

ZÁKLADNÍ ZÁKONY TERMODYNAMIKY



Co mají společného
vyobrazené systémy?
Dochází v nich
k přeměnám energie,
které se řídí podle týchž
fyzikálních zákonů.

Proč bych měl přečíst následující text a proč bych měl o něm přemýšlet?

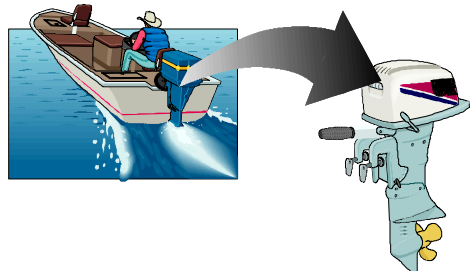
- Protože chci jednou ušetřit
- Protože chci úspěšně dostudovat a k tomu musím znát principy důležitých strojů
- Protože se zabývá základními přírodními zákony, jejichž poznání patří nejen do technického, ale i do všeobecného vzdělání
- Protože žiji ve světě, který začíná chápat, že převažující dosavadní způsoby využívání energetických zdrojů ohrožují Zemi
- Protože chci také potřebuji energii a že využívání energetických zdrojů se týká každého člověka
- Protože si chci udělat vlastní názor na debaty ve sdělovacích prostředcích
- Protože chci porozumět úsilí inženýrů a konstruktérů po zdokonalení strojů

Předpokládané znalosti z fyziky

Stavové veličiny, stavová rovnice ideálního plynu, základní vratné změny stavu, diagram p-v, absolutní práce.

Co je termodynamika?

Termodynamika je vědní obor (část termomechaniky), který se zabývá **energií a jejími vlastnostmi**. Technik ji přijímá především jako vědu o způsobech a podmínkách přeměny tepelné energie v mechanickou (zjednodušeně řečeno „tepla v mechanickou práci“). Tato věda začala vznikat počátkem 19. stol. v souvislosti s rozvojem parních strojů.



Příklad: Spalovací motor přeměňuje tepelnou energii („teplo“) uvolněnou spálením směsi paliva a vzduchu v mechanickou energii. Díky tomu motor koná mechanickou práci - např. pohání dopravní prostředek. Technik, který takový motor navrhuje, sleduje dosažení určitého výkonu při malé hmotnosti, malé spotřebě atd. K tomu využívá také poznatků termodynamiky.

I. zákon termodynamiky

Z fyziky znáte zákon zachování energie. I. zákon termodynamiky jej vyjadřuje větou:

**Teplo a mechanická práce jsou ekvivalentní -
- lze je tedy vzájemně přeměňovat.**

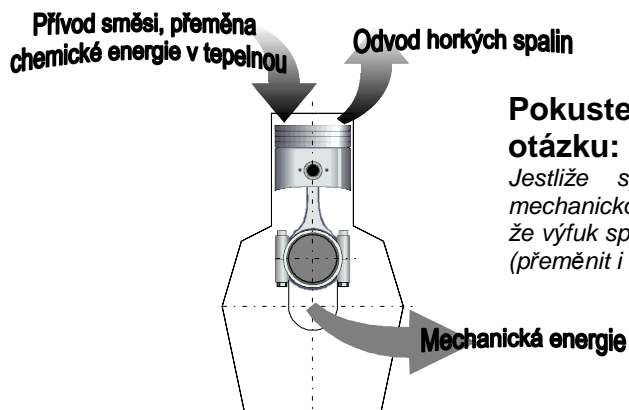
Pokud v textu někdy zaměňujeme pojmy tepelná energie a teplo (podobně práce - energie), je dobré si uvědomit, že jde o vědomou nepřesnost, která však na střední škole nevadí a přispěje k pochopení a představě. Matematicky vyjádříme uvedený zákon takto:

$$Q = A + \Delta U$$

znaménka: přivedené teplo +, odvedené teplo -, vykonaná práce +, spotřebovaná práce -

(Část přivedeného tepla se využije k vykonání absolutní - objemové - práce a část způsobí změnu vnitřní energie).

