

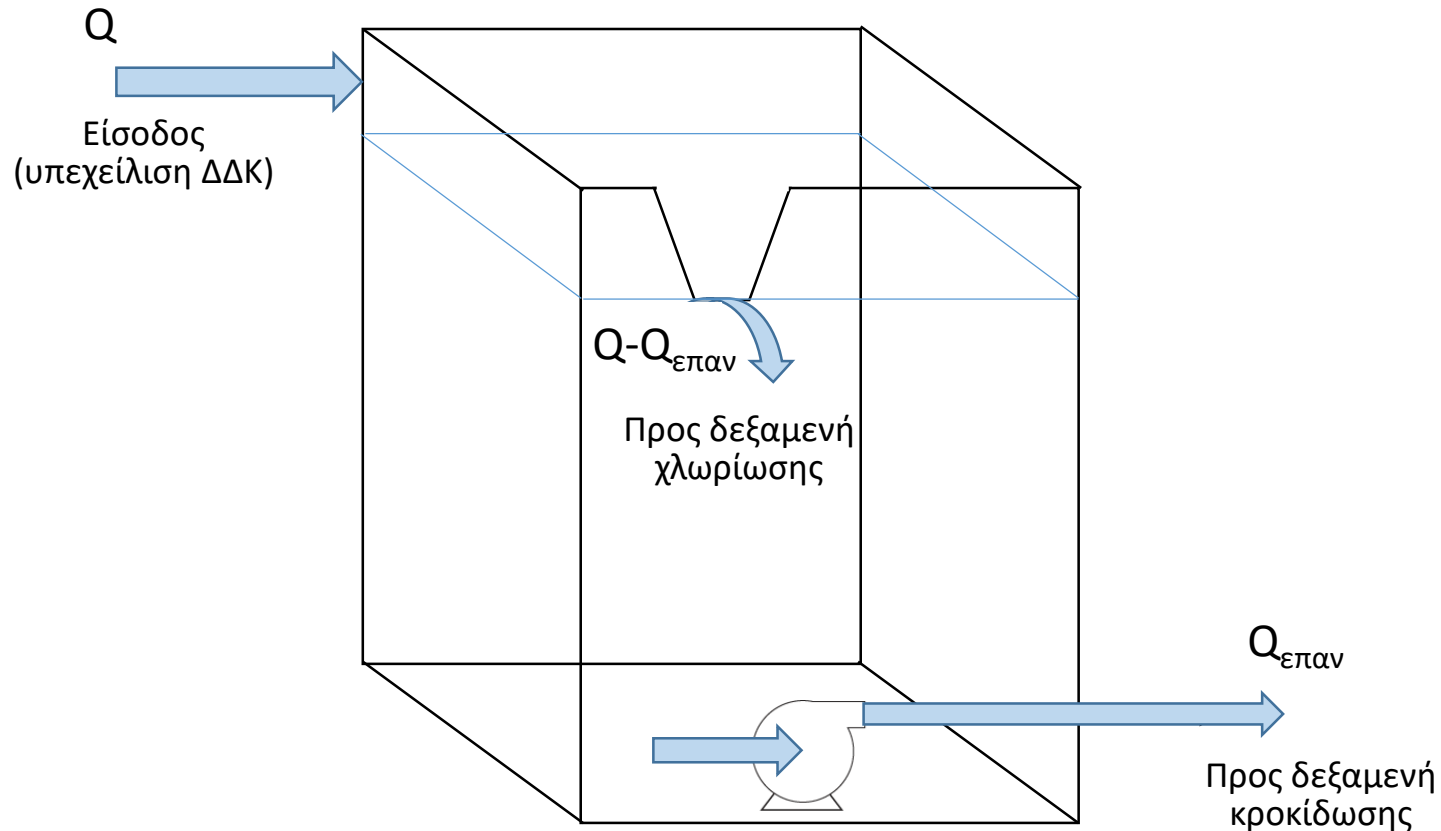
# Δεξαμενή Μερισμού (ΔΜ)

Η Δεξαμενή Μερισμού σχεδιάζεται έτσι ώστε:

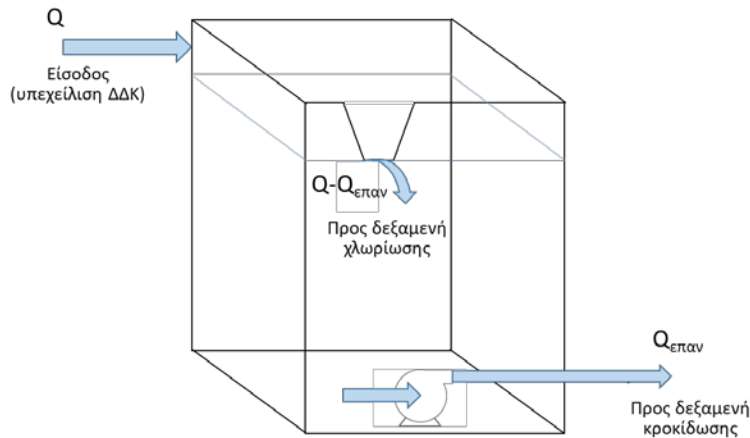
- Να παροχετεύει σταθερή ροή προς την διάταξη ανάκτησης νερού προς επαναχρησιμοποίηση.
- Να παροχετεύει την περίσσεια νερού προς τη δεξαμενή χλωρίωσης

Μεταφορά νερού από τη ΔΜ:

- Η παροχή προς την διάταξη ανάκτησης νερού γίνεται με φυγοκεντρική αντλία
- Η παροχή προς την δεξαμενή χλωρίωσης γίνεται με φυσική ροή μέσω υπερχειλιστή



# Σχεδιασμός Δεξαμενής Μερισμού



Σε κάθε περίπτωση:  $Q_{\text{επαν}} < Q_{\text{av}}$

Εάν  $Q_{\text{επαν}} < Q_{\text{min}}$  → Θα υπάρχει πάντα ροή στην υπερχείλιση

Εάν  $Q_{\text{επαν}} > Q_{\text{min}}$  → Θα πρέπει ο όγκος της ΔΜ να είναι τέτοιος ώστε να μην αδειάσει κατά τη διάρκεια του 24ώρου. Ο υπολογισμός γίνεται υποθέτοντας ότι η ΔΜ δέχεται συνεχώς για ένα 8ωρο παροχή ίση με  $Q_{\text{min}}$

Κατά κανόνα η  $Q_{\text{επαν}}$  επιλέγεται μεταξύ 50% - 75% της  $Q_{\text{av}}$  του θέρους του έτους σχεδιασμού (τον χειμώνα δεν γίνεται επαναχρησιμοποίηση νερού).

