

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας

ΜΑΘΗΜΑ
«Εργαστήριο Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος»

Εργαστήριο Π.Τ. 1
Παραγωγή πόσιμου νερού
(πειράματα κροκίδωσης, συσσωμάτωσης, καθίζησης και διύλισης)

Ιωάννης Δ. Μαντζιάρας
Ε.ΔΙ.Π.

Ακαδημαϊκό έτος 2020-2021

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το **εργαστηριακό** αυτό μάθημα στοχεύει στην εξοικείωση των φοιτητών της **ΣΧΟΛΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ** του **Ε.Μ.Π.**, με ένα **Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας** παρέχοντας τη δυνατότητα επαφής με το σκεπτικό προσέγγισης και τις μεθόδους μετρήσεων, για την αποτίμηση της ποιότητας πόσιμου νερού.

Οι φοιτητές παρακολουθούν και συμμετέχουν στο εργαστηριακό μάθημα με στόχο την εύρεση διαφόρων σημαντικών ιδιοτήτων και παραμέτρων του νερού, που παίζουν ρόλο στο σχεδιασμό και στη λειτουργία μιας Εγκατάστασης Επεξεργασίας Νερού (ΕΕΝ). Για το σκοπό αυτό, πραγματοποιείται πείραμα προσομοίωσης των διαδικασιών της κροκίδωσης, συσσωμάτωσης, καθίζησης και διύλισης.

Κάθε εργαστήριο αρχίζει με μικρή εισήγηση για το σκοπό και τους στόχους της άσκησης - μέτρησης και ολοκληρώνεται με συζήτηση για τα αποτελέσματα της μέτρησης, τις τυχόν αστοχίες του πειράματος, αλλά κυρίως για την πρακτική εφαρμογή των αποτελεσμάτων.

2. ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ

2.1. Κροκίδωση – Συσσωμάτωση – Καθίζηση (JAR Test)

Τα στερεά που υπάρχουν στο ανεπεξέργαστο νερό προκαλούν θολότητα. Η θολότητα μετριέται σε νεφελομετρικές μονάδες θολότητας NTU (NTU = Nephelometric Turbidity Units). Τα πιο μεγάλα σε μέγεθος στερεά, έχουν συνήθως αρκετό βάρος για να καθιζάνουν από μόνα τους όταν βρεθούν σε ηρεμία (Δεξαμενές Καθίζησης), Τα μικρότερα σε μέγεθος στερεά (συνήθως τα κολλοειδή στερεά και μικρής διαμέτρου αιωρούμενα στερεά), έχουν πολύ μικρότερα μεγέθη και δεν καθιζάνουν από μόνα τους.

Υπάρχει συσχέτιση της θολότητας Θ (σε μονάδες NTU) με τη συγκέντρωση των ολικών αιωρούμενων στερεών στο νερό TSS (Total Suspended Solids, σε μονάδες mg/L), που την προκαλούν. Ο λόγος λ ($\lambda = \text{TSS} / \Theta$), για τις περισσότερες πηγές νερού, κυμαίνεται μεταξύ $\lambda=0.7$ και $\lambda=2$, με τυπική τιμή περίπου 1.

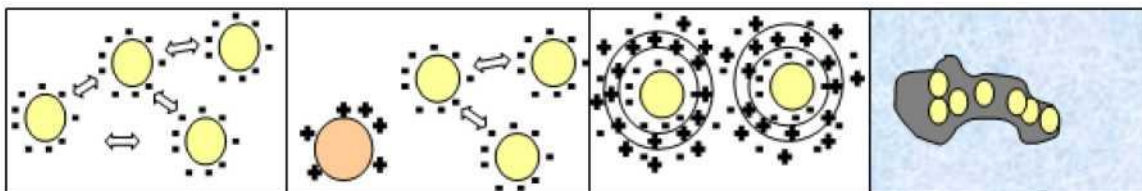
Η **κροκίδωση** (coagulation) και η **συσσωμάτωση** (flocculation) είναι διεργασίες κατά τις οποίες τα κολλοειδή, αλλά και άλλα μικρά σε μέγεθος αιωρούμενα σωματίδια του νερού που κυρίως είναι υπεύθυνα για τη θολότητα του νερού, προετοιμάζονται με κατάλληλα αντιδραστήρια για την **αποσταθεροποίηση του κολλοειδούς αιωρήματος**, τη **συνένωση (συσσωμάτωση)** και την απομάκρυνσή τους π.χ. με **καθίζηση**.

