

Αερισμός του βιοαντιδραστήρα σε συστήματα ενεργού ιλύος

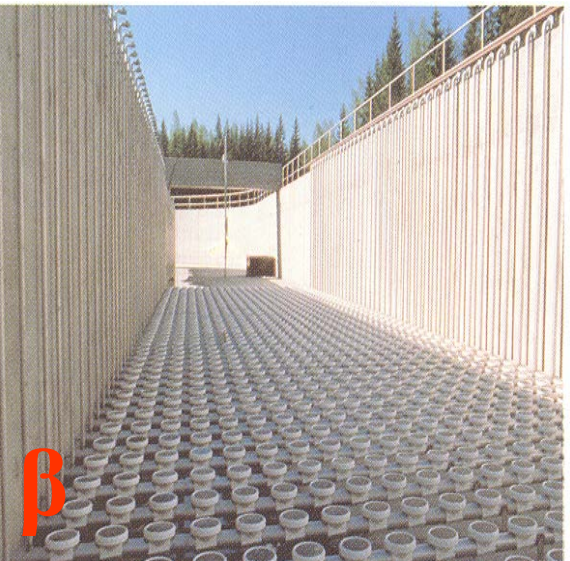
ΑΕΡΙΣΜΟΣ: Η διεργασία μεταφοράς ατμοσφαιρικού οξυγόνου στην Δεξαμενή Αερισμού (ΔΑ), για κατανάλωση από την ενεργό ιλύ. Το οξυγόνο χρησιμοποιείται τόσο για την οξείδωση των οργανικών ουσιών και των αμμωνιακών (NH_4^+), όσο και αντιδράσεις ενδογενούς αναπνοής των μικροοργανισμών.

Τα συστήματα αερισμού διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- Αεριστήρες διάχυσης
- Μηχανικοί αεριστήρες

Αεριστήρες διάχυσης

- α. Διαχυτήρας φυσαλίδων με εκτατή μεμβράνη πολυαιθυλαινίου σε λειτουργία
- β. Κάναβος διαχυτήρων φυσαλίδας εκτατής μεμβράνης (Ψυττάλεια)
- γ. Διαχυτήρας φυσαλίδων με κεραμικό δίσκο
- δ. Έκλυση φυσαλίδων σε διαχυτήρα με κεραμικό δίσκο

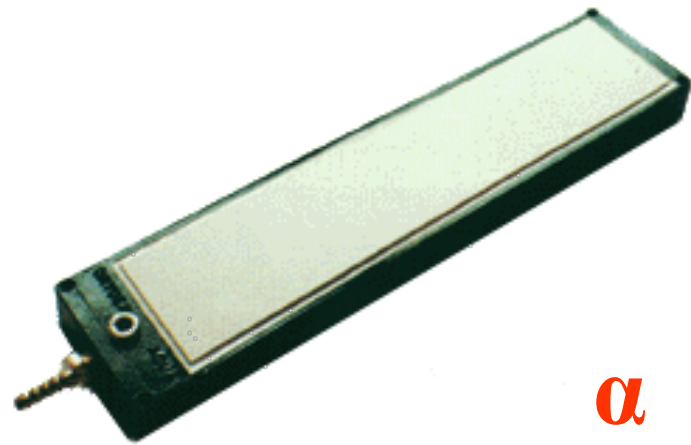


Κατανομή διαχυτήρων σε μικρή ΕΕΛ



Αεριστήρες διάχυσης

- α. Πλακοειδής αεριστήρας διάχυσης
- β. Έκλυση φυσαλίδων σε πλακοειδή αεριστήρα διάχυσης
- γ. Σωληνοειδείς αεριστήρες διάχυσης

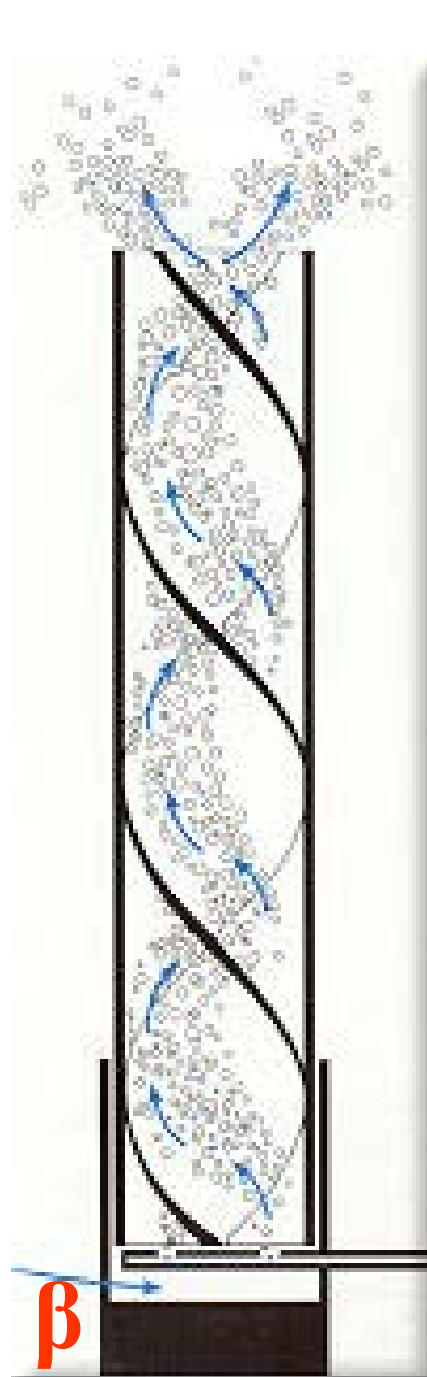


Αεριστήρες αδρών φυσαλίδων

- α. Στατικός σωληνωτός αεριστήρας αδρών φυσαλίδων
- β. Αρχή λειτουργίας του (α)
- γ. Αεριστήρας διάτρητων οριζόντιων σωλήνων, αδρών φυσαλίδων



α



β



γ

Ελαστικοί σωλήνες διάχυσης



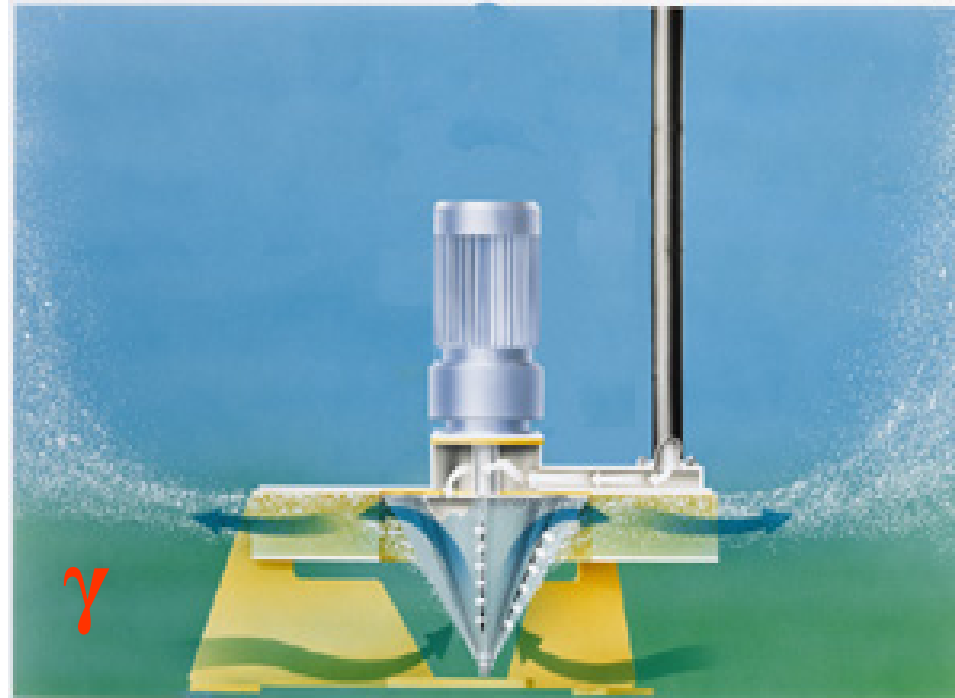
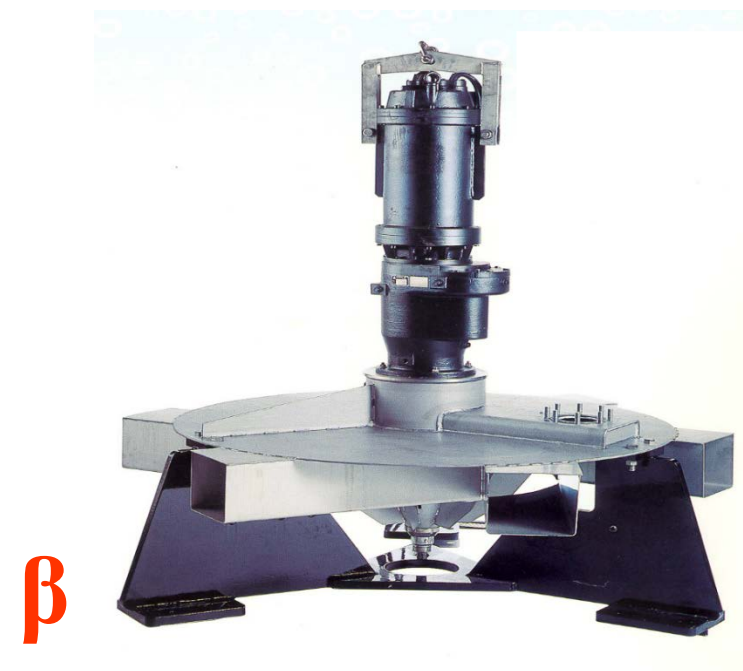
Επιφανειακοί αεριστήρες κατακόρυφου άξονα

- α. Επιπλέων επιφανειακός αεριστήρας κατακόρυφου άξονα σε άδεια δεξαμενή
- β. Ο ίδιος αεριστήρας (α) τοποθετημένος σε λιμνοδεξαμενή
- γ. Επιφανειακός αεριστήρας κατακόρυφου άξονα σε λειτουργία



