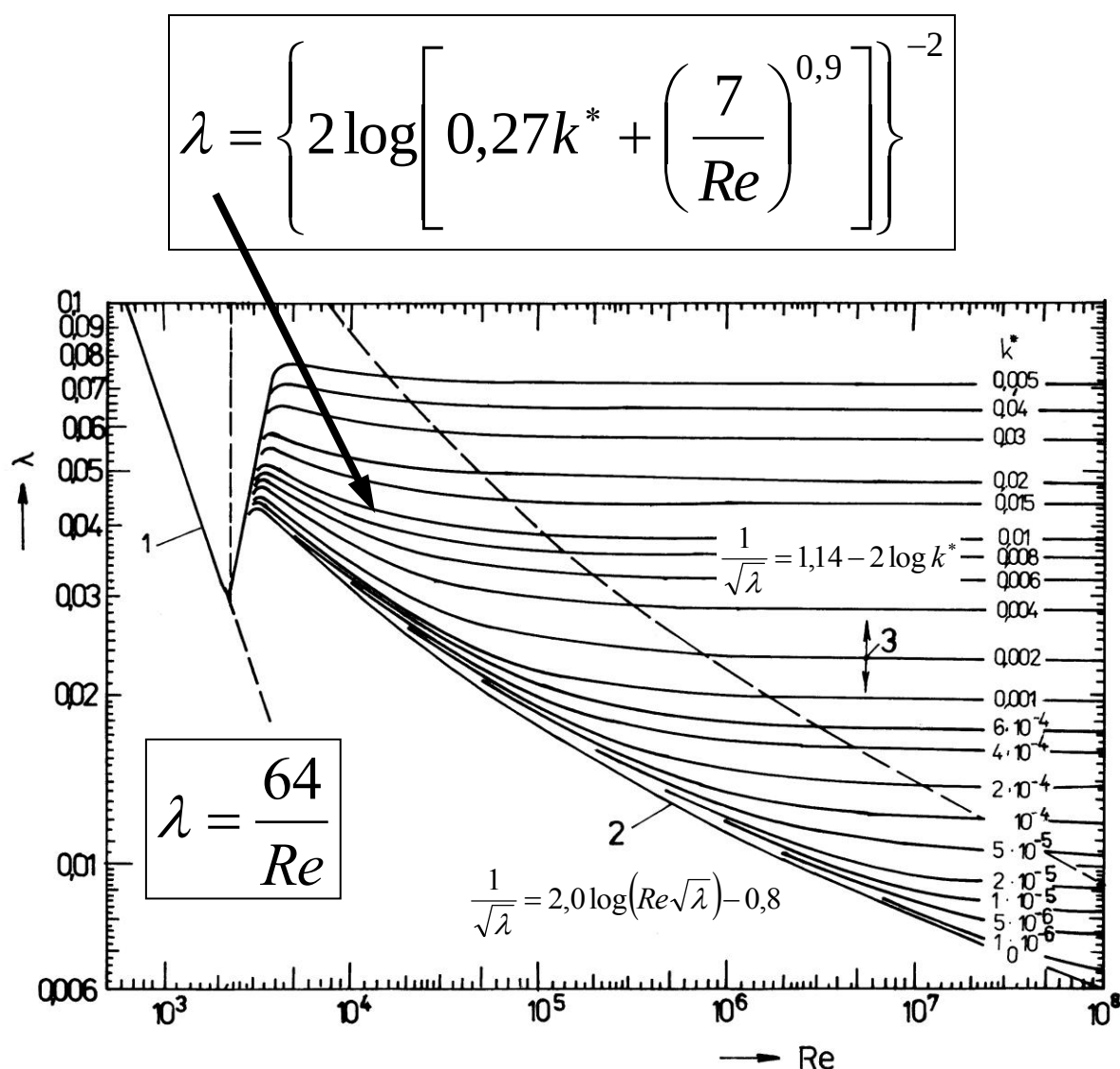


# Třecí ztráty při proudění v potrubí

Vodorovným ocelovým mírně zkorodovaným potrubím o vnitřním průměru 150 mm proudí  $56 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$  kapaliny o teplotě  $25^\circ\text{C}$ . Určete tlakovou ztrátu vlivem tření je-li délka potrubí 600 m.

