

# **ENERGETICKÝ MANAGEMENT**

## **1A. FYZIKÁLNÍ ZÁKLADY**

# FYZIKÁLNÍ ZÁKLADY

POROZUMĚNÍ ZÁKLADNÍM  
FYZIKÁLNÍM ZÁKONŮM A  
JEJICH PLATNOST PRO  
ENERGII

# OSNOVA

## 1. Energie

- Formy, transformace, jednotky

## 2. Termodynamika

- Zákony
- Stavová rovnice ideálního plynu
- Způsoby přenosu tepla
- Veličiny, jednotky, výpočty

## 3. Optimalizace

# VZNIK POJMU ENERGIE

- **základní pojetí bylo vytvořeno v polovině 19. století**
- **vědci a filozofové hledali**
  - **představu sjednocující všechny jevy,**
  - **nějakou neměnnou vlastnost světa popisující skrytou jednotu neustálého procesu změn**
- **1840 byla odhalena neměnná vlastnost světa nazvaná**

**ENERGIE**

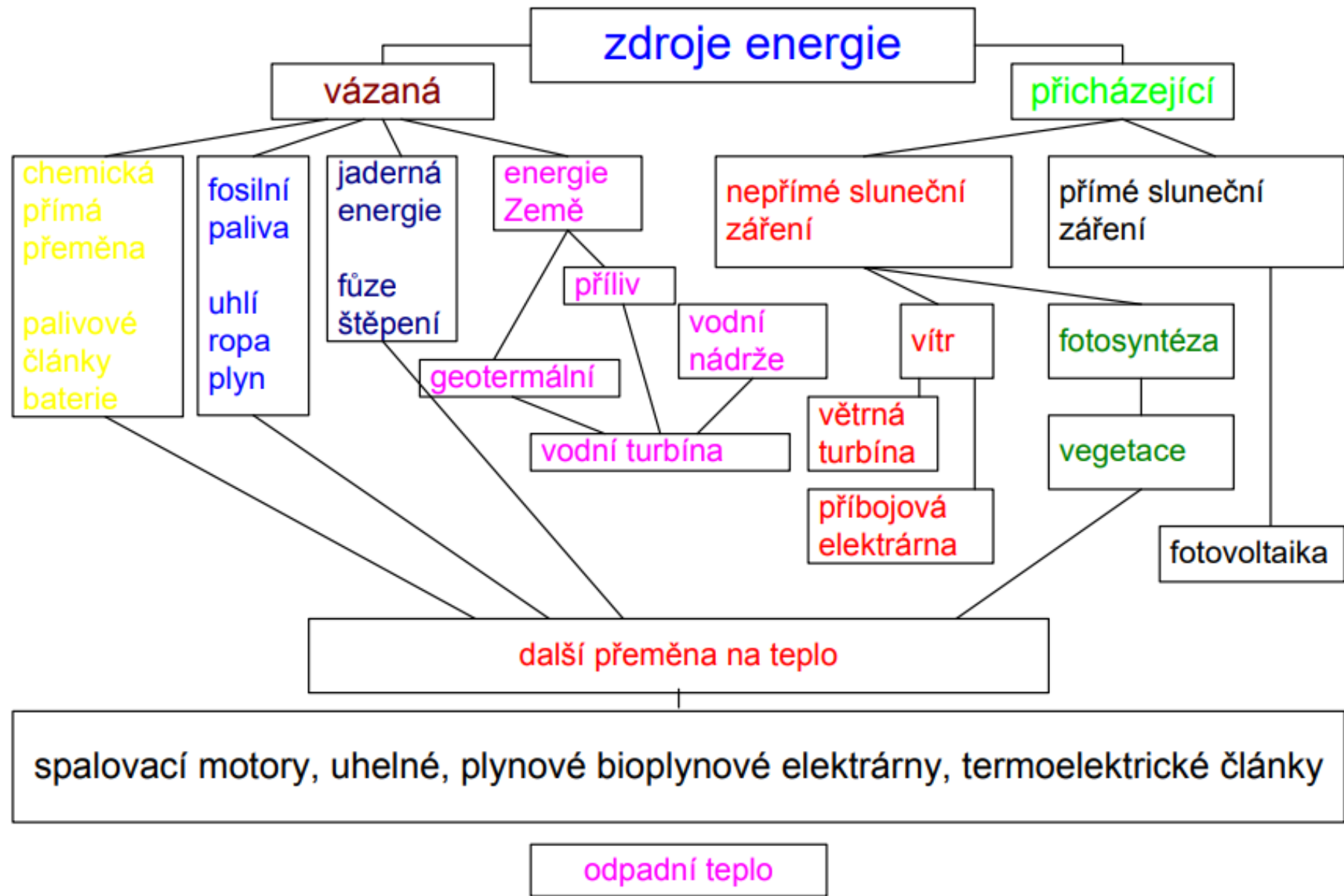
# CO JE TO ENERGIE?

- **Energii** je těžké definovat jako abstraktní pojem, takže si pomůžeme příkladem:
- **způsobilost konat práci je vyjádřena**
  - schopností konat práci (**potenciální energie**)
  - přeměnou této schopnosti na pohyb (**kinetická energie**)

