

Καθίζηση

Διαχωρισμός στερεών σωματιδίων από τα απόβλητα, με την επίδραση δυνάμεων βαρύτητας. Ο διαχωρισμός συντελείται λόγω διαφοράς ειδικού βάρους.

Τύποι καθίζησης

Τύπος I: Καθίζηση διακριτών σωματιδίων. Τα σωματίδια καθιζάνουν χωρίς να αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους (π.χ. εξάμμωση)

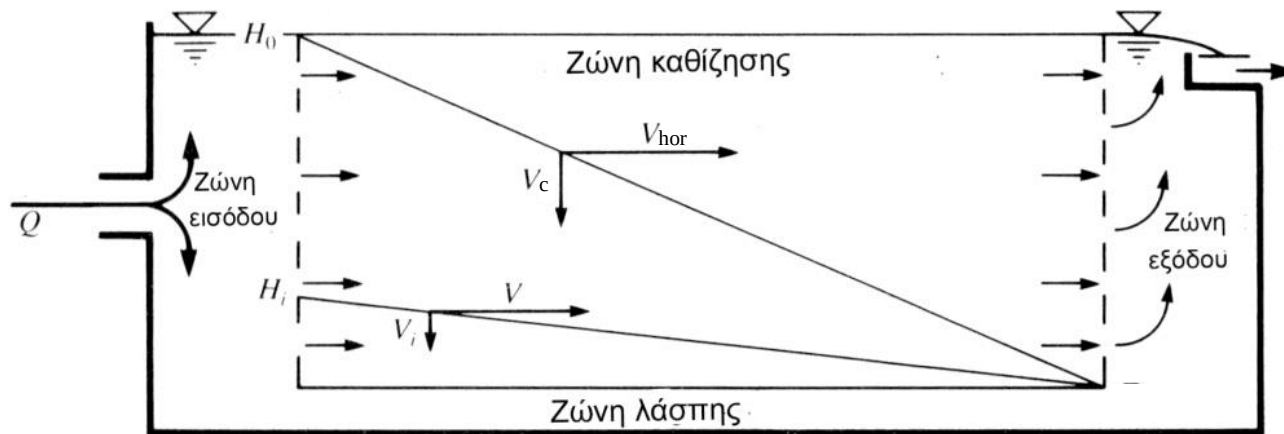
Τύπος II: Καθίζηση με συσσωμάτωση. Τα σωματίδια συνενώνονται κατά την καθίζηση, με συνέπεια την δημιουργία μεγαλύτερων σωματιδίων που καθιζάνουν ταχύτερα (π.χ. πρωτοβάθμια καθίζηση)

Τύπος III: Εμποδιζόμενη καθίζηση. Έντονη συσσωμάτωση με συνέπεια την δημιουργία μιας ενιαίας ύλης που καθιζάνει ως μάζα (π.χ. δευτεροβάθμια καθίζηση)

Τύπος IV: Πύκνωση. Λαμβάνει χώρα εντός ήδη πυκνωμένων υγρών, με συνέπεια την περεταίρω αύξηση της συγκέντρωσης σωματιδίων (π.χ. δεξαμενές πάχυνσης)

Ιδεατή καθίζηση

Παραδοχή: Τα σωματίδια είναι σφαιρικά, ομοιόμορφα και δεν αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους. Επιδρούν απάνω τους τέσσερις δυνάμεις: Βαρύτητα, άνωση, οπισθέλκουσα και ώθηση (λόγω ροής)



V_{hor} : Οριζόντια ταχύτητα
 V_c : Κατακόρυφη ταχύτητα
 Q : Ογκομετρική παροχή
 h : Ύψος δεξαμενής
 B : Πλάτος δεξαμενής
 L : Μήκος δεξαμενής

$$V_{hor} = \frac{Q}{Bh}$$

$$\frac{V_c}{V_{hor}} = \frac{h}{L} \Rightarrow V_c = \frac{h}{L} V_{hor} \Rightarrow V_c = \frac{Q}{BL}$$

Η ταχύτητα καθίζησης (V_c) είναι ανεξάρτητη του ύψους της δεξαμενής
Η ταχύτητα καθίζησης ονομάζεται: Επιφανειακή Φόρτιση (ΕΦ)

Πρωτοβάθμια καθίζηση

Απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών (ανόργανων και οργανικών) με διάμετρο 1-100 μm , με κύριες επιδιώξεις:

- Την μείωση των TSS
- Την μείωση του φορτίου BOD
- Την μείωση του φορτίου COD

Οι πρωτοβάθμιες καθιζήσεις διακρίνονται σε:

- Κυκλικής διατομής
- Ορθογωνικής διατομής

Σε ειδικές περιπτώσεις μπορεί να γίνει προθήκη κροκιδωτικών, για αύξηση της απόδοσης