Υποβρύχιοι αεριστήρες

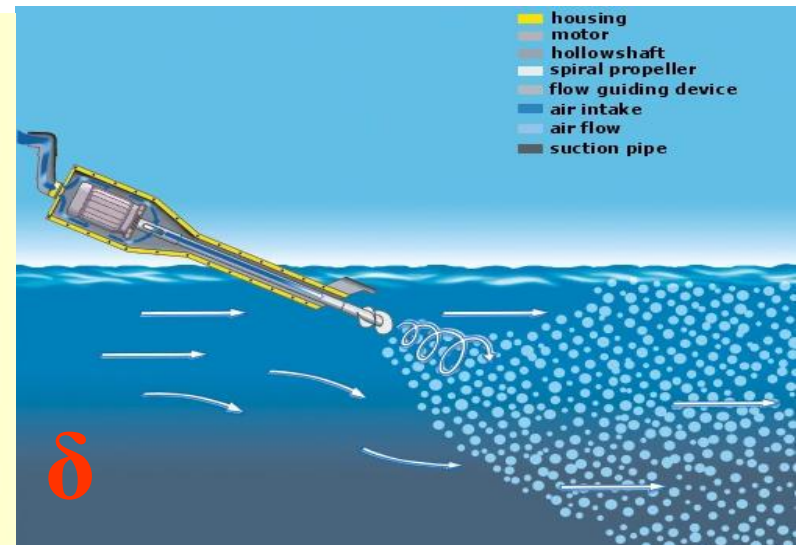
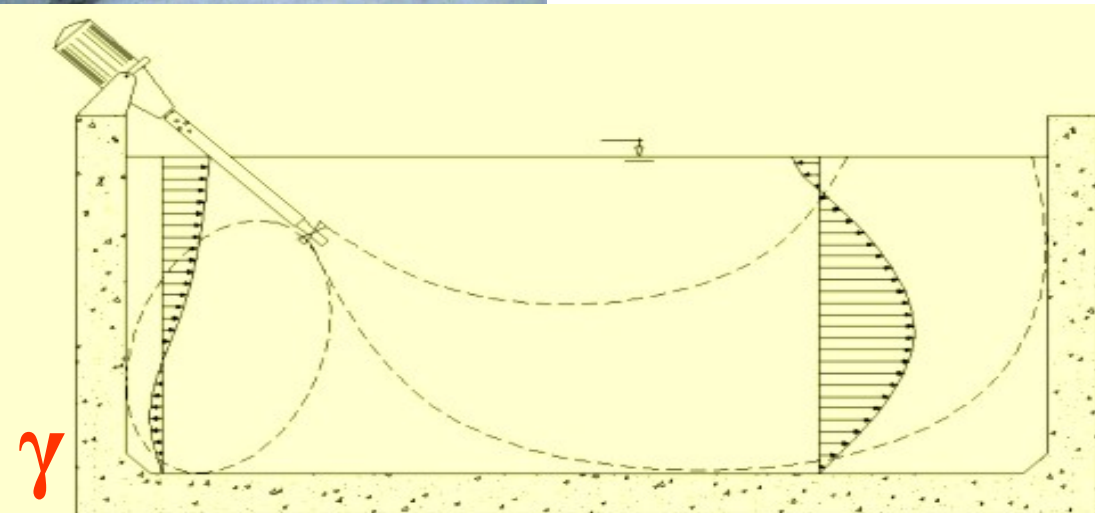
- α. Υποβρύχιοι αεριστήρες έτοιμοι προς τοποθέτηση.
Στο άνω δεξί μέρος τους διακρίνεται ο σωλήνας εισόδου του αέρα
- β. Υποβρύχιος αεριστήρας
- γ. Σχηματικό διάγραμμα λειτουργίας του υποβρύχιου αεριστήρα



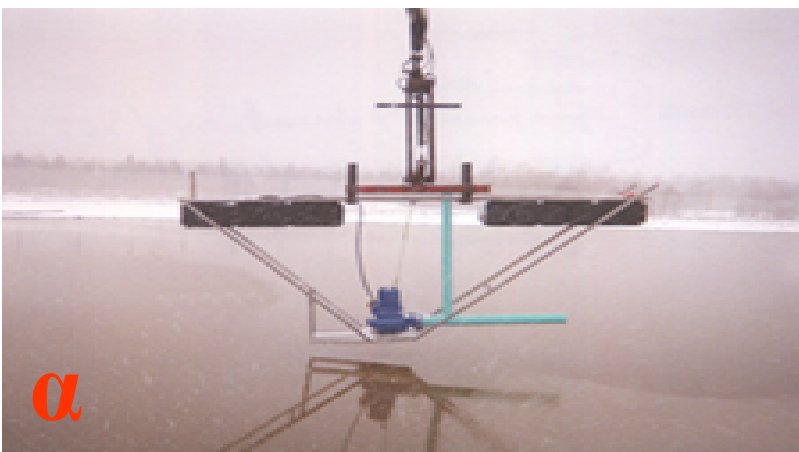


Αεριστήρας αναρρόφησης (Aspirating aerator)

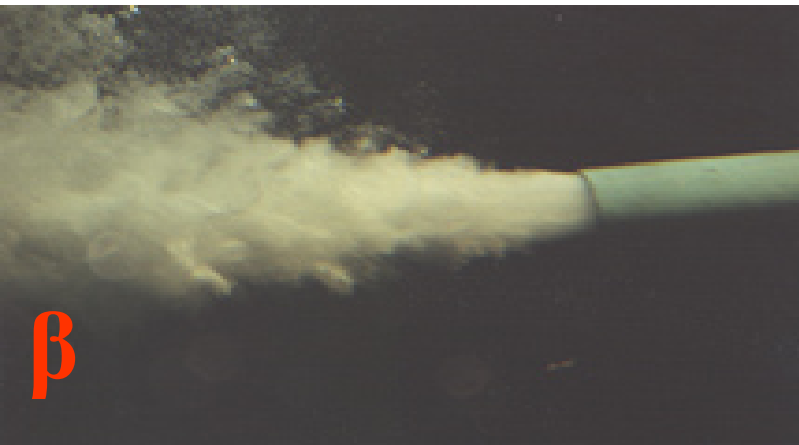
- α. Αεριστήρας αναρρόφησης σε λειτουργία
- β. Αεριστήρας αναρρόφησης
- γ. Προφίλ κατανομής ταχυτήτων ροής σε δεξαμενή
- δ. Σχηματικό διάγραμμα λειτουργίας του αεριστήρα αναρρόφησης



Αεριστήρες αεριορεύματος (Jet aerators)



- α. Τοποθέτηση αεριστήρα αεριορεύματος σε λιμνοδεξαμενή
- β. Λεπτομέρεια έκλυσης αέρα
- γ. Αερισμός δεξαμενής με συστοιχία αεριστήρων αεριορεύματος
- δ. Συστοιχία αεριστήρων αεριορεύματος σε κενή δεξαμενή



Επιφανειακός αεριστήρας με θόλο

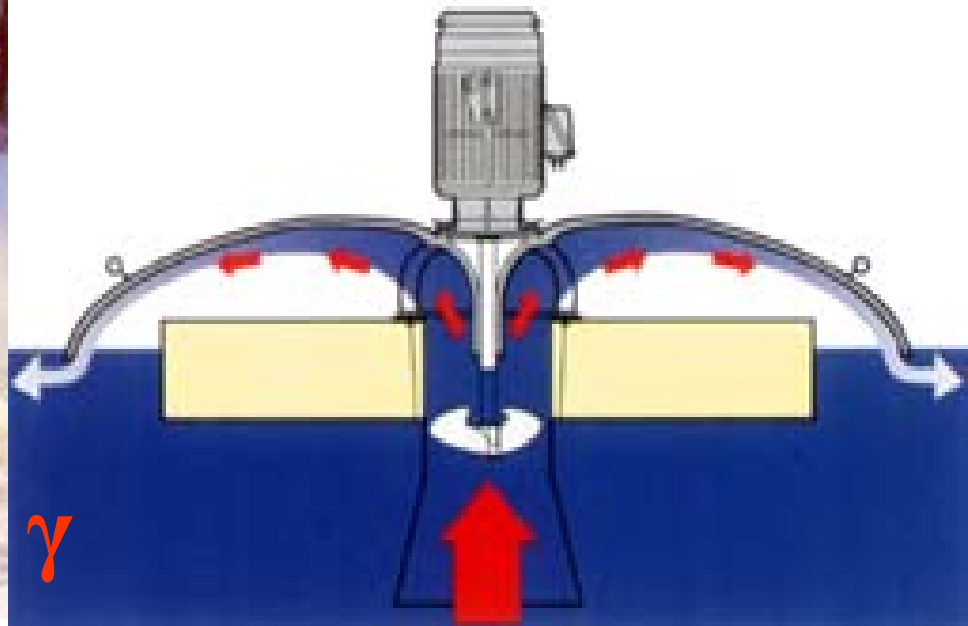
- α. Επιφανειακός αεριστήρας με θόλο σε λειτουργία
- β. Λειτουργία επιφανειακού αεριστήρα με θόλο σε συνθήκες παγετού
- γ. Σχηματικό διάγραμμα λειτουργίας



