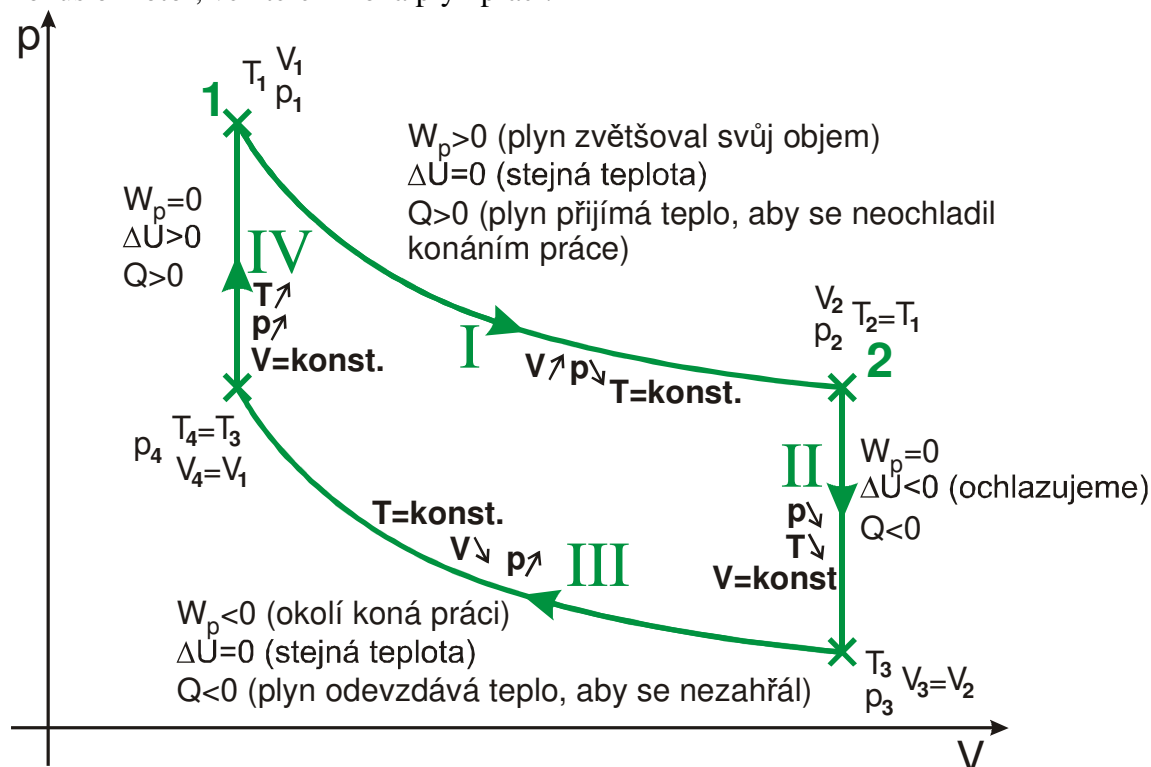


2.3.12 Druhý termodynamický zákon

Předpoklady: 020311

Opakování z minulé hodiny:

Pokus o motor, ve kterém koná plyn práci:



Shrnutí činnosti motoru: Motor odebírá teplo z ohřívače (zdroj tepla o vysoké teplotě), přenáší jej na chladič (příjemce tepla o nízké teplotě) a část tepla mění na práci.

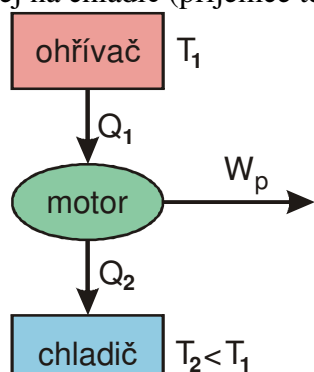


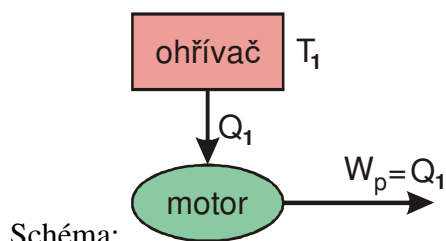
Schéma:

$$\text{Účinnost motoru: } \eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}.$$

⇒ Pokud chceme vyrábět hodně práce, musíme mít výkonný co nejteplejší ohřívač a obrovský co nejstudenější chladič, který pojme hodně tepla a nezahřeje se.

Přesto je samotný princip motoru nevýhodný – práci vykonává pouze díky tomu, že ho postavíme do cesty teplu, které chce přecházet z ohřívače na chladič.

Nešlo by postavit motor, který by pouze odebíral teplo z ohřívače a měnil ho na práci (perpetuum mobile druhého druhu)?