Τύποι πρωτοβάθμιας καθίζησης



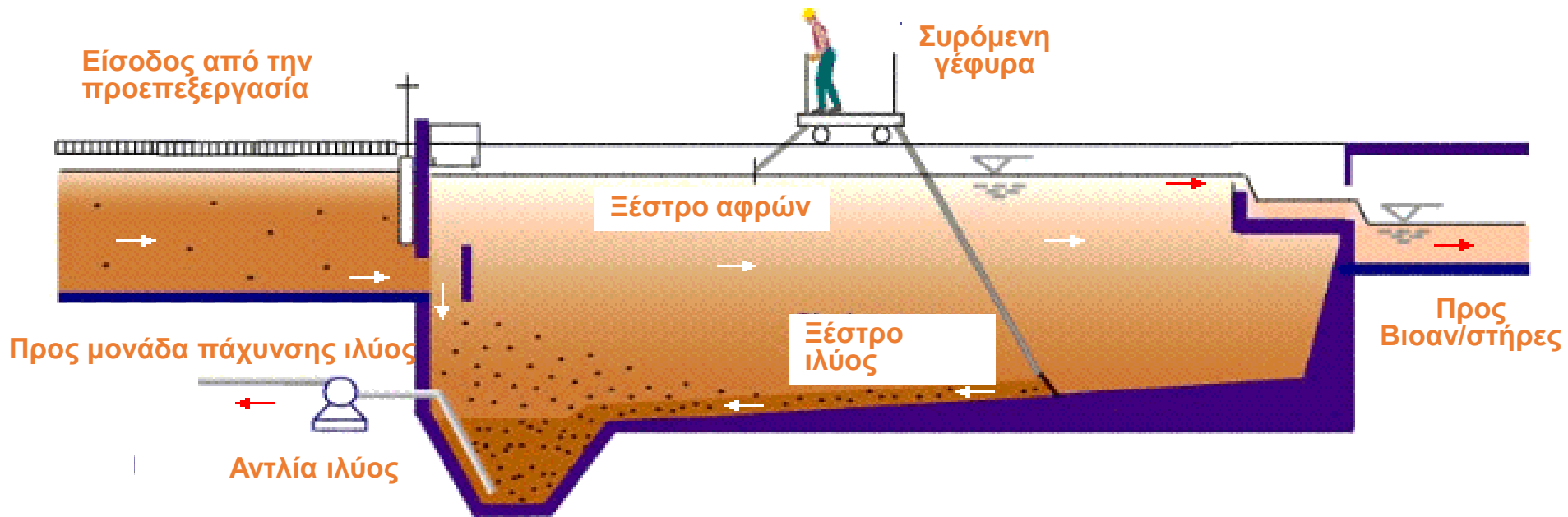
Ορθογωνικής διατομής



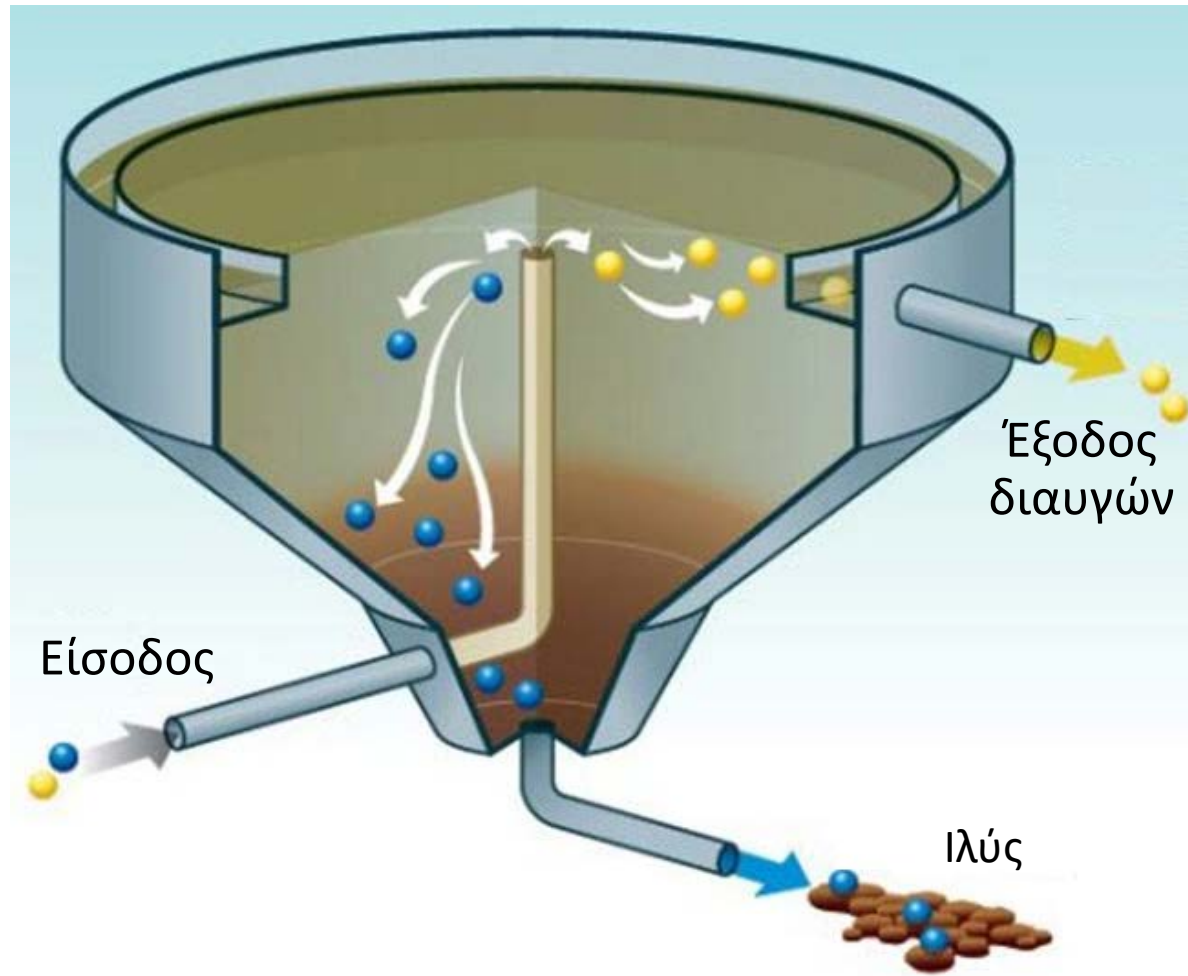
Κυκλικής διατομής

Η επιλογή του τύπου της δεξαμενής καθίζησης εξαρτάται