α



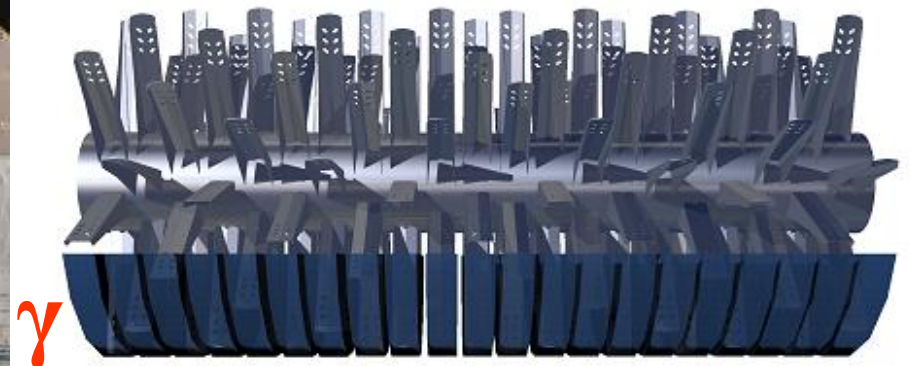
β



γ

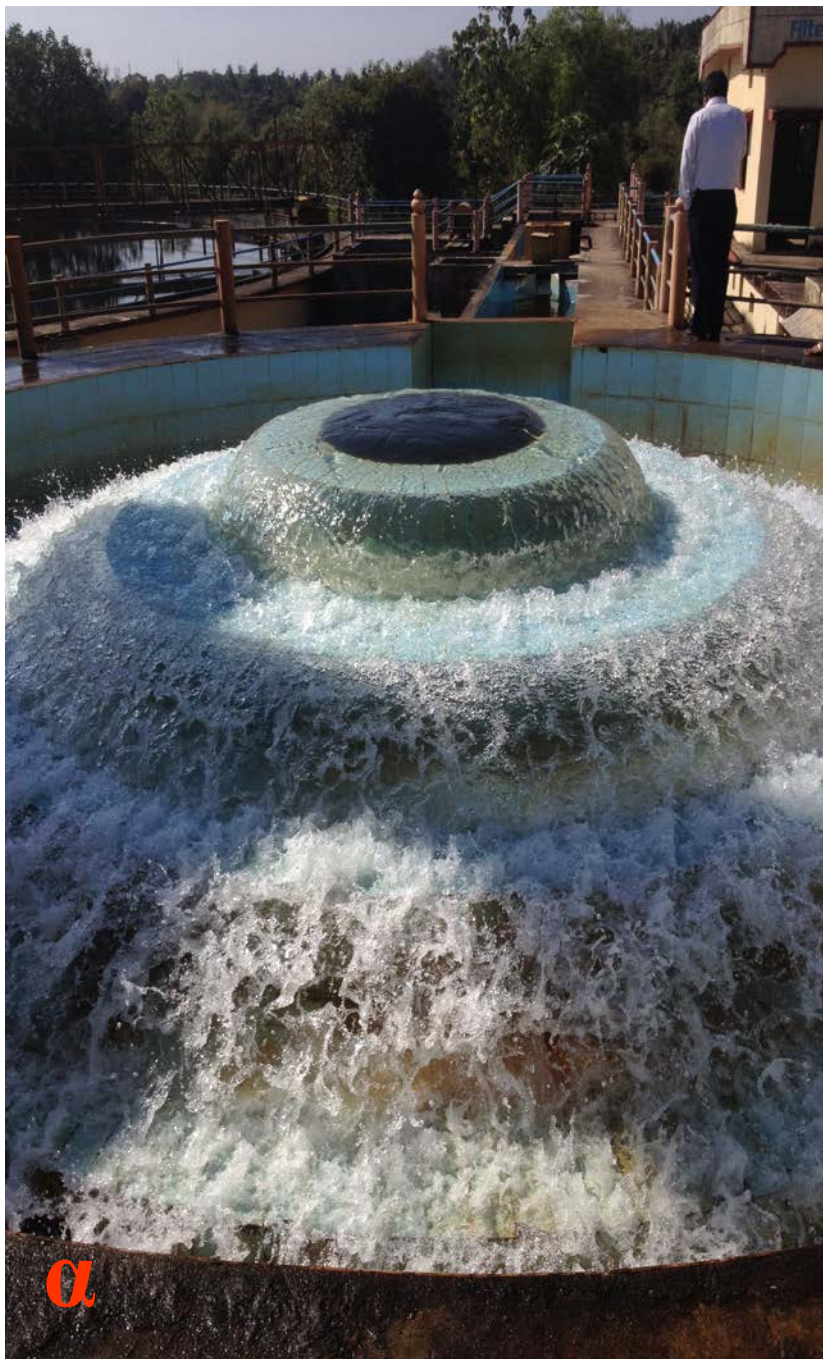
Επιφανειακός αεριστήρας οριζόντιας ροής (Brush aerator)

- α. Επιφανειακός αεριστήρας οριζόντιας ροής έτοιμος προς τοποθέτηση
- β. Επιφανειακός αεριστήρας οριζόντιας ροής σε λειτουργία επί συστήματος εμβολικής ροής
- γ. Λεπτομέρεια κατασκευής του συστήματος των ακίδων



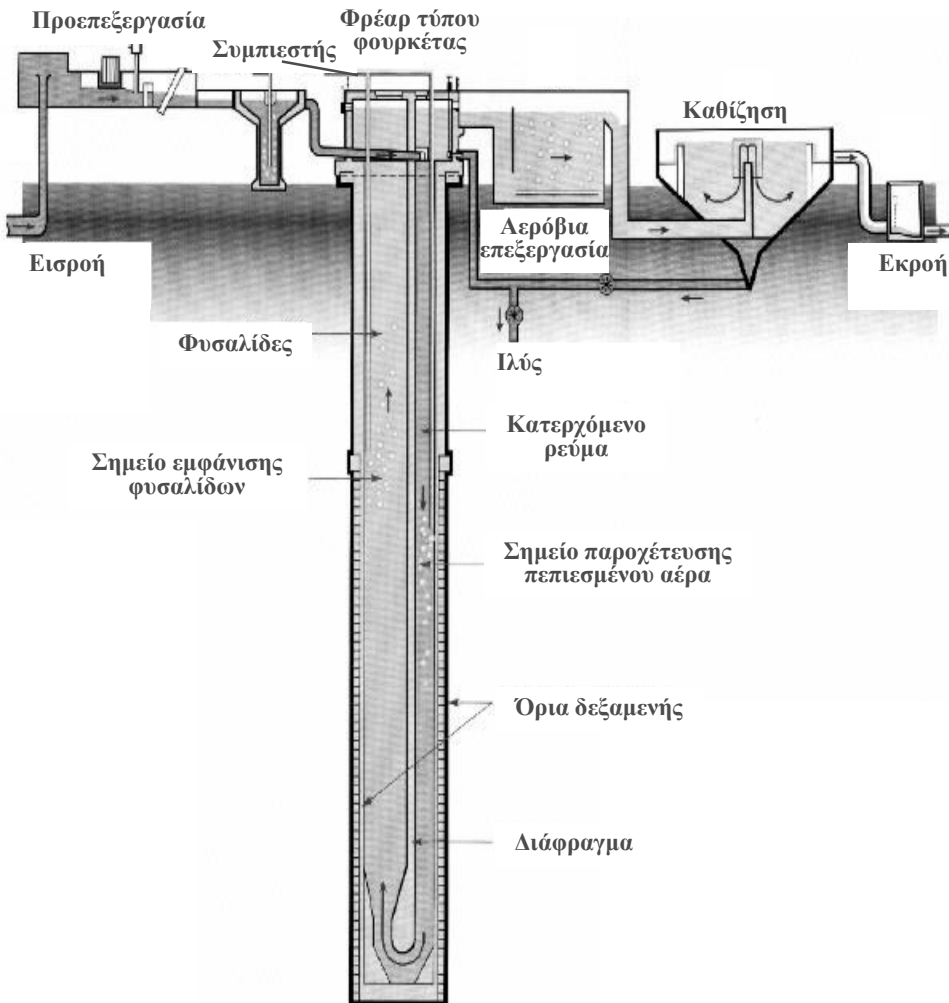
Αερισμός με σύστημα βαθμιδωτής υδατόπτωσης (Cascade aerator)

- α. Αεριστήρας βαθμιδωτής υδατόπτωσης κυκλικής ροής
- β. Κλασικός αεριστήρας βαθμιδωτής υδατόπτωσης



Σύστημα αερισμού βαθύς φρέατος τύπου φουρκέτας (Deep Shaft®)

- α. Αρχή λειτουργίας. Η αυξημένη υδροστατική πίεση (βάθος φρέατος μέχρι και 30m), παράγει συγκεντρώσεις DO μέχρι 60 mg/l
- β. Στόμιο του φρέατος



α

β



Φυγοκεντρικοί φυσητήρες

Λοβοειδής συμπιεστής



Λεπτομέρεια λοβών

Υπολογισμός απαιτήσεων σε αερισμό 1/12

Οξυγόνο καταναλώνεται στη ΔΑ για δύο κυρίως διεργασίες:

(α) Οξείδωση αμμωνιακού αζώτου (νιτροποίηση)

(β) Οξείδωση οργανικού άνθρακα (από ετερότροφους μικροοργανισμούς)

Η συνολική στοιχειομετρική κατανάλωση οξυγόνου δίνεται από την εξίσωση:

$$\dot{M}_{O_2,ολικό} = \dot{M}_{O_2,νιτροποίησης} + \dot{M}_{O_2,ετερότροφων}$$

Ο ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου για νιτροποίηση ισούται με:

$$\dot{M}_{O_2,νιτροποίησης} = 4,33 \dot{M}_{NH_4^+ - N_{oxidized}}$$

Όπου:

$\dot{M}_{O_2,ολικό}$ = Συνολικός (στοιχειομετρικός) ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου ($kgO_2 d^{-1}$)

$\dot{M}_{O_2,νιτροποίησης}$ = Ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου για νιτροποίηση ($kgO_2 d^{-1}$)

$\dot{M}_{O_2,ετερότροφων}$ = Ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου για νιτροποίηση ($kgO_2 d^{-1}$)

$\dot{M}_{NH_4^+ - N_{oxidized}}$ = Ρυθμός οξείδωσης αμμωνιακού αζώτου ($kgN_2 d^{-1}$)

4,33 = Απαίτηση σε οξυγόνο ανά μονάδα βάρους αζώτου ($kgO_2 kgN_2^{-1}$)

Υπολογισμός απαιτήσεων σε αερισμό 2/12

Η μεγαλύτερη ποσότητα αμμωνιακού αζώτου οξειδώνεται. Μια μικρότερη ποσότητα χρησιμοποιείται για σύνθεση βιομάζας (μικροοργανισμών). Οπότε, ο ρυθμός οξείδωσης ισούται με τον συνολικό ρυθμό απομάκρυνσης μείον τον ρυθμό σύνθεσης:

$$\dot{M}_{NH_4^+-N_{oxidized}} = \dot{M}_{NH_4^+-N_{απομακρύνεται}} - \dot{M}_{NH_4^+-N, σύνθεσης}$$

