη και συμπεριφορά των μικροσχαρών είναι:

- Συνδυαστική χρήση μικροκοσκίνισης με κροκιδωτικά και συστήματα επίπλευσης για ενισχυμένη απομάκρυνση στερεών.
- Μελέτη συμπεριφοράς των μικροκοσκίνων ως τριτοβάθμια επεξεργασία υγρών αποβλήτων για εξασφάλιση υψηλών απαιτήσεων εκροής.
- Εξαγωγή συμπερασμάτων από τη λειτουργία των μικροκοσκίνων με ιμάντες διαφορετικού ανοίγματος πόρων.
- Κατανόηση της επίδρασης της ταχύτητας περιστροφής του ιμάντα στην απομάκρυνση BOD₅, TSS, COD-ή και μαθηματική μοντελοποίηση-για βέλτιστα αποτελέσματα.
- Διεξοδική ανάλυση στον τρόπο δημιουργίας φίλμ (στρώματος) στερεών πάνω στον περιστρεφόμενο ιμάντα και πως αυτό επιδρά στην απομάκρυνση των σωματιδίων (μαθηματική σχέση που να συνδέει το πάχος του με την απομάκρυνση).
- Χρήση της μικροκοσκίνισης ως πρώτο στάδιο επεξεργασίας αποβλήτων, συνοδευόμενο από βιολογική επεξεργασία και διαύγαση CBUMF (continuous backwash upflow media filter).
- Εξέταση των χρήσεων της παραγόμενης πρωτοβάθμιας λάσπης ως προς την ικανότητά της παραγωγής μεθανίου, με σκοπό την αεριοποίησή της.
- Μελέτη και περαιτέρω μαθηματική μοντελοποίηση της πτώσης στάθμης εντός του μικροκόσκινου σε σχέση με το μέγιστο υδραυλικό φορτίο που μπορεί να δεχθεί.

Κεφάλαιο 8. Βιβλιογραφία

- Νταρακάς Ε.,(2006), σημειώσεις μαθήματος “Επεξεργασία Βιομηχανικών Αποβλήτων” Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδραυλικής & Τεχνικής Περιβάλλοντος
- Νταρακάς Ε.,(2014), σημειώσεις μαθήματος “Διεργασίες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων (Τεχνική Περιβάλλοντος)”, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδραυλικής & Τεχνικής Περιβάλλοντος
- Νταρακάς Ε. (2013), εργαστηριακές σημειώσεις “Εργαστηριακές μέθοδοι αποτίμησης ποιότητας νερού και λυμάτων”, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδραυλικής & Τεχνικής Περιβάλλοντος
- Βλυσίδης Α. (2006), σημειώσεις μαθήματος “Τεχνικές Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων”, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- Σαρηγιάννης Δ. (2015), σημειώσεις μαθήματος “Διαχείριση υγρών αποβλήτων-μέθοδος ενεργού λύου”, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Χημικών Μηχανικών
- Στάμος Α.Ι.(2004), σημειώσεις μαθήματος “Βιολογικός Καθαρισμός Αστικών Αποβλήτων”, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων
- Σωτηράκης Ε. (2005), “Εναλλακτικές μέθοδοι επεξεργασίας λυμάτων-μέθοδος προσκολλημένης βιομάζας και τεχνητοί υγράτοποι-τριτοβάθμια επεξεργασία”, Διαχείριση Υγρών Αποβλήτων με Αποκεντρωμένα Συστήματα Επεξεργασία, Καρδίτσα, 14-15 Οκτωβρίου
- Κατσουφίδου Κ. (2009), Διδακτορική διατριβή “Επεξεργασία νερού με μεμβράνες υπερδιήθησης για απομάκρυνση οργανικών ρυπαντών”, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Χημικών Μηχανικών
- Οικονόμου Σ.Π, Γκράτζιου Μ. ,“Ανάλυση κόστους λειτουργίας και συντήρησης μονάδων επεξεργασίας υγρών αστικών αποβλήτων”, Heleco, ΤΕΕ, Αθήνα, 3-6 Φεβρουαρίου 2005
- Hendricks D. (2006), “*Water treatment unit process-physical and chemical 1st edition*”. CRC Press
- David Hendricks (2010), “*Fundamentals of water treatment unit process-physical, chemical and biological 1st edition*”, CRC Press
- Metcalf and Eddy Inc, (2003), Revised by Tchobanoglous G. et. Al. “*Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th Edition*”, McGraw hill companies Inc.

