

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

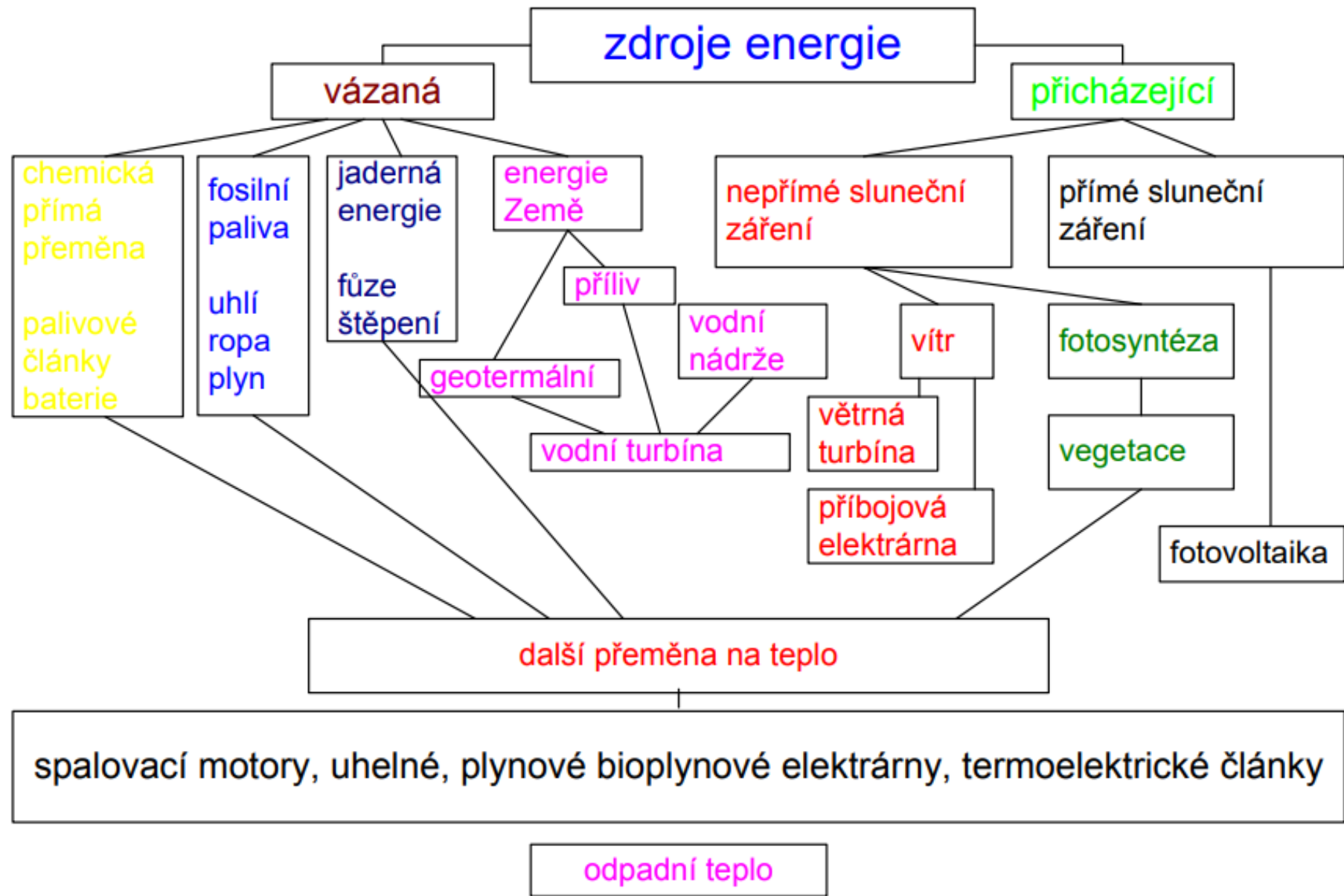
CO JE TO ENERGIE?

