

Termodynamické zákony v praxi

*D. Brožek, **L. Homolová, ***V. Zelenka, ****K. Holanová
*Gymnázium Trutnov, **Gymnázium V. Hlavatého Louny,
SPŠSE a VOŠ Liberec, *Gymnázium Česká Lípa
d.brozek@seznam.cz, LenkaHom@seznam.cz,
vlastimil.zelenka@pzlib.cz, tynaholanova@seznam.cz

Abstrakt:

Práce se věnuje tepelným strojům a termodynamice. Nejdříve popisujeme vlastnosti tepelných strojů, jejichž pracovní látkou je plyn. Zabýváme se pracovními cykly, prací vykonanou plynem a účinností tepelných strojů. Provádíme dvě různá měření - . Zjistili jsme, že práce, kterou vykonal plyn, byla zhruba o 50% vyšší než změna potenciální energie závaží, což je poměrně velký rozdíl. Druhé měření bylo zaměřeno na účinnost Peltierova aparátu. Účinnost Peltierova aparátu bez korekce na ztráty tepla vedením byla velice nízká.

1 Úvod

Termodynamika je obor fyziky, který se zabývá teplem a tepelnými jevy. Sleduje např. jak se stlačením látka zahřeje, jak se dodáním tepla zvýší její teplota apod. Termodynamika tedy zkoumá vzájemné vztahy mezi veličinami, které charakterizují makroskopický stav systému a změny těchto veličin při fyzikálních dějích, které jsou obvykle spojeny s výměnou tepla s okolím soustavy.

Termodynamika je postavena na třech tzv. hlavních termodynamických větech.

- **První termodynamický zákon** - Jeho obsah vyjadřuje zákon zachování energie.
- **Druhý termodynamický zákon** - Vyjadřuje skutečnost, že chladnější těleso nepředává teplo tělesu teplejšímu. Určuje tedy směr předávání tepelné energie.
- **Třetí termodynamický zákon** - Tvrdí, že při absolutní nulové teplotě je míra neuspořádanosti molekul plynu rovna nule.

Ideální plyn

Je dokonale stlačitelný a bez vnitřního tření. Rozměry částic jsou zanedbatelné vzhledem ke vzdálenostem mezi nimi. Částice lze tedy považovat za hmotné body. Kromě srážek na sebe částice nijak nepůsobí. Celková kinetická energie částic se při vzájemných srážkách nemění, tzn. srážky částic jsou dokonale pružné.

Stav látky se popisuje pomocí tzv. **stavových veličin a rovnic**.

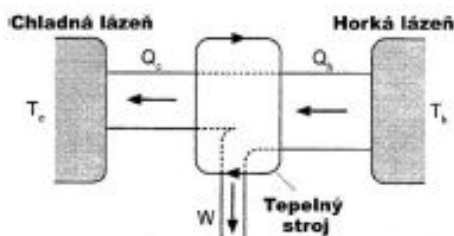
Stavová rovnice ideálního plynu vyjadřuje vzájemnou závislost stavových veličin při termodynamických dějích v ideálním plynu.

Teplotu vypočítáme ze střední kinetické energie ideálního plynu, tlak z objemu, hmotnosti a střední kvadratické rychlosti.

$$pV = NkT$$

p je tlak plynu, V je objem plynu, N je počet částic, k je Boltzmannova konstanta, T je termodynamická teplota.

2 Tepelný stroj na bázi plynu



Obr.1 Schéma tepelného stroje



Obr.2 Aparatura tepelného stroje

Tepelný stroj pracuje tak, že odebírá teplo teplé lázni předává část tohoto tepla chladné lázni. Část energie, kterou nepředá, pak využíváme ke konání práce. Podle zákona zachování energie tedy musí platit:

$$Q_h = Q_c + W$$

W je práce vykonaná plynem, Q_h je teplo přijaté od horké lázně, Q_c je teplo odevzdané studené lázni

Tepelný stroj je tím účinnější, čím více tepla odebraného horké lázni využije. Účinnost je definována:

$$\varepsilon = \frac{W}{Q_h}$$

Každý ideální plyn se řídí stavovou rovnicí. Pro ní platí tyto význačné děje:

- Izotermický děj – teplota plynu je konstantní a mění se pouze objem a tlak

$$pV = konst.$$

- Izochorický děj – objem plynu je stálý a mění se pouze teplota a tlak

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

- Izobarický děj – tlak plynu se nemění a mění se teplota a objem

$$\frac{V}{T} = konst.$$

- Adiabatický děj – nedochází k tepelné výměně mezi plynem a okolím

$$pV^\kappa = konst.$$

Tepelný stroj jehož pracovní látkou je plyn musí pracovat v uzavřeném cyklu. Typickou ukázkou takového cyklu je Carnotův cyklus, který má ze všech tepelných strojů největší účinnost. Carnotův cyklus se skládá ze dvou izotermických a dvou adiabatických dějů.

