



ΑΣΚΗΣΗ 6

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗΛΗΣ ΡΗΤΙΝΩΝ ΒΑΣΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

- ❑ Στάδια Λειτουργίας ρητινών
- ❑ Τύποι ρητινών και εφαρμογές
- ❑ Χωρητικότητα ρητίνης



Υπεύθυνη Καθηγήτρια: Δρ. Αμανατίδου Ελισάβετ

Εργαστηριακό Προσωπικό:

**Σαμιώτης Γεώργιος
Ζιαγκοβά Μαρία**

Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας
Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Χημικών Μηχανικών
Κοίλα Κοζάνης 50100 | Kozani GR 50100

Αποσκλήρυνση
ύδατος



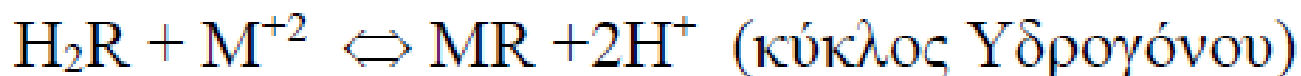
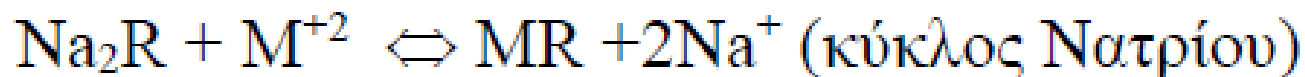
1^ο Στάδιο Λειτουργίας
Δέσμευση Ιόντων



Προχωρημένες και Σύγχρονες Τεχνολογίες Επεξεργασίας Υγρ

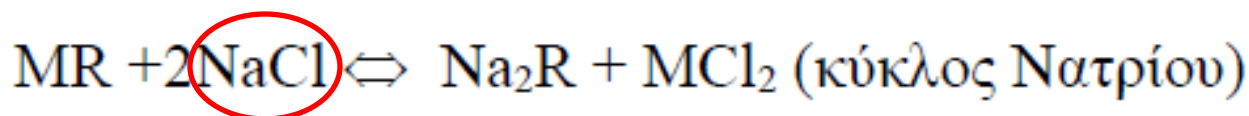


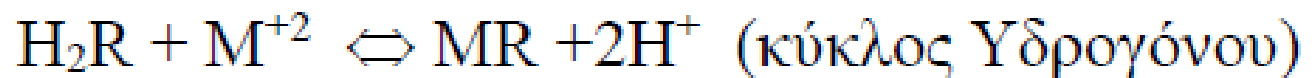
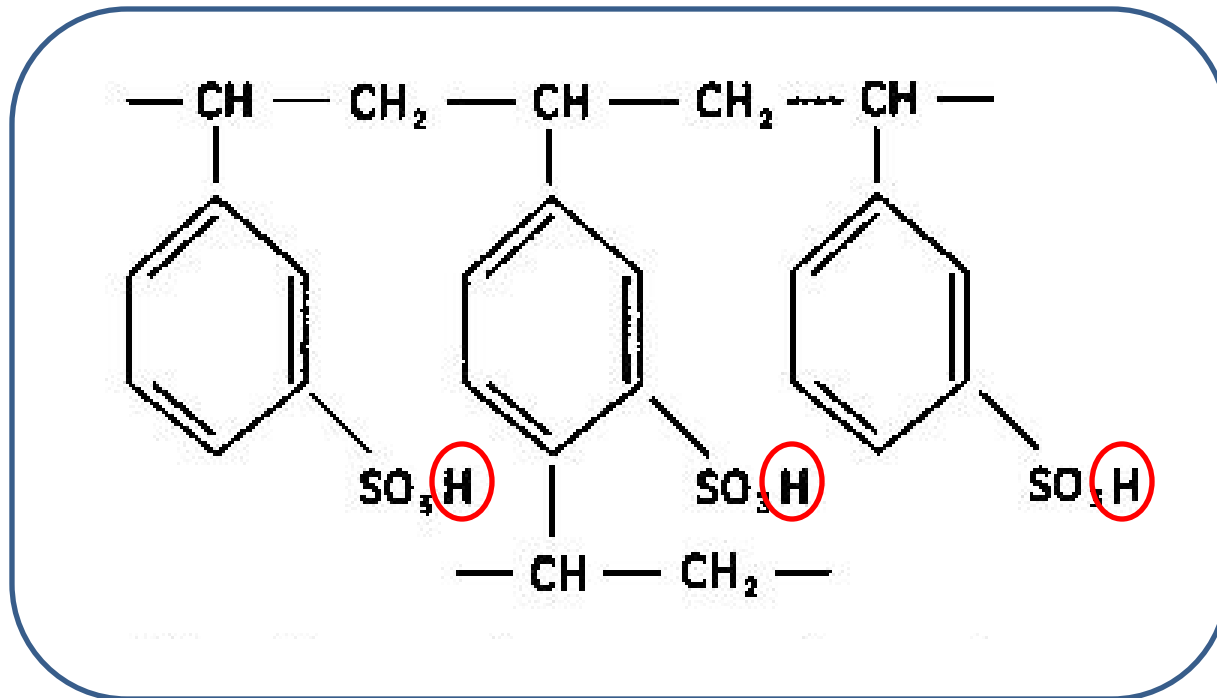
Κατιονικές Ρητίνες



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

Αναγέννηση Ρητινών

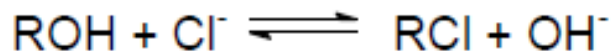




Χημική δομή ισχυρά κατιονικής ρητίνης σε κύκλο υδρογόνου.



