



# **ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

## **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

---

**Βέλτιστη προσθήκη πολυμερών επίπλευσης για την  
επεξεργασία αστικών λυμάτων**

---

**ΜΑΡΙΑ ΑΠΟΣΤΟΛΟΥ**

**Εξεταστική Επιτροπή :**

Νικόλαος Καλογεράκης (επιβλέπων)

Πέτρος Γκίκας

Νικόλαος Παρανυχιανάκης

**Χανιά, Νοέμβριος 2018**

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος.....	4
Ονοματολογία.....	5
Περίληψη.....	6
Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή.....	8
1.1 Υπόβαθρο.....	8
1.2 Συνεργασία με τη NT AS.....	10
1.3 Αντικείμενο της Εργασίας.....	11
1.4 Δομή της Εργασίας.....	11
Κεφάλαιο 2. Θεωρητικό Υπόβαθρο.....	12
2.1 Απόβλητα - Χαρακτηριστικά σωματιδίων και παράμετροι ανάλυσης.....	12
2.2 Επεξεργασία λυμάτων - Χημικός καθαρισμός.....	13
2.3 Διαδικασία πήξης και κροκίδωσης.....	14
2.3.1 Πήξη με εξουδετέρωση.....	15
2.3.2 Κροκίδωση κατά το σχηματισμό «γέφυρων» πολυμερών.....	16
2.4 IN-ut 338 - Πηκτικό και κροκιδωτικό σε ένα.....	19
2.5 Αντοχή των flocs.....	20
2.6 Ανάμιξη και κροκίδωση.....	23
2.6.1 Ταχύτητα κλίσης.....	25
2.7 Επίπλευση.....	26
2.7.1 Χαλαρή πλεύση αέρα.....	27
Κεφάλαιο 3. Πειραματικό μέρος .....	29
3.1 Βελτιστοποίηση της ανάμιξης IN-ut 338.....	29
3.2 Ανάπτυξη και βελτιστοποίηση μεθόδου.....	29
3.2.1 Σημείο εκκίνησης για τη μέθοδο.....	31

3.2.2 Μεθοδολογικά παράλληλα.....	31
3.3 Υλικά και μέθοδοι.....	32
3.3.1 Προεπεξεργασία των λυμάτων.....	34
3.3.2 Μέτρηση του pH και της θερμοκρασίας.....	34
3.3.3 Παρασκευή διαλύματος IN-ut 338.....	35
3.3.4 Ανάμιξη.....	35
3.3.5 Μέτρηση SS.....	38
3.3.6 Μέτρηση θολότητας.....	40
Κεφάλαιο 4. Αποτελέσματα και συζήτηση.....	41
4.1 Δοκιμές δοσολογίας IN-ut 338.....	44
Δοκιμή 3.....	44
Δοκιμή 5.....	46
Δοκιμή 6.....	47
Σύγκριση των Δοκιμών 11, 12 και 13.....	50
Δοκιμή 14.....	52
4.2 Κλίση Ταχύτητας.....	54
Δοκιμή 15.....	54
Δοκιμή 16.....	56
4.3 Δοκιμές δοσολογίας με επιθυμητή ταχύτητα.....	59
Δοκιμές 17 και 18.....	59
Δοκιμή 19.....	60
Κεφάλαιο 5. Συμπεράσματα.....	62
Κεφάλαιο 6. Συστάσεις και περαιτέρω εργασίες.....	64
Κεφάλαιο 7. Βιβλιογραφία.....	65
Παράρτημα.....	68

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία σχετίζεται με το περιβάλλον και τη χημεία, ενώ τα πειράματα αυτής και οι εργαστηριακές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο Πανεπιστήμιο του Stavanger της Νορβηγίας, την άνοιξη του 2018.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή, κ. Νικόλαο Καλογεράκη για την καλή καθοδήγηση και τις συμβουλές του καθ' όλη την πορεία της εργασίας αυτής, καθώς και τον επιβλέποντα στη Νορβηγία καθηγητή, κ. Torleiv Bilstad, που σε συνεργασία με τη Norwegian Technology AS μου έδωσε την ευκαιρία να λάβω μέρος σε ένα ενδιαφέρον έργο.

Ένα ακόμη ευχαριστώ στους φίλους μου Trine Tjessem και Κωνσταντίνο Τσολακίδη για την καλή συνεργασία στο εργαστήριο.

## ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ

**SNJ:** IVAR Central Station North Jæren: Κεντρικός Σταθμός IVAR North Jæren

**NT AS:** Norwegian Technology AS : Νορβηγική Τεχνολογία AS

**SS:** Suspended fabric (Suspendertstoff): Υλικό αναρτήσεως

**NTU:** Nephelometric turbidity units: Νεφελομετρικές μονάδες θολερότητας

**G-value:** Speed gradient : κλίση Ταχύτητας

**RPM:** Rotations per minute: Περιστροφές ανά λεπτό

**LAF:** Loose air flotation : Χαλαρή πλεύση αέρα

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στις μέρες μας, το κόστος για την κατανάλωση χημικών ουσιών και τη διαχείριση μεγάλων ποσοτήτων ιλύος σε εγκαταστάσεις χημικής επεξεργασίας υγρών αποβλήτων είναι αρκετά υψηλό. Επιπλέον, οι διαδικασίες πήξης και κροκίδωσης απαιτούν υψηλή χωρητικότητα περιοχής. Μια εταιρεία Νορβηγικής Τεχνολογίας (*Norwegian Technology AS*) έχει παράσχει ένα νέο πολυμερές, το «IN – ut 338», το οποίο έχει ως στόχο να απλοποιήσει τη διαδικασία καθαρισμού και, συνεπώς, να εξοικονομήσει χρήματα. Το υπόβαθρο για την ακόλουθη εργασία ήταν να ληφθεί υπόψη η δοσολογία του πολυμερούς και ο ρυθμός ανάμιξής του, έτσι, ώστε να δοθεί το υψηλότερο αποτέλεσμα καθαρισμού. Η δοσολογία του πολυμερούς από πλευρά οικονομικής άποψης έχει επίσης ληφθεί υπόψη.

Οι πειραματικές δοκιμές διεξήχθησαν με τη χρήση μίας μεθόδου η οποία βασίζεται σε δοκιμές δοχείων (*jar testing*), αλλά έχει προσαρμοστεί για το IN-ut 338. Το αποτέλεσμα καθαρισμού εκτιμήθηκε με βάση την περιεκτικότητα των αιωρούμενων στερεών (*Suspended Solids - SS*) και τη θολερότητα, αλλά με έμφαση στα αιωρούμενα στερεά. Τα υγρά απόβλητα που χρησιμοποιήθηκαν στις δοκιμές προήλθαν από το κεντρικό εργοστάσιο IVAR North Jæren (SNJ), του Stavanger της Νορβηγίας. Επιλέχθηκε χρόνος ανάμιξης 15 δευτερολέπτων. Ο ρυθμός ανάμιξης για δοκιμές δοσολογίας ήταν 500/600 περιστροφές ανά λεπτό (rpm).

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το αρχικό περιεχόμενο των αιωρούμενων στερεών (SS) στα λύματα επηρεάζει την αποτελεσματικότητα των δοσολογιών του IN-ut 338. Οι χαμηλές δοσολογίες IN-ut 338 ( $\leq 4,5 \text{ mg L}^{-1}$ ) έδειξαν το υψηλότερο αποτέλεσμα καθαρισμού αιωρούμενων στερεών (SS) για τα λύματα που περιέχουν μικρές ποσότητες αιωρούμενων στερεών (SS) - περίπου  $50 \text{ mg L}^{-1}$ . Για τα λύματα που περιέχουν περίπου  $100 \text{ mg SS L}^{-1}$  με ρυθμό ανάμιξης 600 rpm, η δοσολογία IN-ut 338  $5,5 \text{ mg L}^{-1}$  έδωσε το υψηλότερο αποτέλεσμα καθαρισμού, που αντιστοιχεί σε  $14,4 \pm 1,4 \text{ mg SS L}^{-1}$ . Η βέλτιστη δόση θολερότητας παρατηρήθηκε στην περιοχή από 6,0 έως  $6,5 \text{ mg L}^{-1}$ . Η βαθμίδα ταχύτητας (τιμή G)  $2900 \text{ s}^{-1}$  έδωσε το υψηλότερο αποτέλεσμα καθαρισμού για τα αιωρούμενα στερεά (SS) σε δόση IN-ut 338  $5,5 \text{ mg L}^{-1}$ . Η τιμή G εφαρμόστηκε τόσο στα λύματα που περιέχουν περίπου  $70 \text{ mg SS L}^{-1}$ , όσο και στα απόβλητα που περιέχουν περίπου  $190 \text{ mg SS L}^{-1}$ , με ρυθμό  $88 \pm 3\%$  και  $87 \pm 1,1\%$ , αντίστοιχα. Η χαμηλότερη δόση IN-ut 338 απέδωσε περιεκτικότητα  $\leq 20 \text{ mg SS L}^{-1}$  και, συνεπώς, στην εργασία θεωρήθηκε επαρκές στα  $4 \text{ mg L}^{-1}$ . Χρησιμοποιήθηκε μίγμα με τιμή G περίπου  $2900 \text{ s}^{-1}$ .

## ABSTRACT

Nowadays, the cost of consuming chemicals and handling large quantities of sludge in chemical wastewater treatment plants is quite high. In addition, coagulation and flocculation processes require high area capacity. A Norwegian Technology AS has provided a new polymer, called "IN-ut 338", which aims to simplify the cleaning process and thereby save money. The following work took into account the dosage of the polymer and its rate of mixing, with the aim to give the highest cleaning effect. The dosage of polymer from an economic point of view has also been taken into account.

Experimental tests were carried out using a jar testing method but adapted to IN-ut 338. The cleaning result was evaluated based on Suspended Solids (SS) and turbidity, but with emphasis on suspended solids. The wastewater used in the tests was collected from the IVAR North Jæren (SNJ) plant in Stavanger, Norway. A mixing time of 15 seconds was selected. The mixing rate for dosing tests was 500/600 rpm.

The results show that the initial content of suspended solids (SS) in sewage influences the effectiveness of IN-ut 338 dosages. Low IN-ut 338 ( $\leq 4.5 \text{ mg L}^{-1}$ ) showed the highest cleaning effect of suspended solids (SS) for sewage containing small amounts of suspended solids (SS) - about  $50 \text{ mg L}^{-1}$ . For sewage containing approximately  $100 \text{ mg SS L}^{-1}$  with a mixing rate of 600 rpm, the IN - ut 338  $5.5 \text{ mg L}^{-1}$  displayed the highest cleaning result, corresponding to  $14.4 \pm 1.4 \text{ mg SS L}^{-1}$ . The optimal turbidity dose was observed in the range of 6.0 to  $6.5 \text{ mg L}^{-1}$ . The velocity gradient (G value) of  $2900 \text{ s}^{-1}$  exhibited the highest cleaning effect for suspended solids (SS) at a dose of IN-ut 338 of  $5.5 \text{ mg L}^{-1}$ . The G value was applied to both sewage containing approximately  $70 \text{ mg SS L}^{-1}$  and to waste containing approximately  $190 \text{ mg SS L}^{-1}$  at a rate of  $88 \pm 3\%$  and  $87 \pm 1.1\%$ , respectively. The lower dose of IN-ut 338 yielded a content of  $\leq 20 \text{ mg SS L}^{-1}$  and therefore was considered sufficient at work at  $4 \text{ mg L}^{-1}$ . A mixture with a G value of about  $2900 \text{ s}^{-1}$  was used.

# Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

## 1.1 Υπόβαθρο

Κατά την επεξεργασία αστικών λυμάτων λαμβάνουν χώρα συνήθως μηχανικοί, χημικοί και βιολογικοί καθαρισμοί. Στην πράξη, τα εργοστάσια επεξεργασίας λυμάτων αποτελούνται από διαδικασίες που βασίζονται σε συνδυασμούς αυτών των διεργασιών καθαρισμού και εξαρτώνται από τη σύνθεση των λυμάτων.<sup>1</sup> Για παράδειγμα, ο κεντρικός σταθμός IVAR North Jæren (SNJ) είναι βασικά ένα εργοστάσιο χημικής επεξεργασίας, αλλά αναπτύσσει σήμερα ένα στάδιο βιολογικού καθαρισμού, καθώς οι αλλαγές στη σύνθεση των λυμάτων οδήγησαν σε αναλυτικά αποτελέσματα που υπερβαίνουν την απαίτηση για καθαριότητα.<sup>2</sup> Η περιβαλλοντική διαχείριση χρησιμοποιεί τους όρους *πρωτογενή καθαρισμό*, *δευτερογενή καθαρισμό* και *τριτογενή καθαρισμό* κατά τον καθορισμό απαιτήσεων για εκπομπές.<sup>1</sup>

Εκτός από την ενσωμάτωση των σταδίων καθαρισμού με βάση τις παραπάνω αρχές, μια μονάδα επεξεργασίας πρέπει επίσης να περιέχει συστήματα για την προεπεξεργασία και την επεξεργασία της παραγόμενης ιλύος. Τα λύματα στην είσοδο μεταφέρονται σε μονάδες επεξεργασίας, όπου ο σκοπός είναι να αφαιρεθούν τα συστατικά που μπορούν να οδηγήσουν σε λειτουργικά προβλήματα σε μεταγενέστερα στάδια επεξεργασίας. Οι μονάδες προεπεξεργασίας μπορεί για παράδειγμα να είναι εσχάρωση, εξάμμωση. Ο πρωτογενής καθαρισμός είναι συνήθως συνώνυμος με το μηχανικό καθαρισμό και περιλαμβάνει την αφαίρεση σωματιδίων με μέγεθος περίπου 0,1 mm. Αυτό επιτυγχάνεται με καθίζηση ή με διήθηση μέσω λεπτών φίλτρων. Η πρωτοβάθμια επεξεργασία αναφέρεται γενικά στην προεπεξεργασία με χρήση βιολογικών και χημικών διεργασιών, αλλά μπορεί σε ορισμένες περιπτώσεις να χρησιμοποιηθεί ως η μόνη μέθοδος καθαρισμού των αποβλήτων σε λιγότερο ευαίσθητους αποδέκτες.<sup>1</sup> Μια υποκατηγορία πρωτοβάθμιας επεξεργασίας ονομάζεται *προηγμένη πρωτογενής επεξεργασία*, η οποία περιλαμβάνει την προσθήκη χημικών ουσιών για την αύξηση του βαθμού καθαρισμού της αιωρούμενης ουσίας (SS) και της διαλυμένης ουσίας (DS).<sup>3</sup>

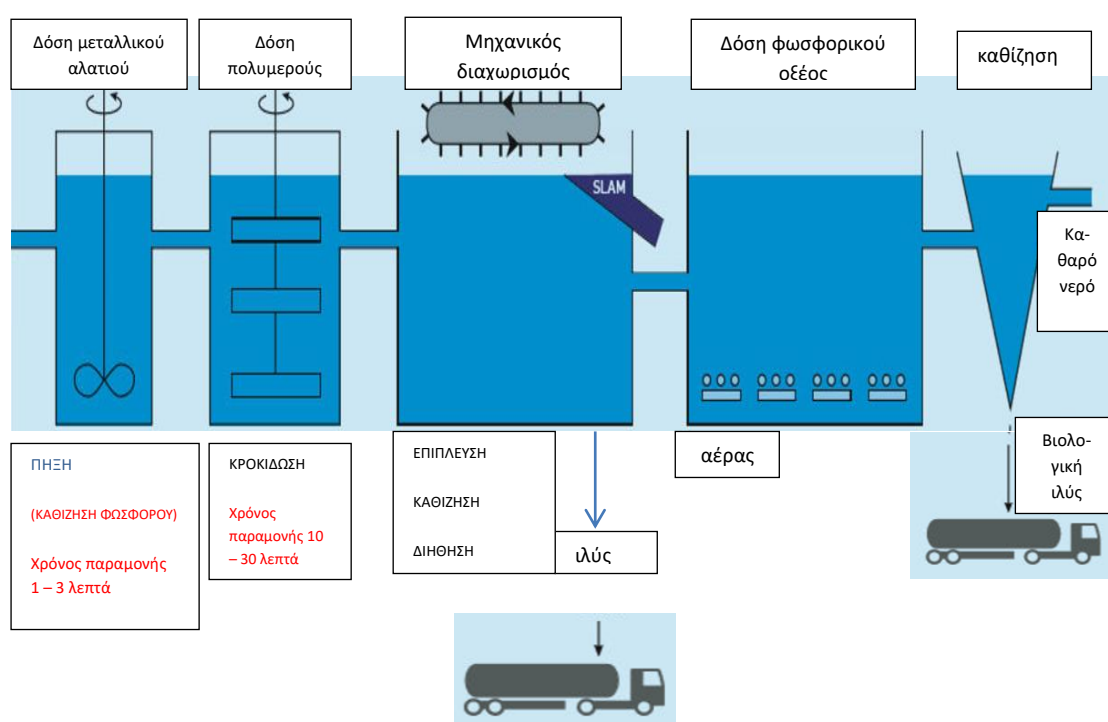
Δευτεροβάθμια επεξεργασία μπορεί να επιτευχθεί τόσο μέσω χημικού όσο και βιολογικού καθαρισμού για την απομάκρυνση της οργανικής ύλης καθώς και των SS. Στην τριτοβάθμια επεξεργασία, εκτός από την ιλύ και την οργανική ύλη, απομακρύνονται και τα θρεπτικά συστατικά. Τα θρεπτικά συστατικά περιλαμβάνουν φωσφόρο και / ή άζωτο.<sup>1</sup> Η απολύμανση συνήθως περιλαμβάνεται στην τριτοβάθμια επεξεργασία.<sup>3</sup>

Οι ανάγκες επενδύσεων για την επεξεργασία των λυμάτων στη Νορβηγία υπολογίζονται σε 490 δισεκατομμύρια NOK (Norwegian Kroner) μέχρι το 2030. Υπάρχουν διάφοροι λόγοι για αυτό. Το κυριότερο είναι πως οι απαιτήσεις



ποιότητας και ασφάλειας για τον καθαρισμό των υδάτων καθίστανται όλο και πιο αυστηρές και οι υπάρχουσες εγκαταστάσεις παλαιώνουν και πρέπει να ανανεώνονται. Η αύξηση του πληθυσμού και η προσαρμογή σε ένα μεταβαλλόμενο κλίμα παρουσιάζουν επίσης προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν από τους τομείς των υδάτων και των αποχετεύσεων.<sup>1</sup>

Για τις μονάδες χημικής επεξεργασίας, η υψηλή χρήση χημικών ουσιών συνεπάγεται υψηλό κόστος και παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων ιλύος, οι οποίες πρέπει να επεξεργαστούν. Επιπλέον, οι διαδικασίες πήξης και κροκίδωσης απαιτούν μεγάλη χωρητικότητα.<sup>3</sup> Η εικόνα 1.1 απεικονίζει τα διάφορα στάδια στα οποία υποβάλλονται τα λύματα με χρήση χημικών ουσιών για μια τυπική επεξεργασία καθίζησης.



**Εικόνα 1.1** Κατασκευή μιας τυποποιημένης μονάδας επεξεργασίας για τη διαδικασία πήξης και κροκίδωσης και διαχωρισμού των *flocs* με την επίπλευση και τη διαχείριση της ιλύος (Παράρτημα 1. IN-ut 338 προϊόντα).

Προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή καθαριστική επίδραση των χημικών προϊόντων με το χαμηλότερο δυνατό κόστος, πρέπει να προσδιοριστούν και να βελτιστοποιηθούν οι κρίσιμοι παράγοντες για την απόδοση των χημικών ουσιών. Οι διαφορετικές χημικές ουσίες έχουν διαφορετικές δοσολογίες στις οποίες δρουν

καλύτερα. Το pH και η ένταση της ανάμιξης είναι επίσης σημαντικοί παράγοντες. Ο τύπος της χημικής ουσίας που πρέπει να χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από τον τύπο των λυμάτων που βρίσκονται στη μονάδα επεξεργασίας. Μία τυποποιημένη μέθοδος για τη βελτιστοποίηση αυτών των παραμέτρων, καθώς και ο προσδιορισμός της χημικής ουσίας που θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί στη μονάδα καθαρισμού είναι η δοκιμή των δοχείων (*jar testing*).<sup>1,3,4</sup>

## 1.2. Συνεργασία με τη Νορβηγική Τεχνολογία (NT) AS

Μια νέα χημική ουσία στην αγορά, που αναπτύχθηκε από τη Norwegian Technology AS (NT AS), έχει σκοπό να απλοποιήσει τη διαδικασία καθαρισμού, να αυξήσει τον βαθμό διαχωρισμού των αιωρούμενων στερεών (SS) στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων και να είναι οικονομικά αποδοτική, σε σύγκριση με τη χρήση χλωριούχου σιδήρου και άλλων πολυμερών. Το νέο πολυμερές, IN-ut 338, δοκιμάστηκε σε πλήρη κλίμακα, μεταξύ άλλων, στο Grødaland της Νορβηγίας, το οποίο λειτουργεί επί του παρόντος σύμφωνα με τις άδειες απόρριψης. Κατά τη χρήση του IN-ut 338, λαμβάνει χώρα μόνο ένα στάδιο ανάμιξης, γεγονός που σημαίνει ότι η διαδικασία καθαρισμού απαιτεί λιγότερο χώρο, σε σύγκριση με τις πρότυπες διαδικασίες πήξης και κροκίδωσης. (Παράρτημα 1. Προϊόντα IN-ut 338)

Το τρέχον έργο της Norwegian Technology (NT) AS περιλαμβάνει το συνδυασμό της χρήσης του IN-ut 338 με την επίπλευση σε ένα στάδιο καθαρισμού που θα λειτουργεί ως καθαυτό μονάδα καθαρισμού. Τα λιγότερα στάδια παρέχουν ταχύτερη διαδικασία καθαρισμού, γεγονός που σημαίνει ότι περισσότερα λύματα μπορούν να καθαριστούν σε λιγότερο χρόνο. Η NT AS θα αποκτήσει δεδομένα σχετικά με τα αποτελέσματα καθαρισμού κατά τη δοκιμή διαφορετικών παραμέτρων του μείγματος που επηρεάζουν την απόδοση του IN-ut 338. Συγκεκριμένα, σκοπός είναι τα αποτελέσματα που παράγονται από την ανάθεση να συνδυάζονται με μία ή περισσότερες αρχές επίπλευσης. Η NT AS βοήθησε στο σχεδιασμό των δοκιμών σχετικά με τις παραμέτρους που θα δοκιμαστούν, καθώς και στην τοποθέτηση του εξοπλισμού και των χημικών που χρησιμοποιούνται στην παρούσα εργασία.

### 1.3 Αντικείμενο της Εργασίας

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να παρουσιαστεί μια έκθεση με τα αποτελέσματα καθαρισμού, βελτιστοποιώντας τις επιλεγμένες παραμέτρους για την προσθήκη IN-ut 338 στα λύματα. Οι παράμετροι ανάμιξης που εξετάζονται είναι η δοσολογία του πολυμερούς και η κλίση της ταχύτητας. Ο στόχος είναι, πρώτον, να εκτιμηθεί μια δόση IN-ut 338 που επιτρέπει στο IN-ut 338 να αποδώσει στο μέγιστο και, δεύτερον, ποια είναι η υψηλότερη δοσολογία που μπορεί να έχει αρνητικό αντίκτυπο στο αποτέλεσμα καθαρισμού, χωρίς να προκαλέσει καμία αλλαγή. Η δοσολογία IN-ut 338 από οικονομική άποψη έχει επίσης συμπεριληφθεί στην ανάθεση. Ο βέλτιστος ρυθμός ανάμιξης μεταφράζεται σε *βαθμίδα ταχύτητας* (τιμή  $G$ ). Η τιμή  $G$  στη συνέχεια χρησιμοποιείται περαιτέρω συνδυάζοντας το IN-ut 338 με την επίπλευση. Η υπόθεση είναι ότι η αυξημένη κλίση ταχύτητας οδηγεί σε αυξημένο διαχωρισμό των αιωρούμενων στερεών (SS). Σε δεδομένο ρυθμό, η αποτελεσματικότητα του μίγματος θα είναι η βέλτιστη και μια βαθμίδα μεγαλύτερης ταχύτητας θα μειώσει συνεπώς την απόδοση καθαρισμού, ως αποτέλεσμα της αποσύνθεσης των σχηματισμένων *flocs*.

### 1.4 Δομή της εργασίας

Η εργασία ξεκινά με θεωρία που περιλαμβάνει τη διαδικασία χημικού καθαρισμού για επεξεργασία λυμάτων, επικεντρωμένη στις αρχές της πήξης και της κροκίδωσης. Παρακάτω παρουσιάζεται μια σύντομη εισαγωγή στο IN-ut 338, μια εμπεριστατωμένη βιβλιογραφική ανασκόπηση της αντοχής των *flocs* και μια εισαγωγή στις δοκιμές δοχείων (*jar testing*) με παραμέτρους ανάμιξης που υπογραμμίζονται από τη βιβλιογραφία. Το τέλος της θεωρητικής ενότητας παρουσιάζει την αρχή της επίπλευσης με την περιγραφή της χαλαρής επίπλευσης αέρα (LAF). Επιπλέον, η περιγραφή της πρακτικής εφαρμογής της εργασίας αναλύεται στο Κεφάλαιο 3. Τα αποτελέσματα και η συζήτηση παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 4 και ακολουθούνται συμπεράσματα στο Κεφάλαιο 5. Το Κεφάλαιο 6 περιέχει συστάσεις και περαιτέρω εργασίες.

## Κεφάλαιο 2. Θεωρητικό Υπόβαθρο

### 2.1 Απόβλητα - Χαρακτηριστικά σωματιδίων και παράμετροι ανάλυσης

Το κύριο φυσικό χαρακτηριστικό των λυμάτων είναι η ολική περιεκτικότητα στερεών σε υγρή ύλη, ιζηματοποιήσιμες ύλες, κολλοειδή σωματίδια και διαλυμένη ύλη (πτητικά στερεά). Άλλες σημαντικές φυσικές παράμετροι είναι η θολρότητα, η οσμή, η θερμοκρασία, το χρώμα και η αγωγιμότητα.<sup>3</sup> Στον πίνακα 2.1 παρουσιάζεται μια ταξινόμηση της επιλεγμένης στερεής ουσίας που περιέχεται στα λύματα.

Πίνακας 2.1 Επιλεγμένοι ορισμοί στερεών που περιέχονται στα λύματα.<sup>3</sup>

Στερεά	Περιγραφή
<b>Ολικά Αιωρούμενα Στερεά (TSS)</b>	Η συνολική στερεή μάζα που απομένει, αφού εξατμιστεί ένα δείγμα νερού και ξηρανθεί σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία (103 - 105 ° C).
<b>Αιωρούμενα Στερεά (SS)</b>	Μέρος της συνολικής στερεής μάζας σε φίλτρο με ειδικό μέγεθος πόρων, που μετράται μετά από ξήρανση σε συγκεκριμένη θερμοκρασία (105 ° C). Το φίλτρο που χρησιμοποιείται συνήθως είναι φίλτρο από γυάλινες ίνες Whatman με μέγεθος πόρων περίπου 1, 58 μm.
<b>Πτητικά στερεά (FT) (TSS - SS)</b>	Μάζα που διέρχεται από το φίλτρο και στη συνέχεια εξατμίζεται και ξηραίνεται σε δεδομένη θερμοκρασία. Τα FT αποτελούνται από κολλοειδή και διαλυμένα σωματίδια. Τα κολλοειδή κυμαίνονται μεταξύ 0,01-1 μm και διατηρούνται σε αναστολή. <sup>1</sup>
<b>Καθιζάνοντα Στερεά</b>	Μάζα οποιουδήποτε μεγέθους η οποία δεν θα παραμείνει αιωρούμενη ή διαλυμένη σε δεξαμενή κατακράτησης, όταν δεν υπόκειται σε κίνηση και αποκλείει τα TDS και τα TSS. Τα καθιζάνοντα στερεά μπορεί να περικλείουν μεγαλύτερα μικροσωματίδια ή αδιάλυτα μόρια.

Τα SS είναι μια βασική παράμετρος στην τεχνική αποστράγγισης. Χρησιμοποιούνται ως παράμετρος ποιότητας νερού για τη διαστασιολόγηση, τον έλεγχο λειτουργίας και τον έλεγχο εκπομπών των μονάδων επεξεργασίας λυμάτων. Οι αναλύσεις των SS βασίζονται στη ζύγιση σωματιδίων σε ένα δεδομένο μέγεθος. Το νερό διηθείται μέσω φίλτρου γνωστού μεγέθους πόρου, ενώ το φίλτρο με το

εναποτιθέμενο υλικό ξηραίνεται και ζυγίζεται. Λόγω του ότι χρησιμοποιείται ένα φίλτρο για τον διαχωρισμό των SS από τα FT (Πίνακας 2.1), το αποτέλεσμα της δοκιμής εξαρτάται από το μέγεθος πόρων του φίλτρου. Συνήθως το μέγεθος πόρων κυμαίνεται από 0,45  $\mu\text{m}$  έως περίπου 2  $\mu\text{m}$ . Η τυπική τιμή των SS σε διαφορετικούς τύπους νερού μπορεί να είναι  $< 1 \text{ mg SS L}^{-1}$  για το φυσικό νερό,  $200 \text{ mg SS L}^{-1}$  για τα αστικά λύματα και  $< 20 \text{ mg SS L}^{-1}$  για το νερό σε καθαρισμένα αστικά λύματα.<sup>1</sup>

Αν και η μέτρηση SS αποτελεί δοκιμή ρουτίνας για την αξιολόγηση της απόδοσης των μονάδων επεξεργασίας, υπάρχουν λιγότερο πλεονεκτικοί παράγοντες στην παράμετρο που πρέπει να επισημανθούν. Πρώτον, το αποτέλεσμα εξαρτάται τόσο από το μέγεθος πόρου, όσο και από τον τύπο του φίλτρου. Δεύτερον, ανάλογα με τον όγκο του δείγματος που φιλτράρεται, ενδέχεται να προκύψει φαινόμενο εσωτερικού φίλτρου. Αυτό συμβαίνει, εάν τα σωματίδια προσκολλώνται στο πορώδες άνοιγμα και λειτουργούν ως ένα άλλο φίλτρο. Το αποτέλεσμα θα δείξει τότε υψηλότερη συγκέντρωση SS στα λύματα, από ότι είναι η συγκέντρωσή τους στην πραγματικότητα.<sup>3</sup>

Η θολερότητα, ένα μέτρο της ικανότητας του νερού να διαπερνά το φως, είναι μια άλλη παράμετρος που είναι κοινή για την ένδειξη της ποιότητας του νερού τόσο των λυμάτων, όσο και του φυσικού νερού. Η δοκιμή περιέχει ένα μέτρο της συγκέντρωσης των κολλοειδών σωματιδίων και της υπολειμματικής ύλης. Τα όργανα μέτρησης της θολερότητας μετρούν την ένταση μιας δέσμης φωτός που κατευθύνεται προς το δείγμα νερού, διαπερνώντας αυτό και όπου η παρουσία των σωματιδίων οδηγεί σε διασπορά του φωτός, μειώνοντας έτσι την ένταση του φωτός των φωτεινών ακτινών. Το αποτέλεσμα μετράται σε NTU (νεφελομετρικές μονάδες θολερότητας – nephelometric turbidity units). Κατά τη διάρκεια της ανάλυσης είναι πολύ σημαντικό να αποφεύγονται φυσαλίδες αέρα στο δείγμα, οι οποίες συνήθως συμβάλλουν σε εσφαλμένη μέτρηση της θολερότητας. Γενικά, δεν υπάρχει άμεση σχέση μεταξύ της θολερότητας και των SS στα μη επεξεργασμένα λύματα, αλλά υπάρχει σχέση θολερότητας και SS για το δευτερεύον ρευστό που παράγεται μετά από διήθηση.<sup>3</sup>

## 2.2 Επεξεργασία λυμάτων - Χημικός καθαρισμός

Οι διεργασίες επεξεργασίας όπου η αλλαγή προκαλείται από χημικές αντιδράσεις χαρακτηρίζονται ως χημικός καθαρισμός. Στην επεξεργασία των λυμάτων, ο χημικός καθαρισμός συχνά συνδυάζεται με μηχανικό καθαρισμό, όπως επίπλευση (Κεφάλαιο 2.7).<sup>1</sup> Οι εφαρμογές χημικής επεξεργασίας σε συνδυασμό με ποικίλες μηχανικές διεργασίες, πέραν του προηγμένου πρωτογενούς καθαρισμού,

περιλαμβάνουν πλήρη δευτεροβάθμια επεξεργασία συμπεριλαμβανομένης της αφαίρεσης αζώτου ή / και φωσφόρου. Όσον αφορά την απομάκρυνση του φωσφόρου από χημική κατακρήμνιση, έχουν αναπτυχθεί χημικές διεργασίες, σχεδιασμένες για το συνδυασμό με βιολογικό καθαρισμό. Άλλες χημικές διεργασίες έχουν αναπτυχθεί για την απομάκρυνση βαρέων μετάλλων και ειδικών οργανικών συστατικών.<sup>3</sup>

Ένας λιγότερο πλεονεκτικός παράγοντας στη χρήση χημικών διεργασιών στην επεξεργασία λυμάτων είναι ότι, σε αντίθεση με τις μηχανικές διεργασίες, πρόκειται για διαδικασίες προσθετικές. Δηλαδή, προστίθεται κάτι στα λύματα για να αφαιρέσει οτιδήποτε άλλο. Αυτό συχνά οδηγεί σε καθαρή αύξηση των διαλυμένων συστατικών στα λύματα. Για παράδειγμα, με προσθήκη χημικών αυξάνεται η αποτελεσματικότητα απομάκρυνσης της εναπόθεσης σωματιδίων και, ταυτόχρονα, αυξάνεται συνεχώς η συγκέντρωση διαλυμένων στερεών. Εάν τα επεξεργασμένα λύματα πρόκειται να ανακυκλωθούν, η αύξηση των διαλυμένων συστατικών αποτελεί βασικό παράγοντα. Ένα άλλο μειονέκτημα των διεργασιών χημικής καθίζησης είναι ο χειρισμός, η επεξεργασία και η απόρριψη μεγάλων όγκων υλός που παράγονται. Επιπλέον, το κόστος των περισσότερων χημικών ουσιών σχετίζεται με το ενεργειακό κόστος, πράγμα που σημαίνει ότι ελέγχεται ελάχιστα από το χρήστη.

Δεδομένου ότι η παρούσα εργασία βρίσκεται επί της αρχής του χημικού καθαρισμού με σκοπό τη διαδικασία πήξης και κροκίδωσης, αυτά τα θέματα παρουσιάζονται περαιτέρω παρακάτω.

## 2.3 Διαδικασία πήξης και κροκίδωσης

Η διαδικασία της πήξης και της κροκίδωσης μέσα στην επεξεργασία των λυμάτων αναφέρεται στην καθίζηση της διαλυμένης και λεπτόκοκκης (κολλοειδούς) ουσίας, που επιτυγχάνεται με την προσθήκη χημικών στα λύματα. Τα κατακρημνισμένα σωματίδια στη συνέχεια μετασχηματίζονται σε μεγαλύτερα σωματίδια, τα οποία μπορούν να διαχωριστούν από το νερό με καθίζηση ή άλλη διαδικασία διαχωρισμού.<sup>1</sup>

Σε ουδέτερο pH, τα λύματα περιέχουν αρνητικά φορτισμένα κολλοειδή σωματίδια που είναι σταθερά διασκορπισμένα στο νερό. Το πρώτο βήμα στο χημικό καθαρισμό είναι η αποσταθεροποίηση αυτής της διασποράς και στη συνέχεια η πήξη των σωματιδίων σε μεγαλύτερους μετασχηματισμούς, τα λεγόμενα *flocs*. Αυτό επιτυγχάνεται με την πήξη, όπου ο αρχικά σταθερός σχηματισμός των σωματιδίων στα λύματα αποσταθεροποιείται, ξεπερνώντας τις δυνάμεις που διατηρούν τη

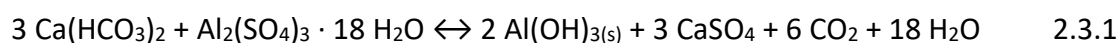
σταθερότητα.<sup>5</sup> Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται ένα πηκτικό, συνήθως ένα θετικά φορτισμένο χημικό προϊόν.<sup>1</sup>

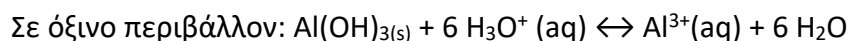
Το στάδιο της κροκίδωσης περιγράφει τη διαδικασία όπου τα αποσταθεροποιημένα σωματίδια προσκολλώνται σε μεγαλύτερες «νιφάδες» (*flocs*), προσθέτοντας ένα κροκιδωτικό, συνηθέστερα ένα οργανικό πολυμερές.<sup>1,6</sup> Έτσι, ο σκοπός ενός κροκιδωτικού είναι να παράγει μεγαλύτερα σωματίδια με μια σύνθεση μικρότερων σωματιδίων, τα οποία μπορούν στη συνέχεια να απομακρυνθούν με μηχανικές διαδικασίες.<sup>6</sup> Τα επιθυμητά χαρακτηριστικά των *flocs* εξαρτώνται από την τρέχουσα μέθοδο διαχωρισμού (κεφάλαιο 2.6).<sup>1</sup> Οι δύο διαδικασίες μπορούν επίσης να λάβουν χώρα ταυτόχρονα, προσθέτοντας μόνο ένα οργανικό πολυμερές αντί των μεταλλικών αλάτων που ακολουθούνται από ένα πολυμερές.<sup>7</sup>

### 2.3.1 Πήξη με εξουδετέρωση

Τα κολλοειδή σωματίδια που προκαλούν το αρνητικό φορτίο στα λύματα έχουν μέγεθος περίπου 0,01-1 μm, το οποίο υπερβαίνει την ελκτική δύναμη μεταξύ των σωματιδίων. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας της απωστικής δύναμης που προκαλείται από το ηλεκτρικό φορτίο. Υπό αυτές τις σταθερές συνθήκες, οι ακανόνιστες κινήσεις κρατούν τα σωματίδια σε ανάρτηση. Οι κινήσεις αυτές προκαλούνται από συνεχιζόμενες συγκρούσεις μεταξύ των κολλοειδών σωματιδίων και των μορίων του νερού που τα περιβάλλουν. Η αποσταθεροποίηση των κολλοειδών σωματιδίων σε μια διαδικασία πήξης, μπορεί να προκαλέσει σύγκρουση και, επομένως αύξηση μεγέθους των σωματιδίων. Τα πηκτικά περιέχουν φυσικά και συνθετικά οργανικά πολυμερή και μεταλλικά άλατα, όπως αλουμίνιο και θειικό σίδηρο.<sup>3</sup>

Μια τυποποιημένη τεχνολογία για την πήξη στην επεξεργασία λυμάτων χρησιμοποιεί μεταλλικά άλατα που μπορούν να υδρολυθούν (αντιδρούν με το νερό).<sup>8,9</sup> Η εξουδετέρωση μπορεί να επιτευχθεί με την προσθήκη αλουμινίου ή σιδήρου για σχηματισμό διαλυτών υδρολυμένων κατιόντων και δεσμών υδροξειδίου μετάλλου, όπου η σχετική ποσότητα εξαρτάται από το pH του αποβλήτου.<sup>9</sup> Όταν προστίθεται  $Al_{1n} [Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O]$  στα απόβλητα που περιέχουν διττανθρακικό ασβέστιο και μαγνήσιο, σχηματίζεται ένα ίζημα υδροξειδίου του αργιλίου. Η ολική αντίδραση που συμβαίνει όταν το αλουμίνιο προστίθεται στο νερό απεικονίζεται στην εξίσωση 2.3.1. Το κατακρημνισμένο υδροξείδιο του μετάλλου είναι σε ισορροπία με διαλυτά υδρολυτικά μεταλλικά προϊόντα ως αποτέλεσμα της αντίδρασης 2.3.2. Εάν προστεθεί επαρκής συγκέντρωση μεταλλικού αλατιού, σχηματίζονται μεγάλες ποσότητες μικρών σωματιδίων, *flocs*.

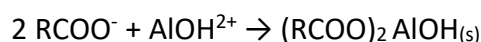




2.3.2

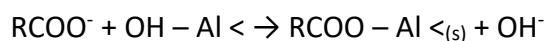
Όταν χρησιμοποιείται άλας αργιλίου, σχηματίζονται σχεδόν αμέσως μονομερή σύμπλοκα υδροξειδίου όπως  $\text{AlOH}^{2+}$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_2^+$  και  $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ . Η καθίζηση του  $\text{Al}(\text{OH})_3$  αρχίζει μετά από περίπου ένα δευτερόλεπτο και είναι σε εξέλιξη. Το  $\text{Al}_2(\text{OH})_2^{4+}$  σχηματίζεται επίσης μετά από περίπου ένα δευτερόλεπτο και για τα επόμενα λεπτά μπορεί να πολυμεριστεί σε μεγέθη μέχρι το  $\text{Al}_{13}(\text{OH})_{34}^{5+}$ .<sup>9</sup> Ο χρόνος ταχείας αντίδρασης προκαλεί την αντίδραση του παραδείγματος 2.3.2. Η διαδικασία πήξης εξαρτάται από το χρόνο και η ανάμιξη του μεταλλικού άλατος στα απόβλητα είναι κρίσιμης σημασίας.<sup>3</sup>

Η χημική ουσία των διάφορων αντιδράσεων στα μεταλλικά άλατα είναι περίπλοκη.<sup>1,3</sup> Έχουν θεωρηθεί διάφοροι μηχανισμοί για την πήξη χουμικής ουσίας (οργανική ύλη) και των κολλοειδών σωματιδίων με ιόντα αλουμινίου. Η καθίζηση της χουμικής ουσίας δίνεται από την εξίσωση αντίδρασης 2.3.3 σε pH 4-5.