Ως κολλοειδή χαρακτηρίζονται τα οπτικώς (δια γυμνού οφθαλμού) ομογενή μίγματα ή αλλιώς τα συστήματα διασποράς σωματιδίων μεγέθους $10^{-3} \mu\text{m} - 1,0 \mu\text{m}$. Τα σωματίδια αυτά ονομάζονται και μικκύλια. Τα μικκύλια μπορεί να είναι συσσωματώματα μορίων, μικροκρύσταλλοι, ή μεγαλομόρια (με μεγάλο μοριακό βάρος και διαστάσεις, όπως πρωτεΐνες, πολυμερή, νουκλεϊκά οξέα, πολυσακχαρίτες κ.ά.). Η απομάκρυνσή τους με απλή καθίζηση είναι αδύνατη λόγω του μικρού μεγέθους και του ηλεκτρικού φορτίου τους. Μεταξύ των κολλοειδών σωματιδίων αναπτύσσονται 2 ειδών δυνάμεις:

- A) Ελκτικές δυνάμεις (δυνάμεις Van der Waals - σχετικά ασθενείς) και
- B) Απωστικές δυνάμεις (ηλεκτροστατικής φύσης - αρκετά ισχυρότερες).

Συχνά, τα **κολλοειδή σχηματίζουν σταθερά αιωρήματα** λόγω του όμοιου (αρνητικού) φορτίου και της επακόλουθης ηλεκτροστατικής άπωσης μεταξύ τους. Για την επίτευξη της συσσωμάτωσης των κολλοειδών προς μεγαλύτερα και τον εύκολο διαχωρισμό τους, θα πρέπει να συμβεί αποσταθεροποίησή τους, δηλαδή εξουδετέρωση του επιφανειακού αρνητικού φορτίου. Έτσι, κατά

την προσθήκη των κροκιδωτικών (που έχουν θετικά φορτισμένα ιόντα), εξουδετερώνεται ή ελαττώνεται το φορτίο, ώστε τα κολλοειδή να αποκτήσουν συνολικό φορτίο κοντά στο μηδέν, οπότε υπερσχύουν οι ελκτικές δυνάμεις Van der Waals έναντι των απωστικών ηλεκτρικών δυνάμεων. Αυτή η εξουδετέρωση φορτίων ονομάζεται και **αποσταθεροποίηση του κολλοειδούς αιωρήματος**. Στη συνέχεια, με την ανάδευση, λαμβάνει χώρα η σύγκρουση και η ακόλουθη συνένωση των σωματιδίων προς σχηματισμό συσσωματωμάτων (κροκίδες, flocs) (Σχήμα 1). Με την **κροκίδωση** τα κολλοειδή συστήματα παύουν να είναι ομογενή. Με τη **συσσωμάτωση** τα τεμαχίδια των συστατικών (flocs) ξεπερνούν σε μέγεθος το όριο των 10^{-4} cm και γίνονται πλέον ορατά με γυμνό μάτι και με ικανό βάρος για να καθιζάνουν.



Σχήμα 1. Ο μηχανισμός της κροκίδωσης - συσσωμάτωσης

Διακρίνονται λοιπόν, τρία στάδια:

1. Ταχεία Μίξη: Η προσθήκη χημικών μέσων, γνωστών ως κροκιδωτικών, σε δεξαμενή ταχείας μίξης. Το στάδιο αυτό είναι το βασικό στάδιο της κροκίδωσης (coagulation). Τα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά της δεξαμενής ταχείας μίξης έχουν ως ακολούθως:

- Μέσος υδραυλικός χρόνος παραμονής στη δεξαμενή ταχείας μίξης $t = V/Q = 20 - 120$ sec, όπου: Q = παροχή νερού (m^3/d) και V = όγκος δεξαμενής ταχείας μίξης (m^3)
- Κλίση ταχύτητας (διαφορική ταχύτητα μεταξύ 2 σωματιδίων στο αναδευόμενο νερό), $G = 300 - 1000 \text{ sec}^{-1}$
- Τύπος ισχύος ανάδευσης $P = G^2 * V * \mu$, όπου:
 P : ταχύτητα παροχής ενέργειας (ισχύς) [W]
 V : όγκος υγρού στη δεξαμενή κροκίδωσης [m^3]
 μ : απόλυτη συνεκτικότητα νερού [$N \cdot \text{sec}/m^2$]

2. Συσσωμάτωση: Η συνένωση των κολλοειδών σωματιδίων που προσεγγίζουν το ένα το άλλο με αποτέλεσμα τη δημιουργία ορατών συσσωματωμάτων, η οποία επιτυγχάνεται σε δεξαμενή με αργή ανάδευση. Ο μηχανισμός αυτός ονομάζεται συσσωμάτωση ή θρόμβωση (flocculation). Τα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά της δεξαμενής συσσωμάτωσης έχουν ως ακολούθως:

- Η δεξαμενή συσσωμάτωσης είναι συχνά διαμερισματοποιημένη (3 – 4 διαμερίσματα)
- Μέσος υδραυλικός χρόνος παραμονής $t = V/Q = 20 - 45$ min, όπου: Q = παροχή νερού (m^3/d) και V = όγκος δεξαμενής συσσωμάτωσης (m^3)
- Κλίση ταχύτητας $G = 15 - 80 \text{ sec}^{-1}$ (πολύ μικρότερη από ταχεία μίξη). Μείωση των κλίσεων ταχύτητας G στα διαδοχικά διαμερίσματα: (1^ο: $G_1 = 70 - 80$), (2^ο: $G_2 = 50 - 60$), (3^ο: $G_3 = 30 - 40$) και (4^ο: $G_4 = 15 - 20$) (sec^{-1})
- Τύπος ισχύος ανάδευσης $P = G^2 * V * \mu$, όπου:
 P : ταχύτητα παροχής ενέργειας (ισχύς) [W]
 V : όγκος υγρού στη δεξαμενή κροκίδωσης [m^3]
 μ : απόλυτη συνεκτικότητα νερού [$N \cdot \text{sec}/m^2$]

3. Καθίζηση: Απομάκρυνση των σχηματισμένων μεγάλων συσσωματωμάτων με καθίζηση (sedimentation) ή με απευθείας διύλιση (filtration - για Νερά κατηγορίας Α1) ή και τα δύο. Στα ανεπεξέργαστα νερά της κατηγορίας Α2 (βλ. mycourses -> έγγραφα -> θεωρία PT final), πραγματοποιείται καθίζηση και μετά διύλιση. Συνήθως η επιτρεπόμενη φόρτιση της δεξαμενής

καθίζησης (Δ.Κ) κυμαίνεται από 40-60 m³/m².day και ο χρόνος παραμονής t=2 ώρες περίπου. Σύνηθες μέσο βάθος δεξαμενής περί τα 4-5 m. Αναμενόμενη θολότητα νερού εξόδου από την Δ.Κ, γενικώς μικρότερη από 5 NTU.

Τα συνήθη **κροκιδωτικά** (coagulants) υλικά είναι το ένυδρο **θειικό αργίλιο** (Al₂(SO₄)₃ · 14H₂O ή 18H₂O), τα **άλατα του σιδήρου** (τριχλωριούχος σίδηρος FeCl₃ · 6H₂O και θειικός σίδηρος FeSO₄ · 7H₂O) και η **υδράσβεστος** (Ca(OH)₂). Χρησιμοποιούνται ακόμα διάφοροι πολυηλεκτρολύτες (πολυοξέα και πολυαμίδια με ηλεκτρικά ενεργές ομάδες όπως COOH-, CH₂COH-CO-, NH₂-, κ.λ.π. που κυκλοφορούν με διάφορες εμπορικές ονομασίες) σαν βοηθητικά συσσωμάτωσης. Η ποσότητα των κροκιδωτικών υλικών καθώς επίσης και το περιβάλλον στο οποίο δρουν καλύτερα (θερμοκρασία, pH, ανάδευση κ.λ.π.) ελέγχεται με εργαστηριακές δοκιμές (Jar test).

Βασικό χαρακτηριστικό των διεργασιών κροκίδωσης και συσσωμάτωσης κατά την επεξεργασία του νερού, είναι οι αυξημένες ποσότητες της ιλύος (λάσπης) που προκύπτουν. Η ιλύς που συσσωρεύεται στην καθίζηση μετά από κροκίδωση και συσσωμάτωση, αποτελείται από 2 συστατικά: 1) από ίζημα υδροξειδίου του μετάλλου του κροκιδωτικού και 2) από τα σωματίδια της θολότητας του ακατέργαστου νερού που συσσωματώθηκαν και καθίζαναν.

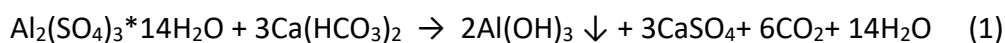
Οι ποσότητες ιλύος από αυτή τη χημική επεξεργασία, εξαρτώνται από το χρησιμοποιούμενο χημικό και τη δόση του, τα χαρακτηριστικά του ανεπεξέργαστου νερού και την απόδοση των διαδικασιών επεξεργασίας.

