

Termodynamické zákony v praxi

J. Opršal; M. Matoušek; L. Severa

Gym. tř. Kpt. Jaroše 14, Brno; Gymnázium Plasy; Gymnázium Benešov
snek@zoznam.sk; martin_matousek@seznam.cz; l.severa@seznam.cz

Abstrakt

Práce se věnuje tepelným strojům a termodynamice. Nejdříve popisujeme vlastnosti tepelných strojů, jejich pracovní látkou je plyn. Zabýváme se pracovními cykly a prací vykonanou plynem, efektivitou tepelných strojů. Zvláště pak Carnotovým cyklem, který je významný, protože má největší efektivitu ze všech strojů pracujících mezi danými dvěma teplotami. Provedli jsme měření těchto hodnot na demonstračním tepelném stroji a porovnávali teoreticky spočtenou práci se získanou potenciální energií.

Dále jsme se zabývali Peltierovým aparátem, tedy přístrojem na přeměnu tepla v elektrickou energii a naopak, a porovnali jeho účinnost s účinností Carnotova cyklu.

1 Úvod

Tepelné stroje hrály vždy významnou úlohu, zejména při průmyslové revoluci. S objevem parního stroje bylo třeba vědního oboru, termodynamiky, který by popsal získávání tepelné energie z látek.

Roku 1824 mladý francouzský fyzik Sadi Carnot objevil teoretický model tepelného stroje, který má ze všech možných tepelných strojů pracujících mezi danými dvěma teplotami největší možnou účinnost.

2 Tepelný stroj na bázi plynu

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

$$Q_h = Q_c + W$$

kde W je práce vykonaná plynem a Q_h resp. Q_c teplo přijaté od horké lázně respektive teplo odevzdané studené lázni.

Tepelný stroj je tím účinnější, čím více tepla odebraného horké lázni využije. Je logické definovat efektivitu ε tepelného stroje jako:

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

Každý ideální plyn se řídí stavovou rovnicí:

$$pV = nRT$$

kde V je objem plynu, p jeho tlak, T termodynamická teplota (v Kelvinech), n molární množství a R je konstanta.

Tepelný stroj, jehož pracovní látkou je plyn, musí pracovat v uzavřeném cyklu. Tento cyklus se skládá z pomalých změn, během kterých je stavová rovnice vždy splněna. Typickou ukázkou takového cyklu je *Carnotův cyklus*, který má ze všech tepelných strojů pracujících mezi danými dvěma teplotami horké a studené lázně nejvyšší účinnost. Carnotův cyklus se skládá ze dvou izotermických a dvou adiabatických dějů.

Účinnost Carnotova cyklu je dána vztahem:

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

Je tedy vidět, že účinnosti 1 by šlo dosáhnout pouze, kdyby studená lázeň měla teplotu $T_c = 0\text{K}$. Této teploty bohužel nelze dosáhnout, proto také neexistuje tepelný stroj se stoprocentní účinností.

Práci, kterou plyn koná můžeme spočítat jako:

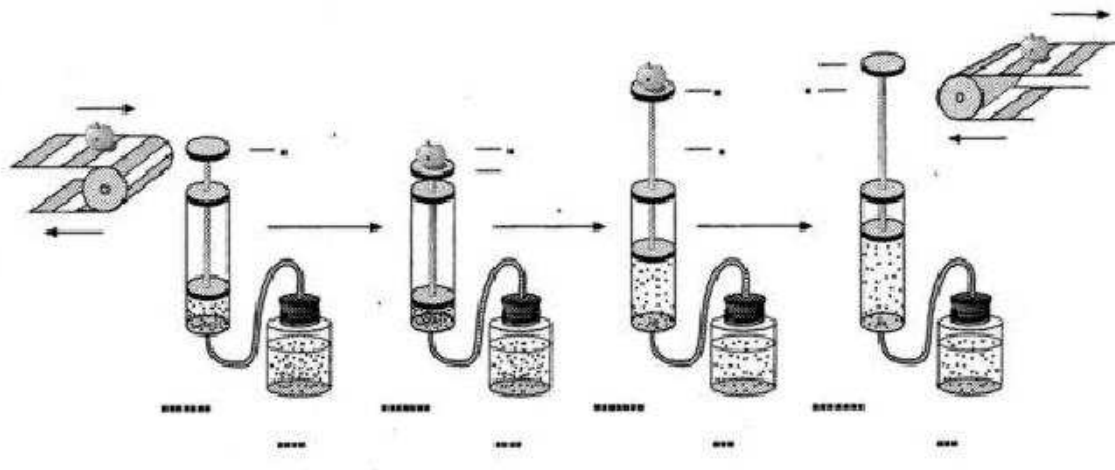
$$W = \int F ds = \int p \cdot S ds = \int p dV$$

Proto obvykle stavy plynu zakreslujeme do p - V *diagramu* a práci odečítáme rovnou jako plochu uzavřenou daným cyklem.

Měření tepelného stroje

„Praktickou“ ukázkou práce tepelného stroje může být zvedání tělesa o známé hmotnosti. Pracovní cyklus pak bude probíhat takto: Na počátku je baňka s plynem potopena ve studené lázni. Protože chceme určit pouze teoretickou práci, kterou koná plyn, stačí nám určovat pouze odchylky tlaku a objemu od počátečních hodnot.

Poté na píst položíme závaží o známé hmotnosti m . Plyn ve stroji zahřejeme přesunutím do horké lázně, plyn pracuje, zdvihá těleso. Těleso sejmeme z pístu a baňku přesuneme zpět do studené lázně.