2.3.3

Σε pH 5-6 η ίδια αντίδραση συνεχίζεται, αλλά με το πολυμερές του συμπλόκου υδροξειδίου. Σε ενδεικνυόμενο και σε υψηλότερο pH, μπορεί να συμβεί προσρόφηση οργανικού υλικού σε υδροξείδιο αργιλίου.<sup>9</sup> Αυτή η αντίδραση διεξάγεται με ανταλλαγή της ουσίας που προσδένεται στο σύμπλοκο, όπως απεικονίζεται από την εξίσωση 2.3.4. Το τελικό προϊόν αποτελείται από μικρά υδροξείδια αλουμινίου που περιέχουν χουμική ουσία και κολλοειδή σωματίδια.<sup>8</sup>



2.3.4

### 2.3.2 Κροκίδωση κατά το σχηματισμό «γέφυρων» πολυμερών

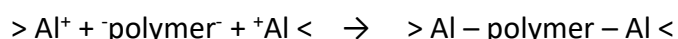
Η διεργασία της κροκίδωσης χωρίζεται σε δύο υποκατηγορίες. Η πρώτη είναι η «μικρο-κροκίδωση», όπου η ανάπτυξη σωματιδίων είναι αποτέλεσμα της κίνησης των flocs. Εάν τότε τα κολλοειδή σωματίδια πρέπει να αφαιρεθούν με μικρο-κροκίδωση, η «απορριπτική» δύναμη που αναφέρθηκε προηγουμένως πρέπει να μειωθεί. Η δεύτερη υποκατηγορία αναφέρεται στη «μακρο-κροκίδωση», όπου



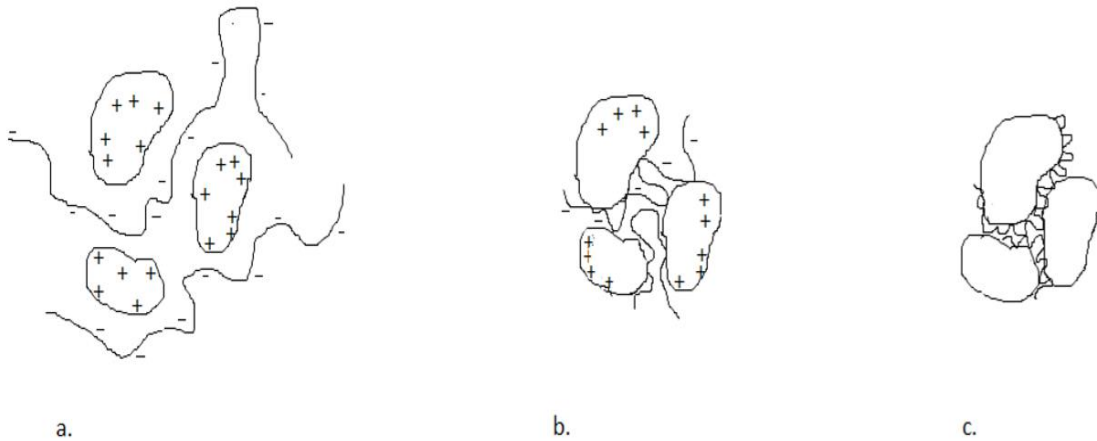
σχηματίζονται flocs κατά τη διάρκεια της ανάμιξης του υγρού που περιέχει τα σωματίδια που πρόκειται να υποστούν κροκίδωση. Μια άλλη παραλλαγή της μακρο-κροκίδωσης επάγεται σε διαφορετικούς χρόνους καθίζησης, όπου τα μεγαλύτερα σωματίδια αντικαθιστούν τα μικρότερα σωματίδια για να σχηματίσουν flocs.<sup>3</sup>

Τα μικρά flocs από τη διαδικασία της πήξης μπορούν να προσκολληθούν σε μεγαλύτερα flocs με την προσθήκη ενός πολυμερούς, αυξάνοντας έτσι την ταχύτητα καθίζησης.<sup>6</sup> Το πολυμερές προσδιορίζεται από το φορτίο που περιέχει και μπορεί να είναι κατιόν, ανιόν, αμφιτεριόν ή ουδέτερο ιόν. Άλλες σημαντικές παράμετροι είναι το μοριακό βάρος και η πυκνότητα φορτίου.<sup>7</sup>

Η διαδικασία κροκίδωσης περιλαμβάνει το σχηματισμό "γέφυρας πολυμερούς", όπου ένας πολυηλεκτρολύτης δεσμευμένος σε ένα floc έχει σχηματίσει έναν "βρόγχο" και περιέχει αλυσίδες οι οποίες μπορούν να προσκολληθούν σε κοντινά flocs. Η λειτουργία αυτού του μηχανισμού επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας μακρά πολυμερή που έχουν μικρό φορτίο. Το επιφανειακό φορτίο των flocs που σχηματίζονται από την πήξη εξαρτάται από την ποσότητα του μεταλλικού άλατος που χρησιμοποιείται, αλλά το καθαρό φορτίο είναι συνήθως περίπου μηδέν, με τα θετικά και αρνητικά φορτία να είναι ομοιόμορφα κατανεμημένα στο πολυμερές. Ένα ανιονικό πολυμερές συχνά αυξάνει το μέγεθος του floc, αλληλεπιδρώντας με θετικά φορτία στην επιφάνειά του. Οι "γέφυρες πολυμερών" μεταξύ των flocs αναπτύσσονται από την προσροφημένη αλυσίδα που αλληλεπιδρά με άλλη ομάδα flocs με παρόμοιο τρόπο, όπως στην εξίσωση 2.3.5 και απεικονίζεται στο σχήμα 2.3.1.<sup>6</sup>

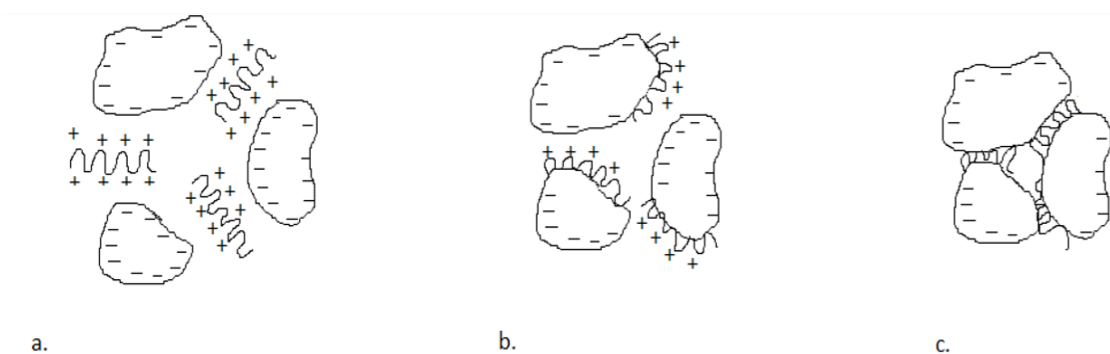


2.3.5



**Σχήμα 2.3.1.** Ο σχηματισμός μεγαλύτερου floc μέσω "γεφύρων πολυμερών". a) Αρνητικά φορτισμένοι πολυηλεκτρολύτες προσελκύονται από τα θετικά φορτία επιφάνειας στο floc. b) Προσρόφηση του πολυηλεκτρολύτη με το floc που σχηματίζει γέφυρες ανάμεσα στα flocs. Η επιφανειακή τάση των flocs εξουδετερώνεται από τα αρνητικά φορτία του πολυηλεκτρολύτη στην περιοχή προσρόφησης. c) Πλήρης προσρόφηση και κροκίδωση.<sup>10</sup>

Όταν ένας πολυηλεκτρολύτης έχει υψηλή συγκέντρωση φορτίων, πιθανότατα θα απορροφηθεί στα σωματίδια σε μια σχετικά επίπεδη διαμόρφωση. Ως αποτέλεσμα, το πολυμερές έχει τοπικά περίσσεια φορτίων. Συνεπώς θα υπάρξει ηλεκτροστατική έλξη μεταξύ των σωματιδίων και θα έλκονται περιοχές με αντίθετο φορτίο γειτονικών flocs. Έτσι, θα παραχθούν μεγαλύτερα flocs, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 2.3.2. Η εξίσωση 2.3.4 εξακολουθεί να ισχύει.<sup>11, 12</sup>



**Σχήμα 2.3.2.** Ο σχηματισμός μεγαλύτερων flocs από πολυηλεκτρολύτες με υψηλή συγκέντρωση φορτίων. a) Τα θετικά φορτία στον πολυηλεκτρολύτη έλκονται από τα αρνητικά επιφανειακά φορτία στα flocs, σχηματίζοντας μια σχετικά επίπεδη διαμόρφωση. b) Η ηλεκτροστατική έλξη προκαλεί την προσρόφηση του πολυηλεκτρολύτη σε flocs και οδηγεί σε συνωστισμό. c) Πλήρης προσρόφηση και κροκίδωση.<sup>10</sup>

Πολλά πλεονεκτήματα συνδέονται με τη χρήση πολυμερών στην επεξεργασία λυμάτων. Η χωρητικότητα της μονάδας επεξεργασίας λυμάτων αυξάνεται, λόγω του γεγονότος ότι ο ρυθμός διαχωρισμού των στερεών και της υδατικής φάσης αυξάνεται καθώς σχηματίζονται μεγαλύτεροι όγκοι flocs. Η δοσολογία με άλλες χημικές ουσίες, καθώς και ο όγκος της παραγόμενης ιλύος μειώνονται. Γίνεται, επίσης, επεξεργασία μιας ευρύτερης περιοχής διαφορετικών τύπων λυμάτων. Το πιο βασικό μειονέκτημα της χρήσης πολυμερών είναι το υψηλό κόστος των χημικών ουσιών.<sup>7</sup>

#### 2.4 “IN – ut 338” – Πηκτικό και κροκιδωτικό σε ένα

Οι πληροφορίες σχετικά με το IN-ut 338 είναι επί του παρόντος πολύ περιορισμένες, καθώς η διαδικασία κατοχύρωσης με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας είναι σε εξέλιξη. Είναι γνωστό ότι το IN-ut 338 είναι κατιονικό πολυακρυλαμίδιο (Παράρτημα 5. φύλλο δεδομένων ασφαλείας IN-ut 338), αλλά η δομή και η σύνθεση του πολυμερούς παραμένουν εμπιστευτικές.

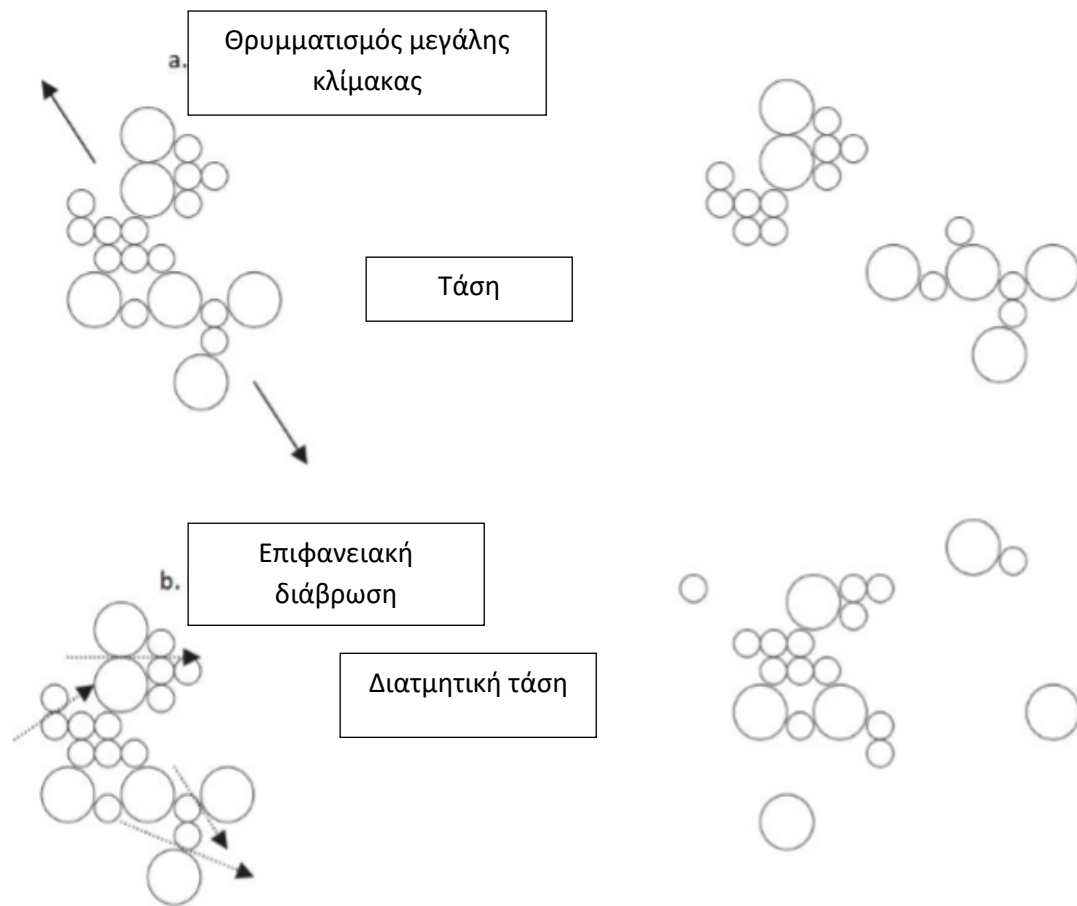
Σε αντίθεση με τα περισσότερα πρότυπα πηκτικών και κροκιδωτικών που συνδυάζονται, το IN-ut 338 δρα ως πηκτικό και κροκιδωτικό σε ένα. Έτσι, το πολυμερές αποσταθεροποιεί την αρνητική τάση στα απόβλητα και, συγχρόνως, δημιουργεί μεγαλύτερα σωματίδια (flocs), χωρίς τη βοήθεια άλλων χημικών ουσιών. Ο μηχανισμός δράσης του IN-ut 338 είναι σχετικά άγνωστος, αλλά είναι πιθανό να δημιουργείται κροκίδωση λόγω αυτού, όπως αναφέρεται στο Κεφάλαιο 2.3.2. Καθώς η θετική συγκέντρωση φορτίου του πολυμερούς θεωρείται υψηλή, μπορεί να θεωρηθεί ότι ο μηχανισμός που απεικονίζεται στο Σχήμα 2.3.2 συσχετίζεται καλύτερα με τις δύο περιγραφές κροκίδωσης. Οι δεσμοί των flocs που σχηματίζονται χρησιμοποιώντας IN-ut 338 έχουν αποδειχθεί ότι είναι σημαντικά ισχυρότεροι από τα flocs που σχηματίζονται από τα παραδοσιακά πηκτικά και κροκιδωτικά. Αυτό έχει διερευνηθεί μέσω εμπειρικών πειραμάτων όπου χρησιμοποιείται μια βαθμίδα έγχυσης σημαντικά υψηλότερη, χωρίς να διαλύονται οι εστίες των flocs. Στο κεφάλαιο 2.5 αναφέρονται περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τη σημασία της αντοχής των flocs κατά τη διάρκεια του καθαρισμού του νερού.<sup>13</sup>

## 2.5 Αντοχή των flocs

Η αντοχή του floc κατά τη διάρκεια της κροκίδωσης και η περαιτέρω επεξεργασία είναι ένας σημαντικός παράγοντας για τον καθαρισμό του νερού. Οι εγκαταστάσεις καθαρισμού συχνά σχεδιάζονται για να ελαχιστοποιούν τις βλάβες στα flocs, αλλά κατά τη διάρκεια της διαδικασίας καθαρισμού εκτίθενται σε ισχυρές δυνάμεις που είναι πιθανόν να προκαλέσουν βλάβες.<sup>14</sup> Αυτό περιλαμβάνει διεργασίες όπως η ανάμιξη, όπου η θέση του “πτερυγίου” ανάμιξης κρίνεται σημαντική κατά τη μεταφορά μέσω των αντλιών και κατά τη διάρκεια της διαδικασίας επίπλευσης. Προκειμένου να επιτευχθεί ο υψηλότερος δυνατός βαθμός αποικοδόμησης, είναι απαραίτητο οι αρμόδιοι άνθρωποι να ξεπεράσουν το τυχόν στρες που ίσως τους καταβάλλει εκείνη τη στιγμή για να αποφευχθεί η αποικοδόμηση σε μικρότερα σωματίδια. Τα μικρότερα σωματίδια έχουν γενικά μικρότερη απόδοση, καθώς καθιζάνουν πιο αργά από τα μεγαλύτερα σωματίδια της ίδιας πυκνότητας. Εάν χρησιμοποιείται επίπλευση, τα flocs που διασπώνται σε μικρότερα μέρη μπορεί να είναι πιο δύσκολο να “προλάβουν” τις φυσαλίδες του αέρα. Επίσης, σε διήθηση με μεμβράνη, εάν σπάσουν μικρά τμήματα των flocs και κλίνουν τους πόρους της μεμβράνης, δημιουργούνται αρνητικές επιπτώσεις.<sup>15</sup>

Η αντοχή των flocs εξαρτάται από τους ενδομοριακούς δεσμούς μεταξύ των στοιχείων της μονάδας. Αυτό περιλαμβάνει την ισχύ και τον αριθμό των μεμονωμένων δεσμών των flocs.<sup>16,17</sup> Εάν η τάση που εφαρμόζεται στο floc υπερβαίνει τους ενδομοριακούς δεσμούς, τότε αυτό θα σπάσει σε κομμάτια. Όταν ένα floc είναι πιο συμπαγές, η ισχύς του θεωρείται ότι αυξάνεται με την αύξηση του αριθμού των δεσμών που συγκρατούν τη μονάδα μαζί.<sup>15</sup>

Υπάρχουν γενικά δύο αποδεκτοί τύποι flocs: *θρυμματισμός μεγάλης κλίμακας* και *διάβρωση της επιφάνειας*. Το πρώτο συμβαίνει με το σπάσιμο του δεσμού των flocs σε τμήματα περίπου του ίδιου μεγέθους χωρίς οποιαδήποτε μεταβολή στην συγκέντρωση πρωτογενών σωματιδίων του διαλύματος. Η διάβρωση της επιφάνειας αναφέρεται στη “φθορά” των σωματιδίων στην επιφάνεια του floc, η οποία οδηγεί σε αύξηση των μικρών σωματιδίων στο διάλυμα.<sup>16,18,19,20</sup> Οι δύο τύποι των flocs θεωρείται ότι προκύπτουν από διαφορετικές δυνάμεις. Ο θρυμματισμός προκαλείται από δυνάμεις τάσης που δρουν κανονικά σε ολόκληρο το floc. Η διάβρωση συνεπάγεται διατμητική τάση που δρα εφαιπτομενικά στην επιφάνεια του floc (Σχήμα 2.5.1).<sup>20</sup>



**Σχήμα 2.5.1** Δύο προτεινόμενοι μηχανισμοί για την καταστροφή των *flocs* από διαφορετικές δυνάμεις. α) Θραύσματα από δυνάμεις τάσης που δρουν κανονικά πάνω στα *flocs*. Το αποτέλεσμα θα είναι μια διάσπαση του *floc* σε δύο περίπου εξίσου μεγάλα τμήματα. β) Διάβρωση της επιφάνειας λόγω της διατμητικής τάσης. Μικρά σωματίδια έχουν "λυθεί" από το *floc*.<sup>21</sup>

Το μέγεθος των *flocs* που παράγονται τελικά επιτυγχάνει μια ισορροπία με το περιβάλλον. Η ανάπτυξη θεωρείται ότι συμβαίνει λόγω του ότι ο ρυθμός συσσωμάτωσης βρίσκεται σε ισορροπία μεταξύ της δομής και της αποσύνθεσης του *floc*. Η σταθερότητα των *flocs* στο αιώρημα συνεπώς σχετίζεται με το πόσο γρήγορα μπορούν εκείνα να σπάσουν, πράγμα που εξαρτάται από τον αριθμό και τη δύναμη των διαμοριακών δεσμών που τα συγκρατούν.<sup>16,18,22,23,24</sup> Όταν εφαρμόζονται μεγαλύτερες δυνάμεις, η αρχική ισορροπία διαταράσσεται και η διάσπαση αυξάνεται μέχρι να εφαρμοστεί μια νέα ισορροπία. Σε ορισμένες περιπτώσεις, λόγω της μη αναστρέψιμης φύσης τους, τα *flocs* δεν είναι ικανά να ξαναδημιουργηθούν μετά την αποικοδόμηση. Είναι συνεπώς μεγάλη ανάγκη να αξιολογηθεί η ενέργεια που απαιτείται για να «σπάσουν» τα μεμονωμένα *flocs*.<sup>21</sup>

Εμπειρικές ενδείξεις αποδεικνύουν μέσα από μοντέλα αντοχής και αποικοδόμησης βασισμένα σε διατμητική τάση, πως η τελική κατανομή μεγέθους των *flocs*

σχετίζεται με την κλίση ταχύτητας.<sup>16,25</sup> Οι Parker et al (1972) πρότειναν τις ακόλουθες εμπειρικές εκφράσεις για το σταθερό μέγεθος flocs<sup>16</sup>,

$$d = CG^{-\gamma}$$

2.5.1

όπου

$d$  = διάμετρος floc (m)

$C$  = συντελεστής αντοχής floc

$G$  = μέση ταχύτητα κλίσης ( $s^{-1}$ )

$\gamma$  = σταθερός εκθέτης μεγέθους του floc

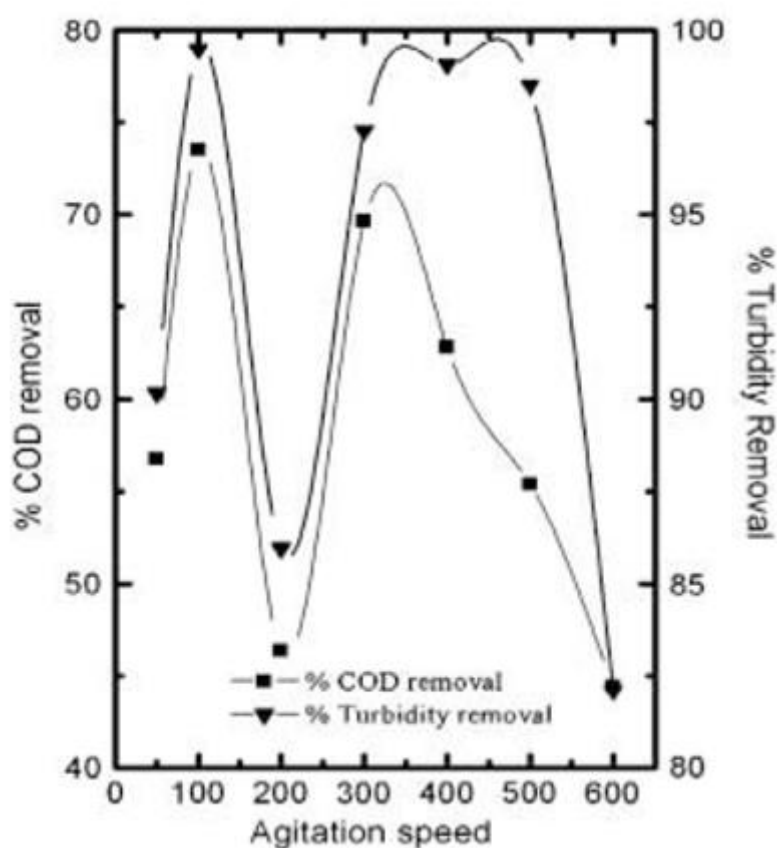
Η θεωρία πίσω από την τιμή  $\gamma$  μπορεί να εξηγηθεί από την τυρβώδη τάση της διατμητικής τάσης σε σχέση με το μέγεθος των κυκλικών ρευμάτων (*Eddy*).<sup>24,26</sup> Στις περισσότερες διαδικασίες κροκίδωσης, η σχέση θεωρείται τυρβώδης. Το ιξώδες *Eddy* είναι ο αναλογικός παράγοντας που περιγράφει την τυρβώδη μετατόπιση της ενέργειας ως αποτέλεσμα της κίνησης που προκαλεί εφαιτομενικά ανατάραξη. Αυτό είναι ανάλογο του μοριακού ιξώδους στη στρωτή ροή, όπου τα υγρά αντιστέκονται στη ροή ως αποτέλεσμα της διαμοριακής τριβής. Κατά συνέπεια, όταν ένα ρευστό είναι σε κίνηση, η διασπορά ενέργειας λαμβάνει χώρα σε εφαιτομενική κατεύθυνση του κινούμενου υγρού. Αυτή η ενέργεια ονομάζεται διασπορά ιξώδους.<sup>15,18</sup> Η θέρμανση είναι η απελευθέρωση ενέργειας σε μια κανονική κατεύθυνση προς την κυκλική ροή.<sup>15,18</sup> Η περιστροφή περιγράφεται με βάση την ταχύτητα και το μέγεθος της κίνησης (*Eddy*). Οι μεγάλες κινήσεις είναι υπεύθυνες για συστήματα ανάμιξης με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και επηρεάζουν σε μικρό βαθμό τις εστίες των flocs. Οι μικρότερες κυκλικές κινήσεις είναι υπεύθυνες για το μεγαλύτερο μέρος της διασποράς ενέργειας. Οι πρώτες προκαλούνται από τη μεταφορά και οι τελευταίες από τη διασπορά του ιξώδους. Με υψηλή παροχή ενέργειας, οι κινήσεις έχουν το ίδιο μέγεθος με τα flocs, ενώ με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας είναι πολύ μεγαλύτερες. Αυτό μπορεί να εξηγήσει γιατί τα flocs είναι πιο επιρρεπή σε καταστροφή σε μεγάλη ταχύτητα κλίσης. Η απάντηση στην ποσότητα των δονητικών κινήσεων που είναι υπεύθυνες για την αποσύνθεση δεν είναι ξεκάθαρη, επειδή εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το μέγεθος του αποβλήτου σε σχέση με το μέγεθος του floc.<sup>27</sup> Υπό κανονικές συνθήκες κροκίδωσης, οι επιδράσεις του ιξώδους είναι εκείνες που κυριαρχούν.<sup>15</sup>

Αρκετές τεχνικές μέτρησης της δύναμης ροπής έχουν χρησιμοποιηθεί, με το μεγαλύτερο μέρος της έρευνας να έχει επικεντρωθεί στην έκθεση των συμπλεγμάτων για την αύξηση των δυνάμεων έντασης. Παρ'όλα αυτά, φαίνεται ότι η πολυπλοκότητα και η αδυναμία της συσσωρευμένης ύλης καθιστούν δύσκολη την εύρεση της βέλτιστης τεχνικής, καθώς η κατανόηση της σύνθεσης του συμπλέγματος δεν κρίνεται απλή. Στην πλειονότητα των μακροσκοπικών υπολειμμάτων flocs χρησιμοποιήθηκαν πτερωτές για ανάμιξη.<sup>21</sup> Η αύξηση της ταχύτητας της πτερωτής προσθέτει περισσότερη τάση στη μονάδα και η αντοχή της μπορεί να μετρηθεί με τη συσχέτιση της παρεχόμενης ενέργειας ή της ταχύτητας στο μέγιστο ή το μέσο υπόλοιπο μέγεθος των flocs. Ένα μειονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι ότι η κατανομή ενέργειας δεν είναι ποτέ ομοιογενής στο δοχείο δοκιμής (jar testing).<sup>15, 28, 29</sup> Η τεχνική παρουσιάζει επίσης προκλήσεις στη σύγκριση αποτελεσμάτων, καθώς ποικίλες μορφές των πτερωτών και των δοχείων προκαλούν συρρίκνωση για να βιώσουν διαφορετικούς τύπους δυνάμεων και ως εκ τούτου να αποκτήσουν διαφορετικές συμπεριφορές αποικοδόμησης. Μια γενική τάση που προέκυψε από δοκιμές flocs δείχνει ότι η δύναμη του floc αυξάνεται όταν το μέγεθός του μειώνεται.<sup>21</sup>

## 2.6 Ανάμιξη και κροκίδωση

Μια ικανοποιητικά χρησιμοποιούμενη μέθοδος για τον προσδιορισμό της αποτελεσματικότητας των πηκτικών και των κροκιδωτικών υπό διάφορες παραδοχές είναι η δοκιμή δοχείων (jar testing).<sup>30, 31</sup> Το νόημα που έχει η δοκιμή σε δοχείο είναι η διεξαγωγή δοκιμών μικρής κλίμακας, για να προσδιοριστούν οι βέλτιστες συνθήκες όπου η χημική ουσία αποδίδει καλύτερα. Επομένως, η δοκιμή των δοχείων πρέπει να προσομοιώνει όσο το δυνατόν περισσότερο τις συνθήκες της σχετικής μονάδας επεξεργασίας.<sup>32</sup> Ωστόσο, είναι πολλές οι μεταβλητές που επηρεάζουν την απόδοση μιας χημικής ουσίας κατά τη διάρκεια δοκιμών δοχείου. Μια μελέτη έδειξε ότι το pH, ο ρυθμός έγχυσης, ο χρόνος ανάμιξης και η χημική ποσότητα είναι σημαντικοί παράγοντες για τη διαδικασία καθαρισμού.<sup>33</sup> Μια άλλη μελέτη εκτιμά ότι η χημική δοσολογία είναι από τους πιο κρίσιμους παράγοντες και η βελτιστοποίηση αυτής έχει αποδειχθεί οικονομικά πολύ ωφέλιμη.<sup>34</sup> Μια μελέτη που διεξήχθη από τους Huaii Zheng et al (2010) που διερεύνησε τη διαδικασία πήξης και κροκίδωσης, διαπίστωσε ότι η δοσολογία και ο ρυθμός ανάμιξης έχουν μεγάλη σημασία για την επίδραση καθαρισμού. Το πηκτικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν το πολυμερικό φωσφορικό χλωριούχο αργίλιο και το αποτέλεσμα καθαρισμού αξιολογήθηκε από μετρήσεις χημικής κατανάλωσης οξυγόνου (COD) και θολερότητας. Το αποτέλεσμα έδειξε ότι ο πηκτικός παράγοντας είχε μέγιστη δόση COD 0,36 g L<sup>-1</sup> και απέδωσε καθαρισμό 69,6%. Σε υψηλότερες δόσεις, η απόδοση καθαρισμού μειώθηκε. Η αντίστοιχη θολερότητα οδήγησε στη μείωση της

απόδοσης καθαρισμού μετά από δόση  $0,42 \text{ g L}^{-1}$ , δίνοντας βαθμό καθαρισμού 99,3%. Το αποτέλεσμα της αξιολόγησης της ταχύτητας του μίγματος έδειξε ότι η απόδοση καθαρισμού της θολερότητας αυξήθηκε με την αύξηση της ταχύτητας από 200 rpm σε 500 rpm (Σχήμα 2.6). Υψηλότερη ταχύτητα (600 rpm) έδειξε σημαντική μείωση του αποτελέσματος καθαρισμού. Για το COD, το αποτέλεσμα καθαρισμού μειώθηκε σημαντικά από 300 σε 600 rpm. Στη μικρότερη ταχύτητα 50 rpm (κάτω των 100 rpm), τα διαμορφωμένα flocs καταστράφηκαν και μειώθηκε το αποτέλεσμα καθαρισμού. Ο βέλτιστος ρυθμός ανάμιξης ρυθμίστηκε σε 100 rpm, που έδωσε μείωση COD και θολερότητας 73,5% και 99,5%, αντιστοίχως.



**Σχήμα 2.6.** Επίδραση της ταχύτητας ανάμιξης για την απομάκρυνση του COD και της θολερότητας στα λύματα<sup>35</sup>



### 2.6.1 Κλίση ταχύτητας

Η κροκίδωση σωματιδίων σε «νιφάδες» (*flocs*), όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, οδηγεί σε επαφή με σωματίδια και σε συσσωμάτωση. Η ταχύτητα αυτής της διαδικασίας εξαρτάται από τη συχνότητα των επαφών (συγκρούσεις) μεταξύ των σωματιδίων, οι οποίες εξαρτώνται από την αναταραχή και την πυκνότητα των σωματιδίων.<sup>1</sup> Η αναλογία ισχύος (ενέργειας) που μεταδίδεται ανά μονάδα όγκου υγρού μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως στόχος για τη μικροεκλεκτικότητα<sup>3</sup>, ενώ πρόκειται για μια έκφραση της έντασης ανάμιξης.<sup>1</sup> Αυτό βασίζεται στο ότι όσο μεγαλύτερη είναι η παροχή ενέργειας, τόσο μεγαλύτερη είναι η αναταραχή, η οποία αποφέρει καλύτερη ανάμιξη. Η επίδραση της κλίσης ταχύτητας έχει μελετηθεί σε δεξαμενές πήξης διαφόρων τύπων που έχουν οδηγήσει στην εξίσωση 2.6.1, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μηχανική ανάμιξη.<sup>3</sup>

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu V}} \quad 2.6.1$$

Όπου  $G$  = μέση κλίση ταχύτητας,  $T^{-1}$ ,  $1 / s$

$P$  = ισχύς (ενέργεια ανά μονάδα χρόνου)

$\mu$  = δυναμικό ιξώδες,  $N \cdot s / m^2$

$V$  = όγκος κροκίδωσης,  $m^3$

Η βαθμίδα ταχύτητας είναι μια μέτρηση της μέσης κλίσης ταχύτητας στο ρευστό. Υψηλές τιμές  $G$  παρατηρούνται κοντά στα πτερύγια του αναμικτήρα (*mixer*), ενώ χαμηλότερες τιμές  $G$  παρατηρούνται σε μεγαλύτερες αποστάσεις από αυτά. Η κλίση ταχύτητας χρησιμοποιείται συχνά στον τομέα του ύδατος και των λυμάτων. Το αποτέλεσμα,  $P$ , στον τύπο 2.6.1 μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας τον τύπο 2.6.2.<sup>3</sup>

$$P = N_p \rho n^3 D^5 \quad 2.6.2$$

Όπου

$N$  = "αριθμός ισχύος" στα πτερύγια, αδιάστατο μέγεθος

$\rho$  = πυκνότητα υγρού στην τρέχουσα θερμοκρασία,  $\text{kg} / \text{m}^3$

$n$  = στροφές ανά δευτερόλεπτο,  $\text{r} / \text{s}$

$D$  = διάμετρος πτερωτής,  $\text{m}$

Βάσει του τύπου 2.6.2, με σταθερή ποσότητα ενέργειας, περισσότερη ενέργεια καταναλώνεται σε περιστρεφόμενη ροή και λιγότερη ενέργεια στη στρωτή ροή, όταν μειώνεται το μέγεθος της πτερωτής. Συνεπώς, μία μικρή πτερωτή που λειτουργεί υπό υψηλή ταχύτητα παράγει υψηλότερο βαθμό διατμητικής τάσης και λιγότερη άντληση. Η περιστρεφόμενη ροή είναι η πλέον κατάλληλη για διασπορά αερίων, καθώς και για μικρές ποσότητες χημικών στα λύματα. Η ανάμιξη σε χαμηλή ταχύτητα και το μεγάλο μέγεθος της πτερωτής είναι ιδανικά για την ανάμιξη δύο ρευμάτων ρευστού ή για την τυπική κροκίδωση.<sup>3</sup>

Η τιμή της πτερωτής καθορίζεται από τη γεωμετρία και την ιδιότητα για τη μεταφορά ενέργειας από τον αναμικτήρα στο υγρό. Τυπικές τιμές για διαφορετικές πτερωτές μπορούν να βρεθούν σε πίνακες, αλλά αυτές δίδονται συχνά σε διαστήματα. Προκειμένου να επιτευχθεί η πιο αξιόπιστη τιμή, πρέπει να παίρνονται συμβουλές από τον κατασκευαστή της πτερωτής. Η πραγματική τιμή του  $N$  εξαρτάται τόσο από το ιξώδες του υγρού, όσο και από τα χαρακτηριστικά και τον αριθμό των πτερυγίων στην πτερωτή. Ο τύπος 2.6.2 ισχύει μόνο εάν ο αριθμός Reynolds ( $N_R$ ) βρίσκεται στην ταραχώδη (τυρβώδη) περιοχή ( $> 10.000$ ).<sup>3</sup>

Η απόδοση της κροκίδωσης είναι μια έκφραση του βαθμού στον οποίο τα κατακρημνισμένα σωματίδια συσσωματώνονται σε μεγαλύτερα flocs, τα οποία είναι εύκολο να διαχωριστούν. Αυτό που είναι σημαντικό στην πράξη είναι, όχι μόνο ότι τα σωματίδια συσσωρεύονται ικανοποιητικά, αλλά επίσης ότι διαχωρίζονται εύκολα με τις κατάλληλες μεθόδους διαχωρισμού. Ο διαχωρισμός με ιζηματοποίηση βρίσκει καλύτερη εφαρμογή σε μεγάλα flocs για την αύξηση του ρυθμού καθίζησης. Αυτό επιτυγχάνεται, εάν η τιμή  $G$  κλιμακωθεί προς το άκρο του αντιδραστήρα έτσι, ώστε το floc να γίνει τόσο μεγάλο όσο όταν εισέρχεται στη δεξαμενή καθίζησης. Ο διαχωρισμός με επίπλευση εφαρμόζεται καλύτερα όταν η απόδοση κροκίδωσης είναι ικανοποιητική και συμβαίνει ελαφριά συσσώρευση. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω μιας σχετικά υψηλής τιμής  $G$  καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας κροκίδωσης.<sup>1</sup>

## 2.7 Επίπλευση

Η επίπλευση είναι μια διαδικασία διαχωρισμού, στην οποία τα σωματίδια ιλύος διαχωρίζονται από την υδατική φάση από τα σωματίδια που προσκολλώνται σε μικρές φυσαλίδες αέρα που ανεβαίνουν στην επιφάνεια.<sup>1</sup> Η αρχή της επίπλευσης

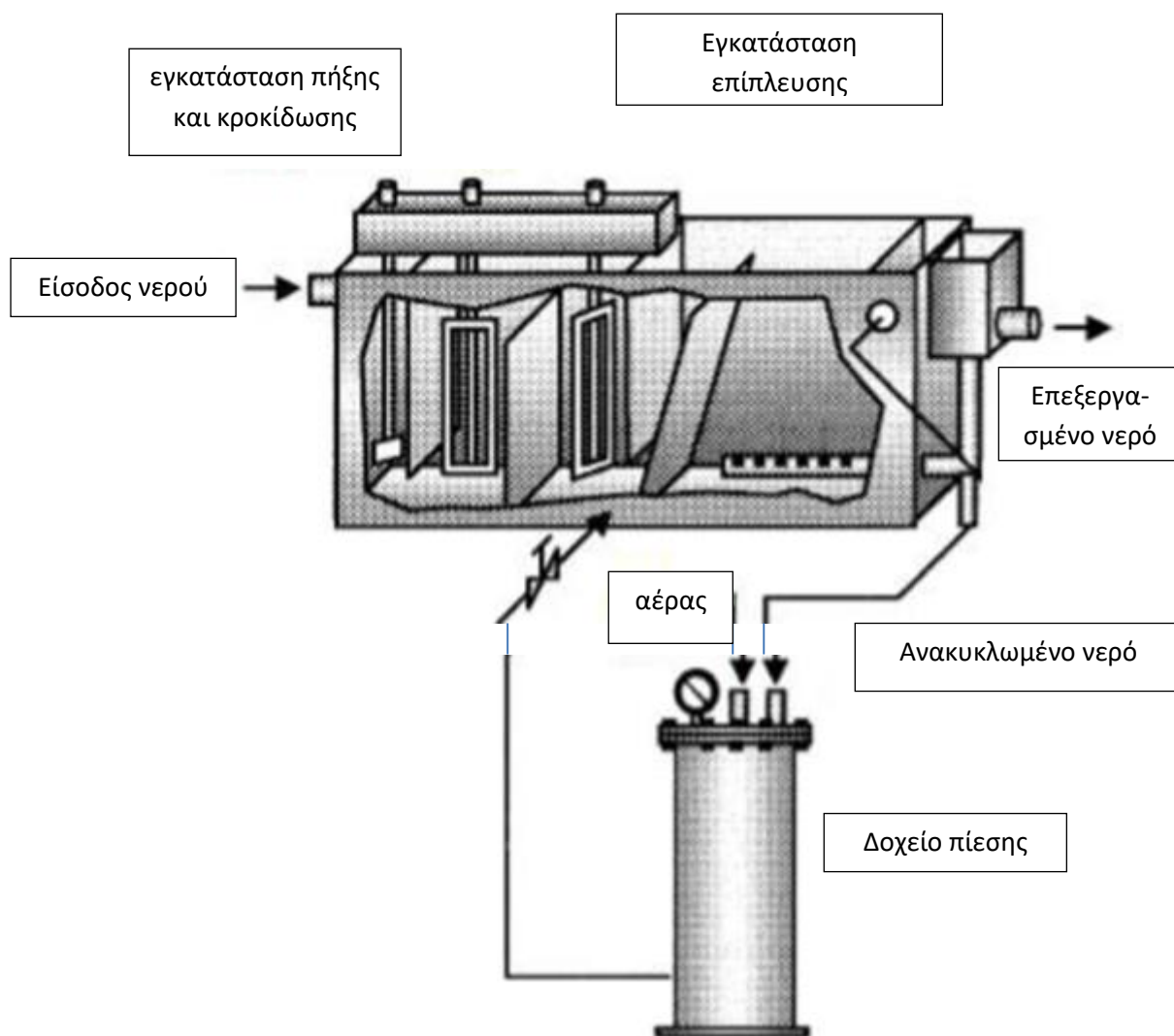
χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο ως τεχνική καθαρισμού. Η νεότερη τεχνολογία παράγει περιθώρια για σημαντικές εξελίξεις στη βιομηχανία μετάλλων και ορυκτών, στη βιομηχανία χημικών και πετρελαιοειδών και στην επεξεργασία λυμάτων.<sup>36</sup> Η πρόοδος της διαδικασίας επίπλευσης μπορεί να εξηγηθεί, για παράδειγμα, από τις υψηλές επιδόσεις, την αποδοτικότητα του σύγχρονου εξοπλισμού και της μικρής παραγωγής ιλύος.<sup>37</sup> Τα κυριότερα συστατικά που απομακρύνονται είναι στερεά, ιόντα και μακρομόρια, καθώς και άλλα υλικά στο νερό.<sup>38</sup> Η επίπλευση σε επεξεργασία λυμάτων διαφέρει από άλλες χρήσεις με τη χρήση φυσαλίδων αέρα σε μικρό μέγεθος (<100  $\mu\text{m}$  σε διάμετρο) για τη σύλληψη των μικρότερων σωματιδίων.<sup>36</sup>

Υπάρχουν πολλές διαφορετικές τεχνικές επίπλευσης, όπως η χαλαρή πλεύση του αέρα (LAF), η επίπλευση με ηλεκτρόλυση και η επαγωγική πλεύση του αέρα.<sup>36</sup> Από τις παραπάνω τεχνικές, εκείνη που παρουσιάζεται στην εργασία και, πρέπει κατά κύριο λόγο να συνδυαστεί με το IN-ut 338 για επεξεργασία λυμάτων, είναι η χαλαρή πλεύση του αέρα (LAF).