Účinnost Carnotova cyklu je dána vztahem:

$$\varepsilon_{carnot} = \frac{Q_h - Q_c}{Q_h} = 1 - \frac{T_c}{T_h}$$

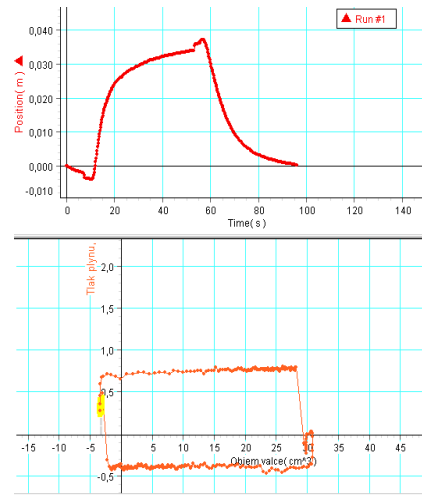
Neexistuje tepelný stroj se 100 % účinností, protože nelze dosáhnout $T_c = 0K$
 Stavů plynu zakreslujeme do p-V diagramu. Práci vypočítáme jako obsah pod křivkou.

$$W = \int F \delta s = \int pS \delta s = \int p \delta V$$

Během našeho experimentu nešlo o Carnotův cyklus, nedokážeme dosáhnout ideálních podmínek. Skládá ze dvou izobarických a dvou polytropických dějů.

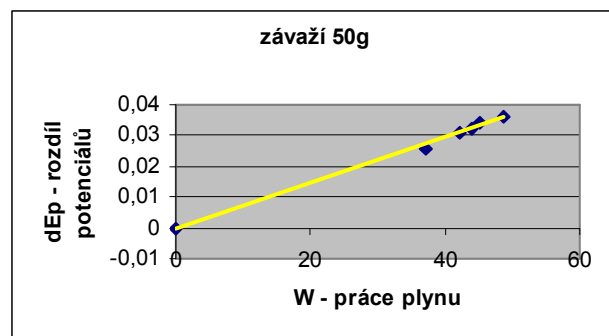
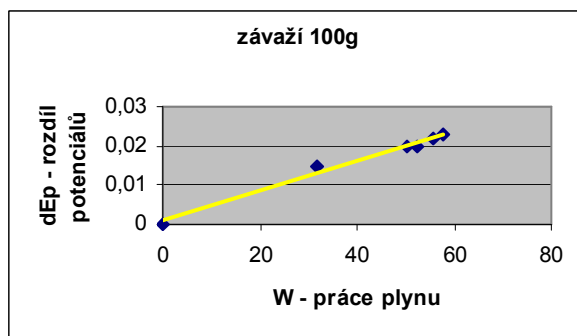
Měření

- 1) Na pohyblivý píst bylo vloženo závaží, tím se v uzavřené části izotermicky zmenšil objem a zvýšil tlak.
- 2) Po zahřátí pracovní látky se izobaricky zvětšil objem a teplota. Píst konal práci.
- 3) Při sundání závaží se snížil tlak a při opětovném zchlazení se soustava vrátila do počátečního stavu.



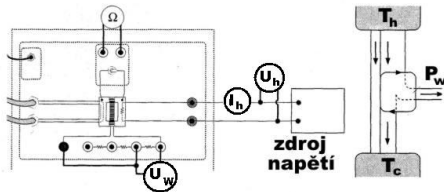
Graf 1

100g		50g	
W	dEp[m]	W	dEp
0	0	0	0
31,9	0,015	37,08	0,026
50,33	0,0199	42,21	0,031
52,24	0,02	48,79	0,036
55,54	0,022	45,08	0,034
57,78	0,023	44,04	0,032

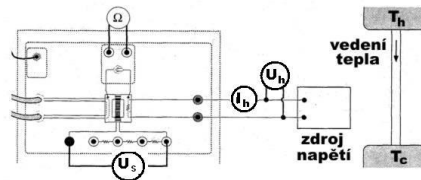


Graf zaznamenávající změny potenciální energie v závislosti na práci plynu. Práce vykonaná plynem se liší v závislosti na hmotnosti závaží, protože čím těžší závaží položíme na píst, tím větší je tření mezi pístem a stěnou válce a dochází k většímu úniku plynu kvůli nedokonalé izolaci.

3 Peltierův aparát



Obr. 3 Schéma Peltierova aparátu se zapojeným tepelným strojem



Obr. 4 Schéma Peltierova aparátu s odpojeným tepelným strojem

Je to další příklad tepelného stroje. Je to zařízení na přeměnu tepelné energie na energii elektrickou nebo naopak. Obdobně jako tepelné stroje na bázi plynu pracuje se dvěma lázněmi (horká, studená). Horká lázeň je materiál zahříváný elektrickým přístrojem. Studená lázeň je ochlazována proudící ledovou vodou.