από την χωροταξία της ΕΕΛ και την εμπειρία της ομάδας σχεδιασμού

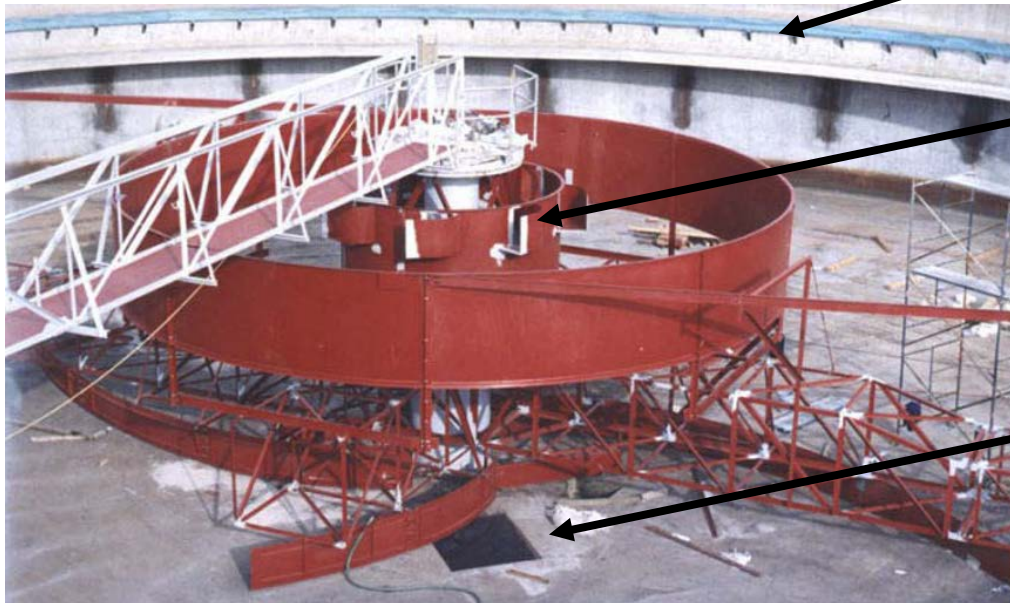
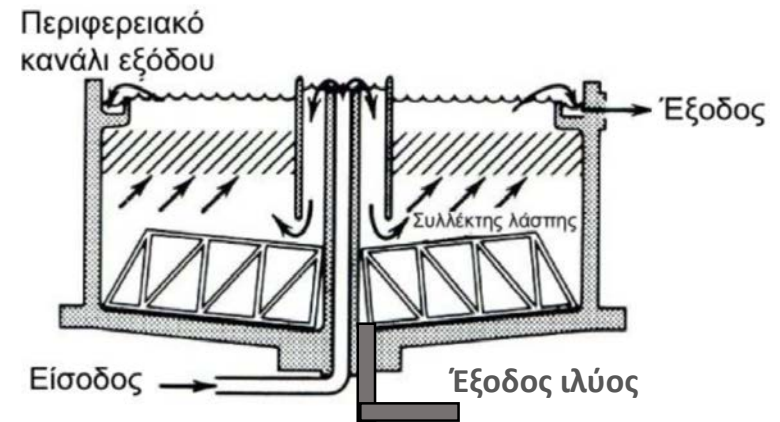
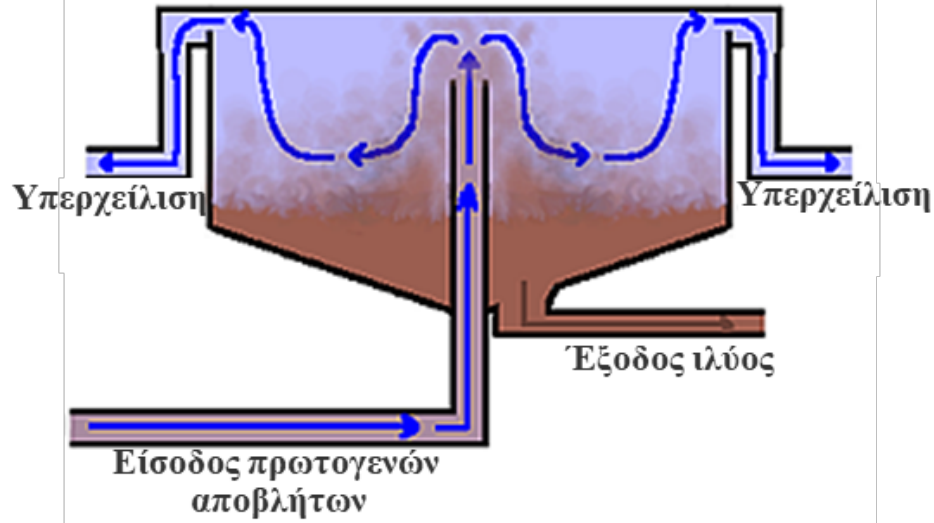
Πρωτοβάθμια καθίζηση