Εκτίμηση της ποσότητας ιλύος από κροκιδωτικό θειικό αργίλιο

Η συνολική μάζα και ο όγκος της ιλύος που παράγεται μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

Συνολική ιλύς = λάσπη από κροκιδωτικό+ λάσπη από τα στερεά θολότητας

Για παράδειγμα, για θειικό αργίλιο με 14 συνδεδεμένα νερά [Al₂(SO₄)₃ · 14H₂O], η παραγόμενη ιλύς προκύπτει από τη χημική αντίδραση:



Προκύπτει λοιπόν, ότι για κάθε 600gr Al₂(SO₄)₃ · 14H₂O παράγονται 156gr ιζήματος υδροξειδίου του μετάλλου [Al(OH)₃], δηλαδή παραγωγή ιλύος ίση με 156/600 = 0.26 της δόσης κροκιδωτικού.

Άρα:

$$M = [0.26 \cdot \Delta_{\text{Al}} + \text{TSS}] \cdot Q, \quad \text{όπου:}$$

M= η συνολική ιλύς που παράγεται, kg/day,

Q = παροχή του νερού, m³/day

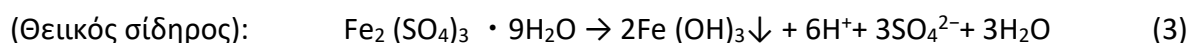
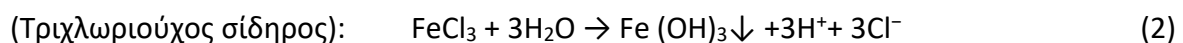
Δ_{Al}= δόση alum, mg/L (= gr/m³)

TSS = (λ * Θ) , ολικά αιωρούμενα στερεά, mg/L = (gr/m³)

Θ = Θολότητα, NTU

λ = συντελεστής σχέσης θολότητας-στερεών, αδιάστατος (συνήθως 0.7 έως 2. Τυπική τιμή 1)

Ενώ για τα άλατα σιδήρου οι χημικές αντιδράσεις και η παραγόμενη ιλύς προκύπτουν ως ακολούθως:



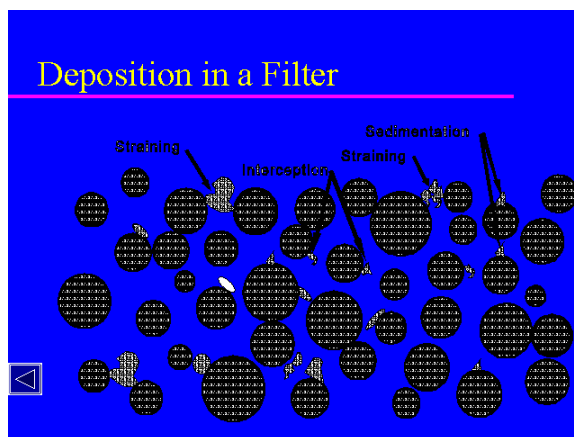
Οι αντίστοιχες ποσότητες ιλύων που προκύπτουν είναι:

$$\text{(Τριχλωριούχος σίδηρος):} \quad M = [0.66 \cdot \Delta_{\text{Al}} + \text{TSS}] \cdot Q$$

$$\text{(Θειικός σίδηρος):} \quad M = [0.53 \cdot \Delta_{\text{Al}} + \text{TSS}] \cdot Q$$

2.2. Διύλιση

Η διύλιση είναι κυρίως φυσική διαδικασία κατά την οποία απομακρύνονται από το νερό αιωρούμενα και κολλοειδή στερεά, ενώ αυτό διέρχεται μέσα από πορώδες υλικό που μπορεί να είναι ένα στρώμα άμμου ή άλλο κοκκώδες υλικό (Σχήμα 2). Μετά από κάποιο χρονικό διάστημα λειτουργίας του διυλιστηρίου, τα συγκρατούμενα από το διυλιστικό μέσο σωματίδια του νερού, έχουν ως συνέπεια την έμφραξη του φίλτρου με αποτέλεσμα την αύξηση της πτώσης πίεσης ή και την μείωση της απόδοσης της διύλισης.