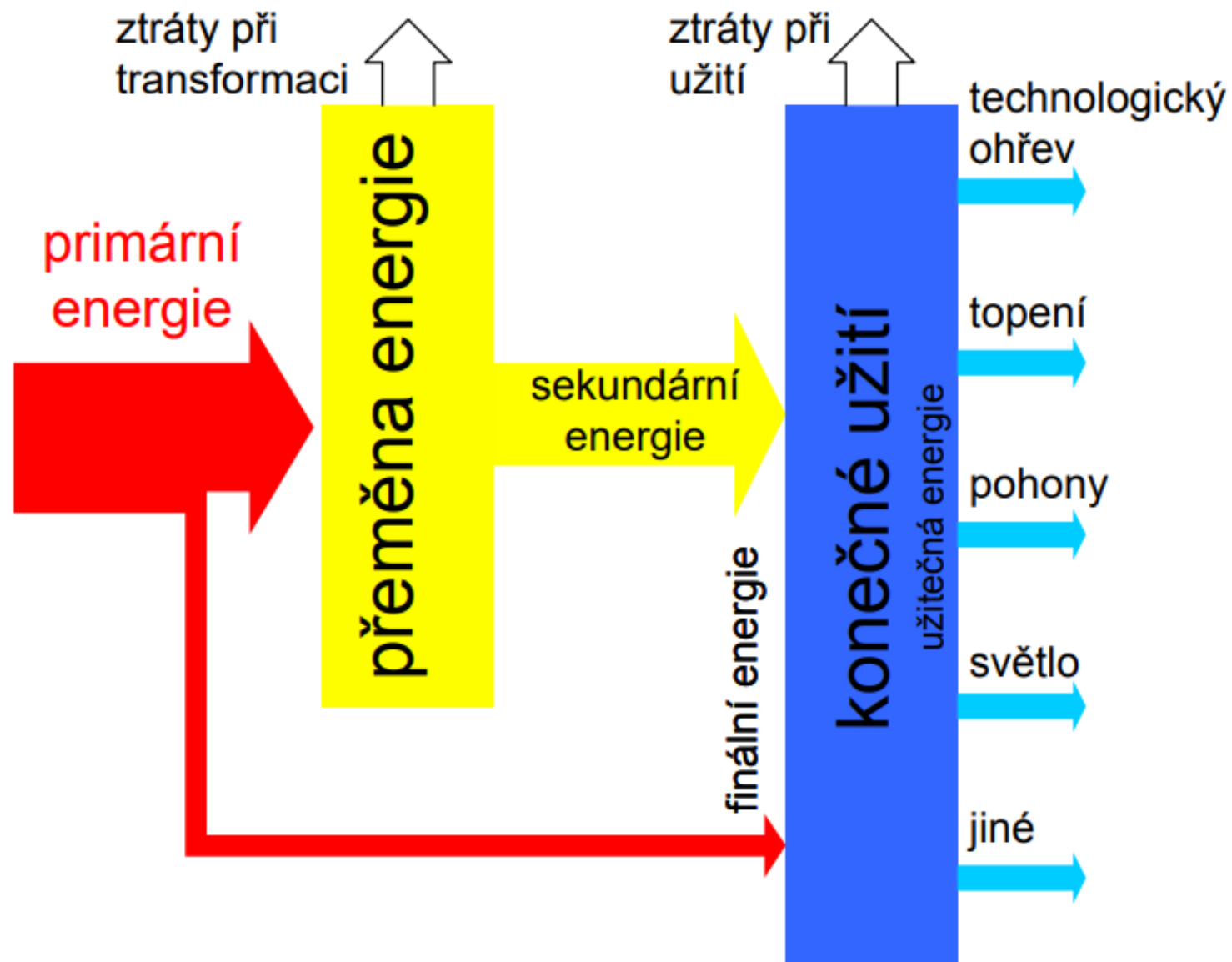
# FORMY ENERGIE

- **Mechanická energie**
- **Tepelná energie**
- **Chemicky vázaná energie**
- **Energie elektromagnetického záření (pole)**
- **Elektrická energie**

# TRANSFORMACE ENERGIE



# TRANSFORMACE ENERGIE





# ENERGIE

- **Energie se projevuje jako**

- **PRÁCE**

- **TEPLO**

# TERMODYNAMIKA

- **Termodynamika** studuje vztahy mezi:
  - **TEPLEM**
  - **PRACÍ**
  - **VNITŘNÍ ENERGIÍ SYSTÉMU**

# TEPLO - ZÁKLADNÍ DEFINICE: FORMA ENERIE KTERÁ VYCHÁZÍ ZE SÍLY ZPŮSOBUJÍCÍ POHYB

## JEDNOTKY:

### BTU - British thermal unit:

- množství tepla potřebné k ohřátí jedné libry vody o  $1^{\circ}\text{F}$  při hladině moře

### kalorie:

- množství tepla potřebné pro ohřátí jednoho gramu vody o jeden  $^{\circ}\text{C}$

### joule (jednotka soustavy SI):

- mechanická energie, která je potřebná k posunu tělesa po dráze 1 m silou 1 N ve směru pohybu

# VÝKON: PRÁCE ZA ČAS

## JEDNOTKA VÝKONU:

**Watt** ...  $\text{J/s} = \text{W}$

**1 Watt je také výkon proudu 1 A při úbytku 1 V**

# VNITŘNÍ ENERGIE - ZÁKLADNÍ DEFINICE

- **Vnitřní energie** je definována jako energie související s náhodným neuspořádaným pohybem molekul
- Vnitřní energie systému je úměrná jeho **teplotě**

# SYSTÉM

- oblast v prostoru obsahující množství látky, jejíž chování zkoumáme
- je oddělený od svého okolí hranicemi, které mohou být fyzikální nebo imaginární
- **UZAVŘENÝ SYSTÉM** – hranicemi prochází pouze teplo a práce
- **OTEVŘENÝ SYSTÉM** – hranicemi může procházet také hmota

# **ZÁKONY TERMODYNAMIKY**

# PRVNÍ TERMODYNAMICKÝ ZÁKON

- **Zákon zachování energie:**
  - energie je vždy zachována, nemůže vznikat ani být zničena
  - energie může být přeměňována z jedné formy do druhé



# DRUHÝ TERMODYNAMICKÝ ZÁKON

- **pokud není do systému přidávána, ani ubírána energie, bude při všech přeměnách energie potenciální energie stavu vždy menší než ve stavu počátečním**