Ο ρυθμός κατανάλωσης αζώτου για σύνθεση βιομάζας ισούται με τη διαφορά του ρυθμού κατανάλωσης αζώτου για ανάπτυξη βιομάζας μείον τον ρυθμό έκλυσης αζώτου λόγω αποδόμησης της βιομάζας:

$$\dot{M}_{NH_4^+-N, σύνθεσης} = \left[0,125 \cdot Y - \frac{0,125 \cdot x_d k_{nd}}{F / M} \right] \cdot \dot{W}_{BOD, απομακρ.}$$

Όπου:

$\dot{M}_{NH_4^+-N_{oxidized}}$ = Ρυθμός οξείδωσης αμμωνιακού αζώτου ($kgN_2 d^{-1}$)

$\dot{M}_{NH_4^+-N_{απομακρύνεται}}$ = Ολικός ρυθμός κατανάλωσης αμμωνιακού αζώτου ($kgN_2 d^{-1}$)

$\dot{M}_{NH_4^+-N_{σύνθεσης}}$ = Ρυθμός κατανάλωσης αμμωνιακού αζώτου για σύνθεση βιομάζας ($kgN_2 d^{-1}$)

Y = Συντελεστής απόδοσης μετατροπής του BOD σε VSS ($kg VSS/kg BOD$) (0,6-0,8)

X_d = Βιοαποδομήσιμο κλάσμα των MLSS (0,6-0,8) (αδιάστατο)

k_{nd} = Ρυθμός ενδογενούς αναπνοής ($0,06-0,2 d^{-1}$, τυπική τιμή $0,12 d^{-1}$)

F/M = Λόγος τροφής προς μικροοργανισμούς (d^{-1})

$\dot{W}_{BOD, απομακρ.}$ = Ρυθμός απομάκρυνσης (κατανάλωσης) BOD ($kg d^{-1}$)

0,125 = Κλάσμα της μάζας αζώτου στη βιομάζα ($kg N/kg VSS$)

Υπολογισμός απαιτήσεων σε αερισμό 3/12

Οι ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου από τους ετερότροφους μικροοργανισμούς ισούται με τον ρυθμό κατανάλωσης οξυγόνου για την οξείδωση του οργανικού άνθρακα συν τον ρυθμό κατανάλωσης οξυγόνου για ενδογενή αναπνοή:

$$\dot{M}_{O_2 \text{ ετερότροφων}} = Y_{O_2} (BOD_{in} - BOD_{out}) Q + k_d \cdot MLSS \cdot V_{\Delta A}$$

$$Y_{O_2} = 0,5-0,7 \text{ kg}_{O_2} \text{ kg}_{BOD}^{-1}$$

$$k_d = 0,05-0,15 \text{ kg}_{O_2} \text{ kg}_{VSS}^{-1} \text{ d}^{-1}$$

Όπου:

$M_{O_2, \text{ετερότροφων}}$ = Ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου για νιτροποίηση ($\text{kg}_{O_2} \text{ d}^{-1}$)

Y_{O_2} = Συντελεστής κατανάλωσης οξυγόνου για την οξείδωση BOD ($\text{kg}_{O_2} \text{ kg}_{BOD}^{-1}$)

BOD_{in} = Συγκέντρωση του BOD στην είσοδο της ΔΑ (mg L^{-1})

BOD_{out} = Συγκέντρωση του BOD στην έξοδο της ΔΑ (mg L^{-1})

Q = Ογκομετρική παροχή στη ΔΑ (m^3/d)

$MLSS$ = Συγκέντρωση μικροοργανισμών στη ΔΑ (mg L^{-1} ή kg m^{-3})

k_d = Ρυθμός ενδογενούς αναπνοής ετερότροφων μικροοργανισμών ($\text{kg}_{O_2} \text{ kg}_{VSS}^{-1} \text{ d}^{-1}$)

$V_{\Delta A}$ = Όγκος της ΔΑ (m^3)

Υπολογισμός απαιτήσεων σε αερισμό 4/12

Ο ρυθμός που υπολογίστηκε ($\dot{M}_{O_2,ολικό}$), είναι ο στοιχειομετρικός ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου ($\dot{M}_{O_2,ολικό, στοιχειομετρικό}$). Στην πράξη η απαιτούμενη παροχή οξυγόνου ($\dot{M}_{O_2,ολικό, συστήματος αερισμού}$) είναι μεγαλύτερη, γιατί σημαντικές ποσότητες οξυγόνου διαφεύγουν από την ΔΑ χωρίς να προλάβουν να αντιδράσουν. Οπότε ο συντελεστής απόδοσης αερισμού (ε_π) ορίζεται ως εξής:

$$\varepsilon_\pi = \frac{\dot{M}_{O_2,ολικό,στοιχειομετρικό}}{\dot{M}_{O_2,ολικό,συστήματος αερισμού}}$$

Η τιμή του ε_π εξαρτάται από τον ρυθμό μεταφοράς οξυγόνου από την αέρια προς την υδατική φάση (0,1-0,3 για λεπτές φυσαλίδες, 0,6-0,15 για μεσαίες φυσαλίδες, 0,04-0,06 για χοντρές φυσαλίδες).

Οπότε, η απαιτούμενη παροχή αέρα, για τον αερισμό της ΔΑ προκύπτει ως:

$$Q_{air} = 4,31 \frac{\dot{M}_{O_2,ολικό,συστήματος αερισμού}}{\rho_{air}}$$

Όπου:

ε_π = Συντελεστής απόδοσης αερισμού (αδιάστατο)

$\dot{M}_{O_2,ολικό, στοιχειομετρικό}$ = Συνολικός στοιχειομετρικός ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου ($\text{kgO}_2 \text{ d}^{-1}$)

$\dot{M}_{O_2,ολικό, συστήματος αερισμού}$ = Απαιτούμενος ρυθμός παροχής οξυγόνου στη ΔΑ ($\text{kgO}_2 \text{ d}^{-1}$)

Q_{air} = Απαιτούμενη ογκομετρική παροχή αέρα στη ΔΑ ($\text{m}^3_{air} \text{ d}^{-1}$)

ρ_{air} = Πυκνότητα αέρα ($\text{kg}_{air} \text{ m}^{-3}_{air}$) $\rightarrow 1,225 \text{ kg}_{air} \text{ m}^{-3}_{air}$

4,31 = Αναλογία μάζας αέρα προς μάζα οξυγόνου στον ατμοσφαιρικό αέρα ($\text{kg}_{air} \text{ kgO}_2^{-1}$)

Σχεδιασμός Δεξαμενής Αερισμού (ΔΑ) 5/12

Το εύρος παροχών αέρα και ο συντελεστής απόδοσης αερισμού, για διάφορους τύπους διαχυτήρων δίνεται στον επόμενο πίνακα:

Είδος διαχυτήρα και τοποθέτηση	Παροχή αέρα/Διαχυτήρα (m ³ min ⁻¹)	ε _π (%)
Κεραμικός δίσκος-πλέγμα	0,01-0,1	25-35
Κεραμικός θόλος-πλέγμα	0,015-0,07	27-37
Άκαμπτοι πορώδεις πλαστικοί σωλήνες		
Πλέγμα	0,07-0,11	28-32
Κύλινδρος διπλής σπείρας	0,08-0,3	17-28
Εύκαμπτοι πορώδεις πλαστικοί σωλήνες		
Πλέγμα	0,03-0,2	19-37
Κύλινδρος μονής σπείρας	0,06-0,2	19-37

Για τον υπολογισμό του πλήθους των απαιτούμενων διαχυτήρων (N) διαιρείται η συνολική παροχή αέρα με την παροχή αέρα ανά διαχυτήρα:

$$N = \frac{Q_{air}}{Q_{διαχυτήρα}}$$

Όπου:

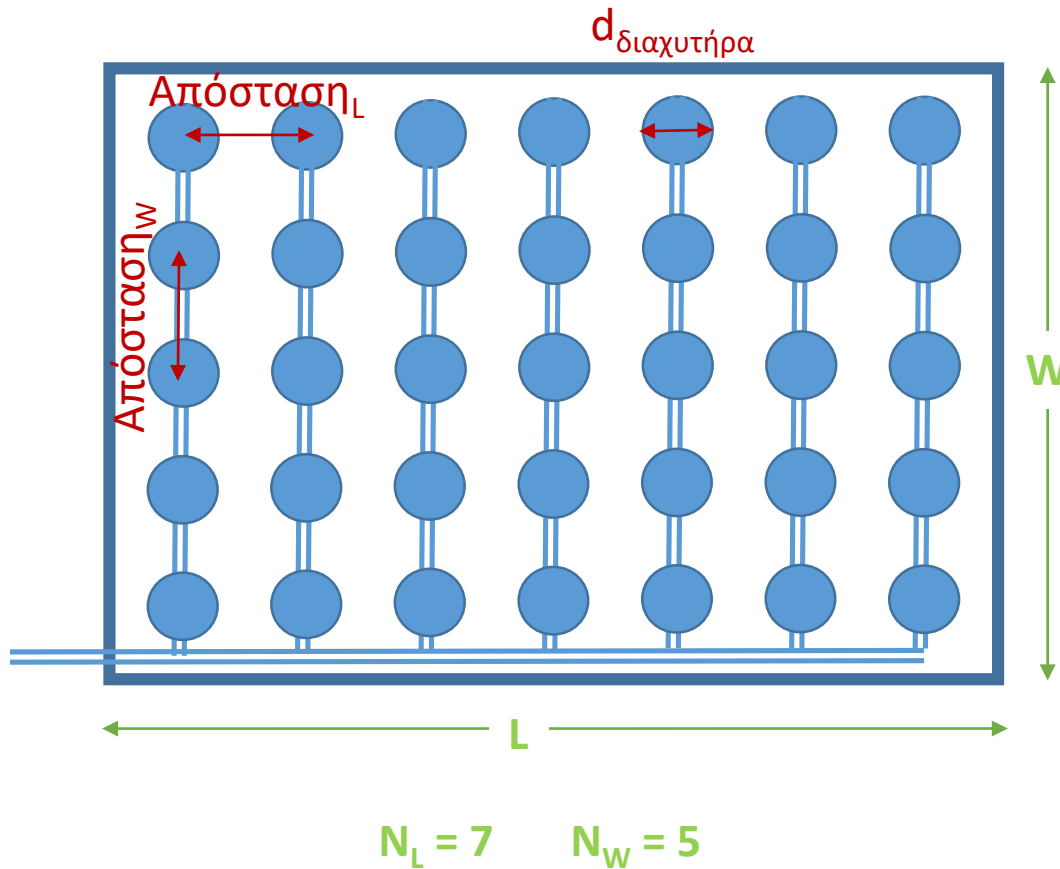
N= Αριθμός διαχυτήρων (αδιάστατο)

