



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Termodynamika plynů

Základní pojmy

Ideální plyn – je ideálně stlačitelný plyn, který v libovolném rozsahu tlaků a teplot zůstává v plynném stavu, změny stavu (tlaku, objemu, teploty) se dají popsat jednoduchými rovnicemi .

Měrná tepla ideálního plynu za konstantního tlaku c_p a za konstantního objemu c_v jsou konstantní a nezávisí na teplotě. Jedná se o ideálně stlačitelnou tekutinu bez vnitřního tření ideálně vyplňující jakýkoliv prostor.

ZÁKLADNÍ STAVOVÉ VELIČINY

Termodynamický stav plynu je určen 3 základními určujícími výchozími veličinami – tlakem p (Pa) , teplotou T ($^{\circ}\text{K}$) a měrným objemem v (m^3/kg). To znamená, že při určité teplotě a tlaku zaujímá 1 kg nějakého plynu zcela určitý objem. Ke změně stavu plynu dojde přivedením či odvodem tepla mezi plynem a okolím a tato změna sebou přináší změnu jeho tlaku a teploty a tím i měrného objemu.

Tlak p :

$$p = \frac{F}{S}$$

F je síla (N)

S je plocha (m^2)

Jednotky tlaku

$$\left(\text{Pa} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right) = \frac{(\text{N})}{(\text{m}^2)}$$

:

$$\left(\text{MPa} = \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right) = \frac{(\text{N})}{(\text{mm}^2)}$$

Dřívější jednotky tlaku *uváděné ve starší odborné literatuře, dodnes někdy v technické praxi používané (vztahy slouží pro přepočet při řešení úloh ze starších učebnic):*

1 **bar** = 10^5 Pa = 100 kPa = 1000 hPa = 0,1 MPa

1 **torr** = 133,322 Pa (1 torr je hydrostatický tlak 1 mm rtuťového sloupce – 1 mm Hg).

1 **kp / .cm²** = 98066,5 Pa = 736 torr (kilopond na centimetr čtvereční byl označován jako atmosféra –at)

1 **at** = 98066,5 Pa (technická atmosféra)

1 **atm** = 101325 Pa (fyzikální atmosféra)

Pokud není uvedeno jinak, autorem textu a obrázků je Ing. Václav Franče.

Dostupné ze Školského portálu Karlovarského kraje www.kvkskoly.cz, materiál vznikl v rámci projektu Gymnázia Cheb s názvem Rozvoj školského portálu Karlovarského kraje.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Měrný objem v :

$$v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho}$$

$$\left(\frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right) = \frac{(\text{m}^3)}{(\text{kg})}$$

Hustota plynu ρ [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$] je převrácenou hodnotou měrného objemu plynu v .
Měrný objem je objem (m^3), který zaujme 1 kg plynu za daných podmínek (tlaku, teploty)

Tabelované hodnoty hustoty a měrného objemu plynů jsou přepočítány na tzv. normální fyzikální stav:

$$p = 101325 \text{ (Pa)}$$

$$T = 273,15 \text{ (}^\circ\text{K)} = 0 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

Termodynamická teplota t ($^\circ\text{C}$), T ($^\circ\text{K}$) :

Základní jednotkou je 1 Kelvin ($^\circ\text{K}$), který je definován jako $1 / 273,16$ – tý díl teploty trojného bodu vody Pro převod platí:

$$T(^{\circ}\text{K}) = t(^{\circ}\text{C}) + 273,15$$

Velikost 1 dílku Celsiovy a Kelvinovy stupnice je stejná, teplota absolutní nuly(tj. $0 \text{ }^\circ\text{K}$), odpovídá $-273,15 \text{ (}^\circ\text{C)}$. Obě stupnice jsou tedy proti sobě pouze posunuty o 273,15 dílků

Platí : rozdíl teplot $(T_2 - T_1) \text{ (}^\circ\text{K)} = (t_2 - t_1) \text{ (}^\circ\text{C)}$

$$\text{podíl teplot} \quad \frac{T_2}{T_1} \text{ (}^\circ\text{K)} \text{ **není roven** } \frac{t_2}{t_1} \text{ (}^\circ\text{C)}$$

Příklad: Teplota v zásobníku plynu se zvýšila z $t_1 = 20 \text{ (}^\circ\text{C)}$, což odpovídá $T_1 = 293 \text{ (}^\circ\text{K)}$ na $t_2 = 60 \text{ (}^\circ\text{C)}$, což odpovídá $T_2 = 333 \text{ (}^\circ\text{K)}$. Určete:

- o kolik se zvýšila teplota ve stupních Celsia a ve stupních Kelvina
- procentuální zvýšení teploty ve stupních Celsia a ve stupních Kelvina

$$\begin{aligned} \text{a) rozdíl teplot} & \text{ - ve stupních Celsia } = 60 \text{ (}^\circ\text{C)} - 20 \text{ (}^\circ\text{C)} = 40 \text{ (}^\circ\text{C)} \\ & \text{ - ve stupních Kelvina } = 333 \text{ (}^\circ\text{K)} - 293 \text{ (}^\circ\text{K)} = 40 \text{ (}^\circ\text{K)} \end{aligned}$$

V obou případech je stejný výsledek $40 \text{ (}^\circ\text{C)} = 40 \text{ (}^\circ\text{K)}$

$$\text{b) podíl teplot} \quad \frac{T_2}{T_1} \text{ (}^\circ\text{K)} = \frac{333}{293} = 1,1365 \dots \text{ tj. } 113,65\%$$

Pokud není uvedeno jinak, autorem textu a obrázků je Ing. Václav Franče.

Dostupné ze Školského portálu Karlovarského kraje www.kvkskoly.cz, materiál vznikl v rámci projektu Gymnázia Cheb s názvem Rozvoj školského portálu Karlovarského kraje.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

$$\frac{t_2}{t_1} (^{\circ}\text{C}) = \frac{60}{20} = 3,00 \dots\dots\dots \text{t.j. } 300 \%$$

V obou případech je zcela odlišný výsledek, proto je ve vztazích pro výpočty vždy důležité dosazovat ve správných jednotkách . Pro snadnější rozlišení budou v textu rozlišeny teploty písmeny $t(^{\circ}\text{C})$ a $T(^{\circ}\text{K})$.

Kromě uvedených základních stavových veličin se v technických výpočtech setkáme i se změnami objemové roztažnosti a tlakové rozpínavosti plynů Pro připomenutí:

Objemová roztažnost

- pro izobarickou teplotní změnu objemu plynu (změna objemu systému v závislosti na změně teploty při konstantním tlaku) platí:

$$[V_T = V_0 \cdot [1 + \gamma \cdot (T - T_0)]$$

kde teplotní součinitel izobarické objemové roztažnosti γ [K^{-1}] pro ideální plyn

$$\gamma = \frac{1}{T_0} = \frac{1}{273,15}$$

Tlaková rozpínavost

- pro izochorickou teplotní změnu objemu plynu (změna tlaku v systému v závislosti na změně teploty při konstantním objemu) platí :

$$[p = p_0 \cdot [1 + \beta \cdot (T - T_0)]$$

kde teplotní součinitel izochorické objemové roztažnosti β [K^{-1}] pro ideální plyn

$$\beta = \gamma = \frac{1}{T_0}$$

STAVOVÁ ROVNICE IDEÁLNÍHO PLYNU

Mnoha pokusy byla laboratorně zjištěna závislost mezi základními stavovými veličinami plynu. **Platí:**

$$\frac{p \cdot v}{T} = r$$

kde hodnota r závisí pouze na druhu plynu a byla označena jako **měrná plynová konstanta**. Hodnoty pro jednotlivé plyny nalezneme ve Strojnických tabulkách

p ... tlak plynu (Pa)

v ... měrný objem plynu (m^3 / kg)

Pokud není uvedeno jinak, autorem textu a obrázků je Ing. Václav Franče.

Dostupné ze Školského portálu Karlovarského kraje www.kvkskoly.cz, materiál vznikl v rámci projektu Gymnázia Cheb s názvem Rozvoj školského portálu Karlovarského kraje.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

T absolutní teplota (K^{-1})

r měrná plynová konstanta ($J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$), pro vzduch $r = 287,04$ ($J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$)

Tuto rovnici často vyjadřujeme v následujícím tvaru a je označována jako **stavová rovnice ideálního plynu**

$$p \cdot v = r \cdot T$$

Pro m (kg) plynu pak platí (obě strany rovnice násobíme m) :

$$p \cdot v \cdot m = m \cdot r \cdot T$$

$$p \cdot V = m \cdot r \cdot T$$

p ... tlak plynu (Pa)