Takto zapsaný zákon platí pro **jednorázovou změnu**. Technika však zajímá **trvale pracující stroj**, např. tepelný motor, v němž se sled stavových změn opakuje. Říkáme, že stroj pracuje **periodicky - v cyklu**.

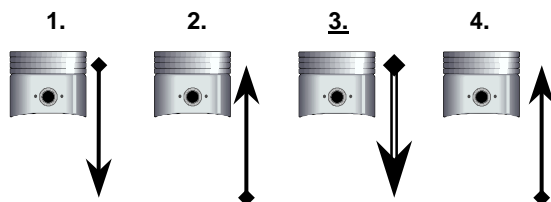


Pokuste se již nyní odpovědět na následující otázku:

Jestliže spalovací motor přeměňuje tepelnou energii v mechanickou energii klikového hřídele („teplo v práci“), je zřejmé, že výfuk spalin představuje ztrátu tepla. Bylo by možné jí zabránit (přeměnit i toto teplo v práci)?

Tepelný oběh - cyklus představuje několik po sobě jdoucích změn stavu, během nichž se pracovní látka dostane **jinou cestou do původního stavu** (p , v , T atd.). Jak je možné, že toto vysvětlení uvádíme u spalovacího motoru, z něhož pracovní látka odchází? Je to možné, protože návrat pracovní látky do původního stavu uskutečníme tím, že do motoru přivádíme stále novou pracovní látku se **stejnými počátečními parametry**.

Skutečný motor, například čtyřdobý zážehový, musí kromě **konání práce** (pohon daného zařízení) také část této práce **spotřebovávat** (vracet do oběhu) - za účelem sání, komprese nasáté směsi a výfuku spalin (využívá se k tomu setrvačnosti mechanismu). Podobně teplo do stroje **přichází**, ale také ze stroje **odchází**:



Podle pohybu pístu ve válci:

1. doba: sání směsi
2. doba: komprese směsi (využití setrvačnosti mechanismu), zážeh
3. doba: expanze spalin (jediný zdvih, při němž motor koná užitečnou práci)
4. doba: výfuk spalin

Jestliže se pracovní látka vrací při oběhu do původního stavu, pak musí platit $p_{počáteční} = p_{konečný}$ atd., tedy také pro vnitřní energii $U_{počáteční} = U_{konečná}$ a $\Delta U = 0$. První zákon termodynamiky přejde pro cyklus ve tvar:

$$Q_{cyklu} = A_{cyklu}$$

Q_{cyklu} je algebraický součet tepel přivedených a odvedených, A_{cyklu} je algebraický součet prací vykonaných a spotřebovaných.

$$Q_{přiv.} - Q_{odv.} = A_{vykon.} - A_{spotř.}$$

Výsledkem algebraického součtu absolutních prací na pravé straně je tzv. **technická práce cyklu**, tedy práce, kterou motor **trvale** (periodicky) odevzdává. První zákon termodynamiky pak píšeme ve tvaru:

$$Q_p = A_t + Q_o$$

Pouze část přivedeného tepla se využije ke konání užitečné práce, zbylá část se odvede jako teplo odpadní.

Pokud se vám nepodařilo odpovědět na dříve položenou otázku, zkuste to nyní znovu: Bylo by možné přeměnit i odpadní teplo Q_o v práci, tedy ke stavu $Q_p = A_t$? Jinými slovy: co by se stalo, kdybychom nepřipustili žádný odvod odpadního tepla?

Nedojdete-li ani teď k odpovědi, nevěšete hlavu — i vědět to trvalo pěkně dlouho. K odpovědi dospějeme za chvíli.