Q_{air} = Απαιτούμενη ογκομετρική παροχή αέρα στη ΔΑ (m³_{air} d⁻¹)

Q_{διαχυτήρα} = Παροχή αέρα ανά διαχυτήρα (m³_{air} d⁻¹)

Υπολογισμός απαιτήσεων σε αερισμό 6/12

Κατανομή διαχυτήρων στη ΔΑ



Σχεδιασμός Δεξαμενής Αερισμού (ΔΑ) 7/12

Για να υπολογιστεί η διάταξη των διαχυτήρων στη ΔΑ, αρχικά υπολογίζεται η επιφάνειά της, θεωρώντας ότι ένα τυπικό ύψος είναι τα 4,5 m. Οπότε:

$$A_{\Delta A} = V_{\Delta A} / H_{\Delta A}$$

Το μήκος (L) και το πλάτος (W) της ΔΑ προκύπτουν θεωρώντας ότι ο τυπικός λόγος L:W κυμαίνεται μεταξύ 2:1 με 3:1. Ακολουθώντας υπολογίζονται οι αποστάσεις μεταξύ των διαχυτήρων κατά μήκος και πλάτος:

$$\text{Απόσταση}_L = \frac{L - N_L d_{\text{διαχυτήρα}}}{N_L + 1}$$

$$\text{Απόσταση}_W = \frac{W - N_W d_{\text{διαχυτήρα}}}{N_W + 1}$$

Τυπικές τιμές:

Διάμετρος διαχυτήρων: 20-30 cm (τυπική: 25 cm).

Απόσταση μεταξύ των διαχυτήρων (κατά L & W: 15-70 cm.

Επίσης ισχύει: $N = N_L \cdot N_W$ και: $N_L:N_W \approx L:W$.

Όπου:

$A_{\Delta A}$ = Επιφάνεια ΔΑ (m²)

$V_{\Delta A}$ = Όγκος (ωφέλιμος) ΔΑ (m³)

$H_{\Delta A}$ = Ύψος (ωφέλιμο) ΔΑ (m)

L = Μήκος ΔΑ (m)

W = Πλάτος ΔΑ (m)

Απόσταση_L = Απόσταση διαχυτήρων κατά το μήκος της ΔΑ (m)

Απόσταση_W = Απόσταση διαχυτήρων κατά το πλάτος της ΔΑ (m)

N_L = Αριθμός διαχυτήρων κατά το μήκος της ΔΑ (αδιάστατο)

N_W = Αριθμός διαχυτήρων κατά το πλάτος της ΔΑ (αδιάστατο)

$d_{\text{διαχυτήρα}}$ = Διάμετρος διαχυτήρων (m)

Σχεδιασμός Δεξαμενής Αερισμού (ΔΑ) 8/12

Η απαιτούμενη ισχύς του φυσητήρα μπορεί να υπολογιστεί από τον πιο κάτω εμπειρικό τύπο:

$$P_{\text{Φυσητ}} = \frac{Q_{\text{air}} \rho_{\text{air}} R T_{\pi}}{29,7 \cdot n e} \left[\left(\frac{P_{\Delta A}}{P_{\text{inlet}}} \right)^{0,283} - 1 \right]$$

Απαιτείται προσοχή, ώστε να χρησιμοποιηθούν οι κατάλληλες μονάδες.

Όπου:

$P_{\text{Φυσητ}}$ = Ισχύς του φυσητήρα (kW)

Q_{air} = Απαιτούμενη ογκομετρική παροχή αέρα στη ΔΑ ($\text{m}^3_{\text{air}} \text{s}^{-1}$)

ρ_{air} = Πυκνότητα αέρα ($\text{kg}_{\text{air}} \text{m}^{-3}_{\text{air}}$) $\rightarrow 1,225 \text{ kg}_{\text{air}} \text{m}^{-3}_{\text{air}}$

R = Παγκόσμια σταθερά των αερίων ($8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$)

T_{π} = Απόλυτη θερμοκρασία εισόδου στον φυσητήρα (K)

n = Απόδοση του συστήματος (0,7-0,9) (αδιάστατο)

e = 0,283 (συντελεστής)

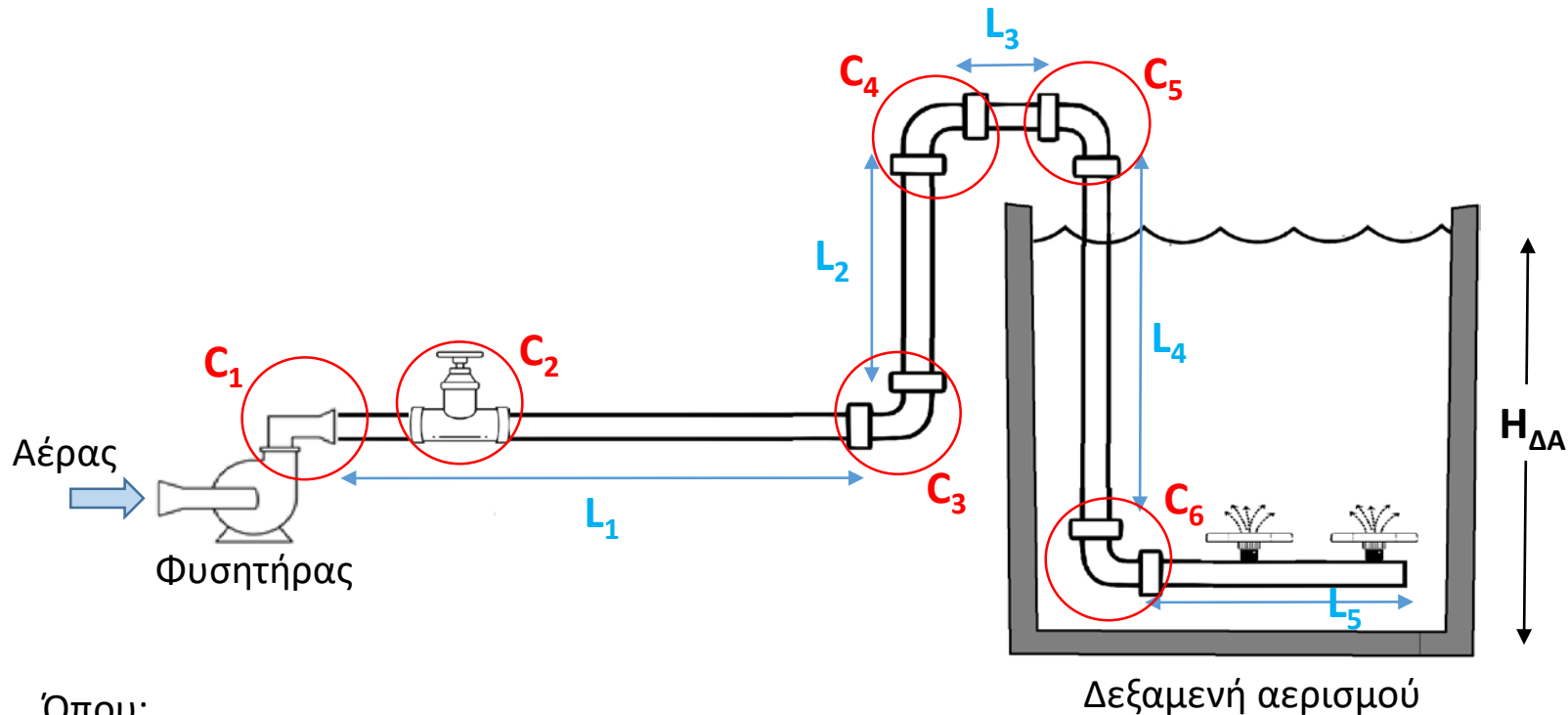
$P_{\Delta A}$ = Απόλυτη πίεση του αέρα στην έξοδο του συστήματος (στους διαχυτήρες), (m H₂O)

P_{inlet} = Απόλυτη πίεση του αέρα στην είσοδο του φυσητήρα, (m H₂O)

Σχεδιασμός Δεξαμενής Αερισμού (ΔΑ) 9/12

Η απόλυτη πίεση στην έξοδο των διαχυτήρων ($P_{\Delta A}$) προκύπτει ως άθροισμα της ατμοσφαιρικής πίεσης, της υδροστατικής στην έξοδο των διαχυτήρων και των απωλειών πίεσης από την έξοδο του φυσητήρα έως την έξοδο από τους διαχυτήρες:

$$P_{\Delta A} = P_{\text{atm}} + P_{\text{υδροστατική, ΔΑ}} + P_{\text{απωλειών}}$$



Όπου:

$P_{\Delta A}$ = Πίεση στην έξοδο των διαχυτήρων (m H₂O)

P_{atm} = Απόλυτη πίεση της ατμόσφαιρας (m H₂O) → 10,3 m

$P_{\text{υδροστατική, ΔΑ}}$ = Υδροστατική πίεση στην έξοδο των διαχυτήρων (m H₂O) → Λαμβάνεται ίση με $H_{\Delta A}$

$P_{\text{απωλειών}}$ = Πτώση πίεσης στο δίκτυο μεταφοράς αέρα (m H₂O)

Σχεδιασμός Δεξαμενής Αερισμού (ΔΑ) 10/12

Η πτώση πίεσης λόγω απωλειών υπολογίζεται από τη σχέση:

$$P_{\text{απωλειών}} = 0,1586 \cdot f \frac{L_{\text{αγωγού}} + L_{\text{ισοδύναμο}}}{D_{\text{αγωγού}}} \left(\frac{V_{\text{αγωγού}}}{334,1} \right)^2 \rho_{\text{air}}$$

Για το συντελεστή τριβών (f) ισχύει η σχέση:

$$f = 0,029 \frac{(D_{\text{αγωγού}})^{0,027}}{(Q_{\text{air}})^{0,148}}$$

Απαιτείται προσοχή, ώστε στις πιο πάνω εξισώσεις να χρησιμοποιηθούν οι κατάλληλες μονάδες.

