

SORU: 6 kN radyal yük taşıyan ve 1500 d/dk ile dönen bir mil çapı 60 mm ve uzunluğu 60mm olan bir radyal yatakla yataklanmıştır. a) film kalınlığını hesap ederek metal-metal teması olup olmadığını kontrol ediniz. b) Isının yalnızca yatak gövdesinden atıldığı kabulü ile yatağın çalışma sıcaklığını bulunuz.

Yağın vizkozitesi 0,017 Ns/m², milin maksimum yüzey pürüzlülüğü 4 µm, yatağın yüzey pürüzlülüğü 7 µm, yatağın yüzey alanı 0,097 m², yatağın toplam ısı iletim (transfer) katsayısı 19 W/(m²C⁰), çevre sıcaklığı 20 C⁰, mil toleransı d6 (60⁻¹⁰⁰₁₁₉) ve delik toleransı H8 (60⁺⁴⁶₀)

Çözüm: a)

$$S = \frac{\eta n}{p_m \psi^2}, \quad \text{Burada } \eta = 0,017 \frac{Ns}{m^2} (Pas), \quad n = 1500 \frac{d}{dk} = 25 d/s$$

$$p_m = \frac{F}{A} = \frac{6000}{0,06 * 0,06} = 1666666,7 \frac{N}{m^2},$$

$$\psi = \frac{D - d}{d} \Rightarrow \psi_{max} = \frac{60,046 - 59,881}{59,881} = 0,0027 \text{ ve } \psi_{min} = \frac{60 - 59,9}{59,9} = 0,0017$$

$$S_1 = \frac{0,017 * 25}{1666666,7 * 0,0017^2} \Rightarrow S_1 = 0,088 \text{ ve}$$

$$S_2 = \frac{0,017 * 25}{1666666,7 * 0,0027^2} \Rightarrow S_2 = 0,035$$

$S_1 = 0,088$ ve $l/d = 1$ için şekil 14,8'den $\delta_1 = 0,315$ okunur.

$$h_{01} = \delta_1 \Delta r_1 = 0,315 * \left(\frac{60 - 59,9}{2} \right) \Rightarrow h_{01} = 0,01575 \text{ mm} = 15,75 \mu m$$

$S_2 = 0,035$ ve $l/d = 1$ için şekil 14,8'den $\delta_1 = 0,163$ okunur.

$$h_{02} = \delta_2 \Delta r_2 = 0,163 * \left(\frac{60,046 - 59,881}{2} \right) \Rightarrow h_{02} = 0,0136 \text{ mm} = 13,6 \mu m$$

Minimum yağ film kalınlığı:

$$h_0 > S_M(R_{t1} + R_{t2}) = 1,2(4 + 7) \Rightarrow h_0 = 13,2 \mu m$$

$h_0 < h_{01}$ ve h_{02} her iki durumda da metal – metal teması yok.

b) Isı kayıplar sonucunda oluştuğundan, sürtünme katsayısını bulmamız gerekmektedir. Bunun için şekil 14.9'dan;

$S_1 = 0,088$ ve $l/d = 1$ için şekil 14,9'dan $K_{s1} = 2,42$ okunur.

$$K_{s1} = \frac{\mu_1}{\psi_{min}} \Rightarrow \mu_1 = K_{s1} \psi_{min} = 2,42 * 0,0017 \Rightarrow \mu_1 = 0,0041$$

$S_2 = 0,035$ ve $l/d = 1$ için şekil 14,8'den $K_{s2} = 1,43$ okunur.

$$K_{s2} = \frac{\mu_2}{\psi_{max}} \Rightarrow \mu_2 = K_{s2} \psi_{max} = 1,43 * 0,0027 \Rightarrow \mu_2 = 0,0039$$

Burada en büyük sürtünme katsayısı alınarak hesaba devam edilir.

$$E_s = E_y + E_G, \text{ burada } E_s = E_G \text{ olur. Böylece } \mu FV = KA(t - t_0) \Rightarrow t = \frac{\mu FV}{KA} + t_0$$

$$\text{Bu formülde } V = \omega r = \frac{\pi n d}{30 \cdot 2} = \frac{\pi \cdot 1500 \cdot 0,060}{30 \cdot 2} \Rightarrow V = 4,712 \text{ m/s}$$

$$t = \frac{\mu FV}{KA} + t_0 = \frac{0,0041 \cdot 6000 \cdot 4,712}{19 \cdot 0,097} + 20 \Rightarrow t = 82,89 \text{ } ^\circ\text{C}$$

