

ΑΣΚΗΣΗ 6

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗΛΗΣ ΡΗΤΙΝΩΝ – ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

Απομάκρυνση Νιτρικών -Απομάκρυνση Σιδήρου Μαγγανίου

1. ΓΕΝΙΚΑ

1.1 Ιοντοανταλλαγή με Ρητίνες [1,2,3,4]

Η ιοντοανταλλαγή είναι μία Φυσικοχημική Διεργασία κατά την οποία τα ιόντα που κατακρατούνται μέσω ηλεκτροστατικών δυνάμεων στην επιφάνεια στερεών, ανταλλάσσονται από ιόντα άλλου είδους στο διάλυμα.

Κατιόντα και ανιόντα που είναι ανεπιθύμητα στο νερό, είναι δυνατό να απομακρυνθούν με τη διεργασία της ιοντοανταλλαγής ή της προσρόφησης σε ενεργό αλουμίνα.

Η ιοντοανταλλαγή γίνεται με τη χρήση στρωμάτων συνθετικών κυρίως υλικών, η λειτουργία των οποίων είναι παρόμοια με εκείνη των φίλτρων κοκκωδών υλικών. **Στα ιοντοανταλλακτικά στρώματα, που καλούνται ρητίνες λόγω της χημικής σύνθεσής τους, ένα ιόν με το οποίο έχει προκορεστεί η ρητίνη εναλλάσσεται με το ανεπιθύμητο ιόν του νερού.**

Έως τη δεκαετία του '40, οι φυσικοί ζεόλιθοι ήταν τα μόνα διαθέσιμα υποστρώματα ιοντοανταλλαγής. Η χωρητικότητα ανταλλαγής αυτών ήταν όμως χαμηλή, κάτι που περιόριζε σημαντικά την οικονομικότητα πρακτικών εφαρμογών στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων.

Με την αντικατάσταση των φυσικών ζεολιθών μέσω συνθετικών ρητινών, όπως πολυμερή του στυρενίου και της διβινυλοβενζόλης, έχουν αλλάξει οι προοπτικές σημαντικά. Αυτή η διαδικασία απέκτησε αυξανόμενη σημασία στο πλαίσιο της επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Επειδή με τη μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται πλήρης αφαίρεση αλάτων, προσφέρεται η ιοντοανταλλαγή για την επεξεργασία κατάλληλων επί μέρους ρευμάτων, τα οποία μπορούν να αναμιχθούν με μη επεξεργασμένα ρεύματα, δίνοντας μια συνολική εκροή με προϋπολογισμένη ποιότητα.

Τα κατιόντα που συνήθως απομακρύνονται με ιοντοανταλλαγή, είναι το ασβέστιο, το μαγνήσιο, το βάριο, το στρόντιο και το ράδιο.

Τα ανιόντα περιλαμβάνουν τα φθοριούχα, τα νιτρικά, τα φουλβικά, τα χουμικά, τα αρσενικά, τα σεληνικά, τα χρωμικά και τα ανιονικά σύμπλοκα του ουρανίου.

Η λειτουργία των ιοντοανταλλακτικών ρητινών είναι διακοπτόμενη και όταν η ρητίνη δεν έχει τη δυνατότητα περαιτέρω ιοντοανταλλαγής, γεγονός που γίνεται αντιληπτό από την ύπαρξη ανεπιθύμητων ιόντων στην έξοδο του στρώματος, γίνεται αναγέννηση.

Ο όρος «**κύκλος λειτουργίας ρητίνης**» περιλαμβάνει τη διεργασία κατά την οποία προκαθορισμένος όγκος αποβλήτου ή νερού προς επεξεργασία διέρχεται από την κλίνη ρητίνης όπου γίνεται η δέσμευση των ανεπιθύμητων ιόντων από το διάλυμα και παράγεται καθαρό-επεξεργασμένο νερό. Ο κύκλος τερματίζεται πριν ακόμη κορεστεί πλήρως το ιοντοανταλλακτικό σώμα (διαρροή της ρητίνης).

Ο κύκλος λειτουργίας των ρητινών περιλαμβάνει πέντε στάδια. Στο πρώτο γίνεται η δέσμευση των ιόντων, ενώ όλα τα υπόλοιπα αποτελούν την αναγέννηση.

Τα στάδια αυτά είναι:

α) Δέσμευση ιόντων (Exhaustion)

Αποτελεί το στάδιο της επεξεργασίας και την απομάκρυνση των ανεπιθύμητων ιόντων από το νερό.

β) Αντίστροφη πλύση (Backwash) (διάρκεια 10-15 min)

Έχει σκοπό την απομάκρυνση των τυχόν αιωρούμενων στερεών που συγκρατήθηκαν από τη ρητίνη. Ακόμη, πέραν του καθαρισμού της ρητίνης επιτυγχάνεται και αναδιάταξη των κόκκων της ρητίνης.

γ) Αναγέννηση (Regeneration) (χρόνος 60-80 min)

Περιγράφεται σε επόμενη παράγραφο

δ) Εκτόπιση (Displacement) (χρόνος 10-15 min)

Διοχετεύεται νερό μέσα από την κλίνη κατά την ίδια φορά με αυτή του σταδίου της αναγέννησης. Με τον τρόπο αυτό εκτοπίζεται το διάλυμα αναγέννησης, υποχρεώνοντας όλη την ποσότητά του να διέλθει δια μέσου της κλίνης.

ε) Εκπλύση (Rinse) (χρόνος 10-15 min)

Διοχετεύεται νερό κατά την ροή της δέσμευσης για την πλήρη απομάκρυνση του αντιδραστηρίου αναγέννησης.

Συνολικά ο μέγιστος απαιτούμενος χρόνος για την ολοκλήρωση της διαδικασίας αναγέννησης (τα στάδια β,γ,δ, & ε) είναι περίπου δύο (2) ώρες.

Χημική Δομή Ρητινών

Οι συνθετικές ρητίνες είναι μη διαλυτά πολυμερή, στα οποία προστίθενται μέσω χημικής επεξεργασίας όξινες ή βασικές ομάδες, οι οποίες είναι σε θέση να ανταλλάσσουν αντιστρεπτά H^+ με άλλα κατιόντα και OH^- με ανιόντα που βρίσκονται στο υγρό που τις περιβάλλει.

Η δομή των ρητινών έχει μορφή σφαιρικών κόκκων, η διάμετρος των οποίων κυμαίνεται από 0,3 έως 1,2 mm [5].

