

ZÁKLADNÍ ZÁKONY TERMODYNAMIKY

„... — Tak řízením osudu všechno
v horší se zvrhá a upadá, v poklesu nazpět se řítí,
nejinak, než když muž svým veslem pohání člunek
naproti návalu vln, však jakmile ochabnou ruce,
rázem střemhlav dolů jej proudem strhuje řeka.“
(Vergilius)

Úvod

Podnětem k následující stati byl výklad základních problémů termodynamiky v některých našich učebnicích, jehož způsob zdá se mi poněkud nešťastným. Budí dojem, že zejména první a druhý zákon termodynamiky je cosi těžko pochopitelného a odtažitého, co se špatně učí a co se musí žák „naučit“ a přitom se spokojit s obtížnou představitelností. Jedná se však o základní přírodní principy, termodynamika je rámcovou teorií, má blízko k filosofii a k tzv. „teorii všeho“, týká se dějů ve strojích, v přírodě i v nás. Nikoli náhodou jako první formuloval obecný zákon zachování energie lékař Julius Robert von Mayer (1842) při zkoumání metabolismu v lidském těle. Úskalí této problematiky je v tom, že člověk musí *chtít* pochopit. Jinak vše skončí v lepším případě jen oním „naučením“. Jednou z příčin určitých obtíží je právě imponující mnohotvárnost fenoménu energie. Následující řádky v žádném případě nejsou učebním textem. Jsou spíše materiálem, který by rád nikoli poučil, ale inspiroval vyučující. Domnívám se, že účelem této kapitoly by mělo být především to, aby středoškolák pochopil podstatu, výpočty jsou spíše vysokoškolskou záležitostí. Je tu prostor pro výklad, analogii, problémy. Proto také tato stať zabírá více místa, než by se jí mohlo v běžné učebnici dostat. Část textu je převedena do poznámek pod čarou, při prvním čtení není bezpodmínečně nutné je „louskat“.

Co je termodynamika?

V našich (tzn. „průmyslováckých“) učebnicích bývá termodynamika definována takto:

Termodynamika je část termomechaniky, která se zabývá způsoby a podmínkami přeměny tepla v mechanickou práci.

Je to výhodně jednoduchá a snadno pochopitelná nepřesnost, která pro naše účely plně postačuje. Je však dobré si uvědomit, že se tato definice staví k pojmům teplo a práce jako k druhům energie. Ve skutečnosti je pojem **energie** spojen se **stavem**, kdežto pojmy **teplo a práce** se vztahují k **dějům**. **Předávání energie** je z hlediska termodynamiky možné dvěma způsoby: **vykonáním práce** (stručně řečeno např. „stlačím plyn pístem“) a **tepelnou výměnou** („plyn ohřeju“). Mohli bychom tedy upřesnit, že termodynamika je nauka o podmínkách vzájemných přeměn tepelné a mechanické energie? Samozřejmě mohli - jenže... Tepelná energie vlastně neexistuje! Moderní fyzika tento pojem nezná. Pracuje s pojmem energie vnitřní. Tepelná energie je však pojem natolik vžitý a názorný, že má své místo i v terminologii. Můžeme ji chápat jako **tu část vnitřní energie, která je spojena se změnou teploty**. Přestože je vidět, že o uvedených definicích a pojmech by se dalo dlouze diskutovat (připomínají historickou dobu, kdy se o teple uvažovalo jako o hmotné substanci, která „teče“ z teplejších těles na chladnější), běžně se užívají, protože jsou snadno představitelné.

Termodynamika jako nauka o podmínkách vzájemných přeměn tepelné a mechanické energie se skutečně utvářela v neobyčejně zajímavém procesu. V souvislosti s vývojem parních strojů na přelomu 18. a 19. století se v honbě za vyššími výkony a menší spotřebou uhlí a vody začali učenci zajímat také o teoretickou podstatu dějů probíhajících v parních strojích. Jak řekl kdosi chytrý: „*Parní stroj dal vědě víc, než věda parnímu stroji*“. Základy termodynamiky položil na počátku 19. století mladý francouzský fyzik Nicolas Leonard Sadi Carnot. Zemřel mlád (36 let) v roce 1832 a jeho závěry na dlouhou dobu zapadly. Mezitím je formulovali jiní, to však Carnotovi nic neubírá na velikosti.