### 2.7.1 Χαλαρή πλεύση αέρα

Η LAF είναι η πιο συνηθισμένη μέθοδος επίπλευσης για την επεξεργασία βιομηχανικών λυμάτων.<sup>39</sup> Οι φυσαλίδες αέρα παράγονται μειώνοντας την πίεση του νερού σε ένα ρεύμα νερού που είναι ήδη κορεσμένο με αέρα, σε μια πίεση υψηλότερη από την ατμοσφαιρική πίεση. Το κορεσμένο νερό εξέρχεται μέσω μιας βαλβίδας και παράγονται μικρές φυσαλίδες (διαμέτρου 30-100  $\mu\text{m}$ ).<sup>40</sup>

Τα σωματίδια στα λύματα είναι συχνά στο μέγεθος των κολλοειδών. Για να αυξηθεί το μέσο μέγεθος σωματιδίων και, συνεπώς να αυξηθεί η αποτελεσματικότητα των φυσαλίδων αέρα, τα σωματίδια συνήθως υφίστανται επεξεργασία με ένα πηκτικό ή / και ένα κροκιδωτικό (κεφάλαιο 2.3). Το Σχήμα 2.7.1 δείχνει ένα αρχικό σχέδιο μιας συμβατικής πλωτής εγκατάστασης. Μετά την κροκίδωση, το νερό οδηγείται στη ζώνη εισόδου της εγκατάστασης επίπλευσης, όπου συναντά μια ροή μικροφυσαλίδων. Η διαδικασία επίπλευσης εξαρτάται από την ικανότητα των φυσαλίδων αέρα να συλλέγουν τα σωματίδια από το εναιώρημα και να τα μεταφέρουν στην επιφάνεια, όπου σχηματίζεται ένα στρώμα ιλύος και μπορεί να απομακρυνθεί με ξέστρες ιλύος. Η ροή φυσαλίδων σχηματίζεται με την επιστροφή μερικής ροής του καθαρισμένου νερού μέσω μιας δεξαμενής πίεσης, όπου εφαρμόζεται πίεση 4 - 6 bar, μέσω μιας αντλίας επιστροφής και ενός συμπιεστή αέρα. Σύμφωνα με το νόμο του Henry, κάποια ποσότητα αέρα διαλύεται στο νερό. Το νερό με διαλυμένο αέρα επιστρέφεται έπειτα στη ζώνη εισόδου μέσω ακροφυσίων (συχνά βελόνα βαλβίδων) που δημιουργούν μείωση πίεσης και ο διαλυμένος αέρας απελευθερώνεται με τη μορφή μικροφυσαλίδων.<sup>1</sup>



**Σχήμα 2.7.1.** Εγκατάσταση πλεύσης για LAF με βαθμίδες πήξης και κροκίδωσης ως προεπεξεργασία των λυμάτων.<sup>36</sup>

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό που σχετίζεται με τη LAF έχει να κάνει με την αλληλεπίδραση μεταξύ των φυσαλίδων αέρα και των αδρανών υλικών για τη συνηθισμένη διασύνδεση μέσω υδρόφοβων δυνάμεων. Μέρη του διαλυμένου αέρα στο νερό που δε μετατρέπονται σε φυσαλίδες παραμένουν στο διάλυμα και προσκολλώνται στην επιφάνεια του σωματιδίου. Ο μηχανισμός αυτός είναι ανεξάρτητος από τις υδρόφοβες δυνάμεις και επιτρέπει την επίπλευση υδρόφιλων σωματιδίων. Μικρές φυσαλίδες αέρα θα μπορούσαν επίσης να παγιδευτούν φυσικά μέσα στο floc. Η φυσική αυτή ενσωμάτωση συμβαίνει πολύ εύκολα όταν οι φυσαλίδες αέρα είναι πολύ μικρότερες από τα flocs που «ανυψώνονται» στην επιφάνεια. Αυτό το χαρακτηριστικό καθιστά ευκολότερο το διαχωρισμό και το αποτέλεσμα αναδεικνύει υψηλό βαθμό καθαρισμού.<sup>41</sup>

Το ελάχιστο μέγεθος των φυσαλίδων αέρα που παράγει η LAF αυξάνει την ικανότητα να συλλαμβάνει μια ποικιλία σωματιδίων και έχει καταστήσει τη διαδικασία πολύ χρήσιμη για την επεξεργασία των λυμάτων. Ωστόσο, η χρήση των μικρών φυσαλίδων αέρα αποτελεί μειονέκτημα. Ο χρόνος συγκράτησης που απαιτείται για να φθάσουν όλες οι φυσαλίδες αέρα στην επιφάνεια του υγρού είναι σχετικά μεγάλος, γεγονός που απαιτεί την ανάγκη για μια μεγάλη δεξαμενή επίπλευσης.<sup>41,42</sup>

## Κεφάλαιο 3. Πειραματικό μέρος

### 3.1 Βελτιστοποίηση της ανάμιξης IN-ut 338

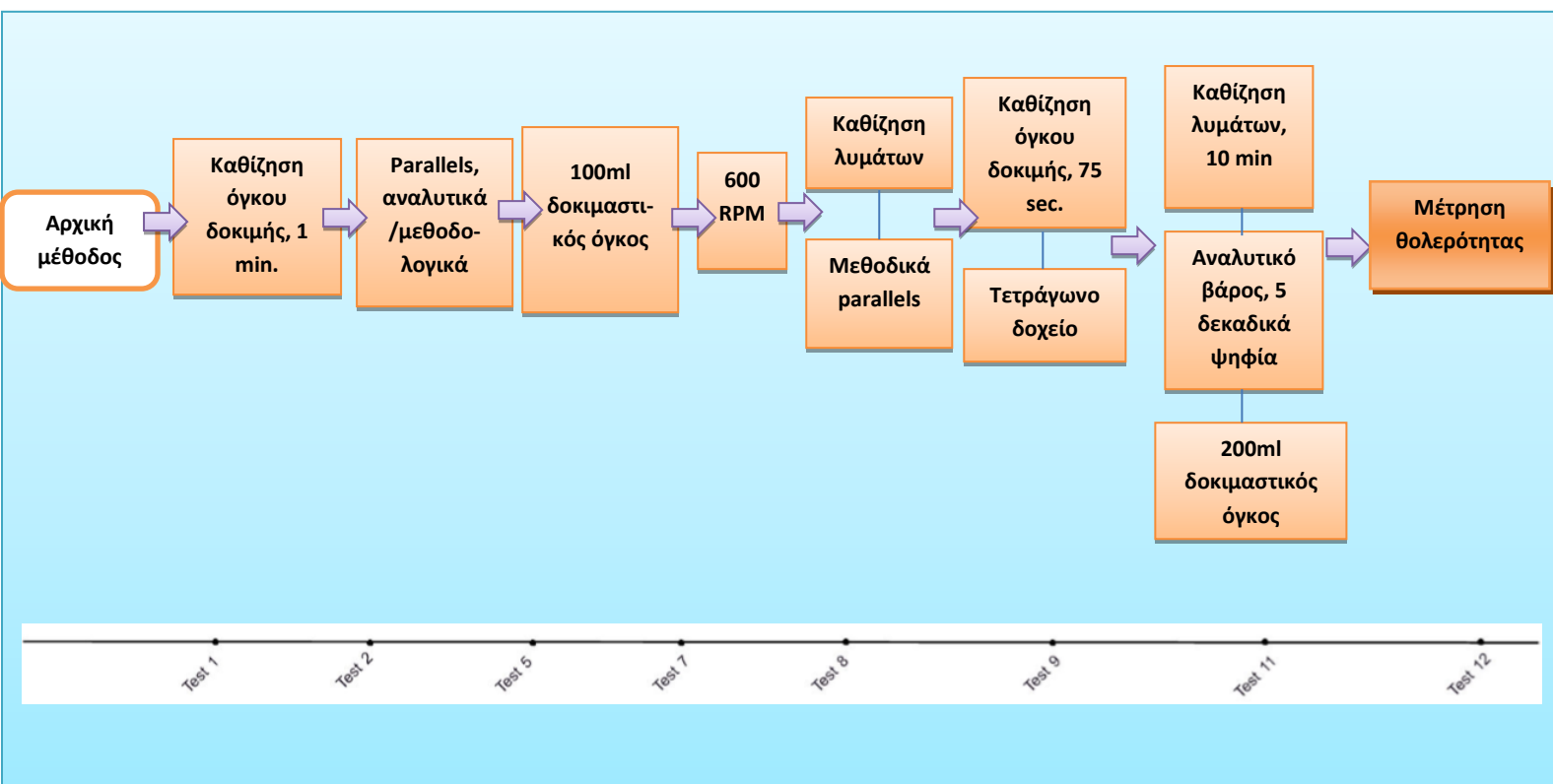
Το IN-ut 338 συνιστάται να χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με την επίπλευση. Προηγούμενες έρευνες δείχνουν ότι η βελτιστοποίηση της χημικής διήθησης είναι απαραίτητη για την εκτίμηση της απόδοσης της χημικής ουσίας για την επεξεργασία των λυμάτων.<sup>33,34,35</sup> Η παρούσα εργασία θα οδηγήσει στη βελτιστοποίηση της ανάμιξης IN-ut 338, σε σχέση με τη *δοσολογία* και την *κλίση της ταχύτητας* και αποτελεί το πρώτο βήμα στη ανάπτυξη μιας χημικής μονάδας καθαρισμού, χρησιμοποιώντας το συγκεκριμένο πολυμερές. Στόχος είναι ο υψηλότερα εφικτός καθαρισμός, αλλά η δοσολογία IN-ut 338 από πλευρά οικονομικής άποψης έχει επίσης ληφθεί υπόψη. Η απόδοση καθαρισμού του IN-ut 338 αξιολογήθηκε πειραματικά με μέτρηση της περιεκτικότητας σε SS και της θολερότητας. Τα δείγματα που επεξεργάστηκαν με IN-ut 338 συγκρίθηκαν με δείγματα χωρίς επεξεργασία, ακατέργαστα δείγματα IN-ut 338. Το πείραμα διεξήχθη σε εργαστήρια του Πανεπιστημίου του Stavanger της Νορβηγίας.

### 3.2 Ανάπτυξη και βελτιστοποίηση μεθόδου

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε αρχικά βασίζεται σε μια τυποποιημένη μέθοδο δοκιμής δοχείου (jar testing), αλλά η διαδικασία περιέχει μόνο ένα μίξερ. Το IN-ut 338 δεν επηρεάζει το pH στο νερό και συνεπώς οι αλκαλικές αναλύσεις παραλείπονται. Η μέτρηση του pH των λυμάτων συμπεριλήφθηκε για να επιβεβαιωθεί ότι ήταν εντός της περιοχής 3 - 11. (Παράρτημα 1. Προϊόντα IN-ut 338). Το IN-ut 338 ξεχωρίζει από τα τυποποιημένα πηκτικά, επειδή δεν περιέχει μέταλλα. Επομένως, τα flocs που σχηματίζονται αιωρούνται και ρέουν στην επιφάνεια.<sup>13</sup> Για το λόγο αυτό, καθώς και ότι το IN-ut 338 πρέπει να συνδυαστεί με την επίπλευση, η αρχική μέθοδος δεν περιείχε καθίζηση. Το IN-ut 338 σχηματίζει «ισχυρά» flocs που μπορούν να αντέξουν υψηλές τιμές G. Ως εκ τούτου,

χρησιμοποιήθηκε ένας ισχυρότερος αναδευτήρας από αυτόν του πρότυπου δοκιμαστικού δοχείου.

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε αρχικά για τις δοκιμές δεν έδωσε ικανοποιητικά επαναλήψιμα αποτελέσματα. Κατά τη διάρκεια αρκετών πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν, η μέθοδος υποβλήθηκε σε επεξεργασία και η τελική μέθοδος διεξήχθη από το Test 12 (Παράρτημα 2. φύλλο Excel 1. Test 12). Το σχήμα 3.2.1 απεικονίζει την εξέλιξη της διαδικασίας και στην οποία εισήχθησαν αλλαγές στις δοκιμές.



**Σχήμα 3.2.1.** Διάγραμμα ροής της ανάπτυξης και βελτιστοποίησης της μεθόδου που συνδέεται με τη δοκιμή όπου η αλλαγή εισήχθη για πρώτη φορά. Τα Test που πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας την αρχική μέθοδο (κεφάλαιο 3.2.1) αποκλείστηκαν. Αναφέρεται η ακόλουθη εξέλιξη / βελτιστοποίηση της μεθόδου. (αυξημένη ταχύτητα: 600 rpm, αναλυτικό βάρος τετραγωνικών δοχείων, μέτρηση θολερότητας) (κεφάλαιο 3.2.3).

### 3.2.1 Σημείο εκκίνησης για τη μέθοδο

Η πειραματική μέθοδος βασίζεται σε μια αναφορά δοκιμών δοχείων (jar testing) που πραγματοποιήθηκε στις εγκαταστάσεις καθαρισμού Ladehammer και Høvringen, στη Νορβηγία<sup>43</sup>, αλλά η μέθοδος προσαρμόστηκε για το IN-ut 338. Χρησιμοποιήθηκε όγκος δοκιμής 1 λίτρου σε ένα στρογγυλό δοχείο. Ο χρόνος ανάμιξης ρυθμίστηκε στα 15 δευτερόλεπτα, με ρυθμό ανάμιξης 500 rpm. Ο όγκος του δείγματος ελήφθη αμέσως μετά την ανάμιξη για διήθηση, χωρίς καθίζηση. Αρχικά, διεξήχθη μία δοκιμή για κάθε δόση IN-ut 338. Για τη ζύγιση των φίλτρων χρησιμοποιήθηκε κλίμακα ανάλυσης τεσσάρων δεκαδικών ψηφίων.

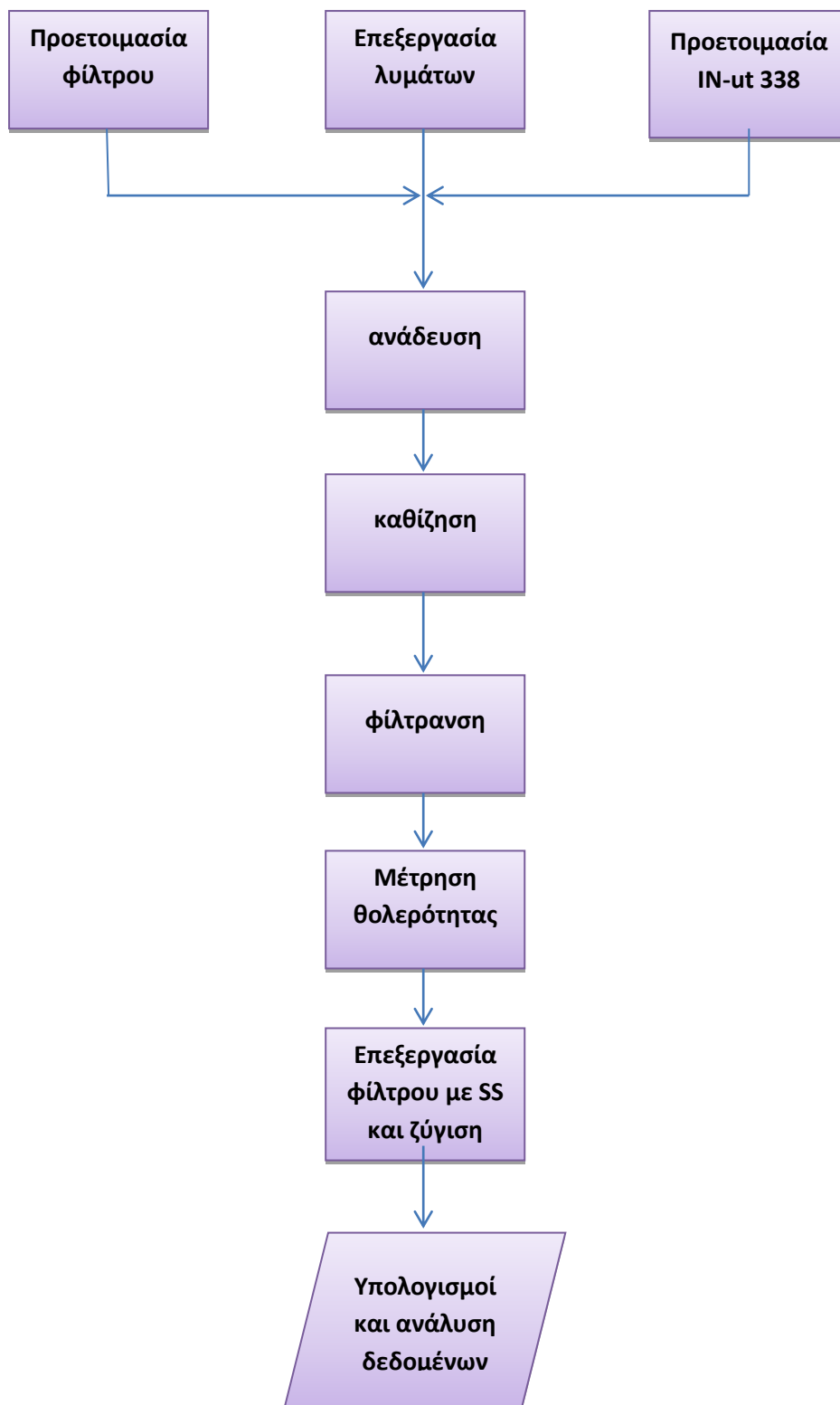
### 3.2.2 Μεθοδολογικά παράλληλα

Στην αρχική μέθοδο γινόταν επεξεργασία μόνο ενός δείγματος για κάθε τιμή της μεταβλητής παραμέτρου. Για να ελεγχθεί η επαναληψιμότητα, δοκιμάστηκαν δύο παραλληλίες οι οποίες εμφάνισαν σημαντικές αποκλίσεις. Το Test 2 είναι ένα παράδειγμα δύο δοκιμών (2.1 και 2.2) που εκτελούνται με απόβλητα που ανακτώνται από την ίδια χρονική περίοδο και επεξεργάζονται την ίδια ημέρα, τα οποία έχουν αναμιχθεί. Οι παραλληλίες 1 και 2 είναι αναλυτικές παραλληλίες για τη δοκιμή 2.1 και οι παραλληλίες 3 και 4 είναι αναλυτικές παραλληλίες για τη δοκιμή 2.2 (Πίνακας 4 – Κεφ. 4, Αποτελέσματα). Οι αναλυτικές παραλληλίες δείχνουν αποκλίσεις που είναι αποδεκτές (εκτός από το δείγμα 1: παραλληλίες 1 και 2). Οι μεθοδολογικές παραλληλίες δείχνουν μεγαλύτερες αποκλίσεις που οδηγούν σε απόκλιση υψηλών προδιαγραφών για τα δείγματα. Δεδομένου ότι η μεγαλύτερη διακύμανση έγκειται στη μεθοδολογική διακύμανση, η τελευταία είχε προτεραιότητα και χρησιμοποιήθηκαν τρεις μεθοδολογικές παραλλαγές στην τελική μέθοδο.

### 3.3 Υλικά και μέθοδοι

Η ακόλουθη μέθοδος είναι προϊόν της ανάπτυξης και βελτιστοποίησης της μεθόδου και πραγματοποιήθηκε όπως το test 12. Για να διατηρηθεί μια επισκόπηση των διαφόρων παραμέτρων, καθώς και των βαρών του φίλτρου κατά τη διάρκεια και μετά από τα test, χρησιμοποιήθηκε ένα δοκιμαστικό έντυπο για κάθε test (Παράρτημα 3) . Λόγω της περιορισμένης πρόσβασης στα λύματα και λόγω του ότι έπρεπε να πραγματοποιηθούν τρεις παραλληλίες για κάθε δοκιμή, αρχικά δημιουργήθηκαν 12 δείγματα. Αυτό ισοδυναμεί με τη δοκιμή τριών διαφορετικών δοσολογιών / rpm, συμπεριλαμβανομένου του ακατέργαστου δείγματος για κάθε test. Ωστόσο, από το test 14 πραγματοποιήθηκε δοκιμή ευρύτερης κλίμακας για τη βελτίωση των συγκριτικών παραδοχών. Το Σχήμα 3.3.1 δίνει μια επισκόπηση της τελικής μεθόδου με τη σειρά των πειραματικών βημάτων.





**Σχήμα 3.3.1.** Διάγραμμα ροής στα βήματα της τελικής μεθόδου. Τα τρία κορυφαία βήματα: η προετοιμασία των φίλτρων (κεφάλαιο 3.3.5), η επεξεργασία λυμάτων (τμήματα 3.3.1 και 3.3.2) και η προετοιμασία του IN-ut 338 (κεφάλαιο 3.3.3) εκτελούνται ανεξάρτητα και με τυχαία σειρά. Τα υπόλοιπα βήματα : τήξη (κεφάλαιο 3.3.4), καθίζηση (κεφάλαιο 3.3.4), διήθηση (κεφάλαιο 3.3.4), μέτρηση θολερότητας (κεφάλαιο 3.3.6), φιλτράρισμα με SS και ζύγιση (Κεφάλαιο 3.3.4) και ανάλυση υπολογισμού και δεδομένων (κεφάλαια 3.3.5 και 3.3.6) εκτελέστηκαν με τη σειρά που απεικονίζεται.

### 3.3.1 Προεπεξεργασία των λυμάτων

#### Υλικά

- Απόβλητα από το SNJ (υγρά απόβλητα υγιεινής); είσοδος
- Δοχείο νερού; 10 L και 20 L
- Χώρος ψύξης (6 °C)
- Δοχείο (χωνί)

#### Μέθοδος

Τα απόβλητα συλλέχθηκαν από το SNJ και παρέμειναν σε ψυχρό δωμάτιο πριν και μεταξύ των test. Στα test χρησιμοποιήθηκαν απόβλητα που είχαν συλλεχθεί έως και δύο ημέρες νωρίτερα. Πριν χρησιμοποιηθούν τα λύματα, τα δοχεία νερού (*watercaps*) (2 x 10 λίτρα) ανακινήθηκαν συνεχόμενα για 10 δευτερόλεπτα, προτού μεταφερθούν σε δοχείο νερού 20 λίτρων, προκειμένου να κατακαθίσουν τα σωματίδια που εμπεριέχονταν σε αυτά.

### 3.3.2 Μέτρηση του pH και της θερμοκρασίας

#### Υλικά

- μετρητής pH; PHenomenal MU 6100 L
- Ρυθμιστικά διαλύματα με pH 4.01 , 7 και 10
- Απιονισμένο νερό
- Γυάλινο δοχείο

#### Μέθοδος

Πριν από την ανάμιξη μετρήθηκαν μία φορά το pH και η θερμοκρασία των λυμάτων. Πριν από κάθε μέτρηση του pH, το όργανο δοκιμάστηκε με ρυθμιστικό 4.01 και βαθμονομήθηκε με απόκλιση  $> \pm 0,020$ . Το κατακρημνισθέν απόβλητο ανακινήθηκε και λήφθηκαν περίπου 0,5 λίτρα για μέτρηση. Λόγω της διακύμανσης του pH, εισήχθη μια τυποποιημένη μέθοδος όπου το pH σημειώθηκε μετά από 1,5 λεπτό: 75

δευτερόλεπτα με αργή κίνηση του αισθητήρα και τα τελευταία 15 δευτερόλεπτα σε ηρεμία. Η θερμοκρασία σημειώθηκε όταν ήταν σταθερή.

### 3.3.3 Παρασκευή διαλύματος IN-ut 338

Ο διανομέας του IN-ut 338 ήταν η Νορβηγική Τεχνολογία (NT) AS. Χρησιμοποιήθηκε συγκέντρωση IN-ut 338 0,25%.

#### Υλικά

- Κύλινδρος μέτρησης (100 ml)
- IN-ut 338 (σκόνη)
- Ποτήρι ζέσεως αλουμινίου ; VWR (διάμετρος 57 mm)
- Σπάτουλα
- Γυάλινο δοχείο με βιδωτό καπάκι
- Αναλυτικός ζυγός : Ohaus AX224
- Νερό βρύσης
- Αυτόματη πιπέτα : Thermo Scientific finne pipette f2, 0,5-5 ml

#### Μέθοδος

Ως δοχείο IN-ut 338 στην αναλυτική ζυγαριά χρησιμοποιήθηκε ένα ποτήρι αλουμινίου. Μετά τη ζύγιση, η καθαρή μάζα μεταφέρθηκε σε γυάλινο ξηρό δοχείο. 200 mL χλιαρού νερού προστέθηκαν στο γυάλινο δοχείο και ανακινήθηκαν εντατικά. Η αυτόματη πιπέτα χρησιμοποιήθηκε για να ξεπλυθεί η εναπομείνουσα σκόνη από τον κώνο αλουμινίου πάνω στο γυάλινο δοχείο με ένα μέρος της μετρημένης ποσότητας νερού. Το διάλυμα ανακινήθηκε σε τακτά διαστήματα για μία ώρα. Το διάλυμα IN-ut 338 που χρησιμοποιήθηκε ήταν 6 ημερών.

### 3.3.4 Ανάμιξη

Όσον αφορά την αναλογία της διαμέτρου προς το επίπεδο του δοχείου και τον όγκο, όγκος δοκιμής 1 λίτρου στο χρησιμοποιημένο δοχείο δεν ταιριάζει με τις κατευθυντήριες γραμμές του Heidolph.<sup>45</sup> Ως εκ τούτου, η θέση της πτερωτής στο δοχείο προσδιορίστηκε εμπειρικά, όπου χρησιμοποιήθηκε η θέση που έδειξε να παράγει την υψηλότερη ανατάραξη με βάση τις δοθείσες παραδοχές (Σχήμα 3.3.2).

Ο χρόνος ανάμιξης του IN-ut 338 δε μπορεί να βασιστεί σε τυποποιημένη ανάμιξη πήξης και κροκίδωσης. Δεδομένου ότι το IN-ut 338 έχει γρήγορο χρόνο αντίδρασης, αλλά η μέθοδος έχει μόνο ένα στάδιο ανάμιξης, χρησιμοποιήθηκε χρόνος ανάμιξης 15 δευτερολέπτων.

## Υλικά

- Μίξερ. Δοκιμασίες δοσολογίας: Hi-TORQUE Precision 100, δοκιμές ταχύτητας: IKA EUROSTAR 20digital
- Πτερωτή. Heidolph-BR 10 Πτερωτή πτερυγίων με διασταυρούμενη λεπίδα (μέγεθος φύλλου: 50 x 12 mm)
- Τετράγωνο δοχείο (2 L, Σχήμα 3.3.2)
- Δείγματα λυμάτων
- Γυάλινο δοχείο με ετικέτα για τον όγκο
- Αυτόματη πιπέτα: ThermoScientific finne pipette f2 (0,5-5 ml και  $\mu$ l)
- IN-ut 338 (0,25 %)
- Χώρος ψύξης (6 ° C)
- Χρονοδιακόπτης

## Μέθοδος

Η μέθοδος διαιρείται σε τρία μέρη με παρόμοια διαδικασία αλλά με ποικίλες παραμέτρους.

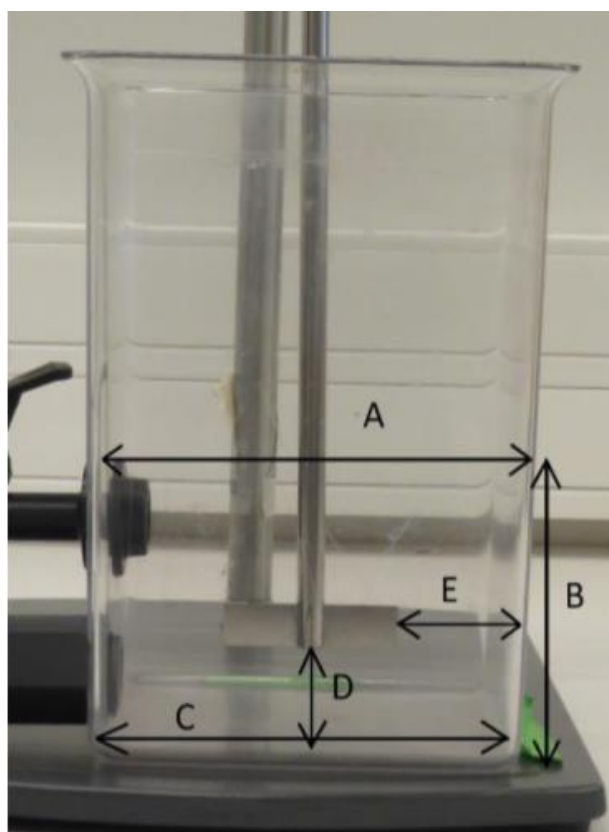
*Μέρος 1:* Δοσολογία IN-ut 338 ως μεταβλητή παράμετρος με σταθερό ρυθμό ανάμιξης (600 rpm).

*Μέρος 2:* Ο ρυθμός του αναμικτήρα (*mixer*) ως μεταβλητή παράμετρος χρησιμοποιώντας την προτιμώμενη δοσολογία που εκτιμάται στο Μέρος 1 (5.5 mg IN-ut 338 L<sup>-1</sup>).

*Μέρος 3:* Ελέγχθηκαν χαμηλότερες δόσεις από την προτιμώμενη δόση (1,0 - 5,0 mg IN-ut 338 L<sup>-1</sup>) χρησιμοποιώντας τον προτιμώμενο ρυθμό που εκτιμήθηκε στο Μέρος 2 (800 και 1200 rpm).

Τα λύματα από το ψυγείο ανακινήθηκαν πριν μεταφερθεί το 1 λίτρο στο δοχείο. Το δοχείο τοποθετήθηκε κάτω από τον αναμικτήρα σύμφωνα με το Σχήμα 3.3.2. Η ταχύτητα ρυθμίστηκε στις πραγματικές rpm και το διάλυμα IN-ut 338 ανακινήθηκε καλά πριν τη χρήση. Στη συνέχεια τροφοδοτήθηκε στο λύμα κατά τη διάρκεια της ανάμιξης. Μετά την προσθήκη IN-ut 338 χρησιμοποιήθηκε χρόνος ανάμιξης 15 δευτερολέπτων. Στο τέλος της ανάμιξης, το λύμα αφέθηκε να παραμείνει για 75 δευτερόλεπτα πριν ληφθεί το δείγμα για διήθηση. Η παρακάτω εικόνα λήφθηκε περίπου 3,5 λεπτά μετά την ολοκλήρωση της ανάμιξης (μετά την καθίζηση και τη διήθηση).

Για κάθε test συμπεριλήφθηκε ένα δείγμα όπου χρησιμοποιήθηκε η αντίστοιχη μέθοδος που περιγράφηκε παραπάνω αλλά με εξαίρεση την εφαρμογή χημικών.



Αναλογίες
$B = 1,6 C$
$D = 0,3 B$
$E = 0,3 C$
$A = 1,7 B$

**Σχήμα 3.3.2.** Γεωμετρική απεικόνιση της θέσης της περωτής κεντραρισμένη στο δοχείο με σχετικές αναλογίες. Το ύψος του όγκου δοκιμής αντιστοιχεί στο μήκος B.  $A = 115 \text{ mm}$ ,  $B = 66 \text{ mm}$ ,  $C = 105 \text{ mm}$ ,  $D = 20 \text{ mm}$ ,  $E = 30 \text{ mm}$ .

Για την εκτίμηση της κλίσης ταχύτητας, χρησιμοποιείται ο τύπος 2.6.1 και το αποτέλεσμα (P) που περιλαμβάνεται στον τύπο υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τον τύπο 2.6.2 που λαμβάνεται από το κεφάλαιο 2.6.1.

Καθώς τα απόβλητα στο πείραμα περιείχαν χαμηλά επίπεδα στερεών, χρησιμοποιήθηκαν τιμές νερού για το ιξώδες και η πυκνότητα στην τρέχουσα θερμοκρασία (παράρτημα c-1, Metcalf). Στη μετρούμενη θερμοκρασία  $\geq 12,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , χρησιμοποιήθηκε τιμή θερμοκρασίας που αντιστοιχεί στους  $15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Σε μετρημένη θερμοκρασία  $< 12 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , χρησιμοποιήθηκε τιμή θερμοκρασίας που αντιστοιχούσε στους  $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Η BR 10 περωτή διασταυρούμενων περυγίων που χρησιμοποιείται στη διαδικασία είναι τύπου ακτινικής περωτής, όπου το υγρό ρέει ακτινικά έξω από την περωτή. Η περωτή είναι κατάλληλη για την ανάμιξη υγρού χαμηλού ιξώδους και με μέτρια ταχύτητα για την παραγωγή τυρβώδους ροής. Περιλαμβάνεται στην κατηγορία κάθετης περωτής με επίπεδα φύλλα, η οποία έχει διάστημα 3,5 - 4

(πίνακας Metcalf, σελ. 354). Δεδομένου ότι από τον κατασκευαστή δεν είχε αποδοθεί συγκεκριμένη τιμή, οι υπολογισμοί στην εργασία εκτελέστηκαν με μέση τιμή 3,75.

### 3.3.5 Μέτρηση SS

#### Υλικά

- Buchnertrakt, πορσελάνη (διάμετρος 90 mm) και σχετικό καουτσούκ
- Φιάλη αναρρόφησης συνδεδεμένη σε σύστημα κενού
- Φίλτρα μικροστοιχείων γυαλιού Whatman (διάμετρος 90 mm, μέγεθος πόρων 1,6 μm)
- Επεξεργασμένα λύματα με και χωρίς προσθήκη IN-ut 338
- Πλαστική σύριγγα BD Plastic Pack (100 ml)
- Κύπελλα από αλουμίνιο : VWR (διαμέτρου 102 mm)
- Θερμαντήρας (105 ° C)
- Ξηραντήρας
- Λαβίδα
- Σπάτουλα
- Πλαίσιο αλουμινίου
- Απιονισμένο νερό
- Αναλυτικός ζυγός Mettler Toledo XPE204
- Χρονοδιακόπτης

#### Μέθοδος

Πριν από την ανάμιξη, τα φίλτρα (12, 18 ή 36 τεμάχια) διανεμήθηκαν στον αντίστοιχο αριθμό αριθμημένων πλαισίων αλουμινίου. Η λαβίδα χρησιμοποιήθηκε για κάθε χειρισμό των φίλτρων και των κυπέλλων αλουμινίου. Χρησιμοποιήθηκαν τρεις μεθοδολογικές παραλληλίες για κάθε μεταβλητή παράμετρο (δοσολογία / grm). Τα κύπελλα αλουμινίου με τα σχετικά φίλτρα τοποθετήθηκαν στο θερμαντήρα για τουλάχιστον 30 λεπτά. Τα φίλτρα στη συνέχεια ψύχθηκαν σε ξηραντήρα για 15-20 λεπτά πριν από τη ζύγιση. Το βάρος του φίλτρου σημειώθηκε κάτω από τον τρέχοντα αριθμό του test, προσαρτημένο στο αντίστοιχο δείγμα νερού.

Το φίλτρο για το πρώτο δείγμα νερού τοποθετήθηκε στην πορσελάνη Buchner, στη συσκευή διήθησης. Σε συνεχές κενό, το φίλτρο βράχθηκε με λίγα ml απιονισμένου νερού. Μετά από 15 δευτερόλεπτα ανάμιξης, η σύριγγα πλύθηκε στην κατάλληλη συγκέντρωση και μετά από συνολικά 75 δευτερόλεπτα μετά την ανάμιξη, όγκος

δείγματος 200 ml διηθήθηκε σε τέσσερις «γύρους» (4x 50 ml). Το φίλτρο πλύθηκε δύο φορές με απιονισμένο νερό. Δύο περίπου λεπτά αργότερα, αφού φιλτραρίστηκε όλο το ορατό νερό, χρησιμοποιήθηκε σπάτουλα και λαβίδα για τη μεταφορά του στο κύπελλο αλουμινίου. Η αντίστοιχη διαδικασία πραγματοποιήθηκε για κάθε φίλτρο στο test.

Μετά την ολοκλήρωση του φιλτραρίσματος, τα δείγματα φίλτρων τοποθετήθηκαν στο θερμαντήρα, όπου μπορούσαν να παραμείνουν από 2 έως, το πολύ, 24 ώρες. Πριν από τη ζύγιση, τα δείγματα ψύχθηκαν σε ξηραντήρα για 15-20 λεπτά.

Ο τύπος 3.3.1 χρησιμοποιήθηκε για τη μετατροπή του περιεχομένου του φίλτρου σε mg SS L<sup>-1</sup> λυμάτων.<sup>3</sup>

$$\frac{(A-B)*1000}{\text{όγκος δοκιμής, ml}} = \text{mg L}^{-1} \text{ SS} \quad 3.3.1$$

όπου :

A = βάρος φίλτρου + αποξηραμένα SS, mg,

B = βάρος φίλτρου, mg

Η απόδοση καθαρισμού των SS (%) στη συνέχεια υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας τον τύπο 3.3.2.<sup>3</sup>

$$\frac{(TSS_{\text{εισόδου}} - TSS_{\text{εξόδου}})}{TSS_{\text{εισόδου}}} * 100 \% = \text{απόδοση καθαρισμού SS (\%)} \quad 3.3.2$$

όπου:

TSS<sub>εισόδου</sub> = SS σε ακατέργαστο δείγμα, mg L<sup>-1</sup>,

TSS<sub>εξόδου</sub> = SS σε επεξεργασμένο δείγμα, mg L<sup>-1</sup>

Εάν ένα παράλληλο δείξει σημαντική απόκλιση από τις αντίστοιχες παραλλαγές, τότε πραγματοποιείται το test Q του Dixon, για να προσδιοριστεί εάν το δείγμα πρέπει να συμπεριληφθεί ή να απορριφθεί.<sup>46</sup> Χρησιμοποιείται διάστημα εμπιστοσύνης 90%.

### 3.3.6 Μέτρηση θολερότητας

#### Υλικά

- Μετρητής θολερότητας με διαλύματα βαθμονόμησης και δοχείο δειγμάτων (Hach 2100N Turbidimeter)
- Μαλακό πανί χωρίς χνούδια
- Gel σιλικόνης καθαρισμού
- Σύριγγα ψεκασμού (100 ml). BD Plastipak

#### Μέθοδος

Ο μετρητής θολερότητας βαθμονομήθηκε μία φορά και πριν από κάθε test δοκιμάστηκε για την εξασφάλιση της καλής λειτουργίας με 20 διαλύματα βαθμονόμησης NTU. Αφού αφαιρέθηκε όγκος δείγματος 200 ml για διήθηση, το δοχείο δειγματοληψίας θολερότητας πλύθηκε δύο φορές με τον όγκο δοκιμής πριν γεμίσει μέχρι το σημαδεμένο επίπεδο και ο βρόγχος βιδώθηκε απευθείας. Κατόπιν πλύθηκε με νερό και καθαρίστηκε με χαρτί και μερικές σταγόνες gel σιλικόνης καθαρισμού. Το δοχείο με το δείγμα στράφηκε αργά προς τα πάνω και προς τα κάτω δύο φορές (για να δημιουργηθεί ένα ομοιογενές μίγμα χωρίς να περιέχονται φυσαλίδες αέρα), προτού τοποθετηθεί στο μετρητή θολερότητας. Η πρώτη τιμή που σταθεροποιήθηκε σημειώθηκε. Σημειώθηκε επίσης και η υψηλότερη σταθεροποιημένη τιμή και, στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκε ο μέσος όρος αυτών.

Η απόδοση καθαρισμού θολερότητας (%) υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας τον τύπο 3.3.3 με βάση τον τύπο 3.3.2.

$$\frac{(\text{θολερότητα εισόδου} - \text{θολερότητα εξόδου})}{\text{θολερότητα εισόδου}} * 100\% = \text{απόδοση καθαρισμού θολερότητας}(\%) \quad 3.3.3$$

όπου:

θολερότητα <sub>εισόδου</sub> = θολερότητα σε ακατέργαστο δείγμα, NTU,

θολερότητα <sub>εξόδου</sub> = θολερότητα σε επεξεργασμένο δείγμα, NTU



## Κεφάλαιο 4. Αποτελέσματα και Συζήτηση

Τα αποτελέσματα των πειραματικών δεδομένων παρουσιάζονται σε τρία μέρη. Το Μέρος 1 περιέχει αποτελέσματα των test, στα οποία οι διάφορες δοσολογίες IN-ut 338 αξιολογούνται με σκοπό την εκτίμηση της δοσολογίας που δίνει το υψηλότερο αποτέλεσμα καθαρισμού (Κεφάλαιο 4.1). Το Μέρος 2 περιέχει αποτελέσματα των test, όπου αξιολογείται η επίδραση διαφορετικών ρυθμών ανάμιξης με την προτιμώμενη δοσολογία από το μέρος 1, με σκοπό την εκτίμηση της κλίσης ταχύτητας που δίνει το υψηλότερο αποτέλεσμα καθαρισμού (κεφάλαιο 4.2). Το μέρος 3 περιέχει αποτελέσματα από test όπου δοκιμάζονται χαμηλότερες δόσεις από την εκτιμώμενη βέλτιστη τιμή από το μέρος 1 με προτιμώμενη ταχύτητα ανάμιξης από το μέρος 2. Στόχος είναι να υπολογιστεί η χαμηλότερη δόση IN-ut 338 που παρέχει επαρκές αποτέλεσμα καθαρισμού (ενότητα 4.3). Για πειραματικά δεδομένα από όλα τα test (test 1 - 19) με την αντίστοιχη προδιαγραφή μεθόδου και τη μετρούμενη παράμετρο (pH και θερμοκρασία), βλ. Παράρτημα 2. Φύλλα Excel 1-3.

### Κατά τη διάρκεια ανάπτυξης και βελτιστοποίησης της μεθόδου:

Σημειώνεται πως η αρχική μέθοδος είχε ως αποτέλεσμα ορισμένα από τα αποτελέσματα να δείχνουν αρνητικό βαθμό ποσοστού, πράγμα που δείχνει ότι η συσσώρευση σε flocs έχει σχηματίσει ένα μεγάλο μέρος της μάζας SS στον όγκο δοκιμής (οι δοκιμές έχουν αποκλειστεί από την εργασία). Μετά από δύο μεθοδολογικές παραλλαγές, οι παραλληλίες έδειξαν αξιοσημείωτες αποκλίσεις, οι οποίες κυρίως ήταν εμφανείς για τα ακατέργαστα δείγματα. Όσον αφορά τις μεθοδολογικές παραλληλίες, αναφορά των οποίων έγινε παραπάνω (Κεφ. 3.2.2), παρουσιάζεται ο παρακάτω πίνακας αποτελεσμάτων:

Test nr.	Παράλληλο 1 (mg L <sup>-1</sup> SS <sub>εξόδου</sub> )	Παράλληλο 2 (mg L <sup>-1</sup> SS <sub>εξόδου</sub> )	Παράλληλο 3 (mg L <sup>-1</sup> SS <sub>εξόδου</sub> )	Παράλληλο 4 (mg L <sup>-1</sup> SS <sub>εξόδου</sub> )	Μέση τιμή (mg L <sup>-1</sup> SS <sub>εξόδου</sub> )
1	76	58	66	68	67 ± 7
2	36	34	42	48	40 ± 6
3	24	22	30	38	29 ± 7
4	32	20	22	26	25 ± 5
Ακατέργαστο	182	178	120	118	150 ± 35

**Πίνακας 4.** Σύνταξη των αποτελεσμάτων για το Test 2. Τα παράλληλα 1 και 2 αντιστοιχούν σε αναλυτικά παράλληλα για το Test 2.1. Τα παράλληλα 3 και 4 αντιστοιχούν σε αναλυτικά παράλληλα για το Test 2.2.