- S.J. Cripps, A. Bergheim, “Solids management and removal for intensive land-based aquaculture production systems”, *Aquacultural Engineering* Vol. 22, pp. 33-56, 2000
- M. Ljunggren, “Microscreening in wastewater treatment-an overview”, Lund University, Dept. of Chemical Engineering, VATTEN 62, pp. 171–177. Lund 2006
- P. Gikas and T. Tsoutsos, “Near Zero Energy Wastewater Treatment Plants for the Greek Islands”, *Desalination and Water Treatment*, Vol. 53, No. 12, pp. 3324-3328, 2015
- P. Gikas, “Towards Energy Positive Wastewater Treatment Plants”, *Journal of Environmental Management*, doi:10.1016/j.jenvman.2016.05.061
- P. Gikas, G. Koliopoulos and M. Sklivaniotis, “Fine mesh sieving of raw municipal wastewater for TSS and COD removal”, 13th International Conference on Environmental Science and Technology (CEST2013), 5-7 September, Athens
- K. Calderón, J. Martín-Pascual, J. Poyatos, B. Belén Rodelas, A. González-Martínez, J. González-López, “Comparative analysis of the bacterial diversity in a lab-scale moving bed biofilm reactor (MBBR) applied to treat urban wastewater under different operational conditions”, *Bioresource Technology*, Vol. 121, pp. 119-126, 2012
- H. Leverenz, M. Dufort and G. Tchobanoglous (2011), “Pilot testing of microscreen MS-52-S (Prototype), University of Davis-California water treatment plant” Report
- U. Neis and A. Tiehm, “Particle size analysis in primary and secondary wastewater effluents”, *Wat. Sci. Tech.* Vol.36, No.4, pp. 151-158, 1997
- B. Rusten and H. Ødegaard, “Evaluation and testing of fine mesh sieve technologies for primary treatment of municipal wastewater”, *Wat. Sci. Tech.* Vol.54, No.10, pp. 31-38, 2006
- H. Ødegaard (1998), “Optimized particle separation in the primary step of wastewater treatment”, *Wat. Sci. Tech.* Vol. 37, No. 10, pp. 43-53
- H. Ratnaweera, H. Ødegaard, J. Fettig, “Coagulation with prepolymerized aluminium salts and their influence on particle and phosphate removal”, *Wat. Sci. Tech.* Vol.26, pp. 5-6, 1229-1237, 1992
- D. Levine, G. Tchobanoglous and T. Asano, “Characterization of the size distribution of contaminants in wastewater: treatment and reuse implications”, *Journal (Water Pollution Control Federation)*, Vol.57, No.7, pp. 805-816, July 1985
- D. Levine, G. Tchobanoglous and T. Asano, “Size distributions of particulate contaminants in wastewater and their impact on treatability”, *Water Research*, Vol. 25, No. 8, pp. 911-922, August 1991

- E. Dulekgurgen, S. Dogruel, O. Karahan and D. Orhon, “Size distribution of wastewater COD fractions as an index for biodegradability”, Water Research, Vol.40, No. 2, pp. 273–282, January 2006
- P. Karr and T. M. Keinath, “Influence of particle size on sludge dewaterability”, Journal (Water Pollution Control Federation), Vol. 50, No.8, pp. 1911-1930, August 1978
- C. Ross, G.E. Valentine, B.M. Smith and P. Pierce, (2003) “Recent Advances and Applications of Dissolved Air Flotation for Industrial Pretreatment”, The Industrial Water/Wastewater Program North Carolina AWWA/WEA Conference November 17, 2003 Greensboro, North Carolina
- S. Zhou and A. McCorquodale, “Modeling of rectangular settling tanks”, Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 118, No. 10, October 1992
- M. Gratuio, T. Panyathanmaporn, A. Chumnaklang, N. Sirinuntawittay and A. Dutta, “Production of activated carbon from coconut shell: Optimization using response surface methodology”, Biorescue Technology, Vol. 99, No. 11, pp. 4887-4895, July 2008
- ΥΠΕΚΑ, “Κείμενο κατευθυντήριων γραμμών για τη διαχείριση λυμάτων μικρών οικισμών”, Ειδική γραμματεία υδάτων, Απρίλιος 2012
- “Οδηγία 91/271/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 21^{ης} Μαΐου 1991 για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων”
- “Οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23/10/2000 για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων (L 327 EL 22.12.2000)”