- **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**)

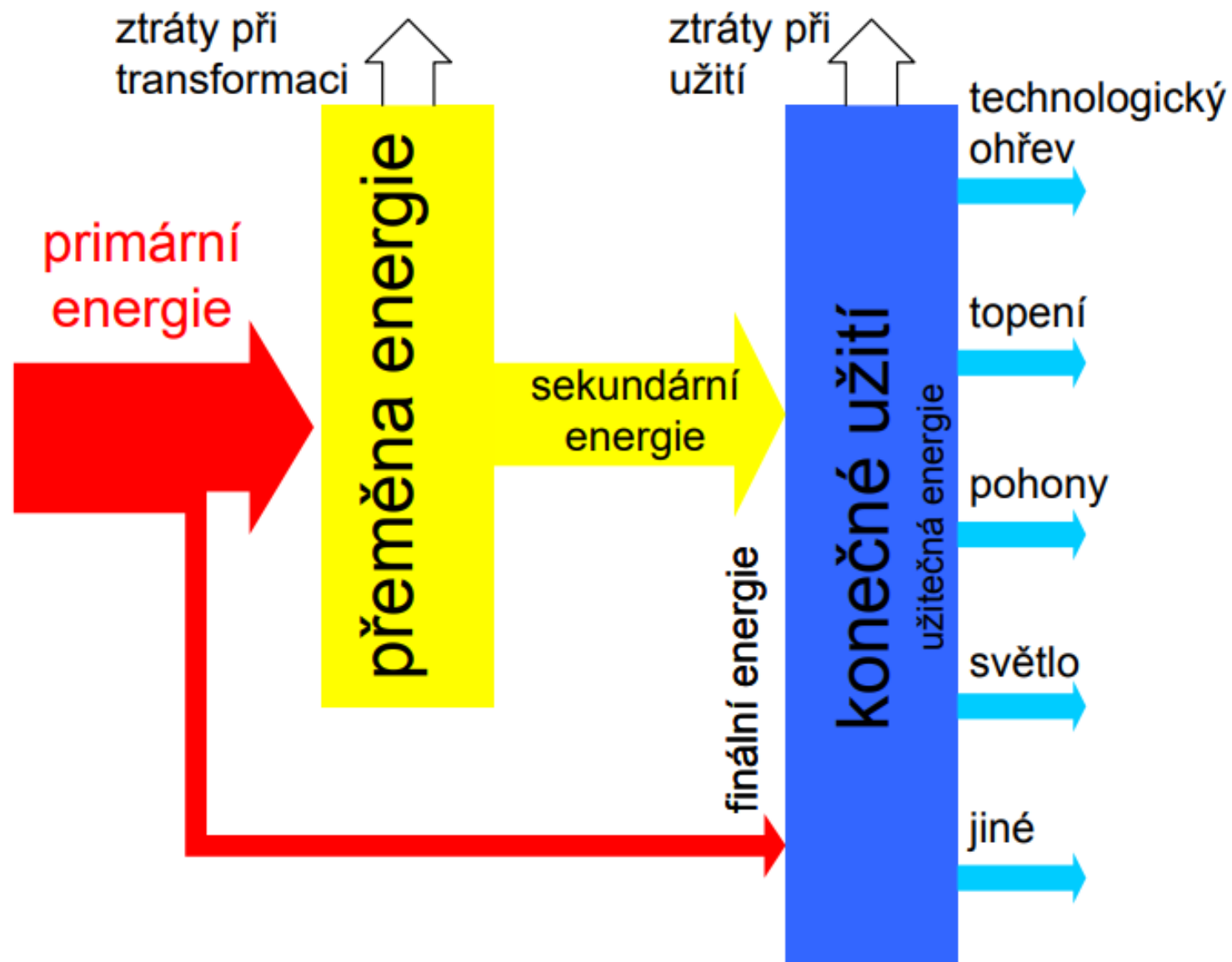
FORMY ENERGIE

- **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 ENERGIE KTERÁ VYCHÁZÍ ZE SÍLY ZPŮSOBUJÍCÍ POHYB

JEDNOTKY:

BTU - British thermal unit:

- množství tepla potřebné k ohřátí jedné libry vody o 1°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**

