



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΠΑΤΡΩΝ  
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά  
μαθήματα ΠΠ

# Τεχνολογία Περιβάλλοντος: Διαχείριση Υγρών Αποβλήτων

Ενότητα 3: Προεπεξεργασία Αστικών Υγρών  
Αποβλήτων

Κορνάρος Μιχαήλ  
Πολυτεχνική Σχολή  
Τμήμα Χημικών Μηχανικών

# Στόχος

- Με την προεπεξεργασία στοχεύουμε να προστατεύσουμε τις κυρίως διεργασίες της μονάδας από ορισμένα χαρακτηριστικά των αποβλήτων που ενδέχεται να δημιουργήσουν πρόβλημα στη λειτουργία τους.
- Οι διεργασίες αυτές είναι:
  - Σχάρισμα
  - Άλεση/ Πολτοποίηση
  - Αμμοσυλλογή
  - Λιποσυλλογή
  - Εξισορρόπηση Παροχής



# Σχάρισμα

- Οι σχάρες (bar racks) στοχεύουν στην απομάκρυνση των **χονδρών στερεών**.
- Η βασική παράμετρος σχεδιασμού είναι το **μέγεθος των διάκενων** της σχάρας, σύμφωνα με το οποίο τις διακρίνουμε σε χονδρές και λεπτές



# Σχάρισμα

- Η ταχύτητα ροής στο κανάλι της σχάρας πρέπει να είναι μεγαλύτερη από  $0,4 \text{ m/sec}$ , ώστε να μη γίνεται εναπόθεση στερεών
- ταχύτητα ροής στα διάκενα πρέπει να είναι μικρότερη από  $0,6-1,2 \text{ m/s}$  στη μέγιστη παροχή για να μη παρασύρονται τα συγκρατούμενα στερεά.



# Σχάρισμα

Οι ράβδοι έχουν τυπικά:

- πλάτος 5-15 mm
- βάθος 25-75 mm
- διάκενα 25-50 mm.

Το κανάλι έχει πλάτος 0,6-2 m και βάθος 1,5-4 m.

Η βασική εξίσωση σχεδιασμού είναι η ακόλουθη:

$$W = \frac{\rho + \delta}{\delta} \frac{Q}{vh} + W_o$$

- όπου
- $W$  : το πλάτος του καναλιού της σχάρας
  - $W_o$  : το απαιτούμενο πλάτος για πλευρική στήριξη,  $\sim 0,30$  m
  - $\rho$  : το πάχος των ράβδων
  - $\delta$  : το πλάτος των διάκενων
  - $Q$  : η μέγιστη παροχή
  - $v$  : η μέγιστη ταχύτητα ροής στα διάκενα
  - $h$  : το βάθος ροής στη σχάρα.



# Σχάρισμα

Γενικά το πρόβλημα του σχεδιασμού της σχάρας είναι να επιλεγούν τα  $\rho$ ,  $\delta$  και  $W$  ούτως ώστε:

$$V_{\rho\delta} = \frac{\rho + \delta}{\delta} \frac{Q_{\max}}{h_{\max} (W - W_0)} \leq 1,2 \frac{m}{\text{sec}}$$

$$V_k = \frac{Q_{\text{ave}}}{h_{\text{ave}} (W - W_0)} \geq 0,4$$



# Παράδειγμα Σχεδιασμού

Να σχεδιάσετε κανάλι σχάρας όταν η μέγιστη και μέση παροχή είναι αντίστοιχα  $0,425$  και  $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Τα βάθη ροής ρυθμίζονται και είναι  $0,5 \text{ m}$  και  $0,9 \text{ m}$  στη μέση και μέγιστη παροχή αντίστοιχα

(η ρύθμιση γίνεται με μετρητή Venturi, ο οποίος έπεται της σχάρας).



# Λύση

(α) Επιλέγεται η γεωμετρία:  $\rho=12$  mm,  $\delta=20$  mm,  $W=1,3$  m.

(β) Τότε οι ταχύτητες ροής είναι:

$$1,3 = \frac{12 + 20}{20} \times \frac{0,425}{V_{\rho\delta} \times 0,9} + 0,3 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{\rho\delta} = 0,76 \text{ m/sec} < 1,2 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

Η ταχύτητα ροής στο κανάλι είναι (για μέση παροχή):

$$V_k = \frac{Q}{0,5\text{m} \cdot 1\text{m}} = 0,4 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \geq 0,4$$





# Σχάρισμα

Τα συγκρατούμενα στερεά (σχαρίσματα) τυπικά έχουν τα εξής χαρακτηριστικά:

- πυκνότητα 600-1000 kg/m<sup>3</sup>
- υγρασία 75-90%, πτητικά στερεά 80-90%,
- απόδοση ενέργειας κατά την καύση 13,000-18,000 KJ/kg.