V ...objem plynu (m^3)

m ... hmotnost plynu (kg)

T absolutní teplota (K^{-1})

r měrná plynová konstanta ($J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$)

Základní zákony ideálního plynu

Z fyziky známe základní zákony:

Boyleův - Mariotteův zákon: $T = \text{konst.}$ děj izotermický

Gay-Lussacův zákon: $p = \text{konst.}$ děj izobarický

Charlesův zákon: $v = \text{konst.}$ děj izochorický

Všechny tyto vztahy vycházejí odvozením ze základní stavové rovnice převedením proměnných veličin pro daný děj na levou stranu rovnice a konstant na pravou stranu rovnice (v textu jsou konstantní veličiny pro daný děj ve stavové rovnici označeny červeně).

1) $p = \text{konstanta}$ děj izobarický
po úpravě

$$p \cdot v = r \cdot T$$

$$\frac{v}{T} = \text{konst}$$

což je základní rovnice izobary a zákon označovaný jako Gay-Lussacův zákon.

Označíme-li stav plynu na začátku děje indexem 1 a na konci děje 2, pak platí

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

2) : $v = \text{konstanta}$... děj izochorický
po úpravě

$$p \cdot v = r \cdot T$$

Pokud není uvedeno jinak, autorem textu a obrázků je Ing. Václav Franče.

Dostupné ze Školského portálu Karlovarského kraje www.kvkskoly.cz, materiál vznikl v rámci projektu Gymnázia Cheb s názvem Rozvoj školského portálu Karlovarského kraje.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

$$\frac{p}{T} = \text{konst.}$$

což je základní rovnice izochory a zákon označovaný jako Charlesův zákon

Označíme-li stav plynu na začátku děje indexem 1 a na konci děje 2, pak platí :

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

3) **T=konstanta** děj izotermický
po úpravě $p \cdot v = r \cdot T$

$$p \cdot v = \text{konst.}$$

což je základní rovnice izotermie a zákon označovaný jako Boyleův - Mariotteův zákon

Označíme-li stav plynu na začátku děje indexem 1 a na konci děje 2, pak platí :

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

Příklad:

V zásobníku je vzduch stlačený na tlak $p_1 = 2 \text{ MPa}$ při teplotě $t_1 = 10^\circ\text{C}$.

Na přímém slunci se zásobník ohřeje na teplotu $t_2 = 100^\circ\text{C}$. Objem zásobníku je $V = 5 \text{ m}^3$;
 $r = 287 \text{ (J kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$

Vypočítejte...

a) Na jakou hodnotu vzroste při ohřátí tlak. ($p_2 = ? \text{ MPa}$)

b) Kolik kg vzduchu je v zásobníku. ($m = ? \text{ kg}$)

Řešení:

a) Ze zadání plyne, že objem zásobníku se nezmění, jedná se tedy o izochorický děj,
pro který platí:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

z rovnice vyjádříme

$$p_2 = p_1 \cdot T_2 / T_1 = 2\,000\,000 \cdot 373 / 283 = 2\,636\,040 \text{ Pa} = 2,636 \text{ MPa}$$

b) Výpočet provedeme ze stavové rovnice pro $m \text{ kg}$ vzduchu pro stav plynu na počátku děje, kdy platí :

$$p_1 \cdot V_1 = m \cdot r \cdot T_1$$

jedinou neznámou je m :

$$m = \frac{p_1 \cdot V_1}{r \cdot T_1} = \frac{2\,000\,000 \cdot 5}{287 \cdot 283} = 123,1 \text{ kg}$$

Pokud není uvedeno jinak, autorem textu a obrázků je Ing. Václav Franče.

Dostupné ze Školského portálu Karlovarského kraje www.kvkskoly.cz, materiál vznikl v rámci projektu Gymnázia Cheb s názvem Rozvoj školského portálu Karlovarského kraje.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Literatura:

V.VONDRÁČEK, I. Středa, V. Mamula, M. Hlinka. *Mechanika IV: Mechanika tekutin a termomechanika*. Praha: SNTL, 1977. ISBN 04-225-77.

Pokud není uvedeno jinak, autorem textu a obrázků je Ing. Václav Franče.
Dostupné ze Školského portálu Karlovarského kraje www.kvkskoly.cz, materiál vznikl
v rámci projektu Gymnázia Cheb s názvem Rozvoj školského portálu Karlovarského kraje.