## Kapalina:

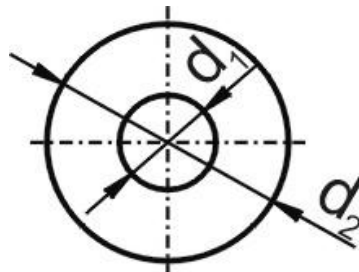
- a) voda
- b) 98 % vodný roztok glycerinu ( $\rho = 1255 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ,  $\mu = 629 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ )



**Obr. 1.2.** Závislost součinitele tření v potrubí  $\lambda$  na Reynoldsově čísle a relativní drsnosti potrubí  $k^*$  (čára 1 odpovídá rovnici (1.2 – 3), čára 2 rovnici (1.2 – 7) a čáry v oblasti 3 rovnici (1.1 – 10)).

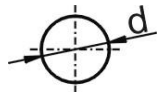
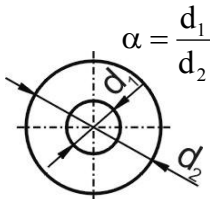
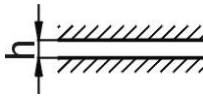
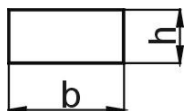
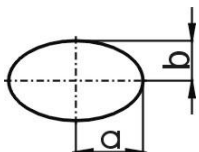
## ***Třecí ztráty při proudění v potrubí nekuhového průřezu***

Určete třecí ztrátu bude-li mezitrubkovým prostorem ve výměníku trubka-trubka protékat 98 % vodný roztok glycerinu o střední teplotě 25°C ( $\rho = 1255 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,  $\mu = 629 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ ) v množství  $40 \text{ kg}\cdot\text{min}^{-1}$ . Vnější průměr vnitřní trubky je  $d_1 = 32 \text{ mm}$ , vnitřní průměr vnější trubky je  $d_2 = 51 \text{ mm}$  a délka mezitrubkového prostoru je  $L = 25 \text{ m}$ .