Η τυπική ποσότητα στερεών είναι 0,01-0,03 m<sup>3</sup>/d για 1000 κατοίκους, για διάκενα 25-75 mm.



# Σχάρισμα

- Τα παραγόμενα στερεά μπορούν να διατεθούν (ή να τύχουν επεξεργασίας) με:
- (α) Επιστροφή στην ροή μετά από πολτοποίηση/άλεση,
- (β) Ταφή (για μικρές εγκαταστάσεις)
- (γ) Αποτέφρωση



# Άλεση / Πολτοποίηση

- Ο πολτοποιητής (comminutor) αποτελεί συμπλήρωμα της εσχάρας.
- Τα σχαρίσματα πολτοποιούνται και πιθανόν επαναφέρονται στην ροή για περαιτέρω επεξεργασία. Έτσι, δεν παρίσταται ανάγκη χωριστής διάθεσης.
- Τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται παρέχονται τυποποιημένα από διάφορους κατασκευαστές.
- Το είδος που πρέπει να προμηθευθείτε εξαρτάται από τις διαστάσεις του καναλιού, την παροχή και τις απαιτήσεις για ηλεκτρική ενέργεια.



# Αμμοσυλογή (Εξάμμωση)

- Η μονάδα αυτή στοχεύει στην απομάκρυνση σωματιδίων διαμέτρου μεγαλύτερης από 200  $\mu\text{m}$ .
- Η αμμοσυλλογή γίνεται σε δεξαμενές-αμμοσυλλέκτες που βασίζονται στην καθίζηση
- Η άμμος τυπικά έχει διάμετρο  $d=0,20 \text{ mm}$  και ειδική βαρύτητα  $s=2,65$ , για την οποία αρκεί να εξασφαλισθεί μέγιστη επιφανειακή φόρτιση  $Q/A$  0,022  $\text{m/sec}$ .
- Η ταχύτητα ροής μπορεί να σχεδιαστεί να είναι 0,30  $\text{m/sec}$ .



# Τύποι Καθίωσης

- (α) καθίωση **διακεκριμένων σωματιδίων** (τύπος I), όπου τα σωματίδια καθιζάνουν χωρίς αλληλεπίδραση με ταχύτητα ανεξάρτητη της συγκέντρωσης στερεών,
- (β) **καθίωση με συσσωμάτωση** (τύπος II), όπου η ταχύτητα καθίωσης εξαρτάται από την συγκέντρωση των στερεών,
- (γ) **παρεμποδιζόμενη καθίωση** (τύπος III), όπου ισχυρή συσσωμάτωση οδηγεί σε καθιζάνον στρώμα (**καθίωση κατά ζώνες**), και
- (δ) **πύκνωση** (τύπος IV), όπου το στρώμα των στερεών συμπυκνείται.



# Καθίζηση τύπου I

**Καθίζηση τύπου I** Τα σωματίδια αποκτούν τελική ταχύτητα  $v_c$  την οποία βρίσκουμε εξισορροπώντας τις ασκούμενες δυνάμεις. Η πρώτη δύναμη  $F_1$  είναι η δύναμη που ασκείται από το πεδίο βαρύτητας και δίνεται από την εξίσωση:

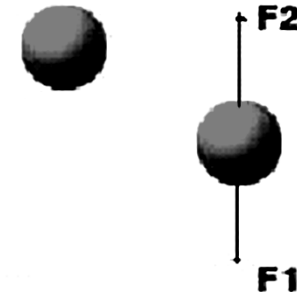
$$F_1 = (\rho_\sigma - \rho) g V = (\rho_\sigma - \rho) g \frac{\pi d^3}{6}$$

Η δύναμη αυτή εξισορροπείται από την οπισθέλκουσα  $F_2$ :

$$F_2 = \frac{C_D A \rho v_c^2}{2} = C_D \pi d^2 \rho v_c^2 / 8$$

όπου

A	επιφάνεια προβολής ( $=\pi d^2$ ),
$C_D$	συντελεστής τριβής
d	η διάμετρος του σωματιδίου
$\rho_\sigma$	πυκνότητα στερεού
$\rho$	πυκνότητα υγρού
V	όγκος σωματιδίου ( $=\pi d^3/6$ )
$v_c$	ταχύτητα σωματιδίου