Ικανότητα ανταλλαγής της ρητίνης (Ολική και χρήσιμη ικανότητα)

Ο συνολικός αριθμός λειτουργικών ομάδων ανά μονάδα βάρους (ή μονάδα όγκου) της ρητίνης προσδιορίζει τη χωρητικότητα ή την ικανότητα ανταλλαγής, ενώ ο τύπος της λειτουργικής ομάδας προσδιορίζει την εκλεκτικότητα και τη θέση ισορροπίας. Συνήθως εκφράζεται σε ισοδύναμα ανά λίτρο ρητίνης (eq/L), ενώ στη βιομηχανία εκφράζεται σε γραμμάρια ανθρακικού ασβεστίου ανά λίτρο ρητίνης (g $CaCO_3$ /L) και σε κυβικοβαθμούς ανά λίτρο ρητίνης (m^3 °F/L). Ο κυβικοβαθμός είναι ίσος με την ποσότητα ασβεστίου και μαγνησίου που υπάρχει σε 1 m^3 νερού με σκληρότητα 1°F. Η ισοδυναμία μεταξύ των μονάδων είναι η εξής:

$$1eq/L = 50 g CaCO_3 /L = 5 m^3 °F/L$$

Διακρίνουμε δύο είδη ανταλλακτικής ικανότητας, την Ολική και τη χρήσιμη.

Η ολική ικανότητα προσδιορίζεται από το συνολικό ποσοστό των ιόντων, τα οποία είναι ικανά για ανταλλαγή, ανάλογα με την κατασκευή της ρητίνης, δηλαδή το ποσοστό των εγκατεστημένων ομάδων στον κόκκο του συνπολυμερούς. Στην πράξη είναι διαθέσιμο μόνο ένα μέρος της ολικής ικανότητας της ρητίνης και ονομάζεται **χρήσιμη ικανότητα**. Η χρήσιμη ικανότητα εξαρτάται από **μηχανικούς παράγοντες** (όπως η σωστή διάχυση του νερού στην κλίνη ώστε να χρησιμοποιείται το μεγαλύτερο μέρος της ρητίνης για τη δέσμευση και η ταχύτητα ροής στην κλίνη) και **χημικούς παράγοντες** (όπως η μέθοδος αναγέννησης, ομορροή ή αντιρροή και το επιτυγχανόμενο ποσοστό αναγέννησης, αφού όσο αυξάνεται αυτό, αυξάνεται και η χρήσιμη ικανότητα της ρητίνης).

Διαρροή

Η αλληλοεκτόπιση των στοιχείων συνεχίζεται μέχρι ενός σημείου, από το οποίο και μετά αποκαθίσταται πλήρως η ισορροπία με αποτέλεσμα τη μη δέσμευση πλέον της εναπομένουσας ποσότητας των ιόντων του διαλύματος, η οποία εμφανίζεται στην έξοδο. Η κατάσταση αυτή αποτελεί χαρακτηριστική παράμετρο της ρητίνης και των λειτουργικών συνθηκών, η οποία ονομάζεται **διαρροή**.

Στην απλούστερη περίπτωση το εξαντλημένο ιονανταλλακτικό στρώμα αναγεννάται με τη χρήση περίσσειας του ιόντος προκορεσμού. Υπό ιδανικές συνθήκες δεν πρέπει να λαμβάνει χώρα μόνιμη αλλαγή στις ιονανταλλακτικές ρητίνες και γενικώς, άλλες αλλαγές πέρα από την αντιστρέψιμη αλλαγή του ιόντος.

Βέβαια, πάντα μερικές μη αντιστρέψιμες δράσεις λαμβάνουν χώρα και το υλικό της ιονανταλλακτικής ρητίνης μετά από πολλές χρήσεις πρέπει να αντικαθίσταται.

Η διάρκεια χρήσης ενός ιονανταλλακτικού στρώματος πριν την αναγέννησή του, μετράται με τους Όγκους Στρώματος (ΟΣ, Bed Volumes - BV) νερού που έχει διέλθει. Η τιμή του ΟΣ

κυμαίνεται ευρύτατα στον καθαρισμό του νερού. Έχουν αναφερθεί τιμές από 300-60,000. Η αναγέννηση απαιτεί από 1 έως 5 ΟΣ διάλυμα αναγέννησης που ακολουθείται από 2-20 ΟΣ νερού πλύσης. Τα απόβλητα αναγέννησης είναι συνήθως λιγότερο από το 2% του παραγόμενου νερού. Η διάθεση όμως των αποβλήτων αναγέννησης και πλύσης παρουσιάζει ορισμένα προβλήματα.

Η κύρια χρήση των ιονανταλλακτικών ρητινών εμφανίζεται στην αποσκλήρυνση του νερού, δηλαδή στην απομάκρυνση του ασβεστίου και του μαγνησίου και άλλων πολυσθενών κατιόντων σε ανταλλαγή με Na^+ . Η ιονανταλλακτική αποσκλήρυνση του νερού ύδρευσης εφαρμόζεται είτε στο επίπεδο νοικοκυριού είτε σ' όλη την ποσότητα του νερού ύδρευσης μιας περιοχής. Μερικές φορές χρησιμοποιείται για την αποσκλήρυνση ενός τμήματος του οικιακού δικτύου, όπως π.χ. του ζεστού νερού.

Πάντως η κύρια χρήση των ιονανταλλακτικών ρητίνων είναι η αποσκλήρυνση του βιομηχανικού νερού για την τροφοδοσία των λεβήτων παραγωγής ατμού ή άλλων βιομηχανικών χρήσεων και σπάνια εφαρμόζεται στο νερό ύδρευσης.

Εκλεκτικότητα Ρητίνης & Συντελεστής Διαχωρισμού

Οι ρητίνες ανταλλαγής ιόντων δεν προσροφούν όλα τα ιόντα ισοδύναμα. Η διαφοροποίηση στην προτίμηση της προσρόφησης συχνά εκφράζεται ποιοτικά με ένα πίνακα σχετικής προσροφητικότητας ή ποσοτικά με ένα συντελεστή διαχωρισμού a_{ij} ή ένα συντελεστή εκλεκτικότητας K_{ij} για δυαδικά συστήματα.

Επομένως η εκλεκτικότητα μίας ρητίνης για ένα ορισμένο ιόν μετριέται με τον **συντελεστή εκλεκτικότητας K**.

Ο συντελεστής εκλεκτικότητας εκφράζει τη σχετική κατανομή (διανομή) των ιόντων όταν μία ρητίνη της μορφής B^+ τοποθετείται στη ροή ενός διαλύματος που περιέχει A^+ ιόντα.

Ο συντελεστής (παράγοντας) διαχωρισμού είναι μία παράμετρος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ικανοποιητική περιγραφή της συμπεριφοράς ενός δυαδικού συστήματος.

Ο παράγοντας διαχωρισμού, σε αντίθεση με το συντελεστή εκλεκτικότητας, λαμβάνει υπόψη του τόσο τη συγκέντρωση του διαλύματος, όσο και την ολική ικανότητα εναλλαγής της ρητίνης, γι' αυτό και προτιμάται η χρήση του στην περιγραφή της συμπεριφοράς ενός δυαδικού συστήματος. Μπορεί να προσδιοριστεί σε κάποια θερμοκρασία από το διάγραμμα ισορροπίας μεταξύ των συγκεντρώσεων των ιόντων στη φάση της ρητίνης και στο διάλυμα. Η διεργασία της ισορροπίας όπως αναφέρθηκε και αλλού είναι αντιστρεπτή, άρα και τα δύο ιόντα θα εμφανίζονται και στις δύο φάσεις. Η αναλογία στις δύο φάσεις υπολογίζεται με την εξίσωση Freundlich.

