



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΠΑΤΡΩΝ  
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά  
μαθήματα ΠΠ

# Τεχνολογία Περιβάλλοντος: Διαχείριση Υγρών Αποβλήτων

## Ενότητα 7: Ετερογενείς Βιολογικές Διεργασίες

Κορνάρος Μιχαήλ  
Πολυτεχνική Σχολή  
Τμήμα Χημικών Μηχανικών

# Χαλικοδιϋλιστήριο

- Το πρώτο λειτούργησε στην Αγγλία το 1893
- Το πληρωτικό υλικό μεγέθους 25-100 mm
- Η ταχύτητα περιστροφής του διανομέα είναι ανάλογη της παροχής Q.
- Το βάθος της δεξαμενής κυμαίνεται από 0,9 έως 2,5 m (τυπικά 1,8 m).
- Η δεξαμενή αερίζεται από ρεύματα αέρος που δημιουργούνται φυσικά, από την θερμοκρασιακή διαφορά: όταν η θερμοκρασία είναι
  - -πιο χαμηλή στο χαλικοδιϋλιστήριο απ' ότι στην ατμόσφαιρα ο αέρας κινείται προς τα κάτω
  - -πιο υψηλή στο χαλικοδιϋλιστήριο απ' ότι στην ατμόσφαιρα ο αέρας κινείται προς τα άνω.
- Ο βυθός, όπου γίνεται αποστράγγιση, αποτελείται από κυβόλιθους, οι οποίοι δίνουν κάλυψη το πολύ κατά 85% για να επιτρέπουν κυκλοφορία του αέρα.



# Μηχανισμός

- Καθώς αναπτύσσονται οι οργανισμοί καταναλώνουν το οργανικό φορτίο που διέρχεται και το οξυγόνο, παράγοντας διοξείδιο του άνθρακα. Βαθμηδόν το στρώμα της βιομάζας αυξάνει.
- Μετά από κάποιο πάχος δημιουργούνται εσωτερικά αναερόβιες συνθήκες και αυξάνει αισθητά η ενδογενής αναπνοή των μικροβίων που βρίσκονται πιο κοντά στην επιφάνεια του σωματιδίου, έως ότου το στρώμα της βιομάζας αποκολληθεί μια και χάνεται η προσκολλητική ικανότητα των μικροβίων.
- Ακολούθως, αρχίζει να δημιουργείται νέο στρώμα στο σωματίο κ.ο.κ.



# Μέγεθος σωματιδίων

- Ο ρόλος των σωματιδίων είναι ότι ουσιαστικά παρέχουν αυξημένη επιφάνεια προσκόλλησης.
- μικρά σωματίδια σημαίνει μεγαλύτερη διαθέσιμη επιφάνεια ανά μονάδα όγκου για προσκόλληση.
- πολύ μικρά σωματίδια σημαίνει μικρό συνολικό όγκο διακένων για ροή του υγρού, και επομένως κίνδυνο φραγμού.



# Ανακυκλοφορία

- γίνεται είτε απ' ευθείας από την απορροή του χαλικοδιϋλιστηρίου είτε από την απορροή της δεξαμενής καθίζησης.
- μειώνει την ισχύ των υγρών αποβλήτων και καθιστά το χαλικοδιϋλιστήριο πιο ικανό να χειριστεί αυξομειώσεις της παροχής και της ισχύος των αποβλήτων.
- Βελτιώνει την ύγρανση της επιφάνειας αξιοποιώντας την καλύτερα



# (α) Χαλικοδιυλιστήρια χαμηλής φόρτισης

- Η υδραυλική φόρτιση στα φίλτρα αυτά κυμαίνεται από 1.17 έως 3.52 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>d και η οργανική φόρτιση (BAO<sub>5</sub>) από 0,08 έως 0,4 kg/m<sup>3</sup>d.
- Το πληρωτικό υλικό είναι χαλίκι.
- μόνο τα πρώτα (από την κορυφή) 0,6 έως 1,2 m του χαλικιού έχουν ουσιαστικά στρώμα βιολογικής λάσπης
- στα χαμηλότερα τμήματα του φίλτρου μπορούν να αναπτυχθούν αυτότροφα βακτήρια τα οποία οξειδώνουν την αμμωνία σε νιτρώδη και νιτρικά.
- Η δημιουργία δυσάρεστων οσμών είναι σύνηθες πρόβλημα σε αυτά τα φίλτρα.



## (β) Χαλικοδιυλιστήρια ενδιάμεσης φόρτισης

- Η υδραυλική φόρτιση κυμαίνεται από 3,52 έως 9,39  $\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$  και η οργανική φόρτιση από 0,24 έως 0,48  $\text{kg BAO}_5 / \text{m}^3\text{d}$
- το πληρωτικό υλικό είναι και σ' αυτή την περίπτωση χαλίκι.
- Η χρήση **ανακυκλοφορίας** επιτρέπει τη χρήση μεγαλύτερης οργανικής φόρτισης.