Σχήμα 2. Ο μηχανισμός της διύλισης

Στις περιπτώσεις αυτές απαιτείται καθαρισμός του φίλτρου ο οποίος αποσκοπεί στην απομάκρυνση των σωματιδίων. Ο καθαρισμός (έκπλυση φίλτρου), γίνεται συνήθως με αντίστροφη ροή νερού και αέρα, μέσα από το στρώμα, το οποίο και ρευστοποιεί. Επαναφέρει έτσι το διυλιστήριο στην αρχική του καθαρή κατάσταση και έπειτα η διαδικασία της διύλισης (κανονική λειτουργία του φίλτρου) επαναλαμβάνεται. Η διύλιση αποτελεί πολύ σημαντική διαδικασία επεξεργασίας του νερού. Συχνά αποτελεί την τελευταία βαθμίδα καθαρισμού, πριν από την απολύμανση και έχει τυπικές προηγούμενες διαδικασίες την κροκίδωση και την καθίζηση. Το προϊόν της διύλισης μπορεί να έχει θολότητα μικρότερη από 0.1 NTU. Η απομάκρυνση των βακτηριδίων στο σύστημα κροκίδωσης-καθίζησης-διύλισης φθάνει περίπου στα 99%. Το διυλιστήριο έχει καλή απόδοση στην απομάκρυνση χρώματος μετά από κροκίδωση και στην απομάκρυνση οξειδωμένου σιδήρου και μαγγανίου. Ανάλογα με την εφαρμοζόμενη φόρτιση q ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$) ή αλλιώς ταχύτητα διύλισης u (m/h) (δηλαδή την ταχύτητα ροής του νερού διαμέσου του φίλτρου) τα διυλιστήρια διακρίνονται σε δύο κατηγορίες τα βραδυδιυλιστήρια και τα ταχυδιυλιστήρια. Τα βραδυδιυλιστήρια αποτελούν παλαιότερο τύπο διυλιστηρίων και δεν χρησιμοποιούνται πλέον. Στα ευρέως χρησιμοποιούμενα ταχυδιυλιστήρια, το νερό διέρχεται με ταχύτητες που κυμαίνονται συνήθως από 8-12 m/h (ή φόρτιση $q = 8-12 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$) δια μέσου του πορώδους στρώματος. Το πάχος του στρώματος διύλισης κυμαίνεται συνήθως από 0.70 έως 1.5 m . Απαιτούν σχετικά μικρή επιφάνεια, πρέπει όμως να υποβάλλονται σε συχνό καθαρισμό (η συχνότητα του οποίου εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του νερού και τα προηγούμενα στάδια επεξεργασίας), συνήθως κάθε 12-72 ώρες. Η συνολική επιφάνεια των φίλτρων προκύπτει από την ακόλουθη σχέση:

$$\text{Εολ}_\Phi (\text{m}^2) = Q/q \quad \text{ή αλλιώς} \quad \text{Εολ}_\Phi (\text{m}^2) = Q/u$$

όπου: Q = παροχή νερού (m^3/d), q = φόρτιση φίλτρου ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$) και u = ταχύτητα διύλισης (m/h). Η συνολική επιφάνεια διύλισης χωρίζεται σε επιμέρους δεξαμενές (κλίνες διύλισης) που συνήθως τοποθετούνται σε συστοιχίες (πολλές κλίνες μαζί δίπλα η μία στην άλλη). Ο αριθμός των κλινών που χρησιμοποιούνται, είναι τουλάχιστον 2, για την περίπτωση βλάβης κάποιας κλίνης. Η κάτοψη κάθε κλίνης είναι ορθογωνική, ενώ το εμβαδόν της (E_κ) είναι συνήθως μέχρι 150 m^2 , με βέλτιστο σχεδιαστικό εύρος επιφάνειας μεταξύ 100 – 150 m^2 . Ο αριθμός των κλινών προκύπτει από την συνολική επιφάνεια (Εολ_Φ) προς την επιφάνεια κάθε κλίνης (E_κ).

3. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ Π.Τ 1 (ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ)

Το εργαστηριακό σύστημα αποτελείται από συσκευή με αναδευτήρες κατάλληλη για JAR test και προσομοίωση των διαδικασιών Κροκίδωσης-Συσσωμάτωσης-Καθίζησης και από στήλη φίλτρου με πληρωτικό υλικό χαλαζιακή άμμο. Στο πλαίσιο του εργαστηρίου ΠΤ1, πρώτα θα εφαρμοστεί το πρωτόκολλο του JAR test για την εύρεση του καταλληλότερου κροκιδωτικού, του καταλληλότερου pH απόδοσης του κροκιδωτικού και της βέλτιστης δόσης του κροκιδωτικού. Στη συνέχεια, το νερό με τη βέλτιστη δόση κροκιδωτικού θα περάσει διαμέσου της στήλης φίλτρου της χαλαζιακής άμμου και θα μετρηθεί η θολότητα εξόδου του νερού. Παρακάτω περιγράφεται το πειραματικό πρωτόκολλο του JAR test, σύμφωνα με τη διεθνή πρακτική:

Πειραματικό πρωτόκολλο JAR test

Ο σκοπός του JAR test είναι η επιλογή του καταλληλότερου pH και της καταλληλότερης δόσης του επιλεγμένου κροκιδωτικού για την απομάκρυνση της θολότητας από το ακατέργαστο νερό.