Ανιονικές Ρητίνες



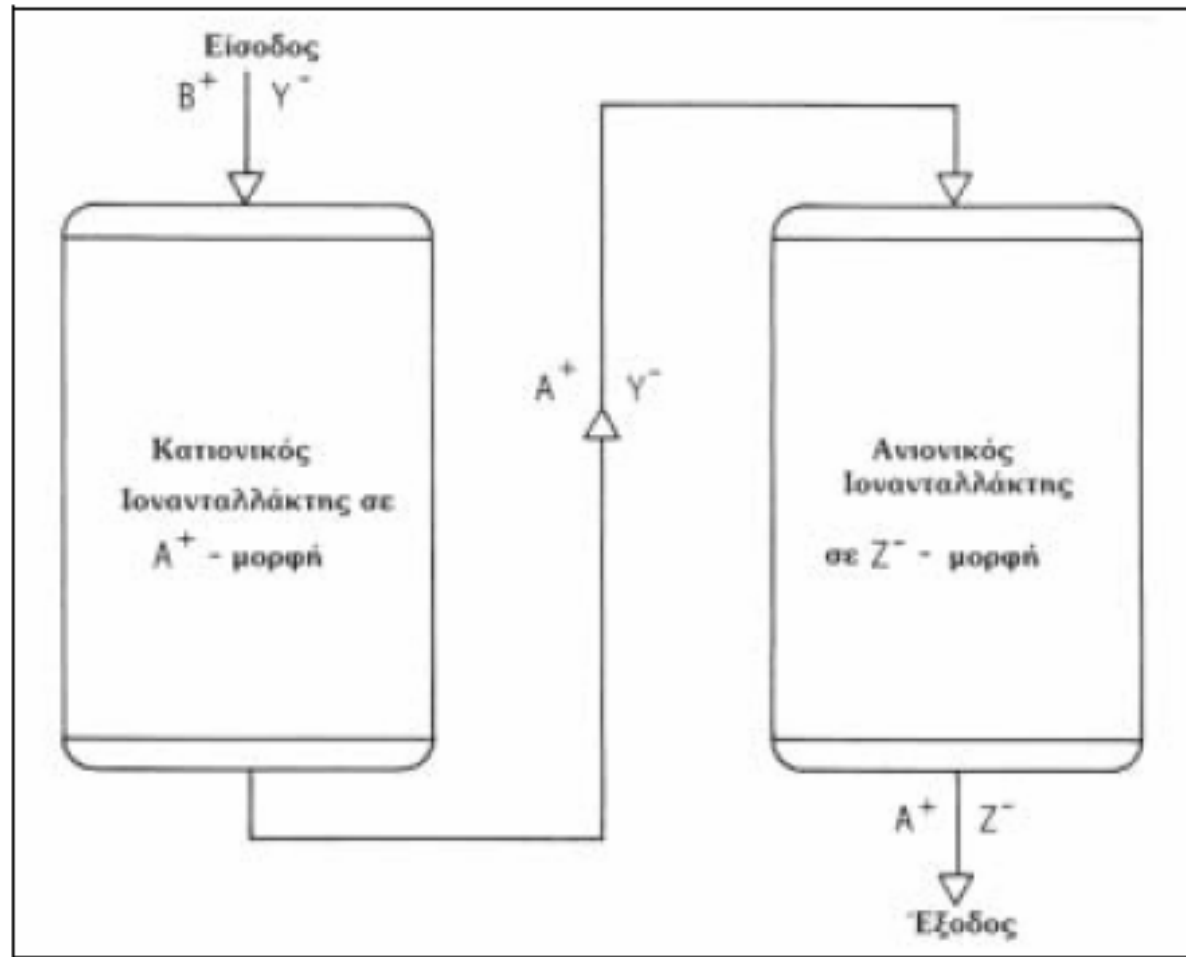
Αναγέννηση Ρητινών



Αναγέννηση Ρητινών



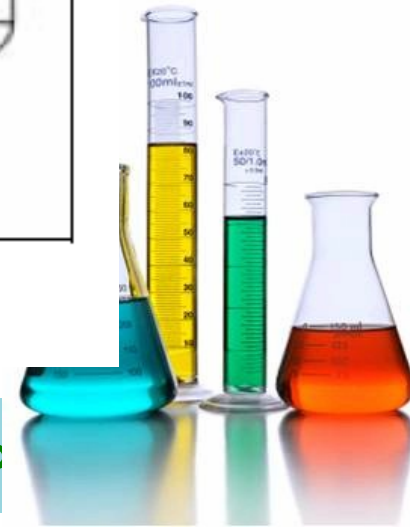
ΙΟΝΤΟΑΝΤΑΛΛΑΓΗ ΣΕ ΔΥΟ ΣΤΑΔΙΑ



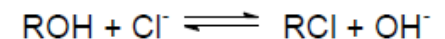
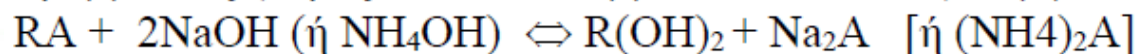
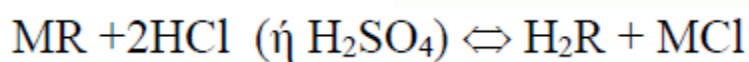
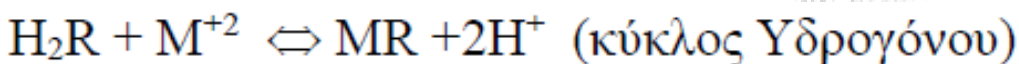
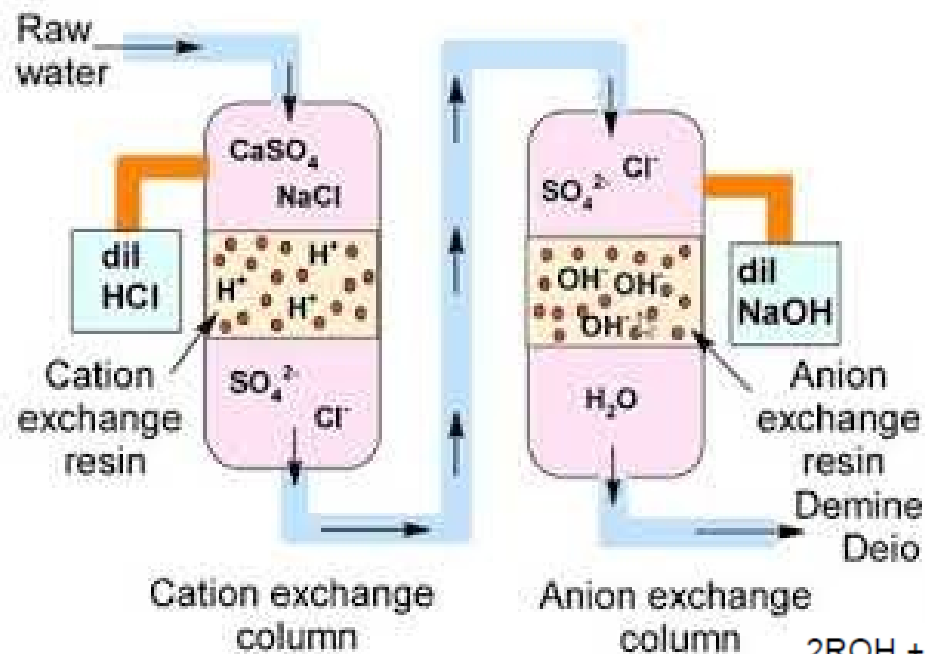
Λειτουργία ιοντοεναλλαγής σε δυο στάδια



Προχωρημένες και Σύγχρονες Τεχνολογίες Επεξεργασίας Υγρ



DEMINERALISATION PROCESS/ ION-EXCHANGE PROCESS



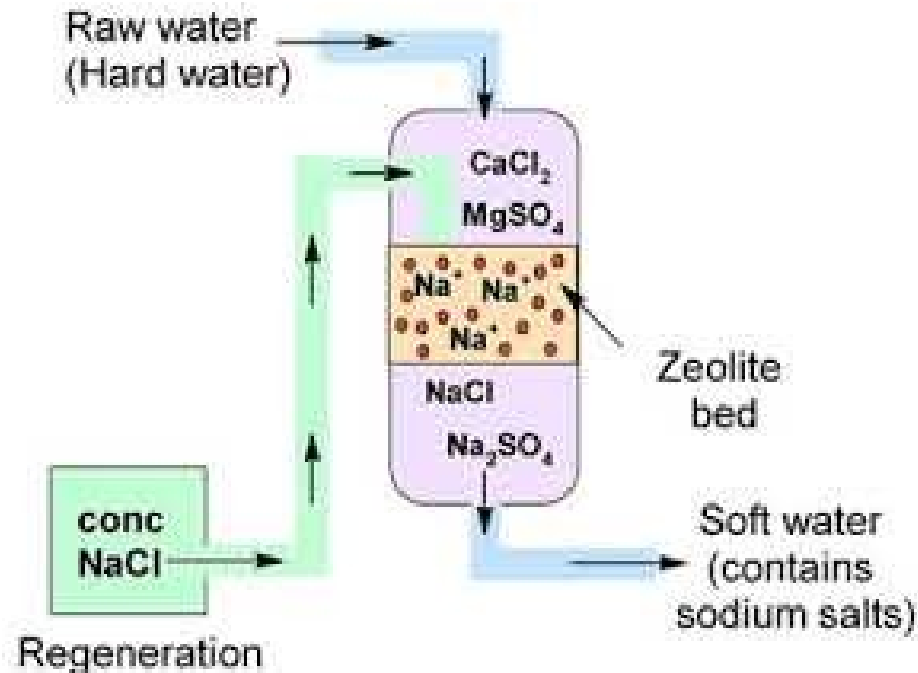
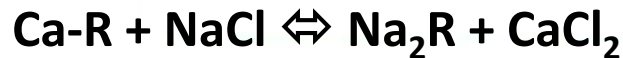
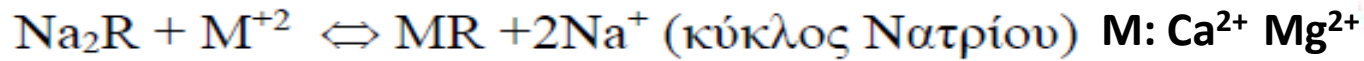
M: Ca^{2+} , Na^+