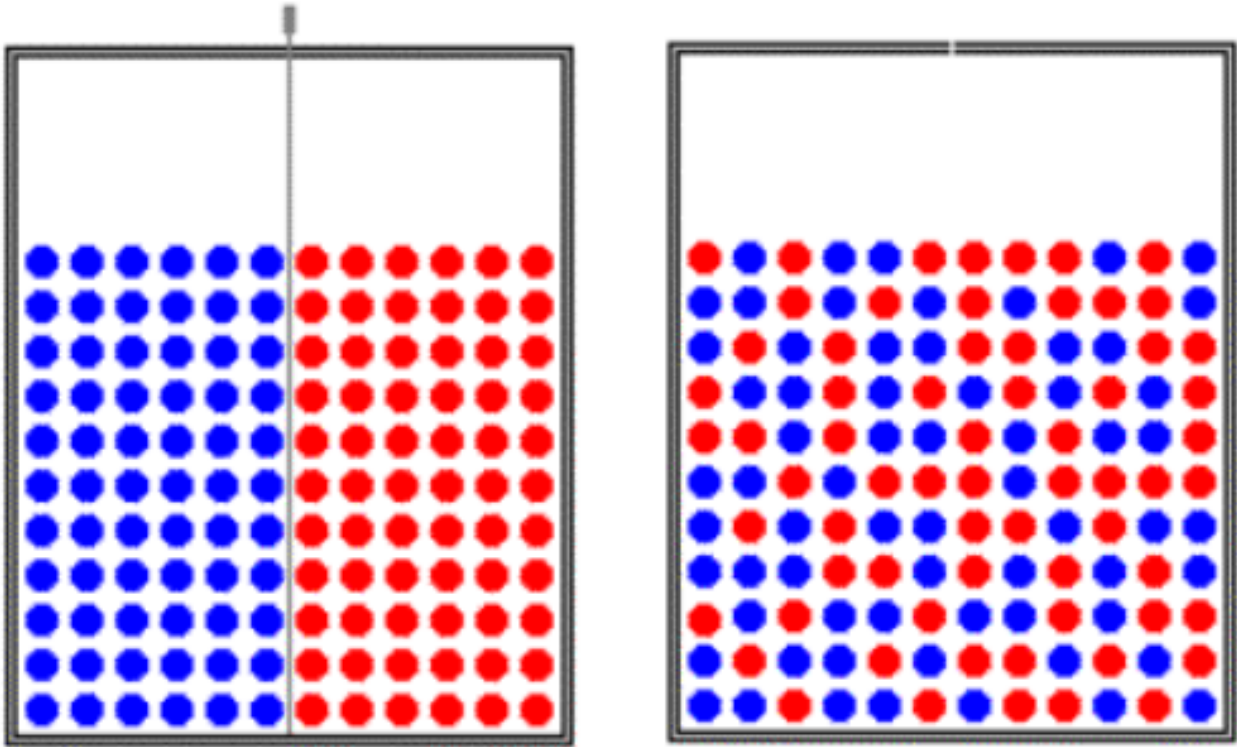
TŘETÍ TERMODYNAMICKÝ ZÁKON

- **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 stacks 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

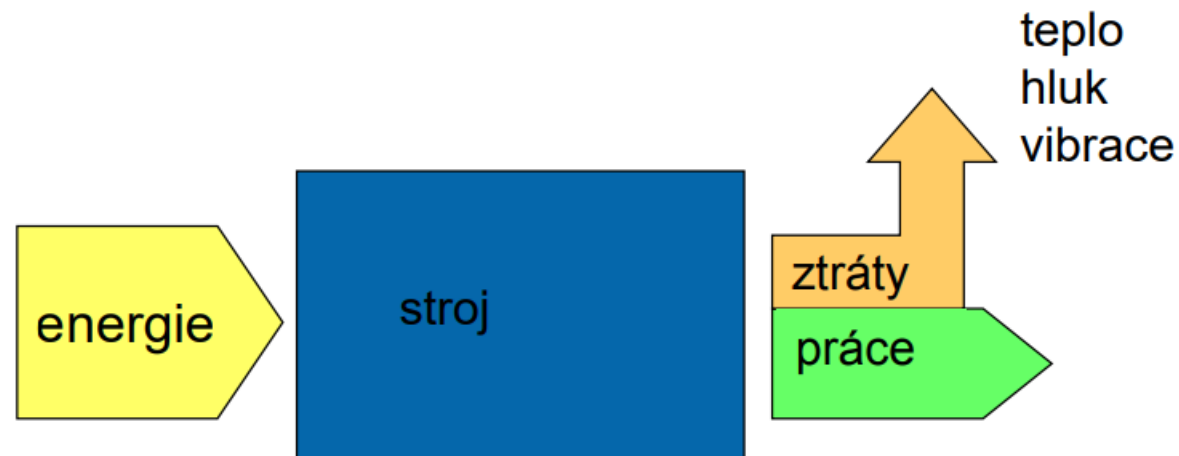
- $1 \text{ Newton} * 1 \text{ metr} = 1 \text{ Joule}$