V 18. století byl znám v podstatě **zákon zachování mechanické energie** (viz např. Bernoulliho rovnice), ovšem představa veličiny, charakterizující makroskopický pohyb hmoty („míra pohybu“), byla spíše ztotožňována se silou¹. V průběhu 19. století se vžil pojem energie, byl

¹ Newton chtěl „míru pohybu“ postihnout součinem hmotnosti a rychlosti - hybností, Leibniz součinem hmotnosti a čtvorce rychlosti - z dnešního hlediska dvojnásobkem kinetické energie. Leibniz také hovořil o „zachování síly“.

vysloven obecný zákon zachování energie a byl formulován I. zákon termodynamiky, objevil se II. zákon termodynamiky a pojem entropie. Je možno říci, že chápání energie definitivně přešlo z „intuitivního stadia“ do „exaktního“. Bylo konstatováno, že odvěký sen člověka, perpetuum mobile, odporuje zjištěným zákonům, ale také, že vyslovené **termodynamické zákony mají širší platnost** — vztahují se vlastně na všechny přeměny energie. Dnes je termodynamika chápána širěji²:

Termodynamika je věda o energii a entropii.

Podívejme se nyní na výše naznačené pojmy.

I. zákon termodynamiky (I. hlavní termodynamická věta)

I. zákon termodynamiky je v podstatě vyjádřením zákona zachování energie; neříká nic více a nic méně, než že energii lze přeměňovat³.

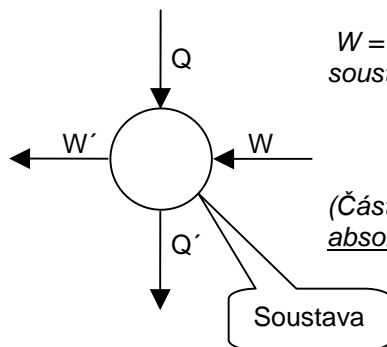
Clausius: teplo a mechanická práce jsou rovnomocné - ekvivalentní

Pomyslný stroj, který energii produkuje z ničeho, se nazývá **perpetuum mobile prvního druhu**.

Teoretická fyzika a **technická termodynamika** se k matematické formulaci I. termodynamického zákona staví každá trochu jinak. Z hlediska fyziky je zákon formulován takto:

$$\Delta U = W + Q$$

Tedy: vykonáme-li **nad soustavou** práci W a **přivedeme-li** teplo Q , zvýší se **vnitřní energie soustavy** o ΔU . Práci však může konat **sama soustava** a také může **předávat** teplo. Tyto hodnoty jsou značeny čárkou (W' , Q').



$W = -W'$, $Q = -Q'$. Hodnoty s čárkou jsou považovány za kladné, jestliže soustava práci koná a teplo předává. Pro tepelný motor pak platí :

$$Q = W' + \Delta U$$

(Část tepla zvětší vnitřní energii, část se využije k vykonání jednorázové absolutní práce)

Při výkladu problematiky žákům bychom si však měli uvědomit, že se technická termodynamika vyjadřuje formálně odlišně:

$$Q = A + \Delta U \quad , \quad \text{přesněji} \quad dQ = dU + dA$$

Práci značí pouze A a považuje ji za **kladnou**, pokud soustava práci **koná**, a za **zápornou**, pokud práci **spotřebovává**. Teplo Q je **kladné**, pokud je **přiváděno**, **záporné**, pokud jej soustava **vydává**. Pokud zde nacházíte formální rozpor mezi teoretickou fyzikou a technickou termodynamikou, máte pravdu, ale toto pojetí je pro technickou problematiku praktičtější, než ono ryze teoretické. Ale nedejbože, aby si žák náhodou pamatoval, čemu ho kdy učili!