Επομένως, ο όγκος της Δεξαμενής Μερισμού δίνεται από την εξίσωση ( $\tau$ = χρόνος που θεωρούμε ότι εισέρχεται στη ΔΜ παροχή ίση με  $Q_{\text{min}}$ ):

$$V_{\text{μερισμού}} = (Q_{\text{επαν}} - Q_{\text{min}}) \cdot \tau$$

# Παράδειγμα Σχεδιασμού Δ. Μερισμού

Να σχεδιάσετε τη Δεξαμενή Μερισμού θεωρώντας ως  $Q_{αν,θέρως,2020} = 20 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  και  $Q_{min,θέρως,2020} = 5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$

Αρχικά επιλέγεται η παροχή επαναχρησιμοποίησης, έστω  $15 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ .

Ελέγχεται το ποσοστό  $Q_{επαν}$  ως προς την  $Q_{αν}$ :  $Q_{επαν} = 0,7 Q_{αν}$  (εντός ορίων). Επίσης  $Q_{επαν} > Q_{min}$

Ο όγκος της Δεξαμενής Μερισμού υπολογίζεται από την εξίσωση ( $\tau = 8\text{h}$ ):

$$V_{μερισμού} = (Q_{επαν} - Q_{min}) \cdot \tau$$

$$\Rightarrow V_{μερισμού} = (15 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} - 5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}) \cdot 8 \text{ h} = 80 \text{ m}^3$$

Θεωρούμε συντελεστή ασφαλείας 1,5, επομένως ο τελικός όγκος της ΔΜ είναι:

$$V_{μερισμού} = 80 \text{ m}^3 \cdot 1,5 = 120 \text{ m}^3$$

Επιλέγουμε ύψος ΔΜ ίσο με 2,5m, οπότε οι διαστάσεις κατασκευής επιλέγονται:

**L = 8m, W = 6m, H = 2,5m** (Το ύψος κατασκευής θα πρέπει να είναι περίπου 0,5m επιπλέον του H)

# Χημική κατακρήμνιση

Τα κολλοειδή σωματίδια που απαντώνται στα υγρά απόβλητα φέρουν συνήθως αρνητικό στατικό ηλεκτρισμό στην επιφάνειά τους, με συνέπεια την αλληλοαπώθησή τους και την παραμονή τους σε αιώρηση. Η διεργασία της χημικής κατακρήμνισης περιλαμβάνει δύο φάσεις:

- **Κροκίδωση:** κατά την οποία εξουδετερώνεται το ηλεκτρικό φορτίο των σωματιδίων διαμέτρου 0,01-1  $\mu\text{m}$ , με αποτέλεσμα τη αποσταθεροποίηση του κολλοειδούς συστήματος. Στις ουσίες που προκαλούν κροκίδωση περιλαμβάνονται το θειικό αργίλιο ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ), ο τριχλωριούχος σίδηρος ( $\text{FeCl}_3$ ), το πολυχλωριούχο αργίλιο (PAC), κ.ά.
- **Συσσωμάτωση:** κατά τον οποίο τα αποφορτισμένα σωματίδια συγκεντρώνονται για να σχηματίσουν συσσωματώματα. Συσσωμάτωση μπορεί να επιτευχθεί με προσθήκη ανιοντικών ή κατιοντικών πολυηλεκτρολυτών σε αποσταθεροποιημένο κολλοειδές σύστημα

Τα σχηματιζόμενα συσσωματώματα μπορούν να απομακρυνθούν με κάποια φυσική διεργασία διαχωρισμού (π.χ.: καθίζηση, επίπλευση, διήθηση)

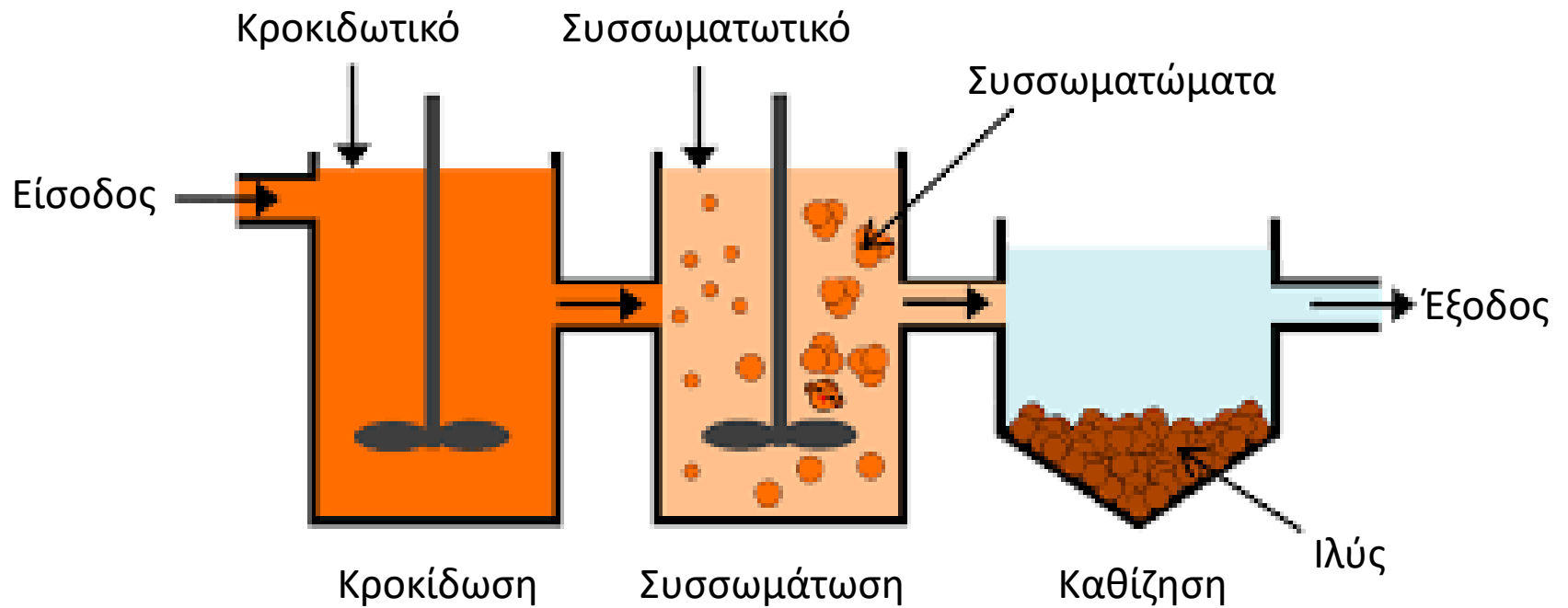
# Κροκίδωση-συσσωμάτωση

Χωρίς κροκιδωτικό

Με κροκιδωτικό



# Κροκίδωση-συσσωμάτωση-καθίζηση



# Συστήματα κατακρήμνισης

- α. Σύστημα κροκίδωσης-συσσωμάτωσης σε λειτουργία
- β. Άδειες δεξαμενές κροκίδωσης-συσσωμάτωσης:  
Αριστερά: δεξαμενή κροκίδωσης (ταχύστροφη ανάμειξη)  
Δεξιά: δεξαμενή συσσωμάτωσης (αργόστροφη ανάμειξη)
- γ. Στατικός αναμείκτης κροκίδωσης



