



## Εργαστήριο Βιομηχανικών Διεργασιών

### Σημειώσεις για την εργαστηριακή άσκηση:

### Συσσωμάτωση και διήθηση σε συστήματα ροής

#### Γενικά

Η ροή ρευστών μέσα από πορώδη κλίνη συναντάται στη φύση αλλά και σε πολλές διατάξεις με τεχνολογικό ενδιαφέρον. Παραδείγματα είναι η διήθηση, η ροή νερού, πετρελαίου ή/και άλλων ρευστών μέσα στη γή, κλπ. Γενικά στις εφαρμογές αυτές πρέπει να σχετίζεται η πτώση πίεσης κατά μήκος της κλίνης με την ογκομετρική παροχή μέσα από αυτή την κλίνη. Σε αρκετά υψηλές παροχές και όταν η ταχύτητα του ρευστού είναι αντίθετη από την επιτάχυνση της βαρύτητας, είναι δυνατόν ελεύθερα σωματίδια (ή πληρωτικά υλικά) να αιωρηθούν στο ρευστό. Στην ορολογία της Χημικής Μηχανικής μία κλίνη στην πρώτη κατάσταση ονομάζεται σταθερή ή μόνιμη (fixed bed) και στη δεύτερη ρευστοποιημένη (fluidized bed).

#### Διήθηση σε βαθύ στρώμα

Η διήθηση σε βαθύ στρώμα χρησιμοποιείται συνήθως για την διάγνωση υγρών. Χρησιμοποιούνται συνήθως για την επεξεργασία πόσιμου νερού αλλά και οικιακών αποβλήτων. Χρησιμοποιούν πορώδες διηθητικό υλικό για να συγκρατήσουν σωματίδια δια μέσω του διηθητικού μέσου. Συνήθως είναι φίλτρα άμμου και έχουν το πλεονέκτημα, ότι μπορούν να συγκρατούν μεγάλο αριθμό σωματιδίων, χωρίς να ελαττώνεται η ικανότητα διαχωρισμού τους. Επίσης, επειδή η διήθηση λαμβάνει χώρα σε όλη τη δομή του μέσου, μπορούν να συγκρατούν μεγάλες ποσότητες σωματιδίων πριν να φράξουν. Τα φίλτρα άμμου χωρίζονται σε φίλτρα γρήγορης ή

αργής διήθησης. Κατά τη γρήγορη διήθηση επιτυγχάνονται γραμμική ταχύτητα μεταξύ 5 και 15 m/h, ενώ οι διεργασίες αργής διήθησης συνήθως λαμβάνουν χώρα σε γραμμική ταχύτητα 0.1 με 0.2 m/h.

Εάν διέρχεται παροχή  $Q$  κατακόρυφα από τον κύλινδρο, ορίζουμε σαν φαινομενική ταχύτητα ή ταχύτητα διήθησης  $V$  της ροής το πηλίκο της παροχής διηρημένης με το εμβαδόν της διατομής  $S$ .

$$V = \frac{Q}{S} \text{ m/h,}$$

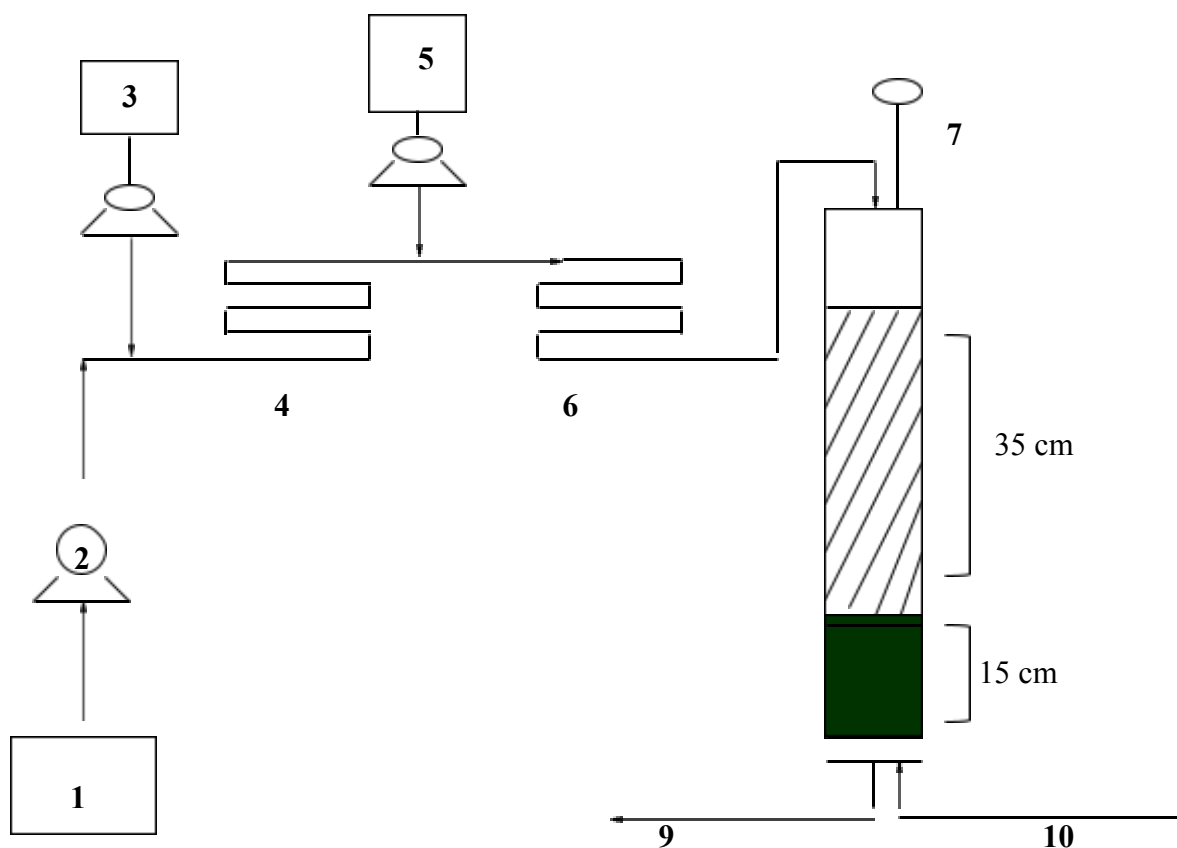
### **Κροκίδωση ακολουθούμενη από διήθηση**