Για ένα σύστημα ανταλλαγής ιόντων ίδιου σθένους (μόνοσθενές/μόνοσθενές ή δισθενές/δισθενές), ο συντελεστής διαχωρισμού και ο συντελεστής εκλεκτικότητας είναι ισοδύναμοι.

Αναγέννηση Ρητινών

Μετά τον κορεσμό της ρητίνης, (απώλεια ικανότητας ανταλλαγής ιόντων), ο οποίος χρονικά συμπίπτει με το τέλος του κύκλου παραγωγής καθαρού νερού, αυτή πρέπει να αναγεννηθεί. **Κατά την αναγέννηση απομακρύνονται τα ιόντα που έχει ανταλλάξει η ρητίνη κατά τη διαδικασία της επεξεργασίας του νερού και της αποδίδονται εκ νέου οι αρχικές λειτουργικές της μονάδες.**

Υπάρχουν δύο τρόποι αναγέννησης: Με διοχέτευση του διαλύματος αναγέννησης κατά ομοροή, (**co-current regeneration**) και κατά αντιροή (**countercurrent regeneration**).

Στη διαδικασία της αναγέννησης σε μονάδες κατά ομοροή, το προς αναγέννηση υγρό και το υγρό προς επεξεργασία εισέρχονται κατά την ίδια φορά στη ρητίνη (από πάνω προς τα κάτω). Αυτές οι μονάδες είναι λιγότερο ακριβές ως προς το αρχικό κόστος αγοράς αλλά είναι λιγότερο αποδοτικές κατά την αναγέννηση, έχει μεγαλύτερη απώλεια συγκεντρώσεων (των προς απομάκρυνση ιόντων -στο εξερχόμενο της ρητίνης υγρό) και δεν μπορεί να επιτύχει τόσο καλά μία συμπύκνωση του προϊόντος στο υγρό αναγέννησης.

Η αποδοτική χρήση των χημικών αναγέννησης, σχετίζεται κυρίως με τις ισχυρά κατιονικές ή ανιονικές ρητίνες. Οι ελαφρώς ιονισμένες ρητίνες απαιτούν λίγο μεγαλύτερες ποσότητες χημικών από ότι προκύπτει από την στοιχειομετρία, για πλήρη αναγέννηση, ανεξάρτητα από το εάν η αναγέννηση γίνεται με κατ' αντιροή ή κατά ομοροή.

Επαναχρησιμοποίηση χημικών αναγέννησης. Στις ισχυρά όξινες ή ισχυρά βασικές ρητίνες, μπορεί να επιτευχθεί αύξηση της αποδοτικότητας από την επαναχρησιμοποίηση μέρους του ήδη χρησιμοποιημένου χημικού αναγέννησης. Πετώντας μόνο το πρώτο μέρος του καταναλωθέντος διαλύματος αναγέννησης ρητίνης και εξοικονομώντας και επαναχρησιμοποιώντας το υπόλοιπο, μπορεί να επιτευχθεί μεγαλύτερη ικανότητα ανταλλαγής με ισοδύναμες ποσότητες κατανάλωσης αναγεννητικού υλικού.

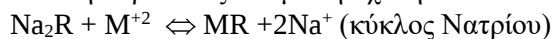
Η επαναχρησιμοποίηση των αντιδραστηρίων έχει το **μειονέκτημα** ότι είναι υψηλότερο το αρχικό κόστος για την αποθήκευση των χημικών και των συστημάτων τροφοδοσίας, και ότι η διαδικασία αναγέννησης είναι πιο πολύπλοκη. Έχουν σχεδιαστεί συστήματα στα οποία η επαναχρησιμοποίηση αντιδραστηρίου μπορεί να γίνει έως και πέντε φορές πριν την απόρριψη, δικαιώνοντας την λογική της εξοικονόμησης των χημικών.

1.2. Τύποι Ρητινών

Οι ρητίνες ανταλλαγής ιόντων χωρίζονται σε κατιονικές και ανιονικές στις οποίες τα ανταλλάξιμα ιόντα είναι θετικά και αρνητικά φορτισμένα, αντίστοιχα. Και οι δύο, οι κατιονικές και ανιονικές ρητίνες παρασκευάζονται από το ίδιο οργανικό πολυμερές. Διαφέρουν μεταξύ τους ως προς το φορτισμένη ομάδα που είναι προσκολλημένη στην ανθρακική αλυσίδα του πολυμερούς. Αυτή η φορτισμένη ομάδα προσδιορίζει τη χημική συμπεριφορά της ρητίνης. Οι ρητίνες μπορούν επίσης να διαχωριστούν σε ισχυρές ή ασθενείς κατιονικές και ανιονικές. Η μικτές κλίνες ρητινών περιλαμβάνουν αναμιγμένες μία ισχυρά κατιονική ρητίνη σε κύκλο υδρογόνου και μία ισχυρά ανιονική ρητίνη σε κύκλο υδροξυλίου. Μία άλλη κατηγορία ρητινών είναι **οι εκλεκτικές για βαρέα μέταλλα ρητίνες συμπλοκοποίησης (Heavy-Metal-Selective Chelating Resins).**

1.2.1. Κατιονικοί Ανταλλάκτες

Οι ρητίνες αυτές αφαιρούν τα κατιόντα από ένα διάλυμα, ανταλλάσσοντάς τα με ιόντα Na^+ ή H^+ . Η αντικατάσταση παρουσιάζεται με τη σχέση:

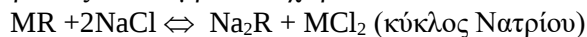


(R: αντιπροσωπεύει τη ρητίνη και M^{+2} : το κατιόν που απομακρύνεται, πχ. Cu^{+2} , Fe^{+2} , Ni^{+2} , Ca^{+2} , Mg^{+2}).

ή $\text{H}_2\text{R} + \text{M}^{+2} \Leftrightarrow \text{MR} + 2\text{H}^+$ (κύκλος Υδρογόνου)

Τα κατιόντα κατακρατούνται από τη ρητίνη, ενώ ταυτόχρονα παράγεται μία εκροή που περιέχει άλατα νατρίου ή οξύ. Όταν εξαντληθεί η χωρητικότητα της ρητίνης, θα πρέπει να ακολουθήσει η διαδικασία της αναγέννησης. Πριν απ' αυτήν γίνεται έκπλυση της στήλης της ρητίνης με αντίστροφη ροή (αντιροή-backwash) για απομάκρυνση των στερεών αποθέσεων. Η αναγέννηση περιλαμβάνει τη διέλευση δια μέσου της στήλης είτε διαλύματος NaCl είτε διαλύματος οξέος (H_2SO_4 ή HCl).

