



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
Εργαστήριο Τεχνολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος
73100 Χανιά
Τηλ. 2821037380 Τηλ/Fax: 2821037532

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΑΣΚΗΣΕΩΝ

ΣΤΟ ΜΑΘΗΜΑ

**ΦΥΣΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΥΓΡΩΝ
ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ**

Υπεύθυνη Εργαστηρίου: Ελισάβετ Κουκουράκη
Χημικός, Msc

Χανιά, 2021

ΚΑΘΙΖΗΣΗ ΤΥΠΟΥ ΖΩΝΗΣ

Σκοπός της διεργασίας

Δοκιμή Καθίζησης τύπου ζώνης για το σχεδιασμό δεξαμενής δευτεροβάθμιας καθίζησης

Δείγμα - Εξοπλισμός

- ▶ Δείγμα από τη δεξαμενή αερισμού της μονάδας επεξεργασίας λυμάτων της πόλης των Χανίων (λύμα + αιωρούμενη βιομάζα).
- ▶ Στήλη καθίζησης: Διαβαθμισμένος κυλινδρικός σωλήνας διαμέτρου 6cm και ύψους 100cm περίπου, ο οποίος κλείνει με ειδικές τάπες.
- ▶ Συσκευή διήθησης συνδεδεμένη με αντλία κενού.
- ▶ Υαλόφιλτρα τύπου GF/C (μέγεθος πόρων 1μm).

Πειραματική διαδικασία

Αρχικά γίνεται μέτρηση των αιωρούμενων στερεών του δείγματος με διήθηση: Το βάρος των στερεών προκύπτει ως η διαφορά βάρους του φίλτρου πριν και μετά τη διήθηση δείγματος όγκου 20ml. Το φίλτρο αμέσως μετά τη διήθηση πρέπει να ξηρανθεί στους 103°C για να φύγει η υγρασία και στη συνέχεια ζυγίζεται. Η αρχική συγκέντρωση των στερεών του δείγματος (Co) εκφράζεται σε mg/L.

Στη συνέχεια τοποθετείται το δείγμα όγκου περίπου 2,5L στη διαβαθμισμένη στήλη καθίζησης σε ύψος 80cm περίπου το οποίο και καταγράφεται (αρχικό ύψος ιλύος στη στήλη, Ho). Η στήλη κλείνεται με τις ειδικές τάπες και ανακινείται για λίγο με σκοπό την ομογενοποίηση του δείγματος μέσα στη στήλη. Από τη στιγμή που σταματάει η ανακίνηση η στήλη σταθεροποιείται σε κατακόρυφη θέση και αρχίζει η καθίζηση ($t=0$). Σε αυτή τη φάση αρχίζει η καθίζηση των αιωρούμενων σωματιδίων ως ενιαίο σύνολο (αλληλεπίδραση των στερεών λόγω της γειννιάσής τους - παρεμποδισμένη καθίζηση) και η δημιουργία διεπιφάνειας διαυγασμένου νερού – ιλύος. Από τη στιγμή που το αιώρημα αρχίζει να καθιζάνει, το ύψος της διεπιφάνειας συνεχώς μειώνεται και αρχίζουν να σχηματίζονται η μεταβατική ζώνη και η ζώνη συμπίεσης. Με το πέρασμα του χρόνου το ύψος της παρεμποδισμένης και της μεταβατικής ζώνης μειώνεται ενώ αυξάνεται το ύψος της ζώνης συμπίεσης. Καθ' όλη τη διάρκεια της καθίζησης γίνονται μετρήσεις του ύψους της διεπιφάνειας διαυγασμένου λύματος – ιλύος ανά τακτά χρονικά διαστήματα μέχρι τη σταθεροποίησή του, δηλ. την επίτευξη της συμπίεσης της ιλύος (compression settling).

Μεθοδολογία προσδιορισμού της επιφάνειας της δεξαμενής καθίζησης

Κατά την καθίζηση σε στήλη δείγματος από τη δεξαμενή αερισμού, αρχικά ομοιογενούς συγκέντρωσης, παρατηρούνται τέσσερις ζώνες: Η ζώνη του διαυγασμένου νερού, η ζώνη παρεμποδισμένης καθίζησης, η μεταβατική ζώνη και η ζώνη συμπίεσης. Στην αρχή της καθίζησης παρατηρούνται όλες οι παραπάνω ζώνες, με μεγαλύτερη τη ζώνη της παρεμποδισμένης καθίζησης, ενώ με την πάροδο του χρόνου το ύψος αυτής και της μεταβατικής ζώνης μειώνεται και αυξάνεται της ζώνης συμπίεσης. Τελικά επιτυγχάνεται η συμπίεση της ιλύος, όπου παρατηρούνται μόνο η ζώνη του διαυγασμένου λύματος και της συμπίεσης.