Obr. 1: Pracovní cyklus tepelného stroje

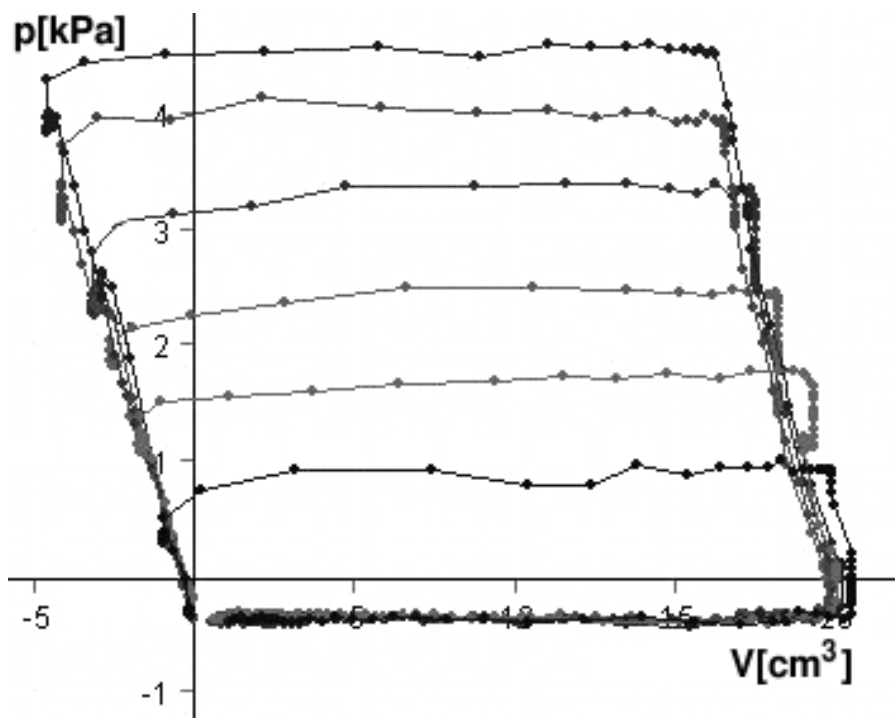
Teoretická práce, kterou měl plyn vykonat je dána obsahem p-V diagramu:

$$W = \oint p \, dV$$

užitná práce je dána rozdílem potenciálních energií závaží tedy:

$$\Delta E = mg\Delta h$$

Diagram jsme naměřili pro šest závaží různých hmotností (od 50 g do 300 g).



Obr. 2: Naměřené p-V diagramy

V následující tabulce je porovnána změna potenciální energie tělesa (tedy užitná práce) a práce spočítána z p-V diagramu. Můžete vidět, že je zde velký rozdíl v těchto hodnotách, které by měly být stejné. Chyba je částečně způsobena třením, malá chyba je také způsobena tím, že použitý plyn byl vzduch a nebyl ideální. Nedokonalost přístroje i měřících přístrojů se také mohla projevit jako systematická chyba.

m [g]	50	100	150	200	250	300
ΔE [mJ]	11,77	22,86	38,55	41,59	49,05	59,74
W [mJ]	25,79	41,36	55,91	75,17	88,94	100,79

3 Peltierův aparát

Dalším příkladem tepelného stroje je *Peltierův aparát*. Je to zařízení na přeměnu tepelné energie v energii elektrickou nebo naopak. Obdobně jako tepelné stroje na bázi plynu pracuje tento aparát se dvěma lázněmi, jednou horkou a jednou studenou.

Horká lázeň je reprezentována materiálem zahříváním elektrickým přístrojem. Studená lázeň je ochlazována proudící ledovou vodou.

Pro účinnost Peltierova aparátu platí:

$$\varepsilon = \frac{W}{Q_h} = \frac{dW/dt}{dQ_h/dt} = \frac{P_w}{P_h}$$

kde P_w je výkon dodávaný strojem a P_h výkon odebraný teplé lázni. Toto vyjádření nám vyhovuje, protože výkon odebraný teplé lázni můžeme spočítat z výkonu zahřívacího zařízení, tedy $P_h = I \cdot U$.

Tato účinnost není tak vysoká, jak bychom očekávali, protože část tepla projde Peltierovou součástkou, aniž by si všimla tohoto procesu. Toto teplo se dá změřit a po odečtení dostáváme efektivitu srovnatelnou s Carnotovým cyklem.

Měření

Následující tabulka udává porovnání účinností Peltierova aparátu a Carnotova cyklu. T_c Je teplota studené lázně, T_h teplota teplé lázně, ε_1 pak účinnost Peltierova aparátu bez započteného „obtékajícího“ tepla a ε_2 se započtením tohoto tepla, účinnost $\varepsilon_{\text{carnot}}$ je účinnost Carnotova cyklu pracujícího mezi teplotami studené a teplé lázně.

T_c [K]	T_h [K]	ε_1	ε_2	$\varepsilon_{\text{carnot}}$
279,85	364,05	0,0273	0,2256	0,2313
280,65	355,15	0,0224	0,1538	0,2098
278,35	333,65	0,0210	0,1604	0,1657
276,85	326,65	0,0177	0,1220	0,1525

4 Shrnutí

V této práci se nám podařilo ověřit, že teplo je částečně možné převést na práci. Sestrojili jsme p-V diagram pro demonstrační tepelný stroj. Práce, kterou tento p-V diagram určoval však byla asi o 50 % větší, než odpovídá skutečné mechanické práci, která byla skutečně vykonaná (tj. změna potenciální energie zvedaného závaží).

Dále jsme se seznámili s Peltierovým aparátem. Po započtení obtékajícího tepla se námi naměřená účinnost blížila účinnosti ideálního Carnotova stroje.

Poděkování

Děkujeme FJFI ČVUT, našemu supervizorovi, Ing. Vladimíru Pospíšilovi, a všem, kteří nám pomohli.

Reference

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