SORU: Pompalı yağlama sisteminde SAE 60 yağı kullanılmaktadır. Yağın yatağa giriş sıcaklığı 40°C , $n = 1800 \text{ dev/dak}$, $F = 2200 \text{ N}$ ve $d = 40 \text{ mm}$ dir. Grafik yöntemle yatağın fiziksel ve performans parametrelerini belirleyiniz ve mukavemet kontrolünü yapınız. Yatak malzemesi beyaz metaldir.

Çözüm:

Öncelikle verilmeyen uzunluk çap oranını seçelim. $l/d = 1$ olsun. $\Rightarrow l = 40 \text{ mm}$

$$S = \frac{\eta n}{p_m \psi^2} \quad S = 0,21 \text{ maximum alınır. Buna karşılık } \delta = \frac{h_0}{\Delta r} = 0,51 \text{ okunur. Burada } \psi = \frac{\Delta r}{r} \Rightarrow \Delta r = \psi r,$$

Mil ince ve yatak kaba taşlansın, Buna göre $\psi = 0,001$ olarak kabul edelim. Buradan

$$h_0 = 0,51 \psi r = 0,51 \cdot 0,001 \cdot 20 \Rightarrow h_0 = 0,0102 \text{ mm}$$

Mil ince ve yatak kaba taşlansın, Bu durumda, tablo 14.9'dan mil için $R_{a1} = 0,6 \mu\text{m}$ ve yatak için $R_{a2} = 1,2 \mu\text{m}$ alınsın ve $S_M = 1,25$ seçilsin.

$$h_0 \geq S_M(4..5)(R_{a1} + R_{a2}) = 1,25 \cdot 4,5 \cdot (0,6 + 1,2) \Rightarrow h_0 = 10,125 \mu\text{m} = 0,0101 \text{ mm}; \text{ Burada } h_0 = 11 \mu\text{m} \text{ alınır.}$$

Grafiklerden:

$$\text{Şekil 14.9 dan } S = 0,21 \text{ ve } l/d = 1 \text{ için } K_s = \frac{\mu}{\psi} = 4,7 \text{ okunur. Buradan } \mu = K_s \psi = 4,7 \cdot 0,001 \Rightarrow \mu = 0,0047$$

$$\text{Şekil 14.10 dan } S = 0,21 \text{ ve } \frac{l}{d} = 1 \text{ için } K_q = \frac{q}{r \Delta r \ln} = 4,2 \text{ okunur. Buradan } \Delta r = \psi r \text{ ve } n = 30 \frac{\text{dev}}{\text{s}} \Rightarrow$$

$$q = K_q r^2 \psi \ln \mu = 4,2 \cdot 0,020^2 \cdot 0,001 \cdot 0,040 \cdot 30 \Rightarrow q = 2,01610^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

Konveksiyon yoluyla olan ısı transferi ihmal edilir ise,

$$\mu FV = c_0 \rho q (t_\zeta - t_g) = c_0 \rho q \Delta t \Rightarrow \Delta t = \frac{\mu FV}{c_0 \rho q} = \frac{\mu F \omega \frac{d}{2}}{c_0 \rho q}; \text{ Burada } c_0 \rho = 1,8 \cdot 10^6 \frac{\text{Nm}}{\text{m}^3 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$\Delta t = \frac{0,0047 \cdot 2200 \cdot \pi \cdot 30 \cdot \frac{0,040}{2}}{1,8 \cdot 10^6 \cdot 2,016 \cdot 10^{-6}} = \frac{19,490}{3,629} \Rightarrow \Delta t = 5,37 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Yağın ortalama sıcaklığı yatak sıcaklığı

$$t = \frac{t_g + t_\zeta}{2} = t_g + \frac{\Delta t}{2} = 40 + \frac{5,37}{2} \Rightarrow t = 42,7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Yatakdaki ortalama yüzey basıncı

$$p_m = \frac{F}{dl} = \frac{2200}{40 \cdot 40} \Rightarrow p_m = 1,375 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$S = \frac{\eta n}{p_m \psi^2} \Rightarrow \eta = S \frac{p_m \psi^2}{n} = 0,21 \frac{1375000 \cdot 0,001^2}{30} \Rightarrow \eta = 0,09626 \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2} (\text{Pa.s})$$