$$\lambda = \frac{A}{Re}$$

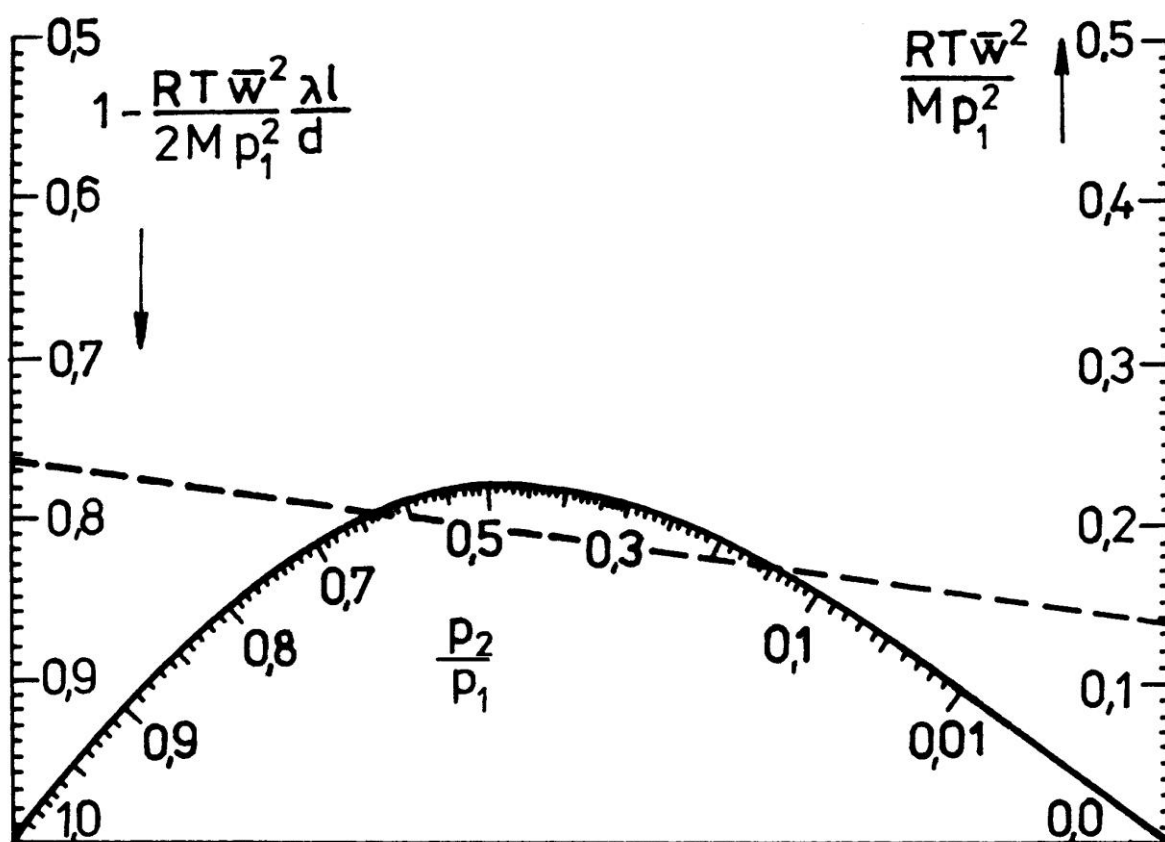
**Tabulka 1.2 – 1. Hodnoty konstanty A v rov. (1.2 – 4) pro některé geometrické tvary průřezu.**

| Tvar průřezu                |  | Charakter. rozměr                                                                                                                               | Ekvivalentní průměr                             | Rovnice pro výpočet A                                                                                                                                                                                                                                                                                                | A                        | Lit.  |
|-----------------------------|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------|
| Kruh                        |  |                                                                | $d$                                             | –                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 64                       | [3]   |
| Mezikruží                   |  | $\alpha = 10^{-2}$<br>$\alpha = 10^{-1}$<br>$\alpha = 0,5$<br> | $d_2 - d_1$                                     | $A = 64 \frac{(1 - \alpha)^2}{1 + \alpha^2 + \frac{1 - \alpha^2}{\ln \alpha}}$                                                                                                                                                                                                                                       | 80,11<br>89,37<br>95,25  | [3]   |
| Rovinná štěrbina            |  |                                                                | $2h$                                            | –                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 96                       | [3]   |
| Obdélník                    |  | $h/b = 10^{-2}$<br>$h/b = 10^{-1}$<br>$h/b = 1$<br>            | $\frac{2bh}{b + h}$                             | $A = \frac{96}{\left(1 + \frac{h}{b}\right)^2} \frac{1}{\left[1 - \frac{192h}{\pi^5 b} \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{1}{n^5} \operatorname{tgh}\left(\frac{n\pi b}{2h}\right)\right]}$                                                                                                                         | 94,71<br>84,68<br>56,91  | [1.3] |
| Elipsa                      |  | $b/a = 0,1$<br>$b/a = 0,25$<br>$b/a = 0,5$<br>                | $\frac{4ab}{a + b}$                             | $A = \frac{128 \left[1 + \left(\frac{b}{a}\right)^2\right]}{\left(1 + \frac{b}{a}\right)^2}$                                                                                                                                                                                                                         | 106,84<br>87,04<br>71,11 | [1.4] |
| Trojúhelník<br>rovnoramenný |  | $\beta = 60^\circ$<br>$a = b$<br>$\beta = 90^\circ$<br>      | $\frac{a \sin \beta}{1 + \sin \frac{\beta}{2}}$ | $A = \frac{48 \left[1 + \operatorname{tg}^2\left(\frac{\beta}{2}\right)\right] (B + 2)}{(B - 2) \left[\operatorname{tg} \frac{\beta}{2} + \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2\left(\frac{\beta}{2}\right)}\right]^2} \quad \text{kde } B = \sqrt{4 + \frac{5}{2} \left(\frac{1}{\operatorname{tg}^2(\beta/2)} - 1\right)}$ | 53,33<br>52,71           | [1.5] |