α



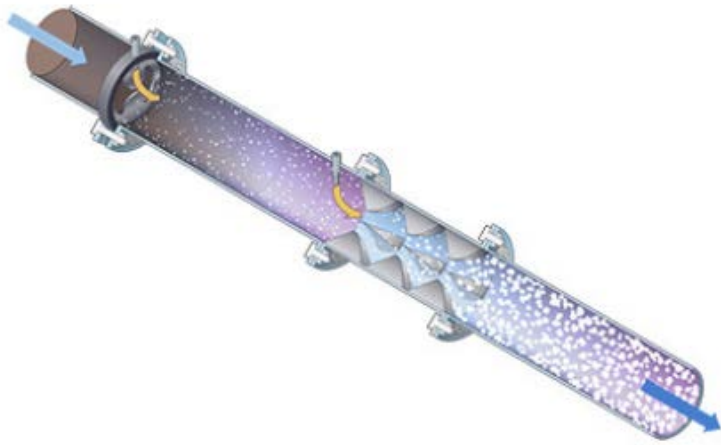
β



γ

## Στατικός αναμείκτης (για κροκίδωση)

- α. Αρχή λειτουργίας
- β. Στατικός αναμείκτης (τομή
- γ. Σωληνωτός στατικός αναμείκτης



α



β



γ

## Συστήματα κατακρήμνισης

- α. Σύστημα παρασκευής διαλύματος πολυηλεκτρολύτη από κονιορτοποιημένη πρώτη ύλη
- β. Δοχείο κατακρήμνισης: κροκίδωση (αριστερά) – συσσωματωση (δεξιά)



# Τύποι δοχείων συσσωμάτωσης



Κάθετων πτερυγίων

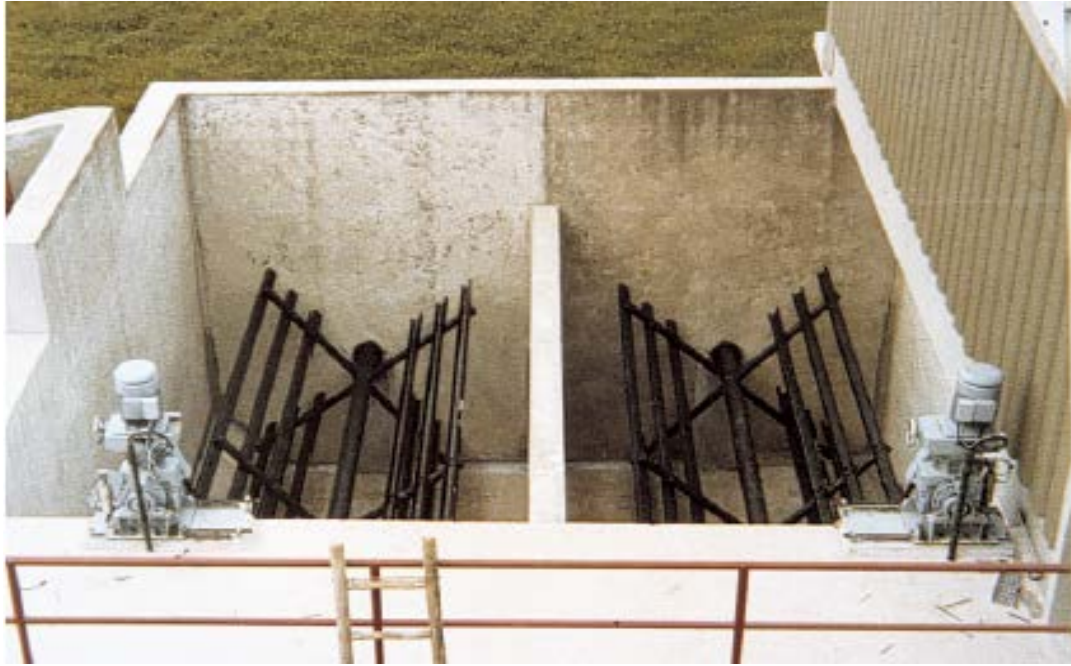


Οριζόντιων πτερυγίων



Προπέλας

# Συσσωμάτωση



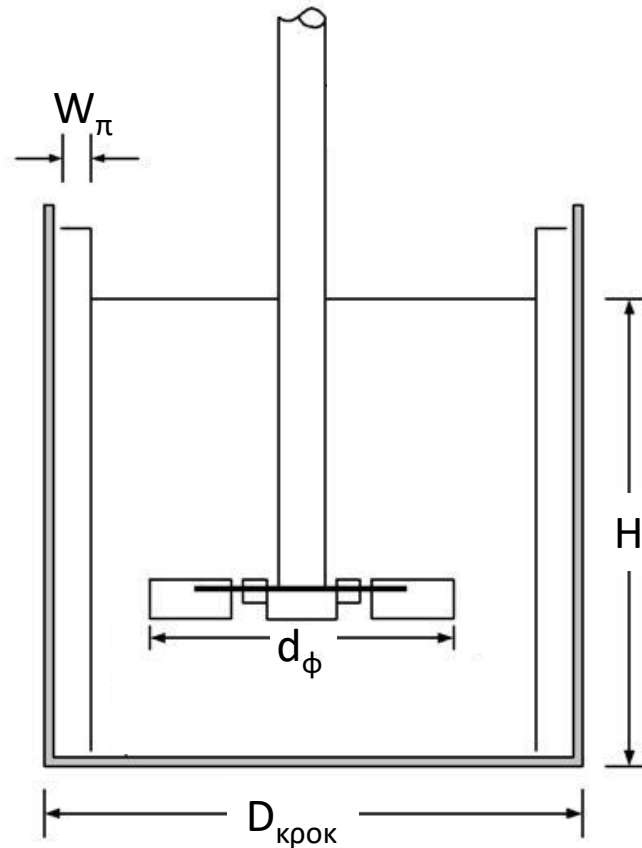
Μηχανικός συσσωματωτής  
οριζόντιων πτερυγίων



Υδραυλικός συσσωματωτής

# Σχεδιασμός Δεξαμενής Κροκίδωσης (1/7)

Επιλέγεται κυλινδρική δεξαμενή κροκίδωσης, με διάμετρο ( $D_{\text{κροκ}}$ ) ίση με το ύψος ( $H$ ) της δεξαμενής. Διάμετρο φτερωτής ( $d_{\phi}$ ) ίση με το 1/3 της διαμέτρου του δοχείου, και 4 πλευρικά πτερύγια με πλάτος ( $W_{\pi}$ ) ίσο με 1/10 της διαμέτρου του δοχείου.



