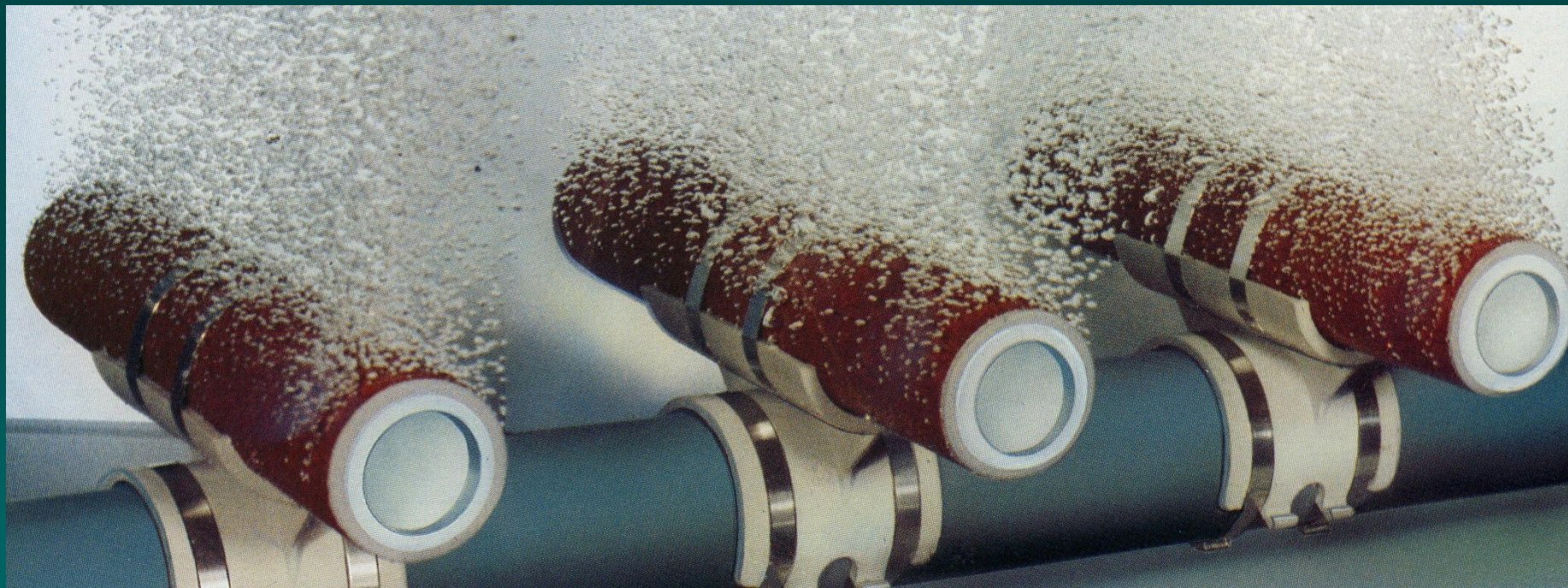




Τμήμα Χημικών Μηχανικών- Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Υπολογισμός και τροφοδοσία οξυγόνου



Υπολογισμός αέρα με διάχυση

$$\text{Ειδική Απαίτηση Αέρα} = \frac{\left[\frac{C_s}{(b_x C_{sw} - C_l)} \right]}{E_x a_x g_x 1,024^{(T - 20)}}$$

Ειδική απαίτηση αέρα: $\text{m}^3 \text{ αέρα / kg O}_2$

$C_s = 9.2$

C_s : Διαλυτότητα O_2 σε $T=20 \text{ }^\circ\text{C}$ σε επίπεδο θάλασσας, mg/L

C_{sw} : Διαλυτότητα O_2 στις συνθήκες εργασίας (**υψόμετρο, θερμοκρασία**)

b : **0,85 - 0,95** λόγος συγκέντρωσης κορεσμού O_2 αποβλήτων και καθαρού νερού

C_l : επιθυμητή συγκέντρωση O_2 στη δεξαμενή αερισμού [**1 - 3 mg/L**]

E : % απόδοση σε μεταφορά οξυγόνου των διαχυτών [**5 - 20 %**]

a : **0,85 - 1,15** λόγος ρυθμών απορρόφησης O_2 υγρού μίγματος και καθαρού νερού

g : περιεκτικότητα του αέρα σε O_2 , kg/m^3

T : θερμοκρασία υγρού μίγματος

Διαλυτότητα του οξυγόνου [mg/L] σε σχέση με τη θερμοκρασία και το υψόμετρο

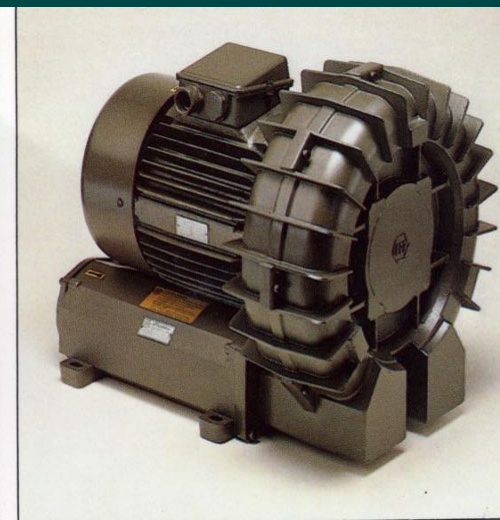
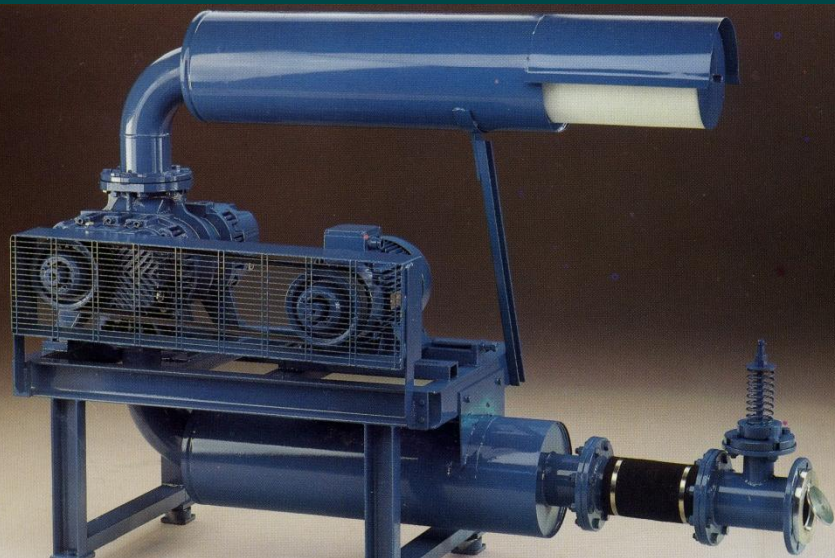
Θερμοκρασία Συντελεστή

Υψόμετρο πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας

| C | (1,024) $(T-20)$ | 0 | 300 | 600 | 900 | 1200 | 1500 |
|----|------------------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 0,621 | 14,6 | 14,1 | 13,6 | 13,1 | 12,6 | 12,1 |
| 2 | 0,653 | 13,8 | 13,3 | 12,8 | 12,4 | 11,9 | 11,5 |
| 4 | 0,684 | 13,1 | 12,6 | 12,2 | 11,8 | 11,4 | 10,9 |
| 6 | 0,717 | 12,5 | 12,0 | 11,6 | 11,2 | 10,8 | 10,4 |
| 8 | 0,752 | 11,9 | 11,4 | 11,0 | 10,6 | 10,2 | 9,9 |
| 10 | 0,789 | 11,3 | 10,9 | 10,5 | 10,1 | 9,8 | 9,4 |
| 12 | 0,827 | 10,8 | 10,4 | 10,1 | 9,7 | 9,4 | 9,0 |
| 14 | 0,867 | 10,4 | 10,0 | 9,6 | 9,3 | 8,9 | 8,6 |
| 16 | 0,909 | 10,0 | 9,6 | 9,2 | 8,9 | 8,6 | 8,3 |
| 18 | 0,954 | 9,5 | 9,2 | 8,9 | 8,5 | 8,2 | 7,9 |
| 20 | 1,000 | 9,2 | 8,8 | 8,5 | 8,2 | 7,9 | 7,6 |
| 22 | 1,049 | 8,8 | 8,5 | 8,2 | 7,9 | 7,6 | 7,3 |
| 24 | 1,100 | 8,5 | 8,2 | 7,9 | 7,6 | 7,3 | 7,1 |
| 26 | 1,153 | 8,2 | 7,9 | 7,6 | 7,3 | 7,1 | 6,8 |
| 28 | 1,209 | 7,9 | 7,6 | 7,4 | 7,1 | 6,8 | 6,6 |
| 30 | 1,268 | 7,6 | 7,4 | 7,1 | 6,9 | 6,6 | 6,4 |
| 32 | 1,329 | 7,4 | 7,1 | 6,9 | 6,6 | 6,4 | 6,2 |
| 34 | 1,394 | 7,2 | 6,9 | 6,7 | 6,4 | 6,2 | 6,0 |
| 36 | 1,460 | 7,0 | 6,7 | 6,5 | 6,3 | 6,0 | 5,8 |
| 38 | 1,532 | 6,8 | 6,6 | 6,3 | 6,1 | 5,9 | 5,6 |
| 40 | 1,600 | 6,6 | 6,4 | 6,1 | 5,9 | 5,7 | 5,5 |

Περιεκτικότητα του αέρα σε οξυγόνο, kg/m³

| ALTITUDE in m s.l.m. | TEMPERATURA | | | | | | | | | | |
|-------------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0°C | 4°C | 8°C | 12°C | 16°C | 20°C | 24°C | 28°C | 32°C | 36°C | 40°C |
| 0 | 0,300 | 0,296 | 0,291 | 0,287 | 0,283 | 0,279 | 0,276 | 0,272 | 0,268 | 0,265 | 0,262 |
| 300 | 0,290 | 0,286 | 0,282 | 0,278 | 0,274 | 0,270 | 0,267 | 0,263 | 0,260 | 0,256 | 0,253 |
| 600 | 0,280 | 0,276 | 0,272 | 0,268 | 0,265 | 0,261 | 0,257 | 0,254 | 0,251 | 0,247 | 0,244 |
| 900 | 0,270 | 0,266 | 0,262 | 0,259 | 0,255 | 0,252 | 0,248 | 0,245 | 0,242 | 0,239 | 0,236 |
| 1200 | 0,260 | 0,256 | 0,253 | 0,249 | 0,246 | 0,242 | 0,239 | 0,236 | 0,233 | 0,230 | 0,227 |
| 1500 | 0,250 | 0,247 | 0,243 | 0,240 | 0,236 | 0,233 | 0,230 | 0,227 | 0,224 | 0,221 | 0,218 |



Χαρακτηριστικά συμπιεστών αέρα - Blowers

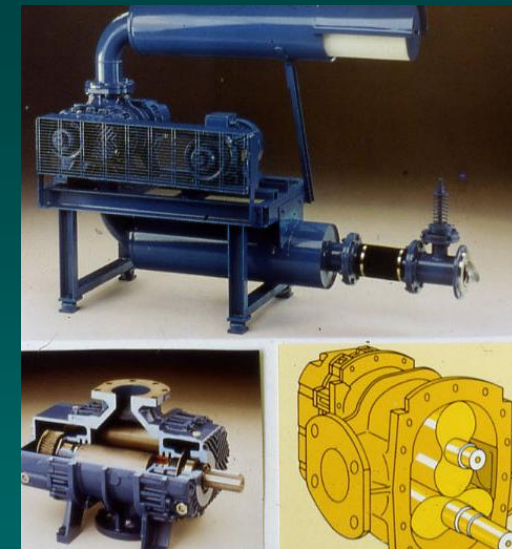
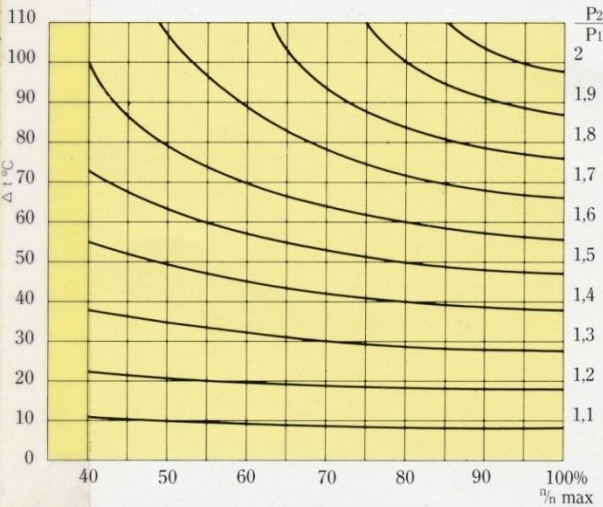
P1 = Pressione in aspirazione - suction pressure
 P2 = Pressione di mandata - discharge pressure
 P2/P1 = Rapporto di compressione - compression ratio