## Καθίζηση λυμάτων

Ο παραπάνω πίνακας 4 δείχνει κυρίως μια μεγάλη διακύμανση των αποτελεσμάτων των ακατέργαστων δειγμάτων με τυπική απόκλιση  $\pm 35$ . Η παρατήρηση αυτή είναι εμφανής σε πολλές περιπτώσεις (παράρτημα 2. φύλλο Excel 1. Test 3, 4 και 5). Προκειμένου να αυξηθεί η αναπαραγωγικότητα των ακατέργαστων δειγμάτων, πριν από τη δοκιμή εισήχθη χρόνος καθίζησης για τα λύματα. Ο σκοπός ήταν να αφαιρεθούν τα χονδρόκοκκα σωματίδια (μη ενδιαφέροντα, καθώς απομακρύνονται μηχανικά στο επόμενο στάδιο καθαρισμού). Διαχωρίζοντας την εκροή μετά την καθίζηση, η ομοιογένεια αυξήθηκε. Ο χρόνος καθίζησης προσδιορίστηκε αρχικά από την περιεκτικότητα σε SS σε λύματα και κυμάνθηκε μεταξύ 2 - 4 λεπτών. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ένα δυναμικό βελτίωσης (Παράρτημα 2. φύλλο Excel 1. Test 8 και 9) και από το Test 11 ο χρόνος καθίζησης τυποποιήθηκε στα 10 λεπτά για κάθε δοκιμή.

## Καθίζηση του όγκου δοκιμής

Το IN-ut 338 συνιστάται να χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με την επίπλευση χωρίς καθίζηση. Παρ' όλα αυτά, προκειμένου να αυξηθεί η αναπαραγωγικότητα των παραλλήλων, εισήχθη χρόνος καθίζησης μετά την ανάμιξη των 75 δευτερολέπτων. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση των μικρού μεγέθους flocs στον όγκο του δείγματος. Προκειμένου να επιτευχθεί ο υψηλότερος δυνατός βαθμός καθαρισμού, τα ακατέργαστα δείγματα αφέθηκαν επίσης για 75 δευτερόλεπτα μετά την ανάμιξη πριν αυτά ληφθούν για διήθηση. (Αυτό σημαίνει ότι η περιεκτικότητα σε SS των ακατέργαστων δειγμάτων μπορεί να είναι κάπως υψηλότερη στην πραγματικότητα από ό, τι αναφέρεται στα αποτελέσματα).

## Αύξηση του όγκου του δείγματος

Για να αυξηθεί η αξιοπιστία των δοκιμών, η αναπαραγωγικότητα των παραλλήλων και να μειωθεί η συσσώρευση των flocs στον όγκο του δείγματος, ο όγκος του δείγματος αυξήθηκε πρώτα στα 100 ml και, τέλος, στα 200 ml. Εάν ο όγκος του δείγματος περιέχει πολύ μικρή ποσότητα SS, μια μικρή διαφορά μεταξύ των παραλλήλων καθιστά ένα μεγάλο ποσοστό τυπικής απόκλισης (Παράρτημα 2. φύλλο Excel 1. Test 10). Συνεπώς, η αύξηση του όγκου του δείγματος προκαλεί αύξηση της περιεκτικότητας σε SS στον όγκο του δείγματος. Η συνιστώμενη ελάχιστη τιμή SS για διήθηση είναι 2,5 mg.<sup>44</sup> Συνεπώς, χρησιμοποιήθηκε ένα μεγαλύτερο φίλτρο για τον περιορισμό του κινδύνου του εσωτερικού φιλτραρίσματος.

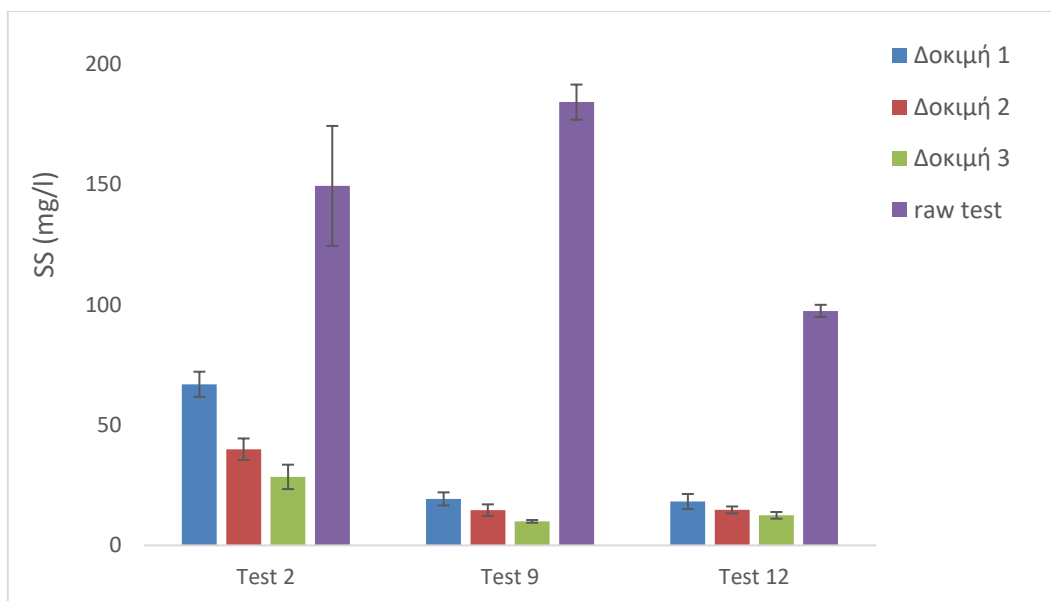
## Διάφορες αλλαγές

Για να μειωθεί η αβεβαιότητα της μάζας των SS, το αναλυτικό βάρος τεσσάρων δεκαδικών ψηφίων εναλλάχθηκε με αναλυτικό βάρος πέντε δεκαδικών ψηφίων, με στόχο την περαιτέρω μείωση της τυπικής απόκλισης σε μικρές ποσότητες SS. Για να επιτευχθεί το μέγιστο δυνατό αποτέλεσμα μικροκυμάτων, ο μέγιστος δυνατός βαθμός στροβιλισμού πρέπει να εξαλειφθεί.<sup>3</sup> Μία εφαρμογή ήταν να αντικατασταθεί το στρογγυλό με ένα τετράγωνο δοχείο και να αυξηθεί η ταχύτητα από 500 rpm σε 600 rpm, προκειμένου να αυξηθεί η αναταραχή.

Πραγματοποιήθηκε μέτρηση της θολερότητας για να συγκριθούν οι τιμές θολερότητας με τιμές SS, καθώς η μέτρηση της θολερότητας δεν επηρεάζεται από τα flocs στον ίδιο βαθμό με τη μέτρηση των SS. Αν και οι παράμετροι δεν έχουν άμεση σχέση, οι αναλύσεις είναι από κοινού κατάλληλες για την αξιολόγηση του επιτευχθέντος βαθμού υποβάθμισης (κεφάλαιο 2.1.1).

## Επίδραση της ανάπτυξης και βελτιστοποίησης της μεθόδου

Το σχήμα 4 δείχνει μια σαφή βελτίωση στην τυπική απόκλιση των πρώτων δειγμάτων. Η μεγαλύτερη βελτίωση λαμβάνει χώρα μεταξύ της Δοκιμής 2 και του Test 9, αλλά ένας τυποποιημένος χρόνος καθίζησης 10 λεπτών δίνει περαιτέρω βελτίωση στην αναπαραγωγικότητα, έναντι των πρώτων δειγμάτων. Επίσης, η αναπαραγωγικότητα των επεξεργασμένων παραλλήλων παρουσιάζει αξιοσημείωτη βελτίωση από το Test 2 έως το Test 9. (Παράρτημα 2. Φύλλο Excel 4)



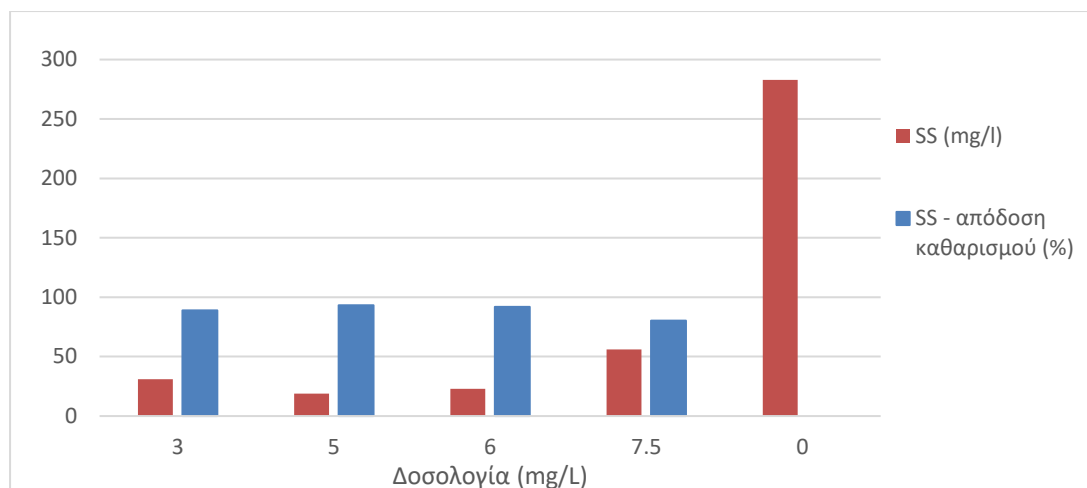
**Σχήμα 4.** Σύγκριση τυπικών αποκλίσεων δειγμάτων με διαφορετικές παραδοχές από τα test 2, 9 και 12. Το test 2 πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας την αρχική μέθοδο (σημείο εκκίνησης για τη μέθοδο). Το test 9 πραγματοποιείται κάτω από τις ακόλουθες αλλαγές από την αρχική μέθοδο: 3,5 λεπτά καθίζηση λυμάτων, 75 sec, καθίζηση του όγκου δοκιμής, όγκος δείγματος 100 ml, 600 rpm και τετράγωνο δοχείο. Το test 12 πραγματοποιείται με την τελική μέθοδο (κεφάλαιο 3.3).

#### 4.1 Test Δοσολογίας IN-ut 338

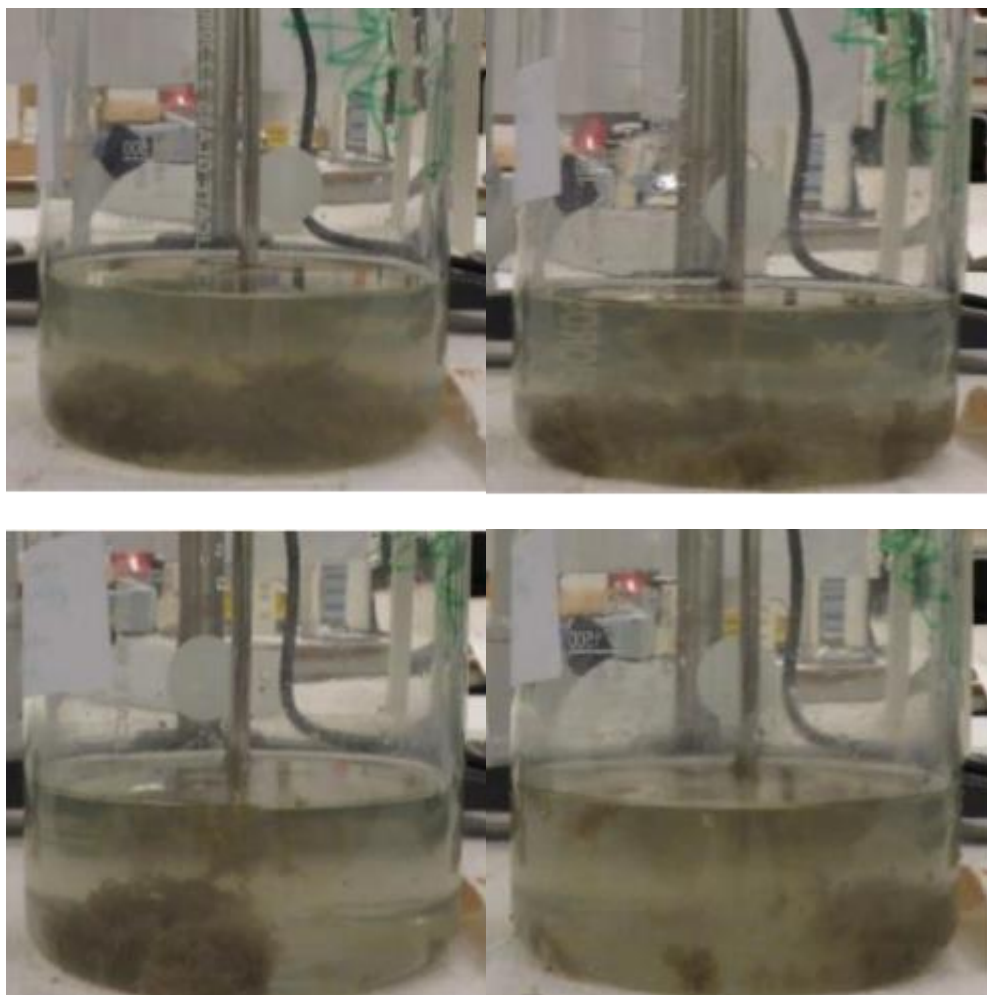
Τα test 1 - 11 πραγματοποιήθηκαν κατά την προετοιμασία της δοκιμαστικής μεθόδου (κεφάλαιο 3.2). Τα υπόλοιπα test πραγματοποιούνται χρησιμοποιώντας την τελική μέθοδο (κεφάλαιο 3.3).

##### Test 3. (08.02.2018)

Δεδομένου ότι το τρίτο test δεν πραγματοποιήθηκε με την ολοκληρωμένη μέθοδο, μόνο γενικές παραδοχές μπορούν να προκύψουν από το αποτέλεσμα. Το σχήμα 4.1.1 δείχνει πως η δοσολογία IN-ut 338 5,0 mg L<sup>-1</sup> αποδίδει το υψηλότερο αποτέλεσμα καθαρισμού. Η δοσολογία 7,5 mg L<sup>-1</sup> δείχνει να έχει χαμηλότερο καθαρισμό σε σύγκριση με τις χαμηλότερες δοσολογίες. Αυτό επιβεβαιώνεται από το σχήμα 4.1.2, το οποίο δείχνει χαμηλότερο βαθμό καθαρισμού στα λύματα σε δοσολογία 7,5 mg L<sup>-1</sup>. Βάσει του test 3, μπορεί να θεωρηθεί ότι το IN-ut 338 έχει ανώτατο όριο δοσολογίας, όπου μια υψηλότερη δοσολογία θα έχει αρνητικό αντίκτυπο στο αποτέλεσμα. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι οι συνθήκες ανάμιξης σε υψηλή δοσολογία (7,5 mg IN-ut L<sup>-1</sup> σε αυτή την περίπτωση) δεν παρέχουν επαρκή ανάμιξη του πολυμερούς. Ο μηχανισμός αποσταθεροποίησης και προσρόφησης μπορεί να μειωθεί, εάν το IN-ut 338 δεν είναι ομογενώς κατανεμημένο σε όλο τον όγκο του υγρού.<sup>1</sup>



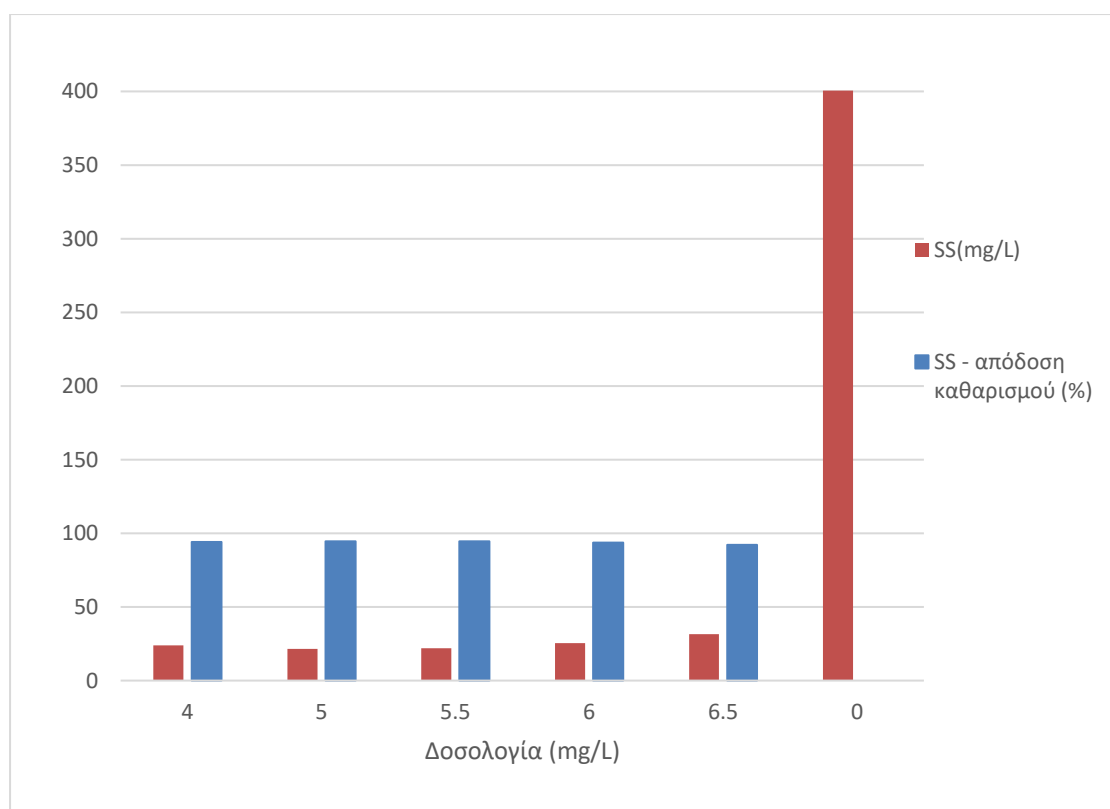
**Σχήμα 4.1.1** Σύγκριση περιεχομένου SS και βαθμού καθαρισμού για διάφορες δόσεις IN-ut 338 και για ακατέργαστο δείγμα για το test 3. Rpm: 500.



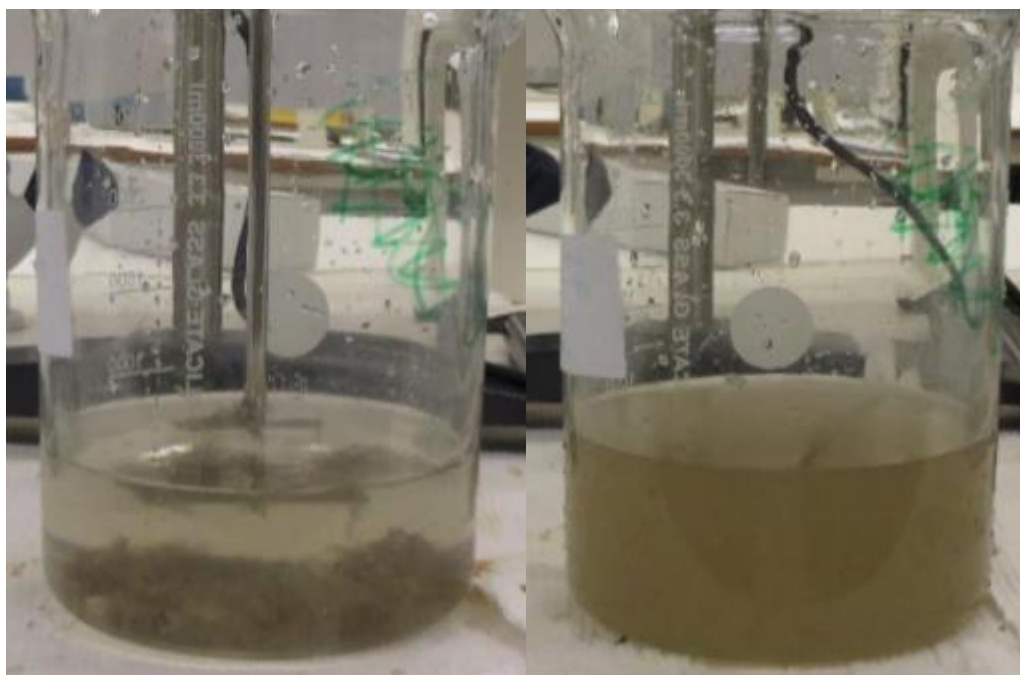
**Σχήμα 4.1.2.** Σύγκριση επεξεργασμένων λυμάτων με διάφορες δοσολογίες IN-ut 338 για το test 3. Σειρά 1 από αριστερά: δοσολογία με 3 mg L<sup>-1</sup>, 5 mg L<sup>-1</sup>. Σειρά 2 από αριστερά: δοσολογία με 6 mg L<sup>-1</sup>, 7,5 mg L<sup>-1</sup>.

### Test 5. 09.02.2018

Τα αποτελέσματα από το test 5 δείχνουν υψηλό βαθμό καθαρισμού για όλες τις δόσεις IN-ut 338 (> 90%) με μικρές μεταβολές του βαθμού και της περιεκτικότητας σε SS (Σχήμα 4.1.3). Αυτό μπορεί να οφείλεται στην υψηλή περιεκτικότητα SS στα αστικά λύματα ( $401 \pm 28 \text{ mg SS L}^{-1}$ , παράρτημα 2. φύλλο Excel 1. Test 5). Το υψηλό επίπεδο SS αυξάνει το ρυθμό σύγκρουσης μεταξύ των σωματιδίων κατά τη διάρκεια της ανάμιξης, πράγμα που οδηγεί στην αύξηση του σχηματισμού των flocs και, συνεπώς, στην αύξηση του βαθμού καθαρισμού.<sup>1</sup> Από το Σχήμα 4.1.4 μπορεί να παρατηρηθεί υψηλός βαθμός καθαρισμού για το test 5, όπου ένα επεξεργασμένο δείγμα περιεκτικότητας  $5,5 \text{ mg IN - ut 338 L}^{-1}$  συγκρίνεται με ένα ακατέργαστο.



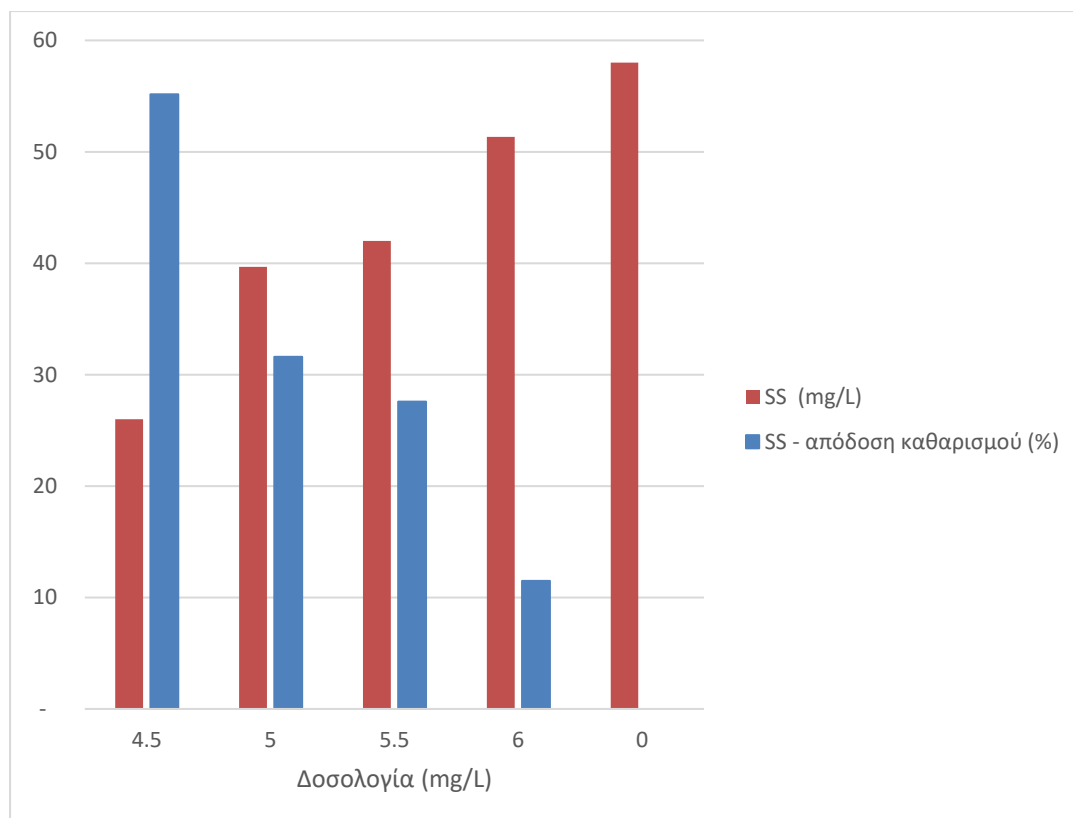
**Σχήμα 4.1.3.** Σύγκριση περιεκτικότητας SS και βαθμού καθαρισμού σε διάφορες δόσεις IN-ut 338 και ακατέργαστου δείγματος - test 5. Rpm: 500.



**Σχήμα 4.1.4.** Σύγκριση επεξεργασμένων λυμάτων με δοσολογία  $5,5 \text{ mg IN-ut } 338 \text{ L}^{-1}$  (αριστερά) με ακατέργαστο δείγμα (δεξιά) για το test 5.

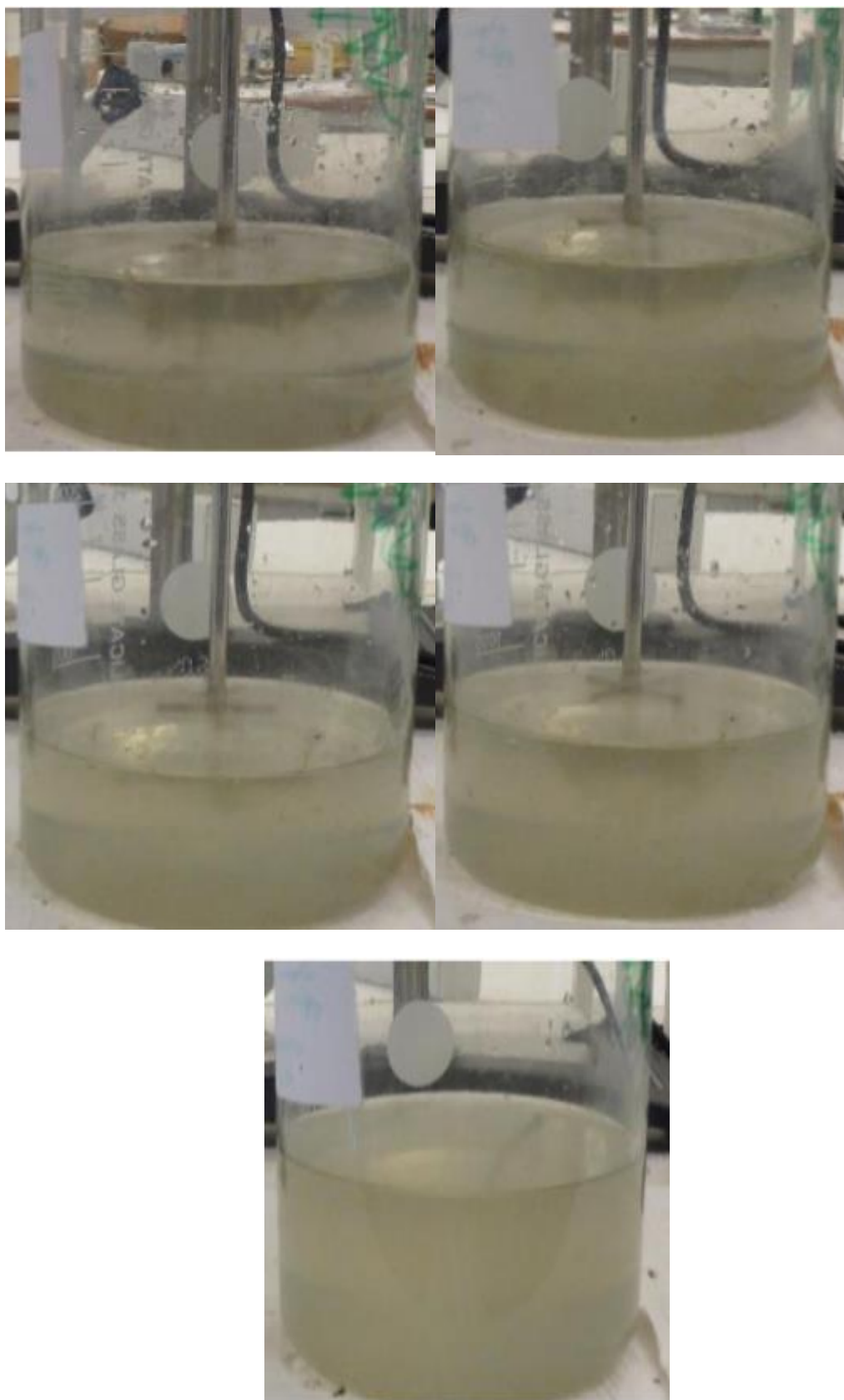
#### Test 6. 13.02.2018

Το δείγμα αποβλήτων που χρησιμοποιήθηκε στο test 6 είχε καθιζάνει για περίπου 15 λεπτά στη μονάδα καθαρισμού, λόγω διακοπής στην είσοδο. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να δημιουργηθεί ένα περιεχόμενο SS που αντιστοιχεί σε  $58 \pm 2 \text{ mg L}^{-1}$  στα λύματα (παράρτημα 2. φύλλο Excel 1.Test 6). Μελετώντας το Σχήμα 4.1.5, αποδεικνύεται πως η απόδοση καθαρισμού μειώνεται όταν η δοσολογία του IN-ut 338 αυξάνεται. Το αποτέλεσμα δείχνει ότι η δοσολογία  $4,5 \text{ mg L}^{-1}$  έχει τον υψηλότερο βαθμό καθαρισμού σε αυτή την περίπτωση, σε σύγκριση με υψηλότερες δοσολογίες. Αν και η χρησιμοποιούμενη μέθοδος δεν παρέχει επαρκή αναπαραγωγίμα αποτελέσματα, το δείγμα με  $4,5 \text{ mg IN-ut } 338 \text{ L}^{-1}$  περιέχει σημαντικά χαμηλότερα επίπεδα SS και, συνεπώς, μπορεί να θεωρηθεί ότι αποδίδει τον υψηλότερο βαθμό καθαρισμού, σε σύγκριση με τις υπόλοιπες δοσολογίες στο Test 6. Αυτό επιβεβαιώνεται από το Σχήμα 4.1.6, όπου χαμηλότερη δοσολογία IN-ut 338 παρέχει καθαρότερα λύματα.



**Σχήμα 4.1.5.** Σύγκριση βαθμίδων SS σε διαφορετικές δοσολογίες IN-ut 338 και ακατέργαστου δείγματος - Test 6. Rpm: 500.





**Σχήμα 4.1.6.** Σύγκριση επεξεργασμένων λυμάτων με διαφορετικές δοσολογίες IN-ut 338 - Test 6.  
Σειρά 1 από αριστερά: δοσολογία με  $4,5 \text{ mg L}^{-1}$ ,  $5,0 \text{ mg L}^{-1}$ . Σειρά 2 από αριστερά: δοσολογία με  $5,5 \text{ mg L}^{-1}$ ,  $6 \text{ mg L}^{-1}$ . Σειρά 3: ακατέργαστο δείγμα.

Τα Test 5 και 6 είναι δύο παραδείγματα υψηλής περιεκτικότητας σε SS ( $> 400 \text{ mg L}^{-1}$ ) και χαμηλής περιεκτικότητας σε SS ( $< 60 \text{ mg L}^{-1}$ ) στα λύματα. Και τα δύο Test εκτελούνται χρησιμοποιώντας την ίδια δοκιμαστική μέθοδο. Με βάση τα αποτελέσματα των Test 5 και 6, παρατηρείται ότι τα λύματα που περιέχουν χαμηλά επίπεδα SS είναι πιο ευαίσθητα στις δοσολογίες IN-ut 338. Έτσι, μια μικρή διαφορά στη δοσολογία ( $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ ) έχει μεγαλύτερη επίδραση στην απόδοση καθαρισμού κατά την επεξεργασία λυμάτων με χαμηλή περιεκτικότητα SS, σε σύγκριση με τα λύματα που έχουν υψηλή περιεκτικότητα SS.

Το γεγονός ότι η υψηλή περιεκτικότητα SS στα λύματα αποδίδει υψηλότερο βαθμό καθαρισμού για το IN-ut 338 σε σχέση με τα χαμηλότερα επίπεδα SS, συσχετίζεται με τα αποτελέσματα του Test 6, όπου ο υψηλότερος ρυθμός καθαρισμού για όλες τις δοσολογίες ήταν  $< 60\%$ . Αξίζει να σημειωθεί πως υπήρχε η πιθανότητα το Test 6 να έδινε υψηλότερη απόδοση καθαρισμού, αν δοκιμάζονταν χαμηλότερες δοσολογίες από  $4,5 \text{ mg L}^{-1}$  IN-ut 338. Η διαφορά στην περιεκτικότητα SS στα επεξεργασμένα δείγματα από τα Test 5 και 6 είχε λιγότερες διακυμάνσεις, αλλά υπερείχε προς το παρόν στο Test 5 (Παράρτημα 2. φύλλο Excel 1. Test 4 και 5).

Πρέπει να σημειωθεί ότι άλλοι παράγοντες, εκτός από την περιεκτικότητα των αποβλήτων σε αιωρούμενα στερεά, μπορεί να έχουν συμβάλει στις μεταβολές που αναφέρθηκαν παραπάνω μεταξύ των Test 5 και 6. Όσον αφορά το pH των λυμάτων, το IN-ut 338 φαίνεται να επηρεάζεται σε μικρό βαθμό εάν βρίσκεται στην περιοχή 5-11, πράγμα που ίσχυε και στα δύο παραπάνω Test. Το Test 1 διεξήχθη με απόβλητα που περιείχαν  $< 60 \text{ mg SS L}^{-1}$ , όπου όλες οι δοσολογίες έδειξαν βαθμό καθαρισμού  $< 60\%$ . Το γεγονός αυτό αποδεικνύει πως κατά την επεξεργασία λυμάτων με χαμηλή περιεκτικότητα σε SS, η απόδοση καθαρισμού είναι χαμηλότερη. (Παράρτημα 2. Φύλλο Excel 1. Δοκιμή 1)

#### Σύγκριση των Test 11, 12 και 13

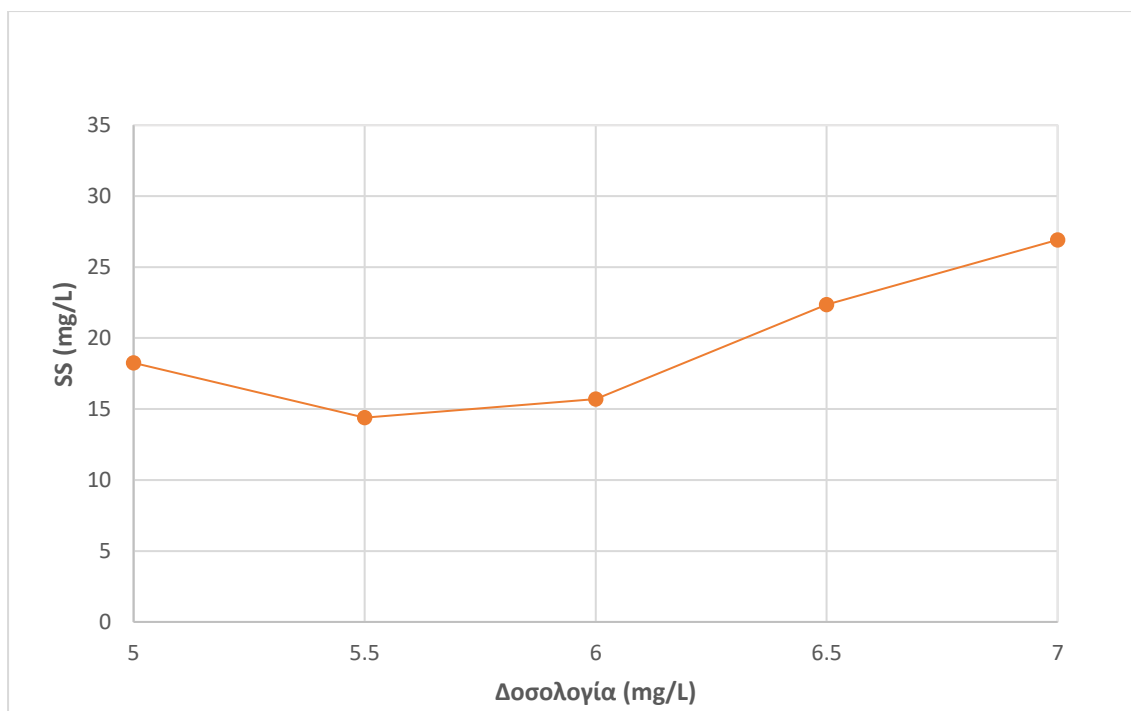
Τα Test 11, 12 και 13 πραγματοποιούνται με την τελική μέθοδο, σημειώνοντας ότι το Test 11 στερείται της μέτρησης θολερότητας. Τα Test έχουν περίπου παρόμοια περιεκτικότητα σε SS στα ακατέργαστα δείγματα (περίπου  $100 \text{ mg L}^{-1}$ ) και, επομένως, τα αποτελέσματα έχουν αναμιχθεί. Με βάση τις προηγούμενες δοκιμές, η βέλτιστη δόση IN-ut 338 εκτιμάται ότι κυμαίνεται από  $5 - 7 \text{ mg L}^{-1}$ , η οποία συμπεριλήφθηκε για περαιτέρω Test. Δεδομένου ότι υπάρχει μικρή διακύμανση για τα ακατέργαστα δείγματα στα διάφορα Test ( $98 - 102 \text{ mg SS L}^{-1}$ ), η σύγκριση της περιεκτικότητας SS στα Test διαφορετικής δοσολογίας σταθμίζεται σε σχέση με τον βαθμό καθαρότητας, που εξαρτάται από το ακατέργαστο δείγμα.

Από τα συγκεντρωμένα αποτελέσματα παρατηρήθηκε ότι η δοσολογία των 5,5 mg IN-ut 338 L<sup>-1</sup> έχει το υψηλότερο αποτέλεσμα καθαρισμού, με βάση την περιεκτικότητα σε SS και το βαθμό καθαρισμού (Πίνακας 4.1.1, Σχήμα 4.1.7). Η δοσολογία 5,5 mg L<sup>-1</sup> απέδωσε μέση περιεκτικότητα SS 14,4 ± 0,3 mg L<sup>-1</sup>, που αντιστοιχεί σε καθαρισμό 85 ± 12 %. Υπάρχει μια ελάχιστη διαφορά μεταξύ του τελευταίου και των 6 mg L<sup>-1</sup>, που δείχνει περιεκτικότητα SS 15,7 ± 1,2 mg L<sup>-1</sup>, με αντίστοιχο βαθμό καθαρισμού 84 ± 10 %. Επομένως, η βέλτιστη δοσολογία IN-ut 338 εκτιμάται ότι κυμαίνεται από 5,5 έως 6 mg L<sup>-1</sup>. Δεδομένου ότι δοκιμάστηκαν διαφορετικές δοσολογίες για κάθε Test, θα πρέπει να σημειωθεί πως επικράτησαν διαφορετικοί αριθμοί παραλλήλων για τις κατάλληλες δοσολογίες (Παράρτημα 2. Φύλλο Excel 1. Σύγκριση των Test 11, 12 και 13, Πίνακας: SS mg L<sup>-1</sup>).

Με βάση τον Πίνακα 4.1.1, η θολερότητα μειώνεται με αυξημένη δοσολογία IN-ut 338, ενώ η δοσολογία 6,5 mg IN-ut 338 L<sup>-1</sup> παρουσιάζει το χαμηλότερο περιεχόμενο θολερότητας, που αντιστοιχεί σε 8.6 ± 0.5 NTU.

Δοσολογία	SS (mg L <sup>-1</sup> )	SS – απόδοση καθαρισμού (%)	Θολερότητα (NTU)	Θολερότητα – απόδοση καθαρισμού (%)
5	18,3 ± 3,1	81 ± 17	14,8 ± 0,4	72 ± 3
5,5	14,4 ± 1,4	85 ± 12	10,9 ± 0,4	78 ± 7
6	15,7 ± 1,2	84 ± 10	9,2 ± 0,4	81 ± 5
6,5	22,4 ± 2,1	78 ± 13	8,6 ± 0,5	82 ± 4
7	26,9 ± 1,4	74 ± 6		
<b>ακατέργαστο</b>	99,4 ± 2,2		49,8 ± 0,5	

**Πίνακας 4.1.1.** Απόδοση καθαρισμού σε διάφορες δοσολογίες IN-ut 338 για σύγκριση των αποτελεσμάτων των Test 11, 12 και 13.