Κυκλική δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης



Ροή νερού-ιλύος

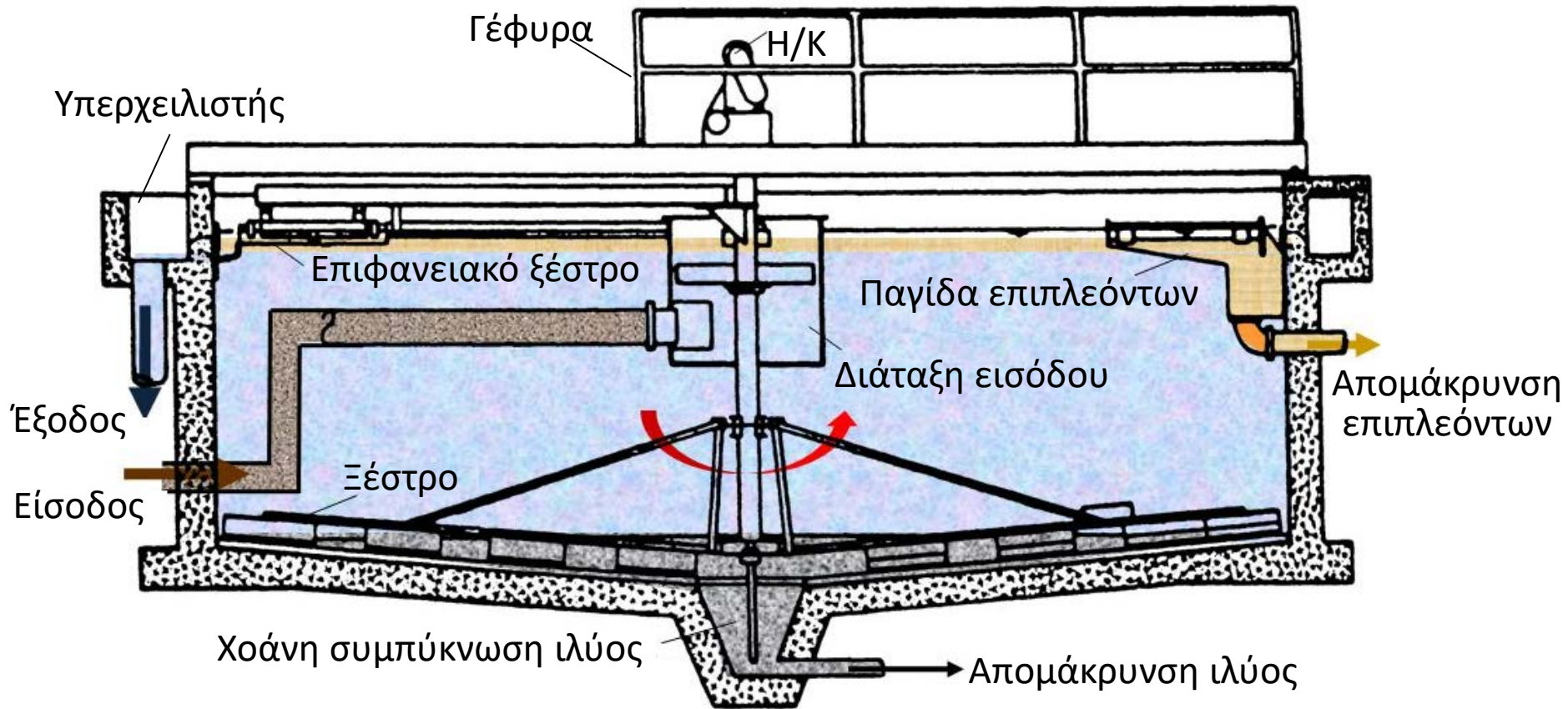


Εκροή διαυγών

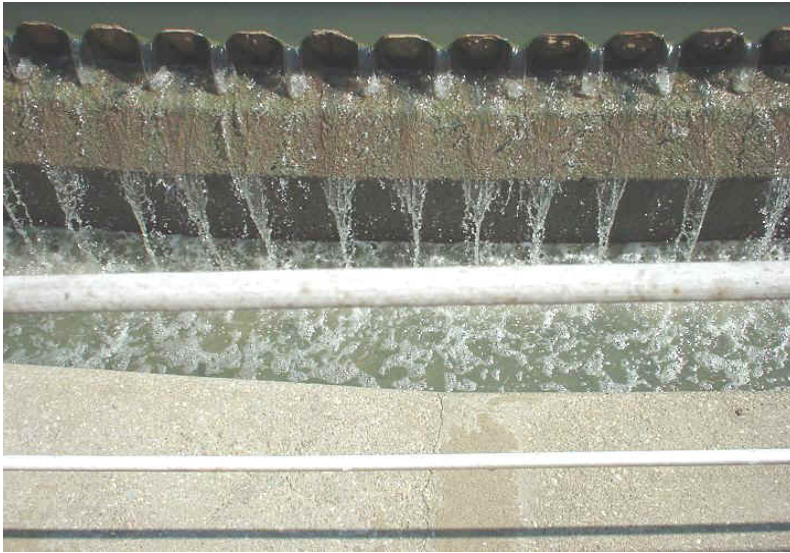
Θύρες εισόδου

Οπή συλλογής ιλύος

Κυκλική δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης



Υπερχειλιστές



Υπερχειλιστές τραπεζοειδούς διατομής



Υπερχειλιστής διπλής ακμής

Υπερχειλιστές



- α. Μη οδοντωτός υπερχειλιστής ορθογωνικής ΔΠΚ
- β. Μαιανδρικός υπερχειλιστής κυκλικής ΔΠΚ
- γ. Υπερχειλιστής με σπές απομάστευσης ΔΠΚ

Ξέστρα παράσυρσης ιλύος κυκλικών ΔΠΚ



Ευθύγραμμες λεπίδες



Καμπύλες λεπίδες

Ξέστρα αναρρόφησης ιλύος κυκλικών ΔΠΚ



Ξέστρα ορθογωνικών ΔΠΚ



Ξέστρα πυθμένα & επιφάνειας



Ξέστρα πυθμένα



Λεπτομέρεια ξέστρου

Παγίδα επιπλεόντων σε κυκλικές ΔΠΚ



Παγίδα επιπλεόντων σε ορθογωνικές ΔΠΚ



Προβλήματα κατά τη λειτουργία των ΔΠΚ



Ανύψωση ιλύος



Παραγωγή βιοαερίου
(λόγω μεγάλου χρόνου παραμονής)

Διαστάσεις ΔΠΚ

Κυκλικές ΔΠΚ			
Παράμετρος	Μονάδες	Διακύμανση	Τυπική τιμή
Βάθος	m	3-5	4,5
Διάμετρος	m	3-60	12-45
Κλίση πυθμένα	mm/mm	1/16-1/6	1/12