Tolleranza ± 5%

Allowance ± 5%

| Modello Type | Bocche Outlets Ø mm | giri al minuto Rpm | 100 | | 200 | | 300 | | 400 | | 500 | | 600 | | 700 | | 800 | | 900 | | 1000 | | | |
|-----------------|---------------------------|--------------------------|-------------------|------|-------------------|------|-------------------|------|-------------------|------|-------------------|------|-------------------|------|-------------------|------|-------------------|------|-------------------|------|-------------------|------|------|--|
| | | | m ³ /h | kW | m ³ /h | kW | m ³ /h | kW | m ³ /h | kW | m ³ /h | kW | m ³ /h | kW | m ³ /h | kW | m ³ /h | kW | m ³ /h | kW | m ³ /h | kW | | |
| RB 30 | 80 | | 1450 | 135 | 0,67 | 120 | 1,2 | 105 | 1,7 | 95 | 2,3 | 86 | 2,8 | 80 | 3,4 | | | | | | | | | |
| | | | 2200 | 228 | 0,96 | 210 | 1,8 | 198 | 2,5 | 188 | 3,3 | 177 | 4,1 | 170 | 4,8 | 165 | 5,6 | | | | | | | |
| | | | 2850 | 310 | 1,35 | 290 | 2,2 | 280 | 3,2 | 267 | 4,2 | 257 | 5,2 | 250 | 6,4 | 245 | 7,1 | 235 | 8,1 | 230 | 9,2 | | | |
| | | | 3800 | 428 | 1,7 | 408 | 3 | 398 | 4,3 | 388 | 5,6 | 375 | 6,9 | 367 | 9 | 362 | 9,5 | 355 | 11 | 350 | 12 | 345 | 13,3 | |
| RB 40 | 80 | | 1450 | 190 | 0,9 | 172 | 1,5 | 156 | 2,2 | 142 | 2,8 | 130 | 3,5 | | | | | | | | | | | |
| | | | 2200 | 308 | 1,4 | 293 | 2,4 | 277 | 3,3 | 264 | 4,3 | 250 | 5,3 | | | | | | | | | | | |
| | | | 2850 | 410 | 1,8 | 395 | 3 | 380 | 4,3 | 365 | 5,6 | 352 | 6,9 | | | | | | | | | | | |
| | | | 3800 | 560 | 2,4 | 540 | 4 | 528 | 5,8 | 515 | 7,4 | 500 | 9,2 | | | | | | | | | | | |
| RB 41 | 100 | | 1450 | 260 | 1,2 | 235 | 2,1 | 215 | 2,9 | 200 | 3,7 | 190 | 4,6 | | | | | | | | | | | |
| | | | 2200 | 420 | 1,8 | 395 | 3 | 375 | 4,4 | 360 | 5,7 | 350 | 7 | | | | | | | | | | | |
| | | | 2850 | 560 | 2,2 | 535 | 3,9 | 515 | 5,6 | 500 | 7,4 | 490 | 9 | | | | | | | | | | | |
| | | | 3800 | 760 | 3 | 735 | 5,3 | 715 | 7,4 | 700 | 9,6 | 690 | 12 | | | | | | | | | | | |
| RB 50 | 100 | | 1450 | 310 | 1,5 | 290 | 2,4 | 275 | 3,1 | 260 | 4 | 250 | 4,9 | | | | | | | | | | | |
| | | | 2200 | 490 | 2,2 | 470 | 3,4 | 450 | 4,7 | 440 | 6,1 | 425 | 7,4 | | | | | | | | | | | |
| | | | 2850 | 645 | 2,7 | 625 | 4,5 | 610 | 6,1 | 600 | 8 | 580 | 9,8 | | | | | | | | | | | |
| | | | 3200 | 730 | 3 | 710 | 5 | 690 | 7 | 675 | 9 | 660 | 11 | | | | | | | | | | | |
| RB 60 | 100 | | 1450 | 410 | 1,7 | 390 | 3 | 370 | 4,3 | 350 | 5,5 | 335 | 6,8 | | | | | | | | | | | |
| | | | 2200 | 660 | 2,8 | 640 | 4,6 | 620 | 6,5 | 600 | 8,5 | 585 | 10,5 | | | | | | | | | | | |
| | | | 2850 | 870 | 3,6 | 850 | 6 | 830 | 8,6 | 810 | 11 | 795 | 13,7 | | | | | | | | | | | |
| | | | 3200 | 980 | 4 | 960 | 7 | 940 | 9,7 | 920 | 12,5 | 905 | 15,5 | | | | | | | | | | | |
| RB 61 | 125 | | 1450 | 490 | 1,9 | 465 | 3,4 | 440 | 4,9 | 420 | 6,4 | 400 | 7,9 | | | | | | | | | | | |
| | | | 2200 | 780 | 3 | 735 | 5,3 | 710 | 7,6 | 690 | 10 | 670 | 12,2 | | | | | | | | | | | |
| | | | 2850 | 1030 | 4 | 1005 | 7 | 980 | 10 | 960 | 13 | 940 | 16 | | | | | | | | | | | |
| | | | 3200 | 1170 | 4,5 | 1145 | 7,8 | 1120 | 11,2 | 1100 | 15 | 1080 | 18 | | | | | | | | | | | |
| RB 70 | 125 | | 960 | 380 | 1,9 | 340 | 2,9 | 315 | 4,2 | 295 | 5,6 | 275 | 6,8 | | | | | | | | | | | |
| | | | 1450 | 620 | 2,7 | 575 | 4,7 | 550 | 6,5 | 530 | 8,5 | 510 | 10,5 | | | | | | | | | | | |
| | | | 2000 | 880 | 3,7 | 840 | 6,5 | 810 | 9,2 | 790 | 12 | 770 | 14,5 | 755 | 17 | 740 | 19,5 | 730 | 22,1 | 720 | 25 | 710 | 28 | |
| | | | 2500 | 1120 | 4,8 | 1075 | 8,1 | 1050 | 11,3 | 1030 | 15 | 1010 | 18 | 995 | 22 | 980 | 25 | 965 | 28,6 | 955 | 32 | 945 | 35 | |
| RB 80 | 150 | | * 2850 | 1285 | 5,8 | 1250 | 9,5 | 1230 | 13 | 1205 | 17 | 1185 | 21 | 1165 | 25 | 1150 | 28,5 | 1135 | 32 | 1125 | 36,5 | 1110 | 39,5 | |
| | | | 960 | 580 | 2,3 | 540 | 4,2 | 500 | 5,9 | 480 | 7,8 | 460 | 9,6 | 450 | 12,2 | | | | | | | | | |
| | | | 1450 | 930 | 3,7 | 890 | 6,5 | 855 | 9,3 | 830 | 12,3 | 810 | 15 | 790 | 18 | 770 | 21 | 750 | 23,6 | | | | | |
| | | | 2000 | 1320 | 5,6 | 1280 | 9,2 | 1245 | 13,3 | 1225 | 17,1 | 1205 | 21 | 1185 | 25,2 | 1165 | 29 | 1140 | 32,5 | | | | | |
| RB 81 | 150 | | 2500 | 1680 | 7 | 1650 | 12,2 | 1605 | 16,8 | 1585 | 22 | 1565 | 27 | 1545 | 32 | 1525 | 36,5 | 1500 | 41,5 | | | | | |
| | | | * 2850 | 1910 | 8 | 1865 | 14 | 1830 | 19,5 | 1805 | 25 | 1781 | 30,5 | 1755 | 36 | 1735 | 41,5 | 1715 | 47 | | | | | |
| | | | 960 | 770 | 3 | 720 | 5,3 | 675 | 7,5 | 640 | 10 | 600 | 12,3 | | | | | | | | | | | |
| | | | 1450 | 1190 | 4,8 | 1140 | 8,5 | 1090 | 12 | 1050 | 15,5 | 1020 | 19,2 | | | | | | | | | | | |
| RB 90 | 150 | | 2000 | 1690 | 7 | 1640 | 12 | 1590 | 17,3 | 1550 | 22 | 1520 | 26,5 | | | | | | | | | | | |
| | | | 2500 | 2140 | 8,9 | 2090 | 15,1 | 2040 | 21,5 | 2000 | 28 | 1970 | 34 | | | | | | | | | | | |
| | | | * 2850 | 2450 | 10,2 | 2400 | 17,5 | 2360 | 25,5 | 2315 | 31 | 2285 | 39 | | | | | | | | | | | |
| | | | 960 | 800 | 3,2 | 740 | 5,7 | 700 | 8,3 | 665 | 11 | 630 | 13,5 | 600 | 16 | 575 | 18,6 | 550 | 21,5 | | | | | |
| | 1450 | 1280 | 5 | 1220 | 9 | 1180 | 12,5 | 1145 | 16,6 | 1110 | 21 | 1080 | 24,5 | 1055 | 28 | 1030 | 32 | 1010 | 36,1 | 990 | 40 | | | |
| | 1800 | 1630 | 6,1 | 1570 | 11 | 1530 | 15,6 | 1495 | 21 | 1460 | 25,5 | 1430 | 30,2 | 1405 | 35 | 1380 | 40 | 1360 | 44,5 | 1340 | 49,5 | | | |
| | 2200 | 2020 | 7,4 | 1960 | 13,3 | 1920 | 19,2 | 1885 | 25 | 1850 | 31 | 1820 | 37 | 1795 | 42,8 | 1770 | 48,7 | 1750 | 54,5 | 1740 | 60,5 | | | |

Average values of the temperature increase of the gas according to the compression ratio and to the blower speed.



Ισχύς Αεροσυμπιεστή

$$I = \frac{wRT_1}{29,7ne} \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{0,283} - 1 \right]$$

I: Ισχύς φυσητήρα, kW

w: βάρος παροχής αέρα, **std kg/s** [1,2 kg/m³ → 20 °C → 1 atm] *

R: 8,314 kJ/k mol K

T₁: απόλυτη θερμοκρασία εισερχόμενου αέρα, **K**

29,7: Συντελεστής μετατροπής των μονάδων

e = [(k-1)/k] = [(1,395 - 1)/k] = 0,283 για αέρα

η : απόδοση αεροσυμπιεστή **(0,7-0,9) → 0,8**

P₂: πίεση κατάθλιψης, (απόλυτη + απώλειες), **atm**

P₁ : απόλυτη πίεση στο σημείο εισόδου του αέρα, **~ 1 atm**

* Είναι προφανές ότι η απορροφούμενη ισχύς του φυσητήρα επηρεάζεται από κλιματολογικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας του αέρα.