# Σχεδιασμός Δεξαμενής Κροκίδωσης (2/7)

Το κροκιδωτικό και το απόβλητο έρχονται σε επαφή σε συνθήκες έντονης ανάμειξης.

Τυπικός υδραυλικός χρόνος παραμονής ( $\tau$ ): 1-2 min

Τυπική βαθμίδα ταχύτητας ( $G$ ): 700-1000  $s^{-1}$ .

Για συνθήκες ταχείας ανάδευσης ισχύει:  $\tau < 30 \text{ sec} \rightarrow 300 < G < 1000 \text{ s}^{-1}$ ,  $\tau \approx 1 \text{ sec} \rightarrow 3000 < G < 5000 \text{ s}^{-1}$

**Πίνακας 1:** Τιμές Σχεδιαστικών παραμέτρων κροκίδωσης-συσσωμάτωσης-καθίζησης

| Σχεδιαστική<br>Παράμετρος | Κροκίδωση         | Συσσωμάτωση        | Καθίζηση     |
|---------------------------|-------------------|--------------------|--------------|
| $G$                       | 700-1000 $s^{-1}$ | 25-65 $s^{-1}$     | <10 $s^{-1}$ |
| $G \cdot \tau$            | -                 | $\sim 10^4 - 10^5$ |              |
| $\tau$                    | 1-2 min           | 15-60 min          | 50-100 min   |

# Σχεδιασμός Δεξαμενής Κροκίδωσης (3/7)

Ως παροχή του συστήματος κροκίδωσης λαμβάνεται η ημερήσια παροχή επαναχρησιμοποίησης ( $Q_{\text{επαν}}$ ), η οποία πρέπει να είναι μικρότερη της μέσης παροχής στην είσοδο της ΕΕΛ. Σ

Το σύστημα ανάκτησης νερού σχεδιάζεται για σταθερή παροχή =  $Q_{\text{επαν}}$ .

Ο χρόνος παραμονής ( $\tau$ ) στο σύστημα κροκίδωσης και η βαθμίδα ταχύτητας επιλέγονται από τον Πίνακα 1.

Ο όγκος της δεξαμενής κροκίδωσης ( $V_{\text{κροκ}}$ ) προκύπτει από την εξίσωση:

$$V_{\text{κροκ}} = Q_{\text{επαν}} \cdot \tau$$

Το ύψος της δεξαμενής ( $H_{\text{κροκ}}$ ) είναι ίσο με τη διάμετρο της δεξαμενής ( $D_{\text{κροκ}}$ ). Επίσης, η διάμετρος της δεξαμενής είναι τριπλάσια της διαμέτρου της φτερωτής του αναδευτήρα ( $d_{\phi}$ ).

$$H_{\text{κροκ}} = D_{\text{κροκ}} = 3 \cdot d_{\phi}$$

Η επιφάνεια ( $A_{\text{κροκ}}$ ) της δεξαμενής υπολογίζεται ως εξής:

$$A_{\text{κροκ}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{κροκ}}^2}{4}$$

Βάσει των δύο παραπάνω εξισώσεων, η διάμετρος ( $D_{\text{κροκ}}$ ) και κατά αντιστοιχία το ύψος ( $H_{\text{κροκ}}$ ) υπολογίζονται:

$$D_{\text{κροκ}} = \frac{V_{\text{κροκ}}}{\frac{\pi \cdot D_{\text{κροκ}}^2}{4}} \Rightarrow D_{\text{κροκ}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_{\text{κροκ}}}{\pi}}$$

# Σχεδιασμός Δεξαμενής Κροκίδωσης (4/7)

Βάσει της διαμέτρου  $D_{\text{κροκ}}$ , μπορεί να γίνει υπολογισμός της διαμέτρου φτερωτής του αναδευτήρα ( $d_\phi$ ):

$$d_\phi = \frac{D_{\text{κροκ}}}{3}$$

Η ισχύς του συστήματος ανάδευσης δίνεται από την εξίσωση:

$$P = G^2 \cdot V_{\text{κροκ}} \cdot \mu$$

Όπου,

- $P$  = Ισχύς, Watt
- $G$  = Βαθμίδα ταχύτητας,  $s^{-1}$
- $V$  = Όγκος της δεξαμενής κροκίδωσης,  $m^3$
- $\mu$  = Δυναμικό ιξώδες του αποβλήτου:  $1,005 \cdot 10^{-3} \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$

# Σχεδιασμός Δεξαμενής Κροκίδωσης (5/7)

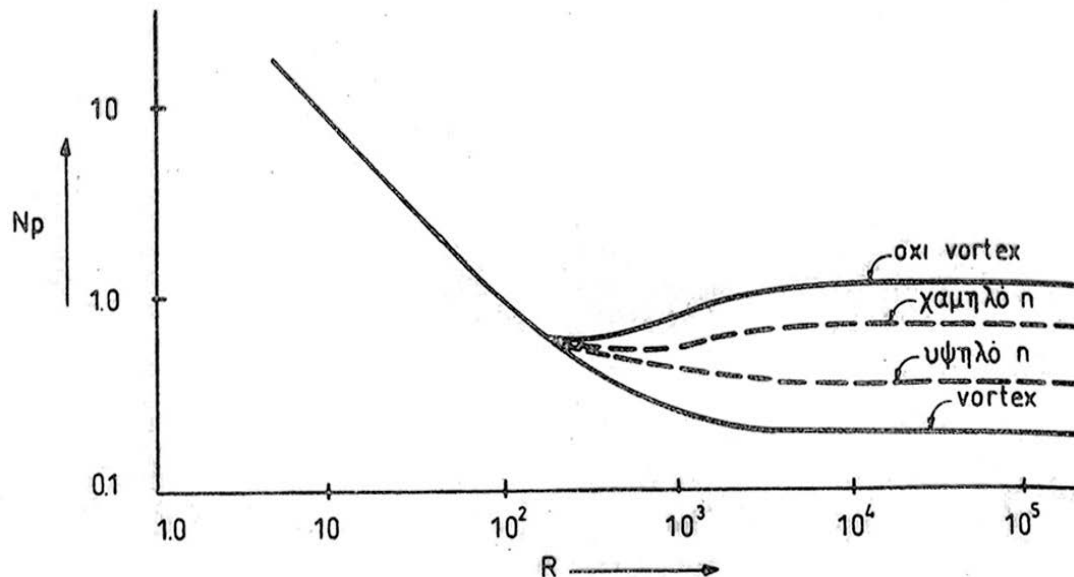
Για τυρβώδη ροή η ισχύς διέπεται από τη σχέση:

$$P = N_p \cdot \rho \cdot n^3 \cdot d_\phi^5$$

Όπου,

- $P$  = Ισχύς, Watt
- $d_\phi$  = Διάμετρος της φτερωτής του αναδευτήρα, m
- $n$  = Αριθμός των στροφών του αναδευτήρα, σε rps
- $\rho$  = Πυκνότητα του αποβλήτου:  $1000 \text{ kg m}^{-3}$
- $N_p$  = Αριθμός ισχύος της φτερωτής του αναδευτήρα,  $2 \leq N_p \leq 5$  (για συνήθεις φτερωτές  $3,5 \leq N_p \leq 4,0$ )

Ο αριθμός ισχύος της φτερωτής συσχετίζεται με τον αριθμό Reynolds σύμφωνα με το διάγραμμα:



# Σχεδιασμός Δεξαμενής Κροκίδωσης (6/7)

Λύνοντας τις δύο παραπάνω εξισώσεις της Ισχύος του αναδευτήρα υπολογίζεται ο ρυθμός περιστροφής  $n$ :

$$n = \sqrt[3]{\frac{G^2 \cdot V_{\kappa\rho\omicron\kappa} \cdot \mu}{N_p \cdot \rho \cdot d_\phi^5}}$$

Με βάση το ρυθμό περιστροφής  $n$ , υπολογίζεται η ισχύς του αναδευτήρα  $P$ :

$$P = N_p \cdot \rho \cdot n^3 \cdot d_\phi^5$$

Για την επαλήθευση του σωστού υπολογισμού αριθμού περιστροφών, προκειμένου να υπάρχουν συνθήκες ταχείας ανάδευσης, γίνεται υπολογισμός του αριθμού Reynolds. Θα πρέπει  $Re > 10^4$ .

$$Re = \frac{d_\phi^2 \cdot n \cdot \rho}{\mu}$$

Όπου,

- $d_\phi$  = Διάμετρος φτερωτής του αναδευτήρα, m
- $n$  = Αριθμός των στροφών του αναδευτήρα, rps
- $\rho$  = Πυκνότητα του αποβλήτου,  $\text{kg m}^{-3}$
- $\mu$  = Δυναμικό ιξώδες του αποβλήτου:  $1,005 \cdot 10^{-3} \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$

Για τιμές του  $Re > 10^4$ , η ροή θεωρείται τυρβώδης και για  $Re < 10$  θεωρείται γραμμική.

# Σχεδιασμός Δεξαμενής Κροκίδωσης (7/7)

## Απαίτηση σε κροκιδωτικό

Για την κροκίδωση των λυμάτων επιλέγεται Χλωριούχο Πολυαργύλιο (Polyaluminum Chloride, PAC), με περιεκτικότητα 17%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , το οποίο δρα ως κροκιδωτικό. Το εύρος δόσης του  $\text{Al}_2\text{O}_3$  είναι 10-20  $\text{mg L}^{-1}$ .

# Παράδειγμα Σχεδιασμού Δ. Κροκίδωσης (1/4)

Να σχεδιάσετε τη Δεξαμενή Κροκίδωσης για παροχή επαναχρησιμοποίησης  $Q_{\text{επαν}} = 5000 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$  και να υπολογίσετε την μηνιαία κατανάλωση κροκιδωτικού:

Θεωρείται:

Χρόνος παραμονής  $\tau = 1,5 \text{ min}$ , βαθμίδα ταχύτητας  $G = 850 \text{ s}^{-1}$ , δυναμικό ιξώδες  $\mu = 1,005 \cdot 10^{-3} \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ , αριθμός ισχύος της φτερωτής ανάδευσης  $N_p = 3,5$ , πυκνότητα του αποβλήτου  $\rho = 1000 \text{ kg m}^{-3}$ , δόση PAC (ως  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) =  $15 \text{ mg L}^{-1}$ .

Ο όγκος της δεξαμενής κροκίδωσης είναι ίσος με:

$$V_{\text{κροκ}} = Q_{\text{επαν}} \cdot \tau \Rightarrow V_{\text{κροκ}} = \frac{5000 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}}{1440 \frac{\text{min}}{\text{d}}} \cdot 1,5 \text{ min} = 5,21 \text{ m}^3$$

Η διάμετρος της δεξαμενής είναι:

$$D_{\text{κροκ}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_{\text{κροκ}}}{\pi}} \Rightarrow D_{\text{κροκ}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 5,21 \text{ m}^3}{\pi}} = 1,88 \text{ m} = H_{\text{κροκ}}$$

Η επιφάνεια της δεξαμενής υπολογίζεται ως εξής:

$$A_{\text{κροκ}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{κροκ}}^2}{4} \Rightarrow A_{\text{κροκ}} = \frac{\pi \cdot (1,88 \text{ m})^2}{4} = 2,78 \text{ m}^2$$

# Παράδειγμα Σχεδιασμού Δ. Κροκίδωσης (2/4)

Η διάμετρος φτερωτής του αναδευτήρα δίνεται από την εξίσωση:

$$d_{\varphi} = \frac{D_{\kappa\rho\omicron\kappa}}{3} \Rightarrow d_{\varphi} = \frac{1,88 \text{ m}}{3} = 0,63 \text{ m}$$

Οτο πλάτος των πλευρικών πτερυγίων:  $W_{\pi} = 0,1 \cdot D_{\kappa\rho\omicron\kappa} = 0,19 \text{ m}$ . Πλήθος πτερυγίων = 4.