Ταχύτητα περιστροφής ξέστρου	r/min	0,02-0,06	0,03

Ορθογωνικές ΔΠΚ			
Παράμετρος	Μονάδες	Διακύμανση	Τυπική τιμή
Βάθος	m	3-5	4,5
Μήκος	m	15-90	25-40
Πλάτος	m	3-24	5-10
Γραμμική ταχύτητα ξέστρου	m/min	0,6-1,2	0,9

Χαρακτηριστικά μεγέθη ΔΠΚ

$$\text{Επιφανειακή φόρτιση (ΕΦ)} = \frac{\text{Παροχή (Q) m}^3/\text{d}}{\text{Επιφάνια ΔΠΚ (A) m}^2}$$

$$\text{Φόρτιση υπερχειλιστή (ΦΥ)} = \frac{\text{Παροχή (Q) m}^3/\text{d}}{\text{Μήκος υπερχειλιστή (L) m}^2}$$

Όπου:

$$Q_{\lambda} = \frac{M}{1000 C_{\lambda} s}$$

Q_{λ} = Παροχή ιλύος (στερεά + νερό) (m^3/d)

M = Μάζα στερεών ιλύος (kg/d)

C_{λ} = συγκέντρωση στερών ιλύος (% w/w)

s = πυκνότητα ιλύος (g/cm^3)

Χαρακτηριστικά μεγέθη ΔΠΚ

Υπολογισμός της ισχύος του ηλεκτροκινητήρα:

Όπου:

P = Ισχύς ηλεκτροκινητήρα (W)

T = Ροπή στρέψης του ξέστρου ($\text{kg m}^2/\text{s}^2$)

W = Συντελεστής φόρτισης ξέστρου (N/m) $\rightarrow$ (120-150 N/m)

r = Ακτίνα ΔΠΚ (m)

ω = Γωνιακή ταχύτητα ξέστρου (rad/s)

v = Γραμμική ταχύτητα ξέστρου στο άκρο (m/s)

η = Απόδοση ηλεκτροκινητήρα $\rightarrow$ (0,7 – 0,8)