Ισχύς ανάμιξης

$$\diamond I = p_1 Q \ln[p_2/p_1]$$

Όπου

I = ισχύς ανάμιξης, kW

p₁ = πίεση ατμοσφαιρικού αέρα, kN/m²

p₂ = πίεση αέρα στην κατάθλιψη, kN/m²

Q = παροχή αέρα, m³/s

$$1 \text{ atm} = 1,0133 \times 10^2 \text{ kN/m}^2$$

Απώλεια μανομετρικού ύψους λόγω τριβών [1]

Εξίσωση Darcy-Weisbach

$$h_L = f_D \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{u^2}{2g} \cdot \frac{\rho_{\text{αέρα}}}{\rho_{\text{νερού}}}$$



h_i
μανομετρικό ύψος ταχύτητας

$$N_{Re} = \frac{uD\rho}{\mu}$$

h_L απώλεια μανομετρικού, mwc

f_D συντελεστής τριβής

L/D αναλογία μήκους διαμέτρου αγωγού

u ταχύτητα αέρα, m/s

g επιτάχυνση της βαρύτητας, m/s²

$$\mu = [0,5 \cdot T(^{\circ}C) + 170] \cdot 10^{-4}, \text{ cp}$$

- 20 < T < 90 °C

Απώλεια μανομετρικού ύψους λόγω τριβών [2]

Θερμοκρασιακή μεταβολή σε φυσητήρα

$$\Delta T_{\text{αδιαβατική}} = T_1 \cdot \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$$

$$\Delta T_{\text{πραγματική}} = \frac{\Delta T_{\text{αδ}}}{\eta}$$

η απόδοση φυσητήρα

p_1 πίεση αναρρόφησης

p_2 πίεση κατάθλιψης

T_1 θερμοκρασία αναρρόφησης

k λόγος θερμοχωρητικοτήτων (1,395)

Πυκνότητα αέρα – πίεση – θερμοκρασία

Πυκνότητα (kg/m³)

Απόλυτη πίεση (bar)

T
°C

| | 1,0 | 1,3 | 1,7 | 2,4 | 3,1 | 3,8 | 4,4 | 5,1 | 5,8 | 6,5 | 7,2 | 9,3 | 11,3 | 14,8 |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| -1 | 1,30 | 1,75 | 2,18 | 3,08 | 3,96 | 4,84 | 5,72 | 6,60 | 7,48 | 8,36 | 9,26 | 11,9 | 14,56 | 18,98 |
| 4 | 1,28 | 1,71 | 2,15 | 3,01 | 3,88 | 4,73 | 5,61 | 6,47 | 7,34 | 8,20 | 9,07 | 11,7 | 14,26 | 18,60 |
| 10 | 1,25 | 1,68 | 2,10 | 2,96 | 3,81 | 4,66 | 5,51 | 6,36 | 7,22 | 8,07 | 8,92 | 11,5 | 14,03 | 18,29 |
| 16 | 1,22 | 1,63 | 2,05 | 2,88 | 3,72 | 4,55 | 5,38 | 6,21 | 7,05 | 7,88 | 8,71 | 11,2 | 13,71 | 17,88 |
| 21 | 1,20 | 1,62 | 2,02 | 2,84 | 3,65 | 4,47 | 5,29 | 6,10 | 6,92 | 7,74 | 8,55 | 11,0 | 13,46 | 17,54 |
| 27 | 1,19 | 1,59 | 1,99 | 2,79 | 3,59 | 4,39 | 5,19 | 5,99 | 6,79 | 7,59 | 8,39 | 10,8 | 13,20 | 17,22 |
| 32 | 1,15 | 1,55 | 1,94 | 2,74 | 3,52 | 4,31 | 5,09 | 5,88 | 6,66 | 7,45 | 8,25 | 10,6 | 12,96 | 16,90 |
| 38 | 1,14 | 1,52 | 1,91 | 2,69 | 3,46 | 4,23 | 5,00 | 5,78 | 6,55 | 7,32 | 8,09 | 10,4 | 12,73 | 16,59 |
| 49 | 1,11 | 1,47 | 1,84 | 2,59 | 3,33 | 4,08 | 4,84 | 5,57 | 6,33 | 7,06 | 7,82 | 10,1 | 12,30 | 16,03 |
| 60 | 1,06 | 1,43 | 1,78 | 2,50 | 3,22 | 3,94 | 4,66 | 5,40 | 6,12 | 6,84 | 7,56 | 9,72 | 11,89 | 15,49 |
| 66 | 1,04 | 1,39 | 1,75 | 2,47 | 3,17 | 3,88 | 4,60 | 5,30 | 6,01 | 6,73 | 7,43 | 9,56 | 11,69 | 15,23 |
| 93 | 0,96 | 1,30 | 1,62 | 2,27 | 2,93 | 3,91 | 4,24 | 4,90 | 5,56 | 6,21 | 6,87 | 8,84 | 10,81 | 14,08 |
| 121 | 0,90 | 1,20 | 1,51 | 2,11 | 2,72 | 3,33 | 3,94 | 4,55 | 5,16 | 5,78 | 6,39 | 8,22 | 10,04 | 13,09 |
| 149 | 0,83 | 1,12 | 1,41 | 1,97 | 2,55 | 3,12 | 3,68 | 4,26 | 4,82 | 5,40 | 5,96 | 7,67 | 9,39 | 12,24 |
| 204 | 0,74 | 0,99 | 1,25 | 1,75 | 2,26 | 2,76 | 3,25 | 3,76 | 4,26 | 4,77 | 5,27 | 6,78 | 8,30 | 10,81 |
| 260 | 0,66 | 0,90 | 1,12 | 1,57 | 2,02 | 2,47 | 2,92 | 3,36 | 3,81 | 4,28 | 4,73 | 6,07 | 7,43 | 9,67 |
| 316 | 0,61 | 0,80 | 1,01 | 1,43 | 1,83 | 2,24 | 2,64 | 3,04 | 3,46 | 3,86 | 4,28 | 5,49 | 6,73 | 8,76 |

Απώλεια μανομετρικού ύψους λόγω τριβών [5]

Πυκνότητα αέρα – θερμοκρασία

| Θερμοκρασία, °C | Πυκνότητα, Kg/m ³ | Θερμοκρασία, °C | Πυκνότητα, Kg/m ³ |
|--------------------|---------------------------------|--------------------|---------------------------------|
| -40 | 1,514 | 60 | 1,060 |
| -20 | 1,395 | 70 | 1,029 |
| 0 | 1,293 | 80 | 0,9996 |
| 5 | 1,269 | 90 | 0,9721 |
| 10 | 1,247 | 100 | 0,9461 |
| 15 | 1,225 | 200 | 0,7461 |
| 20 | 1,204 | 300 | 0,6159 |
| 25 | 1,184 | 400 | 0,5243 |
| 30 | 1,165 | 500 | 0,4565 |
| 40 | 1,127 | 1000 | 0,2772 |
| 50 | 1,109 | | |

Απώλεια μανομετρικού ύψους λόγω τριβών [5]

Απόλυτη τραχύτητα επιφανειών διαφόρων υλικών

| Υλικό τοιχώματος | Απόλυτη τραχύτητα, ϵ (mm) |
|---------------------------------------|--|
| Χαλκός, μόλυβδος ή γυαλί | 0,0015 |
| Χάλυβας - <i>Καινούργιος</i> | 0,04-0,15 |
| Χάλυβας - <i>Χρησιμοποιημένος</i> | 0,10-0,20 |
| Χάλυβας - <i>Ελαφρά σκουριασμένος</i> | 0,15 |
| Γαλβανισμένος σίδηρος | 0,15 |
| Ασφαλτωμένος χυτοσίδηρος | 0,12 |
| PVC - πλαστικό | 0,0015-0,007 |
| Πολυεστερικός σωλήνας $D > 200$ mm | 0,05-0,085 |
| Τσιμεντοσωλήνες | 0,3-3 |
| Χυτοσίδηρος | 0,26 |
| Ξύλο | 5 |

Παράδειγμα [1/3]

Φυσητήρας απόδοση $n=70\%$, $T_1 = 30^\circ\text{C}$, $P_1 = 1 \text{ bar}$ (αναρρόφηση), $P_2 = 1,5 \text{ bar}$ (κατάθλιψη), Χαλύβδινος σωλήνας $L = 100 \text{ m}$, $D = 30 \text{ cm}$, $Q = 90 \text{ m}^3/\text{min}$ (ΚΣ)

Λύση

$$\Delta T = \frac{T_1}{n} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] = \frac{273 + 30}{0,7} \left[\left(\frac{1,5}{1} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} - 1 \right] = 53^\circ\text{C}$$

$T_2 = 53 + 30 = 83^\circ\text{C}$

Η θερμοκρασία αέρα 83°C θα είναι στην έξοδο του φυσητήρα, η οποία θα μειώνεται κατά μήκος του αγωγού ως συνάρτηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Έστω $T_{ave} = 70^\circ\text{C}$

$$\mu = [0,5 \times 70 + 170] \times 10^{-4} = 0,0205 \text{ cp} = 2,05 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

$$\rho_a = \frac{P_2}{R M B_a T_{ave}} = \frac{1,5 \times 10^5}{8,314 \times 29 \times [273 + 70]} = 1,814 \text{ kg/m}^3 \text{ αέρα}$$

Παράδειγμα [2/3]

Η μέση παροχή υπολογίζεται από τη σχέση

$$\frac{P_1 Q_1}{T_1} = \frac{P_2 Q_2}{T_{\text{ave}}}$$

$$Q_2 = 90 \times \frac{273+70}{273+30} \times \frac{1}{1,5} = 67,9 \text{ m}^3 / \text{min}$$

και η ταχύτητα υπολογίζεται από τη σχέση

$$u = \frac{67,9 / 60}{3,14 \frac{0,3^2}{4}} = 16 \text{ m / s}$$

$$N_{\text{Re}} = \frac{uD\rho}{\mu} = \frac{16 \times 0,3 \times 1,814}{2 \cdot 10^{-5}} = 4,36 \times 10^5$$

$$\varepsilon / D = 0,00015 / 0,3 = 0,0005$$

$$\xrightarrow{\text{Moody}} f_D = 0,016$$

για ασφάλεια λαμβάνεται $f_D = 0,018$

Παράδειγμα [3/3]

Απώλεια μανομετρικού ταχύτητας

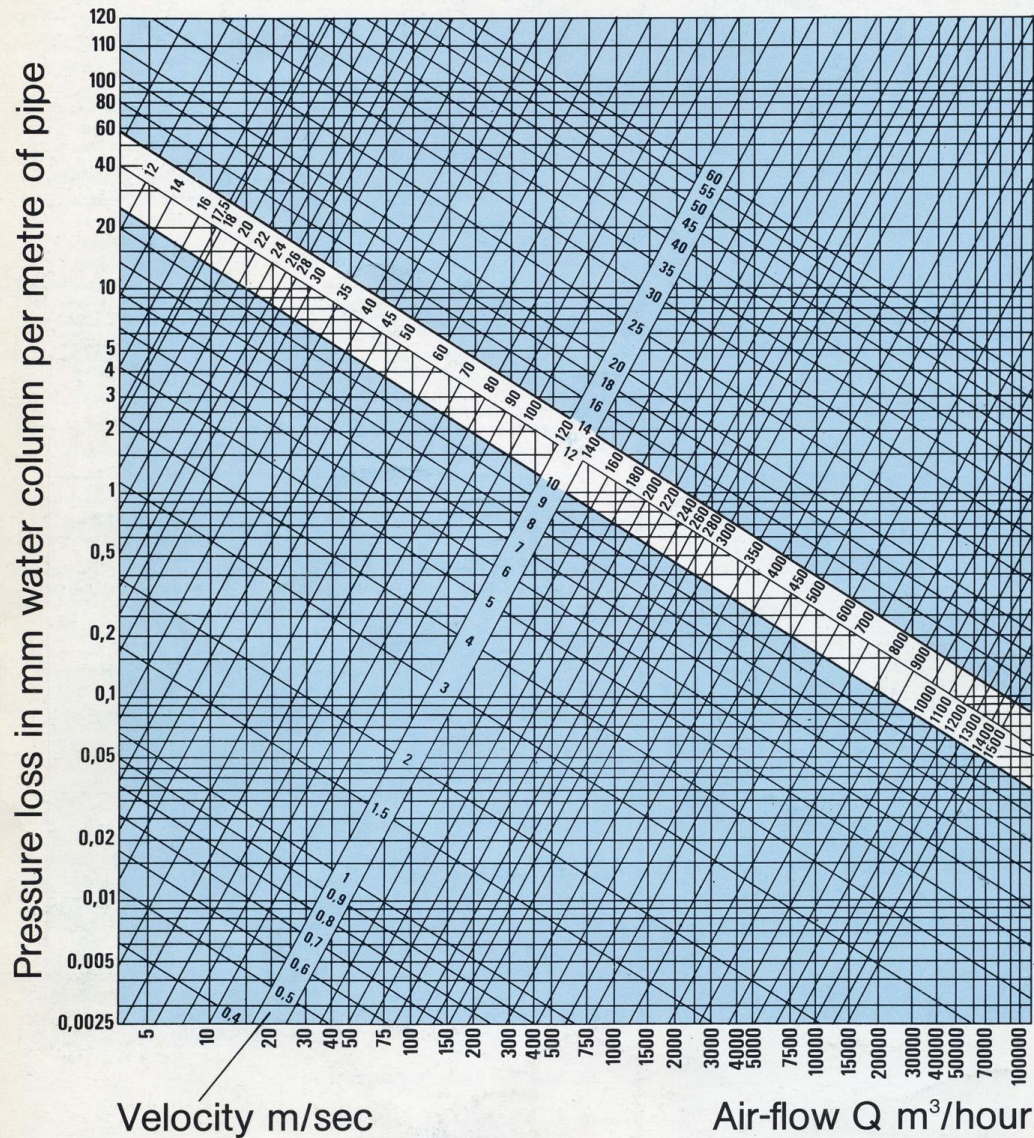
$$h_i = \frac{u^2}{2g} \cdot \frac{\rho_a}{\rho_{H_2O}} = \frac{16^2}{2 \times 9,81} \times \frac{1,814}{1004} = 0,0236 \text{ m H}_2\text{O}$$

Συνολική απώλεια μανομετρικού ύψους λόγω τριβών

$$h_L = f_D \frac{L}{D} h_i = 0,018 \times \frac{100}{0,3} \times 0,0236 = 0,142 \text{ m H}_2\text{O}$$

Calculation chart

Chart to calculate the pressure loss in smooth steel pipes in relation to velocity (air-flow) and pipe diameter.