Ο ρυθμός περιστροφής  $n$ :

$$n = \sqrt[3]{\frac{G^2 \cdot V_{\kappa\rho\omicron\kappa} \cdot \mu}{N_{\rho} \cdot \rho \cdot d_{\varphi}^5}} \Rightarrow n = \sqrt[3]{\frac{(850 \text{ s}^{-1})^2 \cdot 5,21 \text{ m}^3 \cdot 1,005 \cdot 10^{-3} \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}}{3,5 \cdot 1000 \text{ kg m}^{-3} \cdot (0,63 \text{ m})^5}} = 2,22 \text{ s}^{-1} \text{ (rps)} \text{ ή } 133,2 \text{ rpm}$$

Η ισχύς  $P$  του κινητήρα υπολογίζεται ως εξής:

$$P = N_{\rho} \cdot \rho \cdot n^3 \cdot d_{\varphi}^5 \Rightarrow P = 3,5 \cdot 1000 \text{ kg m}^{-3} \cdot (2,22 \text{ s}^{-1})^3 \cdot (0,63 \text{ m})^5 = 3800,4 \text{ W} = 3,8 \text{ kW}$$

Τέλος, υπολογίζεται ο αριθμός Reynolds, έτσι ώστε να επαληθευτεί αν η τιμή του είναι  $>10^4$ :

$$Re = \frac{d_{\varphi}^2 \cdot n \cdot \rho}{\mu} \Rightarrow Re = \frac{(0,63 \text{ m})^2 \cdot 2,22 \text{ s}^{-1} \cdot 1000 \text{ kg m}^{-3}}{1,005 \cdot 10^{-3} \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}} = 876734 > 10^4 \quad \underline{\text{Αποδεκτό}}$$

# Παράδειγμα Σχεδιασμού Δ. Κροκίδωσης (3/4)

## Απαίτηση σε κροκιδωτικό

Για την κροκίδωση των λυμάτων, επιλέγεται Χλωριούχο Πολυαργύλιο (Polyaluminum Chloride, PAC), με περιεκτικότητα 17%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Αρχικά υπολογίζεται η απαιτούμενη μαζική παροχή του  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , με βάση την  $Q_{\text{επαν}}$ :

$$M_{\text{Al}_2\text{O}_3} = \text{Δόση } \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot Q_{\text{επαν}} \Rightarrow M_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 15 \text{ mg } L^{-1} \frac{10^3 L}{m^3} \frac{1 \text{ kg}}{10^6 \text{ mg}} \cdot 5000 \text{ m}^3 d^{-1} = 75 \text{ kg } d^{-1}$$

Η ημερήσια απαίτηση σε PAC υπολογίζεται από μια απλή μέθοδο των τριών:

|                             |                                                                                                                                         |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Στα 100 kg PAC περιέχονται  | 17 kg $\text{Al}_2\text{O}_3$                                                                                                           |
| Στα x kg PAC περιέχονται    | 75 kg $\text{Al}_2\text{O}_3$                                                                                                           |
| <hr/>                       |                                                                                                                                         |
| Οι απαιτήσεις σε PAC είναι: | $\frac{75 \text{ kg } \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 100 \text{ kg PAC}}{17 \text{ kg } \text{Al}_2\text{O}_3} = 441,2 \text{ kg } d^{-1}$ |

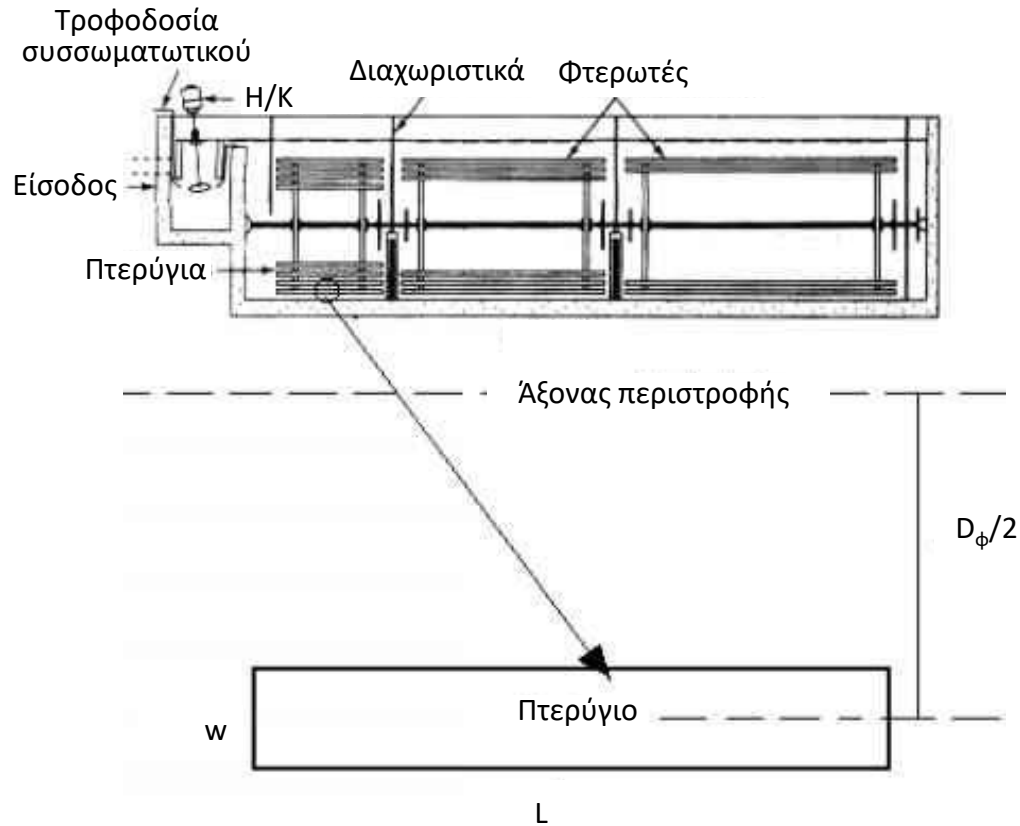
Η μηνιαία απαίτηση σε PAC υπολογίζεται σε: 13,2 ton

# Παράδειγμα Σχεδιασμού Δ. Κροκίδωσης (4/4)

| Χαρακτηριστικά Δεξαμενής Κροκίδωσης       |                                  |
|-------------------------------------------|----------------------------------|
| Παροχή επαναχρησιμοποίησης ( $Q_{επαν}$ ) | $5000 \text{ m}^3 \text{d}^{-1}$ |
| Ύψος (H)                                  | $1,88 \text{ m}$                 |
| Διάμετρος (D)                             | $1,88 \text{ m}$                 |
| Επιφάνεια (A)                             | $2,78 \text{ m}^2$               |
| Όγκος (V)                                 | $5,21 \text{ m}^3$               |
| Αριθμός περιστροφών αναδευτήρα (n)        | 2,22 rpsή 133,2 rpm              |
| Ισχύς αναδευτήρα (P)                      | 3,8 kW                           |
| Διαστάσεις φτερωτής & πτερυγίων           |                                  |
| Διάμετρος ( $d_\phi$ )                    | $0,63 \text{ m}$                 |
| Πλάτος πτερυγίων                          | $0,19 \text{ m}$                 |
| Μηνιαία απαίτηση σε κροκιδωτικό           |                                  |
| PAC                                       | $13,2 \text{ ton/month}$         |

# Σχεδιασμός Δεξαμενής Συσσωμάτωσης (1/3)

Σχεδιάζουμε σειρά (2 ή 3) ορθγωνικών δεξαμενών με οριζόντια πτερύγια.



