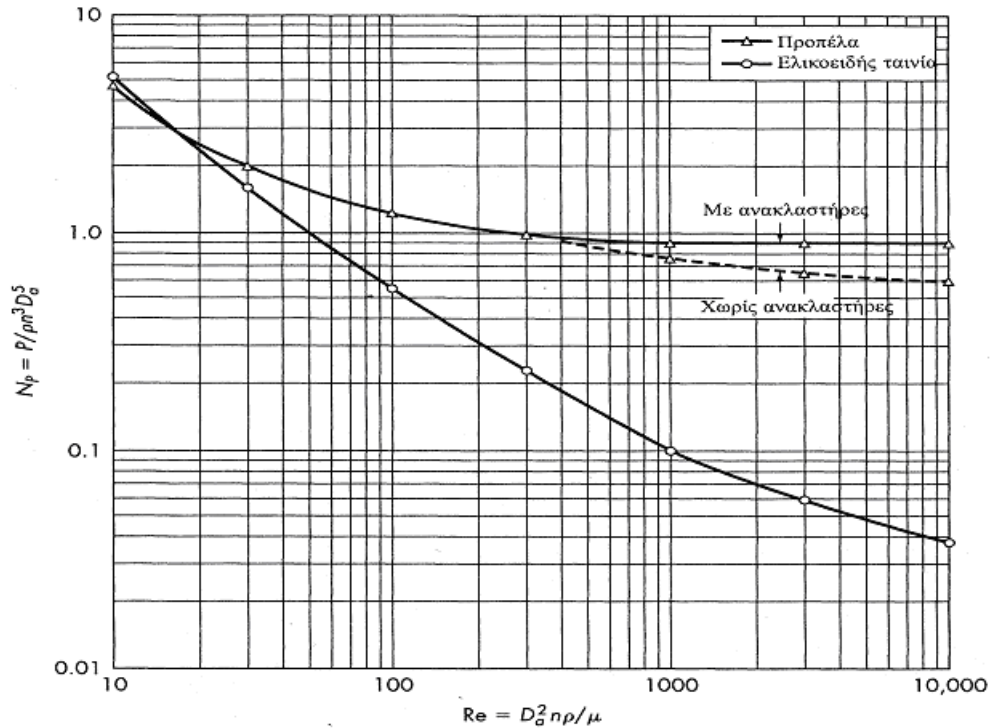


1. Σε μια δεξαμενή, με διάμετρο $T = 1.2$ m και συνολικό ύψος 1.8 m και ύψος πλήρωσης υγρού $H = 1.2$ m, αναδύεται υγρό latex ($\rho = 800$ kg/m³, $\mu = 10$ P) με ναυτική προπέλα (τετρ. βήμα, 3 πτερύγια, $D = 0.36$ m, $C = 0.36$ m). Διαθέτουμε κινητήρα 8 kW. Μπορεί να λειτουργήσει στις 800 στροφές το λεπτό? Δίνεται το διάγραμμα Po-
Re για την προπέλα.



2. Για την ίδια δεξαμενή όπως στην άσκηση 1, και για τον ίδιο διαθέσιμο κινητήρα, αν το αναδευόμενο υγρό έχει την ίδια πυκνότητα αλλά ιξώδες 1 P, ποια θα είναι η μέγιστη ταχύτητα περιστροφής του αναδευτήρα?
3. Αν στη δεξαμενή της άσκησης 1 τοποθετήσουμε 4 ανακλαστήρες (πλάτους $T/10$) και αλλάξουμε τις στροφές της προπέλας στις 900 στροφές το λεπτό, πόση θα είναι η απαιτούμενη ισχύς?
4. Σ'έναν ζυμωτήρα όγκου 3,5 λίτρων (θεωρείστε ότι είναι σχεδιασμένος σύμφωνα με το πρότυπο για τα αναδευόμενα δοχεία) αναδύονται στερεά κυτταρικά σωματίδια διαμέτρου (d) 120 μ m που χρησιμοποιούνται για την καλλιέργεια ανασυνδυαζόμενων κυττάρων και την παραγωγή μιας ορμόνης ανάπτυξης. Προτείνεται για την ανάμιξη της καλλιέργειας να χρησιμοποιηθεί ένας στρόβιλος Rushton διαμέτρου (D) 5.5 cm. Το αιώρημα έχει πυκνότητα (ρ) περίπου 1010 kg m⁻³ και ιξώδες (μ) 1.3 cP. Επειδή η «υπερβολική» ανάδευση προκαλεί ζημιές στα κύτταρα, συνιστάται κατά την ανάμιξη η κλίμακα του Kolmogorov (λ)¹ να είναι $\geq 2/3$ της διαμέτρου των σωματιδίων. Ποιά είναι η ενδεικνυόμενη ταχύτητα περιστροφής του αναδευτήρα?