Οι δοκιμές πραγματοποιούνται σε μία συσκευή με αναδευτήρες, συνήθως 4 ή 6 θέσεων, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση των συνθηκών ανάμειξης και καθίζησης μιας Ε.Ε.Ν. (Σχήμα 2). Στη συσκευή τοποθετούνται αντίστοιχα δοχεία συνήθως του 1 L (1 σε κάθε θέση αναδευτήρα).



Σχήμα 2. Συσκευές για το Jar test

Βήμα 1: Στην αρχή βρίσκεται το βέλτιστο pH στο οποίο λειτουργεί ένα κροκιδωτικό σε συνδυασμό με το συγκεκριμένο προς επεξεργασία νερό. Χρησιμοποιείται η ίδια δόση κροκιδωτικού σε όλα τα δοχεία και ρίχνοντας αναλόγως, οξύ ή βάση (συνήθως οξύ), ρυθμίζεται το pH του κάθε δοχείου. Κατόπιν, εκτελείται το πείραμα για την εύρεση του βέλτιστου pH. Όσο το pH γίνεται βέλτιστο για την κροκίδωση, τόσο μειώνεται η δόση του κροκιδωτικού που πρέπει να χρησιμοποιηθεί.

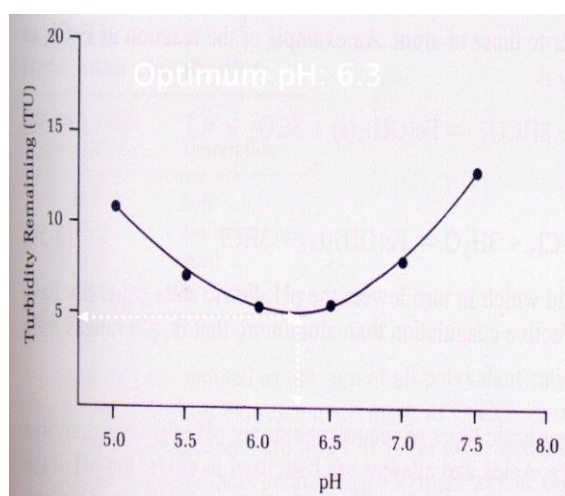
Βήμα 2: Στην συνέχεια ακολουθεί η εύρεση της βέλτιστης δόσης του κροκιδωτικού, για το συγκεκριμένο ανεπεξέργαστο νερό και για την βέλτιστη τιμή pH, που βρέθηκε στο προηγούμενο βήμα.

Η γενική διαδικασία για το JAR test έχει ως εξής:

Εύρεση βέλτιστου pH

1. Γεμίστε τα δοχεία με το ανεπεξέργαστο νερό.
2. Ρυθμίστε το pH ρίχνοντας το οξύ (H_2SO_4) ή τη βάση (NaOH ή $\text{Ca}(\text{OH})_2$) (pH: 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0, 7.5 κλπ.), ενώ αναμινύετε ελαφρώς το νερό στα δοχεία και έπειτα σταματήστε την ανάδευση.

3. Ρίξτε την ίδια ποσότητα κροκιδωτικού σε όλα τα δοχεία, ώστε να δημιουργηθεί μια ίδια τελική συγκέντρωση (δόση) σε κάθε δοχείο (συνήθως 10 με 20 mg/L).
4. Ταχεία ανάμιξη: Αναδεύστε το νερό στα δοχεία στις 150-200 στροφές ανά λεπτό για 1 λεπτό ώστε το κροκιδωτικό να διασπαρεί σε όλο τον όγκο του νερού. Εμφάνιση μικροκροκίδων.
5. Συσσωμάτωση: Έπειτα, μειώστε την ανάμιξη στις 30 με 40 στροφές ανά λεπτό για 20 λεπτά. Η αργή ανάδευση βοηθά τη συσσωμάτωση των κροκίδων σε μεγαλύτερα συσσωματώματα.
6. Καθίζηση: Στη συνέχεια σβήστε την ανάδευση και αφήστε τα συσσωματώματα να καθιζάνουν για περίπου 30 με 45 λεπτά.
7. Μετρήστε την τελική θολότητα του υπερκείμενου νερού στο κάθε δοχείο. Παρατηρείστε την ιλύ που σχηματίζεται στον πυθμένα του κάθε δοχείου.
8. Συσχετίστε γραφικά τη θολότητα του υπερκείμενου νερού σε κάθε δοχείο με το αντίστοιχο pH.