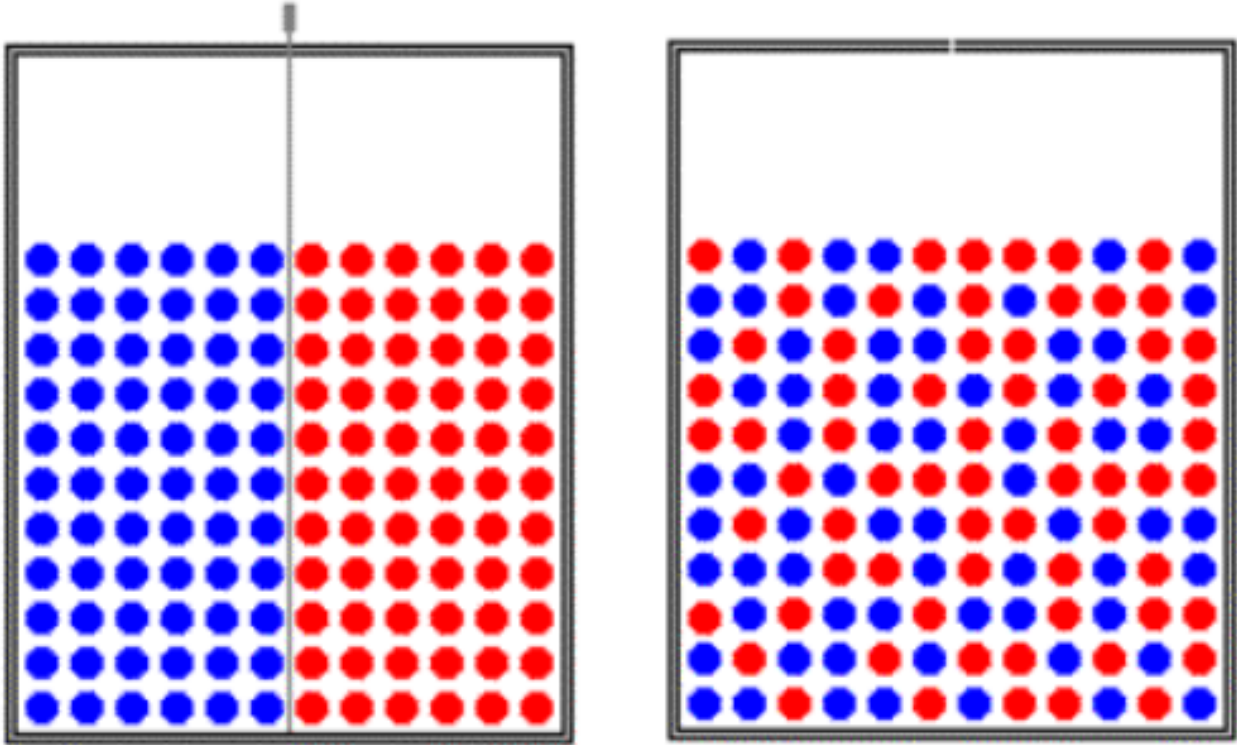
# TŘETÍ TERMODYNAMICKÝ ZÁKON

- **čistou pevnou látku nelze konečným pochodem ochladit na teplotu absolutní nuly**

# C. P. SNOW

- **NEMŮŽETE VYHRÁT**
  - tj. nemůžete získat něco z ničeho, protože platí zákon zachování hmoty a **energie**
- **NEMŮŽETE REMIZOVAT**
  - nemůžete se vrátit do stejného energetického stavu, protože vždy vzroste neuspořádanost systému, vždy vzroste **entropie**
- **NEMŮŽETE OPUSTIT HRU**
  - absolutní nula je nedosažitelná

# ENTROPY



# ENTROPIE

Disorder is more probable than order.

The image shows two arrangements of orange rectangular bricks. On the left, the bricks are neatly stacked in a pyramid shape, representing an ordered state. On the right, the bricks are scattered and piled up in a disorganized manner, representing a disordered state.

# CHARLES PERCY SNOW



- **Charles Percy Snow**,  
Baron Snow (15 October  
1905 – 1 July 1980)
- **britský prozaik**
- **dokázal především podat  
detailní popis sociálního  
prostředí, v němž se příběh  
odehrával**

# PRÁCE - ZÁKLADNÍ DEFINICE: FORMA ENERGIE PŘENÁŠENÁ ROZDÍLEM TEPLOT

**JEDNOTKA:**

- Joule

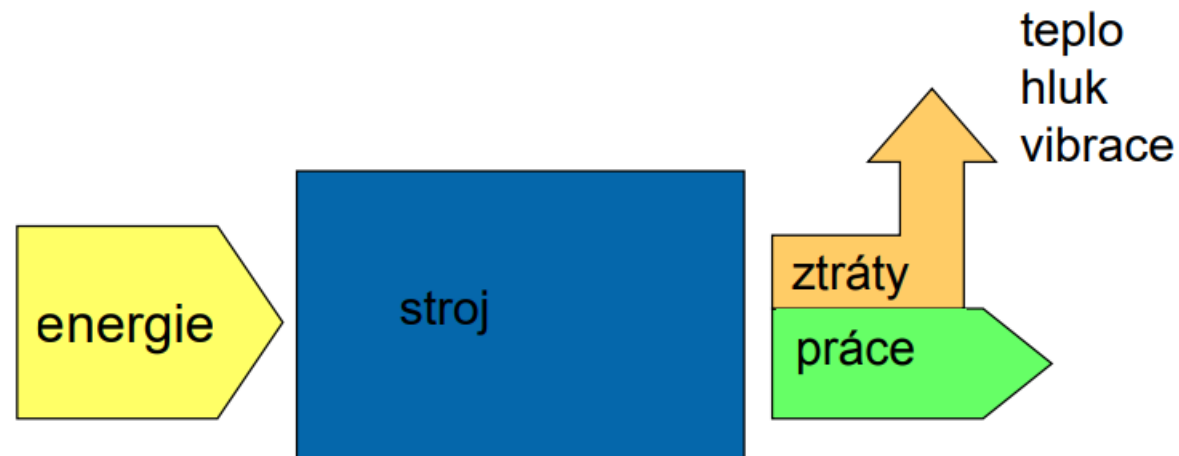
- 1 Newton \* 1 metr = 1 Joule

# TRANSFORMACE ENERGIE A ÚČINNOST

účinnost

$$\eta = \frac{\textit{výstupní práce}}{\textit{vstupní energie}}$$

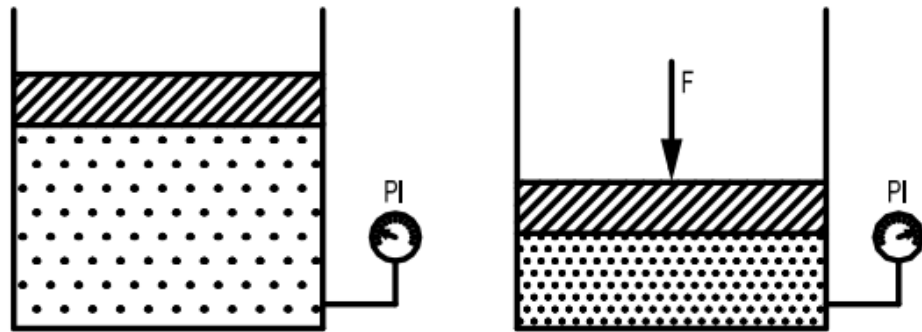
- účinnost je reálně vždy menší než 100 %