# Ztráta třením při proudění stlačitelné tekutiny

Do chemického závodu je přiváděn METAN ( $\text{CH}_4$ ) dálkovým ocelovým potrubím (Tr 377 x 4 [mm]). Potrubím má být dodáváno  $5 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$  metanu při požadovaném tlaku na vstupu do závodu 0,2 MPa. Jaký musí být tlak na vstupu do potrubí o délce 4 km? Předpokládejte izotermní proudění při střední teplotě  $20^\circ\text{C}$ . Jaká je maximální kapacita potrubí a jí odpovídající tlak?

$$\ln\left(\frac{p_1}{p_2}\right)^2 - \frac{M}{RT \bar{w}^2} (p_1^2 - p_2^2) + \lambda \frac{l}{d} = 0 \quad (1.2 - 50)$$

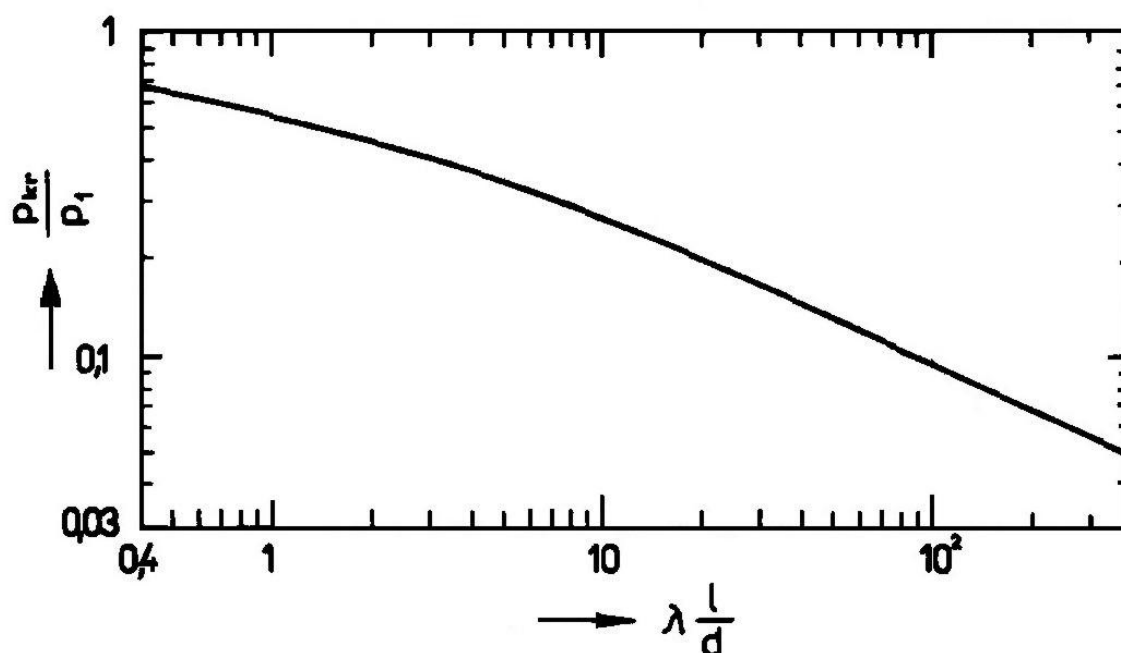


Obr. 1.20. Nomogram pro určení tlakové difference při proudění stlačitelné tekutiny potrubím konstantního průřezu.

