

Při tlaku  $p_{iz}^*$  může nastat v jádru proudu rychlost zvuku přičemž na okrajích (v blízkosti stěn) je rychlost podzvuková, protože plyn je brzděn třením o okraje kanálu. Střední rychlost v hrdle trysky je menší než je rychlost zvuku respektive střední kinetická energie plynu je nižší než odpovídá energii při rychlosti zvuku. Až při tlaku nižším  $p^*$  je střední kinetická energie plynu taková, že odpovídá rychlosti zvuku<sup>(18)</sup> v celém průtočném průřezu plynu viz kapitola 38. Proudění plynu v kanálu konstantního průřezu za přítomnosti tření.

<sup>(18)</sup>Poznámka

Jestliže v kritickém bodě je jiná konstanta adiabaty plynu  $\kappa$  než při izoentropickém proudění, pak kinetická energie rychlosti zvuku bude jiná než při izoentropické expanzi (viz vzorec pro rychlost zvuku). To znamená, že se změní i entalpie  $i^* \neq i_{iz}^*$ .

## Účinnost trysky

Ztrátu lze vypočítat z energetických parametrů trysky, kterými jsou **rychlostní součinitel  $\varphi$** , **součinitel průtoku trysky  $\mu$**  a **účinnost trysky  $\eta$** :

$$\varphi = \frac{c_e}{c_{e,iz}}; \quad \eta = \frac{i_{ic} - i_e}{i_{ic} - i_{e,iz}} = \frac{c_e^2}{c_{e,iz}^2} = \varphi^2$$

20.569 Energetické parametry trysky.

$\varphi$  [-] rychlostní součinitel;  $\eta$  [-] účinnost trysky. Hodnoty rychlostního součinitele  $\varphi$  pro trysky jsou uvedeny v [4, s. 328] (zúžující se, včetně kuželových) a v [4, s. 348] (Lavalových).

Popsat průběh změny statických stavů v trysce a porovnávat dvě různé trysky je možné i pomocí **exponentu polytropy**. Průměrnou hodnotu exponentu polytropy lze odvodit z rovnice pro výpočet rozdílu entalpie plynu:

$$n = \frac{\log \epsilon}{\log \epsilon - \log K}; \quad K = 1 - \frac{(i_i - i_e)(\kappa - 1)}{\kappa \cdot r \cdot T_i}$$

21.883 Rovnice pro výpočet průměrné hodnoty exponentu polytropy mezi dvěma stavy plynu.

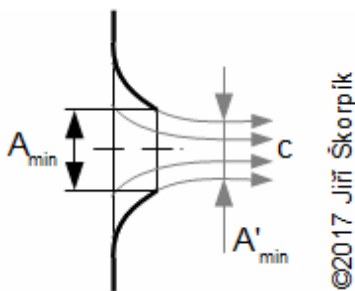
$n$  [-] exponent polytropy.

Navrhněte Lavalovu trysku pro průtok  $0,2 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$  syté páry. Vypočítejte účinnost trysky. Celkový tlak páry před tryskou je  $200 \text{ kPa}$ . Tlak páry za tryskou je  $20 \text{ kPa}$ . Rychlostní součinitel trysky je  $0,95$ . Řešení úlohy je uvedeno v Příloze 109.

Úloha 5.109

## Zúžení proudu a součinitel průtoku

Hmotnostní průtok tryskou se může snížit nejen v důsledku vnitřního tření v tekutině, ale i v důsledku **zúžení** neboli kontrakce proudu za nejužším místem trysky [15 s. 14]. Toto zúžení je způsobeno setrvačností proudu a má stejný dopad jako zmenšení průtočného průřezu trysky:



22.761 Zúžení proudu v trysce.

$A'_{min}$  [m<sup>2</sup>] průtočný průřez trysky po zúžení. U dobře provedených trysek je zúžení proudu velmi malé ( $A_{min} \approx A'_{min}$ ), naopak významné je u clon.

Skutečný průtok tryskou se vypočítá pomocí **součinitele průtoku**, který zahrnuje vliv vnitřního tření i zúžení proudu. Součinitel průtoku je podíl skutečného průtoku tryskou ku průtoku při izoentropické expanzi bez zúžení proudu:

$$\mu = \frac{\dot{m}}{\dot{m}_{iz}}$$

23.478 Součinitel průtoku.

$\mu$  [-] součinitel průtoku;  $\dot{m}_{iz}$  [kg·s<sup>-1</sup>] průtok tryskou při proudění beze ztrát (izoentropická expanze).

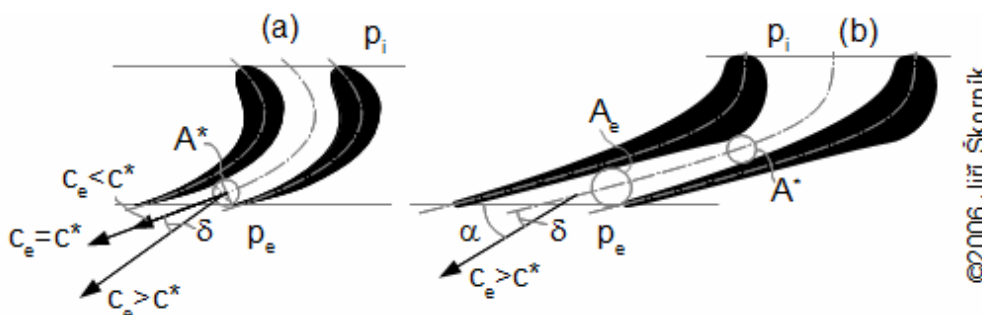
Hodnoty průtokových součinitelů některých typů trysek a clon jsou uvedeny v [4], [15].

### Některé aplikace teorie trysek

Teorie trysek má široké uplatnění v různých typech proudových strojů. Pomocí propracované teorie trysek lze totiž popsat i některé na první pohled složité proudění.

### Tryska jako lopatkový kanál

Lopatkový kanál může mít tvar zužující se trysky i Lavalovy trysky. Lopatkový kanál ve tvaru Lavalovy trysky se používá v případech, kdy na jeho výstupu musí být nadzvuková rychlost pracovního plynu (entalpie poklesne mezi vstupem a výstupem pod kritickou entalpii  $i^*$ ). Takový lopatkový kanál se chová jako šikmo seříznutá tryska:



23.111 Situace na výstupu z lopatkové mříže při nadzvukovém proudění.

(a) konfuzorový lopatkový kanál; (b) lopatkový kanál pro nadzvukové rychlosti.  $\delta$  [°] odklon nadzvukového proudu od osy kanálu. Postup výpočtu úhlu  $\delta$  pro případ lopatkového kanálu je uveden např. v [12, Rovnice 3.6-10] nebo lze použít i Prandtl-Meyerovy funkce. Fotografie proudění plynů vysokými rychlostmi v lopatkových mřížích jsou uvedeny v kapitole 16. Aerodynamika lopatkových mřížích ve stlačitelném proudění.