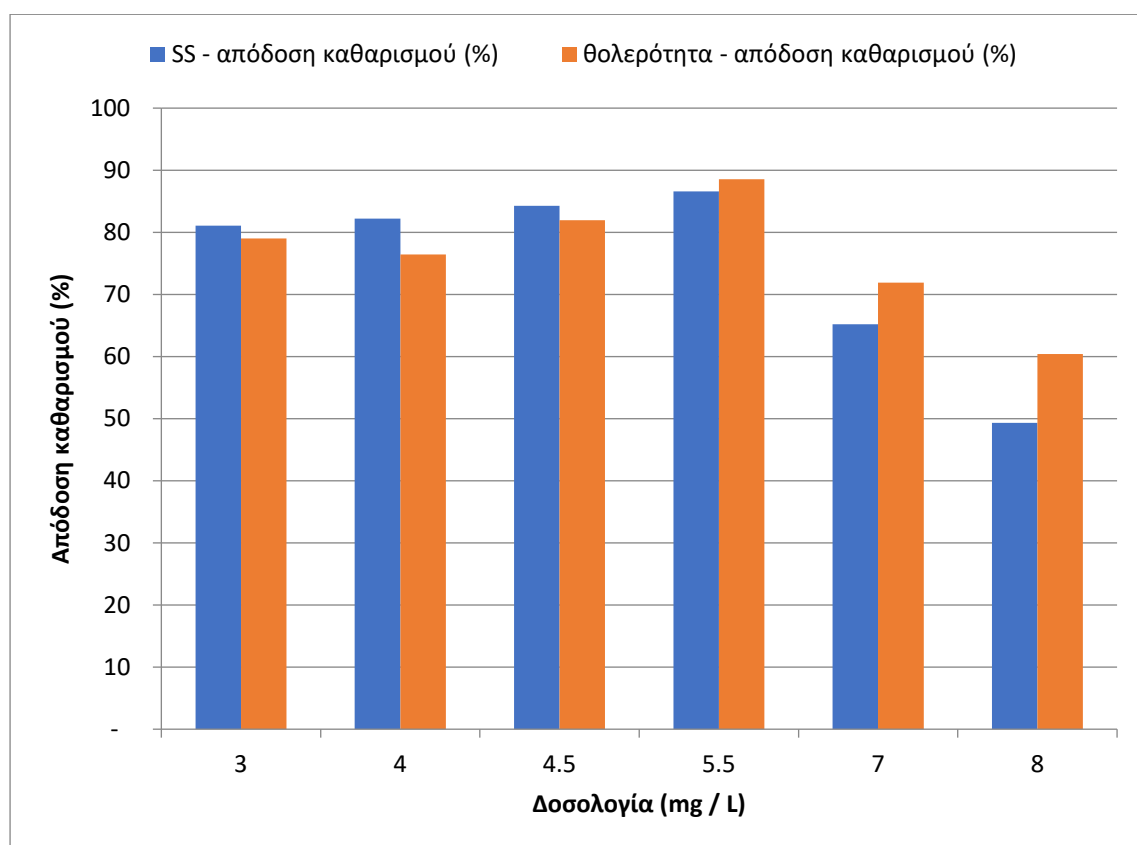
**Σχήμα 4.1.7.** Μέση περιεκτικότητα SS σε διαφορετικές δοσολογίες IN-ut 338 για τα Test 11, 12 και 13. Τα Test πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας την τελική μέθοδο. Μέση περιεκτικότητα SS σε ακατέργαστο δείγμα:  $99,4 \pm 2,2 \text{ mg L}^{-1}$ . Rpm: 600.

#### Test 14. 22.03.2018 και 23.03.2018

Το Test 14 διεξήχθη για το σκοπό της δοκιμής μιας ευρύτερης περιοχής δοσολογίας επιπλέον της συλλογής δεδομένων για θολερότητα. Δεδομένου ότι τα λύματα είχαν κάπως υψηλότερη περιεκτικότητα σε SS από ότι για τα Test 11, 12 και 13, το Test 14 εξαιρέθηκε από τη σύγκριση. Από τον Πίνακα 4.1.2 και την Εικόνα 4.1.8, όπως αναμενόταν, παρατηρείται το υψηλότερο αποτέλεσμα καθαρισμού για τη δοσολογία με  $5.5 \text{ mg IN-ut L}^{-1}$ . Ωστόσο, υπάρχει μικρή διαφορά μεταξύ των  $5,5 \text{ mg L}^{-1}$  και της δεύτερης «καλύτερης» δοσολογίας,  $4,5 \text{ mg L}^{-1}$ , με απόδοση καθαρισμού  $87 \pm 13\%$  και  $84 \pm 3\%$ , αντίστοιχα. Μεγαλύτερες διαφορές μεταξύ δοσολογιών παρατηρούνται για Test θολερότητας με απόδοση καθαρισμού  $89 \pm 3\%$  και  $82 \pm 4\%$ , αντίστοιχα. Δοσολογία των  $7 \text{ mg L}^{-1}$  έδωσε επαρκή αύξηση θολερότητας με απόδοση καθαρισμού  $72 \pm 3 \%$ . Για συλλογή εικόνων των δοκιμών από το Test 14, βλ. παράρτημα 4, καθώς και τις εικόνες από το Test 14.

Δοσολογία (mg L <sup>-1</sup> )	SS (mg L <sup>-1</sup> )	SS – απόδοση καθαρισμού (%)	Θολερότητα (NTU)	Θολερότητα – απόδοση καθαρισμού (%)
3	21,7 ± 1,9	81 ± 9	12,9 ± 0,4	79 ± 3
4	20,3 ± 0,7	82 ± 4	14,5 ± 0,3	76 ± 2
4,5	18 ± 0,5	84 ± 3	11,1 ± 0,4	82 ± 4
5,5	15,3 ± 1,9	87 ± 13	7 ± 0,2	89 ± 3
7	39,8 ± 2,3	65 ± 6	17,3 ± 0,5	72 ± 3
8	58 ± 2,5	49 ± 4	24,4 ± 0,9	60 ± 4
<b>ακατέργαστο</b>	114,4 ± 1,3		61,5 ± 0,4	

Πίνακας 4.1.2. Απόδοση καθαρισμού SS και θολερότητας σε διάφορες δοσολογίες IN-ut 338 για το Test 14.



Σχήμα 4.1.8. Η απόδοση καθαρισμού της θολερότητας και των SS σε διάφορες δοσολογίες IN- ut 338 για το Test 14. Περιεκτικότητα σε ακατέργαστο δείγμα περιεχομένου SS: 114,4 ± 1,3. Ακατέργαστο δείγμα θολερότητας: 61,5 ± 0,4 NTU. Rpm: 600.

Με βάση τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στα Test 11-14, η δοσολογία 5,5 mg IN-ut 338 L<sup>-1</sup> ενδείκνυται ως η πλέον αποτελεσματική δοσολογία για την

απομάκρυνση των SS στην επεξεργασία λυμάτων που περιέχουν περίπου 100 mg SS L<sup>-1</sup>. Υπάρχει μια μικρή διαφορά μεταξύ των 5,5 mg L<sup>-1</sup> και της δεύτερης καλύτερης δοσολογίας, 6 mg L<sup>-1</sup>. Λόγω του διαφορετικού αριθμού παραλλήλων που πραγματοποιήθηκαν για τις αντίστοιχες δοσολογίες και της αβεβαιότητας στη διαδικασία, τα αποτελέσματα δεν είναι κατάλληλα για να γίνει διάκριση μεταξύ της διαφοράς δοσολογίας των 0,5 mg L<sup>-1</sup>. Η αποτελεσματικότητα του IN-ut 338 όσον αφορά τη θολερότητα, υποδεικνύει μια τάση στην οποία η απόδοση αυξάνεται με αυξανόμενες δοσολογίες μέχρι 6,5 mg L<sup>-1</sup>, αλλά με μικρές διακυμάνσεις μεταξύ 5,5 - 6,5 mg L<sup>-1</sup>.

## 4.2 Ταχύτητα κλίσης

Η δοσολογία των 5,5 mg IN-ut 338 L<sup>-1</sup> έχει αποδειχθεί ότι έχει καλή επίδραση σε όλες τις δοκιμές στην εργασία, όσον αφορά την περιεκτικότητα σε SS (εκτός από το Test 6), όσο και τη θολερότητα. Ως εκ τούτου, η δοσολογία 5,5 mg L<sup>-1</sup> χρησιμοποιείται στην εργασία για να βρεθεί η βέλτιστη βαθμίδα ταχύτητας με βάση την ταχύτητα ανάμιξης. Υπάρχουν αρκετές εκτιμώμενες μεταβλητές κατά τον υπολογισμό της τιμής G με βάση την ταχύτητα και θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι οι ακόλουθες τιμές G που παρουσιάζονται είναι κατά προσέγγιση τιμές.

### Test 15. 27.03.2018 και 28.03.2018

Ο Πίνακας 4.2.1 δείχνει τιμές ταχύτητας 1200 – 1400 rpm, που αντιστοιχούν σε τιμές G από περίπου 2700 - 3400 s<sup>-1</sup>, για να δοθεί η υψηλότερη απόδοση καθαρισμού, βαθμού 88 ± 3%. Το σχήμα 4.2.1 δείχνει μια σχετικά απότομη αύξηση από περίπου 100 s<sup>-1</sup> έως περίπου 1500 s<sup>-1</sup>, παρουσιάζοντας καθαρισμό 87 ± 6%. Επομένως, υπάρχει μικρή διαφορά στο βαθμό καθαρισμού μεταξύ τιμής G από 1500 s<sup>-1</sup> έως 3400 s<sup>-1</sup>. Η υψηλότερη τιμή G οδήγησε σε βλάβη των flocs, γεγονός που εκφράζεται από τη μείωση της απόδοσης καθαρισμού.

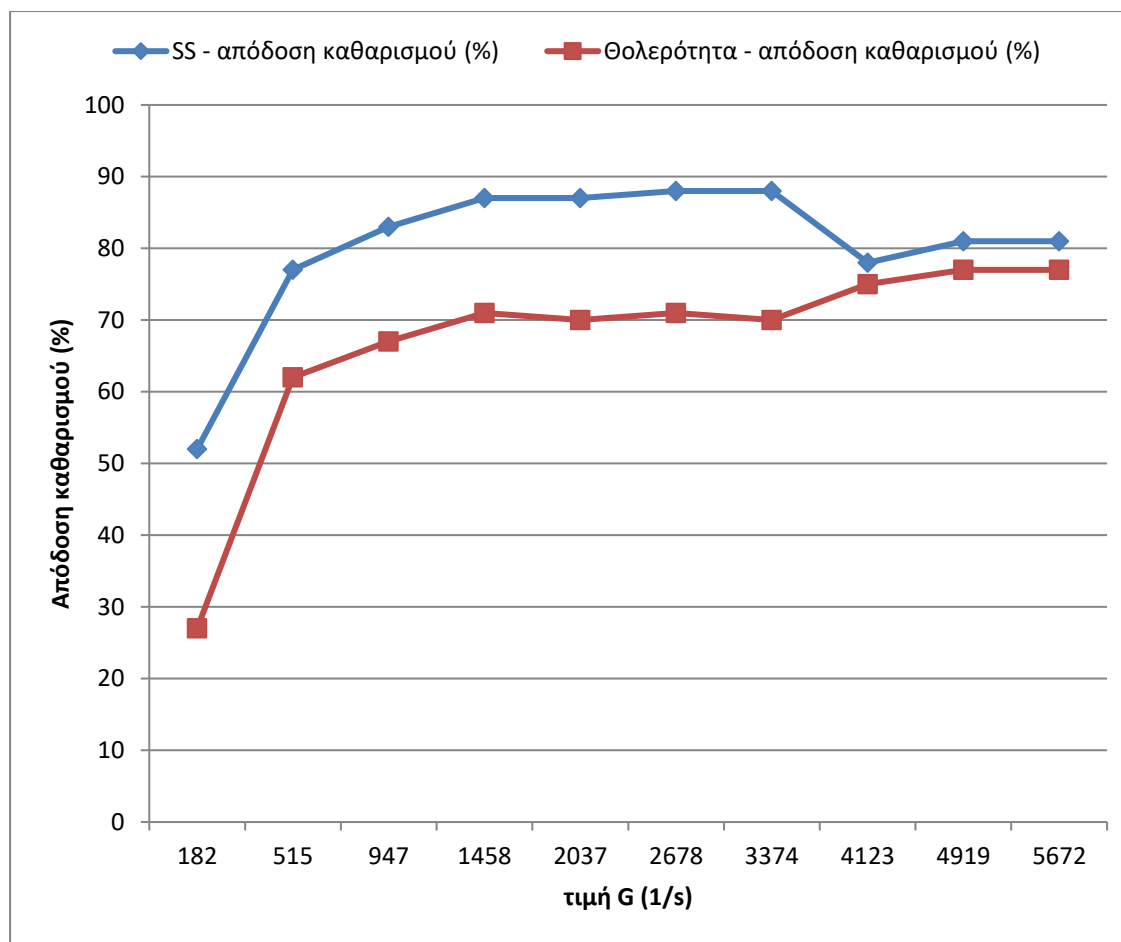
Όσον αφορά την απομάκρυνση της θολερότητας, η καμπύλη παρουσιάζει την ίδια τάση με αυτή της απομάκρυνσης των SS, έως μια τιμή G περίπου 1500 s<sup>-1</sup>, όπου από την επίδραση καθαρισμού αυξάνεται και επιτυγχάνεται απόδοση καθαρισμού 77 ± 2% σε περίπου 5760 s<sup>-1</sup>. Αυτό αντιστοιχεί σε ταχύτητα 2000 rpm, που είναι η μέγιστη χωρητικότητα του mixer.

Σε σύγκριση με τη μελέτη που πραγματοποιήθηκε από τους Huaii Zheng et al (Κεφάλαιο 4.6), η οποία αξιολόγησε μεταξύ άλλων την επίδραση διαφόρων ρυθμών ανάμιξης πολυμερισμού, θειικό χλωριούχο αργίλιο, το IN- ut 338 δείχνει ότι

επικεντρώνεται σε ισχυρότερους ενδομοριακούς δεσμούς, που «ανέχονται» σημαντικά υψηλότερες εντάσεις ανάμιξης (600 rpm έναντι 2000 rpm). Τα ισχυρά flocs είναι ευεργετικά στη διαδικασία διαχωρισμού, η οποία ασκεί μεγάλη πίεση σε αυτά.<sup>14</sup> Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι οι διαφορετικές υποθέσεις ανάμιξης για τα Test δεν τα καθιστούν ιδανικά για σύγκριση.

RPM	Τιμή G	SS (mg L <sup>-1</sup> )	SS - απόδοση καθαρισμού (%)	Θολερότητα (NTU)	Θολερότητα – απόδοση καθαρισμού (%)
200	182	33,1 ± 0,3	52 ± 2	29 ± 1,1	27 ± 5
400	515	15,6 ± 0,4	77 ± 3	14,9 ± 0,1	62 ± 2
600	947	11,8 ± 0,2	83 ± 2	13,1 ± 0,1	67 ± 2
800	1458	9 ± 0,5	87 ± 6	11,4 ± 0,4	71 ± 4
1000	2037	9,3 ± 0,2	87 ± 3	11,7 ± 0,4	70 ± 4
1200	2678	8,5 ± 0,2	88 ± 3	11,3 ± 0,1	71 ± 2
1400	3374	8,5 ± 0,2	88 ± 3	11,9 ± 0,1	70 ± 2
1600	4123	14,9 ± 0,1	78 ± 1	9,7 ± 0,2	75 ± 3
1800	4919	13,3 ± 0,3	81 ± 3	9,1 ± 0,3	77 ± 4
2000	5672	13,5 ± 1,3	81 ± 10	8,9 ± 0	77 ± 2
<b>ακατέργαστο</b>		69,2 ± 0,9		39,5 ± 0,9	

**Πίνακας 4.2.1.** Απόδοση καθαρισμού σε διαφορετικές στροφές ανά λεπτό (rpm) με σχετική τιμή G για δοσολογία 5,5 mg L<sup>-1</sup> IN-ut 338 για το Test 15.



**Σχήμα 4.2.1.** Απόδοση καθαρισμού SS και θολερότητας σε διαφορετικές τιμές G για το Test 15. Δοσολογία:  $5,5 \text{ mg L}^{-1}$ . SS στο ακατέργαστο δείγμα:  $69,2 \text{ mg L}^{-1}$ . Θολερότητα στο ακατέργαστο δείγμα:  $39,5 \text{ NTU}$ .

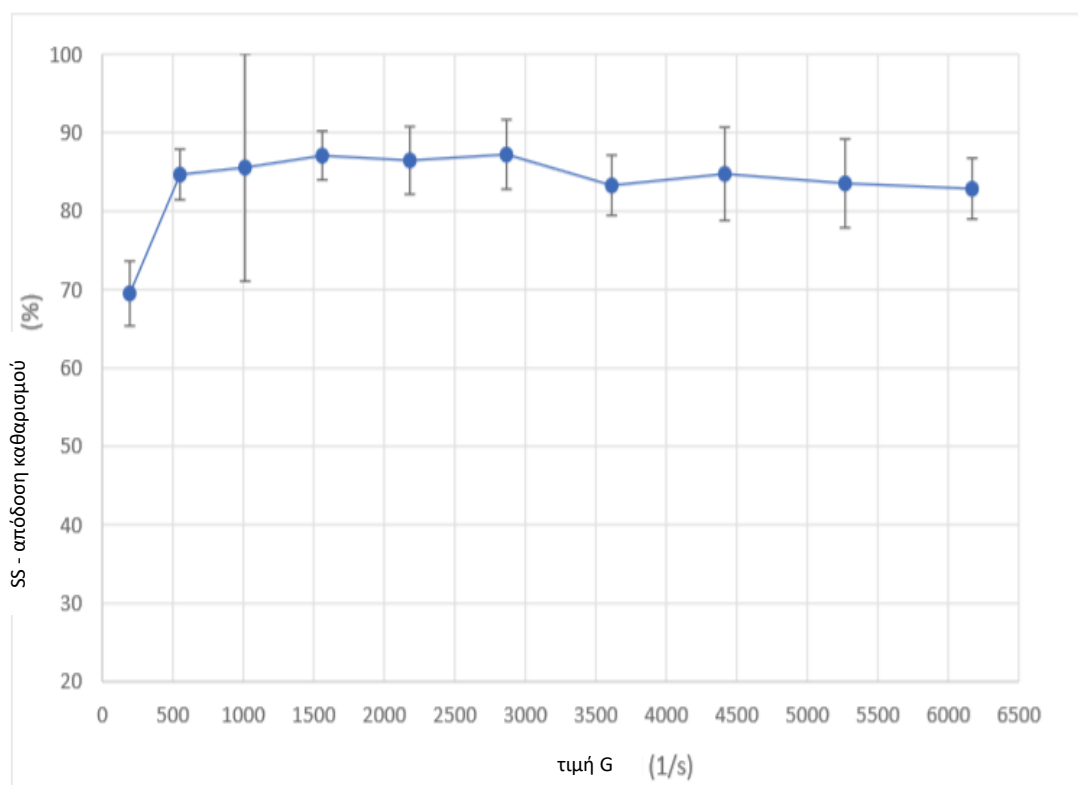
#### Test 16. 03.04.2018 και 04.04.2018

Καθώς το Test 15 διεξήχθη με απόβλητα που περιείχαν λιγότερο από  $70 \text{ mg SS L}^{-1}$ , χρησιμοποιήθηκαν οι ίδιοι ρυθμοί ανάμιξης για το Test 16, με την πρόβλεψη ότι τα λύματα θα είχαν υψηλότερη περιεκτικότητα σε SS. Η μέση περιεκτικότητα SS και θολερότητας στα λύματα κυμαινόταν μεταξύ των δύο ημερών που διήρκεσε το Test 16. Την πρώτη ημέρα, η περιεκτικότητα ήταν  $181,5 \pm 0,4 \text{ mg SS L}^{-1}$  και  $96,1 \pm 0,9 \text{ NTU}$ . Οι ταχύτητες που δοκιμάστηκαν ήταν 200-600 rpm. Τη δεύτερη ημέρα, η περιεκτικότητα ήταν  $191,8 \pm 0,7 \text{ mg SS L}^{-1}$  και  $104,3 \pm 0,4 \text{ NTU}$  (Παράρτημα 2. Φύλλο Excel 2. Test 16). Η ταχύτητα δοκιμάστηκε από 800-2000 RPM. Ο λόγος για τον οποίο εκείνη αυξήθηκε οφείλεται στην ανάπτυξη βακτηρίων στα λύματα.

Στο Σχήμα 4.2.2 παρουσιάζεται μια παρόμοια καμπύλη της απόδοσης καθαρισμού SS όπως για το Test 14, αλλά όλες οι χαμηλότερες τιμές G (περίπου  $200\text{-}1000 \text{ s}^{-1}$ ) δείχνουν υψηλότερο βαθμό καθαρισμού, σε σύγκριση με το Σχήμα 4.2.1. Η αιτία ανισότητας εξηγείται από το γεγονός ότι ο ρυθμός σύγκρουσης μεταξύ των



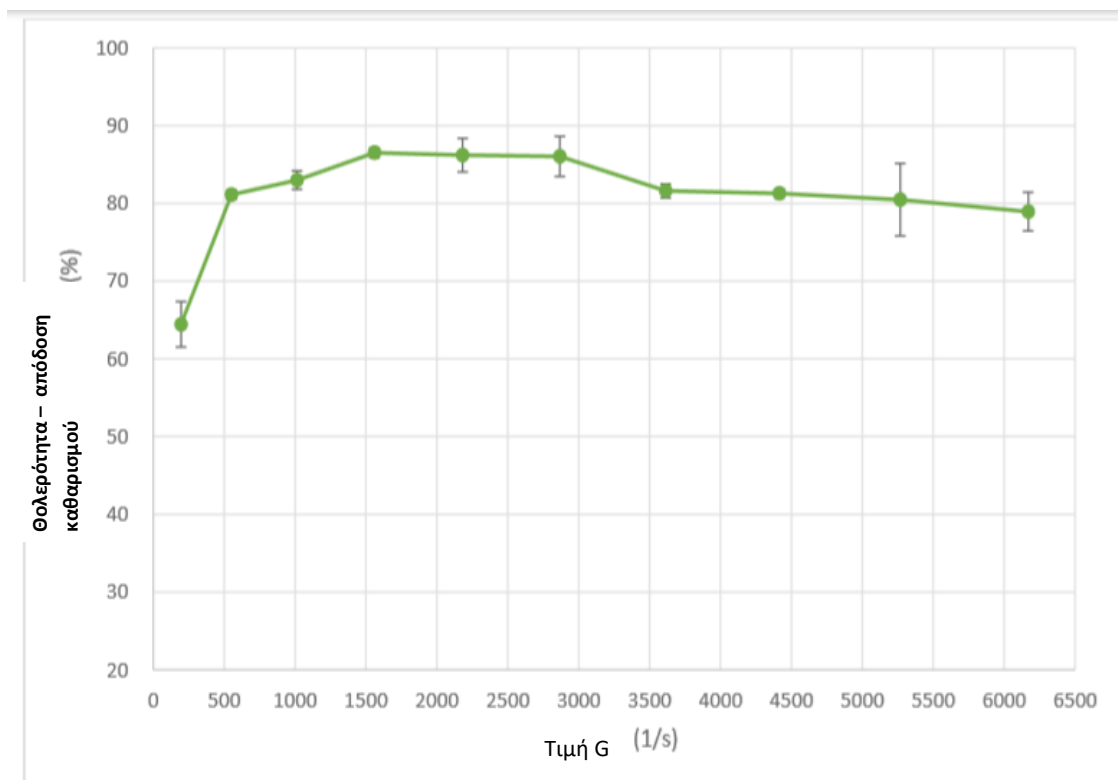
σωματιδίων και του IN-ut 338 για το Test 15 ήταν πολύ χαμηλός σε χαμηλές τιμές  $G$ , λόγω της χαμηλής περιεκτικότητας σε σωματίδια. Στο Σχήμα 4.2.2, ο υψηλότερος βαθμός καθαρισμού για το Test 16 μπορεί να παρατηρηθεί στην περιοχή από περίπου  $1500 - 2900 \text{ s}^{-1}$ , που αντιστοιχεί σε  $87 \pm 1,1 \%$  (παράρτημα 2. φύλλο Excel 2. Test 16). Η μείωση της απόδοσης καθαρισμού των SS παρατηρείται επομένως σε χαμηλότερη τιμή  $G$  από ότι για το Test 15. Σύμφωνα με άλλες μελέτες σχετικά με τη δύναμη των flocs, έχει προταθεί ότι η ισχύς των δεσμών σε αυτά μειώνεται όταν το μέγεθός τους αυξάνεται.<sup>21</sup> Καθώς το δείγμα αποβλήτων για το Test 16 περιείχε υψηλότερη συγκέντρωση SS από ότι για το Test 15 και, συνεπώς, έχει υψηλότερο ρυθμό σύγκρουσης, μπορεί να προκάλεσε αυξημένο μέσο μέγεθος των flocs. Με βάση τους μελετητές, απαιτείται λιγότερη ενέργεια για τη διάσπαση των δεσμών στα flocs, πράγμα που μπορεί να εξηγήσει ότι ο βαθμός καθαρισμού μειώνεται σε χαμηλότερη τιμή  $G$  στο Test 16, σε σύγκριση με το Test 15.



**Σχήμα 4.2.2.** SS σε διαφορετικές τιμές  $G$  για το Test 16. Δοσολογία:  $5,5 \text{ mg L}^{-1}$ . SS σε ακατέργαστο δείγμα για τιμή  $G \leq 1000 \text{ s}^{-1}$ :  $181,5 \pm 0,4 \text{ mg L}^{-1}$ . SS σε ακατέργαστο δείγμα για τιμή  $G > 1000 \text{ s}^{-1}$ :  $191,8 \pm 0,7 \text{ mg L}^{-1}$ .

Τα αποτελέσματα, όσον αφορούν τη θολερότητα για το Test 16, δείχνουν σημαντικά υψηλότερο βαθμό καθαρισμού για τιμές  $G > 3000 \text{ s}^{-1}$ , σε σύγκριση με το Test 15 (Εικόνα 4.2.3). Ο υψηλότερος βαθμός καθαρισμού που παρατηρήθηκε ήταν

$87 \pm 3\%$  σε τιμή  $G$  περίπου  $1500 \text{ s}^{-1}$ , ενώ το Test 15 είχε μέγιστο βαθμό καθαρισμού  $77 \pm 2\%$  σε περίπου  $5760 \text{ s}^{-1}$  (Παράρτημα 2. Φύλλο Excel 2. Test 15 και 16). Έτσι, τα αποτελέσματα ακολουθούν την ίδια πορεία με τα αποτελέσματα των SS και υποστηρίζουν την υπόθεση του αυξημένου μεγέθους των flocs, ως εξήγηση της διακύμανσης μεταξύ των Test.



**Σχήμα 4.2.3.** Απόδοση καθαρισμού θολερότητας σε διάφορες τιμές  $G$  για το Test 16. Δοσολογία:  $5,5 \text{ mg L}^{-1}$ . Θολερότητα σε ακατέργαστο δείγμα:  $96,1 \pm 0,9 \text{ NTU}$ .

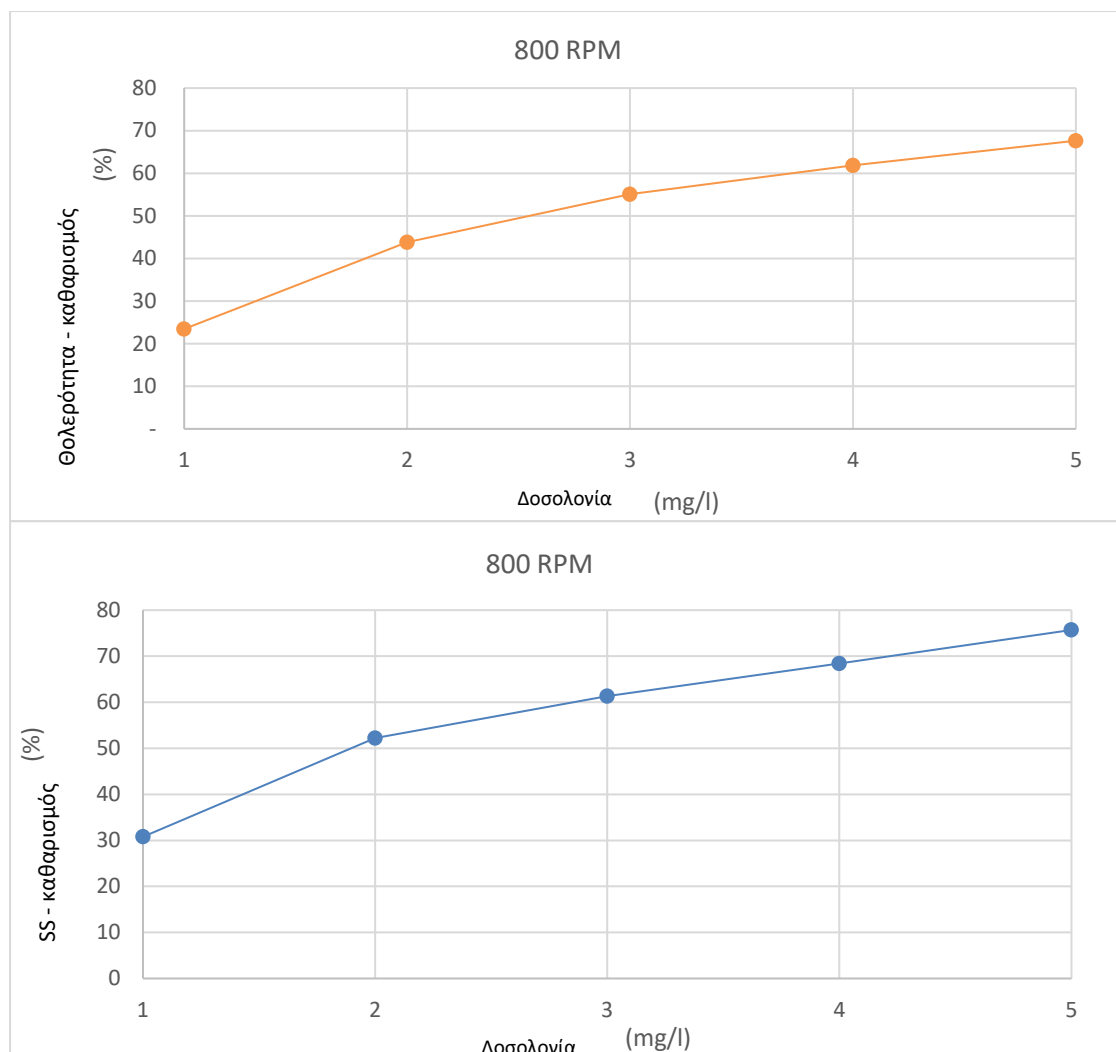
Οι τιμές  $G$  μεταξύ  $1500 - 2900 \text{ s}^{-1}$  (ισοδύναμες με  $800 - 100 \text{ rpm}$ ) βρίσκονται στο βέλτιστο εύρος για απομάκρυνση των SS στα Test 15 και 16, σε δοσολογία  $5,5 \text{ mg L}^{-1}$  IN-υτ 338. Η θολερότητα του Test 16 δείχνει επίσης τον υψηλότερο βαθμό καθαρισμού εντός αυτής της περιοχής. Μια τιμή  $G$  περίπου  $2900 \text{ s}^{-1}$  δίνει τον υψηλότερο βαθμό καθαρισμού SS και για τα δύο Test, αλλά, λόγω της μικρής διαφοράς στην περιοχή, συμπεριλαμβάνονται οι ταχύτητες και των  $800 \text{ rpm}$  και των  $1200 \text{ rpm}$  για περαιτέρω δοκιμές.

### 4.3 Δοσολογία με επιθυμητή ταχύτητα

Οι δοσολογίες IN - ut 338 < 5,5 mg L<sup>-1</sup> έχουν δοκιμαστεί με επιθυμητές τιμές rpm. Σκοπός ήταν να εκτιμηθεί η χαμηλότερη δόση του IN-ut 338 που μπορεί να παράσχει επαρκές αποτέλεσμα καθαρισμού. Η τιμή των 20 mg SS L<sup>-1</sup> είναι μια κοινή τιμή για τα επεξεργασμένα αστικά λύματα.<sup>1</sup> Καθώς οι απαιτήσεις για τις τιμές SS ποικίλλουν ευρέως μεταξύ των μονάδων επεξεργασίας, η περιεκτικότητα των 20 mg L<sup>-1</sup> SS θεωρείται επαρκής για το έργο αυτό.

#### Test 17. 12.04.2018 και Test 18. 13.04.2018

Τα Test 17 και 18 πραγματοποιήθηκαν την ίδια χρονική περίοδο. Και οι δύο δοκιμές έδειξαν έναν γενικά χαμηλότερο βαθμό καθαρισμού για όλες τις δοσολογίες, από ότι έχει παρατηρηθεί σε προηγούμενα Test. (Παράρτημα 2. φύλλο Excel 3. Test 17 και 18). Καθώς και τα δύο Test έδειξαν την ίδια τάση για όλες τις δοσολογίες, τόσο ως προς τα SS όσο και ως προς τη θολερότητα (Σχήμα 4.3.1), είναι πολύ πιθανό να έχουν γίνει λάθη κατά την εφαρμογή της μεθόδου. Τα συστατικά στα λύματα ή ένα σφάλμα κατά την παρασκευή του διαλύματος IN - ut 338 μπορεί να έχουν προκαλέσει μειωμένη επίδραση του IN - ut 338. Σε αυτή την περίπτωση, δεν υπάρχει καλή εξήγηση, καθώς η δομή του IN - ut 338 είναι εμπιστευτική, ο μηχανισμός είναι εν μέρει άγνωστος και έχουν μετρηθεί λίγες παράμετροι των λυμάτων. Το pH και η θερμοκρασία είχαν φυσιολογικές τιμές.



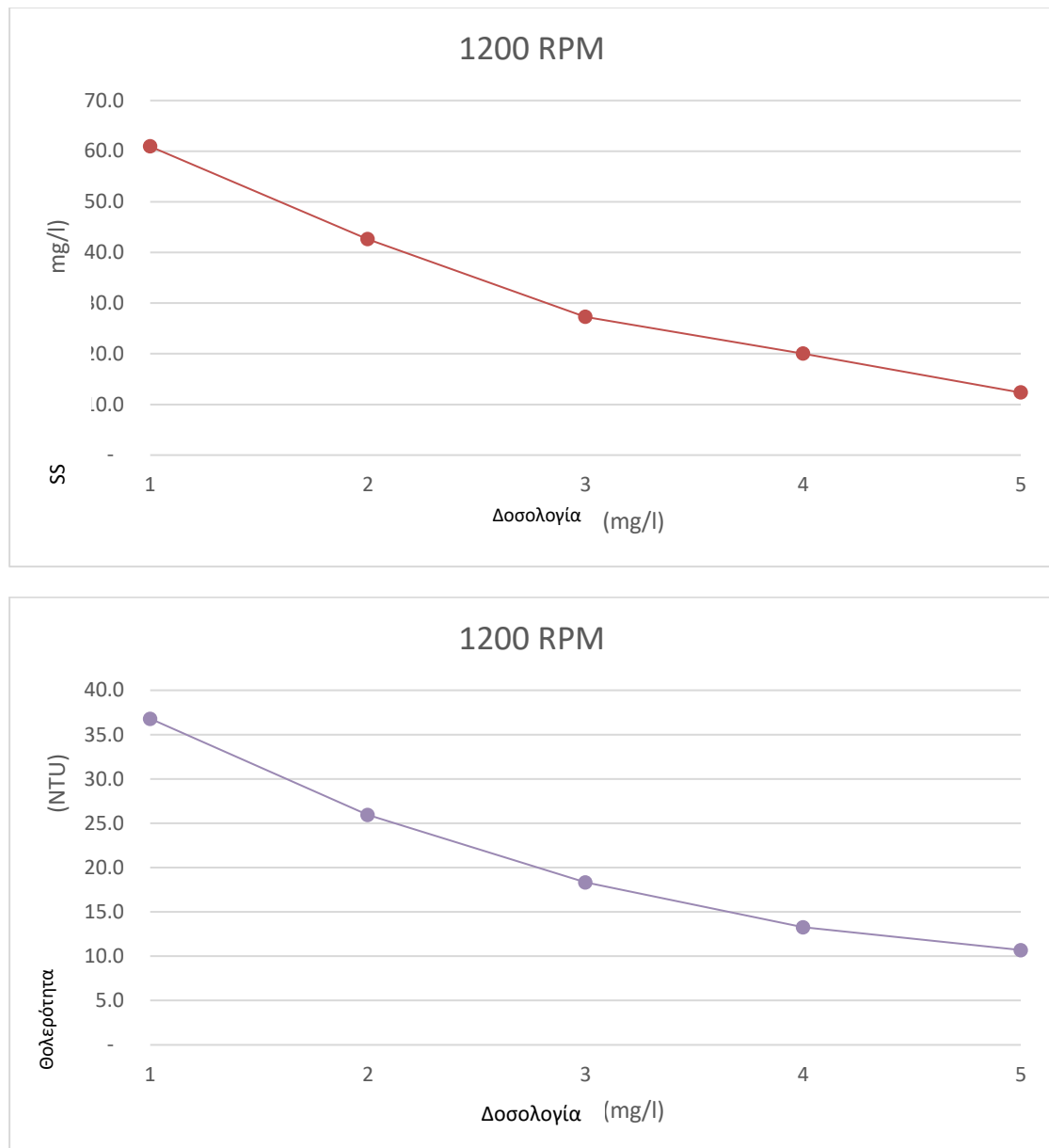
**Σχήμα 4.3.1.** Θολερότητα και SS: απόδοση καθαρισμού σε διάφορες δόσεις IN - ut 338 - Test 17. Ο υψηλότερος βαθμός καθαρισμού ήταν <80% για SS και <70% για θολερότητα.

#### Test 19. 20.04.2018

Λόγω του αποκλίνοντος βαθμού απόδοσης στα Test 17 και 18, διεξήχθη μια νέα δοκιμή. Εφόσον η ταχύτητα των 1200 rpm έδειξε τον υψηλότερο βαθμό καθαρισμού στις προηγούμενες δοκιμές, η ίδια χρησιμοποιήθηκε για το Test 19.

Από το Σχήμα 4.3.2, μπορεί να παρατηρηθεί ένα ακατέργαστο δείγμα που περιέχει μόλις πάνω από 100 mg SS L<sup>-1</sup> και θολερότητα μόλις πάνω από 50 NTU. Το γράφημα δείχνει ότι η δοσολογία των 5 mg L<sup>-1</sup> είναι πιο αποτελεσματική, τόσο στην απομάκρυνση των SS, όσο και στη θολερότητα με περιεκτικότητα 12,3 ± 1,3 mg SS L<sup>-1</sup> και 10,7 ± 0,1 NTU, αντίστοιχα (παράρτημα 2. Φύλλο Excel 3. Test 19). Περαιτέρω, η δοσολογία 4 mg IN - ut 338 L<sup>-1</sup> δείχνει περιεκτικότητα δείγματος 20 ± 0,5 mg L<sup>-1</sup> SS

και μπορεί συνεπώς να θεωρηθεί ότι παρέχει επαρκές αποτέλεσμα καθαρισμού υπό τις δεδομένες συνθήκες.



**Σχήμα 4.3.2.** Περιεκτικότητα σε αιωρούμενα στερεά (SS) και θολερότητα σε διάφορες δοσολογίες IN - υτ 338 και ακατέργαστο δείγμα - Test 19.

## Κεφάλαιο 5. Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η περιεκτικότητα σε SS στα απόβλητα επηρεάζει την απόδοση του IN - ut 338 και η βέλτιστη δοσολογία εξαρτάται ως εκ τούτου από τη συγκέντρωση των SS στα λύματα. Οι χαμηλές δοσολογίες ( $4,5 \text{ mg IN - ut 338 L}^{-1}$ ) θεωρείται ότι έχουν την υψηλότερη απόδοση στα λύματα που περιέχουν χαμηλές ποσότητες SS (περίπου  $50 \text{ mg SS L}^{-1}$ ), σε χρόνο ανάμιξης 15 δευτερολέπτων και ρυθμό ανάμιξης 500 rpm. Τα αποτελέσματα δείχνουν επίσης ότι η ιλύς καθαρισμού λυμάτων με χαμηλή περιεκτικότητα σε SS είναι πιο ευαίσθητη σε δοσολογίες IN-ut 338, σε σύγκριση με τα λύματα που έχουν υψηλή περιεκτικότητα SS ( $400 \text{ mg SS L}^{-1}$ ), η οποία έχει μεγαλύτερο εύρος δοσολογίας που προσφέρει ικανοποιητική απόδοση καθαρισμού. Συνεπώς, όταν χρησιμοποιείται το IN-ut 338 για την επεξεργασία των λυμάτων, η δοσολογία θα πρέπει να προσαρμόζεται σε σχέση με την περιεκτικότητα των αιωρούμενων σωματιδίων στα στερεά απόβλητα, τόσο από οικονομική άποψη όσο και για να επιτυγχάνεται υψηλότερος βαθμός καθαρισμού.

Για τα λύματα που περιέχουν περίπου  $100 \text{ mg SS L}^{-1}$  με ανάμιξη 15 δευτερολέπτων και ρυθμό ανάμιξης 600 rpm, δοσολογία των  $5,5 \text{ mg IN - ut 338 L}^{-1}$  αποδίδει το υψηλότερο αποτέλεσμα καθαρισμού των SS, που παρατηρήθηκε να είναι  $14,4 \pm 1,4 \text{ mg L}^{-1}$ . Υπάρχει ελάχιστη διαφορά με τη δεύτερη καλύτερη δοσολογία των  $6,0 \text{ mg L}^{-1}$  με περιεκτικότητα SS  $15,7 \pm 1,2 \text{ mg L}^{-1}$ . Λόγω των ετερογενών χαρακτηριστικών των λυμάτων και του διαφορετικού αριθμού ζευγών δειγμάτων, τα αποτελέσματα αυτά δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διαφοροποίηση μεταξύ των δύο δοσολογιών. Κατά συνέπεια, η βέλτιστη δοσολογία IN - ut 338 μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι μεταξύ  $5,5$  έως  $6,0 \text{ mg IN - ut 338 L}^{-1}$  υπό τις δεδομένες συνθήκες. Σε υψηλότερες δοσολογίες, το αποτέλεσμα καθαρισμού μειώνεται. Όσον αφορά την επίδραση καθαρισμού της θολερότητας υπό τις ίδιες συνθήκες ανάμιξης, η βέλτιστη δοσολογία είναι κάπως υψηλότερη και εκτιμάται ότι είναι μεταξύ  $6,0 - 6,5 \text{ mg L}^{-1}$ , ανάλογα με τη θολερότητα των λυμάτων.