# Σχεδιασμός Δεξαμενής Συσσωμάτωσης (2/3)

Συνήθως οι δεξαμενές συσσωμάτωσης απαρτίζονται από έναν αριθμό δεξαμενών πλήρους ανάμιξης (CSTR) εν σειρά. Σε κάθε δεξαμενή υπάρχει ανάδευση, συχνά μάλιστα με ελαττούμενο  $G$  (π.χ. 3 δεξαμενές με  $G_1 = 50 \text{ s}^{-1}$ ,  $G_2 = 40 \text{ s}^{-1}$  και  $G_3 = 30 \text{ s}^{-1}$ ). Οι δεξαμενές συνήθως έχουν τον ίδιο όγκο, ο οποίος υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$V_{\text{συσσ}} = \tau_{\text{συσσ}} \cdot Q_{\text{επαν}}$$

Οι τυπικές τιμές των  $G$  και  $\tau$  δίνονται στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 1:** Τιμές Σχεδιαστικών παραμέτρων κροκίδωσης-συσσωμάτωσης-καθίζησης

| Σχεδιαστική<br>Παράμετρος | Κροκίδωση                | Συσσωμάτωση           | Καθίζηση            |
|---------------------------|--------------------------|-----------------------|---------------------|
| $G$                       | 700-1000 $\text{s}^{-1}$ | 25-65 $\text{s}^{-1}$ | <10 $\text{s}^{-1}$ |
| $G \cdot \tau$            | -                        | $\sim 10^4 - 10^5$    |                     |
| $\tau$                    | 1-2 min                  | 15-60 min             | 50-100 min          |

# Σχεδιασμός Δεξαμενής Συσσωμάτωσης (3/3)

Η απαίτηση σε ισχύ υπολογίζεται από τη σχέση:

$$P = \frac{C_D \cdot A_p \cdot \rho \cdot U_p^3}{2}$$

Όπου,

- $P$  = η ισχύς σε Watt
- $C_D$  = ο συντελεστής οπισθέλκουσας (Drag Coefficient), αδιάστατος. Για επίπεδα πτερύγια  $C_D=1,8$
- $A_p$  = η επιφάνεια πτερυγίου,  $m^2$
- $\rho$  = η πυκνότητα του αποβλήτου,  $1000 \text{ kg m}^{-3}$
- $U_p$  = η γραμμική ταχύτητα του άκρου του πτερυγίου σε σχέση με το νερό. Κυμαίνεται από 50-75% της πραγματικής γραμμικής ταχύτητας του άκρου του πτερυγίου.
- $V$  = ο όγκος του νερού που υφίσταται ανάδευση,  $m^3$
- $\mu$  = το δυναμικό ιξώδες του αποβλήτου σε θερμοκρασία  $T \text{ } ^\circ\text{C}$ ,  $\text{kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$

Επίσης, η ισχύς του αναδευτήρα υπολογίζεται και από την εξίσωση:

$$P = G^2 \cdot V \cdot \mu$$

Όπου,

- $P$  = η ισχύς, Watt
- $G$  = η βαθμίδα ταχύτητας,  $s^{-1}$
- $V$  = ο όγκος της δεξαμενής κροκίδωσης,  $m^3$
- $\mu$  = το δυναμικό ιξώδες του αποβλήτου:  $1,005 \cdot 10^{-3} \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$

# Παράδειγμα Σχεδιασμού Δ. Συσσωμάτωσης (1/5)

Να διαστασιολογήσετε Δεξαμενή Συσσωμάτωσης, η οποία αποτελείται από δύο δεξαμενές σε σειρά, για την επεξεργασία δευτεροβάθμιας εκροής μετά από κροκίδωση, με παροχή:  $5.000 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ .

Θεωρούμαι: Θερμοκρασία σχεδιασμού  $20^\circ\text{C}$ .

Βαθμίδα ταχύτητας ανά δεξαμενή  $G_1=40 \text{ s}^{-1}$ ,  $G_2=30 \text{ s}^{-1}$  και  $G \cdot t = 2 \cdot 10^4$ .

Ταχύτητα πτερυγίου στην πρώτη και δεύτερη δεξαμενή είναι:  $0,60 \text{ m s}^{-1}$  και  $0,50 \text{ m s}^{-1}$  αντίστοιχα.

Κάθε δεξαμενή είναι παραλληλεπίπεδη ορθογωνικής διατομής με ύψος  $2 \text{ m}$  και πλάτος  $2,5 \text{ m}$ .

Η κάθε φτερωτή φέρει 4 πτερύγια και έχει διάμετρο  $1,25 \text{ m}$ .

Ο συνολικός χρόνος παραμονής του αποβλήτου στις δεξαμενές συσσωμάτωσης υπολογίζεται ως:

$$\tau = \frac{G \cdot t}{G} \Rightarrow \tau = \frac{2 \cdot 10^4}{30 \frac{1}{\text{s}} \cdot \frac{60 \text{s}}{\text{min}}} = 11,1 \text{ min}$$

# Παράδειγμα Σχεδιασμού Δ. Συσσωμάτωσης (2/5)

Ο συνολικός όγκος των δεξαμενών συσσωμάτωσης ( $V_{\text{συσσ}}$ ) είναι:

$$V_{\text{συσσ}} = \tau_{\text{συσσ}} \cdot Q_{\text{επαν}} \Rightarrow V_{\text{συσσ}} = 11,1 \text{ min} \frac{1 \text{ d}}{1440 \text{ min}} \cdot 5000 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1} \approx 40 \text{ m}^3$$

Για δύο δεξαμενές, ισχύει  $V_{\Delta}=20 \text{ m}^3$ . Για διαστάσεις  $W \cdot H = 2,5 \text{ m} \cdot 2 \text{ m}$  προκύπτει,  $L=4 \text{ m}$