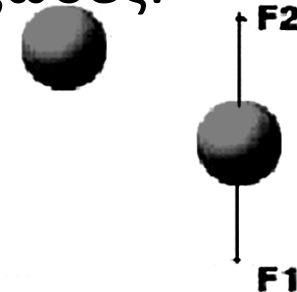
# Καθίζηση τύπου I

Εξισώνοντας τις δυνάμεις  $F_1$  και  $F_2$ :

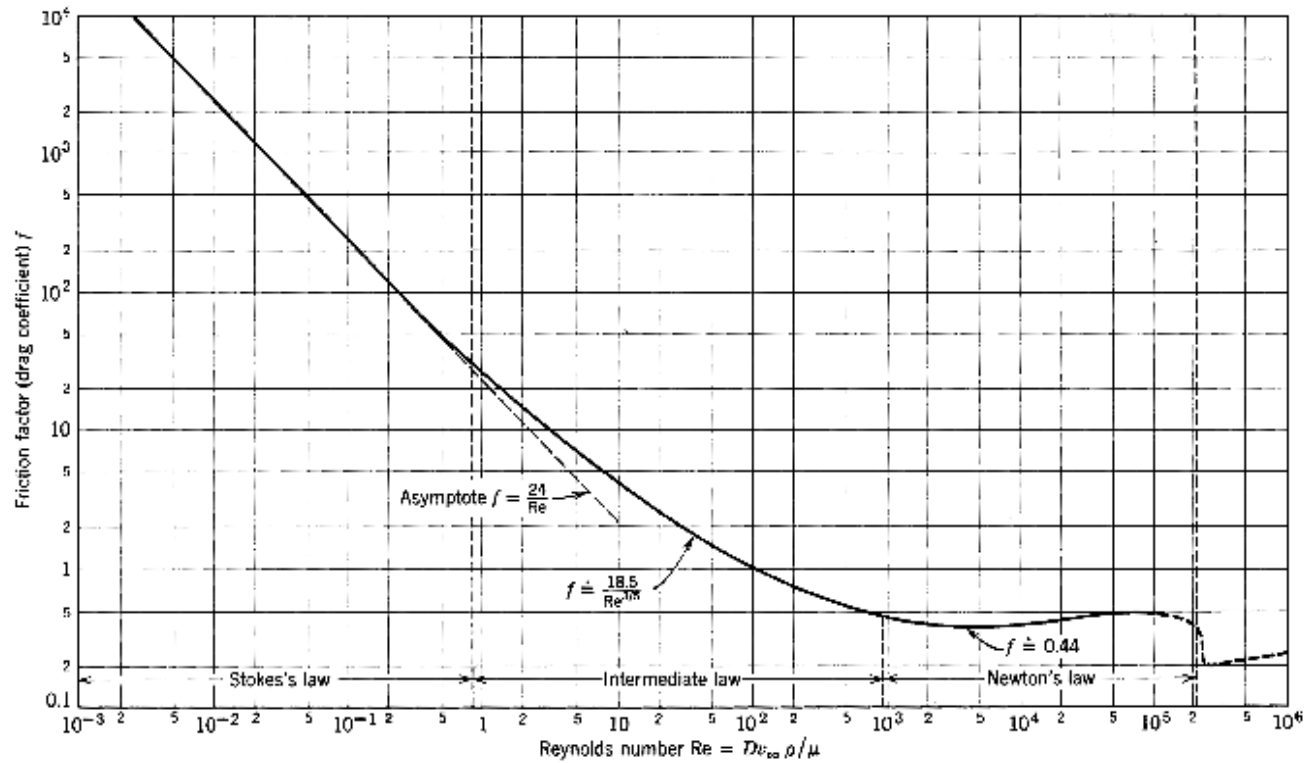
$$(\rho_\sigma - \rho) g \pi \frac{d^3}{6} = C_D \pi d^2 \rho v_c^2 \Rightarrow v_c = \left[ \frac{4}{3} \frac{g (\rho_\sigma - \rho) d}{C_D \rho} \right]^{1/2}$$

Η εξίσωση αυτή ονομάζεται νόμος του Νεύτωνα και αφορά σφαιρικά σωματίδια.

Ο συντελεστής τριβής εξαρτάται από τον αριθμό Reynolds ( $Re = \frac{d v \rho}{\mu}$ ) σύμφωνα με το Σχήμα, όπου  $\mu$  το ιξώδες.