Μια από τις κύριες εφαρμογές της διήθησης σε βαθύ στρώμα είναι η κροκίδωση-συσσωμάτωση ακολουθούμενη από απευθείας διήθηση. Κατά την κροκίδωση δημιουργούνται συσσωματώματα, τα οποία στη συνέχεια απομακρύνονται με την εφαρμογή της απευθείας διήθησης. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται αρκετά υψηλός βαθμός καθαρισμού του νερού σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα.

Σε μια τέτοια εγκατάσταση, οι παράμετροι που πρέπει να ελέγχονται είναι η ταχύτητα διήθησης και η δόση και το είδος του κροκιδωτικού και αναλόγως με το σχεδιασμό της επεξεργασίας και η δόση του πολυηλεκτρολύτη. Οι παράμετροι αυτοί επηρεάζουν ποικιλοτρόπως την απόδοση της επεξεργασίας και πρέπει να ελέγχονται ώστε να αποτρέπεται η απόφραξη του φίλτρου χωρίς όμως να μειώνεται η αποτελεσματικότητα της διήθησης-απομάκρυνσης.

## Περιγραφή πειραματικής διαδικασίας

Στο παρακάτω σχήμα δίνεται ένα σκαρίφημα της πειραματικής συσκευής επεξεργασίας νερού.



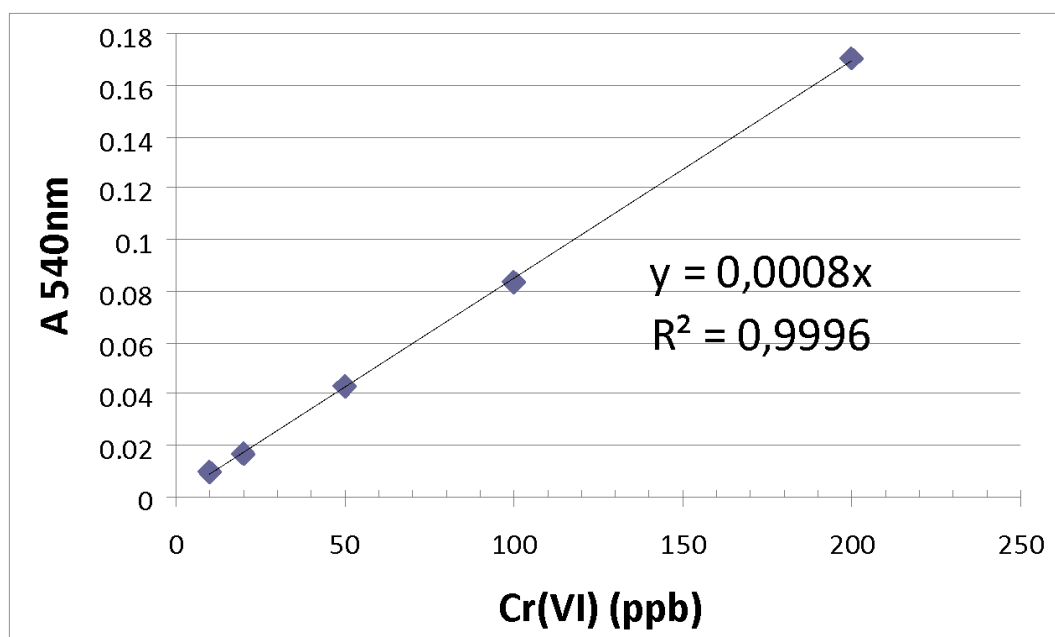
**Σχήμα 1:** Σκαρίφημα της εγκατάστασης επεξεργασίας νερού σε σύστημα ροής με συσσωμάτωση και διήθηση.