Όπου:

$P_{\text{απωλειών}}$ = Πτώση πίεσης στο δίκτυο μεταφοράς του αέρα (m H₂O)

f = Συντελεστής τριβών

$L_{\text{αγωγού}}$ = Ολικό μήκος του αγωγού μεταφοράς αέρα από το φυσητήρα έως τους διαχυτήρες (m)

$L_{\text{ισοδύναμο}}$ = Ισοδύναμο μήκος των τοπικών απωλειών στο δίκτυο του αέρα (m)

$D_{\text{αγωγού}}$ = Διάμετρος του αγωγού μεταφοράς αέρα (m)

$V_{\text{αγωγού}}$ = Ταχύτητα του αέρα στον αγωγό μεταφοράς (m min⁻¹)

ρ_{air} = Ειδικό βάρος του αέρα (kg m⁻³)

Q_{air} = Παροχή του αέρα στον αγωγό (m³ min⁻¹)

Σχεδιασμός Δεξαμενής Αερισμού (ΔΑ) 11/12

Ο πιο κάτω πίνακας συσχετίζει τη διάμετρο του αγωγού μεταφοράς αέρα με τις αποδεκτές ταχύτητες ροής.

Διάμετρος αγωγού (m)	Εύρος ταχύτητας $V_{\alpha\gamma\omega\gamma\acute{o}\upsilon}$ (m min ⁻¹)
0,075-0,225	360-540
0,1-0,25	540-900
0,3-0,6	800-1200
0,75-1,5	1100-2000

Δηλαδή, για δεδομένη παροχή αέρα (Q_{air}), όπως αυτή υπολογίστηκε πιο πάνω, πρέπει να επιλεγεί τέτοια διάμετρος ώστε η ταχύτητα ροής να είναι εντός των επιτρεπόμενων ορίων.

Το μήκος του αγωγού είναι το συνολικό μήκος του αγωγού, και υπολογίζεται ως το άθροισμα των επιμέρους μηκών. Γενικά ισχύει:

$$L_{\alpha\gamma\omega\gamma\acute{o}\upsilon} = L_{\alpha\pi\acute{o}\sigma\tau\alpha\sigma\eta} + L_{\Delta A} + 2 \cdot H_{\Delta A}$$

Όπου:

$L_{\alpha\gamma\omega\gamma\acute{o}\upsilon}$ = Ολικό μήκος αγωγού μεταφοράς αέρα από το φυσητήρα προς τη ΔΑ (m)

$L_{\alpha\pi\acute{o}\sigma\tau\alpha\sigma\eta}$ = Απόσταση του φυσητήρα από τη ΔΑ (m)

$L_{\Delta A}$ = Μήκος της ΔΑ (m)

$H_{\Delta A}$ = Ολικό ύψος της ΔΑ (m)

Σχεδιασμός Δεξαμενής Αερισμού (ΔΑ) 12/12

Τα ειδικά εξαρτήματα που υπάρχουν στο δίκτυο (π.χ. καμπύλες, ταυ, ύψιλον, βάνες) προξενούν απώλειες πίεσης οι οποίες μπορούν να αντιστοιχηθούν με ισοδύναμο μήκος αγωγού ($L_{\text{ισοδύναμο}}$), ίδιας διαμέτρου, το οποίο υπολογίζεται από η σχέση:

$$L_{\text{ισοδύναμο}} = 55,4 \cdot C \cdot D_{\text{αγωγού}}^{1,2}$$

Συντελεστές αντίστασης για διάφορα εξαρτήματα δίνονται στον πιο κάτω πίνακα:

Εξάρτημα	C
Γωνία με μεγάλη ακτίνα καμπυλότητας	0,33
Γωνία με μέση ακτίνα καμπυλότητας ή ταυ με συστολή 25%	0,42
Πρότυπη γωνία ή ταυ με συστολή 50%	0,67
Ταυ με πλευρική έξοδο	1,33
Σφαιρική βάνα	2
Γωνιακή βάνα	0,9

Για περισσότερα του ενός εξαρτήματα αθροίζονται οι διάφοροι συντελεστές αντίστασης

Όπου:

$L_{\text{ισοδύναμο}}$ = Ισοδύναμο μήκος ειδικού εξαρτήματος

$D_{\text{αγωγού}}$ = Διάμετρος του αγωγού (m)

C = Συντελεστής αντίστασης ειδικού εξαρτήματος (αδιάστατο)

Παράδειγμα σχεδιασμού ΔΑ (1/15)

Να σχεδιάσετε την ΔΑ συμπεριλαμβανομένου του συστήματος αερισμού, σε ΕΕΛ, η οποία λειτουργεί με Q_{av} 6.000 m³/d. Η συγκέντρωση του BOD στην έξοδο της ΔΠΚ (BOD_{in}) είναι 300 mg/L, ενώ στην έξοδο της εγκατάστασης η συγκέντρωση του BOD (BOD_{out}) και του νιτρικού αζώτου (NH_4^+-N) πρέπει να είναι μικρότερες των 20mg/L και 1,5mg/L, αντίστοιχα.

Αρχικά υπολογίζονται:

Η μαζική παροχή εισόδου του BOD είναι $W_{BOD,in}=1800$ kg/d.

Η μαζική παροχή εξόδου του BOD είναι $W_{BOD,out}=120$ kg/d.

Ο ρυθμός κατανάλωσης BOD στη ΔΑ είναι $W_{BOD,απομακρ}=1680$ kg/d.

Ακολούθως υπολογίζεται ο ειδικός ρυθμός ανάπτυξης των νιτροποιητών. Θεωρείται ότι η συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου (DO) εντός της δεξαμενής αερισμού είναι 2mg/L.

$$\mu_N = 0,45 \cdot \exp\{0,098 \cdot (T - 15^\circ C)\} \cdot \left(\frac{[NH_4^+ - N]}{K_N + [NH_4^+ - N]} \right) \left(\frac{[DO]}{K_O + [DO]} \right) = 0,39 \text{ d}^{-1}$$

Ο χρόνος παραμονής στερεών υπολογίζεται από τη σχέση:

$$SRT \geq \frac{1}{\mu_N - k_{nd}} = \frac{1}{0,39 \text{ d}^{-1} - 0,08 \text{ d}^{-1}} = 3,22 \text{ d, για ασφάλεια έστω: } SRT \geq 5 \text{ d}$$

Παράδειγμα σχεδιασμού ΔΑ (2/15)

Ο ρυθμός παραγωγής βιομάζας δίνεται από τη σχέση:

$$W_{TSS} = W_{BOD, \text{απομακρ}} \cdot Y = 1680 \text{ kg/d} \times 0,7 = 1176 \text{ kgd}^{-1}$$

Η συνολική ποσότητα μικροοργανισμών (W_{TSS}) στην ΔΑ υπολογίζεται ως:

$$M_{TSS} = W_{TSS} \cdot SRT = 1176 \text{ kgd}^{-1} \times 5 \text{ d} = 5880 \text{ kg}$$

Οπότε, εάν υποθέσουμε ότι το σύστημα λειτουργεί σε $MLSS = 4000 \text{ mg/L}$, ο ωφέλιμος όγκος της ΔΑ προκύπτει:

$$V_{\Delta A} = \frac{M_{TSS}}{MLSS} = \frac{5880 \text{ kg}}{4 \text{ kg/m}^3} = 1470 \text{ m}^3$$

Ακολουθώς ελέγχεται η συγκέντρωση του BOD_{out} , για τον πιο πάνω όγκο ΔΑ:
($HRT = V/Q = 1470 \text{ m}^3 / 6000 \text{ m}^3\text{d}^{-1} = 0,245 \text{ d}$)

$$BOD_{out} = \frac{BOD_{in}}{1 + HRT \cdot k \cdot MLSS} \Rightarrow BOD_{out} = \frac{300 \text{ mgL}^{-1}}{1 + 0,245 \text{ d} \cdot 0,029 \text{ Lmg}^{-1}\text{d}^{-1} \cdot 4000 \text{ mgL}^{-1}} = 10,2 \text{ mgL}^{-1}$$

(Αποδεκτό)

Παράδειγμα σχεδιασμού ΔΑ (3/15)

Τέλος ελέγχεται ο λόγος F/M:

$$\frac{F}{M} = \frac{Q(BOD_{in} - BOD_{out})}{MLSS \cdot V_{\Delta A}} \Rightarrow \frac{F}{M} = \frac{6 \cdot 10^3 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1} (300 \cdot 10^{-3} \text{ kg m}^{-3} - 10,2 \cdot 10^{-3} \text{ kg m}^{-3})}{4 \text{ kg m}^{-3} \cdot 1470 \text{ m}^3} = 0,30 \text{ d}^{-1}$$

(Εντός ορίων)

Για MLSS = 4000mg/L, και $X_W = 12000 \text{ mg/L}$, η παροχή ανακυκλοφορίας υπολογίζεται ως:

$$Q_R = Q \frac{MLSS}{X_W - MLSS} \Rightarrow Q_R = 6000 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1} \cdot \frac{4000 \text{ mg L}^{-1}}{12000 \text{ mg L}^{-1} - 4000 \text{ mg L}^{-1}} = 3000 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$$

Οπότε ο λόγος ανακυκλοφορίας υπολογίζεται ως: $r = \frac{Q_R}{Q} = 0,5$

Παράδειγμα σχεδιασμού ΔΑ (4/15)

Σύστημα Αερισμού της ΔΑ

Απαιτήσεις σε αέρα:

Η συνολική απαιτούμενη ποσότητα O_2 , ημερησίως είναι:

$$\dot{M}_{O_2,ολικό} = \dot{M}_{O_2,νιτροποίησης} + \dot{M}_{O_2,ετερότροφων}$$

Το $\dot{M}_{O_2,νιτροποίησης}$ υπολογίζεται ως:

$$\dot{M}_{O_2,νιτροποίησης} = 4,33\dot{M}_{NH_4^+-N_{oxidized}} = 4,33 (\dot{M}_{NH_4^+-N_{απομακρύνεται}} - \dot{M}_{NH_4^+-N_{σύνθεσης}})$$

$$\Rightarrow \dot{M}_{O_2,νιτροποίησης} = 4,33[Q_{αν} \cdot ([N - NH_3]_{in} - [N - NH_3]_{out}) - (0,125Y - \frac{0,125 \cdot k_{nd} \cdot x_d}{\frac{F}{M}})]$$

$$\dot{M}_{BOD,απομακρ.}] \quad (1)$$

Όπου:

$$\dot{M}_{BOD,απομακρ.} = (BOD_{in} - BOD_{out}) \cdot Q_{αν}$$

$$\Rightarrow \dot{M}_{BOD,απομακρ.} = (300 - 10,2) \cdot 10^{-3} \text{ kgm}^{-3} \cdot 6000 \text{ m}^3\text{d}^{-1} = 1738,8 \text{ kgd}^{-1}$$

Παράδειγμα σχεδιασμού ΔΑ (5/15)

Επομένως, επιστρέφοντας στην εξίσωση (1) και θεωρώντας τυπική τιμή $[N - NH_3]_{in} = 45 \text{ mgL}^{-1}$, η $\dot{M}_{O_2, \text{νιτροποίησης}}$ είναι:

$$\begin{aligned} (1) &\Rightarrow \dot{M}_{O_2, \text{νιτροποίησης}} \\ &= 4,33[6000 \text{ m}^3 \text{d}^{-1} \cdot (45 - 1,5) \cdot 10^{-3} \text{ kgm}^{-3} - \left(0,125 \cdot 0,7 - \frac{0,125 \cdot 0,7 \text{ d}^{-1} \cdot 0,12}{0,29 \text{ d}^{-1}}\right) \\ &\cdot 1738,82 \text{ kgd}^{-1}] = 734,9 \text{ kgd}^{-1} \end{aligned}$$

Το $\dot{M}_{O_2, \text{ετερότροφων}}$ υπολογίζεται ως:

$$\dot{M}_{O_2, \text{ετερότροφων}} = Y(BOD_{in} - BOD_{out}) \cdot Q_{av} + k_d \cdot MLSS \cdot V_{\Delta A}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \dot{M}_{O_2, \text{ετερότροφων}} &= 0,7 \cdot (300 - 10,2) \cdot 10^{-3} \text{ kgm}^{-3} \cdot 6000 \text{ m}^3 \text{d}^{-1} + 0,10 \text{ d}^{-1} \cdot 4 \text{ kgm}^{-3} \cdot \\ 1470 \text{ m}^3 &= 1805,2 \text{ kgd}^{-1} \end{aligned}$$

Παράδειγμα σχεδιασμού ΔΑ (6/15)

Συνεπώς, η συνολική απαιτούμενη ποσότητα O_2 , είναι:

$$\dot{M}_{O_2,ολικό} = \dot{M}_{O_2,νιτροποίησης} + \dot{M}_{O_2,ετερότροφων}$$

$$\Rightarrow \dot{M}_{O_2,ολικό} = 734,9 \text{ kgd}^{-1} + 1805,2 \text{ kgd}^{-1} = 2540,1 \text{ kgd}^{-1}$$

Διαστασιολόγηση Διαχυτήρων:

Το $\dot{M}_{O_2,ολικό,συστηματος αερισμού}$ υπολογίζεται ως:

$$\varepsilon_{\pi} = \left(\frac{\dot{M}_{O_2,ολικό,στοιχειομετρικό}}{\dot{M}_{O_2,ολικό,συστηματος αερισμού}} \right) \Rightarrow \dot{M}_{O_2,ολικό,συστηματος αερισμού} = \left(\frac{\dot{M}_{O_2,ολικό,στοιχειομετρικό}}{\varepsilon_{\pi}} \right) \quad (2)$$

Επιλέγεται τύπος διαχυτήρα, κεραμικός δίσκος-πλέγμα. Σε αυτήν την περίπτωση, η παροχή αέρα/Διαχυτήρα είναι 0,01-0,1 m³/min και το ε_{π} αφορά απόδοση 25-35%. Για μέση τιμή 30% (0,2), η εξίσωση (2) γίνεται:

$$(2) \Rightarrow \dot{M}_{O_2,ολικό,συστηματος αερισμού} = \left(\frac{2540,1 \text{ kgd}^{-1}}{0,3} \right)$$

$$\Rightarrow \dot{M}_{O_2,ολικό,συστηματος αερισμού} = 8467 \text{ kgd}^{-1}$$

Παράδειγμα σχεδιασμού ΔΑ (7/15)

Η απαιτούμενη παροχή αέρα, για τον αερισμό της ΔΑ προκύπτει ως:

$$Q_{air} = 4,31 \left(\frac{\dot{M}_{O_2} (\text{ολικό αερισμού})}{\rho_{air}} \right) \Rightarrow Q_{air} = 4,31 \left(\frac{8467 \text{ kgd}^{-1}}{1,225 \text{ kgm}^{-3}} \right) = 29790 \text{ m}^3\text{d}^{-1}$$

Το πλήθος των διαχυτήρων δίνεται από τη σχέση:

$$N = \frac{Q_{air}}{Q_{\text{διαχυτηρα}}}$$

Το εύρος τιμών παροχής αέρα για τους κεραμικούς δίσκους είναι 0,01-0,1 m³/min. Επιλέγεται η τιμή 0,05 m³/min. Επομένως, από την παραπάνω εξίσωση, το πλήθος των απαιτούμενων διαχυτήρων είναι:

$$N = \frac{Q_{air}}{Q_{\text{διαχυτηρα}}} \Rightarrow N = \frac{29790 \text{ m}^3\text{d}^{-1}}{0,05 \text{ m}^3\text{min}^{-1} \cdot 1440 \text{ min d}^{-1}} = 414 \text{ διαχυτηρες}$$

Παράδειγμα σχεδιασμού ΔΑ (8/15)

Διάταξη Διαχυτήρων

Αρχικά υπολογίζεται η επιφάνεια της ΔΑ, θεωρώντας ένα τυπικό ύψος 4,5 m. Επομένως,

$$A_{\Delta A} = \frac{V_{\Delta A}}{H_{\Delta A}} \Rightarrow A_{\Delta A} = \frac{1470 \text{ m}^3}{4,5 \text{ m}} = 326,67 \text{ m}^2$$

Στη συνέχεια, υπολογίζεται το Μήκος και Πλάτος της ΔΑ. Έστω ότι Μήκος = 2·Πλάτος.

$$V_{\Delta A} = H \cdot W \cdot L \Rightarrow V_{\Delta A} = H \cdot 2W^2 \Rightarrow 1470 \text{ m}^3 = 4,5 \text{ m} \cdot 2W^2 \Rightarrow W = 12,8 \text{ m}$$

Άρα:

$$L = 2W \Rightarrow L = 2 \cdot 12,8 \text{ m} \Rightarrow L = 25,6 \text{ m}$$

Παράδειγμα σχεδιασμού ΔΑ (9/15)

Επιλέγεται τυπική διάμετρος διαχυτήρων 25 cm.

$$\text{Απόσταση } L' = \frac{L - N_L \cdot d_{\text{διαχ}}}{N_L + 1}$$

$$\text{Απόσταση } W' = \frac{W - N_W \cdot d_{\text{διαχ}}}{N_W + 1}$$

Ισχύει ότι:

$$N = N_L \cdot N_W \text{ και}$$

$$\frac{N_L}{N_W} = \frac{L}{W}$$

Με βάση τον αριθμό διαχυτήρων, το Μήκος και το Πλάτος της ΔΑ, υπολογίζουμε την αναλογία N_L/N_W .

$$\frac{N_L}{N_W} = \frac{L}{W} \Rightarrow \frac{N_L}{N_W} = \frac{25,6 \text{ m}}{12,8 \text{ m}} \Rightarrow N_L = 2 \cdot N_W$$

Παράδειγμα σχεδιασμού ΔΑ (10/15)

Επομένως, το N_L είναι:

$$N = N_L \cdot N_w \Rightarrow N = N_L \cdot \frac{N_L}{2} \Rightarrow N_L^2 = 2 \cdot 414 \Rightarrow N_L = 29$$

Αντίστοιχα, το N_w είναι:

$$N_w = \frac{29}{2} \Rightarrow N_w = 15$$

Πολλαπλασιάζοντας το $N_L \cdot N_w$ παρατηρούμε ότι το αποτέλεσμα είναι 435 διαχυτήρες. Προκειμένου η τιμή αυτή να είναι πιο κοντά στον απαιτούμενο αριθμό διαχυτήρων (414 διαχ.) που υπολογίστηκε προηγουμένως, τότε δοκιμάζουμε διαφορετικές τιμές του N_L ή του N_w .

$$N_L \cdot N_w = 28 \cdot 15 = 420 \text{ (Αποδεκτό)}$$

Τελικά, για τη ΔΑ απαιτούνται 420 διαχυτήρες και η μεταξύ τους απόσταση κατά μήκος δίνεται από τη σχέση:

$$\text{Απόσταση } L' = \frac{L - N_L \cdot d_{\text{διαχ}}}{N_L + 1} = \frac{25,6 \text{ m} - 28 \cdot 0,25 \text{ m}}{28 + 1} = 0,64 \text{ m}$$

Ομοίως, η κατά πλάτος απόσταση θα είναι:

$$\text{Απόσταση } W' = \frac{W - N_w \cdot d_{\text{διαχ}}}{N_w + 1} = \frac{12,8 \text{ m} - 15 \cdot 0,25 \text{ m}}{15 + 1} = 0,57 \text{ m}$$