II. zákon termodynamiky

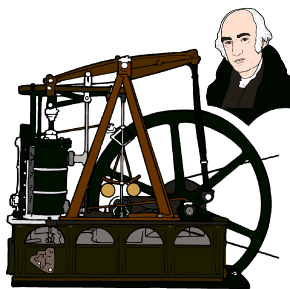
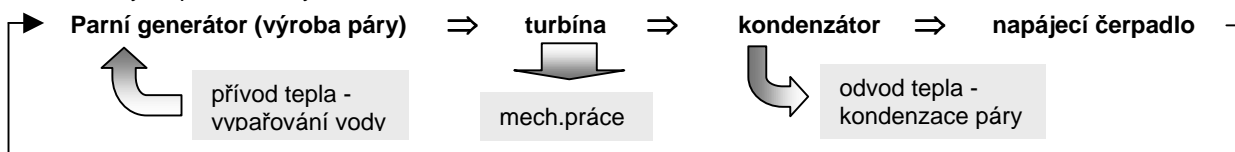
Tepelný oběh

Již jsme uvedli, že trvalý chod tepelného motoru je možný tehdy, realizujeme-li tepelný oběh (cyklus).

Tepelný oběh (cyklus) je sled změn stavu pracovní látky, během něhož se pracovní látka vrátí jinou cestou do původního stavu.

Cyklus je uzavřený, jestliže se opakuje se stejným množstvím téže látky (parní turbína s kondenzací). Cyklus je otevřený, jestliže přivádíme při každém cyklu novou látku o stejném počátečním stavu (spalovací motory). Skutečné cykly porovnáváme s ideálními (porovnávacími), které jsou složeny ze základních vratných změn a lze na nich jednoduše provádět základní výpočty.

Příklad cyklu parní turbíny s kondenzací:



Za jakých podmínek je to možné uskutečnit - kdy mohou pracovat tepelné motory?

Na následující otázku odpoví snad každý: *Jak se liší dvě tělesa, která vzájemně sdílejí teplo?* A následují otázky další - odpovědi jsou zdánlivě samozřejmé: *Ze kterého tělesa přechází teplo na to druhé? Mohlo by „cestovat“ i obráceně?*

Tělesa se liší teplotou. Teplo přechází z teplejšího tělesa na chladnější. Obráceně přecházet sice může (chladičnicka), ale nikdy samovolně.

V první čtvrtině 19. století dospěl mladý francouzský vojenský inženýr **Nicolas L. S. Carnot** (1796 — 1832) k závěru, že teplo může např. v parním stroji konat práci jen tehdy, jestliže má snahu samovolně přecházet, což lze jedině z tělesa teplejšího na chladnější. Nestačí tedy mít jen těleso nebo obecně látku o určité teplotě, musí být k dispozici druhé těleso o vhodné nižší teplotě. Čím větší je rozdíl teplot obou těles, tím lépe. Carnot vyšel ze zdánlivé podobnosti mezi teplem a vodou tekoucí z vyšší polohy do nižší. Tento vědec patří k zakladatelům termodynamiky.

Odpověď na otázku ze str. 2:

Pokud bychom znemožnili odvod odpadního tepla ze stroje, stroj by se přehřál. Odpadní teplo nevyužijeme pro užitečnou práci, protože jej nese látka s příliš nízkou teplotou. Z tohoto důvodu nelze využít např. velké množství tepla v okolním vzduchu, které je uchováno při nízké teplotě a není k dispozici vhodná nižší teplota. Něco jiného jsou ale např. vrstvy vody v moři, které mají odlišnou teplotu na povrchu a v hloubce - tohoto teplotního spádu již využít lze.

Z uvedeného plyne, že tepelný motor nemůže mít účinnost 100 %, ani kdyby pracoval bez tření. To je hlavní nedostatek strojů s tepelným oběhem.

Pokud jste podobně odpověděli na otázku již dříve, blahopřejeme. V podstatě jste totiž dokázali vyslovit **II. zákon termodynamiky!** II. zákon termodynamiky lze formulovat několika způsoby (uvedeme 2), které spolu vzájemně souvisejí:

- **Teplo samovolně nemůže přecházet z tělesa chladnějšího na teplejší**
- **Není možné sestavit periodicky pracující stroj, který by nezpůsoboval žádných jiných změn, než že by konal práci na základě odnímání stálého množství tepla zdroji o stálé teplotě.**

Pokuste se nyní o správné doplnění (nabídneme 3 možnosti):



Situace, kdy by teplo samovolně přecházelo z chladnějšího tělesa na teplejší, je v rozporu:

- a/ s prvním zákonem termodynamiky
- b/ s druhým zákonem termodynamiky
- c/ s oběma termodynamickými zákony

Správná odpověď je b/. První zákon termodynamiky říká pouze, že energie lze přeměňovat - neurčuje směr toku energie. Musí být doplněn II. zákonem.