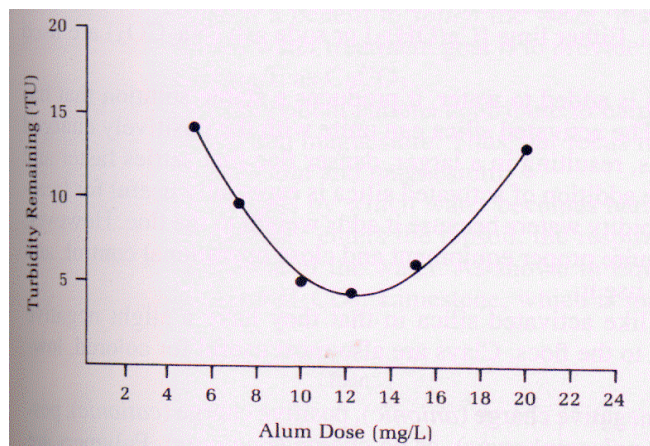


9. Το pH με τη χαμηλότερη παρατηρούμενη θολότητα είναι το ζητούμενο.

Εύρεση βέλτιστης δόσης κροκιδωτικού

1. Γεμίστε τα δοχεία με το ανεπεξέργαστο νερό.
2. Ρυθμίστε το pH σε όλα τα δοχεία στη βέλτιστη τιμή που βρέθηκε στο προηγούμενο βήμα, ρίχνοντας το οξύ (H_2SO_4) ή τη βάση (NaOH ή $\text{Ca}(\text{OH})_2$), ενώ αναδεύετε ελαφρώς το νερό στα δοχεία και έπειτα σταματήστε την ανάδευση.
3. Ρίξτε διαφορετικές ποσότητες κροκιδωτικού στο κάθε δοχείο, ώστε να δημιουργηθούν διαφορετικές τελικές συγκεντρώσεις (δόσεις) σε κάθε δοχείο (π.χ. δόσεις: 10, 20 30, 50 και 100 mg/L).
4. Ταχεία ανάμιξη: Αναδεύστε το νερό στα ποτήρια ζέσεως στις 150-200 στροφές ανά λεπτό, για 1 λεπτό (ή το χρόνο ταχείας μίξης που έχει σχεδιαστεί στην EEN) ώστε το κροκιδωτικό να διασπαρεί σε όλο τον όγκο του νερού. Εμφάνιση μικροκροκίδων.
5. Συσσωμάτωση: Έπειτα, μειώστε την ανάμιξη στις 30 με 40 στροφές ανά λεπτό για 20 λεπτά (ή το χρόνο συσσωμάτωσης που έχει σχεδιαστεί στην EEN). Η αργή ανάδευση βοηθά τη συσσωμάτωση των κροκίδων σε μεγαλύτερα συσσωματώματα.
6. Καθίζηση: Στη συνέχεια κλείστε την ανάδευση και αφήστε τα συσσωματώματα να καθιζάνουν για περίπου 30 με 45 λεπτά (ή το χρόνο καθίζησης που έχει σχεδιαστεί στην EEN).

7. Μετρήστε την τελική θολότητα του υπερκείμενου νερού στο κάθε δοχείο. Παρατηρείστε την ιλύ που σχηματίζεται στον πυθμένα του κάθε δοχείου.
8. Συσχετίστε γραφικά τη θολότητα του υπερκείμενου νερού σε κάθε δοχείο με την αντίστοιχη δόση.



Με βάση όλα τα παραπάνω και τα αποτελέσματα των μετρήσεων θα πρέπει να συμπληρωθεί από κάθε φοιτητή το επισυναπτόμενο Φύλλο Αποτελεσμάτων Εργαστηρίου ΠΤ1 στο οποίο θα υπολογίζονται τα κατωτέρω:

1. Μέτρηση της θολότητας του δείγματος ανεπεξέργαστου νερού
2. Η επιλογή του κατάλληλου κροκιδωτικού για τη διαύγαση ενός δείγματος ανεπεξέργαστου νερού
3. Η επιλογή του βέλτιστου pH για το επιλεχθέν κροκιδωτικό του προηγούμενου βήματος για το συγκεκριμένο υπό εξέταση νερό.
4. Η επιλογή της βέλτιστης δόσης του κροκιδωτικού για τη διαύγαση του δείγματος του ανεπεξέργαστου νερού, που εξετάζεται.
5. Εκτίμηση της ποσότητας ιλύος από τη βέλτιστη δόση του κροκιδωτικού
6. Μέτρηση της θολότητας μετά και από τη διύλιση, Σύγκριση της θολότητας μετά από διύλιση με τη θολότητα μετά από Συσσωμάτωση-Καθίζηση. Για την παροχή Q της υπό μελέτη ΕΕΝ, να βρεθεί η ταχύτητα διύλισης, με δεδομένο το συνολικό εμβαδόν των φίλτρων όπου πραγματοποιείται η διύλιση.