Οι αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα είναι:



ή

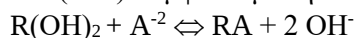


Χαρακτηριστικές συγκεντρώσεις του αναγεννητικού υλικού είναι 2-5% (κ.β.) με υδραυλική φόρτιση 45-90 $\text{L/m}^2 \cdot \text{min}$ (ή 2,7-5,4 $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$). Το ρεύμα αυτό περιέχει τα κατιόντα σε μορφή άλατος και ισοδυναμεί με 10-15% του αρχικού όγκου του υγρού αποβλήτου που έχει επεξεργαστεί η μονάδα, δηλαδή έχουμε μία συμπύκνωση των ρυπαντών σε περίπου 1/10 του αρχικού τους όγκου.

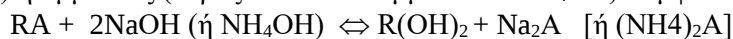
Διακρίνονται σε ισχυρές και ασθενείς κατιονικές ρητίνες

1.2.2. Ανιονικοί Ανταλλάκτες

Οι ρητίνες αυτού του είδους δεσμεύουν από ένα διάλυμα τα ανιόντα, ανταλλάσσοντάς τα με ιόντα υδροξυλίου (OH^-) σύμφωνα με την αντίδραση:



Η αναγέννηση γίνεται όπως και στους κατιονικούς ανταλλάκτες, με τη χρήση υδροξειδίου του νατρίου (NaOH) ή αμμωνίας (υδροξειδίου του αμμωνίου $-\text{NH}_4\text{OH}$) σύμφωνα με την αντίδραση:



Η συγκέντρωση του διαλύματος αναγέννησης είναι συνήθως 5-10% κ.β. Οι δύο τύποι των ιοντοεναλλακτών συνήθως χρησιμοποιούνται σε σειρά. Με κατάλληλη επιλογή του συστήματος μπορεί κανείς να διαχειριστεί οποιοδήποτε πρόβλημα υγρών αποβλήτων που αναφέρεται σε ανόργανα συστατικά.

Διακρίνονται σε ισχυρές και ασθενείς ανιονικές ρητίνες.

2. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΙΟΝΤΟΑΝΤΑΛΛΑΓΗΣ

- Αποσκλήρυνση
- Απιονισμός
- Απαλκαλίωση
- Άλλες εφαρμογές, όπως:

- Απομάκρυνση νιτρικών από το νερό
- Ανάκτηση μετάλλων από απόβλητα επιμετάλλωσης
- Ανάκτηση αργύρου από απόβλητα κινηματογραφικής βιομηχανίας
- Ανάκτηση νικοτίνης από τα απόβλητα ξηραντηρίων καπνού
- Ανάκτηση εξασθενούς χρωμίου από απόβλητα επιμετάλλωσης
- Απομάκρυνση αμμωνίας από τα απόβλητα μονάδων παραγωγής αμμωνίας

3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΤΗΛΩΝ ΙΟΝΤΟΑΝΤΑΛΛΑΓΗΣ [4]

Το πρώτο βήμα για το σχεδιασμό ενός συστήματος για υγρά απόβλητα είναι η διεξαγωγή ποσοτικών αναλύσεων για προσδιορισμό των ανιόντων και κατιόντων. Συμπληρωματικά θα πρέπει να ληφθούν στοιχεία ως προς τη συγκέντρωση των ολικών διαλυμένων στερεών (total dissolved solids), τη συγκέντρωση $\text{CO}_2/\text{HCO}_3^-$, SiO_2 και το pH.

Οι συγκεντρώσεις των επί μέρους ιόντων εκφράζονται συνήθως σε meq/L. Π.χ. για ένα διάλυμα με 20 mg/L Cu^{+2} η συγκέντρωση εκφρασμένη σε meq/L είναι: $20 / (63,5/2) = 0,63$ meq/L, όπου 63,5 είναι το ατομικό βάρος του χαλκού και 2 το σθένος του. Οι παράμετροι σχεδιασμού που πρέπει να προσδιορισθούν πριν το σχεδιασμό είναι:

1. **Η χωρητικότητα ανταλλαγής της ρητίνης.** Το μέγεθος αυτό εκφράζεται κατά κανόνα σε ισοδύναμα ιόντα που αφαιρούνται ανά μονάδα όγκου (eq/m³ ρητίνης)
2. **Απαιτήσεις σε αναγεννητικό υλικό.** Η απαίτηση εκφράζεται συνήθως σε μάζα ανά όγκο κλίνης, (δηλ. Kg $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{m}^3$). Ο λαμβανόμενος βαθμός θεωρητικής χωρητικότητας (σε σύγκριση με τη “φρέσκια ρητίνη” εξαρτάται από τη μάζα του χρησιμοποιημένου υλικού αναγέννησης. Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ένα οικονομικό ισοζύγιο μεταξύ του βαθμού θεωρητικής χωρητικότητας και μάζας του χρησιμοποιημένου αναγεννητή. Αντίστοιχα στοιχεία γενικά είναι διαθέσιμα από τους κατασκευαστές, διαφορετικά θα πρέπει να προκύψουν από εργαστηριακές δοκιμές. Με αυξανόμενη ποσότητα αναγεννητικού, αυξάνεται και η χωρητικότητα ανταλλαγής της στήλης.
3. **Απαιτήσεις σε νερό πλύσης.** Μετά τη διαδικασία αναγέννησης θα πρέπει να ακολουθήσει πλύση με νερό (rinsing) για απομάκρυνση του δεσμευμένου υλικού αναγέννησης (H^+ , OH^-). Οι απαιτήσεις προσδιορίζονται επίσης από πειραματικές δοκιμές ή είναι διαθέσιμες από τους κατασκευαστές ρητίνων και εκφράζονται σε m³ νερού ανά m³ κλίνης ρητίνης (12-24 m³/ m³). Στον πίνακα 3.παρουσιάζονται αποτελέσματα από δοκιμές σε ημιπilotικές εγκαταστάσεις.

Συμπληρωματικά θα πρέπει να συμπεριληφθούν στο σχεδιασμό τα ακόλουθα:

4. **Η ανάκτηση χρήσιμων υλικών,** ένας σημαντικός παράγοντας για την οικονομική υλοποίηση της ιοντοανταλλαγής, περιγράφεται στο παράδειγμα 1. Χρωμικό ιόν (CrO_4^{2-}) από υγρά απόβλητα βιομηχανίας επικάλυσης μετάλλων με χρώμιο, κατακρατείται μέσω ιοντοανταλλαγής και ανακτάται σταδιακά σαν χρωμικό οξύ (H_2CrO_4) σε έναν κατιοντοεναλλάκτη
5. **Ο υπολογισμός του ύψους της κλίνης** περιγράφεται επίσης στο ίδιο παράδειγμα. Συμπληρωματική ελευθερία ύψους διατίθεται στη στήλη για να είναι δυνατή η διόγκωση της ρητίνης κατά την αντίστροφη πλύση. Σαν γενικός κανόνας ισχύει η πρόβλεψη ενός κατά 50% μεγαλύτερου όγκου.

Συνήθως το καθαρό ύψος της κλίνης κυμαίνεται από 0,6m έως 1,2m, ενώ ο υπερκείμενος ελεύθερος χώρος της κλίνης κυμαίνεται από 30% έως 100% του καθαρού ύψους της ρητίνης.