Τοπικές απώλειες μανομετρικού

cmwc

| | |
|--------------|----------|
| Φίλτρα αέρα, | 0,15-5 |
| Βαλβίδες | 2-20 |
| Σιγαστήρες | 0,15-2,5 |
| Διαχυτές | 10-45 |

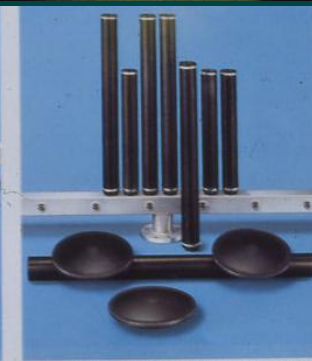
Τυπικές ταχύτητες αέρα
ανάλογα με τη διάμετρο του
αγωγού

| Διάμετρος, in | Ταχύτητα m/s |
|---------------|--------------|
| 1-3 | 5 - 10 |
| 4-10 | 10 - 15 |
| 12-24 | 15 - 20 |
| 30-60 | 20 - 30 |

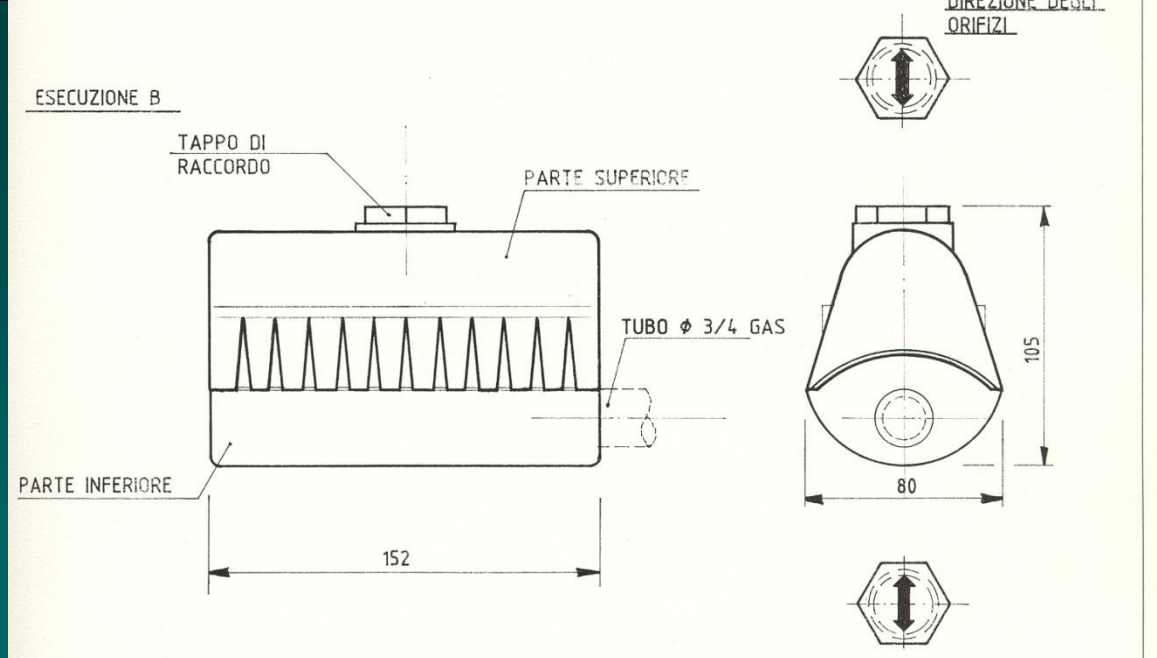
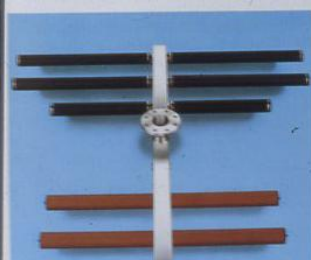
Διάφοροι τύποι διαχυτών αέρα



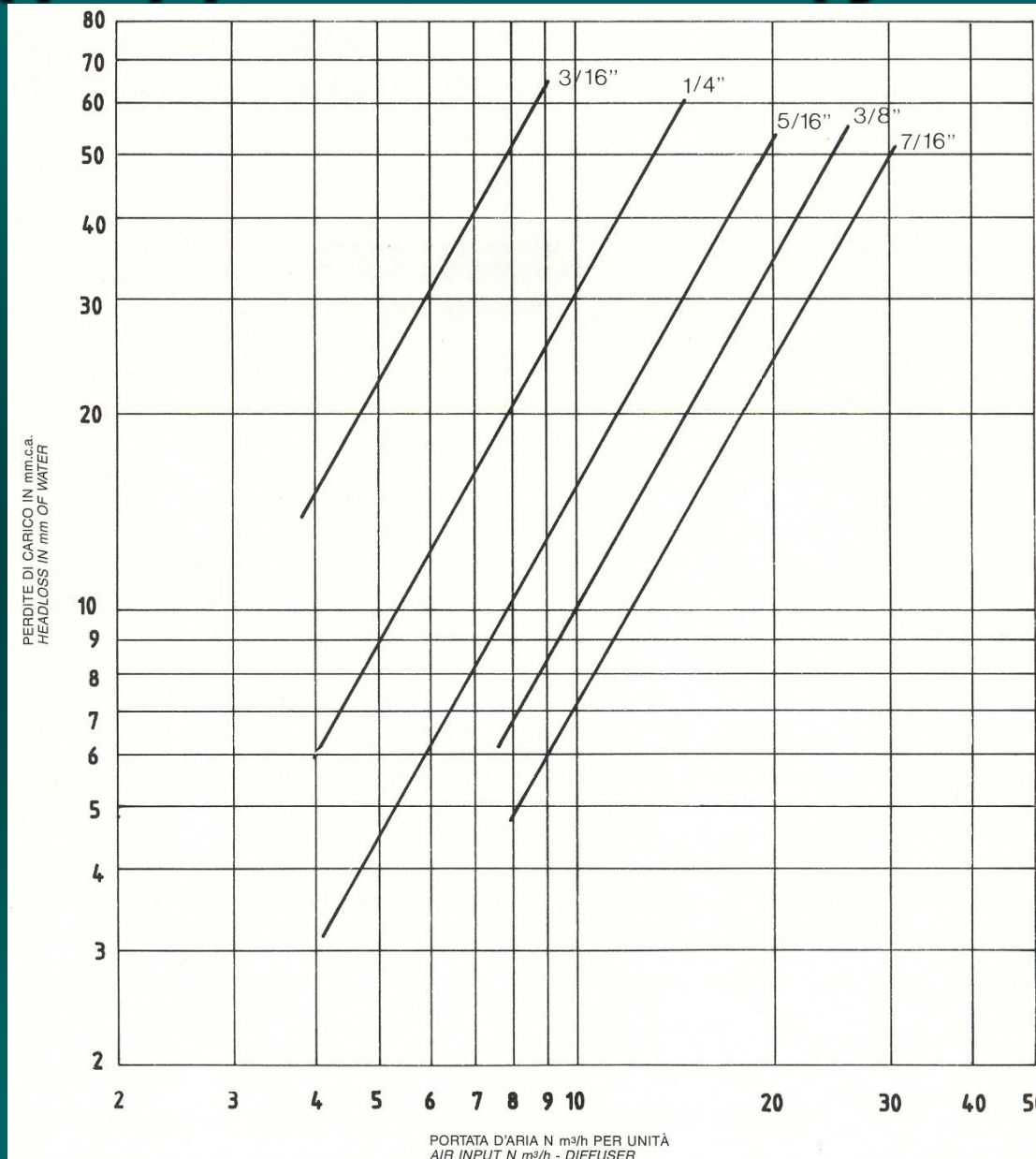
Ceramic diffusers BRANDOL®-R, aeration grid in stainless steel, BRANDOL®-area



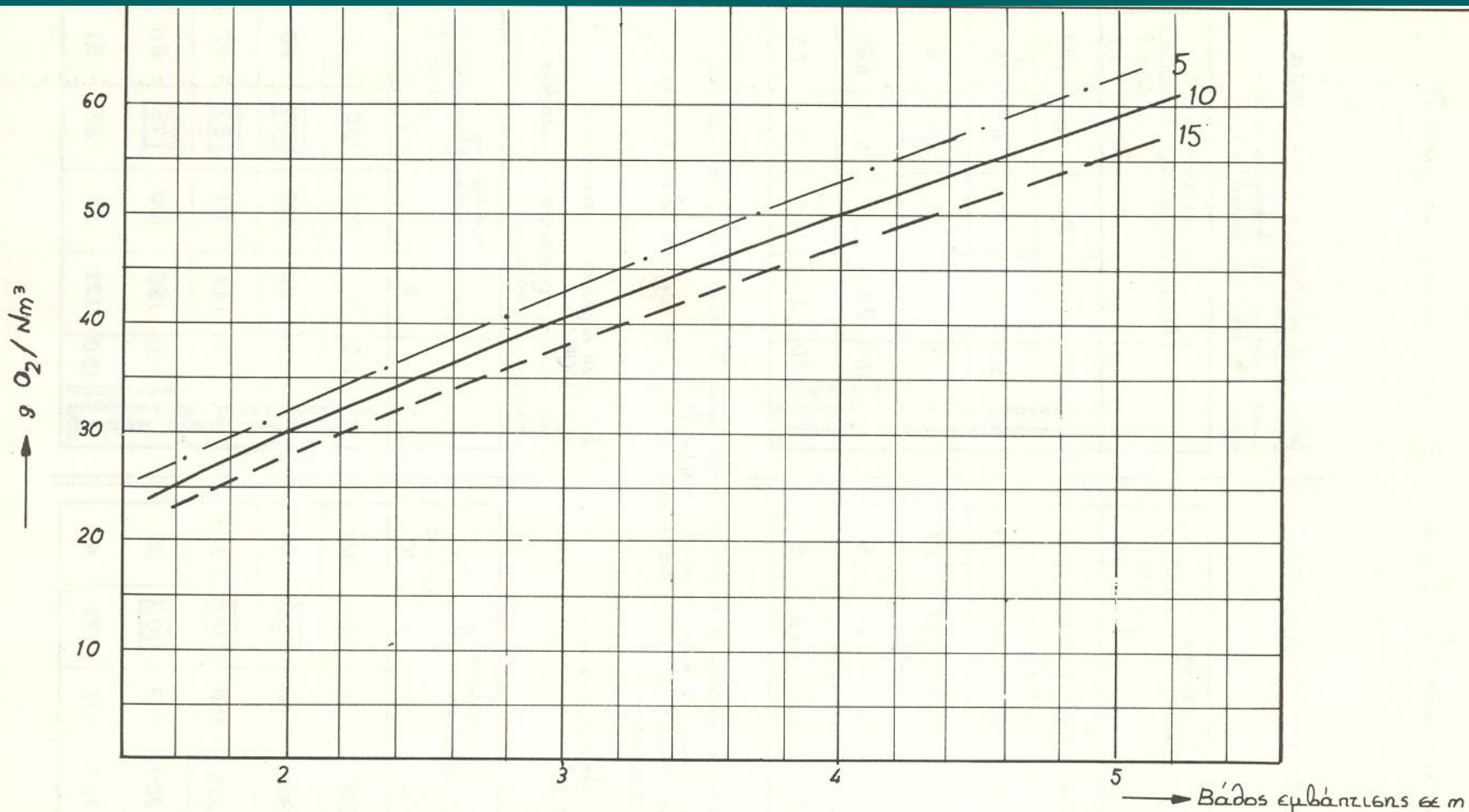
Rubber diaphragm tubular diffusers and disc aerators