¹ Μέτρο της έντασης της τύρβης μέσα στο αναδευόμενο δοχείο, συνάρτηση του ιξώδους του ρευστού και της σκέδασης ενέργειας.

Δίνεται ότι

$$\lambda = (\nu^3/\varepsilon)^{1/4}$$

όπου

$$\varepsilon = P/m_L$$

όπου m_L είναι η μάζα της υγρής διασποράς [kg] και $\nu (= \mu/\rho)$ το κινηματικό ιξώδες του υγρού.

5. Ένας αντιδραστήρας διαμέτρου (T) 6.1 m και ύψους πλήρωσης (H) 6.1 m αναδύεται με στρόβιλο Rushton ($Po = 5$), διαμέτρου ($D =$) 1.83 m. Το υγρό έχει πυκνότητα $\rho = 1050 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ και ιξώδες $\mu = 0.8 \text{ mPa}\cdot\text{s}$. Αν η ταχύτητα περιστροφής του αναδευτήρα (N) είναι 50 RPM, να υπολογιστεί η απαιτούμενη ισχύς του ηλεκτρικού κινητήρα και η κατά Camp και Stein ² υδραυλική κλίση μέσα στο αναδευόμενο δοχείο:

$$G = \sqrt{\frac{P}{m_{L \text{ um}} V_{dex}}}$$

6. Μια δημοτική επιχείρηση σχεδιάζει να επεξεργαστεί τα λύματα της πόλης της σε μια αναδευόμενη δεξαμενή. Η παροχή των λυμάτων θα είναι $Q_{\text{λυμ}} = 1000 \text{ m}^3/\text{h}$ και θα παραμένουν μέσα στη δεξαμενή για χρονικό διάστημα $t_{\text{παρ}} = 1 \text{ s}$. Οι προδιαγραφές για την επεξεργασία των λυμάτων απαιτούν να υπάρχει στη δεξαμενή μια μέση υδραυλική κλίση

$$G = \sqrt{\frac{P}{m_{L \text{ um}} V_{dex}}} = 1000 \text{ s}^{-1}$$

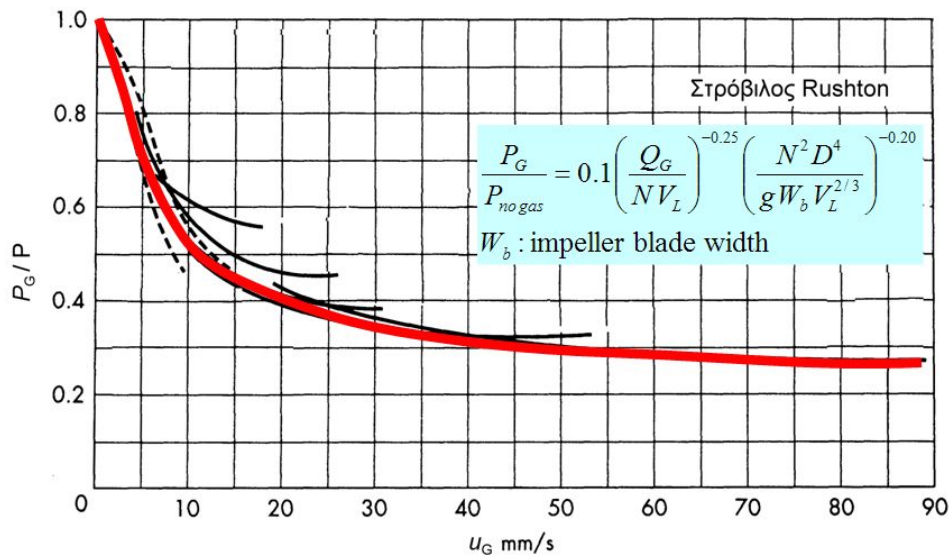
Να υπολογιστεί (α) το μέγεθος της δεξαμενής: όγκος ($V_{\text{δεξ}}$), διάμετρος (T), και ύψος (H), και (β) η ισχύς του απαιτούμενου κινητήρα (P). Δίνεται ότι: $\mu_{\text{λυμ}} = 1 \text{ mPa}\cdot\text{s}$, και ότι $t_{\text{παρ}} = V_{\text{δεξ}} / Q_{\text{λυμ}}$.