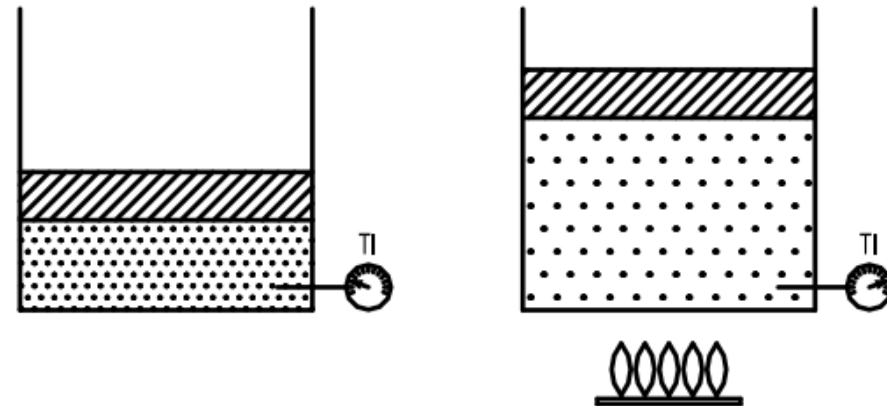
# STAVOVÁ ROVNICE IDEÁLNÍHO PLYNU

$$pV = RnT$$

- $p$  ... tlak [Pa]
- $V$  ... objem [m<sup>3</sup>]
- $T$  ... absolutní teplota [K]
- $R$  ... plynová konstanta [J.K<sup>-1</sup>.mol<sup>-1</sup>]
- $n$  ... látkové množství [mol]



stlačení – zvyšuje tlak (a teplotu)



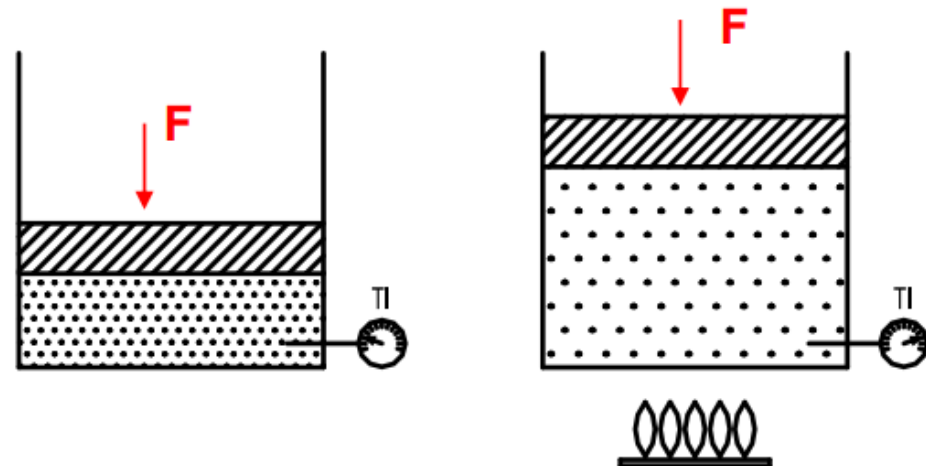
ohřátí – zvyšuje objem ( $p = \text{konst.}$ )



# TERMODYNAMICKÉ DĚJE

- izotermický děj                      konstantní teplota
- izobarický děj                      konstantní tlak
- izochorický děj                      konstantní objem
- adiabatický, izoentropický děj    izolovaná soustava  
= bez přenosu tepla do okolí

- vratné děje
- nevratné děje
  - příroda
  - druhý termodynamický zákon



izobarický děj  $F = \text{konst.} \Rightarrow p = \text{konst.}$

# IDEÁLNÍ PLYN

$$V_m = V_r \frac{P_r}{P_m} \frac{T_m}{T_r}$$

$V_r$  – objem plynu při standardních/referenčních podmínkách [m<sup>3</sup>]

$V_m$  – objem plynu při pracovních podmínkách [m<sup>3</sup>]

$P_m$  – pracovní tlak [Pa, bar]

$P_r$  – referenční nebo standardní tlak [Pa, bar]

101,325 kPa 1013,25 hPa 1,01325 bar

$T_m$  – pracovní absolutní teplota [K]

$T_r$  – referenční teplota 273,15 K

# ZÁKLADNÍ JEDNOTKY

## ZÁKLADNÍ JEDNOTKY

- ČSN - IEC 27-1
- [www.jednotky.cz](http://www.jednotky.cz)
- převodní „pravítka“, tabulky

síla	$1 \text{ N} = 1 \text{ kgm/s}^2$
energie, práce	$1 \text{ J} = 1 \text{ Ws} = 1 \text{ Nm}$
výkon	$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s} = 1 \text{ Nm/s}$
tlak	$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$

měrná tepelná kapacita	$\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
měrná hustota	-
hustota	$\text{kg}/\text{m}^3$
tepelná vodivost	$\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$
plošná tepelná vodivost	$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$

# PŘEVODY JEDNOTEK

PRÁCE	kJ	kWh	kcal	kpm
kJ	1	0,0002778	0,2388	101,97
kWh	3600	1	860	367000
kcal	4,1868	0,001163	1	427
kpm	0,00981	0,00000272	0,0000037	1

VÝKON	kW	kcal/h	kpm/s	hp
1 kW	1	860	102	1,35778
1 kcal/h	0,0011628	1	0,119	0,00158
1 kpm/s	0,0098067	8,43	1	0,01333
1 hp	0,7365498	632	75	1

# VÝHŘEVNOST A PRODUKCE EMISÍ CO<sub>2</sub>

palivo	výhřevnost	spalné teplo	max. emise CO <sub>2</sub> (kg/kWh) vztaženo k	
			výhřevnosti	spalnému teple
černé uhlí	8,14 kWh/kg	8,41 kWh/kg	0,350	0,339
koks	7,50 kWh/kg	7,53 kWh/kg	0,420	0,418
hnědé uhlí	2,68 kWh/kg	3,20 kWh/kg	0,410	0,343
hnědé uhlí brikety	5,35 kWh/kg	5,75 kWh/kg	0,380	0,354
topný olej EL	10,08 kWh/l	10,57 kWh/l	0,312	0,298
topný olej S	10,61 kWh/l	11,27 kWh/l	0,290	0,273
zemní plyn typ L	8,87 kWh/m <sup>3</sup>	9,76 kWh/m <sup>3</sup>	0,200	0,182
zemní plyn typ H	10,42 kWh/m <sup>3</sup>	11,27 kWh/m <sup>3</sup>	0,200	0,182
svítiplyn	4,48 kWh/m <sup>3</sup>	5,00 kWh/m <sup>3</sup>	0,200	0,179