Zvláštní vlastnosti tepelné energie (tepla)

Z předchozího textu plyne:

- Teplo samovolně přechází pouze jedním směrem, dokud se nevyrovnají teploty obou těles. Domyslíme-li tento fakt, zjistíme, že i ostatní druhy energie se chovají podobně: voda samovolně teče pouze „shora dolů“, stlačená pružina se samovolně uvolní, ale už se sama znovu nestlačí (musíme vynaložit práci), plyn vypuštěný z tlakové láhve se rovnoměrně rozptýlí, ale už se samovolně nevrátí atd. Obecně řečeno:

Samovolné přeměny energie v přírodě mají určitý „směr“, který je stále stejný a směřuje k rovnovážnému stavu. Zákony, které vysvětluje termodynamika, mají obecnější platnost.

- Žádný takový děj nemůže proběhnout za stejných podmínek opačným směrem - všechny skutečné děje jsou nevratné.
- Využitelnost (tedy jakási kvalita) tepla závisí na teplotě pracovní látky. Ani velké množství tepla nelze využít pro konání práce, je-li uchovááno v látce s nízkou teplotou.

Entropie

Vědec nebo technik potřebuje veličinu, která mu umožní výše uvedené vlastnosti tepla popsat matematicky. Touto veličinou je **entropie**.

Entropie patří mezi odvozené stavové veličiny, značíme ji S a její jednotkou je $J \cdot K^{-1}$. Měrná entropie (1 kg látky) je označena s a má jednotku $J \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1}$.

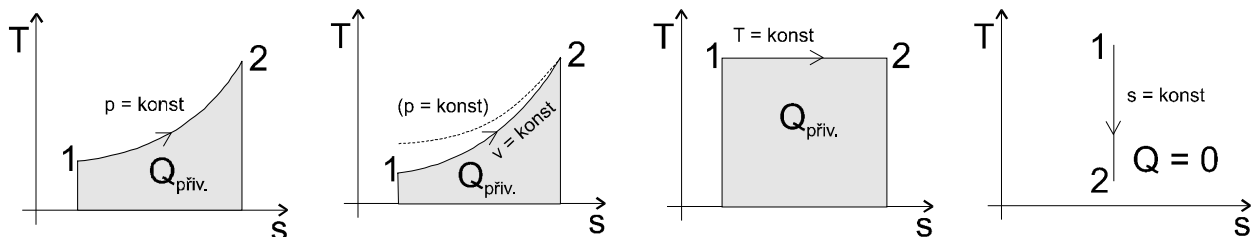
Přivádíme-li neizolované látce z vnější soustavy teplo, její entropie roste, odvádíme-li teplo, klesá.

Změna entropie tedy může vyjádřit směr přenosu energie.

Entropii zavedl ve druhé polovině 19. století německý fyzik **Rudolf Clausius** (1822 — 1888). Nám technikům poslouží k názornému vyjádření přivedeného a odvedeného tepla graficky. To využijeme u rozboru tepelných oběhů důležitých strojů.

Diagram T—s (tepelný diagram)

Víte už, že plocha pod křivkou změny v p—v diagramu odpovídá získané nebo vynaložené práci. Ukážeme základní stavové změny v T—s diagramu, v němž plocha mezi křivkou a osou x odpovídá přivedenému nebo odvedenému teplu:



Změna izobarická
- příklad expanze

Změna izochorická
- příklad expanze

Změna izotermická
- příklad expanze

Změna vratná
adiabatická -
- izoentropická
- příklad expanze