Διαγράμματα απόδοσης διαχυτών



Διαγράμματα απόδοσης διαχυτών

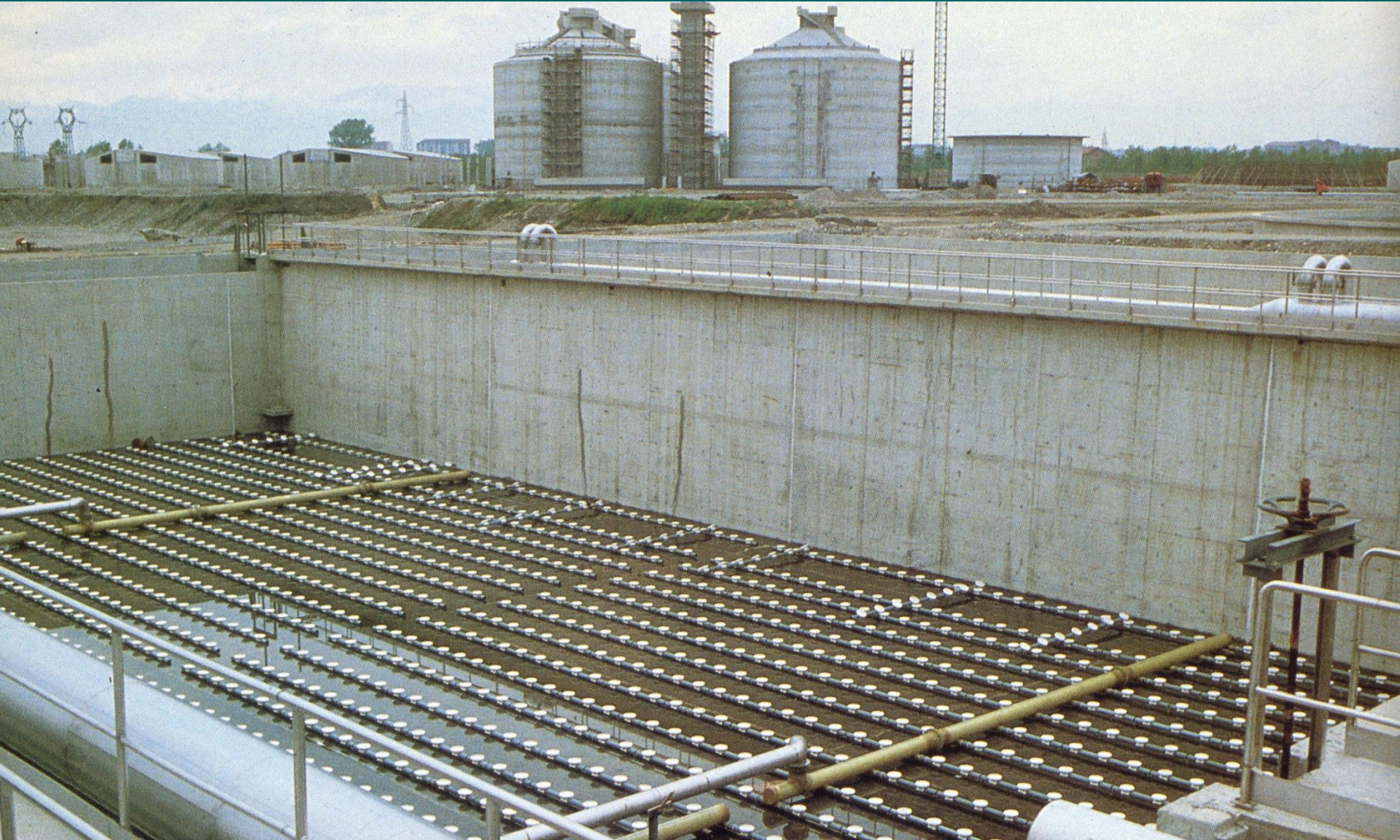


Διάγραμμα 1

SCHUMACHER'SCHE FABRIK
712 Bietigheim

Πρόδοση οξυγόνου με διαχυτές BRANDOL 60.70/40 ανά Nm³ αέρα
στο καθαρό νερό με φορτίσεις ανά τρέχον μέτρο διαχυτού των
5, 10 και 15 Nm³/h

Συστήματα διανομής αέρα



A sewage plant near Turin, Italy, (population 2,400,000) fitted with 28,000 HKL 215 type disc diffusers.

Une station d'épuration près de Turin (2 400 000 habitants), en Italie, équipée de 28 000 diffuseurs à disque type HKL 215.

Una planta de aguas cloacales cerca de (2.400.000 habitantes), Italia, equipada con 28.000 fusores de disco tipo HKL 215.

Σχεδιασμός Διεργασιών Αντιρρύπανσης Διαφάνειες διαλέξεων Μανασσής Μητρακάς Επίκ. Καθηγητής

Σύστημα διάχυσης αέρα σε βιολογικό αντιδραστήρα



Συστήματα διανομής αέρα



Nürnberg, sewage plant I
1,2 Mio inhabitants,
volume of activated sludge tank = 20.000 m³

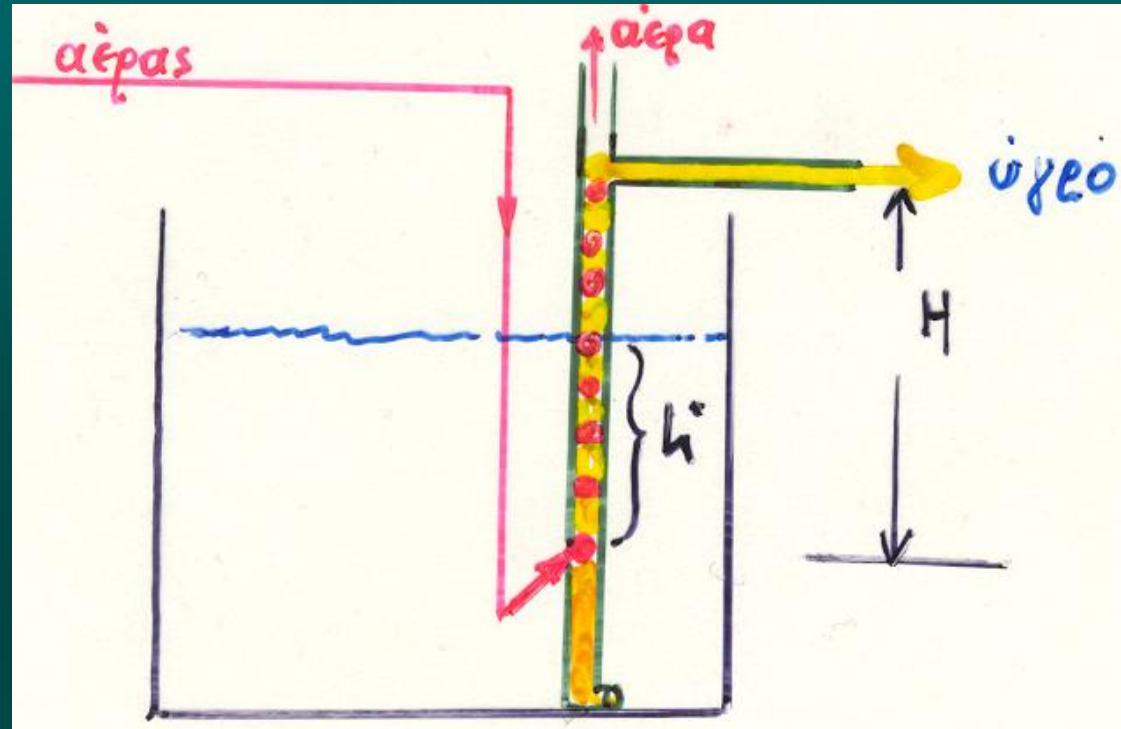


Nürnberg, sewage plant I -
1,2 Mio inhabitants,
volume of activated sludge tank = 20.000 m³



Απαιτούμενος αέρας για αεροάντληση (Air lift)

$$V = \frac{H}{\kappa + \log\left(\frac{h' + 10}{10}\right)}$$



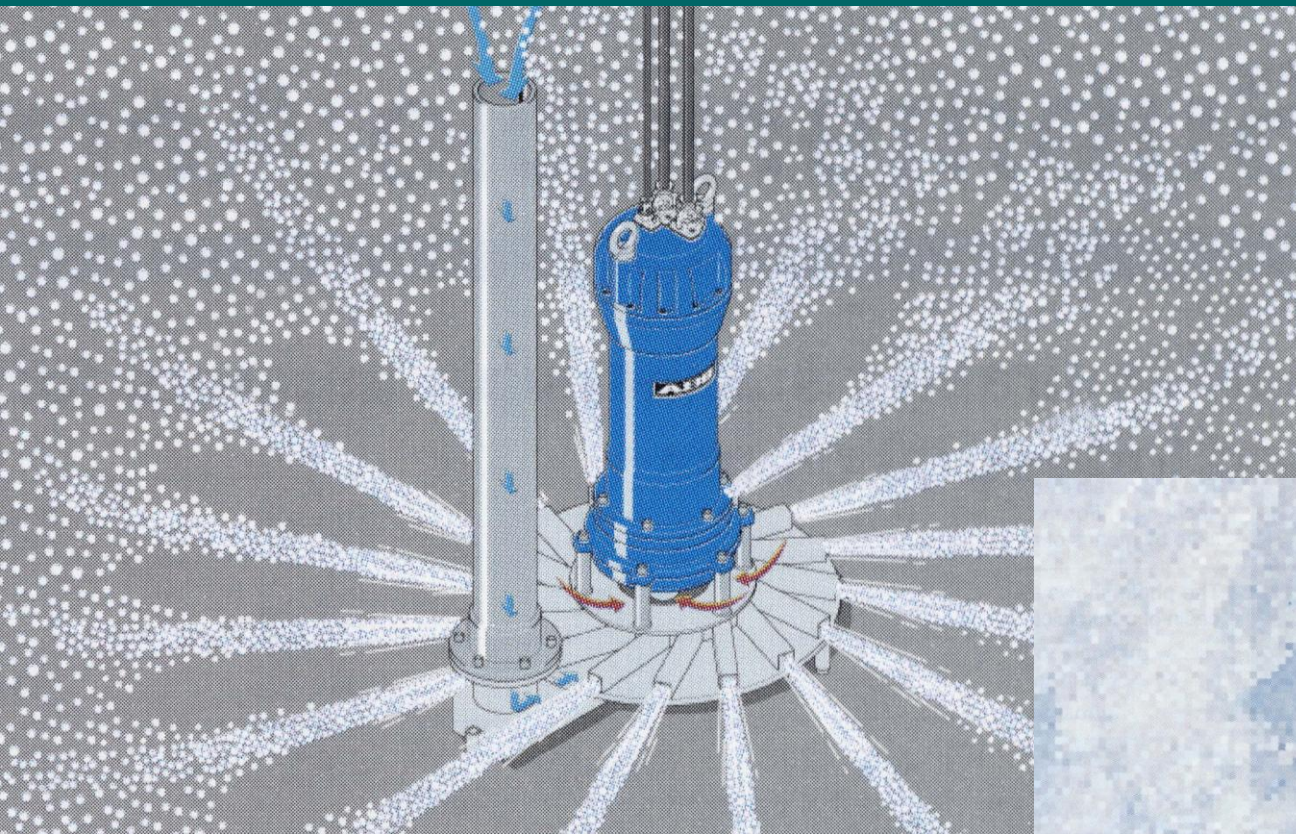
V : όγκος αέρα, m³αέρα/m³υγρού

H : βύθισμα + ανύψωση, m

h' : βύθισμα έμφυσησης, m

Το βύθισμα συνίσταται να είναι: $h' = 2/3 H$, για H έως 10 cm
 $h' = 1/2 H$, για H έως 50 cm