# Καθίζηση τύπου I





# Καθίζηση τύπου I

Για  $Re < 10^4$  (στρωτή ροή) ισχύει η σχέση:  $C_D \approx \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0,34$

Για  $Re < 0,3$  ο πρώτος όρος υπερισχύει οπότε,

$$C_D \approx \frac{24\mu}{d\nu\rho}$$

Αντικαθιστώντας έχουμε:  $v_c = \frac{g(\rho_\sigma - \rho)d^2}{18\mu}$

Η εξίσωση αυτή ονομάζεται νόμος του **Stokes**.

Προβλέπει ότι η ταχύτητα καθίζησης είναι ανάλογη του τετραγώνου της διαμέτρου του σωματιδίου.



# Καθίζηση τύπου I

Στο σχεδιασμό δεξαμενών καθίζησης για αμμοσυλλογή, η συνήθης διαδικασία είναι η επιλογή **κάποιου σωματιδίου με τελική ταχύτητα  $v_c$**  (που αντιστοιχεί σε κάποια διάμετρο  $d$ ) και ο σχεδιασμός της δεξαμενής γίνεται ούτως ώστε όλα τα σωματίδια με ταχύτητα μεγαλύτερη από  $v_c$  να απομακρυνθούν.

Ο ρυθμός παροχής "καθαρού" νερού (νερού που περιέχει σωματίδια διαμέτρου μικρότερης από  $d$ ) είναι τότε

$$Q = A v_c \Rightarrow v_c = \frac{Q}{A}$$

όπου  $A$  επιφάνεια δεξαμενής,  $v_c$  ταχύτητα καθίζησης

Από αυτή τη σχέση βλέπουμε ότι για την καθίζηση τύπου I, η ταχύτητα καθίζησης δεν εξαρτάται από το βάθος της δεξαμενής, αλλά μόνο από την επιφανειακή φόρτιση ( $Q/A$ ).



# Κρίσιμο σωματίδιο σε αμμοσυλλέκτη

Όλα τα σωματίδια με  $v_p > v_c$  θα απομακρυνθούν.

Όλα τα σωματίδια με  $v_p < v_c$  θα απομακρυνθούν κατά κλάσμα  $x_r = \frac{v_p}{v_c}$ .

Το συνολικό κλάσμα των σωματιδίων που θα απομακρυνθούν δίνεται από την εξίσωση:

$$X_a = 1 - X_c + \int_0^{x_c} \frac{v_p}{v_c} dx$$

όπου  $X_c$  κλάσμα σωματιδίων με  $v_p > v_c$  (όλα αφαιρούνται)

$\frac{v_p}{v_c}$  κλάσμα αφαιρούμενων σωματιδίων με  $v_p < v_c$



# Κρίσιμο σωματίδιο σε αμμοσυλλέκτη

Αν  $Q$  είναι η παροχή στην δεξαμενή,  $W$  το πλάτος και  $H$  το βάθος, τότε η οριζόντια ταχύτητα είναι

$$U = \frac{Q}{WH}$$

Τότε ο χρόνος παραμονής στον αμμοσυλλέκτη είναι:

$$\frac{H}{v_c} = \frac{L}{U} = \frac{LWH}{Q}$$

εξ' ου 
$$v_c = \frac{Q}{LW}$$

Η εξίσωση ουσιαστικά σημαίνει ότι η ταχύτητα καθίζησης ισούται με την επιφανειακή φόρτιση (παροχή ανά μονάδα επιφάνειας) στον αμμοσυλλέκτη, και είναι ανεξάρτητη του βάθους του καναλιού.



# Σχεδιασμός αμμοσυλλέκτη

- Τους αμμοσυλλέκτες συνήθως σχεδιάζουμε έτσι, ώστε να έχουν σταθερή ταχύτητα ροής (οριζόντια ταχύτητα).
- Αυτό μπορούμε να το επιτύχουμε με δύο τρόπους:
  - με αναλογικό υπερχειλιστή με ορθογώνιο κανάλι αμμοσυλλέκτη.
  - με κανάλι αμμοσυλλέκτη παραβολικής διατομής με αυλάκι Parshall.



# Διαδικασία σχεδιασμού

(α) Επιλέγεται το πλάτος του καναλιού  $W$ .