Pro techniku má význam **periodicky (v cyklu) pracující stroj**. Pracovní látka se musí dostat **do původního stavu** (cyklus uzavřený), nebo musí být přiváděna látka **s konstantními počátečními parametry** (cyklus otevřený). Tedy $U_{\text{konečná}} = U_{\text{počáteční}}$. V tom případě musíme část tepla trvale odvádět. Kdybychom teplo neodváděli, buď by se muselo všechno využít pro konání práce (což nelze), nebo by stroj nemohl pracovat v cyklu a brzy by se přehřál (růstem vnitřní energie, $U_{\text{konečná}} > U_{\text{počáteční}}$).

Pro cyklus platí

$$\oint dQ = \oint dU + \oint dA$$

Má-li se látka vrátit do původního stavu, tedy $U_1 = U_2$, pak $\oint dU = 0$.

² Už v Ottově slovníku naučném je „thermodynamika“ definována jako „nauka o energii a jejích vlastnostech“!

³ Prvotním impulsem pro jeho formulování byla kinetická teorie tepla.

$$\oint dQ = \oint dA$$

$$Q_1 - Q_2 = A_1 - A_2$$

Ve druhém vztahu je Q_1 přivedeným teplem (Q_p), Q_2 odvedeným teplem (Q_o) a práce $A_1 - A_2 = A_t$, tedy

absolutní práce získaná - absolutní práce vrácená do cyklu (tedy „algebraický“ součet prací absolutních) = technické práci cyklu

$$Q_p = A_t + Q_o$$

Stručně řečeno: pouze část přivedeného tepla se může využít ke konání práce, zbylá část se musí odvést jako teplo odpadní.

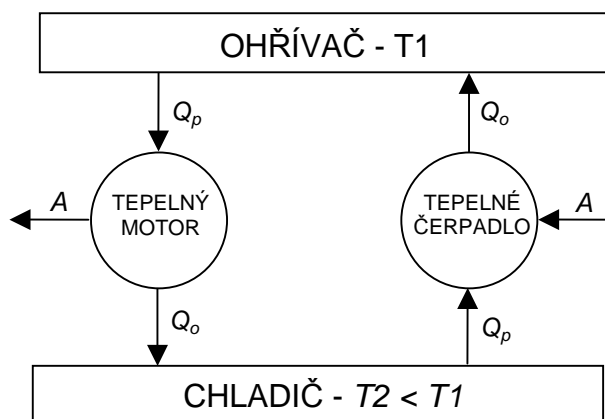
Mírou teoretického využití přivedené energie je **tepelná účinnost**:

$$\eta = \frac{Q_p - Q_o}{Q_p}$$

Ideální situace, kdy $Q_p = A$, a tedy účinnost je rovna 1, odporuje naší zkušenosti, nikoli však I. zákonu termodynamiky.

II. zákon termodynamiky (II. hlavní termodynamická věta)

Co vlastně Carnot objevil? Carnot došel k závěrům, které nám dnes připadají samozřejmé: pro využití tepla ke konání práce je nutný **rozdíl teplot**. Přesněji řečeno dvě různě teplé lázně - ohřívač a chladič. Carnot využil **analogie mezi vodním a tepelným strojem**:



Carnot vyslovil závěr, že k využití tepla pro konání užitečné práce je potřebný rozdíl teplot, protože teplo má snahu samovolně přecházet pouze z teploty vyšší na teplotu nižší, podobně jako voda teče samovolně pouze „shora dolů“, přičemž může konat práci. Přestože Carnot zastával

ještě fluidovou teorii tepla (tedy že teplo je hmotná substance), tato analogie už naznačuje chápání energie jako mnohotvárného jevu vyskytujícího se v různých podobách⁴.

Maximální možná tepelná účinnost

Při hledání ideálního tepelného stroje Carnot k závěru, že v motoru se nejlépe využije teplo, které je přiváděno a odváděno za konstantní teploty. Teoretický cyklus stroje pracujícího beze ztrát třením složený ze dvou vratných izoterm a dvou vratných adiabat je dnes nazýván Carnotovým cyklem a jeho tepelná účinnost je největší možnou tepelnou účinností ze všech cyklů realizovaných mezi určitými dvěma teplotami⁵.