## (γ) Χαλικοδιυλιστήρια υψηλής φόρτισης

- Η υδραυλική φόρτιση κυμαίνεται από 9.39 έως 37,55 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>d και η οργανική φόρτιση από 0,48 έως 0,96 kg BAO<sub>5</sub> /m<sup>3</sup>d
- το πληρωτικό υλικό σ' αυτά τα φίλτρα είναι **χαλίκι** ή **πλαστικά** υλικά.
- Η **ανακυκλοφορία** υγρού από την έξοδο της δεξαμενής καθίζησης επιτρέπει στα φίλτρα υψηλής φόρτισης να επιτυγχάνουν το ίδιο καλή απόδοση όπως τα φίλτρα χαμηλής και ενδιάμεσης φόρτισης.
- Επίσης, με την ανακυκλοφορία επαναφέρονται στο φίλτρο οι μικροοργανισμοί που αποκολλήθηκαν, βελτιώνοντας έτσι την απόδοση του φίλτρου, ενώ παράλληλα ελαχιστοποιούνται οι οσμές.





## (δ) Χαλικοδιυλιστήρια υπερυψηλής φόρτισης

- Η υδραυλική φόρτιση κυμαίνεται από 11,73 έως 70,4 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>d και η οργανική φόρτιση από 0,24 έως 1,44 kg ΒΑΟ<sub>5</sub> /m<sup>3</sup>d
- το πληρωτικό υλικό αποτελείται από διάφορα **πλαστικά υλικά**.
- Τα φίλτρα αυτά διαφέρουν από τα φίλτρα υψηλής φόρτισης στο ότι υπόκεινται σε μεγαλύτερες φορτίσεις και στο ότι έχουν μεγαλύτερο βάθος.
- Η αύξηση του βάθους επιτυγχάνεται με τη χρήση ελαφρών πλαστικών υλικών.



## (ε) Χαλικοδιυλιστήρια δύο σταδίων

- Έχουν τα χαρακτηριστικά των φίλτρων υψηλής φόρτισης, ενώ μεταξύ τους παρεμβάλλεται **καθίζηση**, για να απομακρύνει τα στερεά που εξέρχονται από το πρώτο φίλτρο.
- Χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία ισχυρού αποβλήτου και για νιτροποίηση (τριτοβάθμια επεξεργασία).
- Όταν χρησιμοποιούνται και για νιτροποίηση, στο πρώτο φίλτρο γίνεται η απομάκρυνση του  $\text{BAO}_5$ , ενώ στο δεύτερο φίλτρο λαμβάνει χώρα η νιτροποίηση.



# Σχεδιασμός Χαλικοδιϋλιστηρίου

Θεωρώντας επάρκεια οξυγόνου μπορεί να γραφεί το ακόλουθο ισοζύγιο μάζας για ένα διαφορικό πάχος  $dz$ , του υγρού στρώματος:

$$\frac{\partial S}{\partial t} dV = Q S - Q \left( S + \frac{\partial S}{\partial z} dz \right) + dz \cdot w r_s$$

όπου  $dV$  είναι ο όγκος του διαφορικού στοιχείου,  $w$  το πλάτος,  $Q$  η παροχή (ογκομετρική) υγρού στο στοιχείο,  $r_s$  ο ρυθμός απορροής υποστρώματος προς την βιομάζα και  $s$  η μέση συγκέντρωση υποστρώματος στο υγρό στοιχείο.



# Σχεδιασμός Χαλικοδιύλιστηρίου

Ο ρυθμός  $r_s$  δίνεται με τις πιο πάνω παραδοχές από τη

σχέση: 
$$r_s = - \frac{E h \mu_{\max} S}{Y(K_S + S)} x$$

- $h$  το πάχος του στρώματος της βιομάζας,
- $E$  ο συντελεστής αποτελεσματικότητας ( $0 < E < 1$ ) που "διορθώνει" το ρυθμό χρήσης υποστρώματος και θεωρείται ανάλογος της συγκέντρωσης υποστρώματος ( $E = fS$ )
- $x$  η συγκέντρωση της βιομάζας στο στρώμα της βιομάζας.