Η διάμετρος του δοχείου είναι συνήθως 0,3m έως 3m, έτσι ώστε η ταχύτητα ροής κενού χώρου να κυμαίνεται από 10-30 m/h (πίνακας 2) Για τον υπολογισμό των υδραυλικών χαρακτηριστικών των κλινών της ρητίνης μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι ίδιες εξισώσεις με αυτές της υδραυλική συμπεριφοράς της διήθησης (με αντικατάσταση των χαρακτηριστικών της ρητίνης στους τύπους).

Πίνακας 1.Παράμετροι σχεδιασμού κλινών ιοντοανταλλαγής

Τύπος ρητίνης	Υδραυλική ροή m/h	Ελάχιστο ύψος κλίνης m	Παροχή λειτουργίας BV/h	Παροχή πλύσης BV/h	Ικανότητα Ανταλλαγής eq/L
Ισχυρά κατιονική	5-30	0,6	5-50	2-8	0,8-1,5
Ασθενώς κατιονική	5-20	0,6	5-40	2-8	0,5-2,7
Ισχυρά Ανιονική [8]	5-20	0,7	5-50	2-8	0,4-0,8
Ασθενώς ανιονική	5-17	0,7	8-40	2-8	0,8-1,1
Μικτή	5-30	0,9	5-50	2-8	0,3-0,5

Σημείωση:

- Λειτουργικά το μέγιστο ύψος δοχείου ρητίνης δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 2,5 μέτρα
- Λειτουργικά η μέγιστη διάμετρος του δοχείου ρητίνης δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 2 μέτρα
- το 1 BV/h (Bed Volume)/h =1 λίτρο διάλυμα/1 λίτρο ρητίνης την ώρα

Πίνακας 2. Χαρακτηριστικά ρητινών ανταλλαγής ιόντων για χρήση στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων σε βιομηχανίες

Παράμετροι σχεδιασμού	Ισχυρά Κατιονικές	Ισχυρά ανιονικές
ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΑΝΤΑΛΛΑΓΗΣ	Τυπική τιμή 1,2 eq/L	Τυπική τιμή 0,7 eq/L
ΥΛΙΚΟ ΑΝΑΓΕΝΝΗΣΗΣ	H ₂ SO ₄	NaOH NaCl
-Απαιτήση (g/L ρητίνης)	175	80 180
-Συγκέντρωση (%)	5	10 10
ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΡΟΗ (m/h) (m ³ /m ² _h)	20	13
ΠΑΡΟΧΗ ΝΕΡΟΥ ΠΛΥΣΗΣ (BV/h)	5	5

4. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ:

Να σχεδιαστεί ένα σύστημα ιοντοανταλλαγής για επεξεργασία 450 m³/d ενός υγρού αποβλήτου από τη βιομηχανία επιχρωμώσεως μετάλλων και να γίνει το διάγραμμα ροής της εγκατάστασης.

Τα κύρια ιόντα που είναι παρόντα το νερό είναι:

-χρώμιο σε συγκέντρωση 140 mg/L CrO₃ (σαν CrO₄⁻²)

-Cu⁺², σε συγκέντρωση 40 mg/L

- Zn⁺², σε συγκέντρωση 25 mg/L

-Ni⁺², σε συγκέντρωση 30 mg/L

Απαιτείται η αφαίρεση των Cu^{+2} , Zn^{+2} , Ni^{+2} σε έναν όξινο κατιοντοεναλλάκτη και η αφαίρεση των CrO_4^{2-} σε ένα βασικό ανιοντοεναλλάκτη, ο οποίος ακολουθεί.

Η αναγέννηση των ιοντοεναλλακτών γίνεται με H_2SO_4 (5%) και NaOH (10%) αντίστοιχα. Η εκροή από την τελευταία αναγέννηση περιέχει Na_2CrO_4 . Οι εκροές που λαμβάνονται κατά την αναγέννηση του όξινου κατιοντοεναλλακτη εξουδετερώνεται.

Να σχεδιαστούν οι δύο ιοντοεναλλάκτες και να προσδιοριστούν οι απαιτήσεις σε H_2SO_4 και NaOH κατά την αναγέννηση, καθώς και η ποσότητα νερού για πλύση των κλινών.

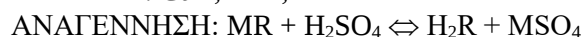
ΛΥΣΗ

Οι αντιδράσεις που γίνονται είναι:

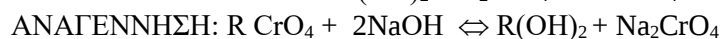
Κατιοντοεναλλάκτης



Όπου M^{+2} : Cu^{+2} , Zn^{+2} , Ni^{+2}



Ανιοντοεναλλάκτης



Α) ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΚΑΤΙΟΝΤΟΕΝΑΛΛΑΚΤΗ

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ/ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

- | | |
|--|---------------------------------|
| - Παροχή λειτουργίας: 5-50 BV/h | <i>Επιλέγεται τιμή 18 BV/h</i> |
| - Χωρητικότητα ρητίνης: 0,8–1,5 eq/L | <i>Επιλέγεται τιμή 1,2 eq/L</i> |
| - Υδραυλική ροή: 5-30 m/h | <i>Επιλέγεται τιμή 25 m/h</i> |
| - Απαίτηση αναγεν. υλικού (H_2SO_4): | <i>175 gr/L ρητίνης</i> |
| - Παροχή νερού πλύσης: 2-8 BV/h | <i>Επιλέγεται τιμή 6 BV/h</i> |
| - Διάρκεια σταδίου πλύσης: | <i>15 min</i> |

ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΙΟΝΤΩΝ:

- Cu^{+2} , σε συγκέντρωση 40 mg/L
- Zn^{+2} , σε συγκέντρωση 25 mg/L
- Ni^{+2} , σε συγκέντρωση 30 mg/L

ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΝΤΑΙ:

- Όγκος ρητίνης (V_p)
- Διαστάσεις κλίνης-δοχείου ρητίνης
- Διάρκεια κύκλου λειτουργίας ρητίνης
- Απαίτηση αναγεννητικού υλικού H_2SO_4
- Όγκος νερού πλύσης

1. Υπολογισμός του απαιτούμενου όγκου ρητίνης με βάση τη χωρητικότητα ανταλλαγής

ι. Υπολογισμός των ισοδύναμων συγκεντρώσεων των ιόντων μετάλλων προς αφαίρεση:

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΙΟΝΤΩΝ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ (MB/σθένος)	meq/L
Cu^{+2} 40 mg/L	$63,5/2=31,7$	$40/31,7 = 1,26$
Zn^{+2} 25 mg/L	$65,4/2 = 32,7$	$25/32,7 = 0,76$
Ni^{+2} 30 mg/L	$58,7/2 = 29,4$	$30/29,4 = 1,02$
ΣΥΝΟΛΟ meq/L = 3,04		

ii. Προσδιορισμός του συνόλου των ισοδύναμων ποσοτήτων για αφαίρεση:

$$3,04 \text{ meq/L} = 3,04 \text{ eq/m}^3$$

$$3,04 \text{ eq/m}^3 \times 450 \text{ m}^3/\text{d} = 1368 \text{ eq/d}$$

iii. Υπολογισμός του όγκου της ρητίνης με δεδομένη τη χωρητικότητα ανταλλαγής 1,2 eq/ L:

$$(1368 \text{ eq/d}) / (1,2 \text{ eq/ L}) = 1140 \text{ λίτρα ρητίνης}$$

Επομένως για την επεξεργασία των 450 m³ αποβλήτων / ημέρα απαιτείται όγκος ρητίνης V_p = **1140 λίτρων ήτοι 1,14 m³**.