Přirozený a nepřirozený děj

Jev, kdy teplo samovolně přechází z tělesa chladnějšího na teplejší, není v rozporu se zákonem zachování energie, je však v rozporu s našimi zkušenostmi. Zákon zachování energie, a tedy I. zákon termodynamiky, je zákonem **kvantitativním**, pojednává pouze o množství energie a **připouští i průběh tzv. nepřirozených dějů**. Takovým nepřirozeným dějem by byl např. samovolný přechod tepla z chladnějšího tělesa na teplejší (důležité je slůvko „samovolný“, všichni víme, jak funguje chladnička a tepelné čerpadlo), samovolné uspořádání molekul plynu v určitém prostoru do jedné jeho části, samovolné oddělení dvou smíšených plynů, samovolná doprava střepů z hrnku rozbitého pádem zpět na stůl a složení v původní tvar, ale také trvalý chod stroje „pohánějícího sebe sama“, u něhož by muselo docházet k zpětné samovolné přeměně ztrátového tepla (tření, stejně jako míšení plynů, je typický nevratný děj) na využitelnou energii (příklady: elektromotor pohánějící dynamo, které trvale produkuje elektrický proud pro tentýž motor, dva spřažené a vzájemně se natahující hodinové stroje, vratně expandující a komprimovaný plyn ve válci atd. atd.). Uvedené děje lze uskutečnit pouze kompenzací „zvenku“. **Je vidět, že první zákon termodynamiky potřebuje „doplnit“.**

Příroda má ráda chaos, aneb II. zákon termodynamiky

Co mají společného rozbitý hrnek, plyn volně rozptýlený v prostoru a náš pomyslný stroj? Příroda projevuje skutečnými (přirozenými) ději svoji snahu dospět k menší uspořádanosti, k **rovnovážnému stavu**. Z hlediska statistické termodynamiky je takový méně uspořádaný stav **více pravděpodobný**, než stav uspořádaný. Plyn vypuštěný z láhve má snahu volně se **nevratně** rozptýlit, místo aby se jeho molekuly uspořádaly zpět do nádoby, střepy představují méně uspořádaný stav (samovolně nevratný) než celistvý hrnek atd. U dvou různě teplých těles má příroda snahu sdílením tepla teploty vyrovnat a tím dospět ke stavu méně uspořádanému. V izolované soustavě se skutečně teploty vyrovnají, tak vznikla i Clausiova teorie o tzv. tepelné smrti vesmíru (předpokládající, že vesmír je izolovaná soustava)⁶.

Nejobecnější formulací II. zákona termodynamiky je věta:

Samovolné děje v přírodě směřují k méně uspořádaným stavům

(V tom případě vlastně vyjádřil II. zákon termodynamiky už velký římský básník). Z toho plynou i dvě nejpůvodnější formulace:

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

Z uvedeného vyplývá nemožnost využití odpadního (a tím pádem veškerého) tepla o nízké teplotě pro konání práce, a tedy nedosažitelnost 100 % tepelné účinnosti, protože není k dispozici vhodná chladnější lázeň (a tedy spád), k níž by se teplo radostně rozběhlo konajíc užitečnou práci.

⁴ Symbolickým završením tohoto procesu bylo v roce 1956 zavedení společné jednotky pro měření energie, tepla, práce - Joule podle jednoho z autorů obecného zákona zachování energie. Dosud užívaná konstanta mechanický ekvivalent tepla ztratila svůj význam. Jednotka práce joule však byla definována podstatně dříve (jako 10^7 erg nebo 1/9,81 kgm)!

⁵ Snaha přiblížit se Carnotovu cyklu přivedla např. Rudolfa Diesela k vynálezu motoru, který představoval zlepšení tepelné účinnosti (příklad vynálezu vycházejícího z teoretického bádání, nikoli pouze z pokusů).

⁶ Termodynamický systém **uzavřený** je takový, přes jehož hranici může přejít tepelná a mechanická energie, ne však látka. Přes hranici **izolovaného** systému nepřechází ani tepelná a mech. energie, ani látka. Některé učebnice fyziky ovšem tuto terminologii nedodržují. Izolovaný systém je pouze pomocnou teoretickou konstrukcí.

Z tohoto hlediska není tedy teplo jako teplo, má různou kvalitu a podle toho, při jaké teplotě je uchováváno, se dělí na **vysokopotenciální a nízkopotenciální**.