TRANSFORMACE ENERGIE A ÚČINNOST

účinnost

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

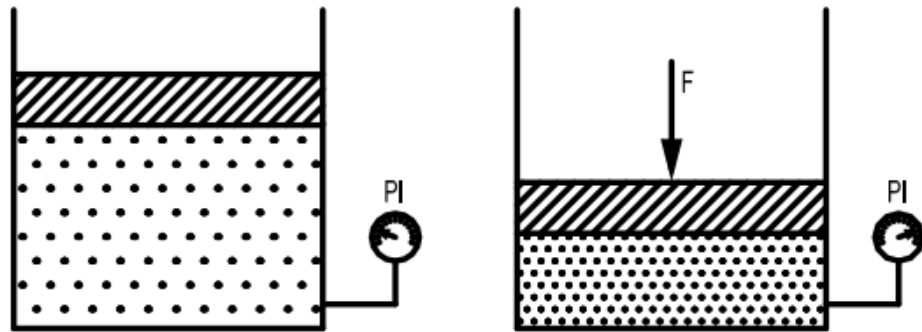
- účinnost je reálně vždy menší než 100 %



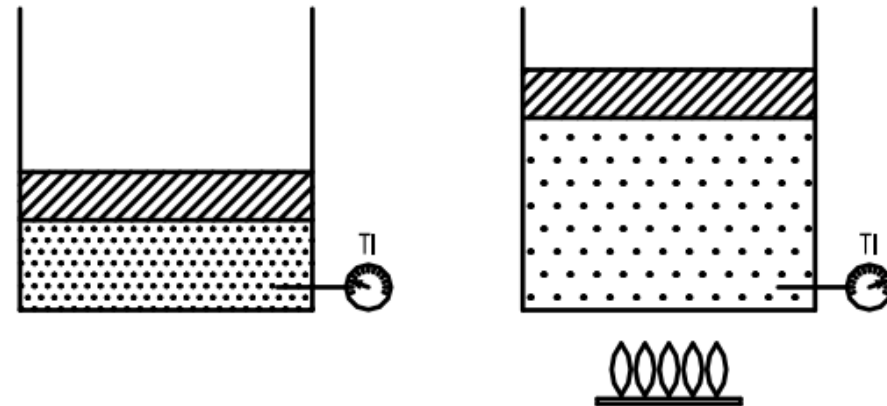
STAVOVÁ ROVNICE IDEÁLNÍHO PLYNU

$$pV = RnT$$

- p ... tlak [Pa]
- V ... objem [m³]
- T ... absolutní teplota [K]
- R ... plynová konstanta [J.K⁻¹.mol⁻¹]
- n ... látkové množství [mol]



stlačení – zvyšuje tlak (a teplotu)