και $\kappa=40$ όταν $h' = 2/3 H$



Διάχυση αέρα με αεραντλία



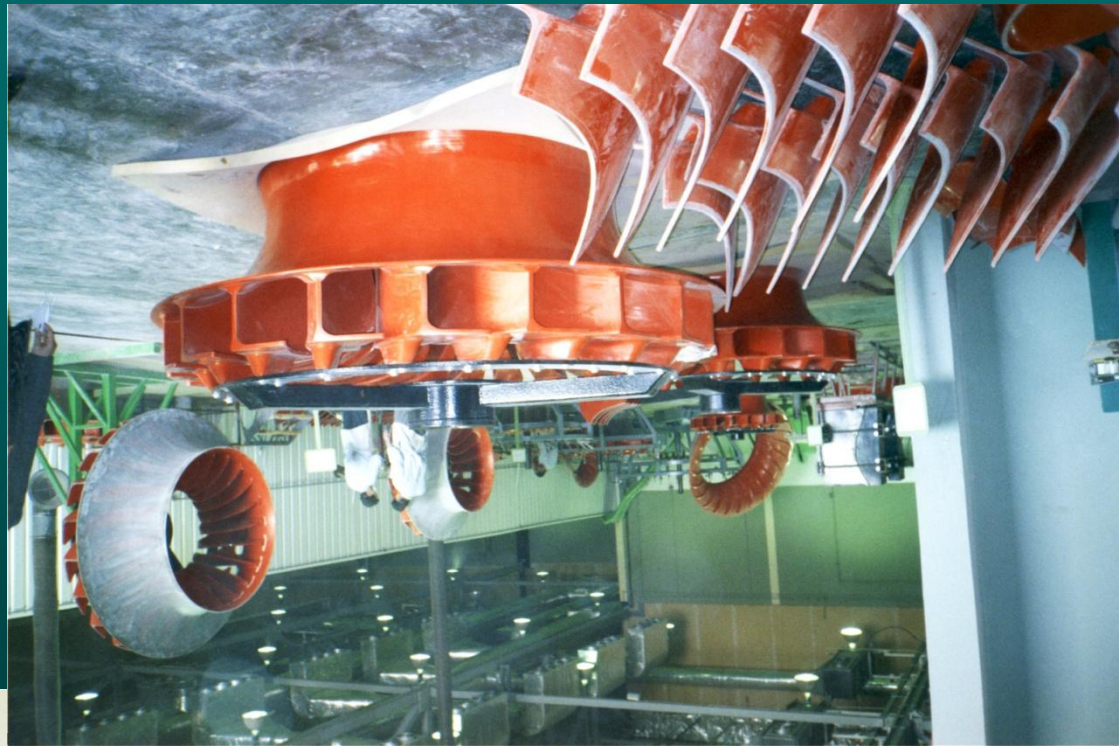
Διάχυση αέρα με αεραντλία

Reference Plants with BSK-Turbines



◆ BSK-Turbine for a SBR plant operating in Mexico (2,000 m³/d)

Company's Profile



- ◆ Views into the workshop for GRP-Turbines (BSK) (1)



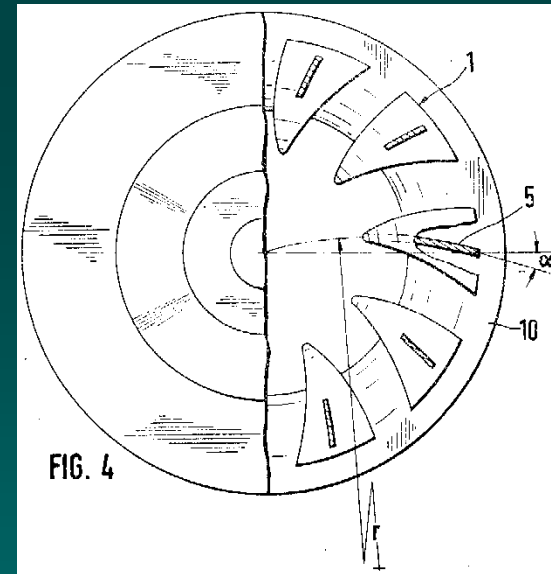
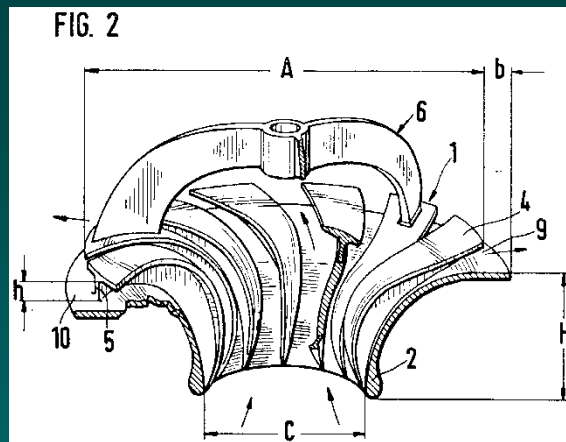
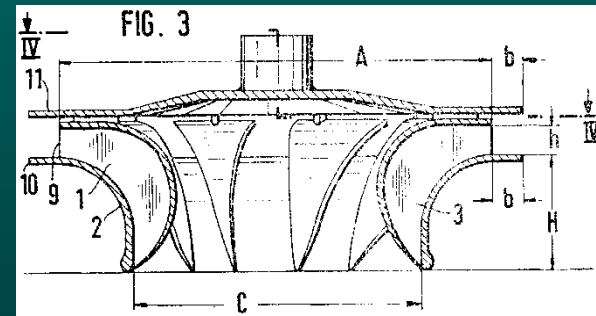
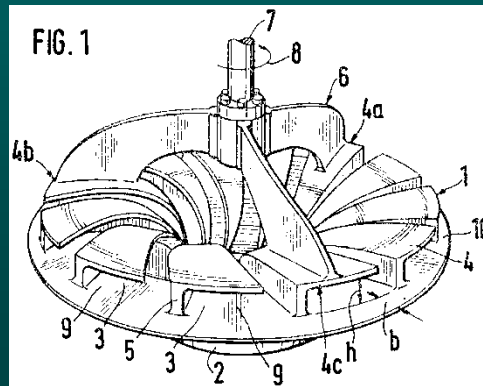
Σχεδιασμός Διεργασιών Αντιρρύπανσης Διαφάνειες διαλέξεων Μανασσής Μήτρακας Επίκ. Καθηγητής



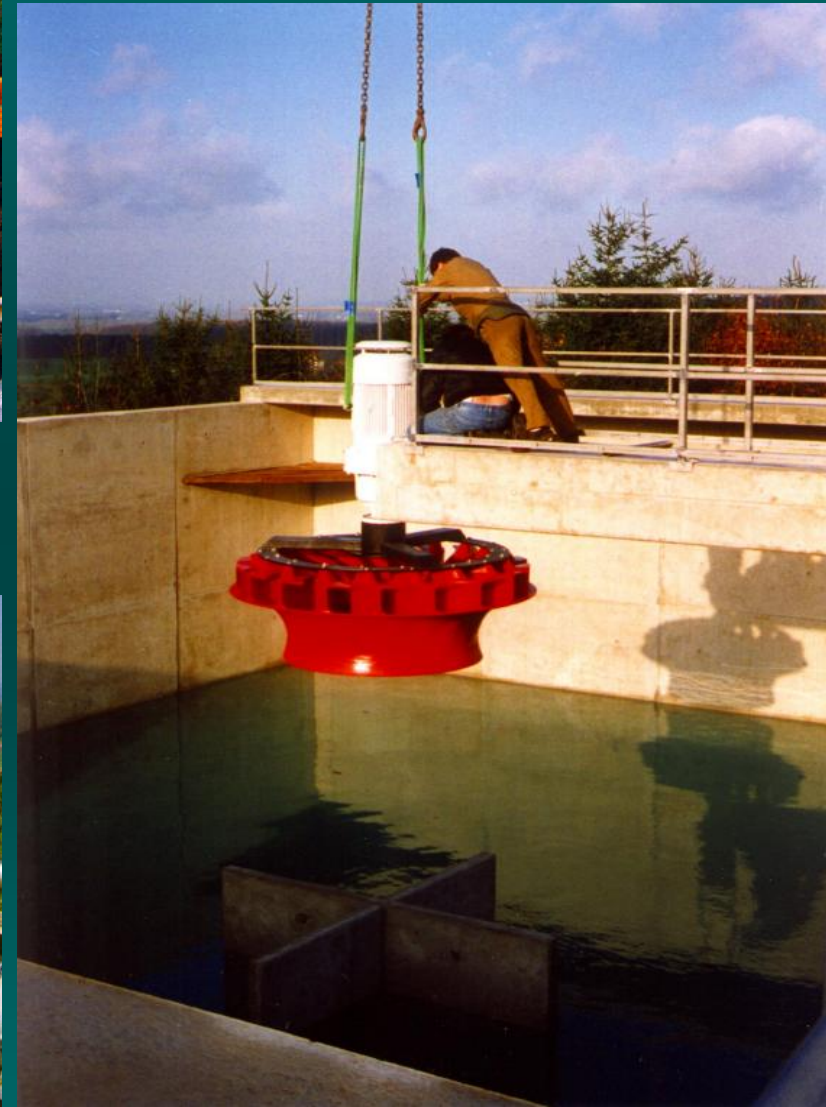
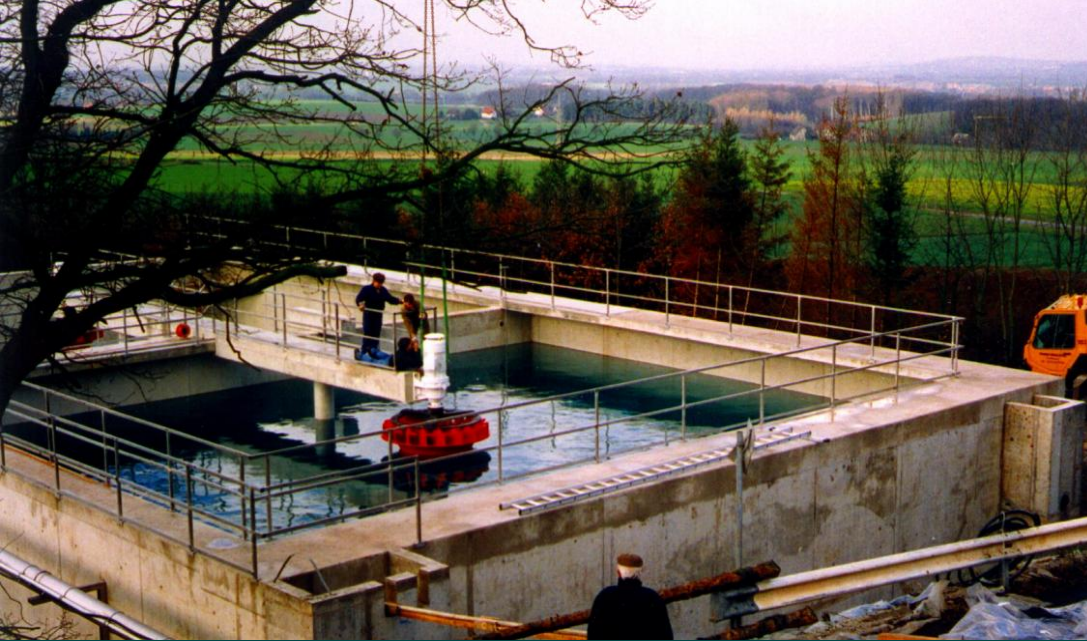