Η απαίτηση σε ισχύ σε κάθε δεξαμενή δίνεται από την εξίσωση:

Για την 1<sup>η</sup> δεξαμενή:

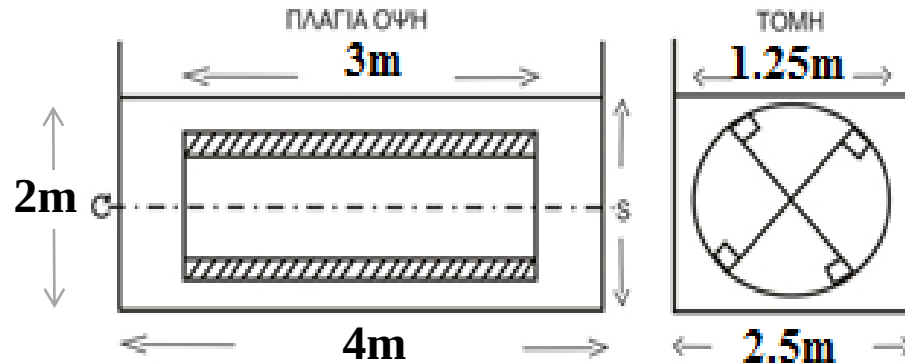
$$P_1 = G_1^2 \cdot V_1 \cdot \mu \Rightarrow P_1 = (40 \text{ s}^{-1})^2 \cdot 20 \text{ m}^3 \cdot 1,005 \cdot 10^{-3} \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1} = 32 \text{ W}$$

Για την 2<sup>η</sup> δεξαμενή:

$$P_2 = G_2^2 \cdot V_2 \cdot \mu \Rightarrow P_2 = (30 \text{ s}^{-1})^2 \cdot 20 \text{ m}^3 \cdot 1,005 \cdot 10^{-3} \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1} = 18 \text{ W}$$

# Παράδειγμα Σχεδιασμού Δ. Συσσωμάτωσης (3/5)

Θεωρούμε ότι ο άξονας περιστροφής κάθε φτερωτής έχει 4 πτερύγια μήκους 3 m και πλάτους  $w_\phi$ .



Για την 1<sup>η</sup> δεξαμενή:

Η ταχύτητα του νερού στο άκρο του πτερυγίου, θεωρείται ως το 75% της πραγματικής γραμμικής ταχύτητας του πτερυγίου σε αυτό το σημείο, άρα:

$$U_{P1} = 0,60 \text{ m s}^{-1} \cdot 0,75 = 0,45 \text{ m s}^{-1}$$

$$U_{P2} = 0,50 \text{ m s}^{-1} \cdot 0,75 = 0,375 \text{ m s}^{-1}$$

Για τη συνολική επιφάνεια πτερυγίων ( $A_p$ ) στην κάθε φτερωτή ισχύει:  $A_p = 4 \cdot L \cdot w$

Το πλάτος των πτερυγίων στην 1<sup>η</sup> δεξαμενή υπολογίζεται ως:

$$P_1 = \frac{C_D \cdot A_{P1} \cdot \rho \cdot U_{P1}^3}{2} \Rightarrow 32 \text{ W} = \frac{1,8 \cdot (4 \cdot 3 \text{ m}^2) \cdot 1000 \text{ kg m}^{-3} \cdot (0,45 \text{ m s}^{-1})^3}{2}$$
$$\Rightarrow w = 0,03 \text{ m} = 3 \text{ cm}$$

# Παράδειγμα Σχεδιασμού Δ. Συσσωμάτωσης (4/5)

Η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής της φτερωτής στην 1<sup>η</sup> υπολογίζεται ως:

$$U_{P1} = \omega_1 \cdot R \Rightarrow 0,45 \text{ m s}^{-1} = \omega_1 \cdot \frac{1,25}{2} \cdot \frac{2\pi}{\text{στροφη}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60\text{s}} \Rightarrow \omega_1 = 6,9 \text{ rpm}$$

Το πλάτος των περυγίων στην 2<sup>η</sup> δεξαμενή υπολογίζεται ως:

$$P_2 = \frac{C_D \cdot A_{P2} \cdot \rho \cdot U_{P2}^3}{2} \Rightarrow 18 \text{ W} = \frac{1,8 \cdot (4 \cdot 3 \text{ w m}^2) \cdot 1000 \text{ kg m}^{-3} \cdot (0,375 \text{ m s}^{-1})^3}{2}$$
$$\Rightarrow w = 0,032 \text{ m} = 3,2 \text{ cm}$$

Η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής της φτερωτής στην 2<sup>η</sup> δεξαμενή υπολογίζεται ως:

$$U_{P2} = \omega_2 \cdot R \Rightarrow 0,375 \text{ m s}^{-1} = \omega_2 \cdot \frac{1,25}{2} \cdot \frac{2\pi}{\text{στροφη}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60\text{s}} \Rightarrow \omega_2 = 5,7 \text{ rpm}$$

# Παράδειγμα Σχεδιασμού Δ. Συσσωμάτωσης (5/5)

| <b>Χαρακτηριστικά Δεξαμενής Συσσωμάτωσης</b>                                 |                                     |
|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Παροχή επαναχρησιμοποίησης ( $Q_{\text{επαν}}$ )                             | 5000 m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup> |
| Ύψος (H)                                                                     | 2,0 m                               |
| Πλάτος (W)                                                                   | 2,5 m                               |
| Μήκος (L)                                                                    | 4,0 m                               |
| Όγκος (V)                                                                    | 20 m <sup>3</sup>                   |
| Αριθμός δεξαμενών                                                            | 2                                   |
| Ισχύς αναδευτήρα 1 <sup>ης</sup> δεξαμενής ( $P_1$ )                         | 32 W                                |
| Ισχύς αναδευτήρα 2 <sup>ης</sup> δεξαμενής ( $P_2$ )                         | 18 W                                |
| <b>Διαστάσεις πτερυγίων</b>                                                  |                                     |
| Διάμετρος Φτερωτής                                                           | 1,25 m                              |
| Αριθμός πτερυγίων ανά φτερωτή                                                | 4                                   |
| Μήκος πτερυγίων 1 <sup>ης</sup> και 2 <sup>ης</sup> δεξαμενής ( $L_{\Phi}$ ) | 3 m                                 |
| Πλάτος πτερυγίου 1 <sup>ης</sup> δεξαμενής ( $w_{\Phi 1}$ )                  | 3 cm                                |
| Πλάτος πτερυγίου 2 <sup>ης</sup> δεξαμενής ( $w_{\Phi 2}$ )                  | 3,2 cm                              |