2. Υπολογισμός διαστάσεων κλίνης - δοχείου ρητίνης:

Υπολογισμός ωριαίας παροχής λειτουργίας:

Η παροχή λειτουργίας υπολογίζεται ως: $18 \text{ BV/h} \times 1140 \text{ L ρητίνης} = 20.520 \text{ L/h} = 20,5 \text{ m}^3/\text{h}$
(τα 18 BV/h είναι 18 L αποβλήτου/ L ρητίνης _h ή αλλιώς 18 m³ αποβλήτου/ m³ ρητίνης _h)

Η μέγιστη παροχή λειτουργίας υπολογίζεται ως: $50 \text{ BV/h} \times 1140 \text{ L ρητίνης} = 57.000 \text{ L/h} = 57 \text{ m}^3/\text{h}$

(τα 50 BV/h είναι 50 L αποβλήτου/ L ρητίνης _h ή αλλιώς 50 m³ αποβλήτου/ m³ ρητίνης _h)

Υπολογισμός επιφάνειας κλίνης:

Υπολογίζουμε την επιφάνεια κλίνης ($E_{\text{κλ}}$) από την υδραυλική ροή και την ωριαία παροχή ($Q=20,5 \text{ m}^3/\text{h}$). Υδραυλική ροή (Y.P.) 5–30 m/h ή $5-30 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ _h}$.

Επιλέγεται ταχύτητα 25 m/h. Επομένως: $E_{\text{κλ}} = 20,5 \text{ m}^3 \text{ _h} / 25 \text{ m _h} = 0,82 \text{ m}^2$

Υπολογισμός διαμέτρου κλίνης-δοχείου ρητίνης:

$E_{\text{κλ}} = \pi D^2/4$ επομένως $D^2 = 4E_{\text{κλ}}/\pi = 4 \times 0,82/3,14$ οπότε Διάμετρος (D) = **1m**

Υπολογισμός ύψους κλίνης-δοχείου ρητίνης:

Υπολογίζουμε το ύψος κλίνης με βάση τον όγκο ρητίνης και την επιφάνεια.

Επομένως: $V_p = E_{\text{κλ}} \times h_{\text{κλ}}$ άρα $h_{\text{κλ}} = V_p/E_{\text{κλ}} = (1,14 \text{ m}^3)/(0,8 \text{ m}^2) = 1,4 \text{ m}$.

Για τον υπολογισμό του ύψους του δοχείου θεωρούμε ότι θα έχουμε μία διαστολή 50% για πλύση με αντίστροφη ροή, οπότε το ύψος του υπολογίζεται σε $1,5 \times 1,4 \text{ m} = 2,1 \text{ m}$

3. Υπολογισμός διάρκειας κύκλου λειτουργίας ρητίνης:

Η κανονική διάρκεια κύκλου υπολογίζεται ως: $(450 \text{ m}^3/\text{d})/(20,5 \text{ m}^3/\text{h}) = 22 \text{ ώρες}$ λειτουργίας/ημέρα

Η ελάχιστη διάρκεια κύκλου υπολογίζεται ως: $(450 \text{ m}^3)/(57 \text{ m}^3/\text{h}) = 8 \text{ ώρες}$

4. Υπολογισμός της ποσότητας του αναγεννητικού υλικού (H₂SO₄ 5%).

Η απαιτούμενη ποσότητα οξέος (H₂SO₄ 5%) είναι 175 gr/L ρητίνης, επομένως:

$0,175 \text{ kg} \times 1140 \text{ L} = 199,5$ ήτοι **200 κιλά** για κάθε κύκλο λειτουργίας ήτοι για κάθε αναγέννηση.

2. Υπολογισμός απαιτούμενης ποσότητας νερού για πλύση

Η παροχή νερού πλύσης υπολογίζεται ως: $6 \text{ BV/h} \times 1140 \text{ L ρητίνης} = 6.840 \text{ L/h} = 6,8 \text{ m}^3/\text{h}$

Επομένως ο απαιτούμενος όγκος είναι: $(6,8 \text{ m}^3/\text{h}) \times 15/60 \text{ h} = 1,7 \text{ m}^3$.

* χρόνος διάρκειας πλύσης δηλ. 15 min

B) ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΝΙΟΝΤΟΕΝΑΛΛΑΚΤΗ

Το χρωμικό οξύ (H₂CrO₄), που βγαίνει από τον πρώτο κατιοντοεναλλάκτη, συγκεντρώνεται στον ανιοντοεναλλάκτη, που σχεδιάζεται με παρόμοιο τρόπο.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ/ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

- Παροχή λειτουργίας: 5-50 BV/h

Επιλέγεται τιμή 13 BV/h

- Χωρητικότητα ρητίνης: 0,4–0,8 eq/L *Επιλέγεται τιμή 0,7 eq/L*
- Υδραυλική ροή: 5-20 m/h *Επιλέγεται τιμή 20 m/h*
- Απαίτηση αναγεν. υλικού (H₂SO₄): *80gr/L ρητίνης*
- Παροχή νερού πλύσης: 2-8 BV/h *Επιλέγεται τιμή 4 BV/h*
- Διάρκεια σταδίου πλύσης: *12 min*

ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΙΟΝΤΩΝ:

- χρώμιο σε συγκεντρωση 140 mg/L CrO₃ (σαν CrO₄⁻²)

ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΝΤΑΙ:

- Όγκος ρητίνης (V_ρ)
- Διαστάσεις κλίνης-δοχείου ρητίνης
- Διάρκεια κύκλου λειτουργίας ρητίνης
- Απαίτηση αναγεννητικού υλικού NaOH
- Όγκος νερού πλύσης

1.Υπολογισμός του απαιτούμενου όγκου ρητίνης με βάση τη χωρητικότητα ανταλλαγής

i. Υπολογισμός των ισοδύναμων συγκεντρώσεων των ιόντων χρωμίου προς αφαίρεση:

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΙΟΝΤΩΝ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ (MB/σθένος)	meq/L
CrO ₄ ⁻² 140 mg/L	116/2=52	140/52 =2,7
ΣΥΝΟΛΟ meq/L = 2,7		

ii. Προσδιορισμός του συνόλου των ισοδύναμων ποσοτήτων για αφαίρεση:

2,7 meq/L ήτοι 2,7 eq/m³

Ημερησίως: 2,7 eq/m³ × 450 m³/d = **1215 eq/d**

iii. Υπολογισμός όγκου ρητίνης

Χωρητικότητα ρητίνης 0,7 eq/L. Οπότε (1215 eq_d)/(0,7eq/L)=**1735L ρητίνης**.