Př. 1: Jaderná elektrárna Temelín má výkon 2000 MW. Urči, o kolik stupňů by poklesla teplota vody v blízké Vltavě, kdyby elektrárna získávala vyráběnou energii z vody. Průtok vody ve Vltavě v blízkém Týnu nad Vltavou je přibližně $40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

$$P = 2000 \text{ MW} = 2 \cdot 10^9 \text{ W}, \quad Q = 40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}, \quad c = 4200 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}, \quad \rho = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}, \quad \Delta t = ?$$

Práce, kterou elektrárna vyrobí za 1 sekundu: $W = P \cdot t = 2 \cdot 10^9 \cdot 1 \text{ J} = 2 \cdot 10^9 \text{ J}$

Teplo, dodané předmětem, který se ochlazuje: $Q = mc\Delta t = V\rho c\Delta t$.

$$W = Q = V\rho c\Delta t \Rightarrow \Delta t = \frac{W}{V\rho c}$$

$$\Delta t = \frac{W}{V\rho c} = \frac{2 \cdot 10^9}{40 \cdot 1000 \cdot 4200} = 12^\circ\text{C}$$

Teplota vody by poklesla o 12°C .

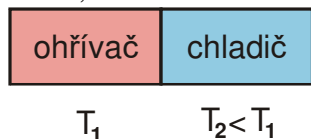
12°C není úplně málo, ale kromě zimy by to bylo realizovatelné. Navíc bychom mohli elektrárnu postavit níže po toku, kde teče vody více. V zimě bychom pak mohli využívat vodu z přehradní nádrže, případně vyrábět led, který by se jinde hodil na chlazení. Státy, které mají moře, by měly energii úplně zadarmo.

I když předchozí nápad neodporuje zákonu zachování energie, není fyzikálně možný.

Podíváme se na pV diagram kruhového děje.

Celá první fáze I je přesně to, co chceme. Motor odebírá teplo z ohříváče a koná práci. Jenže pokud chceme, aby motor pracoval trvale (periodicky), musíme plyn zase stlačit (s tím, jak klesá tlak plynu, získáváme dalším rozpínáním čím dál méně práce). Pokud přitom nechceme utratit všechnu získanou práci, musíme ho před stlačením ochladit (a tím už potřebujeme chladič a jsme opět u přecházení tepla z teplejšího na chladnější).

Proč nechce teplo přecházet ze studenějšího tělesa na teplejší? Nakreslíme si dvě tělesa jedno horké, druhé studené:



V ohříváči se vyskytuje hodně rychlých, ale málo pomalých molekul.

V chladiči se vyskytuje málo rychlých, ale hodně pomalých molekul.

Co by se muselo stát, aby teplo přecházelo z chladiče na ohříváč?

- Rychlé molekuly z chladiče by se musely srážet s pomalými molekulami ohříváče (obojích je málo).
- Pomalé molekuly z chladiče a rychlé molekuly z ohříváče by se nesměly srážet navzájem (obojích je hodně).

Stát se to může, ale je to velmi málo pravděpodobné (asi jako to, že se všechny molekuly z jedné poloviny třídy náhodně přemístí do poloviny druhé).

⇒

2. termodynamický zákon

Není možné sestavit periodicky pracující stroj, který by jen přijímal teplo od ohříváče a měnil jej na stejně velkou práci.

Jiné formulace:

- Není možné sestavit perpetuum mobile druhého druhu.
- Teplo vždy přechází od teplejšího tělesa k chladnějšímu.

Problematika 2. termodynamického zákona je jednou z nejlepších ukázek poměru sil mezi přírodními zákony a technikou. Technika nemůže ani o sebemenší kousek pohnout přírodními zákony (porušit je, nahradit, překonat). Technika musí všechny přírodní zákony dodržovat a využívat je k tomu, aby vše dopadlo tak, jak člověk potřebuje.

Pedagogická poznámka: Při výuce tepelných strojů nepoužívám vlastní obrázky a videa, protože na internetu je jich větší než dostatečné množství. Proto jsou součástí této hodiny odkazy na internet. Já osobně mám samozřejmě videa stažená a použít je lokálně.

Tepelné stroje

Parní turbína

stroj, který roztáčí generátory střídavého proudu v tepelných a jaderných elektrárnách.