A: SO_4^{2-} , Cl^-

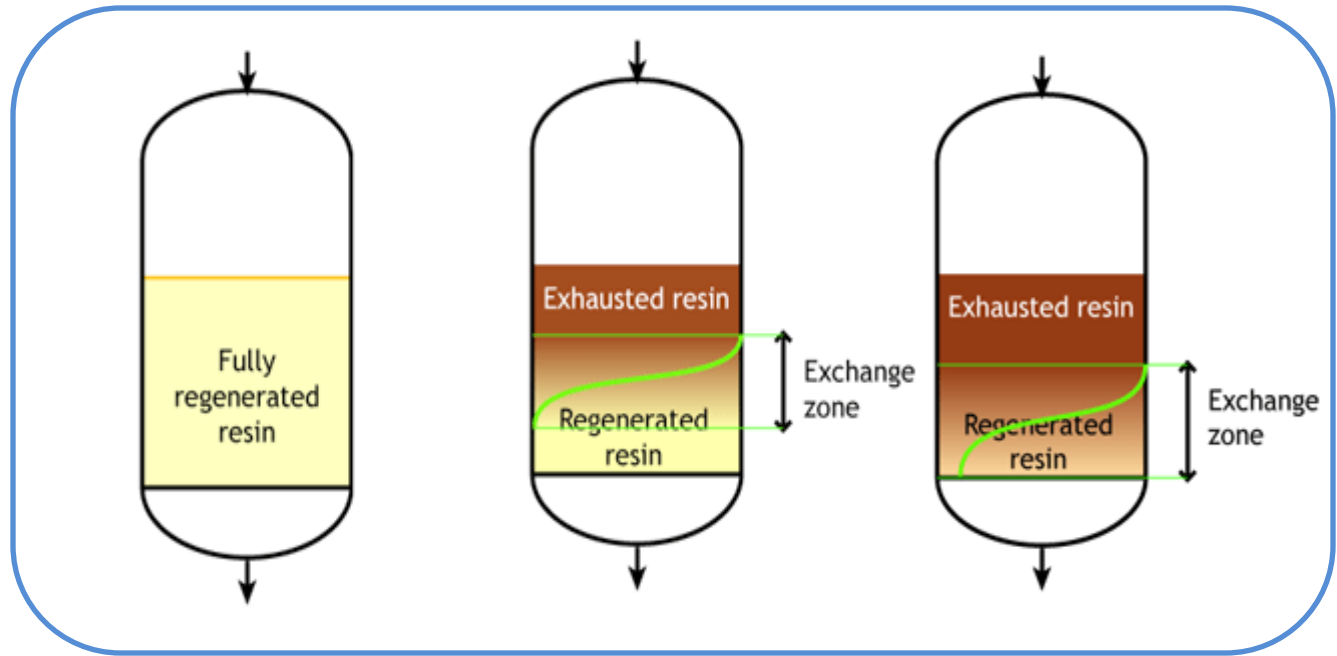
Προχωρημένες και Σύγχρονες Τεχνολογίες Επεξεργασίας Υγρ



ΙΟΝΤΟΑΝΤΑΛΛΑΓΗ – ΑΠΟΣΚΛΗΡΥΝΣΗ ΝΕΡΟΥ



Η διάρκεια
χρήσης μιας
ρητίνης πριν την
αναγέννησή της,
μετράται με τους
Όγκους
Στρώματος (ΟΣ,
Bed Volumes -
BV) νερού που
έχει διέλθει.



$$1 \text{ BV} / h = \frac{1 \text{ m}^3 \text{ αποβλήτου}}{1 \text{ m}^3 \text{ ρητίνης } h}$$

Η αναγέννηση απαιτεί από 1 έως 5 ΟΣ διάλυμα αναγέννησης που ακολουθείται από 2-20 ΟΣ νερού πλύσης.



☐ Χωρητικότητα ή Ικανότητα ανταλλαγής μιας ρητίνης

Ο συνολικός αριθμός λειτουργικών ομάδων ανά μονάδα βάρους (ή μονάδα όγκου) της ρητίνης

☐ Ολική ικανότητα μιας ρητίνης:

Συνολικό ποσοστό των ιόντων, τα οποία είναι ικανά για ανταλλαγή

☐ Εκλεκτικότητα μιας ρητίνης :

Είδος της λειτουργικής ομάδας

☐ Χρήσιμη ικανότητα μιας ρητίνης:

Μέρος της ολικής ικανότητας της ρητίνης < Ολική ικανότητα της ρητίνης

- Χαρακτηριστικά ροής του ρευστού

- Στάδιο αναγέννησης

Η αναγέννηση κατά ομοροή έχει χαμηλό κόστος αγοράς αλλά χαμηλή απόδοση

$$1 \text{ eq/L} = 50 \text{ g CaCO}_3 / \text{L} = 5 \text{ m}^3 \text{ } ^\circ\text{F/L}$$