(β) Υπολογίζεται, από την μέγιστη παροχή  $Q_{\max}$  το μέγιστο ύψος ροής  $h_{\max}$  για οριζόντια ταχύτητα  $v=0,3 \text{ m/s}$ .

Το βάθος  $H$  του εξαμμωτή λαμβάνεται για ασφάλεια ίσο με  $2h_{\max}$ .

(γ) Ευρίσκεται η επιφάνεια του εξαμμωτή που αντιστοιχεί στη σωστή επιφανειακή φόρτιση:

Κατασκευάζεται αρχικά καμπύλη καθίζησης, που προκύπτει από πειραματική στήλη καθίζησης βάθους  $1,5 \text{ m}$ .

Μετά από αρχική ανάδευση, προσδιορίζεται η συγκέντρωση των στερεών στον βυθό σε τακτά χρονικά διαστήματα και εξ αυτής, το κλάσμα των στερεών που παραμένουν σε αιώρηση.



# Τυπικά αποτελέσματα από πείραμα καθίζησης

<b>Χρόνος καθίζησης (t,min)</b>	<b>Ταχύτητα <math>v=H/t</math> (m/h)</b>	<b>Κλάσμα σωματιδίων* που παραμένουν στην αιώρηση</b>
5	18	0,96
10	9	0,85
15	6	0,63
20	4,5	0,48
25	3,6	0,31
30	3	0,22
50	1,8	0,10



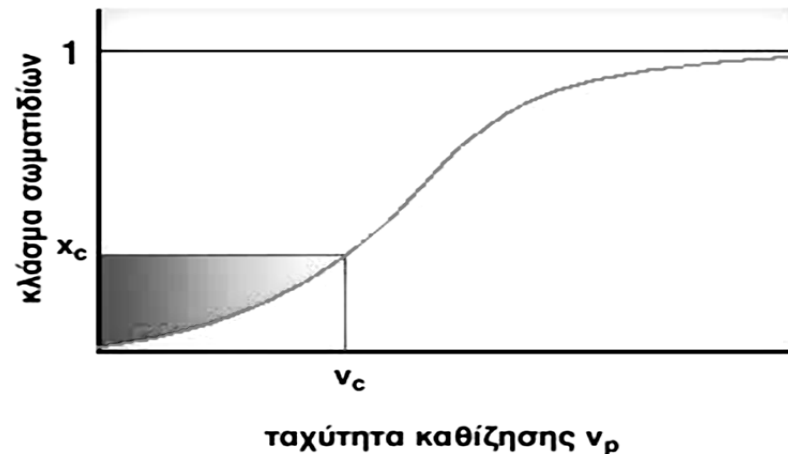
# Διαδικασία Σχεδιασμού

Ακολουθως κατασκευάζεται η καμπύλη που δίνεται σχηματικά στην Εικόνα.

Για κάποια επιφανειακή φόρτιση  $v_c=Q/A$ , το κλάσμα των σωματιδίων που απομακρύνονται δίνονται από την εξίσωση:

$$X_a = 1 - X_c + \frac{1}{v_c} \int_0^{X_c} v_p dx$$

Το ολοκλήρωμα στην σχέση ισούται με το εμβαδόν της σκιασμένης επιφάνειας της Εικόνας.





# Διαδικασία Σχεδιασμού

- Επαναλαμβάνεται αυτός ο υπολογισμός για διάφορες τιμές  $v_c$  και κατασκευάζεται η καμπύλη  $X_a$  ως προς  $v_c$
- Για κάποιο επιθυμητό ποσοστό απομάκρυνσης, προσδιορίζεται από το διάγραμμα η επιθυμητή επιφανειακή φόρτιση  $v_c$ .
- Συνήθως, μας ενδιαφέρει στους αμμοσυλλέκτες απομάκρυνση σωματιδίων διαμέτρου μεγαλύτερης από 0,2 mm και ειδικού βάρους  $s=2,65$  οπότε η επιφανειακή φόρτιση είναι  $1900 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}=0,022 \text{ m/sec}$ .



# Διαδικασία Σχεδιασμού

Από την μέγιστη παροχή  $Q_{\max}$  υπολογίζεται η απαιτούμενη επιφάνεια

$$A = \frac{Q_{\max}}{v_c}$$

(δ) Ευρίσκεται το μήκος του εξαμμωτή

$$L = \alpha \frac{A}{W}$$

όπου,  $\alpha$  συντελεστής ασφάλειας 1-1,5.

(ε) Σχεδιάζεται ο υπερχειλιστής ή το αυλάκι **Parshall** που θα δώσει σταθερά οριζόντια ταχύτητα ίση με 0,3 m/s.