Reference Plants with BSK-Turbines



◆ Drawings of the patent certificate for BSK-Turbines



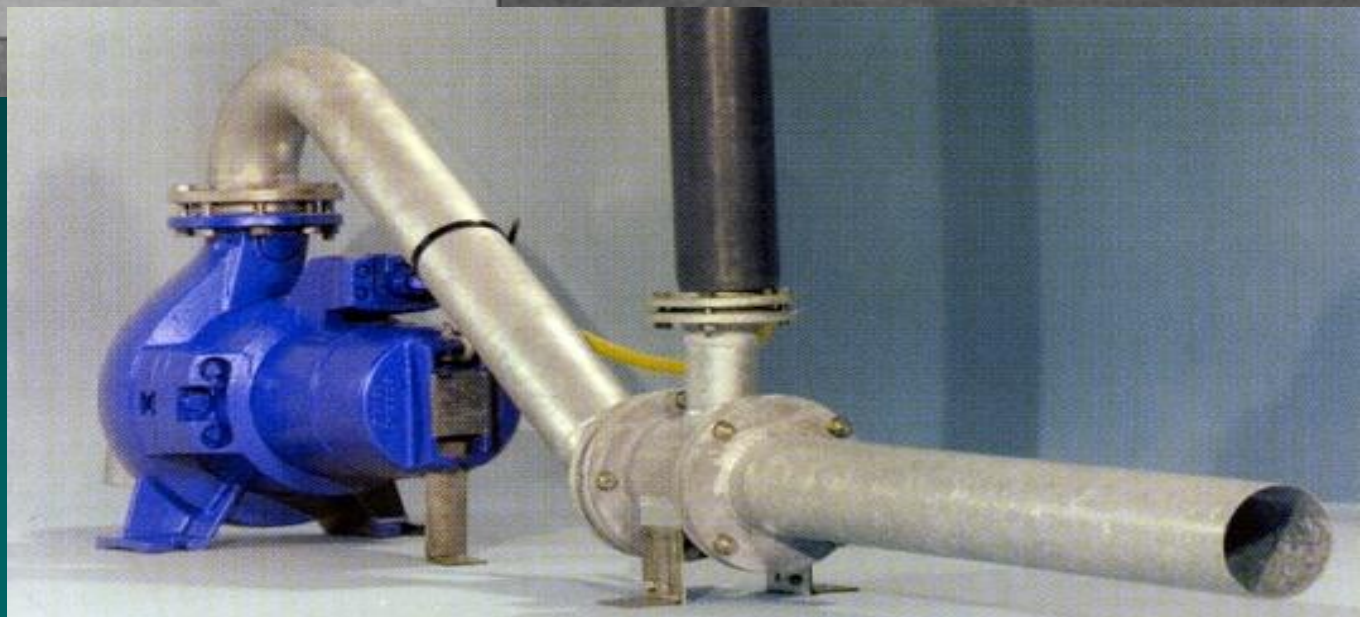
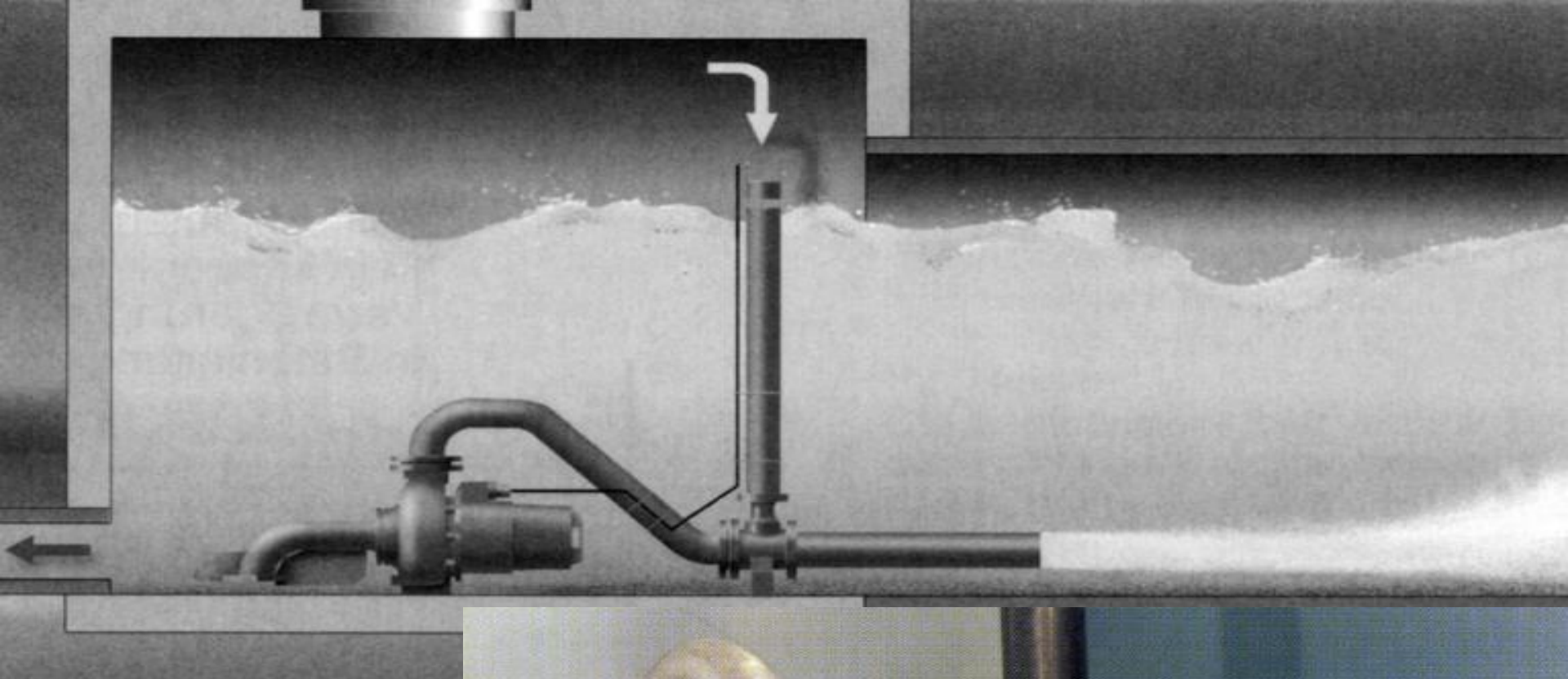


Σχεδιασμός Διεργασιών Αντιρρύπανσης Διαφάνειες διαλέξεων Μανασσής Μήτρακας Επίκ. Καθηγητής



Σχεδιασμός Διεργασιών Αντιρρυπαντική Διαφορικές διαλέξεις Μανασής Μήτρακας Επίκ. Καθηγητής





◆ Injector aeration



◆ Hyperboloid mixing and aeration system

Σχεδιασμός Διεργασιών Αντιρρύπανσης Διαφάνειες διαλέξεων Μανασσής Μήτρακας Επίκ. Καθηγητής

Hyperboloid-Technology

◆ Examples of installation (2)





Επιφανειακός αερισμός [1]



Υπολογισμός απόδοσης επιφανειακών αεριστήρων σε πραγματικές συνθήκες

$$N = N_o \frac{\beta \times C_{sw} - C_l}{C_s} \times a \times 1,024^{(T-20)}$$

N: μεταφορά O₂, kg/kwh σε πραγματικές συνθήκες

N_o: μεταφορά O₂, kg/kwh σε πρότυπες συνθήκες (~2,15 kg/kwh)

C_s: Διαλυτότητα O₂ σε T=20 οC σε επίπεδο θάλασσας, mg/L

C_{sw}: Διαλυτότητα O₂ στις συνθήκες εργασίας (υψόμετρο, θερμοκρασία)

b: 0,85 - 0,95 λόγος συγκέντρωσης κορεσμού O₂ αποβλήτων και καθαρού νερού

C_l: επιθυμητή συγκέντρωση O₂ στη δεξαμενή αερισμού [1 – 3 mg/L]

a : 0,85 – 1,15 λόγος ρυθμών απορρόφησης O₂ υγρού μίγματος και καθαρού νερού

T: θερμοκρασία υγρού μίγματος

Επιφανειακός αερισμός [2]



Επιφανειακός αερισμός [3]





Επιφανειακός αερισμός- Πλωτοί αεριστήρες [4]



Τεχνικά χαρακτηριστικά αεριστήρων [1]

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|------|------|------|-----|-----|-----|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|
| Potenza HP | 3 | 5,5 | 7,5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 40 | 50 | 60 | 75 | 100 | 125 | 150 |
| Potenza KW | 2,2 | 4 | 5,5 | 7,5 | 11 | 15 | 18,5 | 22 | 30 | 37 | 45 | 55 | 75 | 90 | 110 |
| Diametro girante mm. | 1320 | | | | | | 2200 | | | | | | 3000 | | |
| Numero giri/min. turbina | 42 | 48 | 51 | 62 | 72 | 82 | 42 | 47 | 52 | 56 | 60 | 68 | 33 | 36 | 37 |
| * Trasferimento totale Kg. O ₂ /ora | 4,8 | 9 | 12 | 17 | 25 | 33 | 46 | 55 | 64 | 80 | 96 | 120 | 160 | 187 | 212 |
| Portata m ³ /min. (stimata) | 21 | 24 | 36 | 44 | 48 | 60 | 80 | 100 | 120 | 160 | 180 | 220 | 260 | 300 | 340 |
| Diametro dello spruzzo m. | 3,6 | | 4,2 | | 4,5 | 5,4 | | | 6,6 | | | 7,5 | 8,5 | | |
| Dimensioni minime bacino m. | 4,5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 14 | 14,5 | 16 | 17,5 | 19,5 | 21 | 23,5 |
| Dimensioni massime bacino m. | 8,5 | 11,5 | 13,5 | 16 | 18 | 21 | 21,5 | 23,5 | 27,5 | 29 | 32 | 37 | 39 | 42,5 | 47 |
| Minimo livello liquido bacino m. | 1,5 | | | | | | 2,0 | | | | | | | | |
| Massimo livello liquido bacino m. | 3,5 | 4,0 | | 4,5 | | 5,0 | | | | | | | | | |

* Misurati con potenza assorbita: 30 Watt/m³; - Tolleranza ± 10%

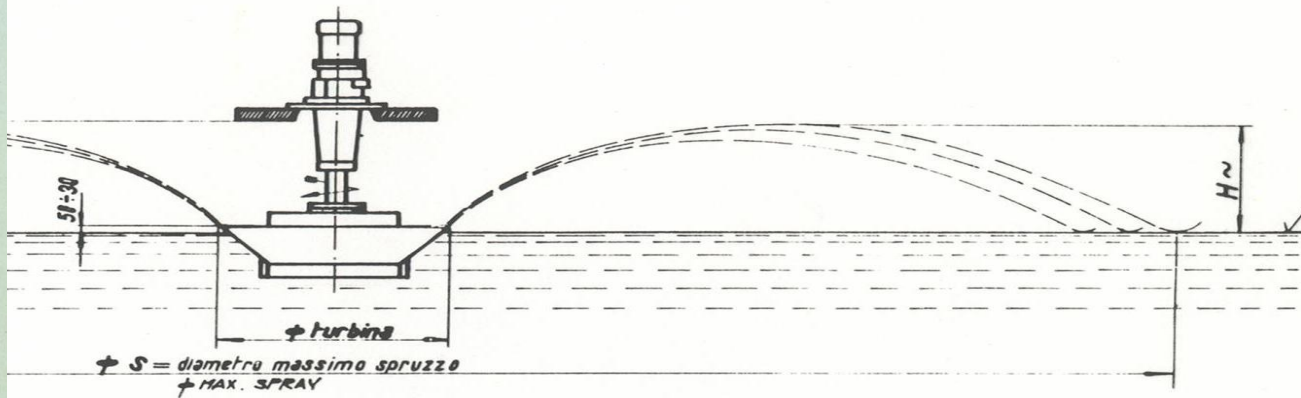
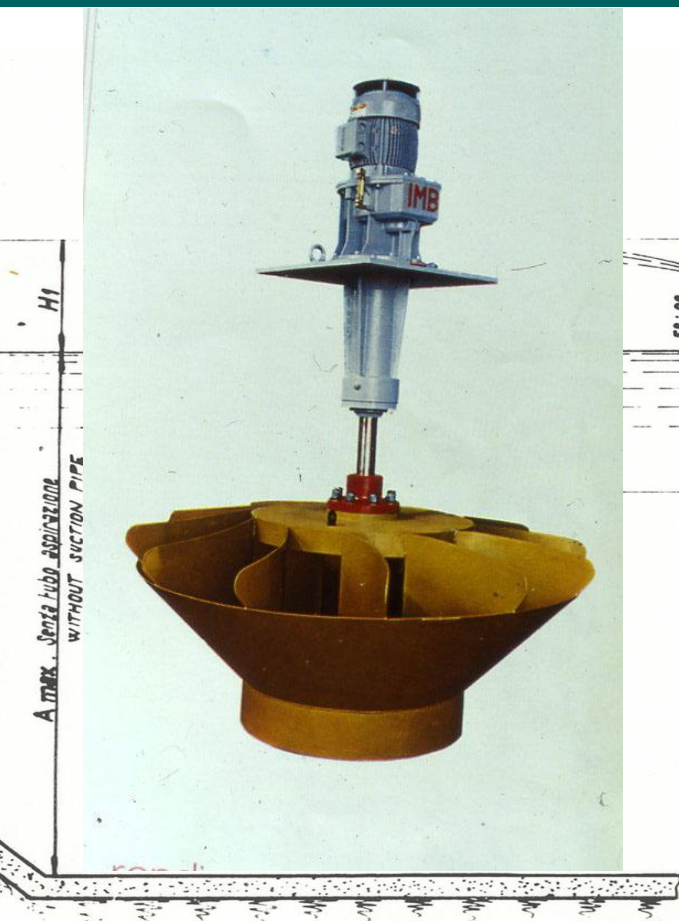