Jak vyplývá z obr. 1.20, dostaneme při použití nomogramu dva průsečíky (hodnoty  $p_2/p_1$ ); fyzikální smysl má však pouze levý průsečík. Z nomogramu je dále patrné, že minimální hodnoty výstupního tlaku  $p_2$  dosáhneme, jestliže spojnice hodnot na svislých osách bude tečnou ke křivce  $p_2/p_1$ . Za tohoto kritického stavu je hustota hmotnostního toku v potrubí maximální a hodnotu této extrémní rychlosti vypočítáme z rovnice (1.2 – 50) při podmínce  $d\bar{w}/dp_2 = 0$ . Derivováním rovnice (1.2 – 50) a po její úpravě získáme:

$$p_{kr}^2 = \frac{RT}{M} \bar{w}_{kr}^2, \quad (1.2 - 52)$$

$$\ln\left(\frac{p_1}{p_{kr}}\right)^2 + 1 - \left(\frac{p_1}{p_{kr}}\right)^2 + \lambda \frac{l}{d} = 0 \quad (1.2 - 55)$$

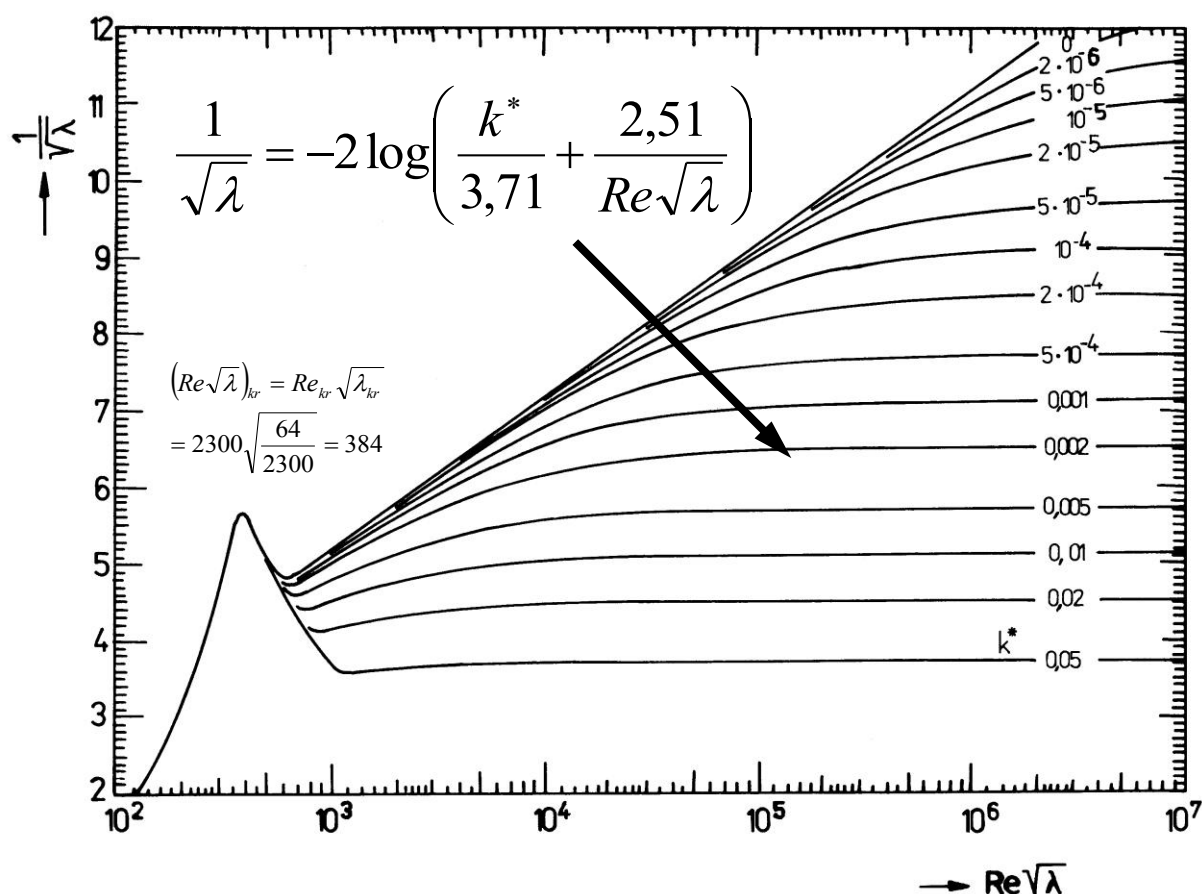


**Obr. 1.21.** Grafická závislost pro určení poměru kritického a vstupního tlaku, tj.  $p_{kr}/p_1$ , při izotermickém proudění nestlačitelné tekutiny potrubím.