**1:** Εισερχόμενο απόβλητο, **2:** Αντλία, **3:** Μονάδα προσθήκης κροκιδωτικού, **4** σωλήνας κροκίδωσης (0.6 m μήκος, 7 mm εσωτερική διάμετρος), **5:** προσθήκη πολυηλεκτρολύτη **6:** Σωλήνας συσσωμάτωσης (0.6 m μήκος, 15 mm εσωτερική διάμετρος), **7:** μανόμετρο, **8:** φίλτρο άμμου (μέγεθος σωματιδίων 0-2.5 mm and 4-8 mm), **9:** Επεξεργασμένο υγρό, **10:** Νερό για αντίστροφη πλύση της εγκατάστασης. **Χαρακτηριστικά στήλης:** Ύψος στήλης: 1m, Ύψος κλίνης: 50 cm, Εσωτερική διάμετρος κυλίνδρου: 68 mm

Στην παρούσα άσκηση θα γίνει επεξεργασία νερού επιρρυπασμένου με εξασθενές χρώμιο, με σκοπό την απομάκρυνση του. Η απομάκρυνση του εξασθενούς χρωμίου γίνεται με προσθήκη διαλύματος δισθενούς σιδήρου (π.χ.  $\text{FeSO}_4$ ) το οποίο βρίσκεται στο δοχείο του κροκιδωτικού σε χαμηλό pH, για να αποφευθεί η οξείδωση του σε τρισθενή σίδηρο από το οξυγόνο, αντίδραση, η οποία γίνεται γρήγορα σε τιμές pH μεγαλύτερες από 7. Ο δισθενής σίδηρος αντιδρά με το εξασθενές χρώμιο και από

την αντίδραση οξειδοαναγωγής, ο δισθενής σίδηρος οξειδώνεται σε τρισθενή και το εξασθενές χρώμιο ανάγεται σε τρισθενές. Το Cr(III) είναι διαλυτό στο νερό και καθιζάνει με τη μορφή των υδροξειδίων του χρωμίου ( $\text{Cr}(\text{OH})_3$ ) ή συμπλόκων τρισθενούς σιδήρου με τρισθενές χρώμιο.

Το υπολειμματικό εξασθενές χρώμιο μετρείται φασματοφωτομετρικά με την μέθοδο του διφαινυλοκαρβαζιδίου (DPC). Συγκεκριμένα, το διαλυμένο εξασθενές χρώμιο, σε διαλύματα, μπορεί να προσδιοριστεί χρωματομετρικά όταν αντιδράσει με διφαινυλοκαρβαζίδιο σε όξινο περιβάλλον. Η προσθήκη περίσσειας διφαινυλοκαρβαζιδίου δεσμεύει το Cr(VI) και προσδίδει στο διάλυμα το κόκκινο-βιολετί χρώμα, το οποίο μετράται φωτομετρικά στα 540nm. Η αντίδραση είναι πολύ ευαίσθητη και ο δείκτης απορρόφησης είναι περίπου 40,000 ανά γραμμομόριο χρωμίου στα 540nm.



**Σχήμα 2:** Καμπύλη αναφοράς εξασθενούς χρωμίου για συγκεντρώσεις από 0 μέχρι 200  $\mu\text{g}/\text{L}$  (ppb).

Οι παράμετροι που γενικώς μελετώνται είναι η γραμμική ταχύτητα, η συγκέντρωση του κροκιδωτικού, δοσολογία πολυηλεκτρολύτη και η αρχική συγκέντρωση του χρωμίου και τα αποτελέσματα θα εκφράζονται ως απομάκρυνση εξασθενούς χρωμίου.

### Παράδειγμα υπολογισμών

Αρχική συγκέντρωση εξασθενούς χρωμίου 50 µg/L

Και παροχή 36 L/h

Συγκέντρωση δισθενούς σιδήρου στο δοχείο τροφοδοσίας 2 mg/L

Παροχή αντλίας σιδήρου 2 L/h

Στο σημείο μετά την ανάμειξη και πριν εισέλθουν στους σωλήνες οι συγκεντρώσεις είναι οι κάτωθι, βάσει υπολογισμών:

$$36\text{L/h} * 50 \mu\text{g/L} + 2 \text{L/h} * 0 \mu\text{g/L} = C_{\tau} * 38 \text{L/h}$$

$C_{\tau} =$