# Αναλογικός υπερχειλιστής

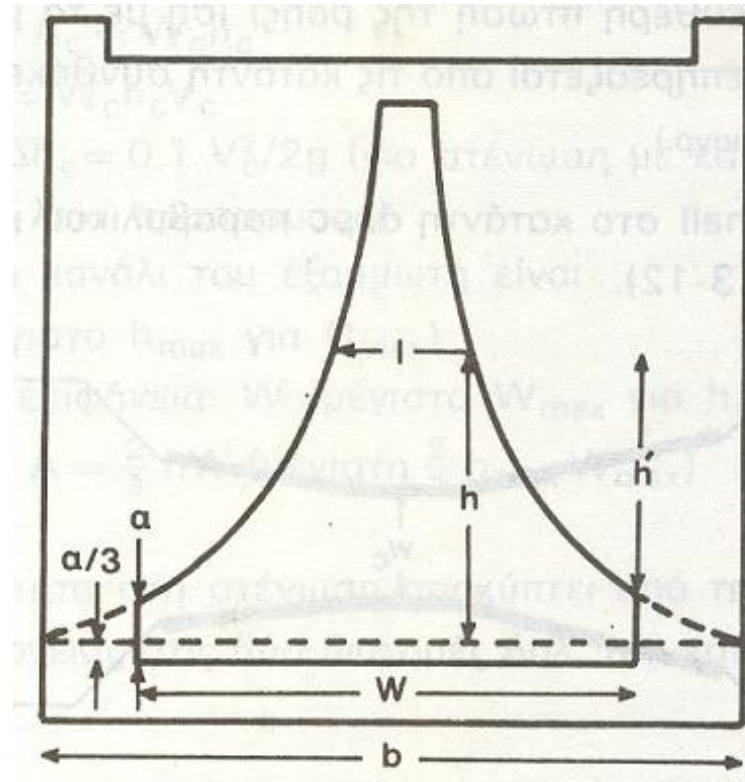
Το σχήμα της διατομής είναι αυτό που εξασφαλίζει σταθερή οριζόντια ταχύτητα ανεξάρτητα από το βάθος ροής όταν το κανάλι του αμμοσυλλέκτη είναι ορθογώνιας διατομής.

Η απόσταση  $h'$  δίνεται από την σχέση:

$$h' = h - \frac{2a}{3}$$

και το πλάτος ροής  $l$  (που καθορίζεται από το σχήμα της καμπύλης της διατομής) δίνεται από τη σχέση (Σχήμα):

$$l = b \left\{ 1 - \frac{2}{180} \text{τοξεφ} \left( \frac{h'}{a} \right)^{1/2} \right\}$$



# Παράδειγμα

Να σχεδιάσετε αμμοσυλλέκτη με αναλογικό υπερχειλιστή, αν η μέγιστη παροχή είναι  $Q_{\max}=60.000 \text{ m}^3/\text{d}$ .

Ο εξαμμωτής θα έχει τρία κανάλια.

Η άμμος έχει διάμετρο  $d=0,20 \text{ mm}$  και ειδική βαρύτητα  $s=2,65$  για την οποία αρκεί να εξασφαλίσετε μέγιστη επιφανειακή φόρτιση  $0,022 \text{ m/sec}$ .

Η ταχύτητα ροής μπορεί να σχεδιαστεί να είναι  $0,30 \text{ m/sec}$



# Λύση

(α) Επιλέγεται το πλάτος του καναλιού του αμμοσυλλέκτη  
 $W=1,30 \text{ m}$

(β) Υπολογίζετε το  $h_{\max}$  για μέγιστη παροχή ανά κανάλι:

$$Q_{\max} = \frac{60.000}{3} = 20.000 \text{ m}^3 / \text{d} = 0,231 \text{ m}^3 / \text{sec}$$

$$h_{\max} = \frac{0,231 \text{ m}^3 / \text{sec}}{1,30 \text{ m} \times 0,3 \text{ m} / \text{sec}} = 0,6 \text{ m}$$

μέγιστο βάθος ροής

Αρα το βάθος πρέπει να είναι:

$$H = 2 \times 0,6 \text{ m} = 1,2 \text{ m}$$



# Λύση

(γ) Η απαιτούμενη επιφάνεια είναι τότε:

$$A = \frac{Q_{\max}}{v_c} = \frac{0,231 \text{ m}^3 / \text{sec}}{0,022 \text{ m} / \text{sec}} \approx 10,7 \text{ m}^2$$