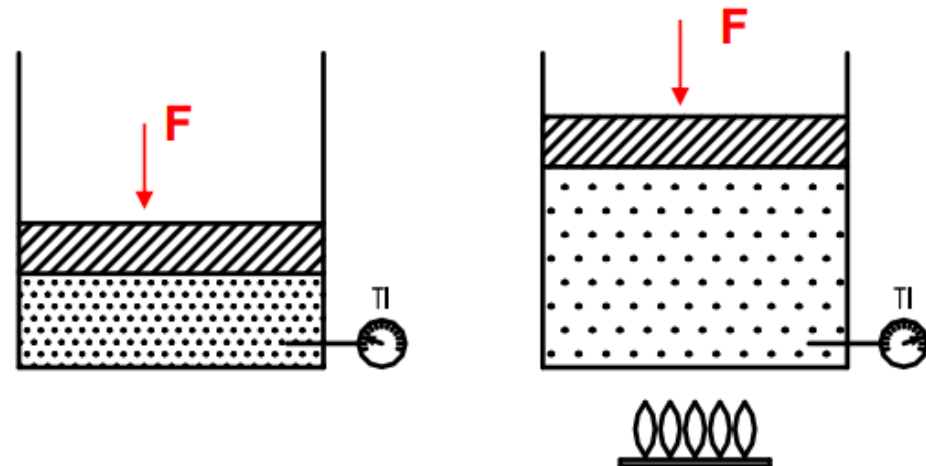


ohřátí – zvyšuje objem ($p = \text{konst.}$)

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 [m³]

V_m – objem plynu při pracovních podmínkách [m³]

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
- 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	kg/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 CO₂

palivo	výhřevnost	spalné teplo	max. emise CO ₂ (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 ³	9,76 kWh/m ³	0,200	0,182
zemní plyn typ H	10,42 kWh/m ³	11,27 kWh/m ³	0,200	0,182
svítiplyn	4,48 kWh/m ³	5,00 kWh/m ³	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 $4186 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
- pro 293 K a 1 kg
- $Q = 334\,720 \text{ J}$, tj. 334 kJ , tj. $334 \text{ kW}\cdot\text{s}$

potřebný čas pro vařič 1 kW

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

PŘÍKLAD 2

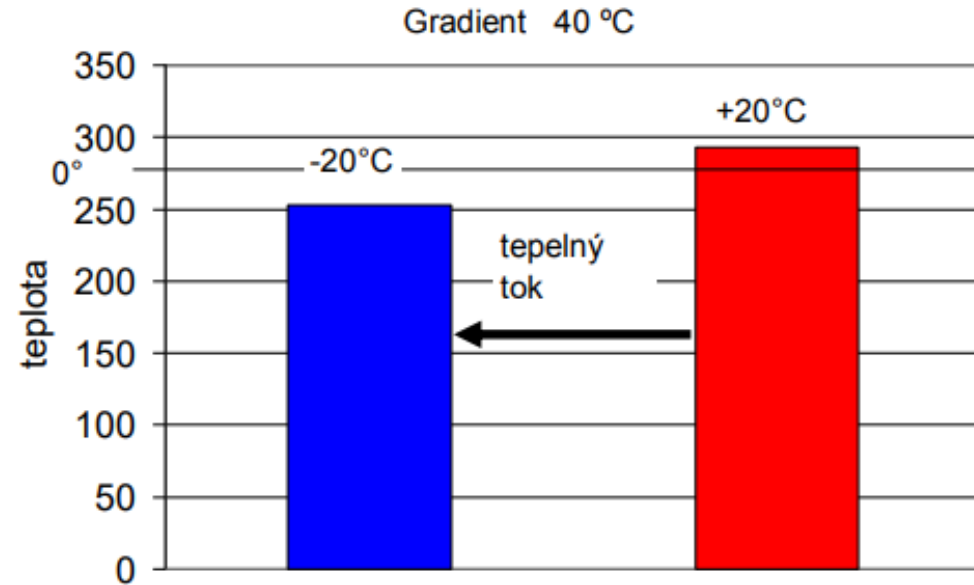
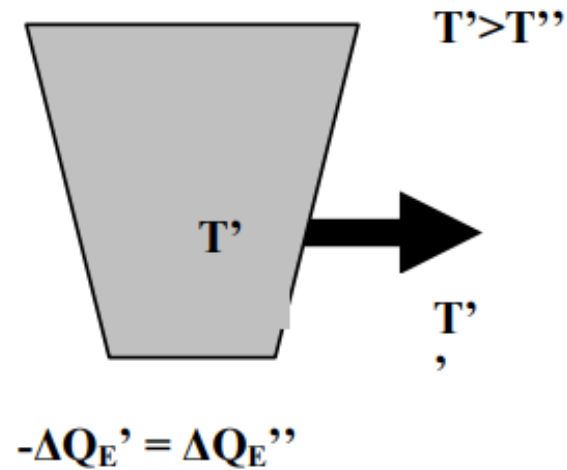
zvednutí 1 l vody