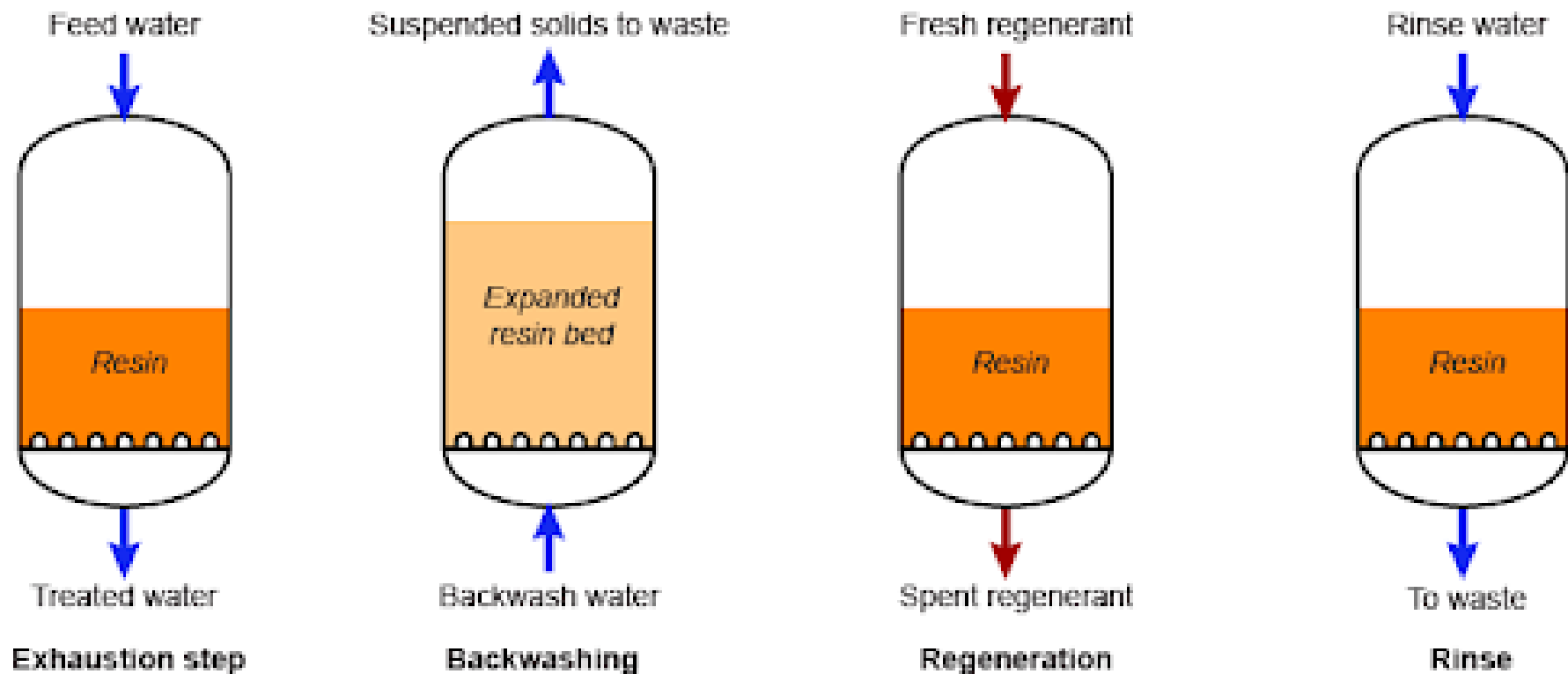
i. Υπολογισμός των ισοδύναμων συγκεντρώσεων των ιόντων μετάλλων προς αφαίρεση:

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΙΟΝΤΩΝ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ (ΜΒ/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	

$$1 \frac{\text{meq}}{\text{L}} = 1 \frac{\cancel{\text{meq}}}{\cancel{\text{L}}} \frac{\cancel{\text{greq}}}{1000 \cancel{\text{meq}}} \frac{1000 \cancel{\text{L}}}{\text{m}^3} = 1 \frac{\text{greq}}{\text{m}^3}$$



ΙΟΝΤΟΑΝΤΑΛΛΑΓΗ-Στάδια Λειτουργίας Ρητινών



ΙΟΝΤΟΑΝΤΑΛΛΑΓΗ-Στάδια Λειτουργίας Ρητινών

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)

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.

ο μέγιστος απαιτούμενος χρόνος για την ολοκλήρωση της διαδικασίας αναγέννησης είναι περίπου δύο (2) ώρες.

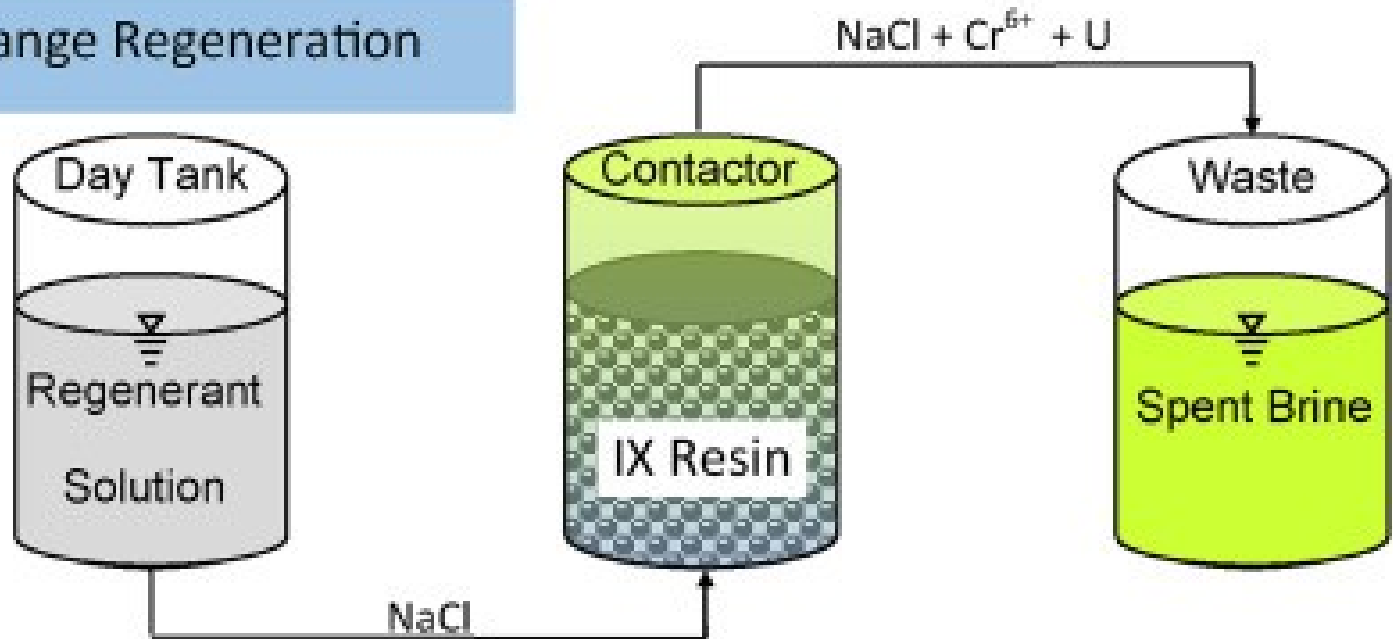


Προχωρημένες και Σύγχρονες Τεχνολογίες Επεξεργασίας Υγρ

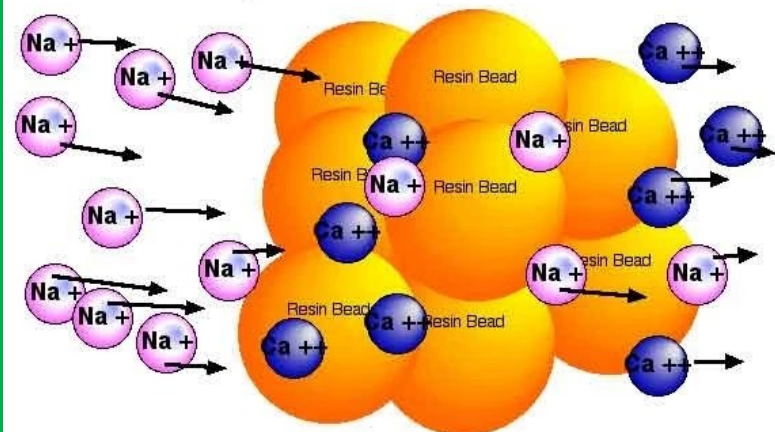


ΑΝΑΓΕΝΝΗΣΗ ΡΗΤΙΝΩΝ

Ion Exchange Regeneration



Resin which is being regenerated



Ion Exchange Resin Applications



1. Μετατροπή συγκέντρωσης ιόντων του αποβλήτου mg/L σε meq/L (=greq/m³).