Παράδειγμα σχεδιασμού ΔΑ (11/15)

Ισχύς Φυσητήρα:

$$P_{\text{Φυσητ}} = \frac{Q_{\text{Air}} \rho_{\text{Air}} R T_{\pi}}{29,7 \cdot n e} \left[\left(\frac{P_{\Delta A}}{P_{\text{inlet}}} \right)^{0,283} - 1 \right]$$

Υπολογισμός απόλυτης πίεσης $P_{\Delta A}$ στην έξοδο των διαχυτήρων της ΔΑ:

$$P_{\Delta A} = P_{\text{atm}} + P_{\text{υδροστατική, ΔΑ}} + P_{\text{απωλειών}}$$

Όπου:

- $P_{\text{απωλειών}} = 0,1586 \cdot f \cdot \frac{L_{\text{αγωγού}} + L_{\text{ισοδύναμο}}}{D_{\text{αγωγού}}} \cdot \left(\frac{v_{\text{αγωγού}}}{334,1} \right)^2 \cdot \rho_{\text{air}}$
- $P_{\text{υδροστατική}} = 4,5 \text{ mH}_2\text{O}$
- $P_{\text{atm}} = 10,3 \text{ mH}_2\text{O}$

Παράδειγμα σχεδιασμού ΔΑ (11/15)

Ο συντελεστής τριβών προκύπτει ως:

$$f = 0,029 \cdot \frac{D_{αγωγού}^{0,027}}{Q_{air}^{0,148}}$$

Η διάμετρος του αγωγού ($D_{αγωγού}$), επιλέγεται βάσει του παρακάτω πίνακα:

Διάμετρος αγωγού (m)	Εύρος ταχύτητας $V_{αγωγού}$ (m min ⁻¹)
0,075-0,225	360-540
0,1-0,25	540-900
0,3-0,6	800-1200
0,75-1,5	1100-2000

Αρχικά, πραγματοποιούνται δοκιμές, επιλέγοντας τιμές της διαμέτρου από τον παραπάνω πίνακα, προκειμένου η τιμή της ταχύτητας του αέρα να βρεθεί εντός της κλάσης της διαμέτρου που επιλέχθηκε. Έπειτα από δοκιμές, η τιμή της διαμέτρου επιλέγεται ως 0,2 m.

$$V_{αγωγού} = \frac{Q_{air}}{\frac{\pi \cdot D_{αγωγού}^2}{4}} \Rightarrow V_{αγωγού} = \frac{29790 \text{ m}^3 \text{d}^{-1} \cdot (1440 \text{ min d}^{-1})^{-1}}{\frac{\pi \cdot (0,2 \text{ m})^2}{4}} = 658,5 \text{ m min}^{-1}$$

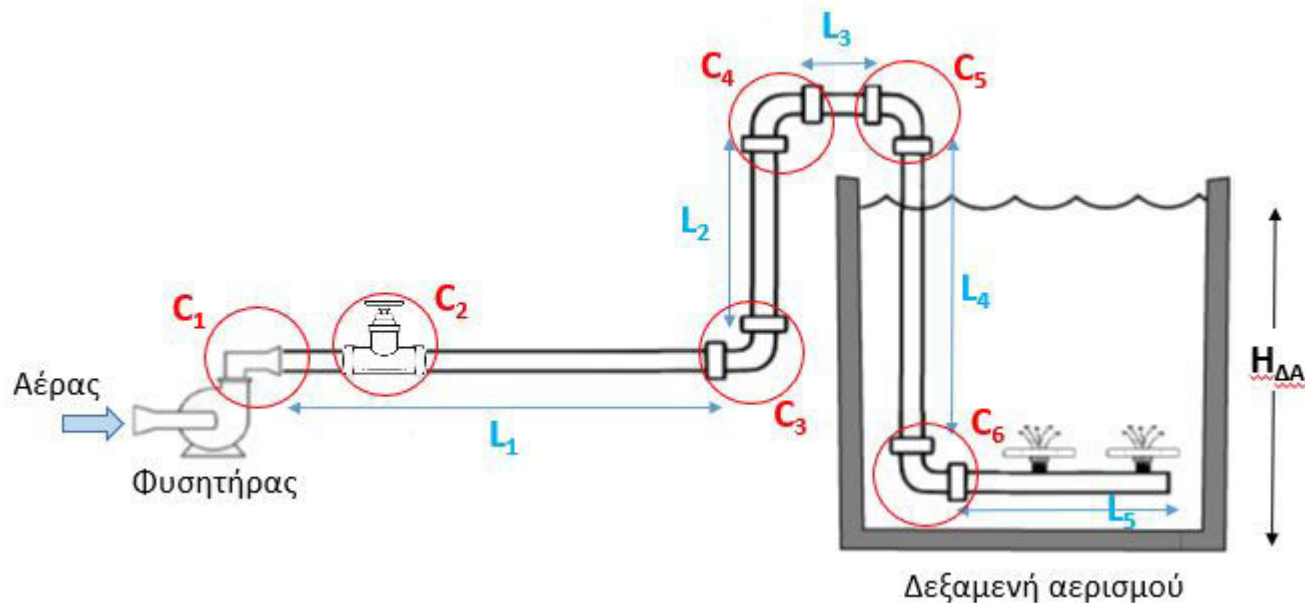
$$f = 0,029 \cdot \frac{D_{αγωγού}^{0,027}}{Q_{air}^{0,148}} \Rightarrow f = 0,029 \cdot \frac{(0,2 \text{ m})^{0,027}}{(20,69 \text{ m}^3 \text{min}^{-1})^{0,148}} \Rightarrow f = 0,018$$

Παράδειγμα σχεδιασμού ΔΑ (12/15)

Το $L_{\text{ισοδύναμο}}$ είναι:

$$L_{\text{ισοδύναμο}} = 55,4 \cdot C \cdot D_{\text{αγωγού}}^{1,2}$$

Για την εύρεση του συντελεστή C , θεωρούμε ένα τυπικό σύστημα φυσητήρα, όπως αποτυπώνεται στο παρακάτω σχέδιο:



Παράδειγμα σχεδιασμού ΔΑ (13/15)

Σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα, υπολογίζεται ο συνολικός συντελεστής C.

Εξάρτημα	C
Γωνία με μεγάλη ακτίνα καμπυλότητας	0,33
Γωνία με μέση ακτίνα καμπυλότητας ή ταυ με συστολή 25%	0,42
Πρότυπη γωνία ή ταυ με συστολή 50%	0,67
Ταυ με πλευρική έξοδο	1,33
Σφαιρική βάνα	2
Γωνιακή βάνα	0,9

$$C_{ολικό} = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6 \Rightarrow C_{ολικό} = 0,67 + 2 + 4 \cdot 0,42 \Rightarrow C_{ολικό} = 4,35$$

Επομένως, το $L_{ισοδύναμο}$ είναι:

$$L_{ισοδύναμο} = 55,4 \cdot 4,35 \cdot (0,2 \text{ m})^{1,2} \Rightarrow L_{ισοδύναμο} = 34,9 \text{ m}$$

Παράδειγμα σχεδιασμού ΔΑ (14/15)

Για τον υπολογισμό του $L_{αγωγού}$ θεωρούμε ότι η απόσταση Φυσητήρα – Δεξαμενής Αερισμού, είναι ίση με 10 m. Επομένως, το συνολικό μήκος του αγωγού που προκύπτει είναι:

$$10 \text{ m (απόσταση Φυσητήρα – ΔΑ)} + 4,5 \text{ m (άνοδος σωλήνα στη ΔΑ)} \\ + 4,5 \text{ m (κάθοδος σωλήνα στη ΔΑ)} + 25,6 \text{ m (μήκος ΔΑ)} \Rightarrow L_{αγωγού} = 44,6 \text{ m} \approx 45 \text{ m}$$

Επομένως, γνωρίζοντας όλα τις μεταβλητές για τον υπολογισμό του $P_{απωλειών}$, η εξίσωση έχει ως εξής:

$$P_{απωλειών} = 0,1586 \cdot f \cdot \frac{L_{αγωγού} + L_{ισοδύναμο}}{D_{αγωγού}} \cdot \left(\frac{v_{αγωγού}}{334,1} \right)^2 \cdot \rho_{air} \\ = 0,1586 \cdot 0,0018 \cdot \frac{45 \text{ m} + 34,9 \text{ m}}{0,2 \text{ m}} \cdot \left(\frac{658,5 \text{ m min}^{-1}}{334,1} \right)^2 \cdot 1,225 \text{ kgm}^{-3} \\ = 5,3 \text{ mH}_2\text{O}$$

Η απόλυτη πίεση στην έξοδο των διαχυτήρων είναι:

$$P_{ΔΑ} = P_{atm} + P_{υδροστατικη,ΔΑ} + P_{απωλειών} \Rightarrow P_{ΔΑ} = 10,3 \text{ mH}_2\text{O} + 4,5 \text{ mH}_2\text{O} + 5,3 \text{ mH}_2\text{O}$$

$$\Rightarrow P_{ΔΑ} = 20,1 \text{ mH}_2\text{O}$$

Παράδειγμα σχεδιασμού ΔΑ (15/15)

Τελικά, η απαιτούμενη ισχύς του Φυσητήρα είναι:

$$P_{\Phi\upsilon\sigma\eta\tau} = \frac{Q_{Air}\rho_{Air}RT_{\pi}}{29,7 \cdot n \cdot e} \left[\left(\frac{P_{\Delta A}}{P_{inlet}} \right)^{0,283} - 1 \right]$$
$$= \frac{29790 \text{ m}^3\text{d}^{-1} (86400 \text{ d s}^{-1})^{-1} \cdot 1,225 \text{ kgm}^{-3} \cdot 8,314 \text{ J K}^{-1}\text{mol}^{-1} \cdot 293\text{K}}{29,7 \cdot 0,8 \cdot 0,283} \left[\left(\frac{20,1}{10,3} \right)^{0,283} - 1 \right]$$

$$\Rightarrow P_{\Phi\upsilon\sigma\eta\tau} = 31,9 \text{ kW}$$