7. Για τη συσσωμάτωση κολλοειδών σωματιδίων (flocculation) έχουμε στη διάθεσή μας μια τετράγωνη δεξαμενή (μήκους πλευράς $T =$ ύψους $H = 7.4 \text{ m}$). Η μέση υδραυλική κλίση $G = (P V_{\text{δεξ}}^{-1} \mu_{\text{λυμ}}^{-1})^{1/2}$ πρέπει να είναι 500 s^{-1} . Το ιξώδες της αναδευόμενης διασποράς είναι $1.57 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ και η πυκνότητά της 1000 kg m^{-3} . Αν χρησιμοποιηθεί στρόβιλος Rushton ($Po = 5$), με διάμετρο (D) ίση προς $T/2$, με πόσες στροφές το λεπτό θα περιστρέφεται?
8. Ένας αντιδραστήρας διαμέτρου 1.2 m αναδύεται με στρόβιλο Rushton διαμέτρου 40 cm, στις 360 rpm. Η ίδια διεργασία θα γίνει και σε μεγαλύτερο δοχείο, διαμέτρου 2.3 m, πάλι με στρόβιλο αλλά διαμέτρου 95 cm. (α) Ποιά ταχύτητα περιστροφής θα δώσει τον ίδιο χρόνο ανάμιξης? (β) Ποιά θα είναι η % μεταβολή στην ισχύ ανά

² Βλ. Camp T.R. και Stein P.C., **1943**. Velocity gradients and internal work in fluid motion. *J. Boston Soc. Cit. Eng.* **30**, 219-237. Και την κριτική στο άρθρο: Pedocchi F. και Piedra-Cueva I., **2005**, Camp and Stein's velocity gradient formalization. *J. Environmental Engineering* **131**(10), 1369-1376.

μονάδα όγκου? Δίνονται: $\rho = 960 \text{ kg/m}^3$, $\mu = 4 \text{ cP}$.