Sommerfeld sayısıyla elde edilen viskozite değeri sabit bir sıcaklık için olup, gerçekte yatak içinde sıcaklık değişimi olduğundan sıcaklığa göre yeniden viskozite tayini yapıp, hesapların ona göre tekrarlanması gerekmektedir.

Hesaplanan çalışma sıcaklığı aralıkta kalacak şekilde üç sıcaklık seçilip viskozite hesabı yapılır. Bu sıcaklıklar 30, 40 ve 50 derece olsun. **Şekil 13.29'dan bu sıcaklıklara karşılık gelen SAE 60 yağının viskozite değerleri sırasıyla 620 mPa.s, 280 mPa.s ve 145 mPa.s okunur.**

Grafikteki A noktası: 42,7 C° için $\eta = 0,096 \text{ Pa.s}$

B noktası: herhangi bir viskozite seçilsin, $\eta = 0,300 \text{ Pa.s}$ Bu seçilen viskoziteye karşılık gelen sıcaklık hesaplanır.

$$S = \frac{\eta n}{p_m \psi^2} = \frac{0,300 * 30}{1375000 * 0,001^2} \Rightarrow S = 6,5454; \quad S = 6,5454 \text{ ve } l/d = 1 \text{ için grafikten } K_s = 130 \text{ okunur.}$$

$$K_s = \frac{\mu}{\psi} \Rightarrow \mu = K_s \psi = 130 * 0,001 \Rightarrow \mu = 0,13 \quad S = 6,5454 \text{ ve } l/d = 1 \text{ için grafikten } K_q = 3,22 \text{ okunur.}$$

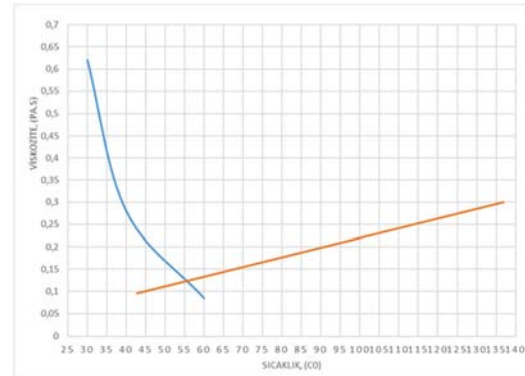
$$K_q = \frac{q}{r \Delta r \ln} \Rightarrow q = K_q r^2 \psi \ln = 3,22 * 0,020^2 * 0,001 * 0,040 * 30 \Rightarrow q = 1,5456 * 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\Delta t = \frac{\mu F V}{c_0 \rho q} = \frac{\mu F \omega \frac{d}{2}}{c_0 \rho q} = \frac{0,130 * 2200 * \pi * 30 * \frac{0,040}{2}}{1,8 * 10^6 * 1,5456 * 10^{-6}} = \frac{538,824}{2,782} \Rightarrow \Delta t = 193,67 \text{ C}^0$$

$$t = \frac{t_g + t_c}{2} = t_g + \frac{\Delta t}{2} = 40 + \frac{193,67}{2} \Rightarrow t = 136,8 \text{ C}^0,$$

$\eta = 0,300 \text{ Pa.s}$ ve $t = 136,8 \text{ C}^0$ Değerleri grafiğe işaretlenir (B noktası), her iki eğrinin kesim noktasındaki η ve t değerleri alınarak hesaplar yeniden yapılır.