Π.χ. ένα διάλυμα με 20 mg/L Cu⁺² η συγκέντρωση 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.

2. Προσδιορισμός της συνολικής ημερήσιας ποσότητας των ισοδύναμων (greq)

3. Υπολογισμός του απαιτούμενου όγκου της ρητίνης

$$\frac{\text{Συνολική ημερήσια ποσότητα ισοδυναμων}}{\text{Χωρητικότητα ανταλλαγής της ρητίνης}} = \frac{\text{greq}}{\frac{\text{greq}}{\text{m}^3 \text{ ρητίνης}}} = \text{m}^3 \text{ ρητίνης}$$

Χωρητικότητα ανταλλαγής της ρητίνης σε eq/m³ ρητίνης



4. Υπολογισμός ωριαίας παροχής λειτουργίας

$$\left(\frac{m^3 \text{ αποβλήτου}}{m^3 \text{ ρητίνης h}} \right) \cdot m^3 \text{ ρητίνης} = \frac{m^3 \text{ αποβλήτου}}{h}$$

Παροχή λειτουργίας BV/h-Πίνακας 1 (επιλέγεται)

5. Υπολογισμός επιφάνειας κλίνης

$$m^2 = \frac{\text{Ωριαία παροχή}}{\text{Υδραυλική ροή}} = \frac{\frac{m^3 \text{ αποβλήτου}}{h}}{\frac{m^3 \text{ αποβλήτου}}{m^2 h}}$$

Πίνακας 1-(επιλέγεται)

6. Υπολογισμός διαστάσεων δοχείου

(Λαμβάνεται υπόψη 50% διαστολή για πλύση με αντίστροφη ροή)

7. Υπολογισμός διάρκειας κύκλου λειτουργίας (h/d)

$$\frac{\text{Ημερήσι παροχή}}{\text{Ωριαία Παροχή στηλης}} = \frac{\frac{m^3 \text{ αποβλήτου}}{d}}{\frac{m^3 \text{ αποβλήτου}}{h}} = \frac{h}{d}$$



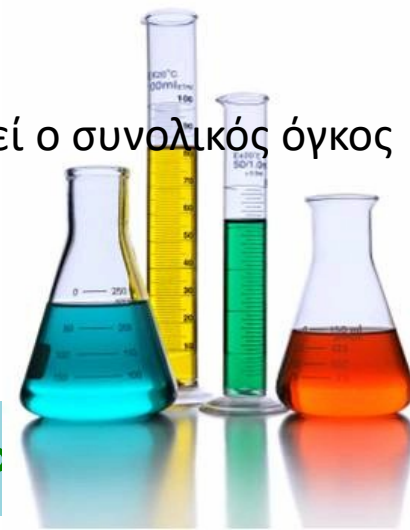
**7. Απαιτήσεις σε υλικό αναγέννησης
(Kg H₂SO₄/m³ κλίνης).**

$$(m^3 \text{ ρητίνης}) \cdot \left(\frac{\text{Kg υυλικο αναγέννησης}}{m^3 \text{ ρητίνης}} \right) = g \text{ υυλικο αναγέννησης}$$

8. Απαιτήσεις σε νερό πλύσης σε m³ νερού ανά m³ κλίνης ρητίνης

$$\frac{m^3 \text{ H}_2\text{O}}{m^3 \text{ ρητίνης h}} \cdot m^3 \text{ ρητίνης} = \frac{m^3 \text{ H}_2\text{O}}{h}$$

Αν ληφθεί υπόψη η διάρκεια του σταδίου πλύσης μπορεί να υπολογισθεί ο συνολικός όγκος του νερού που απαιτείται



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
-Απαίτηση (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	



Να σχεδιαστεί ένα σύστημα ιοντοανταλλαγής για επεξεργασία $450 \text{ m}^3/\text{d}$ ενός υγρού αποβλήτου από τη βιομηχανία επιχρωμίσωσης μετάλλων και να γίνει το διάγραμμα ροής της εγκατάστασης.

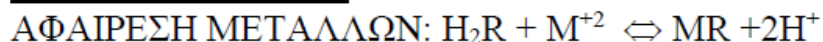
Τα κύρια ιόντα που είναι παρόντα το νερό είναι:

- χρώμιο σε συγκέντρωση 140 mg/L CrO_3 (σαν CrO_4^{-2})
- Cu^{+2} , σε συγκέντρωση 40 mg/L
- Zn^{+2} , σε συγκέντρωση 25 mg/L
- Ni^{+2} , σε συγκέντρωση 30 mg/L

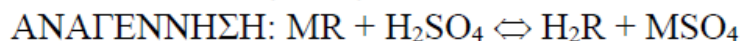
Η αναγέννηση των ιοντοεναλλακτών γίνεται με **H_2SO_4 (5%) και NaOH (10%)** αντίστοιχα.

**Απαιτείται ο
σχεδιασμός 2 στηλών
ιοντοεναλλαγής**

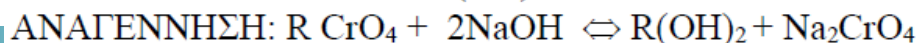
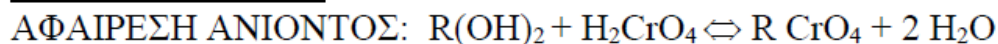
Κατιοντοεναλλάκτης



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



Ανιοντοεναλλάκτης



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



ΣΤΗΛΕΣ ΙΟΝΤΟΑΝΤΑΛΛΑΓΗΣ-ΑΣΚΗΣΗ 1

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
-Απαίτηση (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	



Προχωρημένες και Σύγχρονες Τεχνολογίες Επεξεργασίας Υγρ



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> |



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

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

Επομένως για την επεξεργασία των 450 m^3 αποβλήτων / ημέρα απαιτείται όγ
 $= 1140 \text{ λίτρων ήτοι } 1,14 \text{ m}^3$.

Απομάκρυνση κατιόντων



Προχωρημένες και Σύγχρονες Τεχνολογίες Επεξεργασίας Υγρ



2. Υπολογισμός διαστάσεων κλίνης - δοχείου ρητίνης:

2.1 Ωριαία παροχή λειτουργίας:

Έχει επιλεχθεί παροχή λειτουργίας $18 \text{ BV/h} \times 1140 \text{ L ρητίνης} = 20.520 \text{ L/h} = 20,5 \text{ m}^3/\text{h}$

Οπότε η ωριαία παροχή λειτουργίας θα είναι: $18 \frac{\text{m}^3 \text{ αποβλήτου}}{\text{m}^3 \text{ ρητίνης h}} 1.14 \text{ m}^3 \text{ ρητίνης} = 20.5 \text{ m}^3/\text{h}$

Η μέγιστη ωριαία παροχή λειτουργίας θα είναι: $50 \frac{\text{m}^3 \text{ αποβλήτου}}{\text{m}^3 \text{ ρητίνης h}} 1.14 \text{ m}^3 \text{ ρητίνης} = 57 \text{ m}^3/\text{h}$

2.2 Επιφάνεια κλίνης:

$$E_{κλ} = \frac{\text{Ωριαία παροχή}}{\text{Υδραυλική ροή}} = \frac{20.5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{25 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{ h}}} = 0.82 \text{ m}^2$$

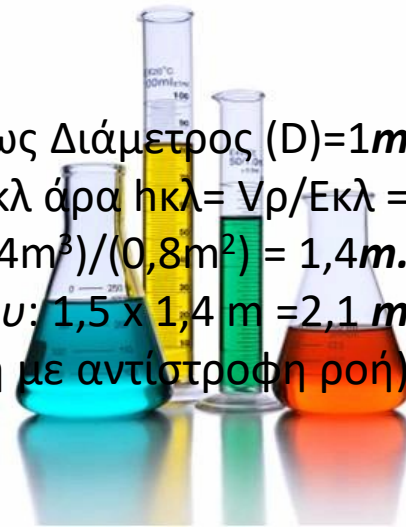
Υπολογισμός διαμέτρου κλίνης-δοχείου ρητίνης: $E_{κλ} = \pi D^2/4$ επομένως Διάμετρος (D)=1m

Υπολογισμός ύψος κλίνης-δοχείου ρητίνης: $V_p = E_{κλ} \times h_{κλ}$ άρα $h_{κλ} = V_p/E_{κλ} = 1,14 \text{ m}^3/(0,8 \text{ m}^2) = 1,4 \text{ m}$.