Pro účinnost Peltierova aparátu platí:

$$\varepsilon = \frac{W}{Q_h} = \frac{\delta W / \delta t}{\delta Q_h / \delta t} = \frac{P_w}{P_h}$$

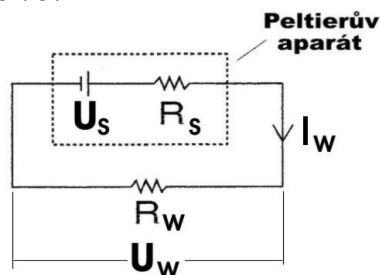
P_w je výkon dodávaný strojem, P_h je výkon odebraný teplé lázni (lze spočítat z výkonu zahřívacího zařízení $P_h = I_h * U_h$).

Užitečná práce z Peltierova aparátu je oproti dodané energii velmi malá. Účinnost není vysoká, protože část tepla projde Peltierovou součástkou, aniž by si všimla procesu, kterým je teplo převáděno na elektromotorické napětí. Korekci na tento jev zjistíme následovně:

$$P'_h = P_h - \tilde{P}_h = U_h * I_h - \tilde{U}_h * \tilde{I}_h$$

kde P_h je příkon ze zdroje napětí a \tilde{P}_h je výkon, který obchází elektrický proces součástky a prochází jí ve formě vedení tepla. Veličiny s vlnkou měříme při odpojeném tepelném stroji (viz obr. 4).

Dále je třeba udělat korekci na vnitřní odpor součástky R_s . Na něm se rozptyluje část užitečné práce a námi měřený výkon P_w je tedy menší než ve skutečnosti. Náhradní schéma zapojení Peltierovy součástky je na obr. 5.



Obr. 5 Schéma zapojení Peltierovy součástky

Z Kirchoffových zákonů pro tento obvod plyne:

$$U_s - I_w * R_s - I_w * R_w = 0$$

$$U_s - \frac{U_w}{R_w} * R_s - U_w = 0$$

$$-\frac{U_w}{R_w} * R_s = U_w - U_s$$

$$R_s = R_w * \frac{U_s - U_w}{U_w}$$

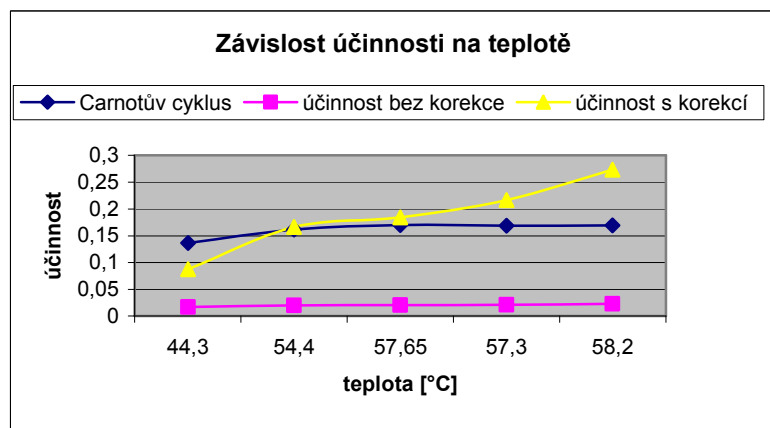
když máme vypočítaný odpor na součástce, použijeme tento výpočet k zjištění užitečného výkonu:

$$P'_h = P_w + R_s * I_w^2 = \frac{U_w^2}{R_w} + R_s * \frac{U_w^2}{R_w^2} = \frac{U_w^2}{R_w} * \left(1 + \frac{R_s}{R_w}\right)$$

Dvě předchozí rovnice vepíšeme do rovnice o účinnosti tepelného stroje a dostaneme přesnou účinnost tepelného stroje:

$$\varepsilon' = \frac{P'_w}{P'_h} = \frac{U_w^2}{R_w} * \frac{1 + \frac{R_s}{R_w}}{U_h * I_h - \tilde{U}_h * \tilde{I}_h}$$

po měřeních a dosazení do vzorce jsme ze získaných hodnot vygenerovali graf:



3 Shrnutí

V této práci se nám podařilo ověřit, že teplo je částečně možné převést na práci. Sestavili jsme p-V diagram pro demonstrační tepelný stroj.

Dále jsme se seznámili s Peltierovým aparátem. Díky nestále teplotě po odpojení tepelného stroje (teplota ve studené lázni nebyla konstantní kvůli nedostatku ledu) a kvůli nepřesnému měření (u rovnice účinnosti stačí malá odchylka ve výpočtech pro velký rozdíl výsledků) jsou výsledky s korekcemi zcela neslučitelné s teorií (naměřené hodnoty jsou větší než účinnost Carnotova cyklu). Pro přijatelné výsledky by bylo třeba celé měření zopakovat.

Poděkování

- Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT
- Supervizorovi a všem, kteří nám pomáhali

Reference:

[1] D. Halliday, R. Resnick, Jearl Walker.: Fyzika část 2., Brno 1997, ISBN 80-214-1868-0