Η σημαντικότερη παράμετρος που λαμβάνεται υπόψη στο σχεδιασμό δεξαμενών καθίζησης σε συστήματα υψηλών συγκεντρώσεων σε στερεά, όπως η ενεργός ιλύ, είναι η απαιτούμενη

επιφάνεια της δεξαμενής (A). Επιπλέον είναι απαραίτητες η παροχή εισόδου στη δεξαμενή καθίζησης (Q) καθώς και η απαιτούμενη συγκέντρωση στερεών κατά την πάχυνση της ιλύος (ζώνη συμπίεσης) (C_u).

Για τον προσδιορισμό της επιφάνειας της δεξαμενής δευτεροβάθμιας καθίζησης υπολογίζονται η απαιτούμενη επιφάνεια για πάχυνση και η απαιτούμενη επιφάνεια για διαύγαση και επιλέγεται η μεγαλύτερη από τις δύο, ως αυτή που ελέγχει το σύστημα (της πάχυνσης συνήθως προκύπτει μεγαλύτερη από της διαύγασης).

► Η επιφάνεια που απαιτείται για πάχυνση της ιλύος (**επιφάνεια πάχυνσης**) προσδιορίζεται σύμφωνα με τη μέθοδο των Talmadge και Fitch (1995):

1. Με βάση τα πειραματικά δεδομένα, κατασκευάζεται η καμπύλη καθίζησης (διάγραμμα του ύψους της διεπεφάνειας λύματος-ιλύος ως προς το χρόνο), όπου από τη διαφορετική κλίση στα διάφορα τμήματα της καμπύλης ξεχωρίζουν η ζώνη παρεμποδισμένης καθίζησης, η μεταβατική ζώνη και η ζώνη συμπίεσης.
2. Υπολογίζεται το ύψος στο οποίο η ιλύς θα έχει την απαιτούμενη συγκέντρωση στερεών (της ζώνης συμπίεσης), H_u , από τη σχέση $H_u = C_o \cdot H_o / C_u$ όπου H_o , το αρχικό (συνολικό) ύψος του δείγματος στη στήλη, C_o , η αρχική συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών του δείγματος, όπως αυτή μετρήθηκε πειραματικά και C_u , η συγκέντρωση της ιλύος στη ζώνη συμπίεσης. Φέρουμε οριζόντια ευθεία (παράλληλη στον άξονα χ) στο H_u .
3. Φέρουμε τις εφαπτόμενες στα τμήματα της καμπύλης καθίζησης που αντιστοιχούν στη ζώνη παρεμποδισμένης καθίζησης και στη ζώνης συμπίεσης, οι οποίες τεμνόμενες σχηματίζουν γωνία.
4. Φέρουμε τη διχοτόμο αυτής της γωνίας, η οποία τέμνει την καμπύλη καθίζησης στο σημείο C_2 , το οποίο αντιστοιχεί περίπου στο μέσο της περιοχής παρεμποδισμένης καθίζησης και συμπίεσης
5. Φέρουμε την εφαπτομένη στο C_2 .
6. Το σημείο τομής της εφαπτομένης στο C_2 (βήμα 5) και της οριζόντιας ευθείας στο H_u (βήμα 2) αντιστοιχεί στο χρόνο που απαιτείται για να γίνει η συμπίεση της ιλύος, t_u .
7. Η επιφάνεια της δεξαμενής για πάχυνση, A δίνεται από τη σχέση:
$$A = Q \cdot t_u / H_o$$
, όπου Q η παροχή εισόδου στη δεξαμενή καθίζησης.