Επομένως για την επεξεργασία των 450 m³ αποβλήτων /ημέρα απαιτείται όγκος ρητίνης V_ρ = **1735 λίτρων ή ~ 1,73 m³**.

2. Υπολογισμός διαστάσεων κλίνης - δοχείου ρητίνης:

Υπολογισμός ωριαίας παροχής λειτουργίας:

Η παροχή λειτουργίας υπολογίζεται ως: 13BV/h x 1735 L ρητίνης = **22.555 L/h =22,5m³/h**
(τα 13BV/h είναι 13 L αποβλήτου/ L ρητίνης _h ή αλλιώς 13 m³ αποβλήτου/ m³ ρητίνης _h)

Η μέγιστη παροχή υπολογίζεται ως: 50BV/h x 1735 L ρητίνης = **86.750 L/h =86,7m³/h**
(τα 50BV/h είναι 50 L αποβλήτου/ L ρητίνης _h ή αλλιώς 50 m³ αποβλήτου/ m³ ρητίνης _h)

Υπολογισμός επιφάνειας κλίνης:

Υπολογίζουμε την επιφάνεια κλίνης (E_{κλ}) από την υδραυλική ροή και την ωριαία παροχή (Q = 22,5 m³/h). Επιθυμητή υδραυλική ροή 5–20 m/h ή 5-20 m³/m² _h.

Επιλέγεται γραμμική ταχύτητα 20 m/h. Επομένως: E_{κλ}= (22,5 m³)_h/(20m_h)=**1,1 m²**

Υπολογισμός διαμέτρου κλίνης-δοχείου ρητίνης:

E_{κλ}= πD²/4 επομένως D²=4E_{κλ}/π = 4x1,1/3,14 οπότε Διάμετρος (D)=**1,2m**

Υπολογισμός ύψους κλίνης-δοχείου ρητίνης:

Υπολογίζουμε το ύψος κλίνης με βάση τον όγκο ρητίνης και την επιφάνεια.

Επομένως: $E_{κλ} = V_p/h_{κλ}$ άρα $h_{κλ} = V_p/E_{κλ} = 1,73m^3/(1,1m^2) = 1,6m$.

Για τον υπολογισμό του ύψους του δοχείου θεωρούμε ότι θα έχουμε μία διαστολή 50% για πλύση με αντίστροφη ροή, οπότε το ύψος του υπολογίζεται σε $1,5 \times 1,6m = 2,4m$

3. Υπολογισμός διάρκειας κύκλου λειτουργίας ρητίνης:

Η κανονική διάρκεια κύκλου υπολογίζεται ως: $(450m^3)/(22,5m^3/h) = 20$ ώρες

Η ελάχιστη διάρκεια κύκλου υπολογίζεται ως: $(450m^3)/(86m^3/h) = 5$ ώρες

4. Υπολογισμός της ποσότητας του αναγεννητικού υλικού (NaOH 10%):

Η απαιτούμενη ποσότητα καυστικής (NaOH 10%) είναι 80gr/L ρητίνης, επομένως:

$0,08kg \times 1735L = 138,8$ ήτοι **140 κιλά** για κάθε κύκλο λειτουργίας δηλαδή για κάθε αναγέννηση.

5. Υπολογισμός απαιτούμενης ποσότητας νερού για πλύση:

Η παροχή νερού πλύσης υπολογίζεται ως: $4BV/h \times 1735L$ ρητίνης = **6,9m³/h**

Επομένως ο απαιτούμενος όγκος είναι: $(6,9m^3/h)/ () \times 12/60 h * = 1,4 m^3$.

* χρόνος διάρκειας πλύσης δηλ. 12min

Στο παράδειγμα υπολογισμού να γίνει το διάγραμμα ροής της εγκατάστασης από τους σπουδαστές.

4.1. Εκτέλεση Άσκησης

Να ακολουθηθούν τα βήματα του παραδείγματος για τον υπολογισμό και σχεδιασμό των εγκαταστάσεων με τα παρακάτω δεδομένα:

Παράδειγμα 1 [8]

Στην εγκατάσταση του εργαστηρίου διαθέτουμε ισχυρά βασική ρητίνη (ισχυρά ανιονική, που λειτουργεί σε κύκλο χλωρίου και πλύση και αναγέννηση με ομοροή) τύπου IMAC HP555, για απομάκρυνση νιτρικών με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Ολική ικανότητα ανταλλαγής: $\geq 0,9$ eq/L **Επιλέγεται τιμή = 0,9 eq/L**

- Μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας 80°C

- Ελάχιστο ύψος κλίνης: 70cm

- Παροχή λειτουργίας: 5-40 BV*/h

Επιλέγεται τιμή = 25 BV/h

- Μέγιστη ταχύτητα ροής (Μέγιστη Γραμμική Ταχύτητα): 50 m/h **Επιλέγεται τιμή = 30 m/h**

- ΥΛΙΚΟ ΑΝΑΓΕΝΝΗΣΗΣ

-Απαίτηση 125 -250 g/L ρητίνης

Επιλέγεται τιμή = 220 g/L ρητίνης

-Διάλυμα NaCl 5-10%

-Παροχή 2-8 BV*/h

-Ελάχιστος χρόνος επαφής για την αναγέννηση: 30min (κριτήριο για τον έλεγχο της παροχής αναγέννησης)

-Αργή πλύση*: 2-5 BV*/h

-Γρήγορη πλύση*: 2-8 BV*/h **Επιλέγεται τιμή = 7 BV/h(διάρκεια=14min)**

* στους υπολογισμούς ως «νερό πλύσης» θα λαμβάνεται η τιμή του σταδίου γρήγορης πλύσης

Ο κύκλος της αναγέννησης περιλαμβάνει 4 στάδια: α) ανάστροφη πλύση, β) προσθήκη υλικού αναγέννησης στη ρητίνη, γ) αργή πλύση της ρητίνης, δ) γρήγορη πλύση της ρητίνης

Ο υπολογισμός της παροχής σε m³/h γίνεται κάνοντας τις ανάλογες μετατροπές του BV*/h, γνωρίζοντας τον όγκο της ρητίνης, ως εξής:

-Στην εγκατάσταση του εργαστηρίου έχουμε τοποθετήσει στη στήλη περίπου 6L υλικού ρητίνης.