# TEPELNÁ KAPACITA

$$Q = c_p \cdot m \cdot \Delta T$$

- $C_p$  měrná tepelná kapacita
  - množství tepla potřebné k ohřátí 1 kg látky o 1 K
- měrné teplo vody
  - 4 186 J/(kg·K)
  - nebo 4,186 kJ/(kg ·K)

# PŘÍKLAD 1

## přivedení 1 l vody k varu

- měrné teplo vody 4186 J/(kg.K)
- pro 293 K a 1 kg
- $Q = 334\,720\text{ J}$ , tj. 334 kJ, tj. 334 kW.s

## potřebný čas pro vařič 1 kW

- $334 : 60 \sim 5\frac{1}{2}$  min pro 1 kW vařič
- $2\frac{1}{4}$  min pro 2 kW
- beze ztrát

# PŘÍKLAD 2

## zvednutí 1 l vody

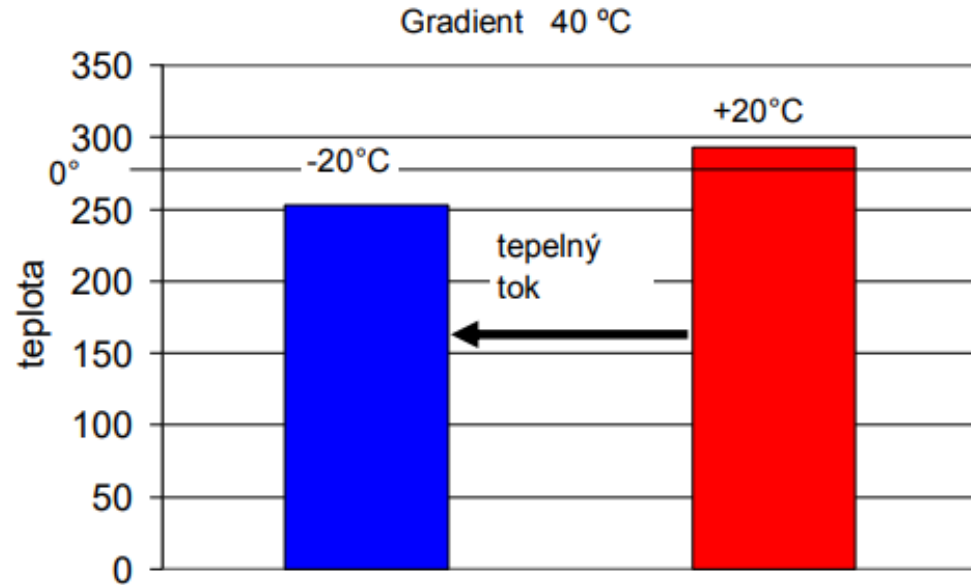
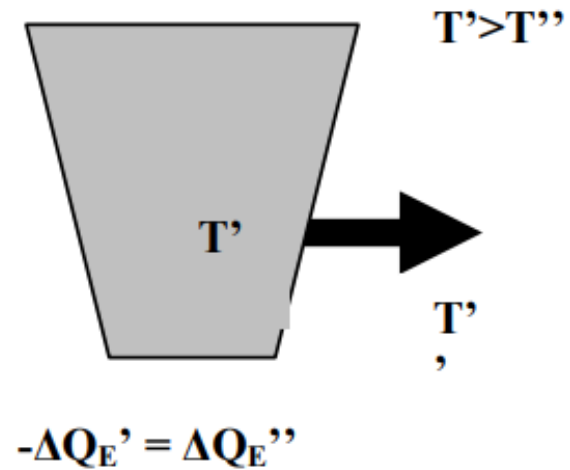
- měrné teplo vody 4186 J/(kg.K)
- $Q = 334,72$  kJ
- potenciální energie  $W=m.g.h$
- $h = 34\ 120$  m (1 K ... 426 m)

## urychlení automobilu 1000 kg z 0 na 100 km/h (beze ztrát)

- $\frac{1}{2}.m.v^2 = \frac{1}{2} . 1000 . (100 / 3,6)^2 = 385$  kJ
- benzín 42 MJ/kg
- $385 / 42\ 000 = 0,009$  kg



# TEPELNÝ TOK MEZI DVĚMA OBJEKTY



- Kdykoli není energie v rovnováze s okolím, existuje potenciál ke změně tohoto stavu, který je v souladu s druhým termodynamickým zákonem samovolně minimalizován.

# ZPŮSOBY PŘENOSU TEPLA – VEDENÍ (1)

- Vedení je základní způsob přenosu tepla v pevných látkách. Je způsobeno dvěma mechanismy:
  - Pohyb molekul - molekuly s vyšší energií (pohybem) předávají tuto energii sousedním molekulám s nižší energií
  - Migrace volných elektronů - zejména v čistých kovech
- Matematicky přenos tepla popisuje Fourierův zákon

$$Q = -\lambda \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} \cdot t \quad \text{nebo} \quad \lambda \cdot A \cdot \frac{T_1 - T_2}{d} \cdot t$$