ΣA = Συντελεστής Ασφαλείας (ΣA) = 1,2-1,8

Συντελεστής Απωλειών λόγω Κιβωτίου Ταχυτήτων ($\Sigma K T$) = 1,5-2*

* Εξαρτάται από το ρυθμό περιστροφής του ηλεκτροκινητήρα και τον τύπο του κιβωτίου ταχυτήτων

$$P = \frac{T \omega}{\eta}$$

$$T = W r^2 \Sigma A \Sigma K T$$

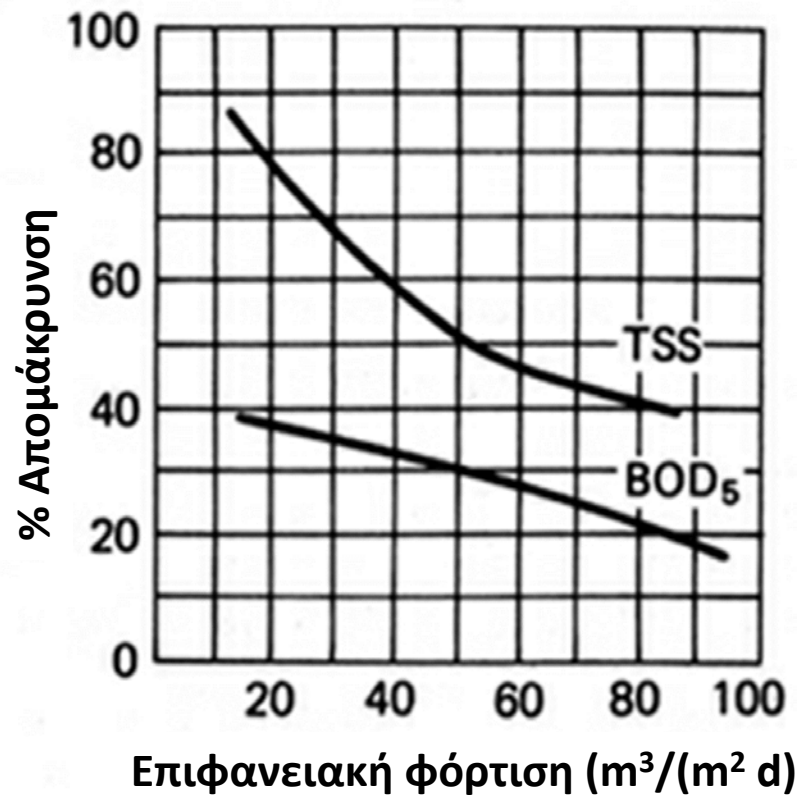
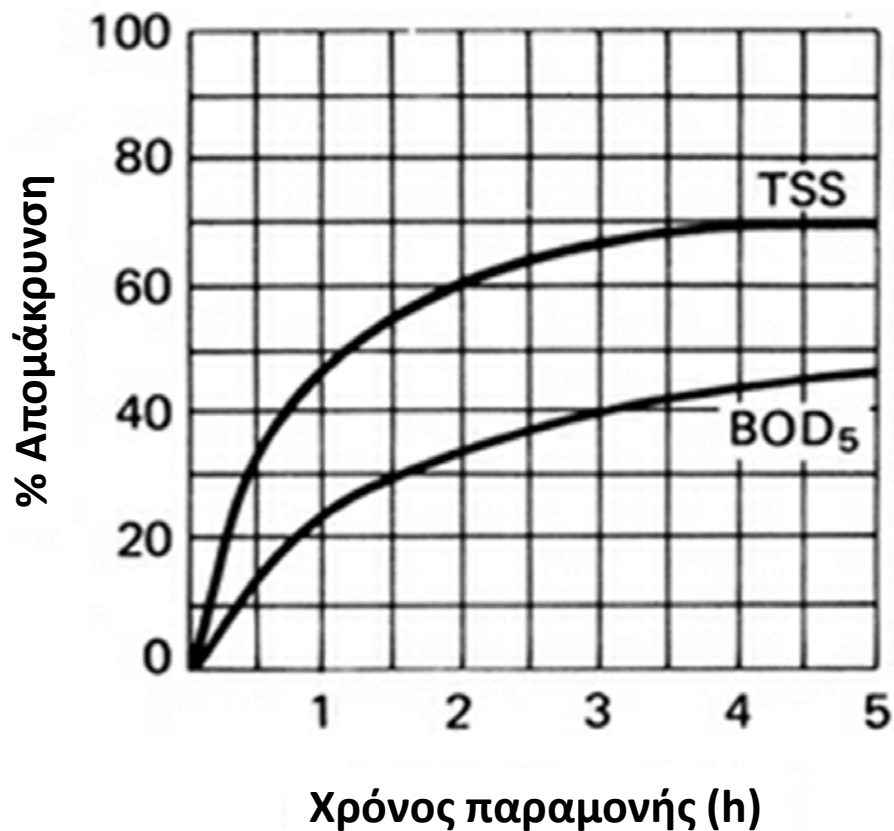
Συνήθως χρησιμοποιούνται ηλεκτροκινητήρες με ρυθμό περιστροφής 1440 rpm.
Για τη μείωση του ρυθμού περιστροφής χρησιμοποιείται κιβώτιο ταχυτήτων.