Při přeměnách energie se vždycky část energie nevratně „rozptyluje“ (jako teplo, vzniklé třením, nebo třeba el. odporem) **stále stejným směrem k pravděpodobnějšímu stavu**, ať energie míří z onoho pomyslného elektromotoru k dynamu, nebo obráceně. Námí uvedený stroj, který vratně přeměňuje energii, popř. trvale odnímá teplo a beze zbytku je mění v užitečnou práci, by byl **perpetuum mobile druhého druhu**⁷.

Entropie (z řec. *éntrépein* = obracet)

Pro termodynamické výpočty potřebujeme matematicky popsat to, co bylo výše vysvětleno, tedy:

- **degradaci tepla** (jeho znehodnocení při poklesu z vyšší teploty na nižší)
- **termodynamickou pravděpodobnost stavu** (při nevratném ději vzrůstá pravděpodobnost stavu, při vratném by se neměnila)
- **míru nevratnosti děje** (každou další přeměnou energie roste stupeň nevratnosti celkové změny)

Rudolf Clausius, jeden z velkých Carnotových následovníků, vyřešil ve 2. pol. 19. století tento problém zavedením veličiny **entropie**.

Při samovolných dějích entropie izolované soustavy nemůže klesat (protože nemůže klesat stupeň degradace tepla, pravděpodobnost a nevratitelnost stavu).

Jak krásně říkal náš učitel fyziky na technice (L.P. 1980): „*I řekl Bůh, když tvořil svět: Budiž entropie maximální!*“

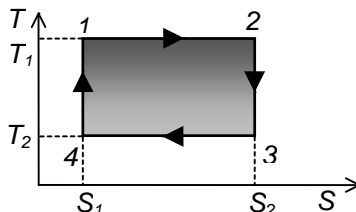
Změnu entropie izolované soustavy lze matematicky vyjádřit jako množství sděleného tepla připadajícího na jeden teplotní stupeň:

$$\Delta S \geq \frac{Q_p}{T} \text{ (J.K}^{-1}\text{)}$$

(Uvádím zjednodušený tvar obvyklý ve středoškolských učebnicích). Entropie **izolované soustavy** může pouze růst (nevratné děje), nebo zůstat beze změny (vratné děje). Dosáhne-li entropie v izolované soustavě maximální hodnoty, je soustava ve vnitřní rovnováze. Přivádíme-li látce jako **neizolovanému tělesu** teplo, entropie roste, při odvádění tepla klesá.

Co s entropií na průmyslovce?

Pro technika je důležité (kromě toho, že udává směr přeměn energie v přírodě), že entropie mu umožní snadno názorně **graficky vyjádřit množství přivedeného a odvedeného tepla**. Carnotův oběh:



Z diagramu T - S (nebo T - s) vyplývá, že teplo přiváděné za konstantní teploty je skutečně největší (čára 1-2 už nemůže být „rovnější“) a teplo izotermicky odváděné nejmenší⁸. Rovněž

⁷ Druhý zákon termodynamiky tedy upřesňuje příliš obecný zákon zachování energie a určuje **směr samovolného toku energie** v nám známé přírodě tak, že termodynamická soustava samovolně nabývá méně uspořádaného, „chaotičtějšího“, nevratnějšího stavu. Svět zkrátka spěje k chaosu a my musíme vynakládat práci (tedy podle výše uvedeného „kompenzovat zvenčí“), abychom udrželi pořádek a řád. V technice to chápeme. V životě někdy ne a ne...

⁸ Všimněme si samotných adiabatických změn: během adiabatické změny nedochází k tepelné výměně s okolím, pro **vratnou** změnu platí $Q = 0$, $\Delta S = 0$, jde o změnu izoentropickou. Při **nevratné** adiabatické změně - např. při expanzi 2-3 - není také teplo přiváděno z okolí, ale vnitřním třením plynu vzniká nevratné teplo, díky kterému entropie vzroste.