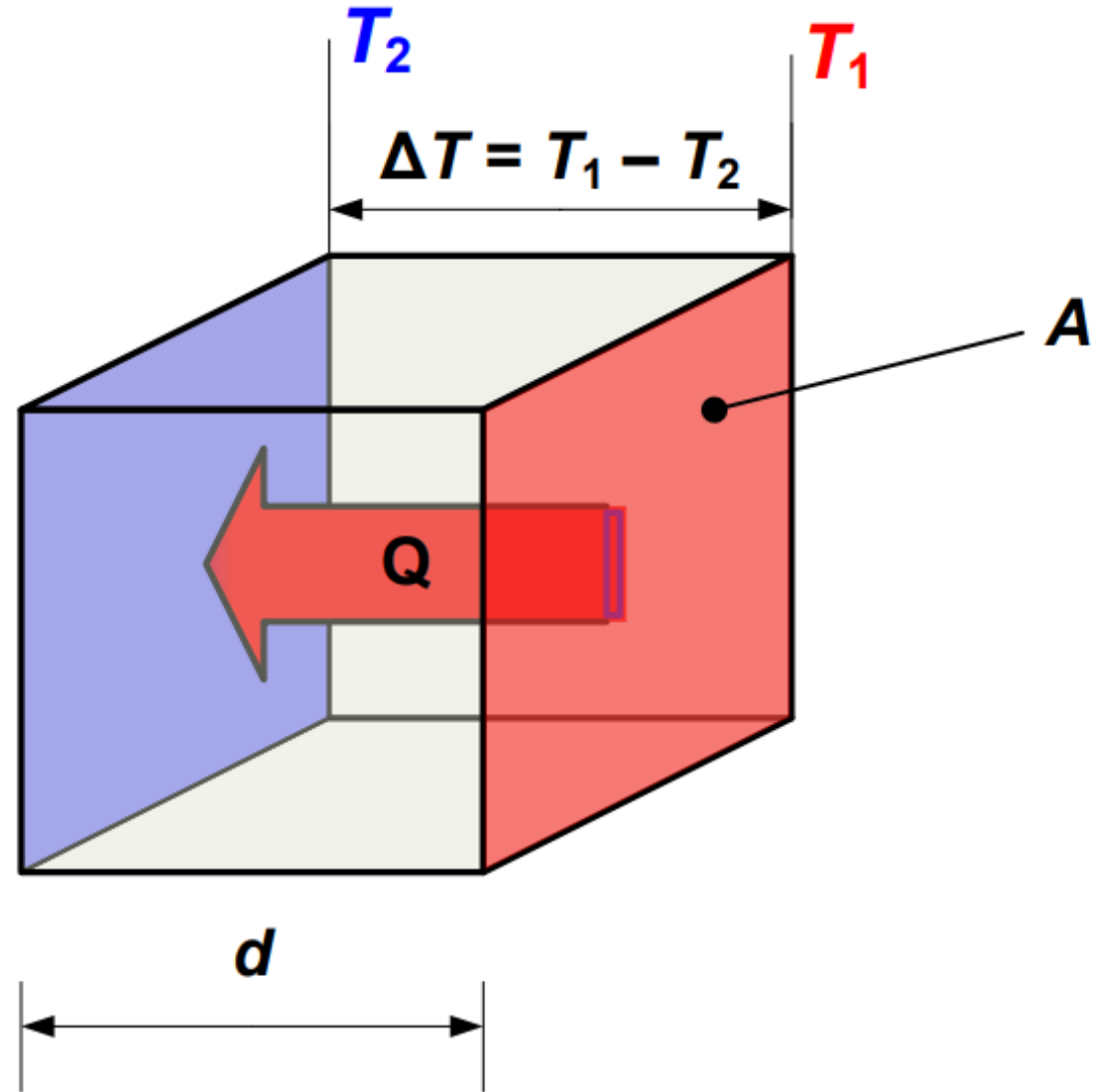
Q	množství tepla [J]	$\lambda$	tepelná vodivost [W/(m.K)]
A	plocha [m <sup>2</sup> ]	T	teplota [K]
d	tloušťka materiálu $d=x_1-x_2$ [m]		

# ZPŮSOBY PŘENOSU TEPLA – VEDENÍ (2)

$$Q = \lambda \cdot A \cdot \frac{T_1 - T_2}{d} \cdot t$$

$$Q' = -\lambda \cdot A \cdot \frac{T_1 - T_2}{d}$$

$Q'$  tepelný tok (výkon) [W]

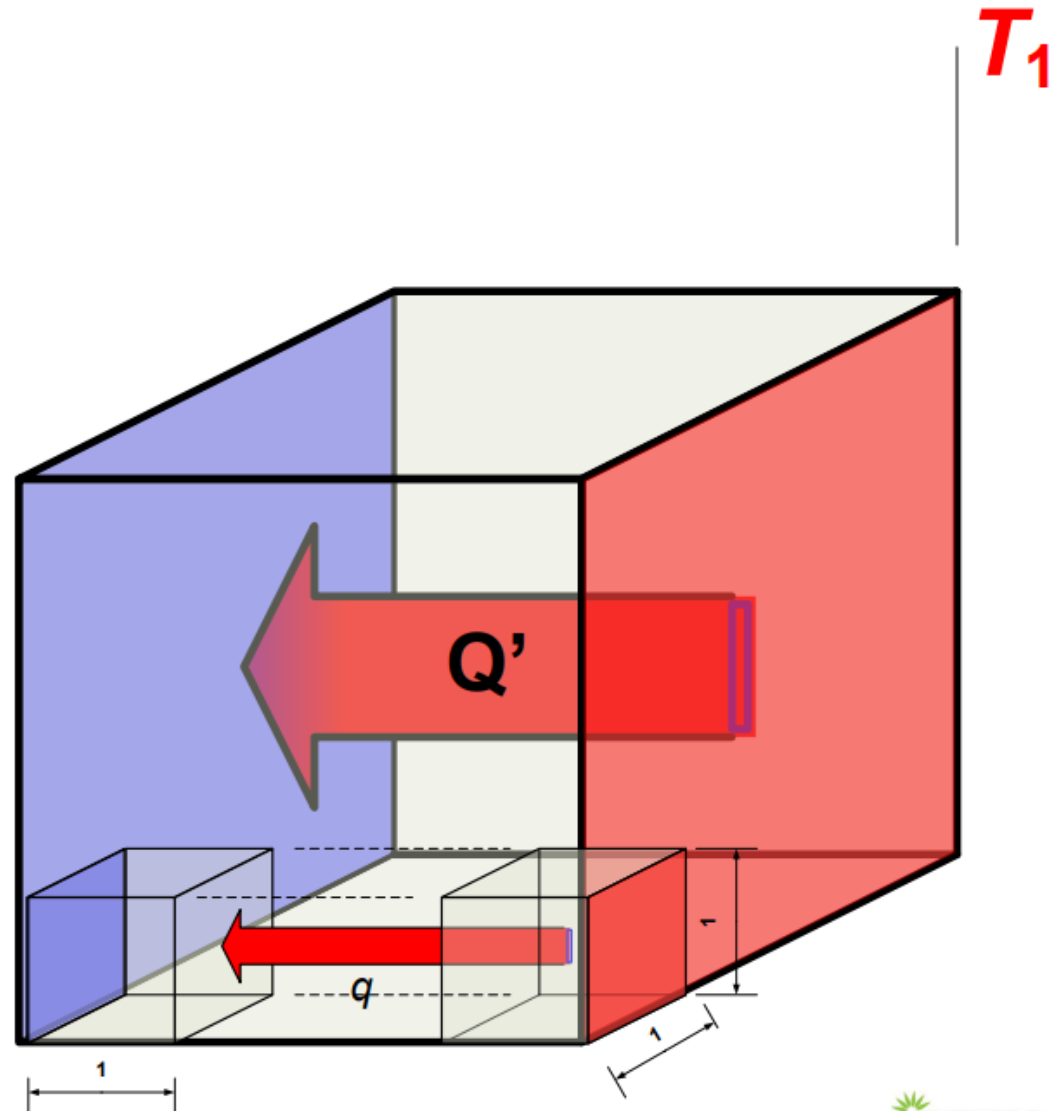


# ZPŮSOBY PŘENOSU TEPLA – VEDENÍ (3)

$$q = -\lambda \cdot \frac{T_1 - T_2}{d}$$

$q$  hustota tepelného toku  
[J/m<sup>2</sup>s = W/m<sup>2</sup>]