Η επίδραση καθαρισμού σε διάφορες τιμές G για την ανάμιξη IN - ut 338 εξαρτάται επίσης από την περιεκτικότητα σε SS στα λύματα. Σε σύγκριση με την παράμετρο δοσολογίας, η τιμή G μπορεί να θεωρηθεί ως μια κάπως λιγότερο κρίσιμη παράμετρος για την επίδραση καθαρισμού του IN - ut 338, εάν η τιμή G είναι  $\geq 1000 \text{ s}^{-1}$ . Μια τιμή G περίπου  $2900 \text{ s}^{-1}$  εκτιμάται ότι είναι η βέλτιστη για την απομάκρυνση των SS, σε δοσολογία  $5,5 \text{ mg IN-ut 338 L}^{-1}$ . Η τιμή G ισχύει για τα λύματα που περιέχουν περίπου  $70 \text{ mg SS L}^{-1}$  και για απόβλητα που περιέχουν περίπου  $190 \text{ mg SS L}^{-1}$ , με βαθμό  $88 \pm 3 \%$  και  $87 \pm 1,1 \%$ , αντίστοιχα. Η μεγαλύτερη απόδοση καθαρισμού της θολερότητας παρατηρήθηκε με τιμή G περίπου  $5760 \text{ s}^{-1}$ , για λύματα με περιεκτικότητα θολερότητας περίπου 40 NTU. Αυτή ήταν η υψηλότερη τιμή που δοκιμάστηκε. Για τα λύματα που περιέχουν θολερότητα περίπου 100 NTU,

παρατηρήθηκε το υψηλότερο αποτέλεσμα καθαρισμού σε τιμή G περίπου  $1500\text{ s}^{-1}$ , που αντιστοιχούσε σε βαθμό  $87 \pm 3\%$ .

Η χαμηλότερη δοσολογία IN-ut 338 που έδειξε περιεκτικότητα SS  $20\text{ mg L}^{-1}$  και, επομένως, θεωρήθηκε επαρκής, ήταν  $4\text{ mg L}^{-1}$ , με περιεκτικότητα  $20 \pm 0,5\text{ mg SS L}^{-1}$ , που βρίσκεται στο όριο. Το αποτέλεσμα αυτό ισχύει για τα λύματα που περιέχουν περίπου  $100\text{ mg SS L}^{-1}$  σε  $1200\text{ rpm}$ , που αντιστοιχεί σε τιμή G περίπου  $2900\text{ s}^{-1}$ .

Για τη συσχέτιση της περιεκτικότητας των αποβλήτων σε στερεά με την απόδοση καθαρισμού του IN - ut 338 απαιτείται γενικά περισσότερη έρευνα. Κάποια μέθοδος που θα περιέχει ένα ευρύ φάσμα κατάλληλων δοσολογιών κρίνεται προτιμότερη. Κατά συνέπεια, ολόκληρο το εύρος δοσολογιών μπορεί να δοκιμαστεί ταυτόχρονα στο ίδιο δείγμα λυμάτων, το οποίο θα παρέχει ευνοϊκότερες συνθήκες για τη σύγκριση του αποτελέσματος των διαφόρων δοσολογιών IN-ut 338.

## Κεφάλαιο 6. Συστάσεις και περαιτέρω εργασίες

Προκειμένου να μειωθεί ο αντίκτυπος της συσσώρευσης στον όγκο του δείγματος σε μέτρηση SS, μια μικροσκοπική συσκευή θα αποτελέσει εναλλακτική λύση για τη βελτίωση της μεθόδου δοκιμής. Τα flocs που σχηματίζονται κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας με IN-ut 338 πρέπει να αποφεύγονται όσο είναι δυνατόν. Αν και τα ίδια είναι σε αιώρηση και εξ ορισμού είναι μέρος των SS, τα σωματίδια αντιδρούν με χημικά και θεωρητικά αφαιρούνται κατά τη διάρκεια της επίπλευσης, για να "συνδεθούν" με το IN-ut 338.

Σε αυτή την εργασία μετρήθηκαν ελάχιστες παράμετροι αποβλήτων, που καθιστούν δύσκολη την εξήγηση των διαφορών μεταξύ των Test. Για περαιτέρω δοκιμές, πρέπει να συμπεριληφθούν αρκετές παράμετροι που μπορεί να επηρεάσουν την επίδραση του IN - ut 338. Για να επιλεγεί κάποια παράμετρος, πρέπει να ληφθεί υπόψη η δομή και ο μηχανισμός του πολυμερούς αυτού.

Η δοκιμή διαφόρων τύπων περωτών στην εργασία ήταν ενδιαφέρουσας σημασίας, αλλά παραλείφθηκε, λόγω έλλειψης χρόνου. Χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα από την εργασία, μπορεί να αναπτυχθεί περαιτέρω για να ελεγχθεί η επίδραση καθαρισμού του IN - ut 338, χρησιμοποιώντας διαφορετικούς τύπους περωτών για ανάμιξη. Περαιτέρω εργασία περιλαμβάνει επίσης τη δοκιμή του IN - ut 338 σε ένα πρότυπο καθαρισμού. Ο στόχος είναι στη συνέχεια να βελτιστοποιηθεί η χρήση του IN - ut 338 με μία ή περισσότερες αρχές επίπλευσης, προκειμένου να επιτευχθεί ο καλύτερος δυνατός διαχωρισμός SS.



## Κεφάλαιο 7. Βιβλιογραφία - Αναφορές

1. H. Ødegaard, Water and Drainage Technology. 2nd ed. Norwegian Water, 2014.
2. IVAR Central Station North Jæren (SNJ), Extension of SNJ, 2017. Retrieved from: <http://www.ivar.no/sentralrenseanlegg-nord-jaren/category618.html>.
3. Inc. Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering: Treatment and resource recovery, 5th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2014.
4. J. Szpak, D. R. Woods and K. Bouchard., "Critique jar testing for the design of coagulation - flocculation systems", Water qual. Res. J. Can., Vol. 31, 51 - 64, Jan. 1996.
5. P.R. Hutchison and T.W. Healy, "Coagulation and flocculation - Destabilizing particles?" In Surface and colloid chemistry in natural waters and water treatment, R. Beckett ed., New York: Plenum Press, 1990, pp.119 - 134.
6. J. K. Edzwald, J.D. Haff and J.W. Boak, "Polymer coagulation of humic acid waters", J. Env. Meadow. Div., Vol.103, No. 6, pp. 989-1000, 1977.
7. B. A. Bolto, "Soluble Polymers in Water Purification", Elsevier Science LTD, Vol. 20, pp. 9871041, 1995.
8. W. Stumm, Chemistry of the Solid Water Interface, New York: Wiley, 1992.
9. M. Rebhun and M. Lurie, "Control of Organic Matters by Coagulation and Floc Separation," Water Science and Technology, Vol. 27, No. 11, pp. 1 - 20, 1993.
10. P. I. Norman og R. Seddon, «Pollution control in the textile industry – the chemical auxiliary manufacturer`s role», Coloration Technology, vol. 107, s. 215 - 218, 1991. [Online]. <https://doi.org/10.1111/j.1478-4408.1991.tb01339.x>
11. F. Mabire, R. Audbert and C. Quivoron, Flocculation Properties of Some Water Soluble Cationic Copolymers to silica suspensions: A semiquantitative interpretation of the role of molecular weight and cationicity through a patchwork model, Elsevier, Journal of Colloid and Interface Science, Vol. 97, pp. 120-136, Jan. 1984. [Online]. Retrieved from: 10.1016 / 0021-9797 (84) 90280-7
12. J. Gregory, The Action of Flocculants, in Flocculation, Sedimentation and Consolidation, B.M. Moudgil and P. Somasundaran published, New York: Engineering Foundation, 1985, p. 125.
13. S. Keller, Personal Communication, May 7th. 2018.
14. K. McCurdy, K. Carlson and D. Gregory, "Floc morphology and cyclic shearing recovery: comparison of alum and polyaluminum chloride coagulants", Water Res., Vol. 38, pp. 486 - 494, 2004.
15. M. Boller and S. Blaser, "Particles under stress", Water Sci. Technol., Vol. 37, No. 10, pp. 9 - 29, 1998.

16. D. S. Parker, W. J. Kaufman and D. Jenkins, "Floc Breakup In Turbulent Flocculation Processes", Am. Soc. Civ. Eng., Vol. 98, No. 1, pp. 79 - 99, 1972.
17. D. H. Bache, C. Jhonson, J. F. McGilligan and E. Rasool, A Conceptual View of Floc Structure in the Sweep Floc Domain, Water Sci. Technol., Vol. 36, No. 4, pp. 49-56, 1997.
18. R. J. Francois, "Strength of Aluminum Hydroxide Floccs", Water Res., Vol. 21, pp. 1023-1030, 1987.
19. L. H. Mikkelsen and K. Keiding, "The shear sensitivity of activated sludge: an evaluation of the possibility for a standardized floc strength test", Water Res., Vol. 36, pp. 2931 - 2940, 2002.
20. A. K. C. Yeung, A. Gibbs and R. P. Pelton, "Micromechanics: a New Approach to Study the Strength and Breakup of Floccs", J. Colloid Interface Sci., Vol. 184, pp. 579-585, 1996.
21. P. Jarvis, B. Jefferson, J. Gregory and S. A. Parsons, A Review of Floc Strength and Breakage, Water Res., Vol. 39, pp. 3121 - 3137, 2005.
22. P. T. Spicer and S. Pratsinis, Shear-induced Flocculation: The Evolution of Floc Structure and the Form of the Size Distribution at Steady State, Water Res., Vol 30, pp. 1049 - 1056, 1996.
23. J.J. Ducoste and M.M. Clark, "The influence of tank size and impeller geometry on turbulent flocculation: I. Experimental, Environ. Eng. Sci., Vol. 15, No. 3, pp. 215-224, 1998.
24. C. A. Biggs and P. A. Lant, "Activated sludge flocculation: on-line determination of floc size and effect of shear", Water Res., Vol. 34, pp. 2542 - 2550, 2000.
25. P. T. Spicer, S. Pratsinis, J. Raper, R. Amal, G. Bushell and G. Meesters, Effect and shear schedule on particle size, density, and structure during flocculation in stirred tanks, Powder Technology, Vol. 97, No. 1, pp. 26 - 34, 1998.
26. D. H. Bache, "Floc Rupture and Turbulence: a Framework for Analysis", Chem. Meadow. Sci., Vol. 59, pp. 2521 - 2534, 2004.
27. V. G. Levich, Physico-chemical hydrodynamics, Englewood Cliffs, N.J., USA : Prentice-Hall, 1962.
28. A. K. Yeung, A. Gibbs and R. P. Pelton, "Effect of shear on the strength of polymer-induced floccs", J. Colloid Interface Sci., Vol. 196, pp. 113-115, 1997.
29. C. H. Lee and J. C. Liu, Sludge dewaterability and floc structure in dual polymer conditioning. ", Adv. Environ. Res., Vol. 5, pp. 129-136, 2001.
30. W. D. Gollnitz and B. Kittle, Operator Evaluator of Small Systems, J. Amer. Water Works Assoc., Vol. 82, No. 8, pp. 40-45, 1990.
31. S.J. Stanly and D.W. Smith, "Measurement of turbulent flow in standard jar test apparatus", J. Environ. Eng., Vol. 121, pp. 902 - 910, 1995.

32. Phipps & Bird, The jar test, 2017. Retrieved from: <http://www.phippsbird.com/pbinc/WaterWasteWater/Jartest.aspx>. Downloaded 03.05.2018. Downloaded: 05.05.2018.
33. J. P Szpak, D. R. Woods and K. Bouchard, "Critique jar testing for the design of coagulation - flocculation systems", Water Qual. Res. J. Can., Vol. 31, pp. 51 - 64, 1996.
34. M. I. Aguilar et al. «Improvement of coagulation-flocculation process using anionic polyacrylamide as a coagulant aid, Elsevier Chemosphere, vol. 58, pp. 47-56, 2005.
35. Huaili Zheng et al., "Investigation of coagulation-flocculation process by performance optimization, model prediction and fractal structure of flocs", Elsevier, Desalination, vol. 269, pp. 148 - 156, 2010.
36. J. Rubio, M.L. Souza and R.W. Smith, "Overview of Flotation as a Waste Water Treatment Technique," Mineral Engineering, Vol. 15, pp. 139 - 155, 2002.
37. B. K. Parekh og J. D. Miller, Advances in flotation technology, SME, 1999.
38. K. A. Matis, Flotation Science and Engineering, New York: Marcel Dekker, 1995.
39. J. Rubio and F. Tessele, «Removal of heavy metal ions by adsorptive particulate flotation», Mineral Engineering, vol. 10, nr. 7, s. 671 - 679, 1997.
40. N. K. Lazaridis, K. A. Matis, G. A. Stalidis and P. Mavros, «Dissolved air flotation of metal ion», Separation Science and Technology, vol. 27, s. 1743 - 1758, 1992.
41. J. A. Solariog R. J. Gochin, «Fundamental aspects of microbubbles flotation», i Colloid Chemistry in Mineral Processing, Amsterdam: Elsevier, 1992, s. 395 - 418.
42. G. J. Jamson, «Hydrophobicity and floc density in induced-air flotation for water treatment», Elsevier, Colloids and Surfaces, vol. 151, s. 269 - 281, 1999.
43. R. M. Stangvik, "Jar test at Ladehammer and Høvringe wastewater plants", unpublished.
44. L. S. Clesceri, A. E. Greenberg and A. D. Eaton, Standard Methods for the Examination of Water and wastewater. 20th edition APHA, 1998.
45. Heidolph, Impeller, 2018. Retrieved from: <https://heidolphinstruments.com/en/products/Impeller~c774>. Downloaded: 15.01.2018.
46. Wikipedia, Dixon`s Q Test, 2018. Retrieved from: [https://en.wikipedia.org/wiki/Dixon%27s\\_Q\\_test](https://en.wikipedia.org/wiki/Dixon%27s_Q_test). Downloaded: 02.02.2018.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Παράρτημα 1: Προϊόντα IN - ut 338

Παράρτημα 2: Φύλλο Excel 1, Φύλλο Excel 2, Φύλλο Excel 3, Φύλλο Excel 4

Παράρτημα 3: Χρονοδιάγραμμα δοκιμών - Test

Παράρτημα 4: Εικόνες από το Test 14

## Παράρτημα 1. IN-ut 338 products

Large cost savings - increased efficiency

New product for coagulation and flocculation that simplifies and increases the separation rate of suspended substance - SS in purification plants.



Norwegian Process Services has developed a new simple method for sewage treatment that improves the degree of purification of existing treatment plants that treat municipal, food and industrial wastewater. For municipal wastewater treatment plants, stricter cleaning requirements are introduced with increasing load, which implies the need to repair or invest in new plants. The IN-ut 338 products have a short reaction time, handle large variations in water chromatography and can be easily used in existing cleaning plants without reconstruction. The separation effect of SS over 90% if desired.

## Full-scale test at IVAR, Grødaland



IN-ut 338 was first-time tested by IVAR at Grødaland purification plant using loose air flotation as a separation principle. Later, IN-ut 338 is tested at several silage systems at IVAR. At dosage before the silos handle large variation in food mhp; SS, pH and hydraulic load. Grødaland receives a lot of wastewater from industrial activities in Kviamarka and has a large SS variation and pH from 6-9. Grødaland has been the venue for testing different technologies but has been operating continuously with IN-ut 338 since the summer of 2015 without the issue of emission allowance.

Calculations with IN-ut 338 as an alternative to iron and polymer felling have resulted in large cost savings and increased efficiency.

## How to save costs with IN-ut 338?

### GIVES NEW LIFE FOR OLD EQUIPMENT

Dosing the IN-ut 388 to the water increases the separation of the SS so that the plant satisfies the emission requirements without much change and thus increases the service life.

### LOWER INVESTMENT COSTS BY NEW BUILDING

Conventional cleansing with the use of metal salts in combination with polymer sets requirements for mixing and residence time.

- Quick stirring and residence time of 1-3 min is the usual dimensioning criterion for coagulation with metal salts.
- Crystallization takes place with slow stirring with typical residence time of 10-30 minutes



With IN-ut 338, coagulation and flocculation occurs in the pipeline where 5-10 seconds is sufficient contact time for separation of SS.

## SEPARATION OF FLOCS.



IN-ut 338 generates large and stable studs that withstand high shear forces, and can therefore be used in conjunction with conventional filter types used in municipal engineering. Experience shows increased water flow through filter as well as increased SS separation. Flotation properties allow significantly higher surface stress, both by induced air and loose air flotation.

## **IN - ut 338**

- Effectively effective in pH range 3-11, so that acid or base is chewed.
- Does not separate triggered phosphorus.
- Reduced sludge production results in less logistics.
- Reduced plant size without the need for coagulation and flocculation pool.
- Produced sludge has less inorganic fraction, is optimal for biogas production.
- Does not affect pH in the water.



## Παράρτημα 2. Φύλλο Excel 1

### Δεδομένα για Test δοσολογίας

Test nr 1

Ημερομηνία 2/2/2018

Ημερομηνία λήψης λυμάτων:  
1-Feb

Ροή νερού (L/s):  
1830

pH:  
7

#### Παράμετροι:

Διαφέρουσα: Δοσολογία(mg/L)

Ταχύτητα: RPM: 500

Όγκος δοκιμής: 1 L

όγκος δείγματος: 50 ml

Δοκιμή καθίζησης: 1 min

χρόνος ανάμιξης: 15 sec

#### **SS (mg/l)**

Test nr	Dosage(mg/l)	SS (mg/l)	SS - cleaned (%)
1	2	28.00	44
2	5	22.00	56
3	6	26.00	48
4	7.5	44.00	12
raw	0	50.00	

Test nr 2  
Ημερομηνία 6/2/2018

Ημερομηνία λήψης λυμάτων: 6/2/2018  
Ροή νερού (L/s): 1830  
pH:7

Παράμετροι:

Διαφέρουσα: Δοσολογία

Ταχύτητα: 500 RPM

Όγκος δοκιμής: 1L

όγκος δείγματος: 50ml

Δοκιμή καθίζησης: 1min  
χρόνος ανάμιξης: 15 sec

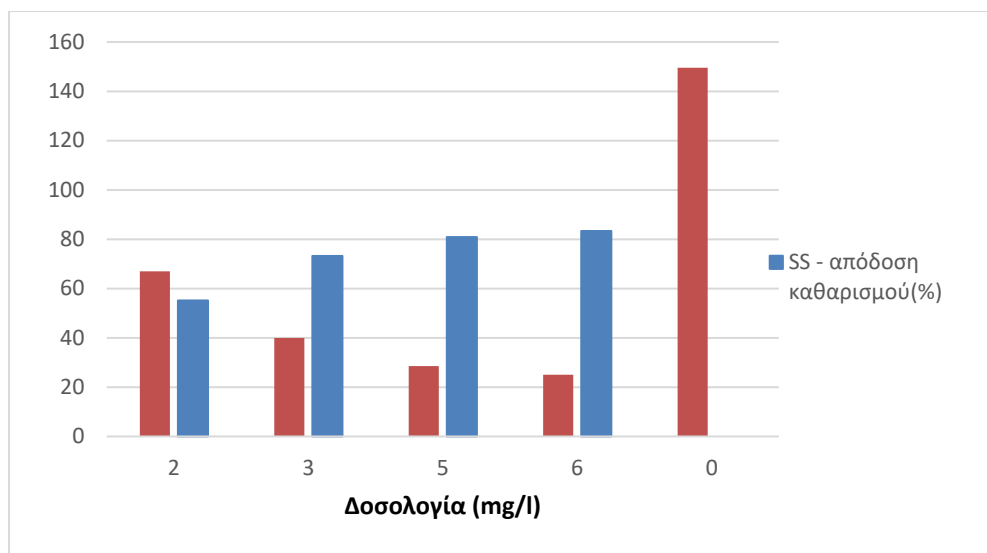
Αναλυτικές (1 και 2) και μεθοδολογικές παραλληλίες (1 και 3)

**SS (mg/l)**

Test nr	Parallell 1	Parallell 2	Parallell 3	Parallell 4	avg	SS (mg/l)	SS cleaned (%)
1	76.00	58.00	66.00	68.00	67	5	18
2	36.00	34.00	42.00	48.00	40	4	20
3	24.00	22.00	30.00	38.00	29	5	24
4	32.00	20.00	22.00	26.00	25	4	22
raw	182.00	178.00	120.00	118.00	150	25	

**SS**

Test nr	Dosage(mg/l)	SS (mg/l)	SS cleaned(%)
1	2	67	55
2	3	40	73
3	5	29	81
4	6	25	83
raw	0	150	



Test nr 3

Ημερομηνία 8/2/2018

Ημερομηνία λήψης δειγμάτων: 8-Feb Ροή νερού (L/s): 1901.4 pH: 6

#### Παράμετροι

Διαφέρουσα: Δοσολογία

Ταχύτητα: RPM: 500

Όγκος δοκιμής: 1 L

Όγκος δειγματος: 50 ml

Χρόνος καθίζησης: 1 min

Χρόνος ανάμιξης: 15 sec

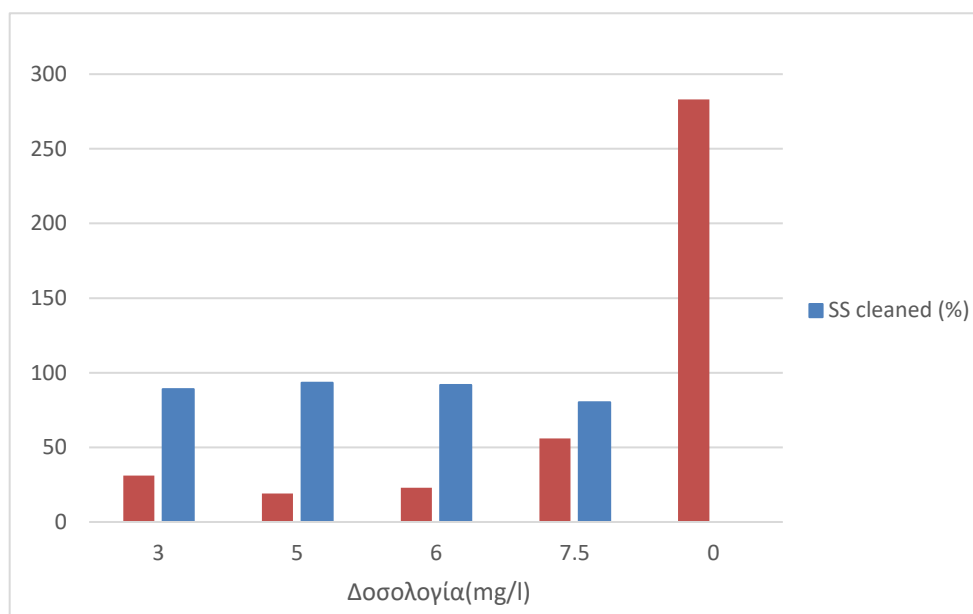
Αναλυτικές παραλληλίες

#### SS (mg/l)

Test nr	Parallell 1	Parallell 2	avg	SS	SS % cleaned
1	36.00	26.00	31	7	23
2	14.00	24.00	19	7	37
3	26.00	20.00	23	4	19
4	58.00	54.00	56	3	6
raw	290.00	276.00	283	10	

**SS**

Test nr	Dosage (mg/l)	SS (mg/l)	SS cleaned(%)
1	3	31	89
2	5	19	93
3	6	23	92
4	7.5	56	80
raw	0	283	



Test nr 4

Ημερομηνία 8/2/2018

Ημερομηνία λήψης  
δειγμάτων:

8-Feb

Ροή νερού (L/s):  
1901.4

pH:

6

Παράμετροι

Διαφέρουσα: Δοσολογία

Ταχύτητα: RPM: 500

Όγκος δοκιμής: 1 L

Όγκος  
δείγματος: 50 ml

Χρόνος καθίζησης: 1 min

Χρόνος ανάμιξης: 15 sec

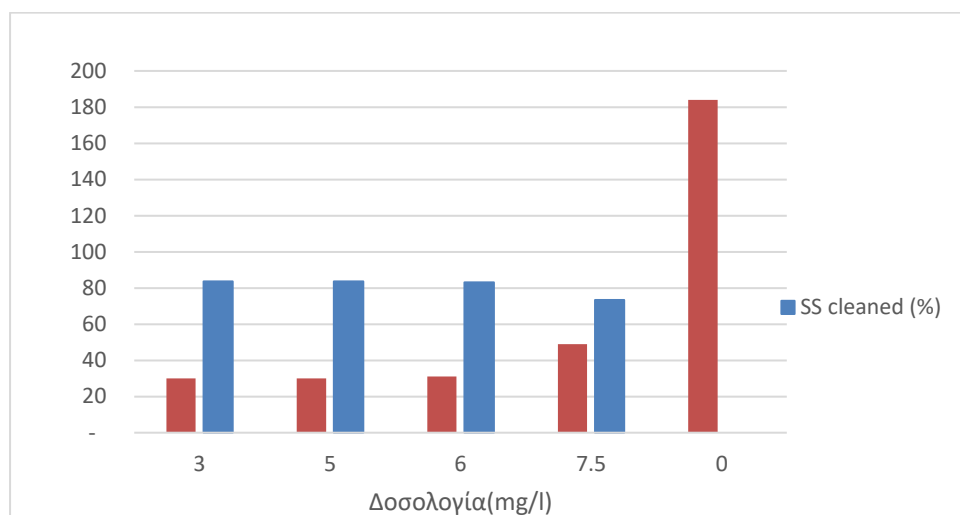
Αναλυτικές παραλληλίες

**SS (mg/l)**

Test nr	Parallel 1	Parallel 2	avg	SS	SS % cleaned
1	36.00	24.00	30	8	28
2	30.00	30.00	30	0	0
3	30.00	32.00	31	1	5
4	52.00	46.00	49	4	9
raw	184.00	184.00	184	0	

**SS**

Test nr	Dosage(mg/l)	SS (mg/l)	SS cleaned (%)
1	3	30	84
2	5	30	84
3	6	31	83
4	7.5	49	73
raw	0	184	



Test nr 5

Ημερομηνία 9/2/2018

Ημερομηνία λήψης λυμάτων:

Ροή νερού (L/s):

pH: 6

8-Feb

1901.4

Παράμετροι

Διαφέρουσα: Δοσολογία

Ταχύτητα: RPM: 500

Όγκος δοκιμής: 1 L

Όγκος

δείγματος: 100 ml

Χρόνος καθίζησης: 1 min

Χρόνος ανάμιξης: 15 sec

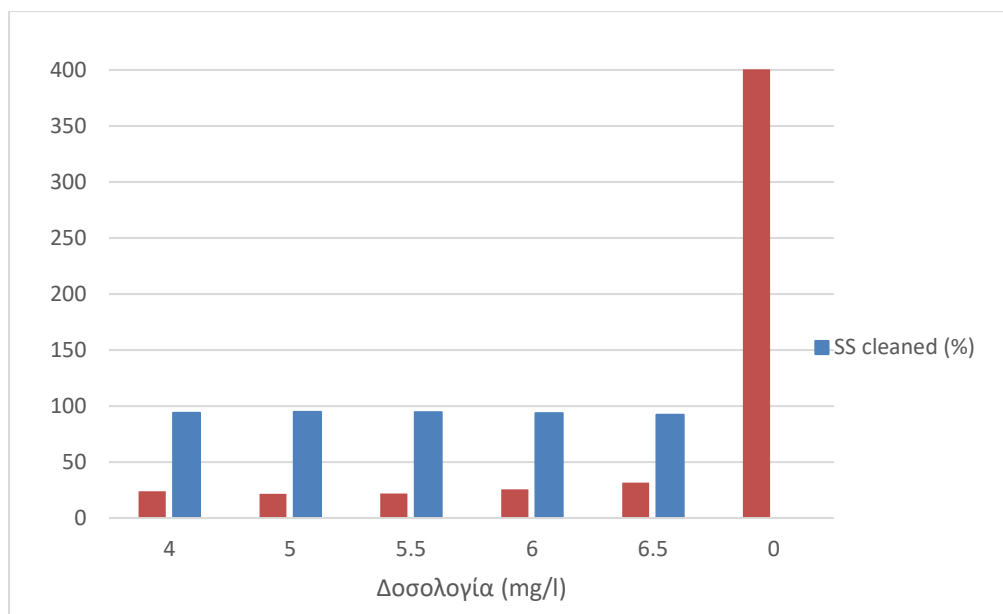
Αναλυτικές παραλληλίες

**SS (mg/l)**

Test nr	Parallell 1	Parallell 2	avg	SS	SS % cleaned
1	27.00	21.00	24	4	19
2	21.00	22.00	22	1	8
3	23.00	21.00	22	1	9
4	25.00	26.00	26	1	7
5	37.00	26.00	32	8	26
raw	420.00	381.00	401	28	

**SS**

Test nr	Dosage(mg/l)	SS (mg/l)	SS cleaned(%)
1	4	24	94
2	5	22	95
3	5.5	22	95
4	6	26	94
5	6.5	32	92
raw	0	401	



Test nr 6  
 Ημερομηνία 13/2/2018

Ημερομηνία λήψης δειγμάτων: 13-Feb Ροή νερού (L/s): 1420 pH: 7.701

#### Παράμετροι

Διαφέρουσα: Δοσολογία

Ταχύτητα: RPM: 500

Όγκος δοκιμής: 1 L

Όγκος

δείγματος: 100 ml (parallell 1), 50 ml (parallell 2, 3)

Χρόνος καθίζησης: 1 min

Χρόνος ανάμιξης: 15 sec

Αναλυτικές παραλληλίες (Parallell 2, 3) και μεθοδολογικές παραλληλίες

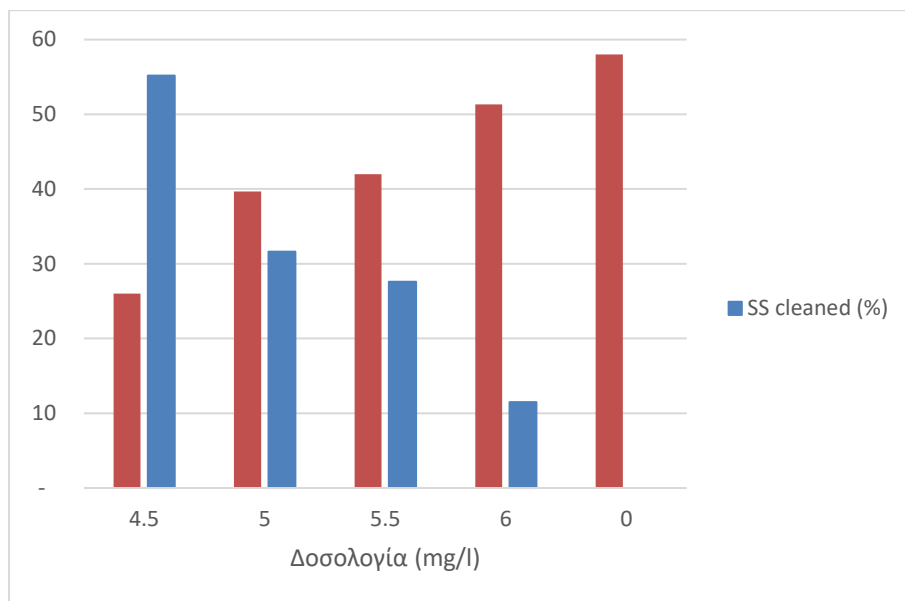
#### **SS (mg/l)**

Test nr	Parallell 1	Parallell 2	Parallell 3	avg	SS	SS% cleaned
1	24.00	32.00	22.00	26	4	15
2	33.00	42.00	44.00	40	4	11
3	34.00	50.00	42.00	42	6	14
4	48.00	56.00	50.00	51	3	7

raw	56.00	62.00	56.00	58	2	
-----	-------	-------	-------	----	---	--

## SS

Test nr	Dosage(mg/l)	SS (mg/l)	SS cleaned (%)
1	4.5	26	55
2	5	40	32
3	5.5	42	28
4	6	51	11
raw	0	58	



Test nr 7  
Date 14/2/2018



Ημερομηνία λήψης λυμάτων: 13-Feb Ροή νερού(L/s): 1420 pH: 7.193

Παράμετροι

Διαφέρουσα: Δοσολογία  
Ταχύτητα: RPM: 600  
Όγκος δοκιμής: 1 L  
Όγκος δείγματος: 100 ml  
Χρόνος καθίζησης: 1 min  
Χρόνος ανάμιξης: 15 sec

**SS**

Test nr	Dosage (mg/l)	SS (mg/l)	SS cleaned (%)
1	4	43	28
2	4.5	41	32
3	5	51	15
4	5.5	50	17
raw	0	60	

Test nr 8  
Date 21/2/2018

Ημερομηνία λήψης λυμάτων: 21-Feb Ροή νερού(L/s): 1420 pH: 7.623

Παράμετροι

Θερμοκρασία:13,2

Διαφέρουσα: Δοσολογία  
Ταχύτητα: RPM: 600  
Όγκος δοκιμής: 1 L  
Όγκος δείγματος: 100 ml

Χρόνος καθίζησης: 1 min Χρόνος καθίζησης λυμάτων: 4min  
Χρόνος ανάμιξης: 15 sec

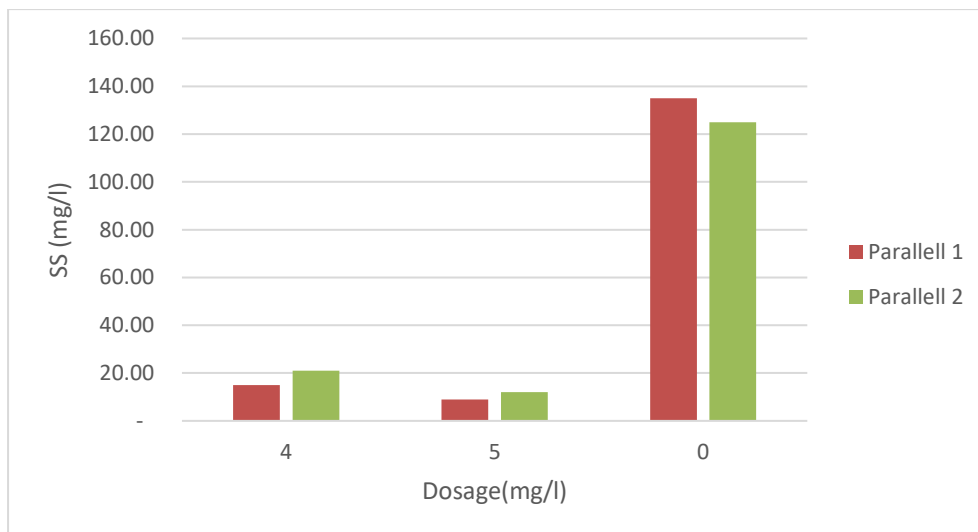
(έλεγχος  
αναπαραγωγικότητας  
παραλλήλων)  
**SS (mg/l)**

Test nr	Parallell 1	Parallell 2	Average	SD	SD % cleaned
---------	-------------	-------------	---------	----	--------------

1	15,00	21,00	18	3	17
2	9,00	12,00	11	2	15
Raw	135,00	125,00	130	5	

### SS

Test nr	Dosage (mg/l)	SS (mg/l)	SS cleaned (%)
1	4	18	86
2	5	11	92
raw	0	130	



Test nr 9  
Date 26/2/2018

Ημερομηνία λήψης λυμάτων:  
26-Feb

Ροή νερού(L/s):  
1539

pH:  
7.642

Παράμετροι

Θερμοκρασία:15,8

Διαφέρουσα: Δοσολογία

Ταχύτητα: RPM: 600

Τετράγωνο

Όγκος δοκιμής: 1 L

δοχείο

Όγκος δείγματος: 100 ml

Χρόνος καθίζησης:

75 sec

Χρόνος καθίζησης

Χρόνος ανάμιξης: 15 sec

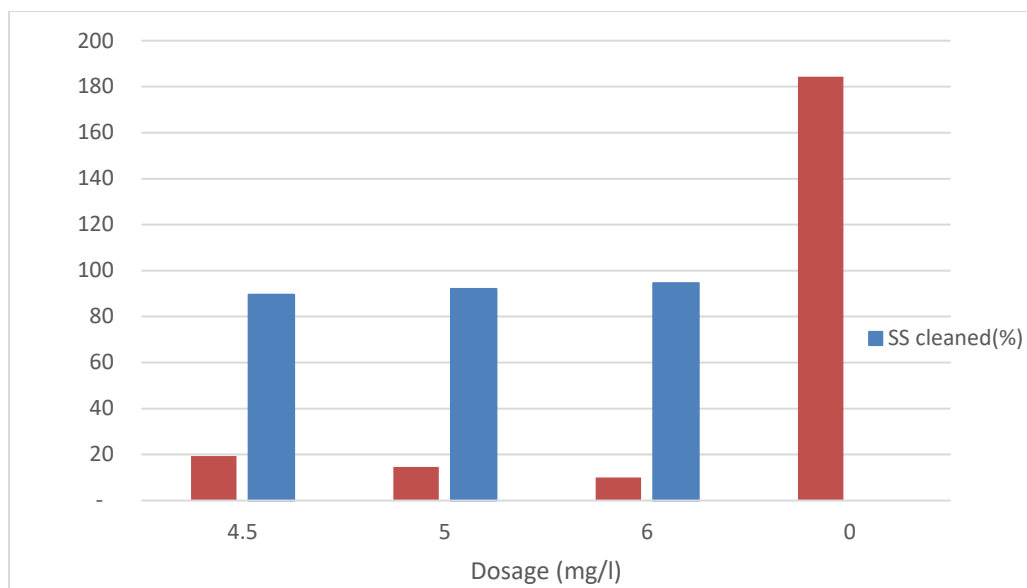
λυμάτων: 3,5min

(μεθοδολογικές  
παραλληλίες)**SS (mg/l)**

Test nr	Parallell 1	Parallell 2	Parallell 3	Average	SD	SD % cleaned
1	23,00	14,00	21,00	19	3	15
2	16,00	18,00	10,00	15	2	17
3	10,00	11,00	9,00	10	1	7
Raw	173,00	198,00	182,00	184	7	

**SS**

Test nr	Dosage (mg/l)	SS (mg/l)	SS cleaned(%)
1	4,5	19	90
2	5	15	92
3	6	10	95
Raw	0	184	



Test nr 10

Date 27/2/2018

Ημερομηνία λήψης λυμάτων:  
26-Feb

Ροή νερού(L/s):  
1539

pH:  
7.389

Παράμετροι

Θερμοκρασία:14

Διαφέρουσα: Δοσολογία

Ταχύτητα: RPM: 600

Τετράγωνο

Όγκος δοκιμής: 1 L

δοχείο

Όγκος δείγματος: 100 ml

Χρόνος καθίζησης:

75 sec

Χρόνος καθίζησης  
λυμάτων: 3,5min

Χρόνος ανάμιξης: 15 sec

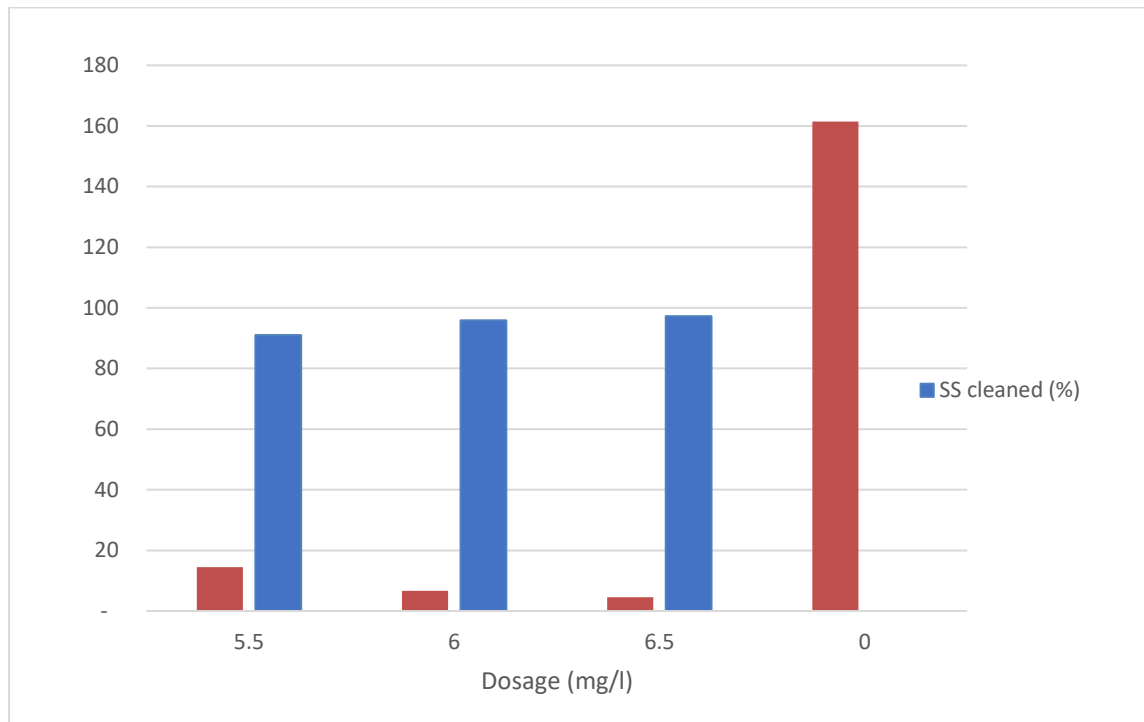
(μεθοδολογικές  
παραλληλίες)

**SS (mg/l)**

Test nr	Parallell 1	Parallell 2	Parallell 3	Average	SD	SD % cleaned
1	17,00	12,00	-	15	3	17
2	6,00	6,00	8,00	7	1	10
3	6,00	3,00	-	5	2	33
Raw	162,00	161,00	-	162	1	

## SS

Test nr	Dosage (mg/l)	SS (mg/l)	SS cleaned (%)
1	5,5	15	91
2	6	7	96
3	6,5	5	97
Raw	0	162	



Test nr

11

Date 01/3/2018  
και 08/3/2018

Ημερομηνία λήψης λυμάτων: 01-Mar and 07-Mar Ροή νερού(L/s): 864και 1248 pH: 7.695,7.477

Θερμοκρασία: 13,9 και 11,9  
Παράμετροι  
Διαφέρουσα: Δοσολογία  
Ταχύτητα: RPM: 600  
Τετράγωνο  
Όγκος δοκιμής: 1 L δοχείο  
Όγκος δείγματος: 200 ml  
Χρόνος καθίζησης: 75 sec Χρόνος καθίζησης λυμάτων: 10min  
Χρόνος ανάμιξης: 15 sec  
(μεθοδολογικές παραλληλίες)