Τεχνικά χαρακτηριστικά αεριστήρων [2]

CARICHI SULLE STRUTTURE - STRUCTURES OVERLOADS

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------------|-----|-----|-----|-----|-----|--------------|-----|------|------|------|------|--------------|------|------|
| Potenza CV - Power CV | 3 | 5.5 | 7.5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 40 | 50 | 60 | 75 | 100 | 125 | 150 |
| Diametro girante Impeller diameter $\varnothing P = \text{mm}$ | 1320 | | | | | | 2200 | | | | | | 3000 | | |
| Momento torcente Torque $M3 = \text{kg} \times \text{m}$ | 53 | 82 | 105 | 116 | 150 | 175 | 360 | 400 | 480 | 560 | 615 | 710 | 2000 | 2240 | 2500 |
| Momento radiale Rot. bending mom. $M2 = \text{kg} \times \text{m}$ | 45 | 55 | 60 | 90 | 120 | 160 | 180 | 220 | 270 | 320 | 360 | 470 | 510 | 580 | 640 |
| Spinta verticale Vertical load $F1 = \text{kg}$ | 150 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 850 | 110 | 1400 | 19 | 2200 | 2600 | 3000 | 3300 | 3800 |
| Peso totale aeratorez Total weight kg | 250 | 310 | 410 | 420 | 540 | 565 | 825 | 835 | 1390 | 1850 | 1875 | 1960 | 3235 | 3320 | 3470 |
| Immersione - Emersione + Immersion - Emersion + $H = \text{mm}$ | - 0 ÷ - 50 | | | | | | + 50 ÷ + 150 | | | | | | + 60 ÷ + 200 | | |
| Quota minima - Minimum distance | 650 | | 700 | | | | 900 | | | | | | | | |

Τεχνικά χαρακτηριστικά αεριστήρων [3]



$\theta = \theta \text{ max.}$ in relazione al battente max — per battenti inferiori
 max 20% aumenta la superficie del bacino in proporzione
 DEPENDING IN MAX HEAD - FOR HEADS LOWER MAX 20%
 THE TANK SURFACE INCREASE PROPORTIONALLY.

VOLUME MAX.
 MAX VOLUME

| ϕ Turbina ϕ TURBINE | N° Giri s' r.p.m. | H.P. Install. RATED OUTPUT | ϕS | H | H | A | Vm ³ |
|----------------------------------|----------------------|-------------------------------|----------|------|------|------|-----------------|
| 600 | 100 | 1 | 2,500 | 175 | 225 | 1500 | 30 |
| | 110 | 1,5 | 3,250 | 200 | 250 | | 45 |
| 900 | 65 | 2 | 2,600 | 240 | 315 | 2250 | 75 |
| | 75 | 3 | 3,300 | 280 | 355 | | 110 |
| | 85 | 4 | 4,100 | 320 | 395 | | 150 |
| 1260 | 60 | 5,5 | 4,000 | 360 | 450 | 3000 | 215 |
| | 65 | 7,5 | 4,500 | 400 | 500 | | 300 |
| | 70 | 10 | 5,200 | 450 | 550 | | 400 |
| 1500 | 50 | 12,5 | 6,700 | 525 | 650 | 3750 | 500 |
| | 55 | 15 | 7,800 | 575 | 700 | | 600 |
| | 60 | 20 | 9,000 | 625 | 750 | | 800 |
| 1800 | 55 | 25 | 10,500 | 750 | 900 | 4500 | 1000 |
| | 60 | 30 | 12,000 | 800 | 950 | | 1200 |
| 2100 | 50 | 40 | 13,800 | 975 | 1175 | 5250 | 1650 |
| | 55 | 50 | 16,800 | 1050 | 1250 | | 2000 |
| 2400 | 45 | 62 | 15,000 | 1000 | 1250 | 6000 | 2500 |
| | 50 | 75 | 16,000 | 1100 | 1350 | | 3000 |
| | 65 | 100 | 18,500 | 1200 | 1500 | | 4000 |
| 2700 | 50 | 125 | 20,000 | 1300 | 1600 | 6750 | 5000 |
| | 55 | 150 | 22,000 | 1400 | 1700 | | 6000 |

Disegnato
 Drawn
 Lucidato
 Polished
 Controllo
 Checked
 Data



arco alindo
 e casare s.p.a.

2014 - Milano - via Savona, 26
 tel. 02 321085

Agitatore - Mixer

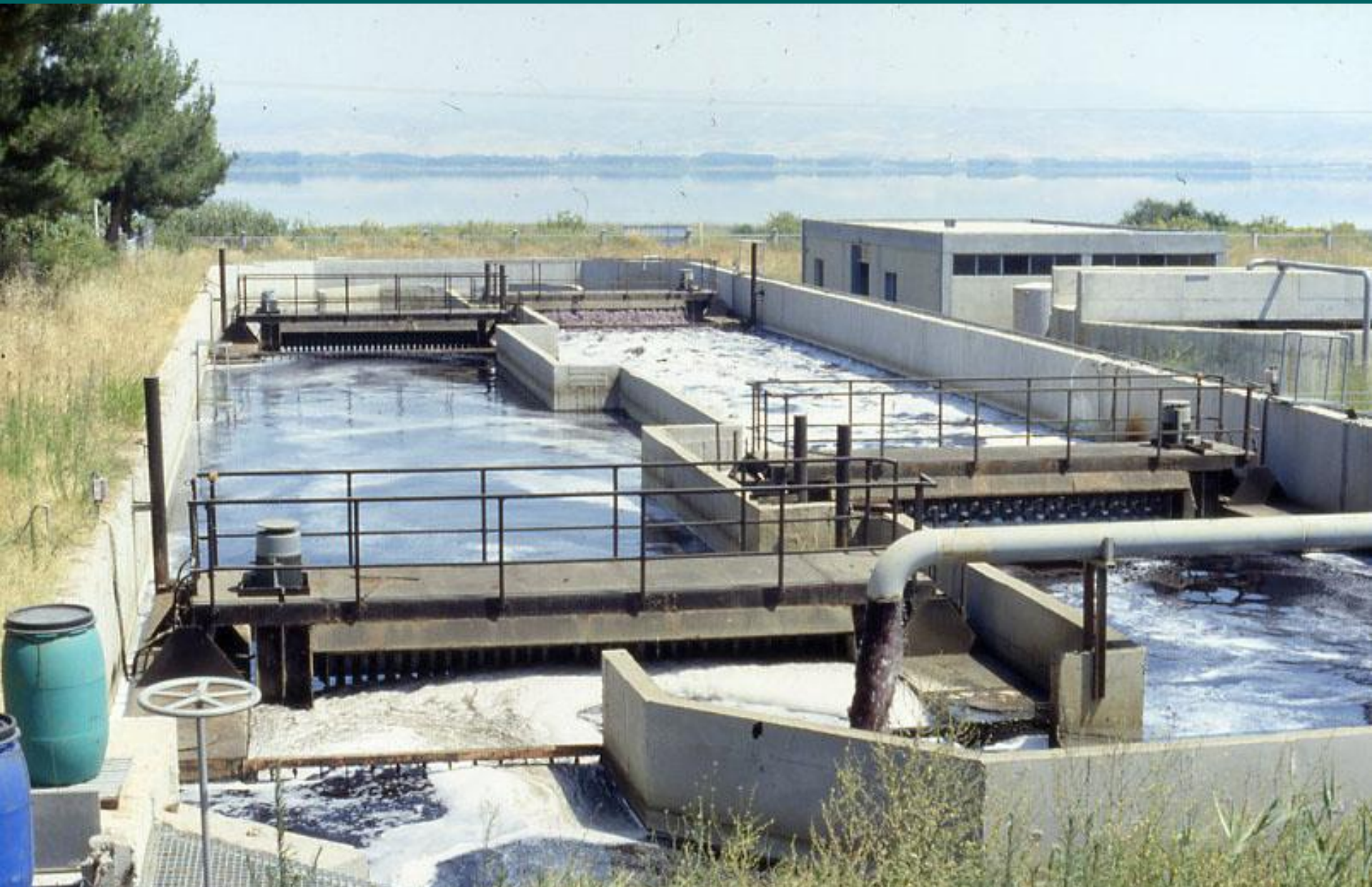
Single or double - Choice of

Επιφανειακός αερισμός [5]





Επιφανειακός αερισμός [6]



Επιφανειακός αερισμός [7]



Έλεγχος αερισμού

Η επιθυμητή συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου στη δεξαμενή αερισμού ελέγχεται – ρυθμίζεται από μετρητή διαλυμένου οξυγόνου, ο οποίος:

- Εκκινεί ή παύει τη λειτουργία φυσητήρων ή αεριστήρων
- Αυξομειώνει τις στροφές των κινητήρων

TABLE B-1
Atmospheric pressure (U.S. customary units)^a

| Elevation above sea level, ft | Atmospheric pressure ^b | | | Specific weight (γ) of air at 68°F, lb/ft ^{3c} |
|-------------------------------|-----------------------------------|-----------|-------------|--|
| | Expressed as a column of | | | |
| | lb/in ² | Water, ft | Mercury, mm | |
| 0 | 14.7 | 33.9 | 760 | 0.0752 |
| 1,000 | 14.2 | 32.7 | 734 | 0.0726 |
| 2,000 | 13.7 | 31.6 | 708 | 0.0700 |
| 3,000 | 13.2 | 30.4 | 681 | 0.0673 |
| 4,000 | 12.7 | 29.4 | 658 | 0.0651 |
| 5,000 | 12.1 | 28.2 | 633 | 0.0626 |
| 6,000 | 11.8 | 27.2 | 610 | 0.0604 |
| 7,000 | 11.4 | 26.3 | 589 | 0.0583 |
| 8,000 | 10.7 | 24.8 | 556 | 0.0550 |
| 9,000 | 10.5 | 24.2 | 543 | 0.0537 |
| 10,000 | 10.1 | 23.4 | 524 | 0.0518 |

^a From Sanks, R. L., G. Tchobanoglous, D. Newton, B. E. Bossermann II, and G. M. Jones (eds.): *Pumping Station Design*, Butterworths, Stoneham, MA, 1989.

^b Storms commonly reduce atmospheric pressure by about 1.7%.

^c At other temperatures and pressures, use $p_1v_1/T_1 = p_2v_2/T_2$; or use the general formula for atmospheric pressure:

$$\frac{p_b}{p_a} = \exp\left[-\frac{gM(z_b - z_a)}{g_cRT}\right]$$

where $g_c = 32.2 \text{ ft} \cdot \text{lb}/(\text{lb}_m \cdot \text{s})^2$

$g = 32.2 \text{ ft/s}^2$

$M = 29 \text{ lb}_m/\text{lb}_{\text{mol}}$

$R = 1545 \frac{\text{ft} \cdot \text{lb}}{\text{lb}_{\text{mol}} \cdot T}$

$T = 460 + ^\circ\text{F}$