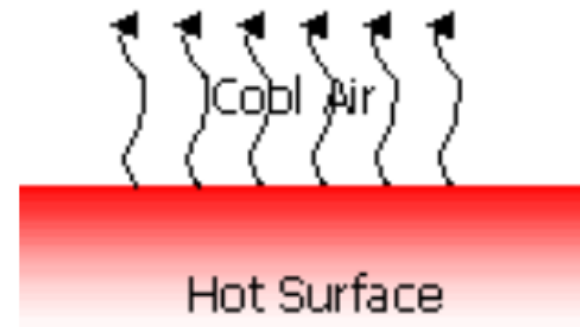
$(T_1 - T_2)/d$  teplotní gradient  
[K/m]



# ZPŮSOBY PŘENOSU TEPLA - PROUDĚNÍ

- Proudění nastává když si plyn (kapalina) vyměňuje teplo se sousední pevnou látkou. Pohyb plynu v blízkosti povrchu pevné látky napomáhá přenosu tepla
- Tepelný tok při chlazení popisuje Newtonův zákon

$$Q = h \cdot A \cdot (T_{povrchu} - T_{okolí}) \cdot t$$



Q množství tepla [J]

h součinitel přestupu tepla [W/(m<sup>2</sup>.K)]

A plocha [m<sup>2</sup>]

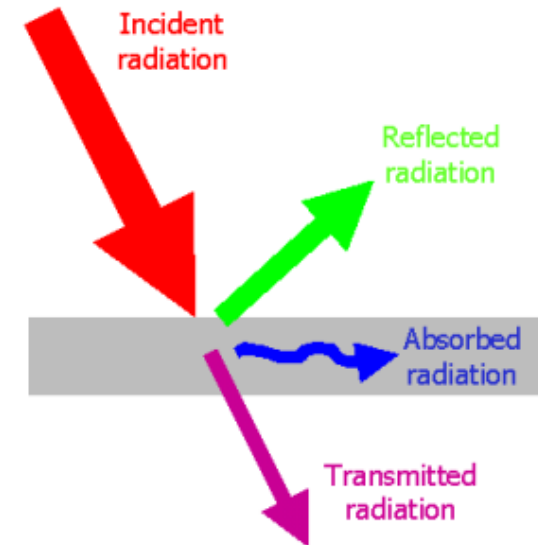
T teplota [K]

$$Q' = h \cdot A \cdot (T_{povrchu} - T_{okolí})$$

$$q = h \cdot (T_{povrchu} - T_{okolí})$$

# ZPŮSOBY PŘENOSU TEPLA - SÁLÁNÍ

- Tepelné záření nevyžaduje pro přenos žádné médium
- Vyzařovaná energie, která dopadá na povrch se může
  - odrazit
  - pohltit
  - projít dále (polopropustný materiál)



- množství tepla přeneseného mezi dvěma povrchy popisuje

Stefan Boltzmannův zákon

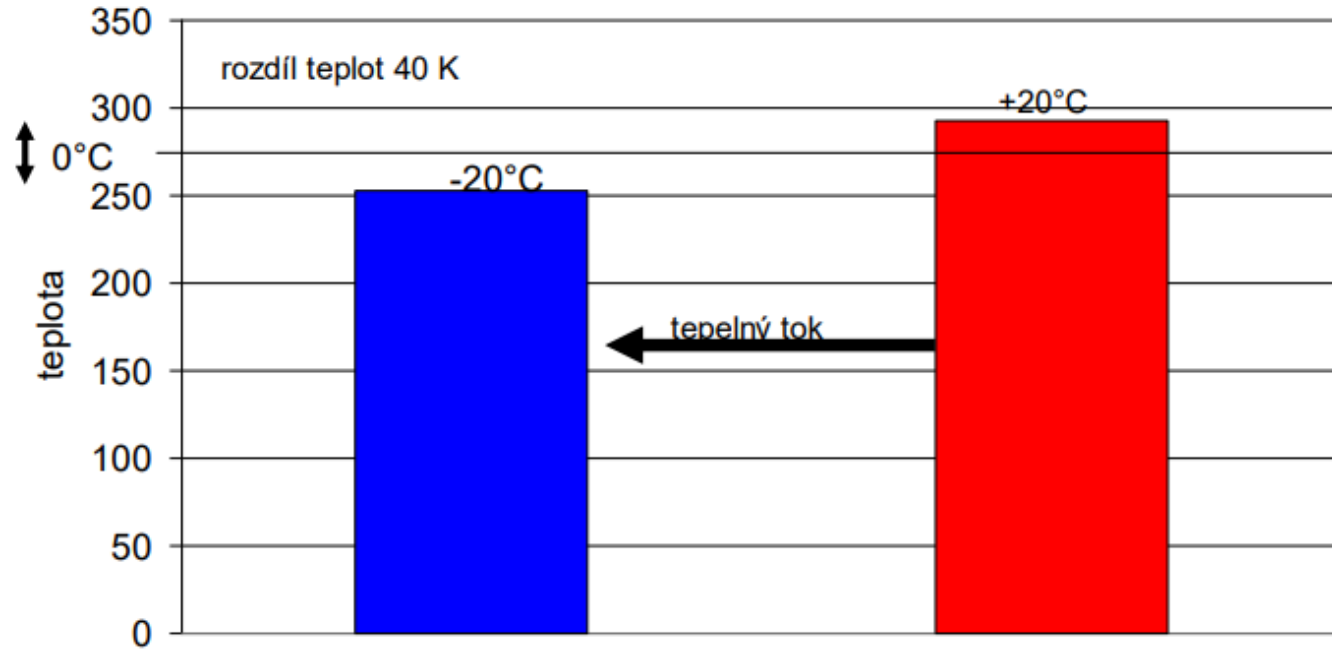
- $\varepsilon$  emisivita [-]
- $\sigma$  Stefan Boltzmannova konstanta [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-4}$ ]

$$q = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_a^4 - T_b^4)$$

# ZTRATY IZOLACÍ

- tepelný tok = rozdíl teplot / tepelný odpor

příklad



tepelný tok zdi  
 $q = \Delta T / R$  [W/m<sup>2</sup>]

