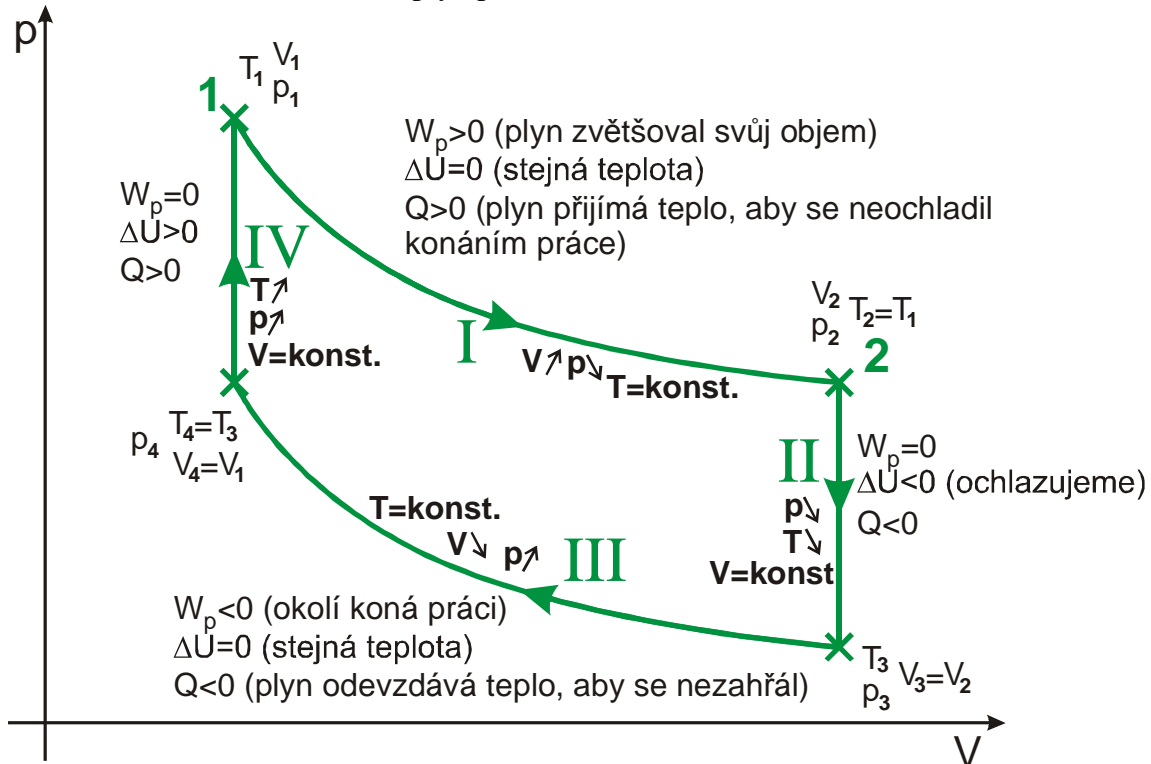


## 2.3.12 Druhý termodynamický zákon

### Předpoklady: 2311

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 jeho část tepla mění na práci.

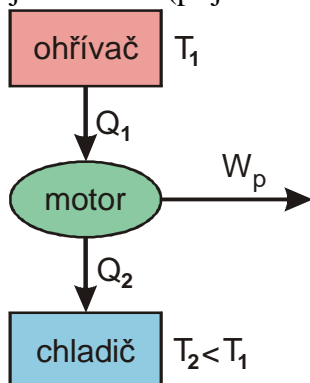


Schéma:

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

⇒ 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 tepla, které chce přecházet z ohřívače na chladič.

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

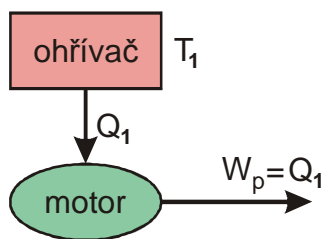


Schéma:

**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  $40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

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

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

Teplota, 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  $12^\circ\text{C}$ .

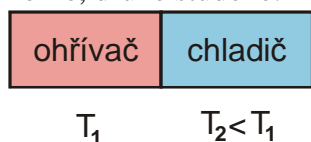
$12^\circ\text{C}$  není úplně málo, ale kromě zimy by to bylo realizovatelné. Navíc bychom mohli elektrárnu postavit níže po toku, kde teče vody více. V zimě bychom pak mohli využívat vodu z přehradní nádrže, případně vyrábět led, který by se jinde hodil na chlazení. Státy, které mají moře, by měly 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 ohřivače a koná práci. Jenže plyn nemůžeme rozpínat donekonečna a pokud chceme, aby motor pracoval trvale (periodicky), musíme plyn zase stlačit. 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 ohřivači 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 ohřivač?

- Rychlé molekuly z chladiče by se musely srážet s pomalými molekulami (obojích je málo).
- Pomalé molekuly z chladiče a rychlé molekuly z ohřivače 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 ohřívače 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 více 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

<http://www.youtube.com/watch?v=9Vi5Djx4jBM> (čas 2:15)

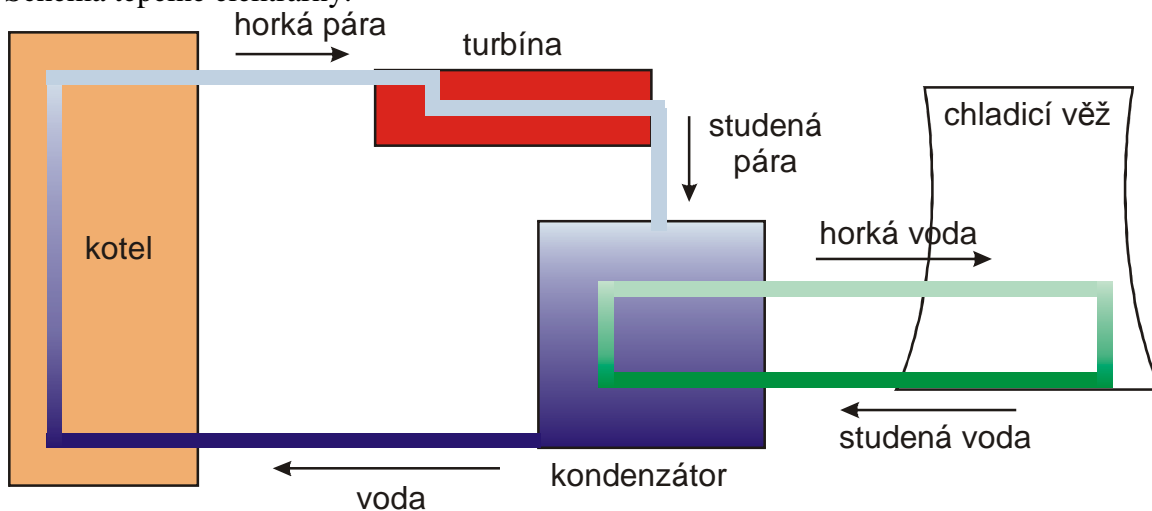
Principiálně jednoduché zařízení funguje stejně jako větrníček. Do turbíny použijeme horkou páru, která fouká na lopatky turbíny a tím ji roztáčí (jako vítr roztáčí větrníček).

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 šilného 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 ji 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  $500^{\circ}\text{C}$ . V kondenzátoru je ochlazována na  $50^{\circ}\text{C}$ . 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 sestrojít motor, který by odebíral teplo s ohřívače a měnil ho na práci. Všechny tepelné motory potřebují chladič.