Θέτοντας  $\frac{\mu_{\max} x}{Y} = k_0$  έχουμε:

$$r_s = - \frac{fhk_0 S^2}{K_S + S}$$



# Σχεδιασμός Χαλικοδιϋλιστηρίου

Για **μόνιμη κατάσταση** έχουμε:

$$Q \frac{dS}{dz} = - f k_0 h w \frac{S^2}{K_S + S}$$

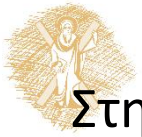
Θεωρώντας ότι η σταθερά  $K_S$  είναι **αμελητέα** σε σχέση με την συγκέντρωση υποστρώματος  $S$  έχουμε:

$$\frac{dS}{dz} = - \frac{f h k_0 w S}{Q}$$

Η σχέση αυτή μπορεί να **ολοκληρωθεί** με τη συνοριακή συνθήκη  $S(0)=S_i$ , όπου  $S_i$  η συγκέντρωση του υποστρώματος στην κορυφή του

χαλικοδιϋλιστηρίου για να πάρουμε:  $S(z) = S_i e^{-\frac{(fhk_0)wz}{Q}}$

Στην έξοδο  $z=L$ , η συγκέντρωση  $S_e$  θα είναι:  $S_e = S_i e^{-\frac{(fhk_0)wL}{Q}}$



# Σχεδιασμός Χαλικοδιϋλιστηρίου

- Η σχέση αυτή είναι ειδική περίπτωση για  $m=n=1$  της εμπειρικής σχέσης που έχει προταθεί από τον **Eckenfelder** (1963):

$$S_e = S_i e^{-K_d S_a^m (A/Q)^n}$$

- Μια εναλλακτική εμπειρική σχέση που έχει προταθεί είναι η:

$$S_e = S_i e^{-K_T S_a^a Q_u^b}$$

όπου  $Q_u=Q/V$  είναι η υδραυλική φόρτιση και  $a, b$  σταθερές που προσδιορίζονται πειραματικά.

- Η χρήση κάποιου μοντέλου για σχεδιασμό απαιτεί τον **πειραματικό προσδιορισμό** της "σταθεράς"  $K$  για το συγκεκριμένο χαλικοδιϋλιστήριο.
- Η σταθερά αυτή εξαρτάται από τη γεωμετρία και τα χαρακτηριστικά του υλικού, αλλά και από τις συγκεκριμένες συνθήκες λειτουργίας (αερισμός, υπόστρωμα κλπ).



# Σχεδιασμός Χαλικοδιύλιστηρίου

Αν θεωρήσουμε ότι υπάρχει **ανακυκλοφορία** ( $Q_r=rQ$ ), όπως συμβαίνει στην περίπτωση του ταχυχαλικοδιύλιστηρίου, το  $S_i$  πρέπει να αντικατασταθεί με το:

$$S_0 = \frac{S_i + rS_e}{1 + r}$$

$$S_e = \frac{S_i + rS_e}{1 + r} e^{-\frac{KdS_aA}{(1+r)Q}}$$

Τότε:

εξ' ου

$$S_e = \frac{S_i}{e^{\frac{KdS_aA}{Q(1+r)}} + r \left( e^{\frac{KdS_aA}{Q(1+r)}} - 1 \right)} = \frac{S_i}{(1+r) \cdot e^{\frac{KdS_aA}{Q(1+r)}} - r}$$



# Διαδικασία Σχεδιασμού

Τυπικά δίνονται:

- η παροχή  $Q$
- το οργανικό φορτίο εισροής  $S_i$
- η απαιτούμενη απομάκρυνση  $S_e$

Απαιτείται:

- η διαστασιολόγηση του χαλικοδιύλιστηρίου (βάθος  $d$ , επιφάνεια  $A$ )
- ο λόγος ανακυκλοφορίας  $r$ .





# Διαδικασία Σχεδιασμού

- α) Επιλέγεται το υλικό των σωματιδίων και το μέγεθός τους.
- β) Γίνεται πειραματική μελέτη πιλοτικής κλίμακας για προσδιορισμό της σταθεράς  $K$ .
- γ) Επιλέγεται το βάθος του φίλτρου  $d$  (τυπικά 1,8 m) και ο λόγος ανακυκλοφορίας  $r$  (0,75-2).
- δ) Υπολογίζεται η απαιτούμενη επιφάνεια  $A$
- ε) Υπολογίζονται και ελέγχονται οι φορτίσεις
  - (i) υδραυλική φόρτιση  $q=Q(1+r)/A$
  - (ii) οργανική φόρτιση  $\phi=QS_i/V$



# Διαδικασία Σχεδιασμού

Για ταχυχαλικοδιϋλιστήριο πρέπει:

- το  $q$  να είναι μεταξύ 9,4 και 28  $m^3/m^2d$
- η οργανική φόρτιση 0,4-1  $kg\ BAO_5/m^3d$ .

Αν χρειασθεί, αυξάνεται η επιφάνεια  $A$  για να βρεθούν αυτά τα μεγέθη μέσα στα επιτρεπτά όρια.