# Určení průtokové rychlosti

**1)** V nádrži s výškou hladiny 11 m nad základnou je 84 % roztok glycerinu o teplotě  $T = 20\text{ °C}$  ( $\rho = 1220\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,  $\mu = 99,6\text{ mPa}\cdot\text{s}$ ), který se vypouští samospádem potrubím do druhé nádrže s výškou hladiny 1 m nad stejnou základnou. Potrubí Tr 28 x 1,5 [mm] je 112 m dlouhé. Určete objemový průtok glycerinu potrubím. Ztráty místními odpory zanedbejte.

$$Re\sqrt{\lambda} = \frac{d}{\mu} \sqrt{\frac{2e_z \rho^2 d}{l}} \quad (1.3 - 7)$$



Obr. 1.22. Grafická závislost  $1/\sqrt{\lambda} = f(Re\sqrt{\lambda}, k^*)$ .

**2)** Vodorovným potrubím o vnitřním průměru 300 mm a drsnosti 0,3 mm proudí voda o teplotě 60 °C. Jaký je objemový průtok vody, když na 1000 m délky potrubí byla naměřena ztrátová výška 8m?



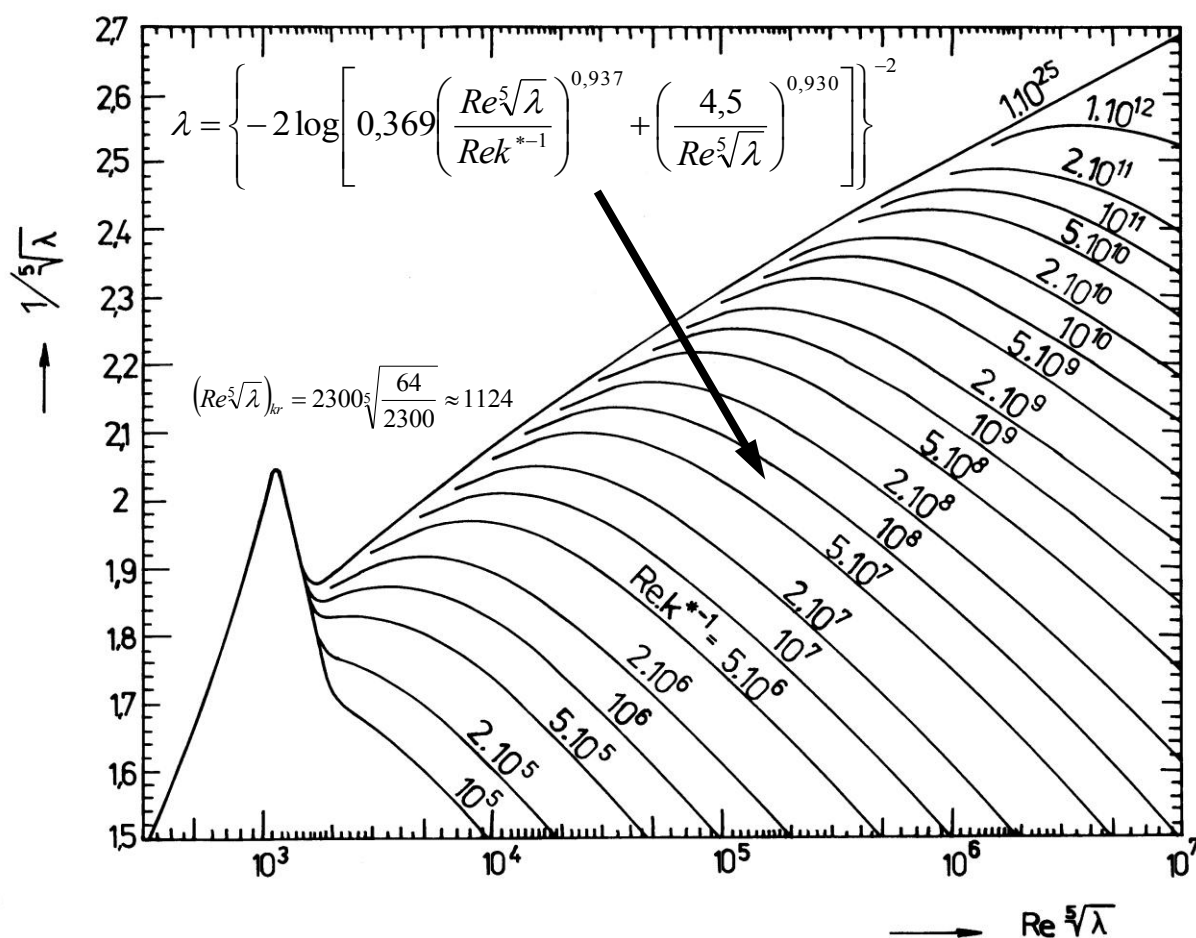
# Výpočet průměru potrubí pro zadané průtočné množství s dovolenou ztrátou