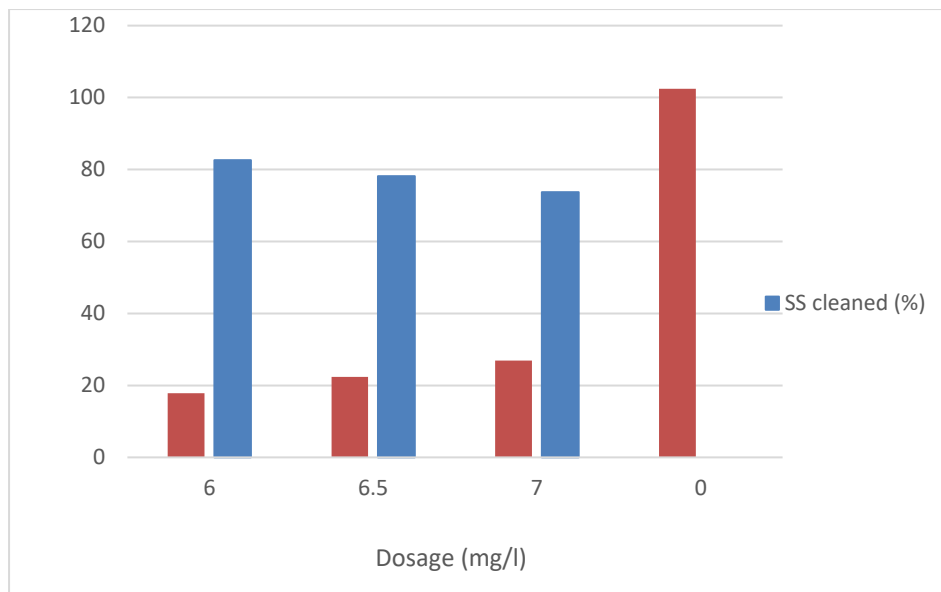
**Αποτελείται από δύο συνδυασμένες δοκιμές (ίδιες δοσολογίες και περίπου ίδια περιεκτικότητα SS σε ακατέργαστα δείγματα και παράλληλα)**

**SS**  
**(mg/l)**

Test nr	Parallell 1	Parallell 2	Parallell 3	Parallell 4	Parallell 5	Parallell 6	Average	SD	SD % cleaned
1	16,60	11,95	19,70	20,20	20,65	18,10	17,9	1,3	8
2	19,65	-	19,20	28,50	22,05	-	22,4	2,1	10
3	32,50	24,70	26,10	25,10	26,20	-	26,9	1,4	6
Raw	109,90	101,15	101,75	102,00	97,10	102,65	102,4	1,7	

**SS**

Test nr	Dosage (mg/l)	SS (mg/l)	SS cleaned (%)
1	6	17,9	83
2	6,5	22,4	78
3	7	26,9	74
Raw	0	102,4	



Test nr 12  
Date 15/3/2018

Ημερομηνία λήψης λυμάτων: 15-Mar Ροή νερού(L/s): 1090 pH: 7.178

Παράμετροι

Θερμοκρασία:12.3

Διαφέρουσα: Δοσολογία  
Ταχύτητα: RPM: 600

Τετράγωνο  
δοχείο

Όγκος δοκιμής: 1 L  
Όγκος δείγματος: 200 ml

Χρόνος καθίζησης:  
Χρόνος ανάμιξης: 15 sec

75 sec

Χρόνος καθίζησης  
λυμάτων: 10min

(μεθοδολογικές  
παραληλίες για SS  
και θολερότητα)

**SS (mg/l)**

Test nr	Parallell 1	Parallell 2	Parallell 3	Average	SD	SD cleaned(%)
1	16,05	15,60	23,10	18,3	3,1	17
2	16,75	12,05	15,50	14,8	1,4	10
3	12,25	10,70	14,55	12,5	1,4	11
Raw	92,50	100,35	99,75	97,5	2,5	

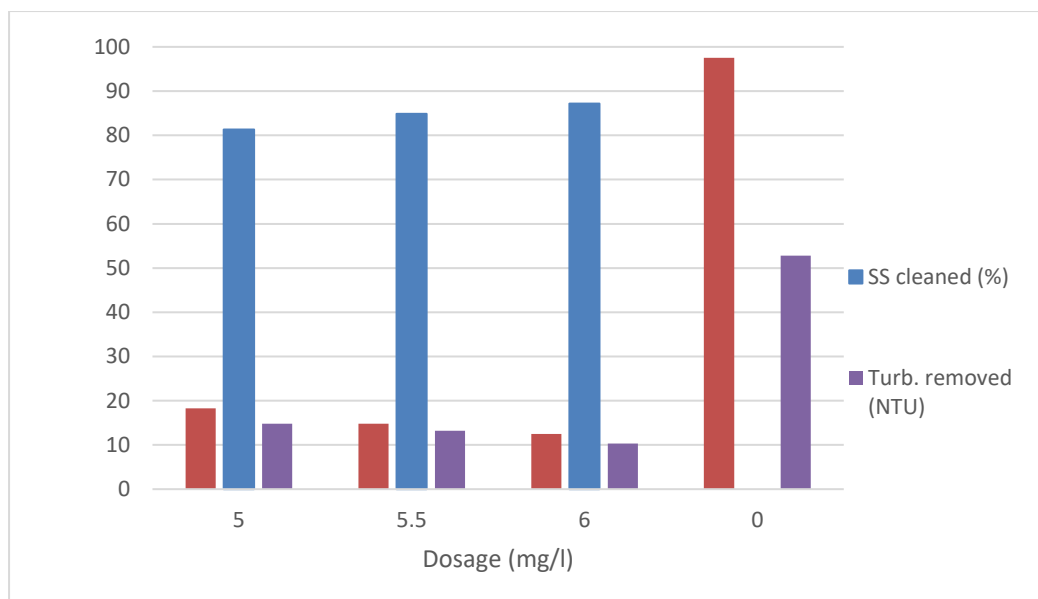
**Turbidity (NTU)**

<b>Test 1</b>	Value 1	Value 2	<b>Average</b>	<b>SD</b>	SD % cleaned
Parallell 1	14,0	-	14,0	-	
Parallell 2	15,3	-	15,3	-	
Parallell 3	14,9	15,5	15,2	0,4	
			<b>14,8</b>	<b>0,4</b>	<b>3</b>
<b>Test 2</b>					
Parallell 1	11,8	12,1	12,0	0,2	
Parallell 2	13,0	14,0	13,5	0,7	
Parallell 3	14,1	-	14,1	-	
			<b>13,2</b>	<b>0,6</b>	<b>5</b>
<b>Test 3</b>					
Parallell 1	9,8	-	9,8	-	
Parallell 2	11,2	-	11,2	-	
Parallell 3	10,0	-	10,0	-	
			<b>10,3</b>	<b>0,4</b>	<b>4</b>
<b>Raw</b>					
Parallell 1	53,7	-	53,7	-	
Parallell 2	53,1	-	53,1	-	
Parallell 3	51,6	-	51,6	-	
			<b>52,8</b>	<b>0,6</b>	

**SS and turbidity**

Test nr	Dosage (mg/l)	SS (mg/l)	SS cleaned (%)	Turb. (NTU)	Turb. cleaned (%)
1	5	18,3	81	14,8	72
2	5,5	14,8	85	13,2	75
3	6	12,5	87	10,3	80
Raw	0	97,5		52,8	





Test nr 13

Date 16/3/2018

Ημερομηνία λήψης λυμάτων: 15-Μαρ

Ροή νερού (L/s): 1090

pH: 7,178

Temp: 12,3

#### Παράμετροι

Διαφέρουσα: Δοσολογία

Ταχύτητα: RPM: 600

Όγκος

δοκιμής: 1 L, τετράγωνο δοχείο

όγκος

δείγματος: 200 ml: 4x 50 ml

χρόνος καθίζησης 75 sec

Χρόνος καθίζησης λυμάτων 10 min

Χρόνος ανάμιξης: 15 sec

Μεθοδολογικές παραλληλίες για SS και θολερότητα

#### SS (mg/l)

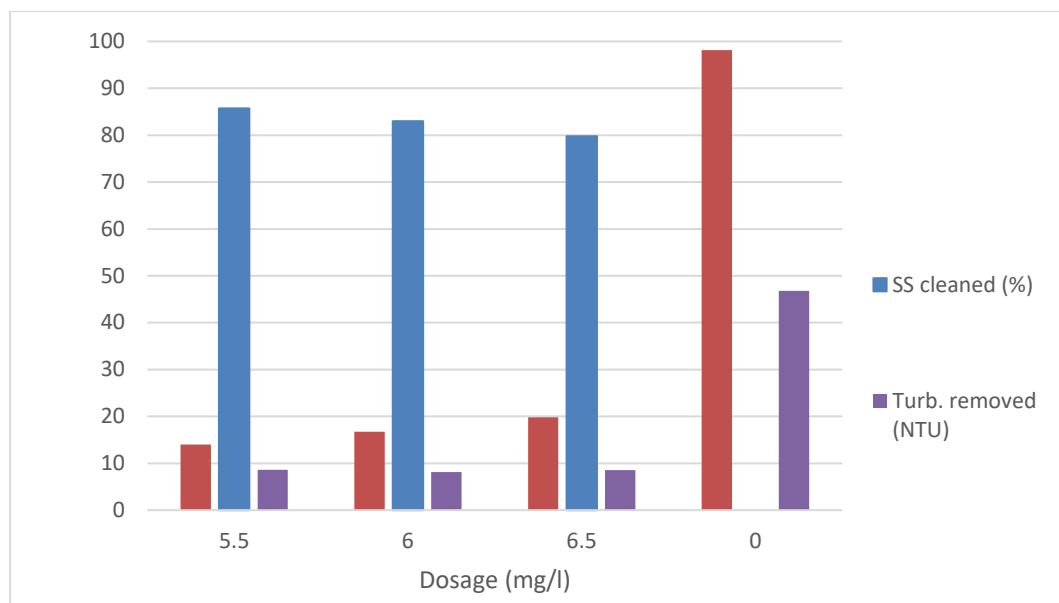
Test nr	Parallell 1	Parallell 2	Parallell 3	Average	SD	SD % cleaned
1	12,95	16,45	12,65	14,0	1,3	10
2	16,70	15,55	17,90	16,7	0,8	6
3	16,15	22,65	20,70	19,8	2,0	10
Raw	100,50	95,85	-	98,2	2,3	

### Turbidity (NTU)

<b>Test 1</b>	Value 1	Value 2	<b>Average</b>	<b>SD</b>	<b>SD % cleaned</b>
Parallell 1	7,8	8,2	8,0	0,3	
Parallell 2	9,7	-	9,7	-	
Parallell 3	7,6	8,6	8,1	0,7	
			<b>8,6</b>	<b>0,5</b>	<b>6</b>
<b>Test 2</b>					
Parallell 1	7,9	8,6	8,3	0,5	
Parallell 2	7,4	7,5	7,4	0,1	
Parallell 3	8,6	-	8,6	-	
			<b>8,1</b>	<b>0,3</b>	<b>4</b>
<b>Test 3</b>					
Parallell 1	7,9	-	7,9	-	
Parallell 2	9,0	9,3	9,1	0,2	
Parallell 3	8,7	-	8,7	-	
			<b>8,6</b>	<b>0,4</b>	<b>4</b>
<b>Raw</b>					
Parallell 1	45,8	47,5	46,7	1,2	
Parallell 2	46,8	47,0	46,9	0,1	
Parallell 3	-	-	-	<b>0,0</b>	
			<b>46,8</b>	<b>0,1</b>	

### SS and turbidity

Test nr	Dosage (mg/l)	SS (mg/l)	SS cleaned (%)	Turb. (NTU)	Turbidity cleaned (%)
1	5,5	14,0	86	8,6	82
2	6	16,7	83	8,1	83
3	6,5	19,8	80	8,6	82
Raw	0	98,2		46,8	



### Test 11, 12 and 13 merged

(All tests are performed using the same test method and have approx. same amount of SS in the samples)

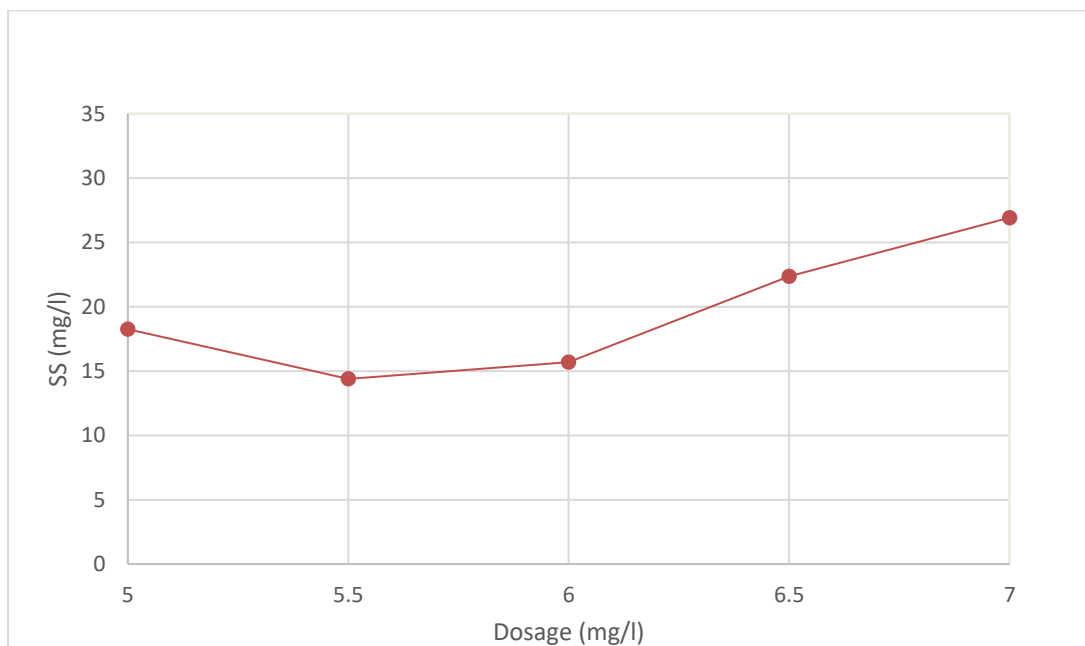
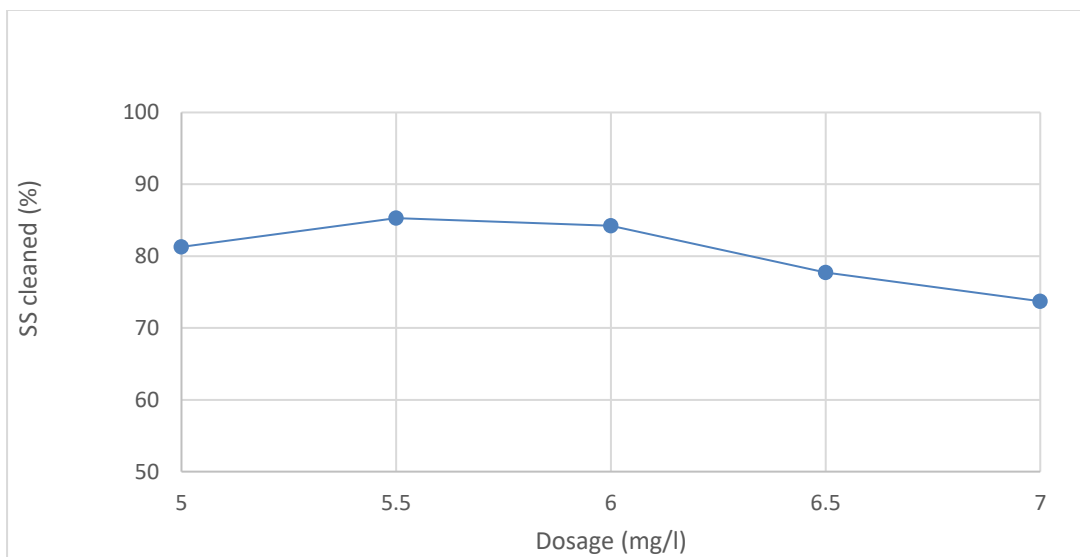
#### SS (mg/l)

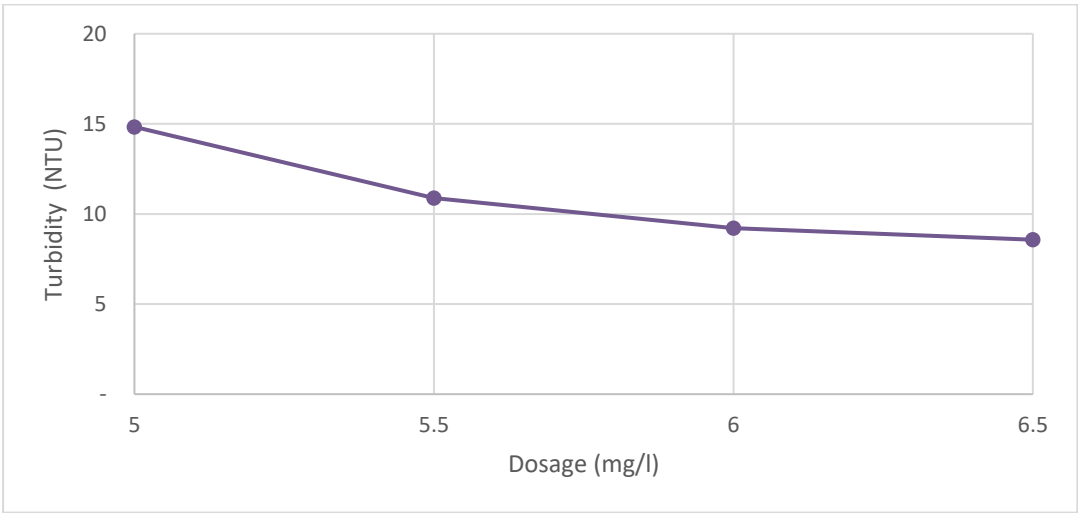
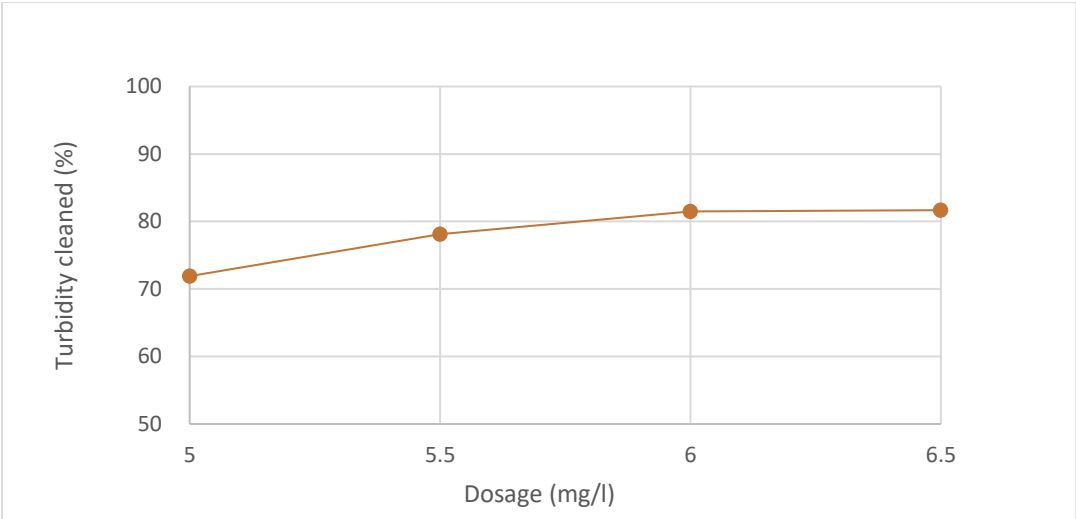
Dosage	Parallell 1	Parallell 2	Parallell 3	Average	SD	SD % cleaned
5		18,25		18,3	3,1	17
5,5		14,77	14,02	14,4	1,4	12
6	17,87	12,50	16,72	15,7	1,2	10
6,5	22,35		19,83	22,4	2,1	13
7	26,92			26,9	1,4	6
0	<b>102,43</b>	<b>97,53</b>	<b>98,18</b>	99,4	2,2	

#### Turbidity (NTU)

Dosage(mg/l)	Parallell 1	Parallell 2	Average	SD	SD % cleaned
5	14,8	-	14,8	0,4	3
5,5	13,2	8,6	10,9	0,4	7
6	10,3	8,1	9,2	0,4	5
6,5	-	8,6	8,6	0,4	4
0	<b>52,8</b>	<b>46,8</b>	<b>49,8</b>	0,5	
SS and					

turbidity						
Dosage (mg/l)	SS (mg/l)	SS raw avg (mg/l)	SS cleaned (%)	Turb. (NTU)	Turb. Raw avg (NTU)	Turb. cleaned (%)
5	18,3	97,5	81	14,8	52,8	72
5,5	14,4	97,9	85	10,9	49,8	78
6	15,7	99,4	84	9,2	49,8	81
6,5	22,4	100,3	78	8,6	46,8	82
7	26,9	102,4	74			
0		99,4			49,8	





Test nr 14

Date 22/3/2018,  
23/3/2018

Ημερομηνία λήψης λυμάτων: 22-Μαρ  
Ροή νερού (L/s): 2000  
pH: 7,726  
Temp: 12,5  
7,411  
12,0

Παράμετροι

Διαφέρουσα: Δοσολογία(mg/L)  
Ταχύτητα: RPM: 600  
Όγκος δοκιμής: 1 L, τετράγωνο δοχείο  
όγκος δείγματος: 200 ml: 4x 50 ml  
χρόνος καθίζησης 75 sec  
Χρόνος καθίζησης λυμάτων 10 min  
Χρόνος ανάμιξης: 15 sec  
Μεθοδολογικές παραλληλίες για SS και θολρότητα

**SS  
(mg/l)**

Test nr	Parallell 1	Parallell 2	Parallell 3	Parallell 4	Parallell 5	avg	SD	SD % cleaned
1	20,00	19,50	25,50	-	-	21,7	1,9	9
2	20,00	21,50	19,50	-	-	20,3	0,7	4
3	-	17,50	18,50	-	-	18,0	0,5	3
4	12,50	15,50	18,00	-	-	15,3	1,9	13
5	35,50	42,50	41,50	-	-	39,8	2,3	6
6	55,50	60,50	-	-	-	58,0	2,5	4
Raw	114,50	116,00	112,00	114,50	115,00	114,4	1,3	

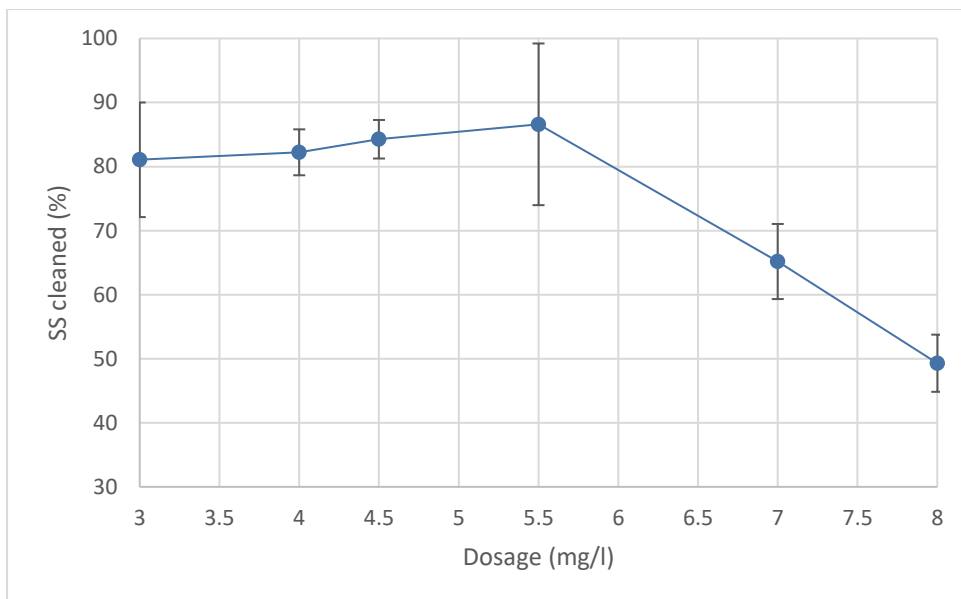
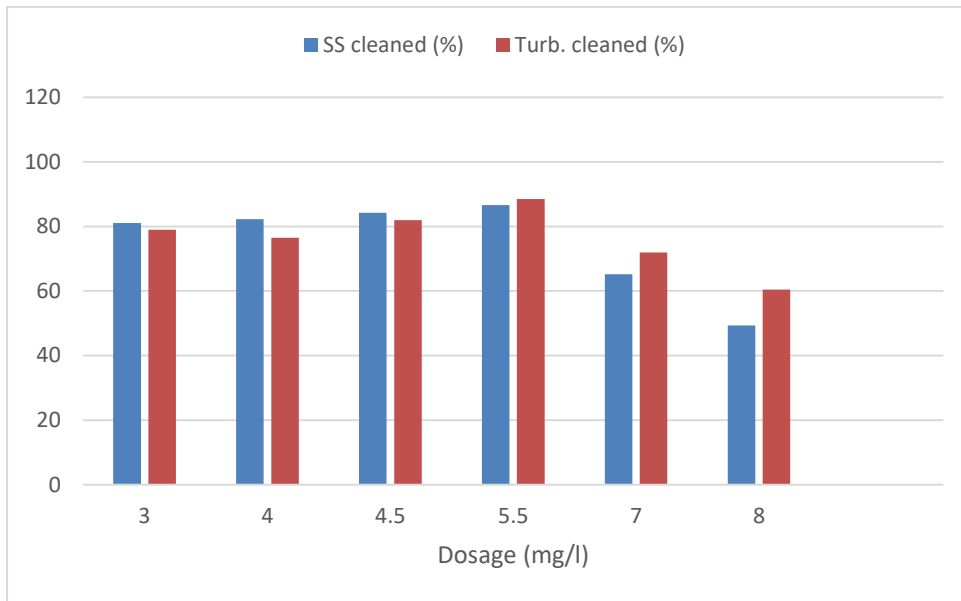
**Turbidity (NTU)**

<u>Test 1</u>	Value 1	Value 2	avg	SD	SD % cleaned
Parallell 1	12,3	-	12,3	-	
Parallell 2	13,0	14,3	13,7	0,9	
Parallell 3	12,8	-	12,8	-	
			<b>12,9</b>	<b>0,4</b>	<b>3,13</b>
<u>Test 2</u>					
Parallell 1	14,2	15,5	14,9	0,9	
Parallell 2	14,6	-	14,6	-	

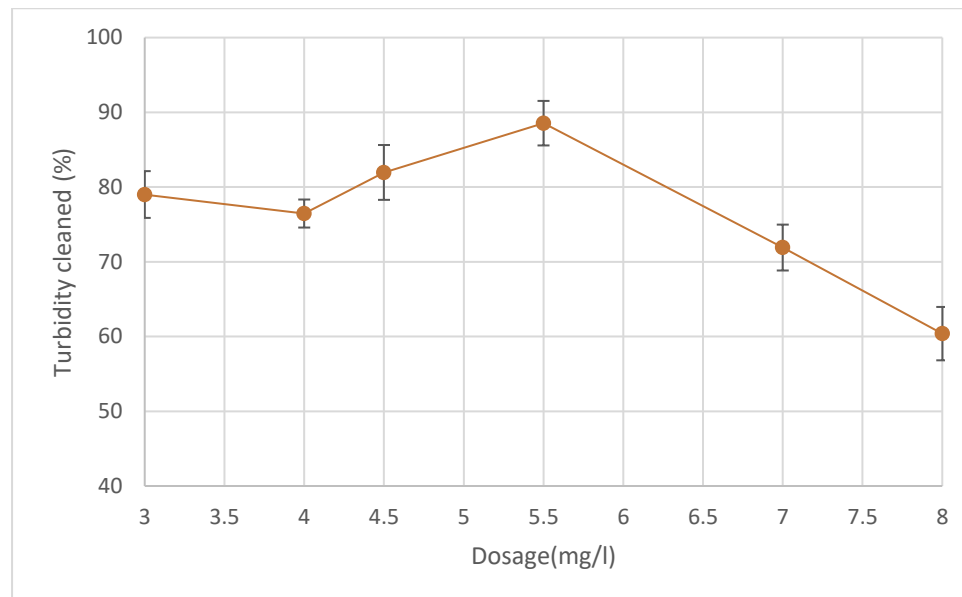
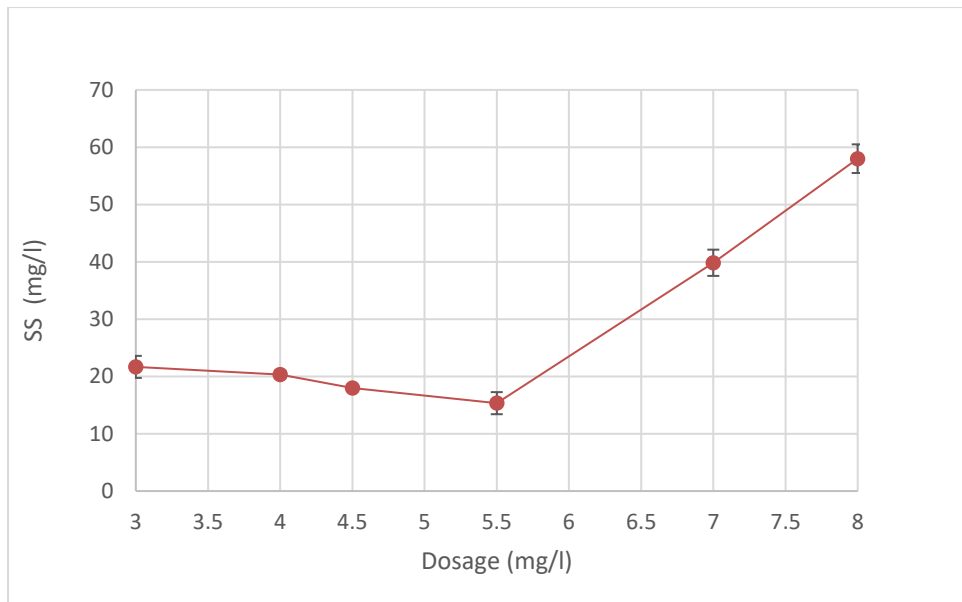
Parallell 3	14,0	-	14,0	-	
			<b>14,5</b>	<b>0,3</b>	<b>1,87</b>
<b>Test 3</b>					
Parallell 1	-	-	-	-	
Parallell 2	12,0	11,0	11,5	0,7	
Parallell 3	11,2	10,2	10,7	0,7	
			<b>11,1</b>	<b>0,4</b>	<b>3,67</b>
<b>Test 4</b>					
Parallell 1	6,8	-	6,8	-	
Parallell 2	6,9	-	6,9	-	
Parallell 3	7,5	-	7,5	-	
			<b>7,0</b>	<b>0,2</b>	<b>2,98</b>
<b>Test 5</b>					
Parallell 1	15,4	17,2	16,3	1,3	
Parallell 2	17,0	19,1	18,1	1,5	
Parallell 3	17,5	-	17,5	-	
			<b>17,3</b>	<b>0,5</b>	<b>3,07</b>
<b>Test 6</b>					
Parallell 1	23,5	22,5	23,0	0,7	
Parallell 2	25,3	-	25,3	-	
Parallell 3	24,8	-	24,8	-	
			<b>24,4</b>	<b>0,9</b>	<b>3,57</b>
<b>Raw</b>					
Parallell 1	60,7	-	60,7	-	
Parallell 2	62,6	-	62,6	-	
Parallell 3	60,6	-	60,6	-	
Parallell 4	62,9	-	62,9	-	
Parallell 5	60,6	-	60,6	-	
Parallell 6	61,7	-	61,7	-	
			<b>61,5</b>	<b>0,4</b>	

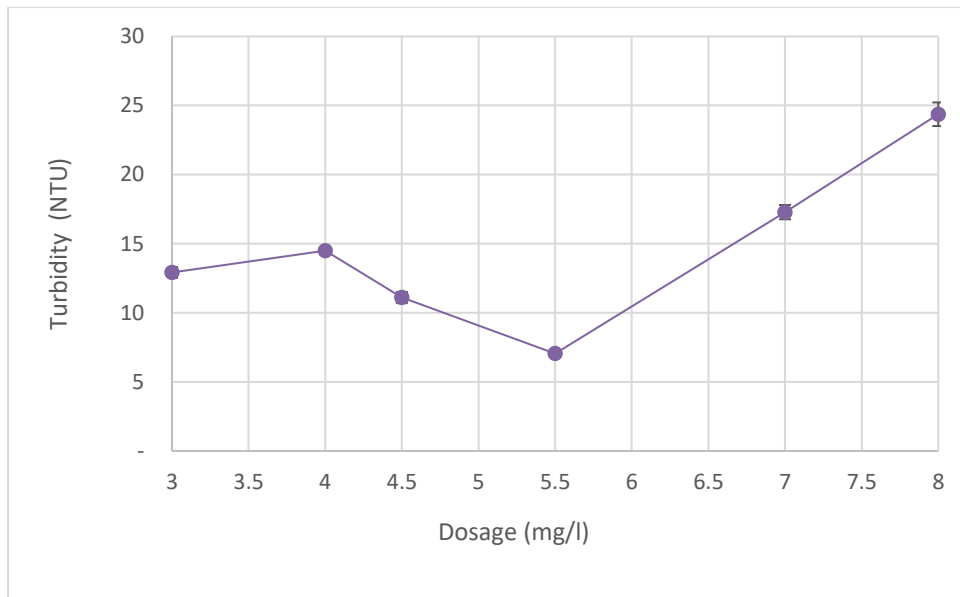
### SS and turbidity

Test nr	Dosage (mg/l)	SS (mg/l)	SS cleaned (%)	Turb. (NTU)	Turb. cleaned (%)
1	3	21,7	81	12,9	79
2	4	20,3	82	14,5	76
3	4,5	18,0	84	11,1	82
4	5,5	15,3	87	7,0	89
5	7	39,8	65	17,3	72
6	8	58,0	49	24,4	60
Raw	0	114,4		61,5	









Test nr 15

Date 27/3/2018,  
28/3/2018

Ημερομηνία λήψης  
λυμάτων:

Ροή νερού (L/s):

pH:

Temp:

27-Μαρ

1021

7,871

10,5

7,695

10,8

#### Παράμετροι

Διαφέρουσα: RPM

Δοσολογία: 5,5 mg/L

Όγκος

δοκιμής: 1 L, τετράγωνο δοχείο

όγκος

δείγματος: 200 ml: 4x 50 ml

χρόνος καθίζησης 75 sec

Χρόνος καθίζησης λυμάτων 10 min

Χρόνος ανάμιξης: 15 sec

Μεθοδολογικές παραλληλίες για SS και θολερότητα

SS  
(mg/  
l)

Test nr	Parallell 1	Parallell 2	Parallell 3	Parallell 4	Parallell 5	Parallell 6	avg	SD	SD % cleaned
1	32,55	33,55	33,10				33,1	0,3	2
2	15,20	15,15	16,50				15,6	0,4	3
3	11,90	12,00	11,45				11,8	0,2	2
4	8,20	8,80	10,05				9,0	0,5	6
5	9,50	8,85	9,45				9,3	0,2	3
6	8,90	8,15	8,40				8,5	0,2	3
7	8,50	8,83	8,05				8,5	0,2	3
8	-	14,95	14,80				14,9	0,1	1
9	13,05	13,90	13,05				13,3	0,3	3
10	16,00	11,45	13,00				13,5	1,3	10
Raw	71,80	67,55	68,90	69,50	67,45	69,80	69,2	0,9	

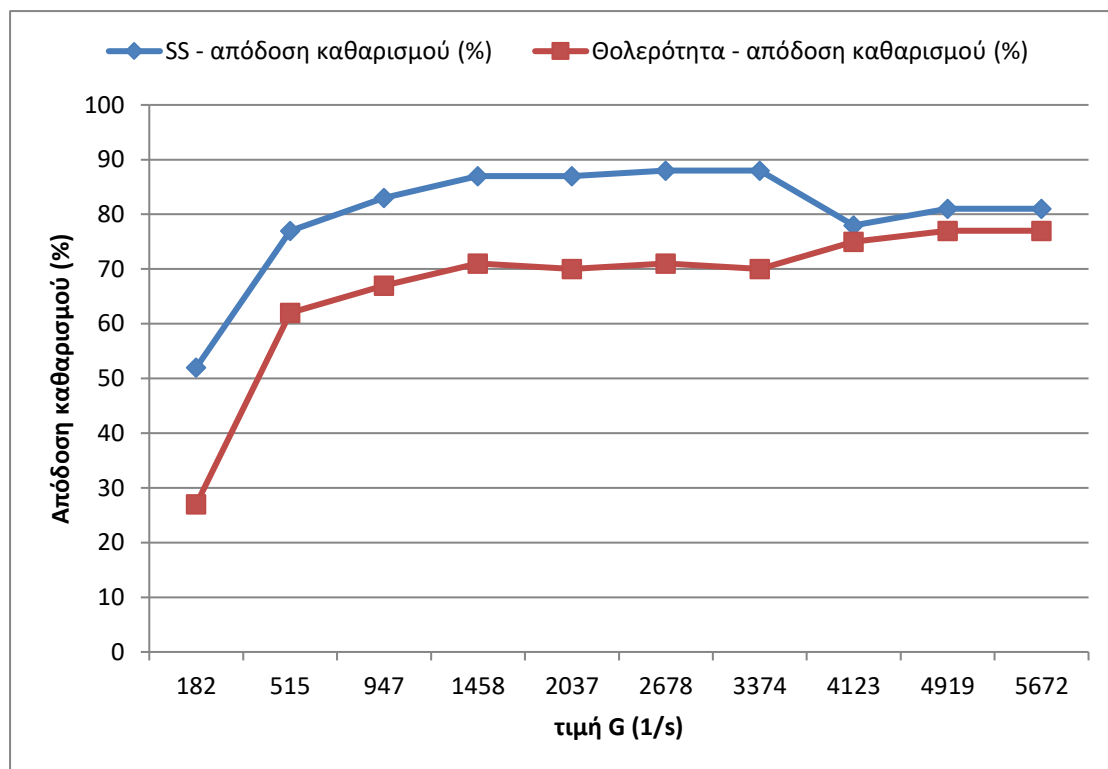
#### Turbidity (NTU)

<u>Test 1</u>	Value 1	Value 2	avg	SD	SD % cleaned
Parallell 1	29,8	-	29,8	-	
Parallell 2	30,4	-	30,4	-	
Parallell 3	26,7	-	26,7	-	
			<b>29,0</b>	<b>1,1</b>	<b>5</b>
<u>Test 2</u>					
Parallell 1	15,4	14,6	15,0	0,6	
Parallell 2	14,8	15,2	15,0	0,3	
Parallell 3	14,7	-	14,7	-	
			<b>14,9</b>	<b>0,1</b>	<b>2</b>
<u>Test 3</u>					
Parallell 1	12,8	13,8	13,3	0,7	
Parallell 2	13,2	-	13,2	-	
Parallell 3	12,9	-	12,9	-	
			<b>13,1</b>	<b>0,1</b>	<b>2</b>
<u>Test 4</u>					
Parallell 1	10,3	11,1	10,7	0,6	
Parallell 2	11,5	-	11,5	-	
Parallell 3	11,8	12,2	12,0	0,3	
			<b>11,4</b>	<b>0,4</b>	<b>4</b>
<u>Test 5</u>					
Parallell 1	12,4	-	12,4	-	
Parallell 2	10,9	11,3	11,1	0,3	
Parallell 3	11,6	-	11,6	-	
			<b>11,7</b>	<b>0,4</b>	<b>4</b>
<u>Test 6</u>					

Parallell 1	11,4	-	11,4	-	
Parallell 2	10,9	11,7	11,3	0,6	
Parallell 3	11,2	-	11,2	-	
			<b>11,3</b>	<b>0,1</b>	<b>2</b>
<b><u>Test 7</u></b>					
Parallell 1	11,9	-	11,9	-	
Parallell 2	12,0	-	12,0	-	
Parallell 3	11,8	-	11,8	-	
			<b>11,9</b>	<b>0,1</b>	<b>2</b>
<b><u>Test 8</u></b>					
Parallell 1	-	-	-	-	
Parallell 2	9,5	-	9,5	-	
Parallell 3	9,7	10,1	9,9	0,3	
			<b>9,7</b>	<b>0,2</b>	<b>3</b>
<b><u>Test 9</u></b>					
Parallell 1	8,9	-	8,9	-	
Parallell 2	9,5	-	9,5	-	
Parallell 3	9,0	-	9,0	-	
			<b>9,1</b>	<b>0,3</b>	<b>4</b>
<b><u>Test 10</u></b>					
Parallell 1	8,7	9,1	8,9	0,2	
Parallell 2	8,9	-	8,9	-	
Parallell 3	9,0	-	9,0	-	
			<b>8,9</b>	<b>0,0</b>	<b>2</b>
<b><u>Raw</u></b>					
Parallell 1	39,9	-	39,9	-	
Parallell 2	42,2	-	42,2	-	
Parallell 3	40,9	-	40,9	-	
Parallell 4	39,4	-	39,4	-	
Parallell 5	39,1	-	39,1	-	
Parallell 6	35,6	-	35,6	-	
			<b>39,5</b>	<b>0,9</b>	

### SS and turbidity

Test nr	RPM	G value	SS (mg/l)	SS cleaned (%)	Turb. (NTU)	Turb. cleaned (%)
1	200	182	33,1	52	29,0	27
2	400	515	15,6	77	14,9	62
3	600	947	11,8	83	13,1	67
4	800	1458	9,0	87	11,4	71
5	1000	2037	9,3	87	11,7	70
6	1200	2678	8,5	88	11,3	71
7	1400	3374	8,5	88	11,9	70
8	1600	4123	14,9	78	9,7	75
9	1800	4919	13,3	81	9,1	77
10	2000	5672	13,5	81	8,9	77
Raw			69,2		39,5	



Test nr 16

Date 3/4/2018,  
4/4/2018

Ημερομηνία λήψης

λυμάτων:

Ροή νερού (L/s):

pH:

Temp:

3-Απρ

1029

8,028

13,6

7,442

12,5

Παράμετροι

Διαφέρουσα: rpm

Δοσολογία: 5,5 mg/L

Όγκος

δοκιμής: 1 L, τετράγωνο δοχείο

όγκος

δείγματος: 200 ml: 4x 50 ml

χρόνος καθίζησης 75 sec

Χρόνος καθίζησης λυμάτων 10 min

Χρόνος ανάμιξης: 15 sec

Μεθοδολογικές παραλληλίες για SS και θολερότητα

**SS (mg/l)**

Test nr	Parallell 1	Parallell 2	Parallell 3	Avg	SD	SD % cleaned
1	54,10	59,75	52,15	55,3	2,3	4
2	27,05	29,60	26,80	27,8	0,9	3
3	-	22,40	30,00	26,2	3,8	15
4	23,40	26,05	24,85	24,8	0,8	3
5	26,40	27,65	23,85	26,0	1,1	4
6	25,35	22,35	25,80	24,5	1,1	4
7	30,70	34,50	30,95	32,1	1,2	4
8	28,15	32,65	26,95	29,3	1,7	6
9	29,00	30,75	35,00	31,6	1,8	6
10	32,00	35,35	31,20	32,9	1,3	4
Raw 1	180,60	181,80	182,00	181,5	0,4	
Raw 2	190,35	192,40	192,60	191,8	0,7	