- 1 BV (Bed Volume)/h =1m³ διάλυμα/m³ ρητίνης την ώρα, άρα 1L διάλυμα / 1L ρητίνης την ώρα, δηλαδή 6 L διάλυμα για τα 6L ρητίνης που διαθέτουμε την ώρα
- Αν πάρουμε μία μέση παροχή 3 BV*/h $\Rightarrow 3 \times 6 \text{ L διάλυμα/L ρητίνης την ώρα} = 18\text{L/h} \approx 20\text{L/h}$
- Αναλόγως υπολογίζουμε την ελάχιστη και μέγιστη παροχή

Να σχεδιαστεί ένα σύστημα ιοντοανταλλαγής για το είδος της ρητίνης με τα χαρακτηριστικά που δίνονται παραπάνω, για επεξεργασία 350 m³/d ενός υγρού αποβλήτου με νιτρικά από βιομηχανία λιπασμάτων. Κύριο ιόν που είναι παρόν στο νερό είναι:

NO₃⁻ : 170 mg/L (A.B_N= 14, A.B_O=16),

***1 BV (Bed Volume) =1m³ διάλυμα/m³ ρητίνης**

Παράδειγμα 2 [8]

Στην εγκατάσταση του εργαστηρίου διαθέτουμε ισχυρά όξινη ρητίνη (ισχυρά κατιονική), που λειτουργεί σε κύκλο υδρογόνου και πλύση και αναγέννηση με ομορροή) τύπου **AMPERLYST 15WET**, η οποία έχει δομή συμπολυμερούς του διβινυλοβενζολίου, ιδιαίτερα ανθεκτικού στο breakdown (απότομη εκκένωση) από όσμωση και στο χημικό και θερμικό σοκ. Έχει μεγάλη αντοχή στα οξειδωτικά, όπως χλώριο, οξυγόνο και χρωμικά. Σαν ενεργή ομάδα έχει την ισχυρά αρνητική σουλφονική ομάδα (R-SO₃H). Η ρητίνη του τύπου αυτού μπορεί να χρησιμοποιηθεί απ' ευθείας στα υδατικά συστήματα ή σε οργανικό μέσο μετά από επεξεργασία με διαλύτη αναμίξιμο με το νερό. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εφαρμογές χημικών διεργασιών για να απομακρύνει ακαθαρσίες, όπως μεταλλικά ιόντα και βασικές οργανικές ενώσεις (αμίνες) από υδατικό και μη υδατικό περιβάλλον.

Τα χαρακτηριστικά της AMPERLYST 15WET, η οποία θα χρησιμοποιηθεί το πλαίσιο της εργαστηριακής άσκησης για απομάκρυνση μετάλλων είναι τα εξής:

- Ολική ικανότητα ανταλλαγής: 1,7 eq/L **Επιλέγεται τιμή = 1,7 eq/L**
 - PH: 0-14
 - Χαρακτηριστική ομάδα: -SO₃H
 - Μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας 120°C ή 250 °F
 - Ελάχιστο ύψος κλίνης: 1000mm (1m)
 - Παροχή λειτουργίας: 2-45 BV*/h **Επιλέγεται τιμή = 22 BV/h**
 - Πίεση: 1bar (15 psig) κατά μήκος της κλίνης
 - Μέγιστη ταχύτητα ροής: 50 m/h **Επιλέγεται τιμή = 25 m/h**
 - ΥΛΙΚΟ ΑΝΑΓΕΝΝΗΣΗΣ Διάλυμα HCl ή διάλυμα H₂SO₄
 - Απαίτηση: 40-100 g/L ρητίνης για το HCl και 40-200 g/L για το H₂SO₄ **Επιλέγεται τιμή = 160g H₂SO₄/L ρητίνης**
 - Διάλυμα HCl 4-10% ή διάλυμα H₂SO₄ 1-5%
 - Παροχή 2-8 BV/h
 - Ελάχιστος χρόνος επαφής για την αναγέννηση: 30min (κριτήριο για τον έλεγχο της παροχής αναγέννησης)
 - Αργή πλύση: 2 BV/h
 - Γρήγορη πλύση*:1-5 BV/h **Επιλέγεται τιμή=4 BV/h(διάρκεια=12 min)**
- * στους υπολογισμούς ως «νερό πλύσης» θα λαμβάνεται η τιμή του σταδίου γρήγορης πλύσης

Ο κύκλος της αναγέννησης περιλαμβάνει 4 στάδια:α) ανάστροφη πλύση, β) προσθήκη υλικού αναγέννησης στη ρητίνη, γ) αργή πλύση της ρητίνης, δ) γρήγορη πλύση της ρητίνης

Ο υπολογισμός της παροχής σε m^3/h γίνεται κάνοντας τις ανάλογες μετατροπές του BV/h , γνωρίζοντας τον όγκο της ρητίνης, ως εξής:

-Στην εγκατάσταση του εργαστηρίου έχουμε τοποθετήσει στη στήλη περίπου 6L υλικού ρητίνης.

-1 BV (Bed Volume)/h = 1m^3 διάλυμα/ m^3 ρητίνης την ώρα, άρα 1L διάλυμα / 1L ρητίνης την ώρα, δηλαδή 6 L διάλυμα για τα 6L ρητίνης που διαθέτουμε την ώρα

-Αν πάρουμε μία μέση παροχή 5 BV/h $\Rightarrow 5 \times 6 \text{ L}$ διάλυμα/L ρητίνης την ώρα = $30\text{L}/\text{h}$

-Αναλόγως υπολογίζουμε την ελάχιστη και μέγιστη παροχή

Να σχεδιαστεί ένα σύστημα ιοντοανταλλαγής για το είδος της ρητίνης με τα χαρακτηριστικά που δίνονται παραπάνω, για επεξεργασία $200 \text{ m}^3/\text{d}$ ενός υγρού αποβλήτου με βαρέα μέταλλα. Κύρια ιόντα που είναι παρόντα στο νερό είναι:

Fe^{+2} : $70 \text{ mg}/\text{L}$ ($A.B_{\text{Fe}} = 56$), Mn^{+2} : $55 \text{ mg}/\text{L}$ ($A.B_{\text{Mn}} = 55$).

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Μαρκαντωνάτος Γ., ‘‘Επεξεργασία και διάθεση Υγρών Αποβλήτων’’, ΑΘΗΝΑ 1990, Εκδ. 2^η.
2. Λέκκας Θ., ‘‘Περιβαλλοντική Μηχανική Ι –Διαχείριση Υδατικών Πόρων’’, Παν/μιο Αιγαίου, Τμήμα Περιβάλλοντος, ΜΥΤΙΛΗΝΗ 1996
3. Μ. Μήτρακας, ‘‘Ποιοτικά Χαρακτηριστικά και Επεξεργασία Νερού’’, Εκδ. Τζιόλα, Θεσσαλονίκη 2001, Εκδ. 2^η
4. Αϊβαζίδης Α., ‘‘Τεχνολογία και Διαχείριση Υγρών Αποβλήτων ΙΙ’’, Δημοκρίτειο Παν/μιο Θράκης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Εκδ. Εταιρεία Αξιοποίησης
5. Degrémont, ‘‘Waser Treatment Handbook’’, John Willey & Sons, 5th Ed., N.Y., 1979
6. M. J. Hammer, M. J. Hammer Jr., ‘‘Water and Waste Water Technology’’, Prentice Hall, N.J., 1996, Third Ed.
7. Summary Report: Control and Treatment Technology for the Metal Finishing Industry - Ion Exchange USEPA EPA 625/-81-007 June 1981 pp 4-10 (updated by Remco Engineering)
8. PROSPECT, ROHM & HAAS DEUTSCHLAND GMBH, www.rohmhaas.com, Ion exchange resins