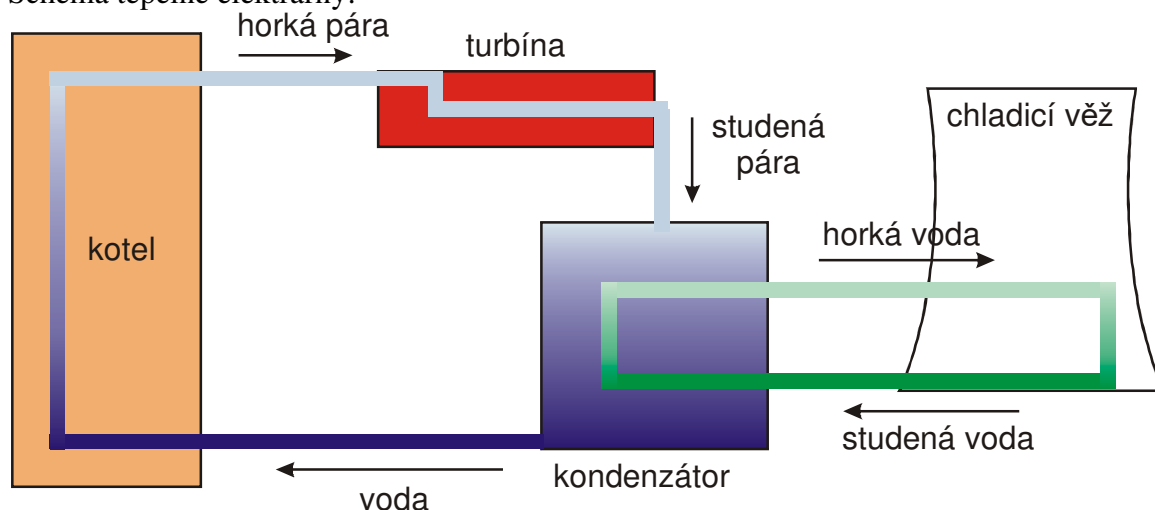
Principiálně jednoduché zařízení funguje stejně jako větrníček. Do turbíny pouštíme horkou páru, která fouká na lopatky turbíny a tím ji roztáčí (jako vítr roztáčí větrníček).

Technická realizace je složitější, turbíny mají celý systém lopatek, které jsou určeny pro páru různého tlaku.

Každá turbína má dvě části:

- stojící část (stator) – rozváděcí lopatky (směřují páru),
- otáčející se část (rotor) – oběžné lopatky (naráží do nich pára a tím se rotor roztáčí).

Schéma tepelné elektrárny:



Na první pohled vypadá elektrárna jako dílo šileného inženýra, který se zaměřuje na plýtvání energií: studenou páru, která prošla (a točila) turbínou, v kondenzátoru pomocí vody z chladičského okruhu necháváme zkapalnit. Tím jí odebíráme energii, kterou jí potom musíme znovu pracně dodávat v kotli.

Tato na první pohled nesmyslná činnost musí mít svůj význam (jinak by se při stavbě elektráren ušetřilo za chladicí věže).

Vrátíme se k turbíně (kvůli ní se elektrárny staví):

K roztočení turbíny nestačí pouze velký tlak horké páry na jejím začátku. Aby pára turbínu roztočila, musí přes turbínu proudit na druhou stranu $\Rightarrow$ na druhé straně turbíny musí být tlak, co nejmenší $\Rightarrow$ kondenzátor mění páru na vodu a tím snižuje tlak na druhé straně turbíny.

Elektrárna je krásnou ukázkou tepelného stroje: teplo z ohřívače (kotel) přechází na chladič (chladicí věž) a po cestě se částečně mění v práci (turbína).

Př. 2: Pára se v kotli zahřívá na teplotu 500°C . V kondenzátoru je ochlazována na 50°C . Urči maximální možnou účinnost elektrárny.

$$T_1 = 500^{\circ}\text{C} = 773\text{K}, T_2 = 50^{\circ}\text{C} = 323\text{K}, \eta = ?$$

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{323}{773} = 0,58 = 58\%.$$

Teoreticky možná účinnost do 60 %. Skutečná účinnost se pohybuje mezi 25 % a 35 %.

Př. 3: Vysvětli, proč je pro elektrárenské společnosti výhodné studené počasí. Proč elektrárna za mrazu vyrobí ze stejného množství uhlí více elektřiny?

Studené počasí znamená nižší teplotu vody z chladicích věží a nižší teplotu chladiče. Elektrárna tak pracuje s větším tepelným rozdílem, a tedy i větší účinností.

Parní stroj

první masově používaný tepelný stroj

<http://www.youtube.com/watch?v=yda4STR1Pe4> (čas 1:00)

Př. 4: Odhadni, co můžeme považovat u parního stroje za teplotu ohřívače a co za teplotu chladiče.

Teplota ohřívače: teplota páry, která vstupuje do pístu.

Teplota chladiče: teplota páry, která vystupuje z pístu.

Účinnost parního stroje lokomotivy:

$$T_1 = 300^{\circ}\text{C} = 573\text{K}, T_2 = 100^{\circ}\text{C} = 373\text{K}, \eta = ?$$

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{373}{573} = 0,35 = 35\%.$$

Teoreticky možná účinnost do 35 %. Skutečná účinnost se pohybuje mezi 9 % a 15 %.

Shrnutí: Není možné sestavit motor, který by odebíral teplo z ohřívače a měnil ho celé na práci. Všechny tepelné motory potřebují chladič.