**Turbidity (NTU)**

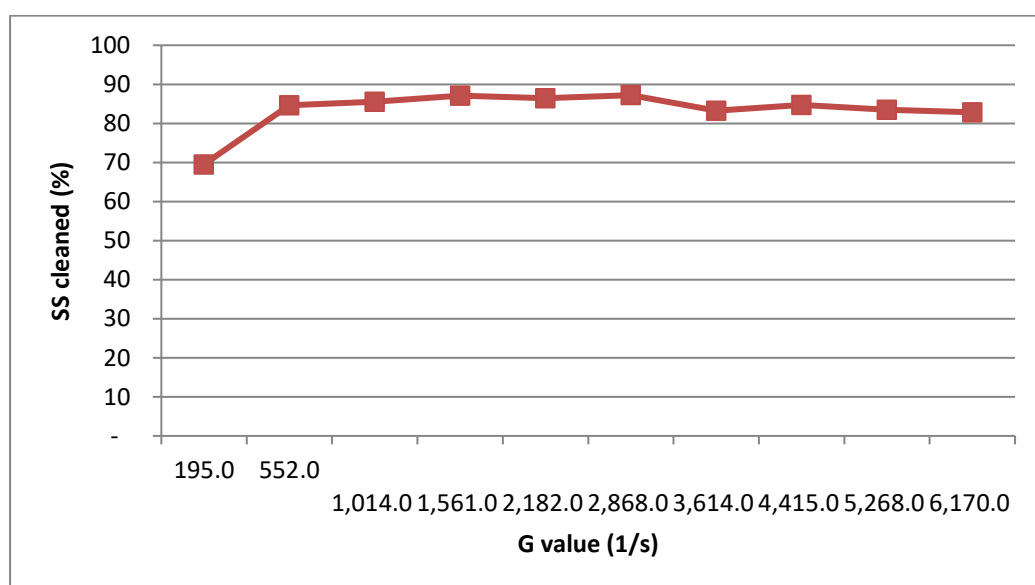
<b><u>Test 1</u></b>	Value 1	Value 2	<b>Avg</b>	<b>SD</b>	<b>SD % cleaned</b>
Parallell 1	31,8	33,5	32,7	,2	
Parallell 2	33,8	-	33,8	-	
Parallell 3	36,0	-	36,0	-	
			<b>34,2</b>	<b>1,0</b>	<b>3</b>
<b><u>Test 2</u></b>					
Parallell 1	18,2	-	18,2	-	
Parallell 2	18,2	-	18,2	-	
Parallell 3	18,0	-	18,0	-	
			<b>18,1</b>	<b>0,1</b>	<b>1</b>
<b><u>Test 3</u></b>					
Parallell 1	16,0	-	16,0	-	
Parallell 2	16,6	-	16,6	-	
Parallell 3	16,4	-	16,4	-	
			<b>16,3</b>	<b>0,2</b>	<b>1</b>
<b><u>Test 4</u></b>					
Parallell 1	13,8	14,6	14,2	0,6	
Parallell 2	14,0	-	14,0	-	
Parallell 3	14,0		14,0		
			<b>14,1</b>	<b>0,1</b>	<b>1</b>
<b><u>Test 5</u></b>					
Parallell 1	13,8	-	13,8	-	
Parallell 2	14,5	15,1	14,8	0,4	
Parallell 3	14,6	-	14,6	-	
			<b>14,4</b>	<b>0,3</b>	<b>2</b>
<b><u>Test 6</u></b>					
Parallell 1	14,1	-	14,1	-	
Parallell 2	14,3	-	14,3	-	
Parallell 3	15,3	-	15,3	-	
			<b>14,6</b>	<b>0,4</b>	<b>3</b>
<b><u>Test 7</u></b>					
Parallell 1	19,0	-	19,0	-	
Parallell 2	19,1	-	19,1	-	
Parallell 3	19,0	20,0	19,5	0,7	
			<b>19,2</b>	<b>0,2</b>	<b>1</b>
<b><u>Test 8</u></b>					
Parallell 1	19,7	-	19,7	-	
Parallell 2	19,5	-	19,5	-	
Parallell 3	19,4	-	19,4	-	
			<b>19,5</b>	<b>0,1</b>	<b>1</b>
<b><u>Test 9</u></b>					
Parallell 1	21,2	-	21,2	-	

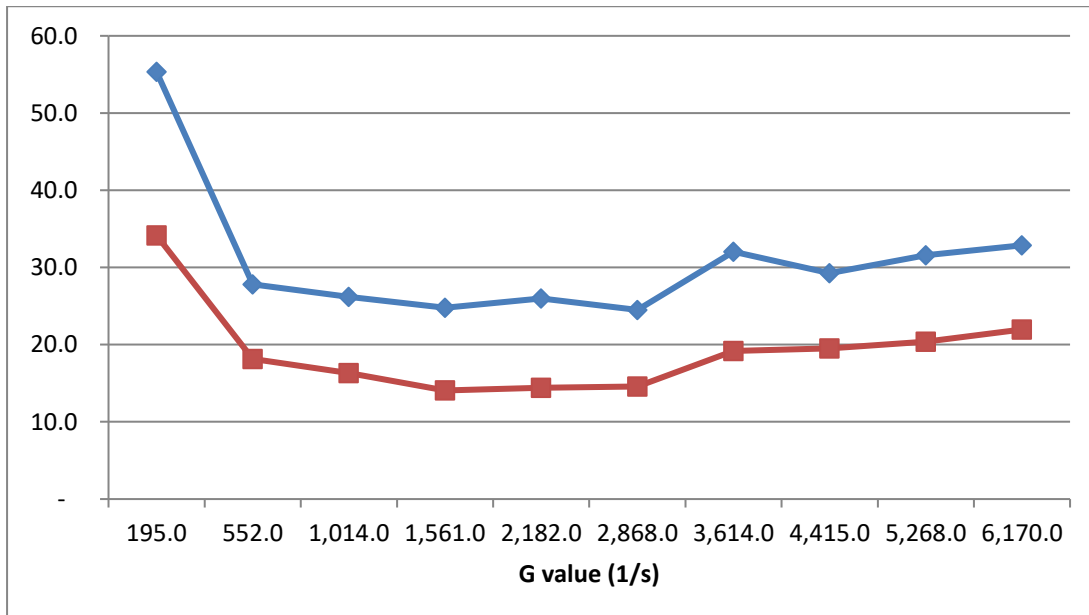
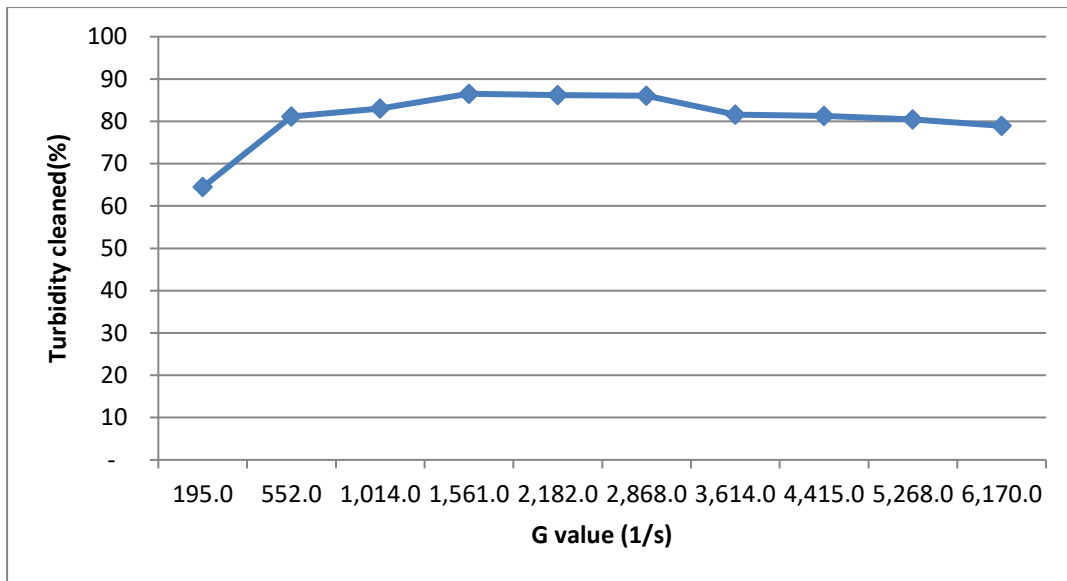
Parallell 2	19,1	-	19,1	-	
Parallell 3	20,8	-	20,8	-	
			<b>20,4</b>	<b>0,9</b>	<b>5</b>
<b><u>Test 10</u></b>					
Parallell 1	22,6		22,6		
Parallell 2	22,4	-	22,4	-	
Parallell 3	20,9	-	20,9	-	
			<b>22,0</b>	<b>0,5</b>	<b>2</b>
<b><u>Raw 1</u></b>					
Parallell 1	96,7	-	96,7	-	
Parallell 2	96,3	-	96,3	-	
Parallell 3	95,2	-	95,2	-	
			<b>96,1</b>	<b>0,4</b>	
<b><u>Raw 2</u></b>					
Parallell 4	104,0	-	104,0	-	
Parallell 5	103,0	-	103,0	-	
Parallell 6	106,0	-	106,0	-	
			<b>104,3</b>	<b>0,4</b>	



# SS and turbidity

Tes t nr	RPM	SS (mg/l)	G value	SS raw avg (mg/l)	SS cleane d (%)	Turb. (NTU)	Turb. Raw avg (NTU)	Turb. cleaned (%)
1	200	55,3	195, 0	181,5	70	34,2	96,1	64
2	400	27,8	552, 0	181,5	85	18,1	96,1	81
3	600	26,2	1.01 4,0	181,5	86	16,3	96,1	83
4	800	24,8	1.56 1,0	191,8	87	14,1	104,3	87
5	1000	26,0	2.18 2,0	191,8	86	14,4	104,3	86
6	1200	24,5	2.86 8,0	191,8	87	14,6	104,3	86
7	1400	32,1	3.61 4,0	191,8	83	19,2	104,3	82
8	1600	29,3	4.41 5,0	191,8	85	19,5	104,3	81
9	1800	31,6	5.26 8,0	191,8	84	20,4	104,3	80
10	2000	32,9	6.17 0,0	191,8	83	22,0	104,3	79
Avg raw				188,7				





## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2.

Data for testing of preferred rate velocity

Test nr 17  
Date 12/4/2018

Ημερομηνία λήψης λυμάτων:	Ροή νερού(L/s):	pH:	Tem p :
12-Απρ	0(10 min before: 110	7,473	12, 9

### Παράμετροι

Διαφέρουσα:	Δοσολογία (mg/l)	G
Ταχύτητα:	800 RPM	valu 1561/s ~
Όγκος δοκιμής:	1 L, τετράγωνο δοχείο	e 1560/s
Όγκος δείγματος:	200 ml; 4x 50 ml	
Χρόνος καθίζησης:	75 sec	
Χρόνος καθίζησης λυμάτων:	10 min	
Χρόνος ανάμιξης :	15 sec	
Μεθοδολογικές παραλλαγές για SS και θολερότητα		

### SS (mg/l )

Test nr	Parallel 1	Parallel 2	Parallel 3	AVG	SD	SD cleaned(%)
1	-	84,60	84,40	84,5	0,1	3
2	59,80	54,70	60,50	58,3	1,8	4
3	50,85	46,85	43,95	47,2	2,0	5
4	35,20	38,25	42,15	38,5	2,0	6
5	29,15	28,50	31,35	29,7	0,9	4
Raw	115,25	125,00	125,95	122,1	3,4	

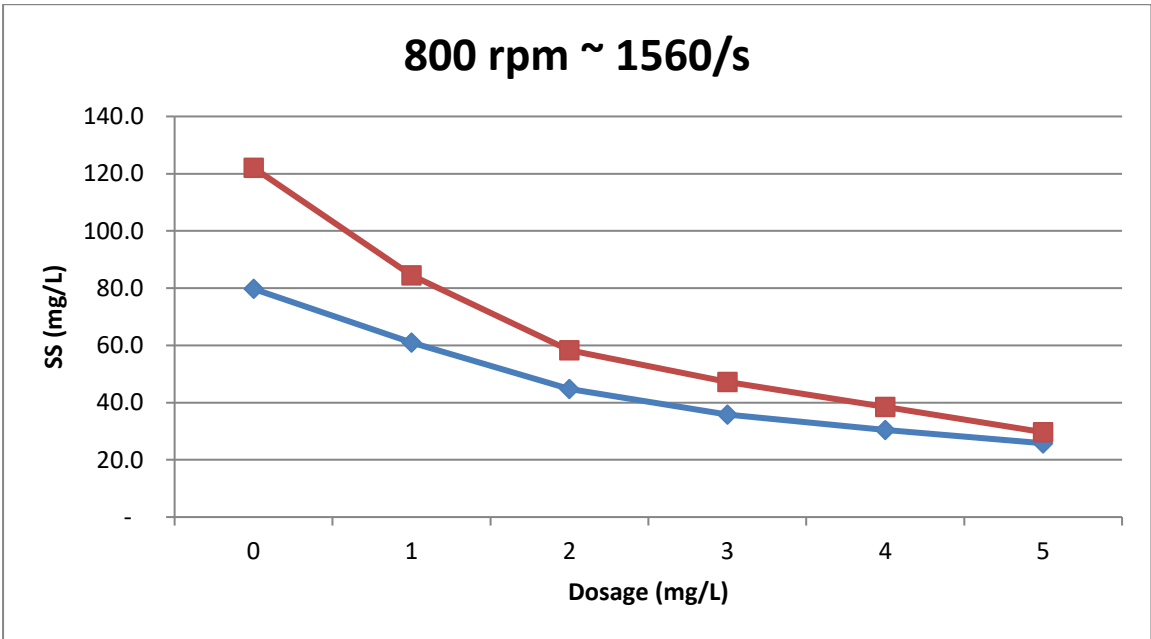
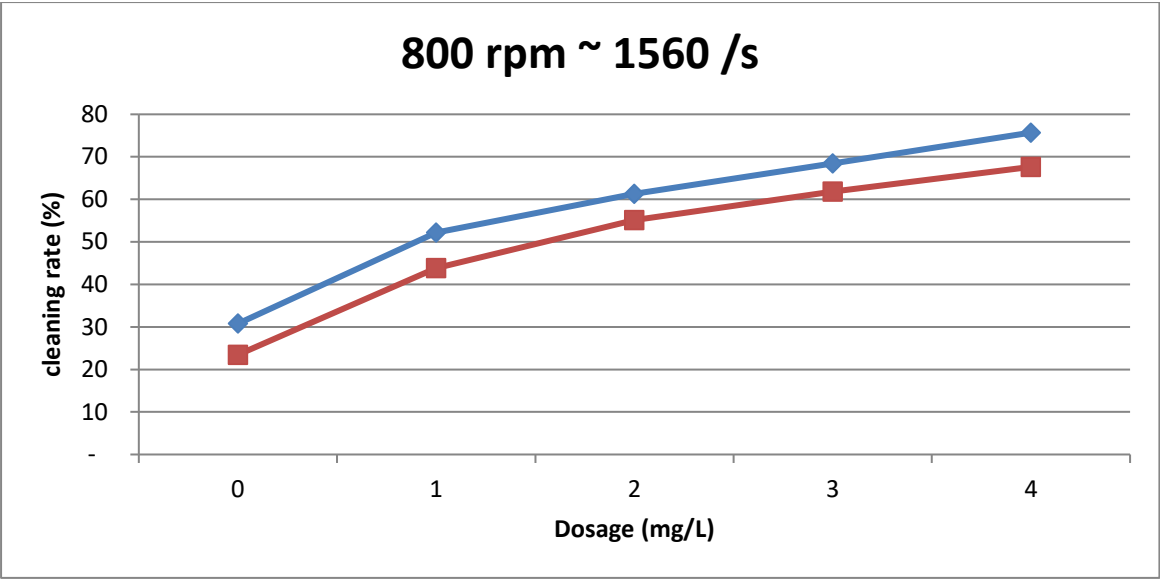
### Turbidity (NTU)

Test 1	Avg	SD	SD % cleaned
Parallel 1	59,1		

Parallell 2	62,3		
Parallell 3	61,7		
	<b>61,0</b>	<b>1,0</b>	<b>2</b>
<b><u>Test 2</u></b>			
Parallell 1	46,3		
Parallell 2	43,2		
Parallell 3	44,8		
	<b>44,8</b>	<b>0,9</b>	<b>3</b>
<b><u>Test 3</u></b>			
Parallell 1	35,9		
Parallell 2	37,2		
Parallell 3	34,3		
	<b>35,8</b>	<b>1,5</b>	<b>4</b>
<b><u>Test 4</u></b>			
Parallell 1	30,8		
Parallell 2	31,0		
Parallell 3	29,5		
	<b>30,4</b>	<b>0,5</b>	<b>2</b>
<b><u>Test 5</u></b>			
Parallell 1	26,5		
Parallell 2	25,4		
Parallell 3	25,5		
	<b>25,8</b>	<b>0,4</b>	<b>2</b>
<b><u>Raw</u></b>			
Parallell 1	78,8		
Parallell 2	78,0		
Parallell 3	82,4		
	<b>79,7</b>	<b>1,4</b>	

#### SS and turbidity

Test nr	Dosage (mg/l)	SS (mg/l)	SS cleaned(%)	Turb. (NTU)	Turb. cleaned (%)
Raw	0	122,1		79,7	
1	1	84,5	31	61,0	23
2	2	58,3	52	44,8	44
3	3	47,2	61	35,8	55
4	4	38,5	68	30,4	62
5	5	29,7	76	25,8	68



Test nr 18

Dato 13/4/2018

Ημερομηνία λήψης λυμάτων:  
12-Απρ

Ροή νερού(L/s):  
738

pH:  
7,241

Temp:  
12,8

Παράμετροι

Διαφέρουσα: Δοσολογία (mg/l) G value 2868/s ~ 2870/s

Ταχύτητα: 1200 RPM

Όγκος δοκιμής: 1 L, τετράγωνο δοχείο

Όγκος δείγματος: 200 ml; 4x 50 ml

Χρόνος καθίζησης: 75 sec

Χρόνος καθίζησης λυμάτων: 10 min

Χρόνος ανάμιξης : 15 sec

Μεθοδολογικές παραλληλίες για SS και θολερότητα

**SS (mg/l)**

Test nr	Parallell 1	Parallell 2	Parallell 3	avg	SD	SD cleaned (%)
1	77,8	78,15	82,85	79,6	1,6	3
2	61,3	60,7	60,85	61,0	0,2	2
3	48,55	46	48,95	47,8	0,9	3
4	38,5	35,25	-	36,9	1,6	5
5	23,4	24,95	24	24,1	0,5	3
Raw	109,7	117,15	118,05	115,0	2,6	

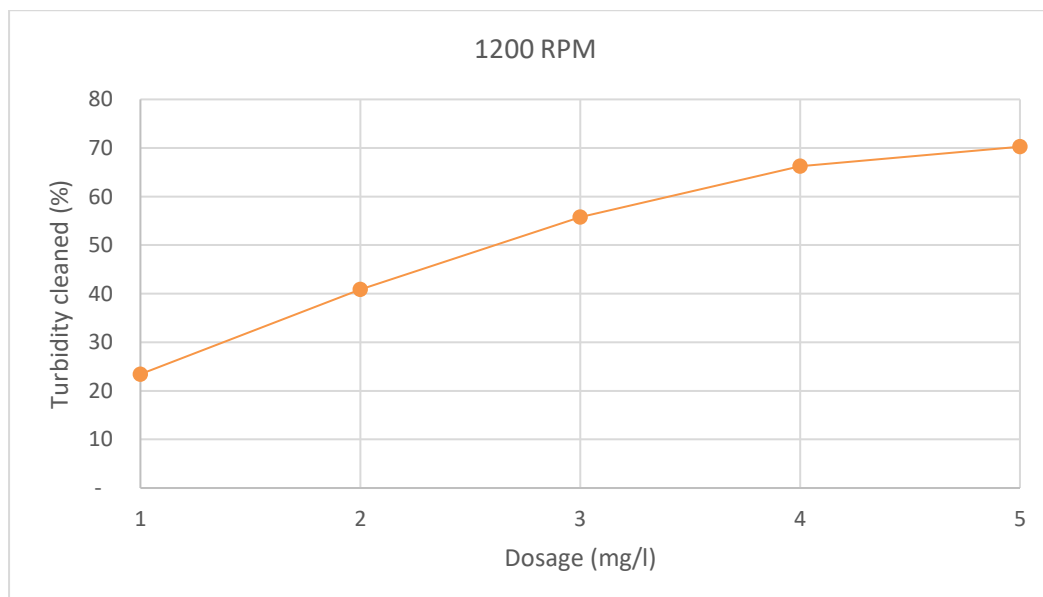
**Turbidity (NTU)**

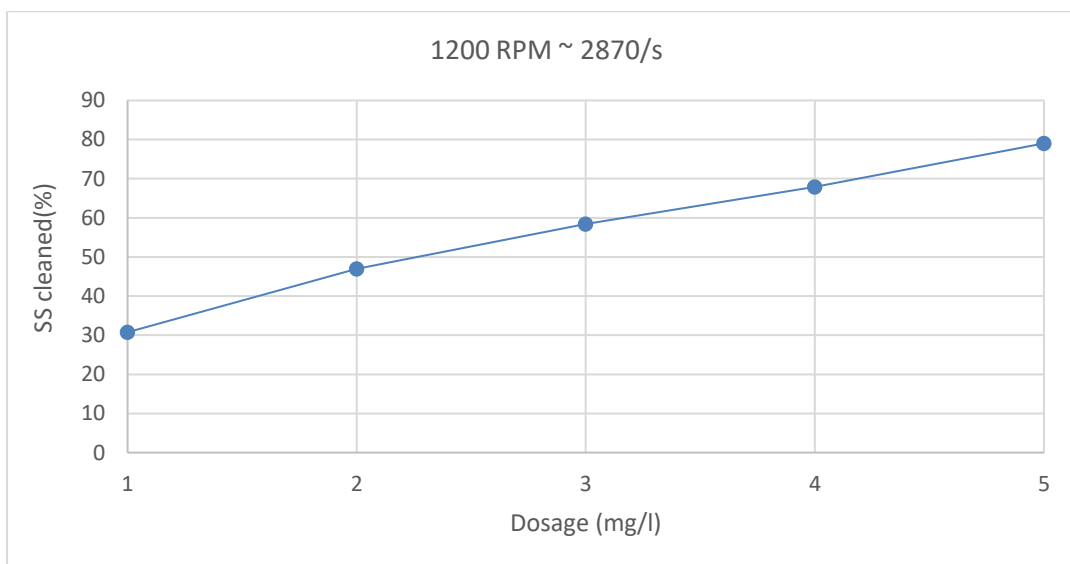
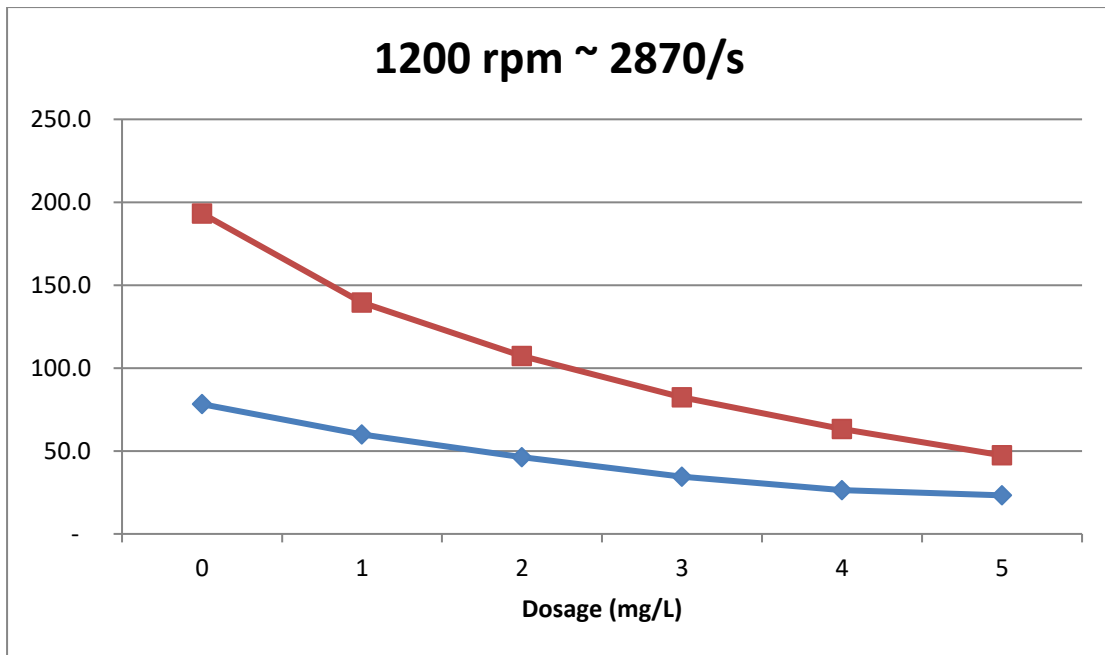
<u>Test 1</u>	avg	SD	SD % cleaned
Parallell 1	57,6		
Parallell 2	61,6		
Parallell 3	60,5		
	<b>59,9</b>	<b>1,2</b>	<b>2</b>
<u>Test 2</u>			
Parallell 1	45,8		
Parallell 2	48,4		
Parallell 3	44,6		
	<b>46,3</b>	<b>1,1</b>	<b>3</b>
<u>Test 3</u>			
Parallell 1	34,5		
Parallell 2	33,8		
Parallell 3	35,5		
	<b>34,6</b>	<b>0,9</b>	<b>3</b>

<b>Test 4</b>			
Parallell 1	28,4		
Parallell 2	28,1		
Parallell 3	22,8		
	<b>26,4</b>	<b>1,8</b>	<b>7</b>
<b>Test 5</b>			
Parallell 1	22,8		
Parallell 2	22,9		
Parallell 3	24,1		
	<b>23,3</b>	<b>0,4</b>	<b>2</b>
<b>Raw</b>			
Parallell 1	77,0		
Parallell 2	79,0		
Parallell 3	78,7		
	<b>78,2</b>	<b>0,6</b>	

#### SS and turbidity

Test nr	Dosage (mg/l)	SS (mg/l)	SS cleaned (%)	Turbidity (NTU)	Turb. cleaned (%)
1	1	79,6	31	59,9	23
2	2	61,0	47	46,3	41
3	3	47,8	58	34,6	56
4	4	36,9	68	26,4	66
5	5	24,1	79	23,3	70
Raw	0	115,0		78,2	







Test nr 19

Date 20/4/2018

Ημερομηνία λήψης λυμάτων:  
20-Απρ

Ροή νερού(L/s):  
738

pH:  
7,792

Temp:  
13,3

Παράμετροι

Διαφέρουσα: Δοσολογία (mg/l) G value 2868/s ~ 2870/s

Ταχύτητα: 1200 RPM

Όγκος δοκιμής: 1 L, τετράγωνο δοχείο

Όγκος δείγματος: 200 ml; 4x 50 ml

Χρόνος καθίζησης: 75 sec

Χρόνος καθίζησης λυμάτων: 10 min

Χρόνος ανάμιξης : 15 sec

Μεθοδολογικές παραλληλίες για SS και θολερότητα

**SS (mg/l)**

Test nr	Parallell 1	Parallell 2	Parallell 3	avg	SD	SD cleaned (%)
1	-	60,3	61,55	60,9	0,6	2
2	42,45	44,5	40,85	42,6	1,1	3
3	26,25	28,85	26,7	27,3	0,8	3
4	19,85	21	19,2	20,0	0,5	3
5	12,7	14,36	9,96	12,3	1,3	10
Raw	101,2	102,15	105,25	102,9	1,2	

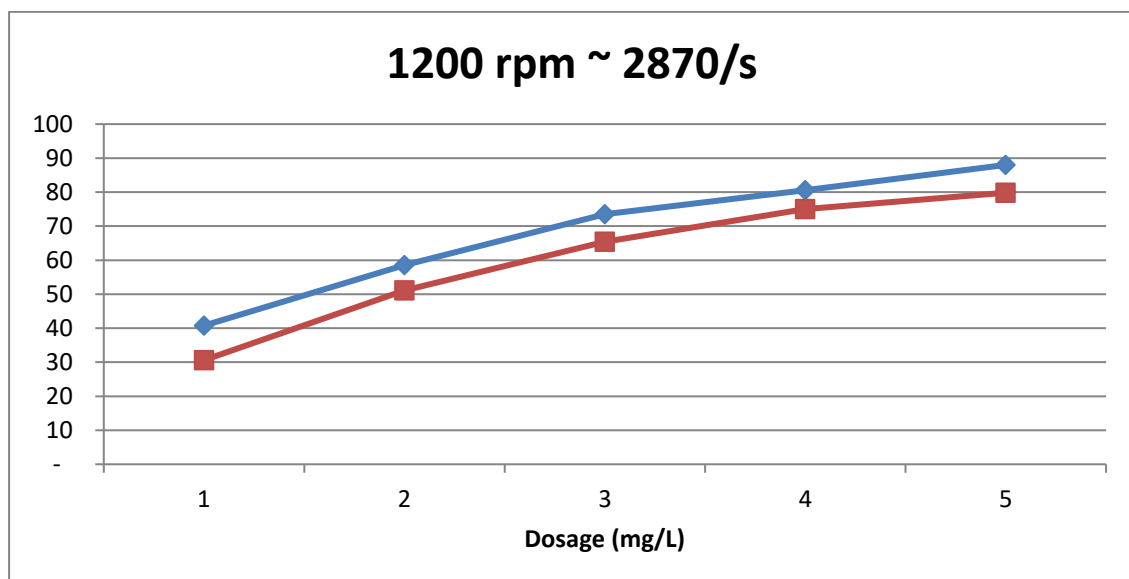
**Turbidity (NTU)**

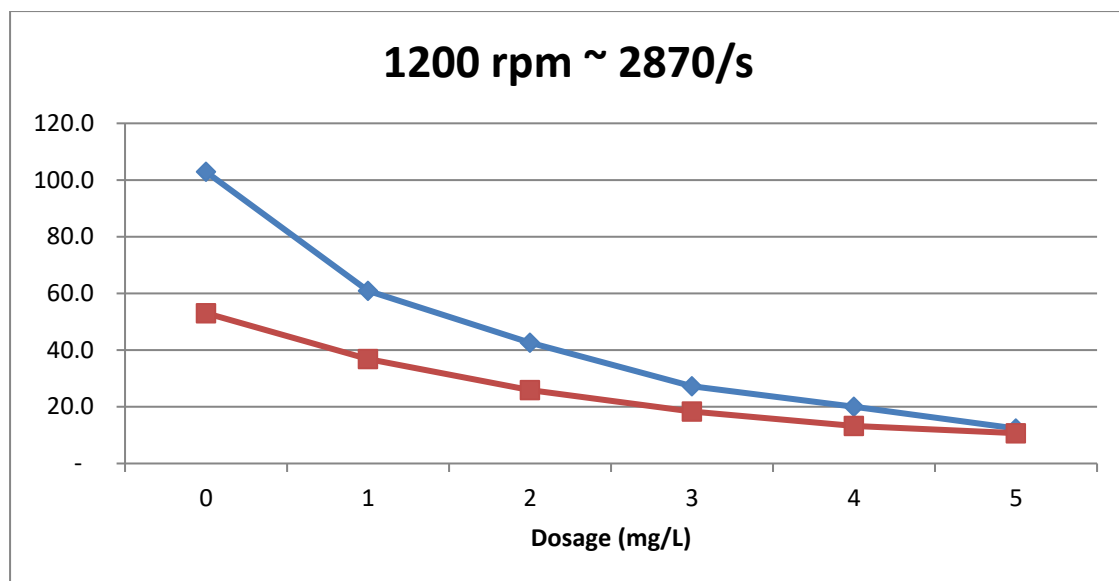
<u>Test 1</u>	avg	SD	SD % cleaned
Parallell 1	-		
Parallell 2	36,7		
Parallell 3	36,9		
	<b>36,8</b>	<b>0,1</b>	<b>3</b>
<u>Test 2</u>			
Parallell 1	26,3		
Parallell 2	26,5		
Parallell 3	25,0		
	<b>25,9</b>	<b>0,5</b>	<b>3</b>
<u>Test 3</u>			
Parallell 1	18,4		
Parallell 2	18,8		

Parallell 3	17,8		
	<b>18,3</b>	<b>0,5</b>	<b>4</b>
<b>Test 4</b>			
Parallell 1	13,1		
Parallell 2	13,2		
Parallell 3	13,5		
	<b>13,3</b>	<b>0,1</b>	<b>3</b>
<b>Test 5</b>			
Parallell 1	10,7		
Parallell 2	10,9		
Parallell 3	10,5		
	<b>10,7</b>	<b>0,1</b>	<b>3</b>
<b>Raw</b>			
Parallell 1	50,9		
Parallell 2	56,0		
Parallell 3	52,2		
	<b>53,0</b>	<b>1,5</b>	

#### SS and turbidity

Test nr	Dosage (mg/l)	SS (mg/l)	SS cleaned (%)	Turbidity (NTU)	Turb. cleaned (%)
1	1	60,9	41	36,8	31
2	2	42,6	59	25,9	51
3	3	27,3	73	18,3	65
4	4	20,0	81	13,3	75
5	5	12,3	88	10,7	80
Raw	0	102,9		53,0	





## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2. Φύλλο Excel 4

Method development and optimization

Test 2

**SS (mg/l)**

Test nr	Parallell 1	Parallell 2	Parallell 3	Parallell 4	avg	SD	SD % cleaned
1	76,00	58,00	66,00	68,00	67	5	18
2	36,00	34,00	42,00	48,00	40	4	20
3	24,00	22,00	30,00	38,00	29	5	24
4	32,00	20,00	22,00	26,00	25	4	22
Raw	182,00	178,00	120,00	118,00	150	25	

Test 9

**SS (mg/l)**

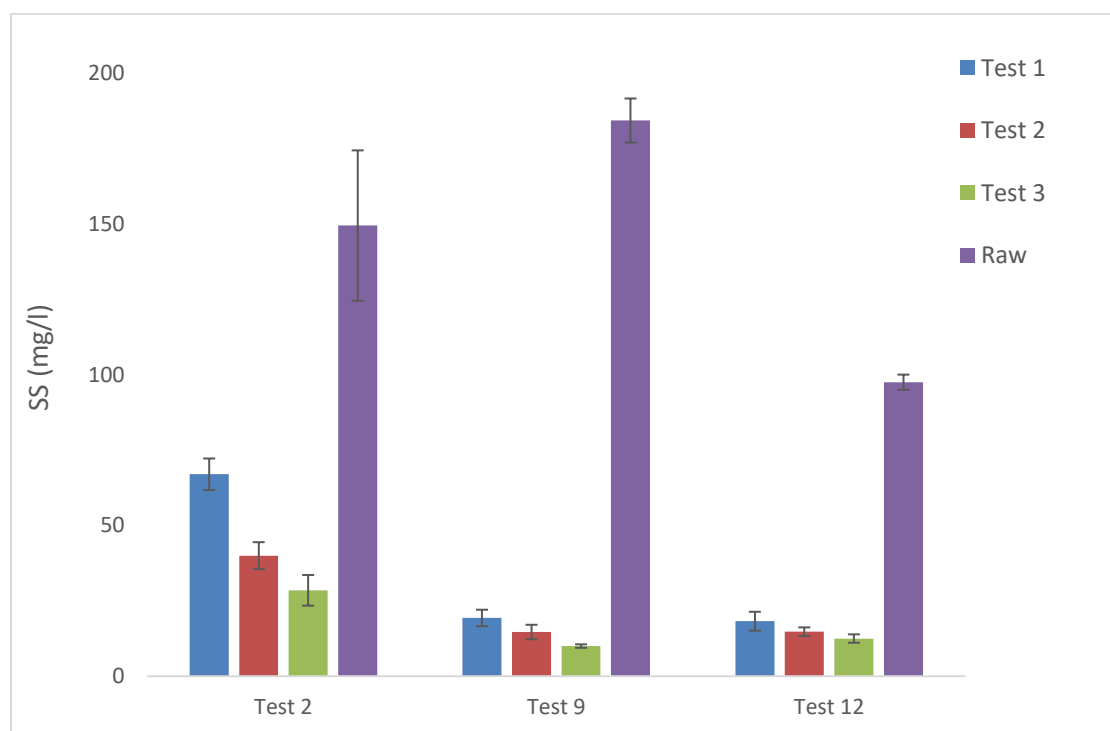
Test nr	Parallell 1	Parallell 2	Parallell 3	avg	SD	SD % cleaned
1	23,00	14,00	21,00	19	3	15
2	16,00	18,00	10,00	15	2	17
3	10,00	11,00	9,00	10	1	7
Raw	173,00	198,00	182,00	184	7	

Test 12

**SS (mg/l)**

Test nr	Parallell 1	Parallell 2	Parallell 3	avg	SD	SD cleaned (%)
1	16,05	15,60	23,10	18,3	3,1	17,4
2	16,75	12,05	15,50	14,8	1,4	10,1
3	12,25	10,70	14,55	12,5	1,4	11,5
Raw	92,50	100,35	99,75	97,5	2,5	

	Test 2	Test 9	Test 12
Test 1	67	19	18
Test 2	40	15	15
Test 3	29	10	13
Raw	150	184	98



### ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3.

## Test schedule

Test No:

Varying parameter:

Constant parameter values:

Volume in flask:

Sample volume:

Mixing time: 15 sec

DATE / Test Time:

sewage:

Cleaning plant, date, time:

Water flow:

pH (3-11):

Temperature:

sedimentation:

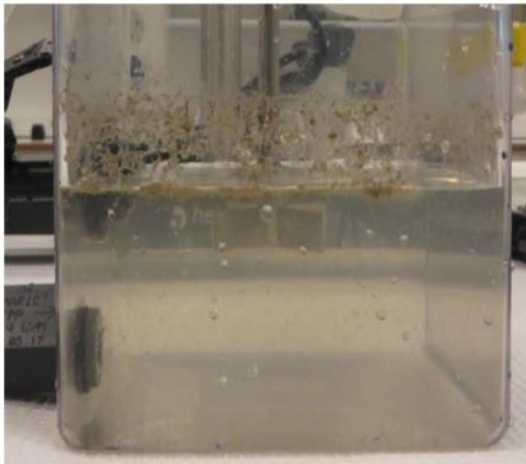
Number:

[illegible]

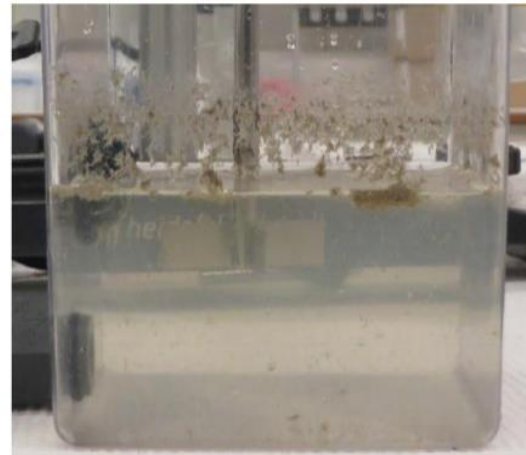
Samples put in heat cabinet (time):

Comments for any sample:

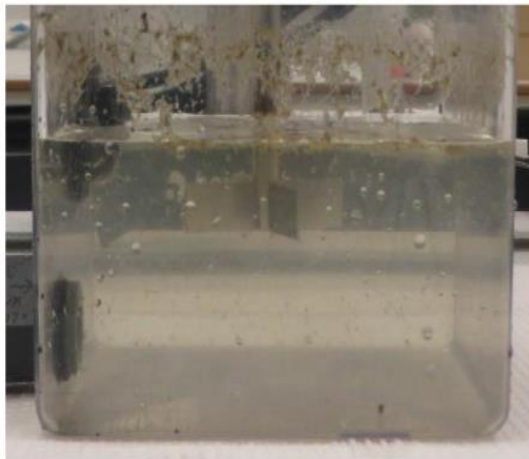
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4. Εικόνες από το Test 14



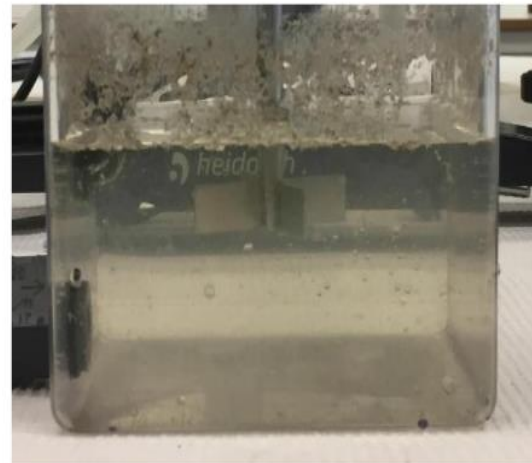
3,0 mg



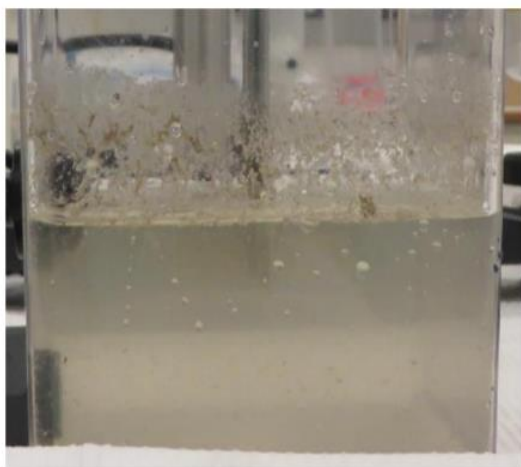
4,0 mg/l



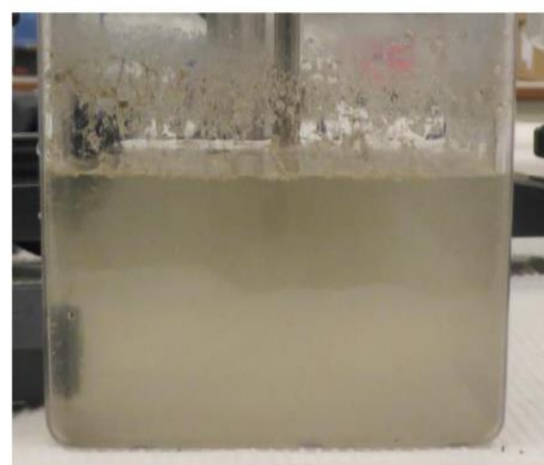
4,5 mg/l



5,5 mg/l



7,0 mg/



8,0 mg/l



Raw sample