Yeni değerler $\eta = 0,125 \text{ Pa.s}$ ve $t = 55,5 \text{ C}^0$



$$S = \frac{\eta n}{p_m \psi^2} = \frac{0,125 * 30}{1375000 * 0,001^2} \Rightarrow S = 2,727;$$

$$S = 2,727 \text{ ve } l/d = 1 \text{ için grafikten } \delta = \frac{h_0}{\Delta r} = 0,97 \text{ okunur.}$$

$$\Rightarrow h_0 = 0,97 * \psi r = 0,97 * 0,001 * 0,020$$

$$\Rightarrow h_0 = 0,0000194 \text{ m} = 0,0194 \text{ mm} = 19,4 \mu\text{m}$$

Elde edilen h_0 değeri (0,0194 mm) yüzey pürüzlülüklerinden hesaplanan h_0 değerinden (0,0101 mm) daha büyük olduğundan sıvı sürtünmesi oluşur.

$$S = 2,727 \text{ ve } \frac{l}{d} = 1 \text{ için şekil 14.9'dan } K_s = 78 \text{ okunur ve } K_s = \frac{\mu}{\psi} \Rightarrow \mu = K_s \psi = 78 * 0,001 \Rightarrow \mu = 0,078 \text{ hesaplanır.}$$

$$S = 2,727 \text{ ve } \frac{l}{d} = 1 \text{ için Şekil 14.10'dan } K_q = 3,27 \text{ okunur ve}$$

$$K_q = \frac{q}{r \Delta r \ln} \Rightarrow q = K_q r^2 \psi \ln = 3,28 * 0,020^2 * 0,001 * 0,040 * 30 \Rightarrow q = 1,5696 * 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$S = 2,727 \text{ ve } \frac{l}{d} = 1 \text{ için şekil 14.11'den } \frac{q_s}{q} = 0,078 \text{ okunur ve } q_s = 0,078 q = 0,078 * 1,5696 * 10^{-6} \Rightarrow q_s = 0,122 * 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s} \text{ hesaplanır.}$$

$$S = 2,727 \text{ ve } \frac{l}{d} = 1 \text{ için şekil 14.12'den } \frac{p_m}{p_{max}} = 0,542 \text{ okunur ve } p_{max} = \frac{p_m}{0,542} = \frac{1,375}{0,542} \Rightarrow p_{max} = 2,537 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \text{ hesaplanır.}$$

$$S = 2,727 \text{ ve } \frac{l}{d} = 1 \text{ için şekil 14.13'den } \phi = 84^0 \text{ okunur.}$$

$$S = 2,727 \text{ ve } \frac{l}{d} = 1 \text{ için şekil 14.14'den } \theta_{p0} = \text{değeri yok} \text{ ve } \theta_{pmax} = 1^0 \text{ okunur.}$$

Mukavemet kontrolü:

$$\text{Beyaz malzeme için } p_{em} = 5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < p_{max} = 2,537 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \text{ uygundur.}$$

$$\Delta t = \frac{\mu F V}{c_0 \rho q} = \frac{\mu F \omega \frac{d}{2}}{c_0 \rho q} = \frac{0,078 * 2200 * \pi * 30 * \frac{0,040}{2}}{1,8 * 10^6 * 1,5696 * 10^{-6}} = \frac{323,29}{2,8253} \Rightarrow \Delta t = 114,45 \text{ C}^0$$

$$t = \frac{t_g + t_c}{2} = t_g + \frac{\Delta t}{2} = 40 + \frac{114,45}{2} \Rightarrow t = 97,2 \text{ C}^0,$$

SORU: 400 d/dk ile dönerek 50,000 N yük taşıyan milin çapı 90 mm ve yüzey pürüzlülüğü 2 mm dir. Bu mil çapı 90.090 mm, genişliği 90 mm, yüzey pürüzlülüğü 3 mm, sürtünme katsayısı 0,0014, yüzey alanı 0,16 m² ve ısı iletim katsayısı 20 Nm/sm²C olan bir yatakla yataklanmaktadır. Bu yatakta aşağıda verilen hangi yağı kullanırsınız?