Υπολογισμός ύψους δοχείου: $1,5 \times 1,4 \text{ m} = 2,1 \text{ m}$
50% διαστολή για πλύση με αντίστροφη ροή)

Απομάκρυνση κατιόντων

Προχωρημένες και Σύγχρονες Τεχνολογίες Επεξεργασίας Υγρ



3. Υπολογισμός διάρκειας κύκλου λειτουργίας ρητίνης:

$$\frac{\text{Ημερήσι παροχ αποβλήτου}}{\text{Ωριαία Παροχή στηλης}} = \frac{450 \frac{\text{m}^3 \text{ αποβλήτου}}{\text{d}}}{20.5 \frac{\text{m}^3 \text{ αποβλήτου}}{\text{h}}} = 22 \frac{\text{h}}{\text{d}}$$

Δηλαδή 22 ώρες λειτουργίας/ημέρα

Η ελάχιστη διάρκεια κύκλου υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη τη μέγιστη παροχή λειτουργίας της στήλης δηλ. $(450 \text{m}^3)/(57 \text{ m}^3/\text{h}) = 8 \text{ ώρες /ημέρα}$

Απομάκρυνση κατιόντων



Προχωρημένες και Σύγχρονες Τεχνολογίες Επεξεργασίας Υγρ



4. Υπολογισμός της ποσότητας του αναγεννητικού υλικού (H_2SO_4 5%).

Η απαιτούμενη ποσότητα οξέος (H_2SO_4 5%) είναι 175 gr/L ρητίνης, επομένως λαμβάνοντας υπόψη ότι απαιτούνται 1.14 m^3 ρητίνης

$$0,175 \text{ kg/L}_{\text{ρητ}} \times 1140 \text{ L}_{\text{ρητ}} = 199.5 \text{ Kg } \text{H}_2\text{SO}_4$$

δηλ. **200 κιλά για κάθε κύκλο λειτουργίας δηλ. για κάθε αναγέννηση.**

5. Υπολογισμός απαιτούμενης ποσότητας νερού για πλύση

Επιλέγεται 6 BV/h δηλ. $6 \frac{\text{m}^3 \text{H}_2\text{O}}{\text{m}^3 \text{ρητίνης h}} \cdot 1.14 \text{m}^3 \text{ρητίνης} = 6.8 \frac{\text{m}^3 \text{H}_2\text{O}}{\text{h}}$

Αν η διάρκεια πλύσης είναι 15 min, ο απαιτούμενος όγκος H_2O θα είναι:
 $(6.8 \text{m}^3/\text{h}) \times 15/60 \text{ h} = 1.7 \text{ m}^3 \text{H}_2\text{O}$ πλύσης απαιτούνται

Απομάκρυνση κατιόντων



Προχωρημένες και Σύγχρονες Τεχνολογίες Επεξεργασίας Υγρ



B) ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΝΙΟΝΤΟΕΝΑΛΛΑΚΤΗ

Το χρωμικό οξύ (H_2CrO_4), 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 NaOH

80gr/L ρητίνης

- Παροχή νερού πλύσης: 2-8 BV/h

Επιλέγεται τιμή 4 BV/h

- Διάρκεια σταδίου πλύσης:

12 min



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 $2,7 \text{ eq/m}^3$

Ημερησίως: $2,7 \text{ eq/m}^3 \times 450 \text{ m}^3/\text{d} = 1215 \text{ eq/d}$

iii. Υπολογισμός όγκου ρητίνης

Χωρητικότητα ρητίνης 0,7 eq/L. Οπότε $(1215 \text{ eq}_\text{d}) / (0,7 \text{ eq/L}) = 1735 \text{ L ρη}$

Επομένως για την επεξεργασία των 450 m^3 αποβλήτων /ημέρα απαιτείται **1735 λίτρων ή $\sim 1,73 \text{ m}^3$.**

Απομάκρυ



Προχωρημένες και Σύγχρονες Τεχνολογίες Επεξεργασίας Υγρ



2. Υπολογισμός διαστάσεων κλίνης - δοχείου ρητίνης:

2.1 Ωριαία παροχή λειτουργίας:

Έχει επιλεχθεί παροχή λειτουργίας 13 BV/h

Οπότε η ωριαία παροχή λειτουργίας θα είναι: $13 \frac{\text{m}^3 \text{ αποβλήτου}}{\text{m}^3 \text{ ρητίνης h}} 1.735 \text{ m}^3 \text{ ρητίνης} = 22.5 \text{ m}^3/\text{h}$

Η μέγιστη ωριαία παροχή λειτουργίας θα είναι:

$$50 \frac{\text{m}^3 \text{ αποβλήτου}}{\text{m}^3 \text{ ρητίνης h}} 1.735 \text{ m}^3 \text{ ρητίνης} = 86.7 \text{ m}^3/\text{h}$$

2.2 Επιφάνεια κλίνης:

$$E_{\text{κλ}} = \frac{\text{Ωριαία παροχή}}{\text{Υδραυλική ροή}} = \frac{22.5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{20 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{ h}}} = 1.1 \text{ m}^2$$

Υπολογισμός διαμέτρου κλίνης-δοχείου ρητίνης: $E_{\text{κλ}} = \pi D^2/4$ επομένως Διάμετρος (D)=1.2 m

Υπολογισμός ύψος κλίνης-δοχείου ρητίνης: $V_r = E_{\text{κλ}} \times h_{\text{κλ}}$ άρα $h_{\text{κλ}} = V_r/E_{\text{κλ}} = (1.1 \text{ m}^3)/(1.2 \text{ m}^2) = 1.6 \text{ m}$.