► Η επιφάνεια που απαιτείται για διαύγαση (**επιφάνεια διαύγασης**) προσδιορίζεται ως εξής:

1. Φέρουμε την εφαπτομένη της ζώνης παρεμποδισμένης καθίζησης και υπολογίζουμε την κλίση της, η οποία αντιστοιχεί στην ταχύτητα καθίζησης σε αυτή τη ζώνη:
$$v = (H_o - H_1) / t_1$$
, όπου $H_o - H_1$ το ύψος της ζώνης παρεμποδισμένης καθίζησης και t_1 ο χρόνος που απαιτείται για τη διαύγαση
ή γενικότερα $v = H_i / t_i$ σε κάποιο σημείο i της ζώνης παρεμποδισμένης καθίζησης
2. Υπολογίζουμε το ρυθμό διαύγασης, Q_c ανάλογος με τον όγκο του υγρού πάνω από τη ζώνη συμπίεσης, από τη σχέση:
$$Q_c = Q \cdot (H_o - H_u / H_o)$$
, όπου Q η παροχή εισόδου της δεξαμενής καθίζησης.
3. Η απαιτούμενη επιφάνεια για διαύγαση δίνεται από τη σχέση: $A = Q_c / v$

Υπολογισμοί

1. Κατασκευή της καμπύλης καθίζησης (το ύψος της διεπιφάνειας σε cm ως προς το χρόνο σε min) της ενεργού ιλύος με βάση τα πειραματικά δεδομένα.
2. Υπολογισμός της απαιτούμενης επιφάνειας της δεξαμενής καθίζησης, A , θεωρώντας την παροχή, $Q = 1000 \text{ m}^3/\text{d}$ και την συγκέντρωση της ιλύος στη ζώνη συμπίεσης, $C_u = 12000 \text{ mg/L}$.
3. Υπολογισμός της φόρτισης των στερεών σε $\text{kg}/\text{m}^2\text{d}$ και του ρυθμού υπερχείλισης (υδραυλική επιφανειακή φόρτιση) σε $\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$ θεωρώντας την παροχή, $Q = 1000 \text{ m}^3/\text{d}$.

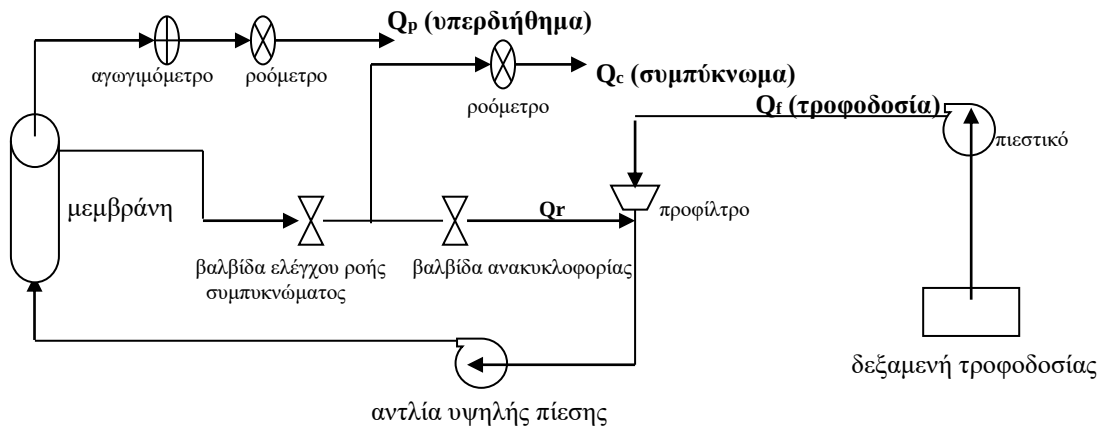
ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΟΣΜΩΣΗ

Σκοπός της διεργασίας

Αντίστροφη όσμωση σε συνθετικό υφάλμυρο νερό

Εξοπλισμός – Αντιδραστήρια

- Συσκευή αντίστροφης όσμωσης (με μέγιστη παραγωγή περίπου 85L νερού / h) με το ακόλουθο διάγραμμα ροής:



Το νερό τροφοδοσίας αντλείται από μία δεξαμενή μέσω πυεστικού, με πίεση περίπου 2,3 atm, και αρχικά περνάει από το προφίλτρο όπου κατακρατούνται τα αιωρούμενα στερεά με διάμετρο πάνω από 5μm. Στη συνέχεια με τη βοήθεια φυγοκεντρικής αντλίας υψηλής πίεσης, η οποία φέρει μανόμετρο για το συνεχή οπτικό έλεγχο της πίεσης, το ρεύμα τροφοδοσίας οδηγείται στην ημιπερατή μεμβράνη, όπου εκεί διαχωρίζεται σε δύο ρεύματα, το συμπύκνωμα (concentrate) και το υπερδιήθημα (permeate) απαλλαγμένο από κολλοειδή, διαλυμένες ανόργανες και οργανικές ουσίες και βακτήρια. Η αντλία υψηλής πίεσης εξασφαλίζει την αναγκαία πίεση για την εφαρμογή της αντίστροφης όσμωσης.