η mPa.s	YAĞ	T (C)			
		40	50	60	80
	Yag 1	20	16	12	8
	Yağ 2	35	24	18	12
	Yağ 3	50	36	27	18

Verilenler: n = 400 d/dk, W = 50,000 N, D = 90 mm, Ra = 2 mm, yatak çapı 90.090 mm, L = 90 mm, Ra = 3 mm, m = 0,0014, yüzey alanı 0,16 m², ısı iletim katsayısı 20 Nm/sm²C

İstenenler: Bu yatakta aşağıda verilen hangi yağı kullanırsınız?

$$\psi = \frac{\Delta}{d} = \frac{90,09 - 90}{90} \Rightarrow \psi = 0,001 \quad \text{Buradan } K_s = \frac{\mu}{\psi} = \frac{0,0014}{0,001} \Rightarrow K_s = 1,4$$

Şekil 14.9'dan $K_s = 1,4$ ve $L/D = 90/90 = 1$ için $S = 0,032$ okunur.

$$S = \frac{\eta n}{p_m \psi^2} \Rightarrow \eta = S \frac{p_m \psi^2}{n}, \quad \text{burada } p_m = \frac{F}{DL} = \frac{50000}{90(90)} = 6,17 \frac{N}{mm^2} = 6170000 \frac{N}{m^2}$$

$$\eta = 0,032 \frac{6170000 * 0,001^2}{\left(\frac{400}{60}\right)} \Rightarrow \eta = 0,029626 Pa.s = 29,63 mPa.s$$

Yatağın ortalama sıcaklığını da bulursak yağı şekil 13.29'dan tespit edebiliriz.

$$\text{Şekil 14.10'dan } K_q = 3,9 \text{ okunur. } K_q = \frac{q}{r \Delta r n l}$$

$$\Rightarrow q = K_q r \Delta r n l = 3,9 * 0,045 * 0,000045 * 6,667 * 0,090 \Rightarrow q = 4,7387 * 10^{-6} m^3/s \text{ kullanılmayacak}$$

Bu problem için yağla yataktan atılan ısı ihmal edildiğinden,

$$\mu F V = K A (t - t_0) \Rightarrow t = \frac{\mu F \omega r}{K A} + t_0 = \frac{0,0014 * 50000 * \pi * 6,667 * 0,045}{20 * 0,16} + 20 \Rightarrow t = 40,62 C^0$$

Yatağın çalışma sıcaklığı 40,62 C de yağın viskozitesi 29,63 mPa.s olduğundan kullanılan yağ 2 olmalıdır.

Bu durum film kalınlığı için kontrol edilmelidir. Buna göre $S = 0,032$ ve $L/D = 1$ için şekil 14.8 den $\frac{h_0}{\Delta r} = 0,16$ okunur.

$$\frac{h_0}{\Delta r} = 0,16 \Rightarrow h_0 = 0,045(0,16) = 0,0072 mm = 7,2 \mu m$$

7,2 μm > (toplam yüzey pürüzlülüğü 1,3(2+3 =6,5μm) TASARIM UYGUNDUR

SORU: 55 MW gücünde tasarlanmış olan su türbününün sabit tasarlanmış aksenal yataklarına 3200 KN yük gelmektedir. Milin devir sayısı 275 dev/dk olup, yatakların dış yarıçapı 750 mm, iç yarıçapı 450 mm, lokma uzunluğu 220 mm ve lokma sayısı 14 olarak tespit edilmiştir. Yağlama yağı SAE 70 olup, sistem rejime ulaştığında yataklardaki yağın sıcaklığı 65°C ve viskozitesi 88 mPa.s dir. Buna göre: a) Yatakta oluşan basıncı hesaplayarak uygun olup olmadığını belirtiniz. b) yatak sıcaklığını, yatakta oluşan sürtünme kayıplarını ve yağ debisini hesaplayınız. c) sonucu yorumlayınız.

Çözüm: a)

$$p_m = \frac{F}{A} = \frac{F}{zBL} = \frac{3200000}{14 * (750 - 450) * 220} \Rightarrow p_m = 3,46 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda = \frac{L}{B} = \frac{220}{300} \Rightarrow \lambda = 0,73 \quad (0,7 \dots 1,2)$$

Bu değer Tablo 14.2 de beyaz yatak malzemesi için verilen emniyet değeri olan 5 N/mm^2 'den küçük olduğundan yatak mukavemeti açısından uygundur.

b) sürtünme kayıplarını bulabilmek için yataktaki sürtünme katsayısının bilinmesi gerekir. Bunun için Şekil 14.24'de verilen şekilden izafi minimum yağ filmi kalınlığı H_0 tespit edilip, daha sonra şekil 14.27'den sürtünme faktörü K_s bulunur.