(δ) Υπολογίζετε τα χαρακτηριστικά του αναλογικού υπερχειλιστή:

Για  $a=0,05$  και  $c=0,62$

$$b = \frac{0,231 \text{ m}^3 / \text{sec}}{0,62 \times 0,6 \sqrt{2 \times 9,81 \times 0,05}} = 0,6 \text{ m}$$

(ε) Υπολογίζετε το μήκος του αμμοσυλλέκτη:

$$L = \frac{a A}{W} = \frac{1,5 \times 10,7}{1,30} = 12,3 \text{ m}$$



# Λιποσυλλογή

- Συχνά απαιτείται μετά την αμμοσυλλογή
- Οι λιποσυλλέκτες είναι απλές δεξαμενές τυπικού χρόνου παραμονής 3-5 min.
- Τα λίπη ως ελαφρότερα συλλέγονται στην επιφάνεια, η δε εκροή του (απαλλαγμένου από το λίπος) νερού γίνεται από σημείο σε αρκετό βάθος



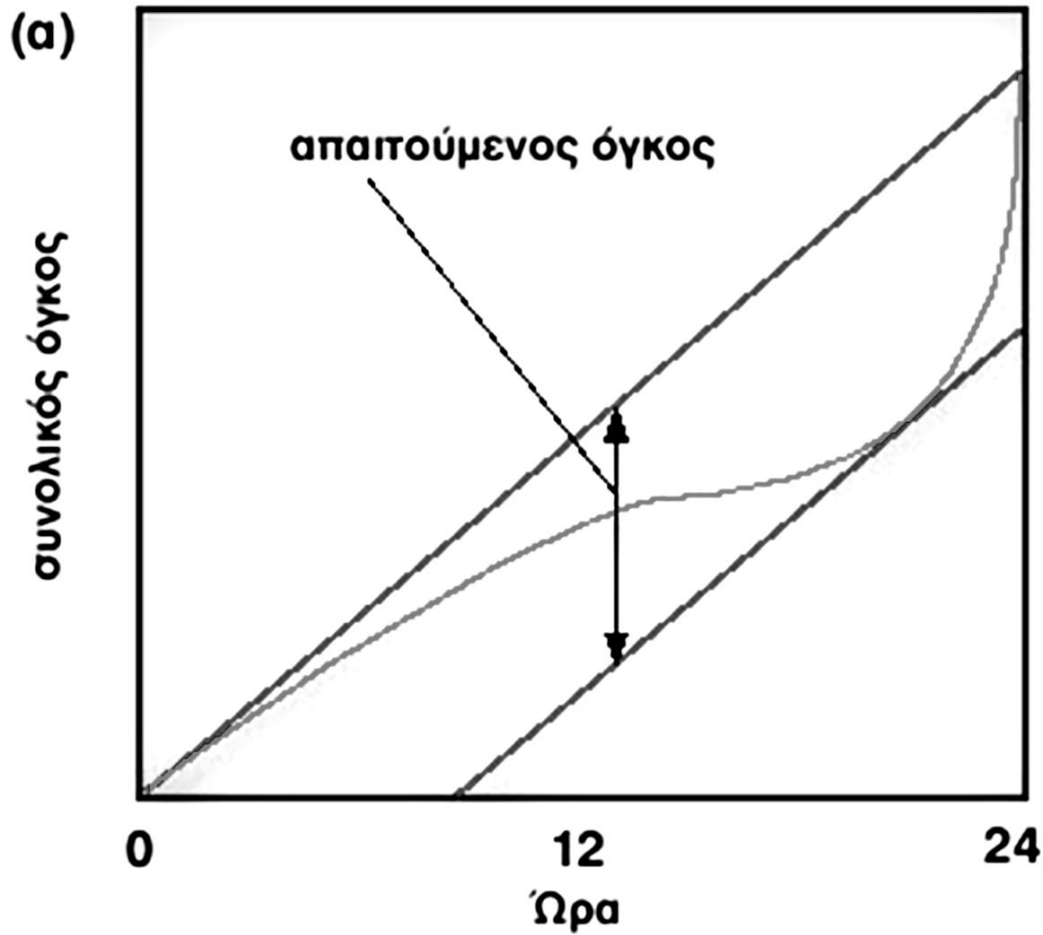
# Εξισορρόπηση Παροχής

- Στοχεύει στην εξομάλυνση της παροχής, η οποία τυπικά είναι περιοδική
- Για να βρούμε τον απαιτούμενο όγκο της δεξαμενής εξισορρόπησης, κατασκευάζουμε το διάγραμμα του όγκου αποβλήτου που έχει δεχθεί η μονάδα, από κάποια δεδομένη χρονική στιγμή για ένα εικοσιτετράωρο