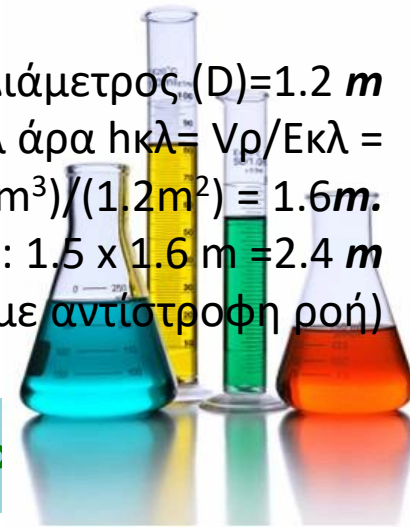
Υπολογισμός ύψους δοχείου: $1.5 \times 1.6 \text{ m} = 2.4 \text{ m}$

50% διαστολή για πλύση με αντίστροφη ροή)

Απομάκρυνση ανιόντων



Προχωρημένες και Σύγχρονες Τεχνολογίες Επεξεργασίας Υγρών



3. Υπολογισμός διάρκειας κύκλου λειτουργίας ρητίνης:

$$\frac{\text{Ημερήσι παροχ αποβλήτου}}{\text{Ωριαία Παροχή στηλης}} = \frac{450 \frac{\text{m}^3 \text{ αποβλήτου}}{\text{d}}}{22.5 \frac{\text{m}^3 \text{ αποβλήτου}}{\text{h}}} = 20 \frac{\text{h}}{\text{d}}$$

Δηλαδή 20 ώρες λειτουργίας/ημέρα

Η ελάχιστη διάρκεια κύκλου υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη τη μέγιστη παροχή λειτουργίας της στήλης δηλ. $(450 \text{ m}^3)/(86 \text{ m}^3/\text{h}) = 5 \text{ ώρες /ημέρα}$

Απομάκρυνση ανιόντων



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

Η απαιτούμενη ποσότητα NaOH 10% είναι 80 gr/L ρητίνης,
επομένως λαμβάνοντας υπόψη ότι απαιτούνται 1.735 m³ ρητίνης
0.08 kg/Lρητ x 1735 Lρητ = 138.8 Kg NaOH

δηλ. **140 κιλά για κάθε κύκλο λειτουργίας δηλ. για κάθε αναγέννηση.**

5. Υπολογισμός απαιτούμενης ποσότητας νερού για πλύση

Επιλέγεται 4 BV/h δηλ. $4 \frac{\text{m}^3 \text{H}_2\text{O}}{\text{m}^3 \text{ρητίνης h}} \cdot 1.735 \text{ m}^3 \text{ρητίνης} = 6.9 \frac{\text{m}^3 \text{H}_2\text{O}}{\text{h}}$

Αν η διάρκεια πλύσης είναι 12 min , ο απαιτούμενος όγκος H₂O θα είναι:
(6.8m³/h)x 12/60 h = 1.4 m³ H₂O πλύσης απαιτούνται

Απομάκρυνση ανιόντων



Προχωρημένες και Σύγχρονες Τεχνολογίες Επεξεργασίας Υγρ



Ξενοδοχειακή μονάδα χρειάζεται μαλακό νερό και ζητά από προμηθευτές μελέτη – προσφορά για αποσκληρυντή ημερησίας παροχής $130 \text{ m}^3/\text{d}$. Να τονιστεί ότι το ξενοδοχείο δεν διαθέτει δεξαμενή συλλογής μαλακού νερού και ζητά μέγιστη ωριαία παροχή $18 \text{ m}^3/\text{h}$.

Δεδομένα λειτουργίας

- $\text{Ca}^{++} = 87 \text{ mg/l}$
- $\text{Mg}^{++} = 26,5 \text{ mg/l}$
- Χωρητ. ρητίνης : $1,35 \text{ eq/l}$
- Απαίτηση NaCl : 175 gr/l

Δεδομένα υπολογισμού

- Υδραυλική ροή = 20 m/h

Να υπολογισθούν:

- ☐ Όγκος ρητίνης
- ☐ Όγκος δοχείου / διάμετρος / ύψος
- ☐ Ποσότητα NaCl
- ☐ Διάρκεια κύκλου λειτουργίας ρητίνης



1. Συγκεντρώσεις ιόντων σε meq/L

$$\text{Ca}^{++} = 87/(40/2) = 4.35 \text{ meq/L}$$

$$\text{Mg}^{++} = 26.5/(24/2) = 2.2 \text{ meq/L}$$

Συνολικά ισοδύναμα Ca^{++} & $\text{Mg}^{++} = 6.5 \text{ meq/L}$ δηλ. $6.5 \frac{\text{meq}}{\text{L}} \frac{1 \text{ greq}}{1000 \text{ meq}} \frac{1000 \text{ L}}{\text{m}^3} = 6.5 \frac{\text{greq}}{\text{m}^3}$

2. Όγκος ρητίνης που απαιτείται

Για την επεξεργασία:

$$130 \text{ m}^3/\text{d} \text{ νερού συνολικής περιεκτικότητας } 6.5 \frac{\text{greq}}{\text{m}^3} \text{ Ca}^{++} \text{ \& Mg}^{++}$$

$$\text{ή } 130 \text{ m}^3/\text{d} \times 6.5 \text{ greq/m}^3 = 845 \text{ greq/d Ca}^{++} \text{ \& Mg}^{++}$$

Λαμβάνοντας υπόψη τη χωρητικότητα της ρητίνης (1,35 greq/L) απαιτούνται
 $845 \text{ eq} / 1,35 \text{ eq/L} = 626 \text{ λίτρα ρητίνης}$



3. Υπολογισμός διαστάσεων κλίνης-δοχείου

Η ωριαία παροχή αιχμής είναι $18 \text{ m}^3/\text{h}$

Επιλέγεται υδραυλική ροή $20 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$

Η επιφάνεια της κλίνης θα είναι $18/20 = 0,9 \text{ m}^2$ και το ύψος αυτής $h_r = V_r / E_{κλ} = 0.626/0.9 = 0.7 \text{ m}^2$,

τότε $h_d = 0.7 \times 1.5 = 1.05 \text{ m}$, (επιλέγεται 50% μεγαλύτερος του όγκου της κλίνης)

Όγκος δοχείου : $V_d = 0.9 \times 1.05 = 945 \text{ λίτρα}$

$$\text{Διάμετρος δοχείου} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.9}{\pi}} = 1.07 \text{ m}$$

4. Υπολογισμός Ποσότητας NaCl που απαιτείται

Από τον Πίνακα 2, προκύπτει ότι απαιτούνται 180 g NaCl/L ρητίνης

Δηλ. $180 \text{ g/L} \times 626 \text{ L} = 113000 \text{ g NaCl}$ ή 113 Kg NaCl

5. Υπολογισμός διάρκειας κύκλου λειτουργίας ρητίνης

$$\text{Για παροχή τροφοδοσίας} = 130 \text{ m}^3/\text{d} = \frac{130 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{18 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}} = 7.2 \text{ h/d}$$



ΣΤΗΛΕΣ ΙΟΝΤΟΑΝΤΑΛΛΑΓΗΣ- ΑΣΚΗΣΗ 3

Να υπολογιστεί ο όγκος της ρητίνης που απαιτείται για τον σχεδιασμό φίλτρου ρητίνης έτσι ώστε να απομακρυνθούν οι υψηλές συγκεντρώσεις NO_3^- από τα υγρά απόβλητα χημικής βιομηχανίας.

Δεδομένα:

Ημερήσια παροχή αποβλήτων:	$350 \text{ m}^3/\text{d}$
NO_3^- :	140 mg/L
Χωρητ. Ρητίνης:	$1,1 \text{ eq/L}$
A.B.:	$\text{N}=14, \text{O}=16$

Να υπολογίσετε επίσης και την παροχή λειτουργίας του φίλτρου ρητίνης εάν το $\text{BV/h}=24$.