9. Σε δεξαμενή διαμέτρου 1.4 m, με αναδευτήρα διαμέτρου 0.47 m και βάθος υγρού 1.4 m μετρήθηκε χρόνος ανάμιξης 29 s, για $N = 75 \text{ rpm}$ (ιξώδες ρευστού 3 cP, πυκνότητα 1040 kg/m^3). Ποιοί θα είναι οι χρόνοι ανάμιξης αν χρησιμοποιηθεί αναδευτήρας με διάμετρο: (α) το 1/2 ή (β) το 1/4 της διαμέτρου της δεξαμενής? Θεωρούμε ότι η ταχύτητα είναι σε κάθε περίπτωση τέτοια, ώστε να δίνει την ίδια ισχύ ανά μονάδα όγκου.
10. Ένα αναδευόμενο δοχείο ($T = H = 1.2 \text{ m}$, $D = T/3$) θα χρησιμοποιηθεί για τη συνεχή ανάμιξη μίγματος οξέων ($\rho = 1600 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, $\mu = 20 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$). Ο χρόνος παραμονής των οξέων στο δοχείο είναι $\tau (= V/Q) = 5 \text{ min}$. Για να μην επηρεάζεται η ποιότητα της ανάμιξης, πρέπει ο χρόνος ανάμιξης t_{mix} να είναι 10 φορές μικρότερος από τον μέσο χρόνο παραμονής των οξέων στο δοχείο. Σε πόσες στροφές πρέπει να λειτουργεί ένας στρόβιλος Rushton και πόση θα είναι η παρεχόμενη ισχύς ανά μονάδα όγκου των οξέων?
11. Δίνεται αντιδραστήρας με διάμετρο (T) 3 ft και με στρόβιλο (Rushton) με $D = 12 \text{ in}$, που χρησιμοποιείται για ασυνεχή αντίδραση, όπου ο χρόνος ανάμιξης θεωρείται κρίσιμος. Τα αποτελέσματα με $N = 400 \text{ rpm}$ θεωρούνται ικανοποιητικά. Αν την ίδια αντίδραση την κάνουμε σε αντιδραστήρα με $T = 7 \text{ ft}$, $D = 3 \text{ ft}$, (α) ποιες συνθήκες θα έδιναν τον ίδιο χρόνο ανάμιξης στον νέο αντιδραστήρα, και (β) ποια θα ήταν η % μεταβολή στην ισχύ ανά μονάδα όγκου?
12. Δεξαμενή ($T = H_L = 2 \text{ m}$) εφοδιασμένη με ανακλαστήρες και στρόβιλο Rushton με διάμετρο $D = 0.6 \text{ m}$ θα χρησιμοποιηθεί για τη διασπορά 500 kg σωματιδίων γαληνίτη (με μέση διάμετρο σωματιδίων 0.02 mm και πυκνότητα $7500 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) μέσα σε νερό θερμοκρασίας $70 \text{ }^\circ\text{C}$ (πυκνότητα και ιξώδες νερού σ' αυτή τη θερμοκρασία $978 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, και $0.4 \text{ mPa}\cdot\text{s}$, αντίστοιχα). Ποιά είναι η ελάχιστη ταχύτητα περιστροφής (N_{js}) για την αιώρηση των σωματιδίων από τον πυθμένα του δοχείου?
13. Προτείνεται να χρησιμοποιηθεί σωλήνας (με εσωτερική διάμετρο 3 cm) και συστοιχία με 25 στατικούς αναμίκτης τύπου Kenics (ελικοειδή στοιχεία, μήκους το καθένα 3 cm) για τη διασπορά $2.5 \text{ m}^3\cdot\text{hr}^{-1}$ βενζολίου ($\sigma = 72 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$) σε νερό ($\rho = 1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, $\mu = 1 \text{ mPa}\cdot\text{s}$). Να υπολογιστούν το μέγεθος των παραγόμενων σταγονιδίων και η κατανάλωση ενέργειας ανά μονάδα όγκου της διασποράς. Ο συντελεστής τριβής είναι $f = 0.42$.
14. Ένα αναδευόμενο δοχείο ($T = H = 2 \text{ m}$), εφοδιασμένο με 4 ανακλαστήρες και με στρόβιλο Rushton ($D = 0.67 \text{ m}$, $N = 240 \text{ rpm}$) θα χρησιμοποιηθεί για τη διασπορά $150 \text{ m}^3\cdot\text{hr}^{-1}$ αέρα (STP) σε νερό ($\rho = 1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, $\mu_L = 1 \text{ mPa}\cdot\text{s}$, $\mu_G = 1.8 \times 10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{s}$). Να υπολογιστούν: (α) η απαιτούμενη ισχύς ανά μονάδα όγκου του νερού, (β) η κατακράτηση (φ_G) του αέρα μέσα στο νερό, (γ) η μέση διάμετρος κατά Sauter (d_{32}) των φυσαλίδων, και (δ) η διεπιφάνεια αέρα / νερού ($\sigma = 72.75 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$). Δίνεται και το διάγραμμα για τον υπολογισμό της απαραίτητης ισχύος για τον αεριζόμενο αναδευόμενο αντιδραστήρα.