Το Φύλλο Αποτελεσμάτων Εργαστηρίου ΠΤ1 θα πρέπει να αποστέλλεται συμπληρωμένο από κάθε φοιτητή εντός 2 εβδομάδων από την εκτέλεση του εργαστηρίου, στην πλατφόρμα [mycourses](#) του μαθήματος.

ΦΥΛΛΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΠΤ 1

1. Μέτρηση της θολότητας του δείγματος ανεπεξέργαστου νερού

Αποτελέσματα μέτρησης της θολότητας Θ (NTU) του ανεπεξέργαστου νερού:

$\Theta =$

Σχόλια:

2. Επιλογή κατάλληλου κροκιδωτικού

Ζητείται η επιλογή του καταλληλότερου κροκιδωτικού για τη διαύγαση ενός δείγματος ανεπεξέργαστου νερού με την παραπάνω θολότητα (σε NTU), με βάση τον παρακάτω πίνακα για 3 διαφορετικά κροκιδωτικά:

Πίνακας 1. Αποτελέσματα JAR test διαφορετικών κροκιδωτικών.

Τριχλωριούχος σίδηρος [FeCl ₃ · 6H ₂ O]		Θειικό αργίλιο [Al ₂ (SO ₄) ₃ · 14H ₂ O]		Θειικός σίδηρος [FeSO ₄ · 7H ₂ O]	
Δόση (mg/L)	Θολότητα (NTU)	Δόση (mg/L)	Θολότητα (NTU)	Δόση (mg/L)	Θολότητα (NTU)
15		15		15	

Σχολιάστε τα αποτελέσματα. Ποιο κροκιδωτικό θεωρείτε καταλληλότερο?

3. Βέλτιστο pH για το επιλεχθέν κροκιδωτικό

Ζητείται η επιλογή του βέλτιστου pH για το επιλεχθέν κροκιδωτικό ενός δείγματος ανεπεξέργαστου νερού, με την παραπάνω θολότητα Θ , με βάση τον πίνακα 2 για διάφορες τιμές pH:

Πίνακας 2. Αποτελέσματα JAR test για βέλτιστο pH.

Κροκιδωτικό Δόση = 20 mg/L	
pH	Θολότητα (NTU)
5	
5.5	
6	
6.5	
7	
7.5	

Σχολιάστε τα αποτελέσματα.

4. Βέλτιστη δόση κροκιδωτικού

Ζητείται η επιλογή της βέλτιστης δόσης του επιλεχθέντος κροκιδωτικού για τη διαύγαση του δείγματος του υπό εξέταση ανεπεξέργαστου νερού.

Πίνακας 3. Αποτελέσματα JAR test για βέλτιστη δόση κροκιδωτικού.

Κροκιδωτικό	
Δόση (mg/L)	Θολότητα (NTU)
10	
20	
30	
50	
80	
100	

Σχολιάστε τα αποτελέσματα.

5. Εκτίμηση ποσότητας ιλύος από τη βέλτιστη δόση κροκιδωτικού

Υπολογίστε από τις αντίστοιχες εξισώσεις, την παραγόμενη ποσότητα ιλύος από τη βέλτιστη δόση του επιλεχθέντος κροκιδωτικού (Θεωρήστε $\lambda=1$). Συγκρίνετε την ιλύ που παράγεται, με αυτήν από 2 άλλες δόσεις του ίδιου κροκιδωτικού, από τον πίνακα 3. Σχολιάστε.

6. Διύλιση

A) Μέτρηση θολότητας μετά την διύλιση $\Theta_{\Delta} =$

B) Συγκρίνετε τη θολότητα μετά από τη διύλιση με τη θολότητα μετά από τη Συσσωμάτωση-Καθίζηση. Σχολιάστε.

Γ) Η παροχή της υπό εξέταση EEN, είναι $30000 \text{ m}^3/\text{day}$. Με δεδομένο ότι η συνολική επιφάνεια των φίλτρων είναι 125 m^2 , να βρεθεί η ταχύτητα διύλισης (u) σε m/h , στα φίλτρα. Κατόπιν, με δεδομένο ότι η επιφάνεια κάθε κλίνης δεν μπορεί να ξεπερνά τα 25 m^2 , να βρεθεί ο αριθμός των κλινών διύλισης (φίλτρων) της EEN.