Το ρεύμα του υπερδιηθήματος (με παροχή, Q_p) αφού περάσει από αισθητήρα αγωγιμότητας και από ροόμετρο εκρέει από τη μία έξοδο της συσκευής (**προϊόν**). Η ποσότητα του συμπυκνώματος ρυθμίζεται με τη βαλβίδα ελέγχου ροής συμπυκνώματος και στη συνέχεια ένα μέρος, μέσω της βαλβίδας ανακυκλοφορίας, ανακυκλώνεται προς την αντλία (Q_r), ενώ το υπόλοιπο περνάει από ροόμετρο και αποτελεί το ρεύμα του συμπυκνώματος (με παροχή, Q_c) μετά την επεξεργασία (**απόβλητα**) στην άλλη έξοδο της συσκευής. Η ανακυκλοφορία του συμπυκνώματος εφαρμόζεται για την επίτευξη υψηλότερης ανάκτησης της συσκευής και η ποσότητα του συμπυκνώματος που επανακυκλοφορεί επιστρέφει στο σημείο εισόδου της αντλίας υψηλής πίεσης, όπου εκεί συνενώνεται με την τροφοδοσία και οδηγείται στη μεμβράνη.

Μέσω των ροόμετρων είναι δυνατή η παρακολούθηση των παροχών των δύο ρευμάτων εκροής της μονάδας αντίστροφης όσμωσης (Q_p και Q_c), ενώ η παροχή του ρεύματος τροφοδοσίας (Q_f) υπολογίζεται από το άθροισμά τους.

- Αγωγιμόμετρο: Όργανο που μετράει την αγωγιμότητα (σε S/cm) και την αλατότητα (σε gNaCl/L) ενός διαλύματος
- Συνθετικό υφάλμυρο νερό αγωγιμότητας περίπου 2,5 mS/cm

Πειραματική διαδικασία

Αρχικά παρασκευάζεται το συνθετικό υφάλμυρο νερό (συγκέντρωσης σε NaCl 1,5g /L) το οποίο τοποθετείται στη δεξαμενή τροφοδοσίας της συσκευής αντίστροφης όσμωσης και μετριέται η αγωγιμότητά του (σε mS/cm).

Στη συνέχεια γίνεται η εκκίνηση της λειτουργίας της συσκευής με ανοιχτές τη βαλβίδα ελέγχου ροής συμπυκνώματος και τη βαλβίδα ανακυκλοφορίας, ώστε η μεμβράνη να γεμίσει με νερό χαμηλής πίεσης (περίπου 50 psi). Για να ξεκινήσει η διαδικασία της αντίστροφης όσμωσης, δίνεται έναρξη της αντλίας υψηλής πίεσης μέσω ηλεκτροβάνας και κλείνονται σταδιακά οι βαλβίδες ελέγχου ροής και ανακυκλοφορίας του συμπυκνώματος, ώστε να επιτευχθεί βαθμιαία αύξηση της πίεσης μέχρι τα 220 psi ή 15,2 atm, (πίεση σχεδιασμού της μονάδας). Το σύστημα αφήνεται σε λειτουργία για 10-15 λεπτά, όπου καταγράφονται οι παροχές του ρεύματος καθαρού νερού (υπερδιηθήμα) και συμπυκνώματος. Τέλος συλλέγονται δείγματα από την έξοδο του υπερδιηθήματος και από την έξοδο του συμπυκνώματος στα οποία προσδιορίζεται η αγωγιμότητά τους. Για την παύση της μονάδας απαιτείται η βαθμιαία μείωση της πίεσης στη μεμβράνη, το οποίο επιτυγχάνεται με σταδιακό άνοιγμα των δύο βαλβίδων.

Υπολογισμοί

1. Υπολογισμός του συντελεστή απομάκρυνσης, R , (%) των αλάτων του συνθετικού υφάλμυρου νερού στη μεμβράνη αντίστροφης όσμωσης, με βάση τις τιμές της αγωγιμότητας του νερού τροφοδοσίας και του προϊόντος.
2. Υπολογισμός του βαθμού ανάκτησης, n , (%) της μονάδας αντίστροφης όσμωσης με βάση την παροχή τροφοδοσίας (Q_f) και την παροχή του υπερδιηθήματος (Q_p) ή του συμπυκνώματος (Q_c).