15. Στο ίδιο αναδευόμενο δοχείο (άσκηση 9), ποια είναι η μέγιστη παροχή αερίου, που μπορεί να διασκορπισθεί ικανοποιητικά? Σε αυτήν την περίπτωση, ποια είναι απαίτηση σε ισχύ?
16. Ένας αναδευόμενος ζυμωτήρας (διάμετρος δοχείου $T = 3$ m, διάμετρος στροβίλου Rushton $D = 1.5$ m, ύψος πλήρωσης υγρού $H = 5$ m) αναδύεται από ένα σύστημα τριών στροβίλων Rushton τοποθετημένων στον ίδιο άξονα, που περιστρέφεται με ταχύτητα 40 RPM - σε παρόμοιες περιπτώσεις, η συνολική απαίτηση σε ισχύ προκύπτει από το άθροισμα της απαίτησης σε ισχύ για τον κάθε αναδευτήρα ξεχωριστά. Στον ζυμωτήρα διοχετεύεται αέρας με παροχή $Q_G = 14$ m³·min⁻¹. να υπολογιστούν (α) η ισχύς για αεριζόμενο και μη αεριζόμενο αντιδραστήρα, και (β) η αέρια κατακράτηση (φ_G). Δίνονται: πυκνότητα ρευστού $\rho = 1050$ kg·m⁻³, ιξώδες $\mu = 3$ mPa.s.
17. Ένας αντιδραστήρας, όγκου 20 χιλ. λίτρων, χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενός πολυσακχαρίτη με βάση τον μικροοργανισμό *Xanthomonas campestris*. Έχει διάμετρο $T = 3$ m και ύψος πλήρωσης υγρού $H = 2.83$ m. Αναδύεται από στρόβιλο Rushton διαμέτρου $D = 1$ m με ταχύτητα 50, 70 ή 85 rpm. Η παροχή του αέρα είναι 200, 320 ή 600 m³·h⁻¹. Το αναδευόμενο ρευστό έχει Νευτώνεια χαρακτηριστικά, πυκνότητα $\rho = 1200$ kg·m⁻³, και ιξώδες $\mu = 0.7$ mPa.s. Να υπολογιστεί η απαιτούμενη ισχύς ανά μονάδα όγκου (υγρού) για την ανάδευση για όλους τους συνδυασμούς συνθηκών (στον υπολογισμό του όγκου να ληφθεί υπόψη η αέρια κατακράτηση).
18. Οι ερευνητές Asai και Kono³ διατύπωσαν την ακόλουθη εμπειρική εξίσωση για τον υπολογισμό της ισχύος σε αεριζόμενο αναδευόμενο χημικό αντιδραστήρα, εφοδιασμένο με σύστημα διπλού στροβίλου Rushton (στον ίδιο άξονα):

$$P_G = 7.7 \times 10^{-5} \frac{(H)^{0.04} (N)^{3.15} (D)^{5.7}}{(T)^{0.91} (u_G)^{0.25}}$$

³ Asai T. και Kono T., 1982, Estimation of oxygen absorption coefficient and power consumption rate in a stirred-tank fermentor. *J. Ferment. Technol.* **60**, 265-268.

όπου οι μεταβλητές έχουν τις εξής μονάδες: P_G [kW], T [m], H [m], D [m], u_G [m·h⁻¹], και N [rpm]. Η εξίσωση ισχύει για $D/T = 1/3$, $H/T = 1$ και 1.5 , και για αντιδραστήρες από 1 έως 100 m³. Έστω παρόμοιος αντιδραστήρας, όγκου υγρού $V_L = 100$ m³, που αναδεύεται με ταχύτητα περιστροφής των αναδευτήρων $N = 60$ rpm, και στον οποίον παρέχεται αέρας με παροχή $Q_G = 100$ m³·min⁻¹. Το αναδευόμενο υγρό έχει χαρακτηριστικά υδατικού διαλύματος ($\rho = 1000$ kg·m⁻³, $\mu = 1$ mPa·s). Να υπολογιστεί η απαιτούμενη ισχύς (α) με το διάγραμμα της άσκησης 14, και (β) με την εξίσωση των Asai και Kono.