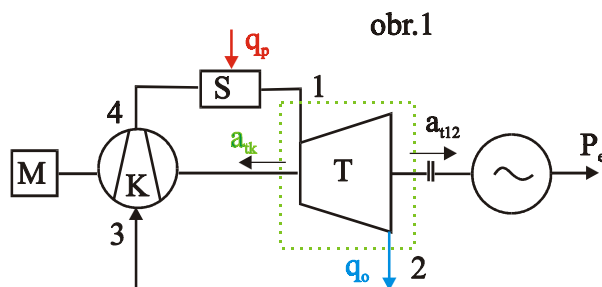


## Plynové turbíny

Plynová turbína je tepelný stroj přeměňující tepelnou energii obsaženou v pracovní látce



$q_p$  procházející motorem na energii mechanickou  $a_{t12}$  (obr.1). Pracovní látkou je vzduch, respektive spaliny, které se vytvářejí v tepelném zdroji - spalovací komoře (S). Teplota na vstupu (1) je dána teplotou spalin a na výstupu (2) je dána teplotou okolí, což pro tuto pracovní látku znamená vyšší tlak (0,1 MPa), než pro vodu a páru. Tepelná účinnost je menší.

Pro dostatečně vysokou účinnost oběhů s plynovými turbínami je nutno pracovní látku oběhu stačovat na poměrně vysokou hodnotu. Na stlačení pracovní látky se používá rotační kompresor (K), který spotřebovává velké množství získané technické práce z turbíny -  $a_{tk}$ . Poměr práce potřebné ke stlačení a získané technické práce je u těchto strojů poměrně vysoký oproti parním turbínám.

### Výhody plynových turbín:

- menší spotřeba materiálu
- vysoká provozní spolehlivost
- pružnost zařízení
- značný rozsah změn zatížení
- malá spotřeba vody

### Nevýhody plynových turbín:

- menší mezní výkony ve srovnání s parní turbínou
- vyšší nároky na palivo
- kvalitnější materiály

### Rozdělení oběhů s tepelnými turbínami:

- otevřené
- uzavřené
- izobarické
- izochorické
- s chlazenou kompresí
- s nechlazenou kompresí
- jednostupňové spalování
- vícestupňové spalování
- bez výměníků tepla
- s výměníkem tepla
- pracující s kapalnými palivy
- pracující s plynovými palivy

### Pracovní látka tepelného oběhu

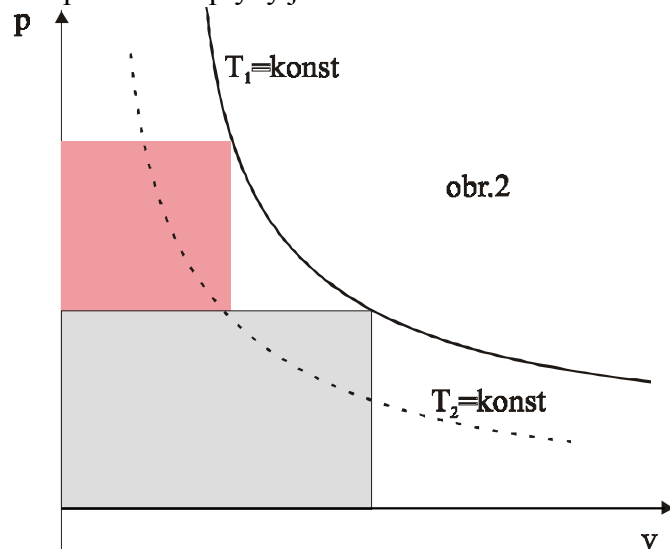
Pracovní látkou je vzduch, jehož chování lze popsat základními zákony platícími pro ideální plyny. Jednotlivé veličiny potřebné pro výpočet zisku technické práce lze, na rozdíl od vody, stanovit výpočtem. Odvození stavové rovnice pro ideální plyny je na základě:

#### Boyle - Marioteův zákon:

Změna tlaku při konstantní teplotě je úměrná převrácené hodnotě objemu:

$$\frac{p}{p_0} = \frac{v_0}{v} = konst$$

To je rovnice rovnoosé hyperboly viz. obr.2. Plochy obdélníků pod křivkou jsou stejné. Indexem  $o$  je označován základní vztažný bod (hodnota). Tento bod se zvolil jako hodnota při nulové teplotě.



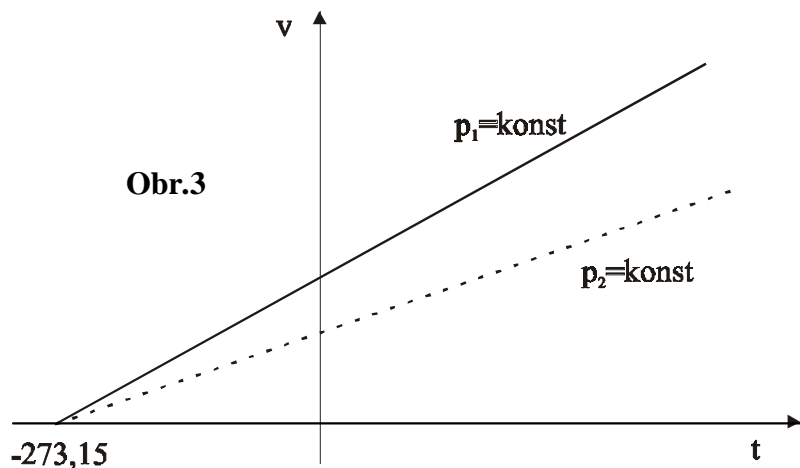
#### Charlesův - Gay-Lussacův zákon

Změna objemu při konstantním tlaku je přímo úměrná absolutní teplotě:

$$\frac{v}{v_0} = \frac{T}{T_0}$$

Změna tlaku při konstantním objemu je přímo úměrná absolutní teplotě:

$$\frac{p}{p_0} = \frac{T}{T_0}$$



Objem se zvětšuje ohřátím o  $1^\circ\text{C}$  o hodnotu  $\Delta v = (1/273)v_0$  viz obr.č.3

### Stavová rovnice plynů

Provedeme změnu stavu ideálního plynu ze stavu 1 do stavu 2.