$$\frac{L}{B} = \frac{220}{300} = 0,73 \text{ ve maksimum yük için şekil 14,24'den } H_0 = 0,8 \text{ okunur.}$$

$$H_0 = 0,8 \text{ ve } L/B = 0,73 \text{ için şekil 14.25'den yük faktörü } K_F = 14 \text{ okunur.}$$

$$K_F = \frac{\eta VB}{F} \left(\frac{L}{s_h} \right)^2 \Rightarrow \left(\frac{L}{s_h} \right)^2 = \frac{K_F F}{\eta VB} \Rightarrow \frac{L}{s_h} = \sqrt{\frac{K_F F}{\eta VB}} \text{ Burada;}$$

$$V = R_0 \omega = \frac{R_1 + R_2}{2} \left(\frac{\pi n}{30} \right) = \frac{0,45 + 0,75}{2} \left(\frac{\pi * 275}{30} \right) \Rightarrow V = 17,09 \frac{\text{m}}{\text{s}}, \text{ Yerine konursa}$$

$$\frac{L}{s_h} = \sqrt{\frac{K_F F}{\eta VB}} \Rightarrow \frac{0,2}{s_h} = \sqrt{\frac{14 * 3200000}{0,088 * 17,09 * 0,3}} \Rightarrow s_h = 0,00002 \text{ m} = 0,02 \text{ mm}$$

$$K_F = 14 \text{ ve } L/B = 0,73 \text{ için şekil 14.26'dan sıcaklık artışı faktörü } K_t = 12 \text{ okunur.}$$

$$K_t = \frac{0,9 \rho c_0 L B \Delta t}{F} \Rightarrow \Delta t = \frac{K_t F}{0,9 \rho c_0 L B} = \frac{12 * 3200000}{0,9 * 1800000 * 0,22 * 0,3} \Rightarrow \Delta t = 359,14 ^{\circ}\text{C}$$

$$t = t_g + \frac{\Delta t}{2} = 65 + \frac{359,14}{2} \Rightarrow t = 244,57^{\circ}\text{C} > 100^{\circ}\text{C} \text{ kötü bir tasarım}$$

$$K_F = 14 \text{ ve } L/B = 0,73 \text{ için şekil 14.27'den sürtünme faktörü } K_s = 10 \text{ okunur.}$$

$$K_s = \frac{\mu L}{s_h} \Rightarrow \mu = \frac{K_s s_h}{L} = \frac{10 * 0,02}{220} \Rightarrow \mu = 0,00091$$

$$\text{Acığa çıkan ısı, } E_s = \mu F V = 0,00091 * 3200000 * 17,09 \Rightarrow E_s = 52153,92 \text{ W}$$

$K_F = 14$ ve $L/B = 0,73$ için şekil 14.29'den sürtünme faktörü $K_q = 0,71$ okunur.

$$K_q = \frac{q}{BV s_h} \Rightarrow q = K_q BV s_h = 0,71 * 0,3 * 17,09 * 0,00002 \Rightarrow$$

$$q = 0,000073 \frac{m^3}{s} = 0,073 \text{ lt/s}$$

Yatağın çalışma sıcaklığı çok yüksek olduğundan bu tasarım hesaplanan değerlerle kullanılamaz. Yatak sıcaklığının uygun bir değere yani $100C^0$ altına düşürülmesi gerekir. Bunun için yatak boyutlarıyla, yatağa gelen yüklerle, yağın viskozitesiyle, milin dönme hızıyla optimizasyon yapılabileceği gibi, bu durumda en basit çözüm olarak yağ debisi artırılabilir.

Bunun için yatağa giriş ve çıkış sıcaklığı artışı en fazla $20C^0$ kabulü ile gerekli yağ miktarı hesaplanabilir. Yataktaki ısının tamamen taşınım yoluyla yataktan uzaklaştırıldığını düşünelim.

$$\mu FV = \rho c_0 q \Delta t \Rightarrow q = \frac{\mu FV}{\rho c_0 \Delta t} = \frac{0,00091 * 3200000 * 17,09}{1800000 * 20} \Rightarrow$$

$$q = 0,00138 \frac{m^3}{s} = 1,38 \text{ lt/s}$$