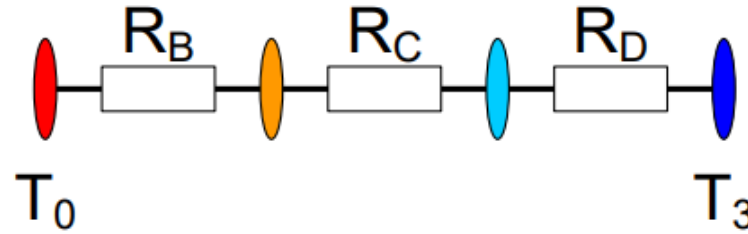
tepelný výkon  
 $Q' = A \cdot q$  [W]

množství tepla (práce)  
 $Q = Q' \cdot t$  [kWh]

přestup tepla do vzduchu tepelný odpor zdi přestup tepla ze vzduchu

tepelný odpor zdi  $R$  (plošný) [m<sup>2</sup>K/W] =  $d$  [m] /  $\lambda$  [W/(m·K)]

# VEDENÍ A PŘESTUP TEPLA – ANALOGIE S ELEKTRICKÝM OBVODEM



$$T_0 - T_3 = \frac{Q'}{A} \cdot \left( \frac{d_B}{\lambda_B} + \frac{d_C}{\lambda_C} + \frac{d_D}{\lambda_D} \right) = q \cdot (R_B + R_C + R_D)$$

$R$  [ $\text{m}^2 \text{K/W}$ ] odpor (plošný) vedení tepla  
vyjadřuje pro daný materiál určité tloušťky schopnost  
klást odpor tepelnému toku

$U$  [ $\text{W/m}^2 \text{K}$ ] součinitel prostupu tepla  
udává schopnost materiálu dané tloušťky vést teplo  
(též plošná tepelná vodivost)

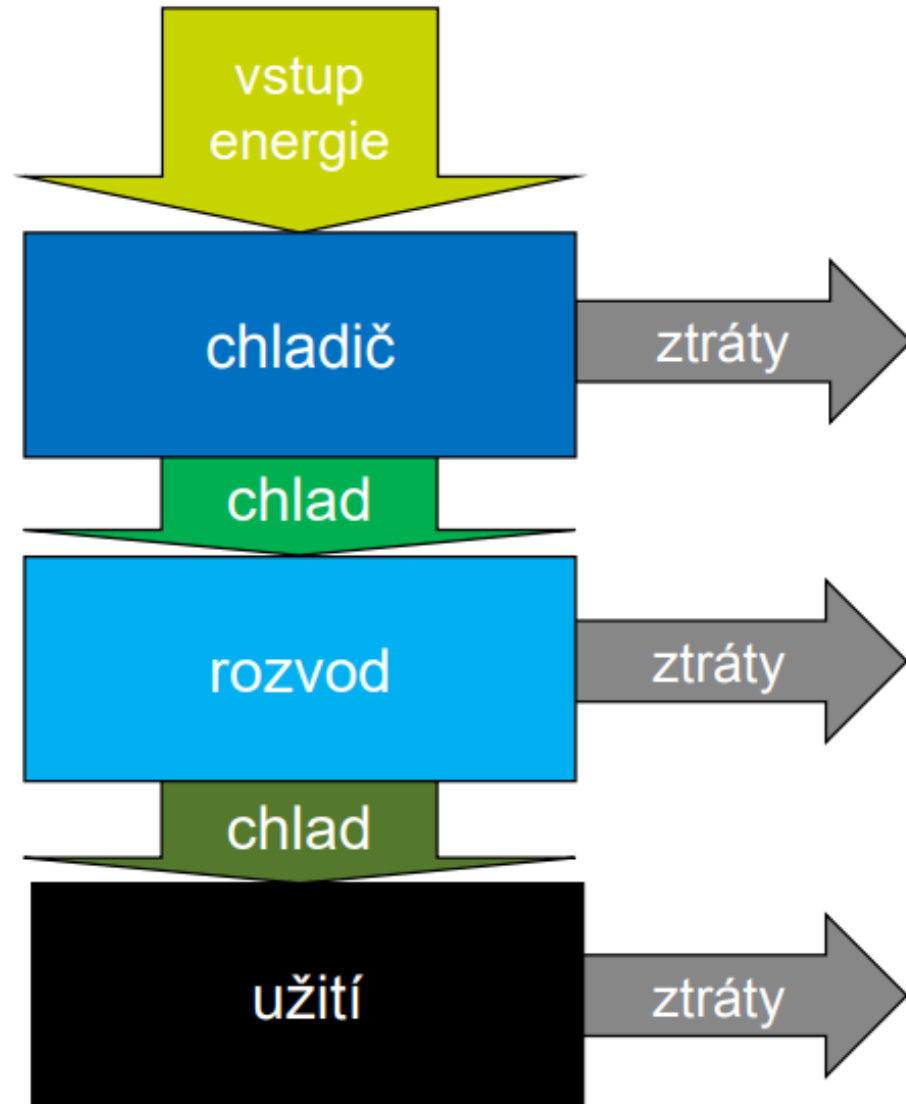


# PŘÍKLAD

STŘEŠNÍ PRVKY	odpor (m <sup>2</sup> K/W)
vnější povrch	0,04
krytina	0,06
paropropustná vrstva	0,02
kovové krytí	0
dutina	0,09
vnitřní povrch	0,1
celkový tepelný odpor	0,31

- známy podrobnosti konstrukce
- požadována hodnota  $U$ .
- jak silná má být přidaná izolace?
- požadováno  $U = 0,45 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- tepelný odpor  $R_1 = 1/U$
- celkový odpor střešních prvků  
 $R_2 = 0,31 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$
- tloušťka izolace  
 $d = \lambda \cdot (R_1 - R_2)$
- $\lambda$  je tepelná vodivost

# OPTIMALIZACE - CHLAZENÍ



- účinnost zařízení
- řízení optimalizace
- izolační ztráty
- optimalizace použití zařízení

# OPTIMALIZACE - KOTEL