Z nádrže má samospádem odtékat  $20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  20 % roztoku ETANOLu ( $\rho = 970 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ,  $\mu = 2,18 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ ) potrubím o délce 300 m do zásobníku. Obě nádoby jsou otevřené a hladina v horní nádrži je 2,4 m nad hladinou zásobníku. Při jakém minimálním průměru potrubí bude možno zajistit požadovaný průtok? Potrubí je ocelové mírně zkorodované  $k_{stř.} = 0,2 \text{ mm}$  a ekvivalentní délky armatur jsou 10 % z délky potrubí.

$$Re\sqrt[5]{\lambda} = \frac{\rho}{\mu} \sqrt[5]{\frac{128\dot{V}^3 e_z}{\pi^3 l}}$$

$$\frac{Re}{k^*} = \frac{4\dot{V} \cdot \rho}{\pi k_{stř} \mu} \quad (1.3 - 16)$$

$$(1.3 - 17)$$



Obr. 1.23. Grafická závislost  $1/\sqrt[5]{\lambda} = f(Re\sqrt[5]{\lambda}, Re k^{*-1})$ .

## Řešení potrubních sítí

**1)** Ropovod o vnitřním průměru 600 mm spojuje dvě čerpací stanice vzdálené 50 km. Pro zvýšení kapacity bylo toto potrubí v délce 20 km zdvojeno. Ropa ( $\rho = 910 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,  $\mu = 0,5 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ ) je čerpána z místa A s nadmořskou výškou 350 m do místa B s výškou n. m. 420 m. Kolik ropy protéká potrubím jestliže v místě A je tlak 1,1 MPa a v místě B 0,12 MPa.

**2)** Do uzlu vodovodní sítě přitéká  $\dot{V}$  vody o teplotě  $T = 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Proud se v uzlu dělí na dvě větve, kterými se přivádí do otevřených nádrží. Hladina v první nádrži je o výšku  $h$  na hladinou v druhé nádrži. Spojovací potrubí je ocelové o střední drsnosti 0,3 mm a má vnitřní průměr  $d$  a délku  $L$ . Vypočítejte průtoky v obou větvích. Místní odpory a kinetickou energii zanedbejte.