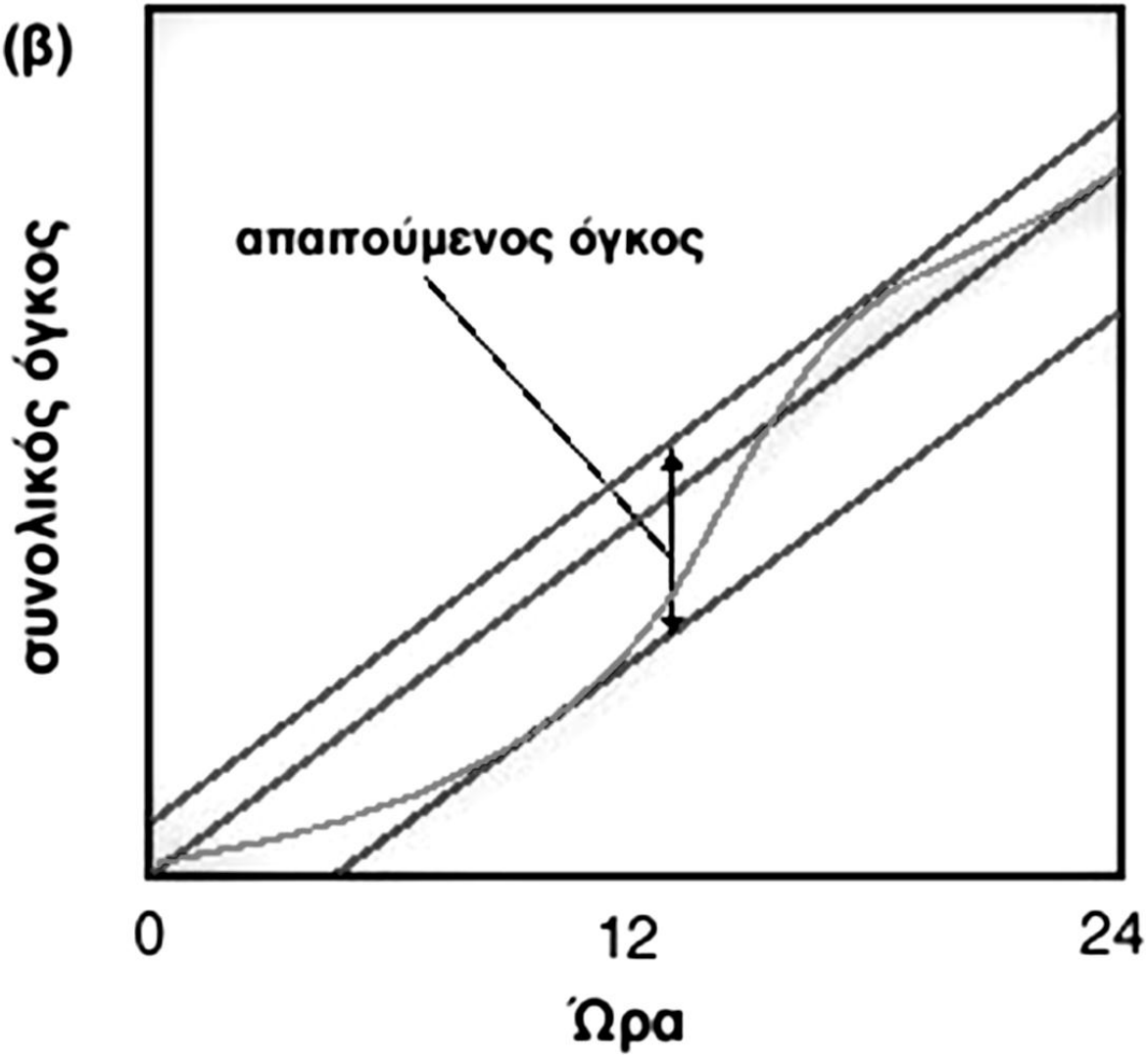


# Εξισορρόπηση Παροχής



# Εξισορρόπηση Παροχής

(β)



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, Προεπεξεργασία Αστικών Υγρών Αποβλήτων». 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.