plocha uvnitř cyklu, která je úměrná teoreticky využitelné energii, roste se zvětšujícím se rozdílem obou teplot. Účinnost Carnotova cyklu⁹ daná vztahem (Thomson)

$$\eta = \frac{Q_p - Q_o}{Q_p} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

je největší teoretickou tepelnou účinností tepelného motoru pracujícího mezi teplotami T_1 a T_2 . Účinnost Carnotova cyklu závisí pouze na teplotách (nikoli na látce nebo na konstrukci stroje). Aby se zvětšila tepelná účinnost, přivádí se teplo za teploty v daném případě co možná nejvyšší. Přesto jsou stroje pracující na principu tepelného oběhu schopny využít jen menší část přivedeného tepla ke konání užitečné práce (a jsou hledány možnosti tzv. přímých přeměn - bez tepelného oběhu). Za jakých podmínek by účinnost tepelného stroje pracujícího beze ztrát byla rovna 1? Buď by vstupní teplota musela růst do nekonečna, což není evidentně možné, nebo by musela výstupní teplota klesnout na absolutní nulu.

III. zákon termodynamiky

Hlásá *nedosažitelnost absolutní nuly*, a tím znemožňuje tepelnému stroji (i bezztrátovému) dosáhnout účinnosti rovné 1. (Walter H. Nernst, M. Planck).

Planck: Čistou pevnou látku nelze konečným pochodem ochladit na nulovou Kelvinovu teplotu

Opět citát kohosi vtipného, kdo formuloval tři termodynamické zákony poněkud deprimující formou:

„Není možné zvítězit, je možné pouze dosáhnout nerozhodného výsledku. Nerozhodného výsledku lze dosáhnout jedině za předpokladu absolutní nuly. Není možné dosáhnout absolutní nuly.“

Omezená hustota toku energie

Tři hlavní termodynamické zákony jsou dostatečně známé a respektované, při **hledání vhodných zdrojů energie** a zařízení pro jejich přeměnu se však někdy zapomíná na zákon omezení hustoty toku energie. K čemu je tato vznešená formulace dobrá?

$$\vec{S} = w \cdot \vec{v}$$

\vec{S} hustota toku energie ($W \cdot m^{-2}$)
 w objemová hustota energie ($J \cdot m^{-3}$)
 \vec{v} rychlost přenosu energie ($m \cdot s^{-1}$)

Z rovnice je zřejmé, že veličiny určují povahu energetického zdroje a jeho vhodnost. Nerostou do nekonečna, jsou limitované. Objemová hustota energie je největší u jaderného paliva, menší u fosilních paliv a ještě menší u vody a větru. Tak je tomu i s rychlostí přenosu (srovnejme rychlost páry v turbíně s rychlostí větru). Čím jsou tyto hodnoty menší, tím je zařízení pro daný výkon větší. Porovnejme např. spalovací motor o výkonu 300 kW a větrnou elektrárnu téhož výkonu. V našich podmínkách se průmysl, který potřebuje vysokou hustotu toku energie a trvalou spolehlivou dodávku, zatím neobejde bez jaderných a uhelných elektráren. Tzv. alternativním obnovitelným zdrojům energie by však měla patřit naše velká pozornost zejména v tzv. „lokální

⁹ Ještě zpět k entropii: Z formulace účinnosti Carnotova cyklu plyne $Q_o/Q_p = T_2/T_1$. Jestliže označíme přivedené teplo + a odvedené -, obdržíme vztah $Q_p/T_1 + Q_o/T_2 = 0$ (při vratném Carnotově cyklu je součet izotermicky sdělených tepel dělených příslušnými absolutními teplotami - tedy redukovaných tepel - roven 0. Teplota lázni je stejná jako teplota pracovní látky). Obecně platí (libovolný vratný cyklus můžeme rozložit na řadu elementárních Carnotových cyklů - vzpomeňme, že nezáleží na konstrukci stroje atd...):

$$\oint dQ / T = 0$$

Výraz $dQ/T = dS = S_2 - S_1$ (matematická formulace II. zákona termodynamiky), při nevratném cyklu je vzrůst entropie vždy větší, platí $dQ/T < dS$, teplota lázni a teplota pracovní látky se liší.

energetice“, kde by se měly stát významným doplňkovým zdrojem šetřícím životní prostředí a podporujícím např. vytápění a dodávku teplé užitkové vody¹⁰.