Παράμετροι λειτουργίας ΔΠΚ

Παράμετρος	Μονάδες	Εύρος τιμών	Τυπική τιμή
Χρόνος παραμονής	h	1,0-2,5	2,0
Επιφανειακή φόρτιση (μέση παροχή)	m ³ /(m ² d)	30-50	40
Επιφανειακή φόρτιση (μέγιστη παροχή)	m ³ /(m ² d)	70-130	100
Φόρτιση υπερχειλιστή	m ³ /(m d)	125-500	250
Ταχύτητα ροής στον πυθμένα	m/min	2,5-0,8	1,2
Απομάκρυνση TSS	%	50-65	(Βλέπε σχήμα)
Απομάκρυνση BOD	%	25-40	(Βλέπε σχήμα)
Συγκέντρωση ιλύος	%	4-9	6
Πυκνότητα ιλύος	g/cm ³	1,02-1,03	1,03
Παραγωγή επιπλεόντων	L/1000m ³	2-8	
Πυκνότητα επιπλεόντων	g/cm ³		0,95

- Για ΕΕΛ με μέση παροχή < 3800m³/d, η ΕΕΛ σχεδιάζεται με βάση την μέγιστη παροχή, και ελέγχεται για την μέση παροχή.
- Για ΕΕΛ με μέση παροχή > 3800m³/d, η ΕΕΛ σχεδιάζεται με βάση την μέση παροχή, και ελέγχεται για την μέγιστη παροχή.
- Εάν έχουμε να επιλέξουμε μεταξύ εκτροπής ως προς το άνω ή κάτω όριο της ΕΦ, προτιμούμε να διασφαλίσουμε ότι δεν θα παραβιαστεί το άνω όριο.
- Σε περίπτωση που έχουμε σημαντικές εποχιακές ή διαχρονικές μεταβολές τότε εξετάζουμε την περίπτωση κατασκευή περισσότερων ΔΠΚ. Αυτό δεν ισχύει για ημερήσιες μεταβολές.
- Εάν η ταχύτητα υπερχείλισης προκύπτει μεγάλη, εξετάζεται η χρήση υπερχειλιστή δύο ακμών ή μαιανδρικού υπερχειλιστή.

Απομάκρυνση TSS & BOD



Παράδειγμα σχεδιασμού κυκλικής ΔΠΚ (1/5)

Να σχεδιάσετε ΔΠΚ σε ΕΕΛ, η οποία λειτουργεί με Q_{max} και Q_{av} 60.000 και 20.000 m^3/d , αντίστοιχα, και να υπολογίσετε την ισχύ του ηλεκτροκινητήρα. Εάν οι συγκεντρώσεις TSS και BOD στην είσοδο είναι 350 mg/L και 250 mg/L, υπολογίσετε την ογκομετρική και μαζική παροχή της ιλύος, καθώς και τη συγκέντρωση των TSS και BOD στην υπερχείλιση της ΔΠΚ.

Αφού $Q_{av} > 3800 m^3/d$, ο σχεδιασμός θα γίνει με βάση την Q_{av} .

Λαμβάνω συντελεστή ασφαλείας = 1,5 οπότε κάνω υπολογισμούς για Q_{max} και Q_{av} 90.000 και 30.000 m^3/d , αντίστοιχα.

Αρχικά επιλέγεται η ΕΦ για Q_{av} . Έστω $E\Phi = 40 m^3/(m^2 d)$.

$$\text{Υπολογίζεται η διάμετρος της ΔΠΚ: } E\Phi_{av} = \frac{Q_{av}}{A} \rightarrow A = \frac{30000 m^3/d}{40 m/d} \rightarrow A = 750 m^2 \rightarrow d = 31 m$$

Επιλέγεται το βάθος της ΔΠΚ, έστω 4,2 m, οπότε ο όγκος της υπολογίζεται $V = 750 m^2 \times 4,2 m = 3150 m^3$

$$\text{Υπολογίζεται ο χρόνος παραμονής: } \tau = \frac{V}{Q_{av}} = \frac{3150 m^3}{30000 m^3/d} \frac{24 h}{d} = 2,52 h \text{ (εντός των ορίων)}$$

$$\text{Υπολογίζεται η ΕΦ για } Q_{max}: E\Phi_{max} = \frac{Q_{max}}{A} = \frac{90000 m^3/d}{750 m^2} = 120 m/d \text{ (εντός των ορίων)}$$

Παράδειγμα σχεδιασμού κυκλικής ΔΠΚ (2/5)

Υπολογίζεται η περιφέρεια της ΔΠΚ $= 31 \text{ m} \times 3,14 = 97,3 \text{ m}$

Υπολογίζεται η φόρτιση του υπερχειλιστή για $Q_{\max}$: $\Phi Y = \frac{90000 \text{ m}^3/\text{d}}{97,3 \text{ m}} = 925 \text{ m}^2/\text{d}$ (εκτός ορίων).

Οπότε επιλέγω υπερχειλιστή διπλής ακμής: $\Phi Y = 925/2 = 462,5 \text{ m}^2/\text{d}$ (εντός ορίων).

Επιλέγω κλίση πυθμένα 8%.