Τέλος, υπάρχουν περιορισμοί στο εμβαδόν της διατομής που πηγάζουν από το ότι στην αγορά υπάρχουν περιστρεφόμενοι διανομείς μήκους 6-60 m.



# Παράδειγμα

Θέλουμε να κατασκευάσουμε χαλικοδιυλιστήριο που να χειρίζεται  $10.000 \text{ m}^3/\text{d}$ , με υγρά απόβλητα  $\text{BAO}_5=500 \text{ mg/l}$ .

Οι προδιαγραφές είναι  $30 \text{ mg/l}$ .

Πρόκειται να χρησιμοποιήσουμε χαλίκι με ειδική επιφάνεια  $60 \text{ m}^2/\text{m}^3$ .

Η σταθερά  $K$  έχει προσδιοριστεί από πιλοτικής κλίμακας μελέτη και είναι  $0,13 \text{ m/d}$ .



# Λύση

1. Επιλέγουμε  $d=2 \text{ m}$ ,  $r=1$
2. Η σχέση (9.15) τότε δίνει:

$$30 = \frac{500}{2 e^{\frac{0,13 \times 60 \times 2 A}{10.000 \times 2}} - 1}$$

εξ' ου  $A=2.792 \text{ m}^2$ .

Η διάμετρος τότε δίνεται από  $D = 2 \sqrt{\frac{A}{\pi}} = 59,64 \text{ m}$  (μέσα στα επιτρεπτά όρια 6-60m).



# Λύση

3. Υδραυλική φόρτιση

$$q = \frac{Q(1+r)}{A} = \frac{10.000 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \cdot 2}{2.792} = 7 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{d}}$$

Η υδραυλική φόρτιση είναι χαμηλή. Αυτό απαιτεί αύξηση της επανακυκλοφορίας, έστω  $r=2$ . Η σχέση (9.15) τότε δίνει:

$$30 = \frac{500}{\frac{0,13 \times 60 \times 2 \times A}{3e^{10.000 \times 3} - 2}}$$

εξ' ου  $A=3.516 \text{ m}^2$ .

Αυτό το εμβαδόν θα απαιτεί διανομείς μήκους μεγαλύτερους από 60 m.



# Λύση

Άρα θα πρέπει να αυξήσουμε το βάθος της δεξαμενής π.χ. στα 2,5 m. Τότε έχουμε (για  $r=2$ )

$$30 = \frac{500}{\frac{0.13 \times 60 \times 2.5 A}{10.000 \times 3} - 2}$$

εξ' ου  $A=2.812 \text{ m}^2$  ( $D=59,8 \text{ m}$ ).

Η υδραυλική φόρτιση τότε είναι:

$$q = \frac{10.000 \times 3}{2.812} = 10,67 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{d}}$$



(μέσα στα επιτρεπτά όρια).

# Λύση

Η οργανική φόρτιση είναι:

$$\phi = \frac{10.000 \times 0,5}{2.812 \times 2,5} = 0,71 \text{ kg BAO}_5 / \text{m}^3 \text{d}$$

(μέσα στα επιτρεπτά όρια).

Αρα τελικά έχουμε  $d=2.5 \text{ m}$ ,  $r=2$ ,  $D=60 \text{ m}$ .



# Βιοδίσκοι

- Ομόκεντροι δίσκοι από πλαστικό, πάχους 10-12 mm και διαμέτρου 1,2-3m, τοποθετημένοι σε οριζόντιο άξονα με διάκενο 19-22 mm.
- Τυπικά ο αριθμός τους φτάνει έως 200.
- Οι δίσκοι περιστρέφονται σε ημικυλινδρικές δεξαμενές με ταχύτητα 1-2 rpm και βρίσκονται βυθισμένοι κατά 40% της επιφάνειάς τους στα διερχόμενα υγρά απόβλητα.
- Η συνεχής εναλλαγή σε κάθε σημείο του δίσκου ανάμεσα σε υγρό περιβάλλον (απόβλητα) και ατμόσφαιρα επιτρέπει άριστες αερόβιες συνθήκες ανάπτυξης.
- Το πάχος της βιομάζας κυμαίνεται από 1 έως 3 mm.
- Η βιομάζα αποκολλάται όπως και στο χαλικοδιυλιστήριο.





Τέλος Ενότητας

# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Σημειώματα

# Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση **1.0.0**.



# Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών. Αναπληρωτής Καθηγητής, Μιχαήλ Κορνάρος. «Τεχνολογία Περιβάλλοντος: Διαχείριση Υγρών Αποβλήτων, Ετερογενείς Βιολογικές Διεργασίες». Έκδοση: 1.0. Πάτρα 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <https://eclass.upatras.gr/courses/CMNG2143>



# Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.