Λύση:

Ισοδύναμα για τα $\text{NO}_3^- = 140/(\mathbf{62/1})=2.26 \text{ meq/L}$ ήτοι $2,26 \text{ eq/m}^3$

Τότε $350 \text{ m}^3/\text{d} \times 2,26 \text{ eq/m}^3 = 791 \text{ eq/d}$ (συνολική ποσότητα ισοδύναμων)

Άρα $791 \text{ eq} / 1.1 \text{ eq/L} = 719 \text{ λίτρα ρητίνης}$

Η παροχή λειτουργίας του φίλτρου είναι

$$24 \frac{\text{m}^3 \text{ αποβλήτου}}{\text{m}^3 \text{ ρητίνης h}} 0.719 \text{ m}^3 \text{ ρητίνης} = 17.2 \text{ m}^3/\text{h}$$



Προχωρημένες και Σύγχρονες Τεχνολογίες Επεξεργασίας Υγρ



ΣΤΗΛΕΣ ΙΟΝΤΟΑΝΤΑΛΛΑΓΗΣ- ΑΣΚΗΣΗ 4

Να υπολογιστεί ο όγκος της ρητίνης που απαιτείται για τον σχεδιασμό φίλτρου ρητίνης για απομάκρυνση σκληρότητας (Ca, Mg) από το νερό που χρησιμοποιείται σε εργοστάσιο βαφής υφασμάτων.

Δεδομένα:

Ημερήσια παροχή αποβλήτων:

600 m³

Ca⁺⁺ :

55 mg/L

Mg⁺⁺ :

27 mg/L

Χωρητ. Ρητίνης:

1,25 eq/L

A.B.:

Ca=40, Mg=24.3

Να υπολογίσετε επίσης και την παροχή λειτουργίας του φίλτρου ρητίνης εάν το BV/h=17.

Λύση:

Συνολικά ισοδύναμα Ca⁺⁺ & Mg⁺⁺ = $55/(40/2) + 27/(24.3/2) = 4.97 \text{ meq/L}$ δηλ. 4.97 eq/m³

Τότε 600 m³/d x 4.97 eq/m³ = 2982 eq/d

Άρα 2982 eq / 1.25 eq/L = 2385 λίτρα ρητίνης

Η παροχή λειτουργίας του φίλτρου είναι $17 \frac{\text{m}^3 \text{ αποβλήτου}}{\text{m}^3 \text{ ρητίνης h}} \cdot 2385 \text{ m}^3 \text{ ρητίνης} = 40.5 \text{ m}^3/\text{h}$



Προχωρημένες και Σύγχρονες Τεχνολογίες Επεξεργασίας Υγρ



ΣΤΗΛΕΣ ΙΟΝΤΟΑΝΤΑΛΛΑΓΗΣ- ΑΣΚΗΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΟΜΕΝΗ ΦΟΡΑ

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

- Ολική ικανότητα ανταλλαγής: $\geq 0,9 \text{ eq/L}$ *Επιλέγεται τιμή = $0,9 \text{ eq/L}$*
- Μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας 80°C
- Ελάχιστο ύψος κλίνης: 70cm
- Παροχή λειτουργίας: $5-40 \text{ BV}^*/\text{h}$ *Επιλέγεται τιμή = 25 BV/h*
- Μέγιστη ταχύτητα ροής (Μέγιστη Γραμμική Ταχύτητα): 50 m/h *Επιλέγεται τιμή = 30 m/h*

- ΥΛΙΚΟ ΑΝΑΓΕΝΝΗΣΗΣ

- Απαίτηση $125-250 \text{ g/L}$ ρητίνης *Επιλέγεται τιμή = 220 g/L ρητίνης*
- Διάλυμα NaCl $5-10\%$
- Παροχή $2-8 \text{ BV}^*/\text{h}$
- Ελάχιστος χρόνος επαφής για την αναγέννηση: 30min (κριτήριο για τον έλεγχο της παροχής αναγέννησης)
- Αργή πλύση*: $2-5 \text{ BV}^*/\text{h}$
- Γρήγορη πλύση*: $2-8 \text{ BV}^*/\text{h}$ *Επιλέγεται τιμή = 7 BV/h (διάρκεια= 14min)*

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

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



Προχωρημένες και Σύγχρονες Τεχνολογίες Επεξεργασίας Υγρ



ΣΤΗΛΕΣ ΙΟΝΤΟΑΝΤΑΛΛΑΓΗΣ- ΑΣΚΗΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΟΜΕΝΗ ΦΟΡΑ

Να σχεδιαστεί ένα σύστημα ιοντοανταλλαγής για το είδος της ρητίνης με τα χαρακτηριστικά που δίνονται παραπάνω, για επεξεργασία ενός υγρού αποβλήτου με νιτρικά από βιομηχανία λιπασμάτων.

Κύριο ιόν που είναι παρόν στο νερό είναι: NO_3^- : 170 mg/L (A.BN= 14, A.BO=16),

Η παροχή τροφοδοσίας του αποβλήτου είναι ο AM/10



Προχωρημένες και Σύγχρονες Τεχνολογίες Επεξεργασίας Υγρ



ΣΤΗΛΕΣ ΙΟΝΤΟΑΝΤΑΛΛΑΓΗΣ- ΑΣΚΗΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΟΜΕΝΗ ΦΟΡΑ

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: $-\text{SO}_3\text{H}$
 - 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 H_2SO_4
 - Απαίτηση: 40-100 g/L ρητίνης για το HCl και 40-200 g/L για το H_2SO_4 *Επιλέγεται τιμή = 160g H_2SO_4 /L ρητίνης*
 - Διάλυμα HCl 4-10% ή διάλυμα H_2SO_4 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
- Στην εγκατάσταση του εργαστηρίου έχουμε τοποθετήσει στη στήλη περίπου 6L υλικού ρητίνης.



ΣΤΗΛΕΣ ΙΟΝΤΟΑΝΤΑΛΛΑΓΗΣ- ΑΣΚΗΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΟΜΕΝΗ ΦΟΡΑ

Να σχεδιαστεί ένα σύστημα ιοντοανταλλαγής για το είδος της ρητίνης με τα χαρακτηριστικά που δίνονται παραπάνω, για επεξεργασία ενός υγρού αποβλήτου με με βαρέα μέταλλα. .

Κύρια ιόντα που είναι παρόντα στο νερό είναι: Fe^{+2} : 70 mg/L (A.BFe= 56), Mn^{+2} : 55 mg/L (A.BMn= 55).

Η παροχή τροφοδοσίας του αποβλήτου είναι ο AM/10



Προχωρημένες και Σύγχρονες Τεχνολογίες Επεξεργασίας Υγρ



ΣΤΗΛΕΣ ΙΟΝΤΟΑΝΤΑΛΛΑΓΗΣ- ΑΣΚΗΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΟΜΕΝΗ ΦΟΡΑ

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ		
1	ΙΟΝΤΑ ΠΡΟΣ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ	
2	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΡΗΤΙΝΗΣ	
3	ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	
	Παροχή λειτουργίας	
	Χωρητικότητα ρητίνης	
	Υδραυλική ροή	
	Διάρκεια σταδίου πλύσης	
	Παροχή νερού πλύσης	
	Απαίτηση αναγεν. Υλικού	
4	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ	
	Όγκος ρητίνης (V_p)	
	Διαστάσεις κλίνης-δοχείου ρητίνης	
	Διάρκεια κύκλου λειτουργίας ρητίνης	
	Απαίτηση αναγεννητικού υλικού l	
	Όγκος νερού πλύσης	



Προχωρημένες και Σύγχρονες Τεχνολογίες Επεξεργασίας Υγρ