Οπότε η ΔΠΚ έχει διάμετρο $d = 31\text{m}$, βάθος $H = 4,2 \text{ m}$, και κλίση πυθμένα 8%.

Σημείωση: Το H είναι το βάθος του υγρού. Το βάθος της ΔΠΚ πρέπει να είναι τουλάχιστον 0,5 m επιπλέον.

Από το διάγραμμα απομάκρυνσης TSS, BOD, για $\tau = 2,5\text{h}$, προκύπτουν απομακρύνσεις: 64% και 38%, αντίστοιχα.

Οπότε με την ιλύ απομακρύνονται TSS: $0,64 \times 0,350 \text{ kg/m}^3 \times 20000 \text{ m}^3/\text{d} = 4480 \text{ kg/d}$, και
BOD: $0,38 \times 0,250 \text{ kg/m}^3 \times 20000 \text{ m}^3/\text{d} = 1900 \text{ kg/d}$.

Οι συγκεντρώσεις TSS και BOD στο υπερκείμενο είναι αντίστοιχα TSS: $0,36 \times 350 \text{ mg/L} = 126 \text{ mg/L}$
BOD: $0,62 \times 250 \text{ mg/L} = 155 \text{ mg/L}$.

Για πάκτωση ιλύος σε συγκέντρωση

6%, η παροχή της ιλύος υπολογίζεται ως: $Q_\lambda = \frac{M}{1000 C_\lambda s} = \frac{4480}{1000 \times 0,06 \times 1,02} = 73,2 \text{ m}^3/\text{d}$

Παράδειγμα σχεδιασμού κυκλικής ΔΠΚ (3/5)

Υπολογισμός ισχύος του ηλεκτροκινητήρα:

Η ισχύς του ηλεκτροκινητήρα υπολογίζεται από τη σχέση $P = \frac{T \omega}{\eta}$

Επιλέγονται:

$$W = 140 \text{ N/m}$$

$$\text{Συντελεστής Ασφαλείας (ΣΑ)} = 1,5$$

$$\text{Συντελεστής Απωλειών λόγω Κιβωτίου Ταχυτήτων (ΣΚΤ)} = 2$$

$$\text{Ταχύτητα περιστροφής} = 0,05 \text{ rpm}$$

$$\text{Απώλειες ηλεκτροκινητήρα } (\eta) = 0,7$$

Αρχικά υπολογίζεται η ροπή στρέψης:

$$T = W r^2 \Sigma A \Sigma K T = 140 \text{ N/m} \times (15,5 \text{ m})^2 \times 1,5 \times 2 = 100905 \text{ N m}$$

$$\text{Η γωνιακή ταχύτητα υπολογίζεται ως: } \omega = \frac{0,05 \text{ rpm} \times 2 \times 3,14}{60 \text{ s/min}} = 0,0052 \text{ rad/s}$$

$$\text{Η ισχύς του ηλεκτροκινητήρα υπολογίζεται ως: } P = \frac{T \omega}{\eta} = \frac{100905 \text{ N m} \times 0,0052 \text{ rad/s}}{0,7} \rightarrow$$

$$P = 750 \text{ W} = 0,75 \text{ kW} = 1 \text{ hp}$$

Παράδειγμα σχεδιασμού κυκλικής ΔΠΚ (4/5)

Ισοζύγιο μάζας

$$Q = 20000 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$\text{TSS} = 350 \text{ mg/L}$$

$$\text{BOD} = 250 \text{ mg/L}$$

$$M_{\text{TSS}} = 7000 \text{ kg/d}$$

$$M_{\text{BOD}} = 5000 \text{ kg/d}$$

$$Q = 20000 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$\text{TSS} = 126 \text{ mg/L}$$

$$\text{BOD} = 155 \text{ mg/L}$$

$$M_{\text{TSS}} = 2520 \text{ kg/d}$$

$$M_{\text{BOD}} = 3100 \text{ kg/d}$$

Εισροή



Εκροή διαυγών

Εκροή ιλύος

$$Q_{\lambda} = 73,2 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$C_{\lambda} = 6\% \text{ (w/w)}$$

$$\text{TSS} = 6120 \text{ g/m}^3$$

$$\text{BOD} = 26000 \text{ mg/L}$$

$$M_{\text{TSS}} = 4480 \text{ kg/d}$$

$$M_{\text{BOD}} = 1900 \text{ kg/d}$$

Παράδειγμα σχεδιασμού κυκλικής ΔΠΚ (6/5)

Χαρακτηριστικά ΔΠΚ	
Παράμετρος	Τιμή
Τύπος	Κυκλικής διατομής
Διάμετρος	31 m
Βάθος	4,2 m
Κλίση πυθμένα	8%
Ταχύτητα περιστροφής ξέστρου	0,05 rpm
Ισχύς ηλεκτροκινητήρα	0,75 kW
Εξοπλισμός	
Ξέστρο πυθμένα	✓
Γέφυρα	✓
Ξέστρο επιφάνειας	✓
Διάταξη απομάκρυνσης επιπλεόντων	✓
Υπερχειλιστής	Διπλής ακμής
Ηλεκτροκινητήρας	✓