Nejdříve budeme měnit tlak z  $p_1$  na  $p_2$  při konstantní teplotě (Boyleův zákon)

po dosažení tlaku  $p_2 = konst.$  budeme měnit objem z teploty  $T_1$  na  $T_2$  (Gay-Lussacův zákon)

$$v_1 = \frac{p_2}{p_1} v \rightarrow v_2 = \frac{T_2}{T_1} v$$

pak poměr objemů jednotlivých stavů:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\frac{p_2}{p_1} v}{\frac{T_2}{T_1} v} = \frac{T_1 p_2}{T_2 p_1}$$

úpravou získáme vztah:

$$\frac{p_1 v_1}{T_1} = \frac{p_2 v_2}{T_2} = konst = r$$

$r$  je plynová konstanta

Stavová rovnice se obvykle vyjadřuje ve tvaru:

$$pv = rT, \quad F(p, v, T) = 0$$

### **Odvození rovnice adiabaty**

Ideální přeměna tepelné energie na technickou práci (*bezeztrátová*) probíhá adiabaticky.

Vnitřní tepelná energie látky nezávisí na jejím objemu, ale pouze na teplotě (*Gay-Lussac, Jouleův zákon*):

$$u = f(T) \Rightarrow du = c_v dT$$

Pokud budeme přivádět teplo při konstantním objemu, bude se vnitřní energie  $u$  dané pracovní látky zvyšovat v závislosti na její měrném teple při konstantním objemu.

První termodynamický zákon:

$$dq = du + pdv$$

Můžeme přepsat do tvaru:

$$dq = c_v dT + pdv$$

Provedeme derivaci stavové rovnice:

$$pv = rT$$

$$pdv + vdp = rdT \Rightarrow pdv = rdT - vdp$$

kterou dosadíme do prvního termodynamického zákona:

$$dq = c_v dT + rdT - vdp$$

při uvažování adiabatické změny stavu ( $dq = 0$ , *bez přívodu tepla*)

$$0 = c_v dT + rdT - vdp = (c_v + r)dT - vdp$$

plynová konstanta je definována:

$$c_p - c_v = r \Rightarrow c_p = c_v + r$$

$$c_p dT = vdp \quad [1]$$

Z **1. TZ** si vyjádříme:

$$c_v dT = -pdv \quad [2]$$

Rovnici [1] a [2] podělíme:

$$\frac{c_p}{c_v} = -\frac{v}{p} \frac{dp}{dv}$$

Definice *Pisonovy konstanty*:

$$\chi = \frac{c_p}{c_v} \Rightarrow -\chi \frac{dv}{v} = \frac{pd}{p} \quad [3]$$

Provedeme integraci rovnice [3]

$$-\chi \int \frac{1}{v} dv = \int \frac{1}{p} dp$$

$$-\chi \ln v = \ln p$$

$$\text{konst} = \ln p + \ln v^\chi$$

$$\text{konst} = p v^\chi$$

Nyní můžeme stanovit teplotu ve stavu **2** (po adiabatické expanzi v motoru):  
V jednotlivých stavech **1** a **2** platí stavové rovnice:

$$p_1 v_1 = r T_1, \quad p_2 v_2 = r T_2$$

a rovnice adiabatické změny:

$$p_1 v_1^\chi = p_2 v_2^\chi$$

Teplota  $T_2$ :

$$T_2 = \frac{p_2 v_2}{r}$$

Dosadíme za plynovou konstantu ze stavové rovnice ve stavu 1:

$$r = \frac{p_1 v_1}{T_1} \Rightarrow T_2 = \frac{p_2 v_2}{p_1 v_1} T_1$$

Z rovnice pro adiabatou si vyjádříme poměr  $v_2/v_1$ :

$$\left(\frac{v_2}{v_1}\right)^\chi = \frac{p_1}{p_2} \Rightarrow \frac{v_2}{v_1} = \sqrt[\chi]{\frac{p_1}{p_2}} = \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{1}{\chi}}$$

a dosadíme do rovnice pro  $T_2$ :

$$T_2 = \frac{p_2}{p_1} \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{1}{\chi}} T_1 \quad / \cdot \frac{p_1^{\frac{1}{\chi}}}{p_1^{\frac{1}{\chi}}} \frac{p_2^{\frac{1}{\chi}}}{p_2^{\frac{1}{\chi}}}$$

Výsledný vztah pro  $T_2$ :

$$T_2 = \frac{p_2}{p_1} \frac{p_2^{\frac{1}{\chi}}}{p_1^{\frac{1}{\chi}}} T_1 = \frac{p_2^{\frac{\chi-1}{\chi}}}{p_1^{\frac{\chi-1}{\chi}}} T_1$$

$$T_2 = \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\chi-1}{\chi}} T_1$$

Přivedené teplo do oběhu  $q_p$  se provádí spalováním plynu, které se může provádět dvěma způsoby:

- při konstantním tlaku
- při konstantním objemu

Používá se způsob při konstantním tlaku.