Závěr — co si má počít žák?

Jedna věc je popsat několik stránek textu, druhá přenést uvedený obsah na žáky v omezeném čase. Podle mého názoru by náš lepší student měl mít asi následující představu:

- I. zákon termodynamiky ve své obecnosti připouští i nepřirozené děje
- II. zákon termodynamiky určuje směr samovolného přenosu energie (popírá vratnost dějů)
- veličinou, jejíž změna vyjadřuje směr přenosu energie, je entropie
- entropie umožňuje vyjádřit přivedené nebo odvedené teplo graficky (názorné, praktické)
- ani bezztrátový tepelný stroj nemůže dosáhnout 100 % účinnosti vzhledem k nedosažitelnosti abs. nuly a že skutečná účinnost strojů na principu tepelného oběhu je poměrně nízká
- jedním z důležitých kritérií pro posouzení vhodnosti energetického zdroje je dosažitelná hustota toku energie.

Literatura

Velmi dobře je tato problematika zpracována např. ve skriptech Heřmanský, B., Štoll, I.: Energie pro 21. století, ČVUT Praha, 1992. Za povšimnutí stojí některé informační materiály ČEZ, a.s., z programu Energie pro každého a zcela nedoceněnou ve středoškolském měřítku se mi zdá klasická vysokoškolská učebnice autorů Sýkory a Kalčíka Technická termomechanika, jejíž výklad je na rozdíl od některých středoškolských učebnic kupodivu názorný a srozumitelný, diferenciální rovnice nejsou na překážku. Především podle ní jsem tuto pomůcku korigoval.

Rejstřík osobností zmiňovaných v textu

Bernoulli [bernui], Danielle (1700 — 1782), příslušník významné švýcarské vědecké rodiny Bernoulliů, matematik a lékař. Studoval mj. teorii pravděpodobnosti. Užíval diferenciálního počtu. Zakladatel moderní hydrodynamiky (Bernoulliho rovnice).

Carnot [karno], Nicolas Léonard Sadi (1796 — 1832), druhý syn Lazara Nicolase Marguerita C., franc. státník, vojenského inženýra a matematika. Sám vystudoval polytechniku a r. 1813 vstoupil do armády. Vojenský inženýr, patří k zakladatelům termodynamiky. Vysvětlil, že teplem se může konat práce pouze tehdy, přechází-li teplo z tělesa teplejšího na chladnější, a množství vykonané práce závisí na rozdílu teplot obou těles (tzv. Carnotův princip). Zavedl pojem kruhového děje a mechanického ekvivalentu tepla (v pracích vydaných až roku 1878 jeho bratrem Lazarem Hippolytem).

Clausius [klauzius], Rudolf Julius Emanuel (1822 — 1888), německý fyzik, působil jako profesor mj. v Curychu, Würzburgu a Bonnu. Vycházel z myšlenek Carnotových, Jouleových a dalších, v r. 1850 formuloval větu o ekvivalenci tepla a mech. práce — I. zákon termodynamiky a přijal Carnotův princip jako základ II. zákona. Zavedl pojem entropie (1865).

Diesel [dýzl], Rudolf (1858 — 1913), německý technik a vynálezce. Již za studií na mnichovské technické univerzitě se zabýval myšlenkou tepelného motoru s izotermickým přívodem tepla (Carnotův oběh). Vznětový motor na těžké palivo dokončil koncem 19. století, r. 1913 záhadně zmizel při plavbě do Anglie.

Joule [džaul], James Prescott (1818 — 1889), syn sládky, majitel pivovaru, fyzik. Studoval elektřinu a magnetismus, určil zákon závislosti mezi teplem a elektrickým proudem. Vedle Mayera určil (přesněji) mechanický ekvivalent tepla. Zkoumal vlastnosti plynů, teplotní dilataci oceli aj.

Leibniz [lajbnyc], Gottfried, Wilhelm (1646 — 1716), německý filozof, vědec a diplomat. Říká se o něm, že byl posledním člověkem, který dokázal obsáhnout veškeré vědění své doby. Autor počítačícího stroje a jiných technických zařízení, předchůdce moderní formální logiky, tvůrce (souběžně s Newtonem, s nímž se nevybíravě přel o prvenství) vyšší matematiky (dnes užíváme Leibnizovu symboliku).

von Mayer [majer], Julius Robert (1814 — 1878), chirurg, později městský lékař v Heilbronnu. Jako lodní lékař vykonal cestu do Indonésie. Na základě fyziologických výzkumů (okysličování krve námořníků, množství potravy atd.) a filozofických úvah dospěl k zákonu zachování energie. Zveřejnil jej v r. 1842. Zákon experimentálně dokázal (kalorimetr na principu třecí Pronyho brzdy) a přibližně určil mechanický ekvivalent tepla.

Nernst, Walter Hermann (1864 — 1941), německý fyzik a fyzikální chemik. Profesor berlínské univerzity, člen Royal Society v Londýně. Nobelova cena 1920. Říká se o něm, že na stole měl zkumavku s chemikálií, která tála při 26°C. Jakmile za čala látka tát, Nernst prohlásil, že proti přírodě se nedá nic dělat a šel se se studenty koupat.

¹⁰ Přestože předchozí řádky mluví např. pro jadernou energetiku v oblasti elektrárrenství, nemělo by se zapomínat, že bohatší část přelidněného a z velké části hladového světa bude muset výrazně změnit svoji hodnotovou orientaci a omezit svou honbu za spotřebou a přepychem, jinak počínání svých obyvatel matička Země neunese. Od 18. století v sobě člověk pěstuje vědomí, že je pofidérním „pánem přírody“ a využívá neobnovitelné zdroje energie, do nedávné doby bezohledně. Od 18. století také stále rychleji přibývá obyvatel Země, jejichž podstatná část žije v nepředstavitelné bídě. Ať už nutná změna životního stylu bude nazývána transformací či přestavbou, její základ se bude muset odehrát především tam, kde to je vždy nejobtížnější. Tedy nikoli na burzách a v parlamentech, ale v lidských hlavách.

Newton [nju:tn], Sir Isaac (1643 — 1727), anglický fyzik a matematik, člen, v letech 1703 — 1727 předseda Royal Society v Londýně. Zakladatel klasické dynamiky, formuloval gravitační zákon, tvůrce (souběžně s Leibnizem) vyšší matematiky. 1705 jako první vědec povýšen do šlechtického stavu.

Planck [plank], Max Karl Ernst Ludwig (1858 — 1947), německý teoretický fyzik a matematik, autor kvantové teorie (na základě předpokladu o nespojitém vyzařování elektromagnetické energie v určitých množstvích, jež jsou celočíselnými násobky elementárního kvanta). Jako jeden z prvních přijal Einsteinovu teorii relativity a aplikoval ji v termodynamice. Nobelova cena za fyziku 1918.

Thomson [tomsn], William, lord **Kelvin** (1824 — 1907), britský (přesněji irský - nar. se v Belfastu) matematik a fyzik (Kelvin je říčka, která teče kolem glasgowské univerzity), od 22 let (!) profesor univerzity v Glasgowě, člen (a krátce i předseda) Royal Society a člen Francouzské Akademie věd. Zabýval se elektřinou a magnetismem, termodynamikou, gravitací, příčinami přílivu a odlivu, pružností aj., vytvořil teplotní stupnici. Podílel se na kladení transatlantického kabelu (spojení Evropy s Amerikou).

Vergilius [vergílius], Publius V. Maro (70 př. n. l. — 19 př. n. l.), nejvýznamnější římský epik, oblíbenec císaře Augusta. Básnická sbírka *Bucolica* (Zpěvy pastýřské), učená skladba *Georgica* (Zpěvy rolnické, zahrnuje 4 zpěvy - o rolnictví, sadařství, vinařství, chovu dobytka a včelařství), vrcholem tvorby je epos *Aeneis*, jímž chtěl V. vytvořit protějšek *Iliady* a *Odysseje*.

(Použito: Ottova encyklopedie obecných vědomostí na CD-ROM, Aion CS, s.r.o., 1997; Encyklopedie Diderot na CD-ROM, Diderot s.r.o., 1999.)

Josef Gruber 1999