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

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

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

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

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

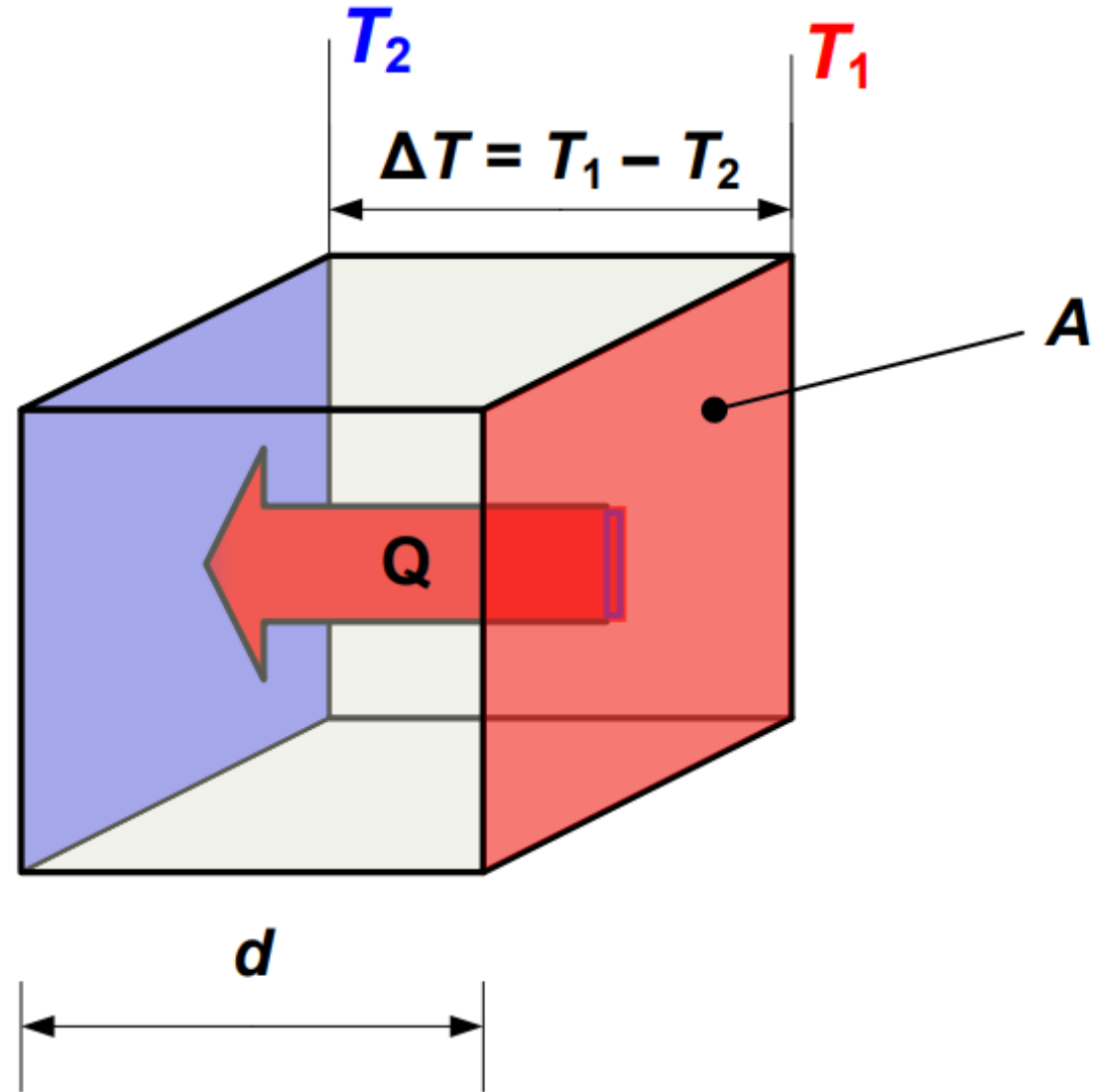
Q	množství tepla [J]	λ	tepelná vodivost [W/(m.K)]
A	plocha [m ²]	T	teplota [K]
d	tloušťka materiálu $d=x_1-x_2$ [m]		

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]

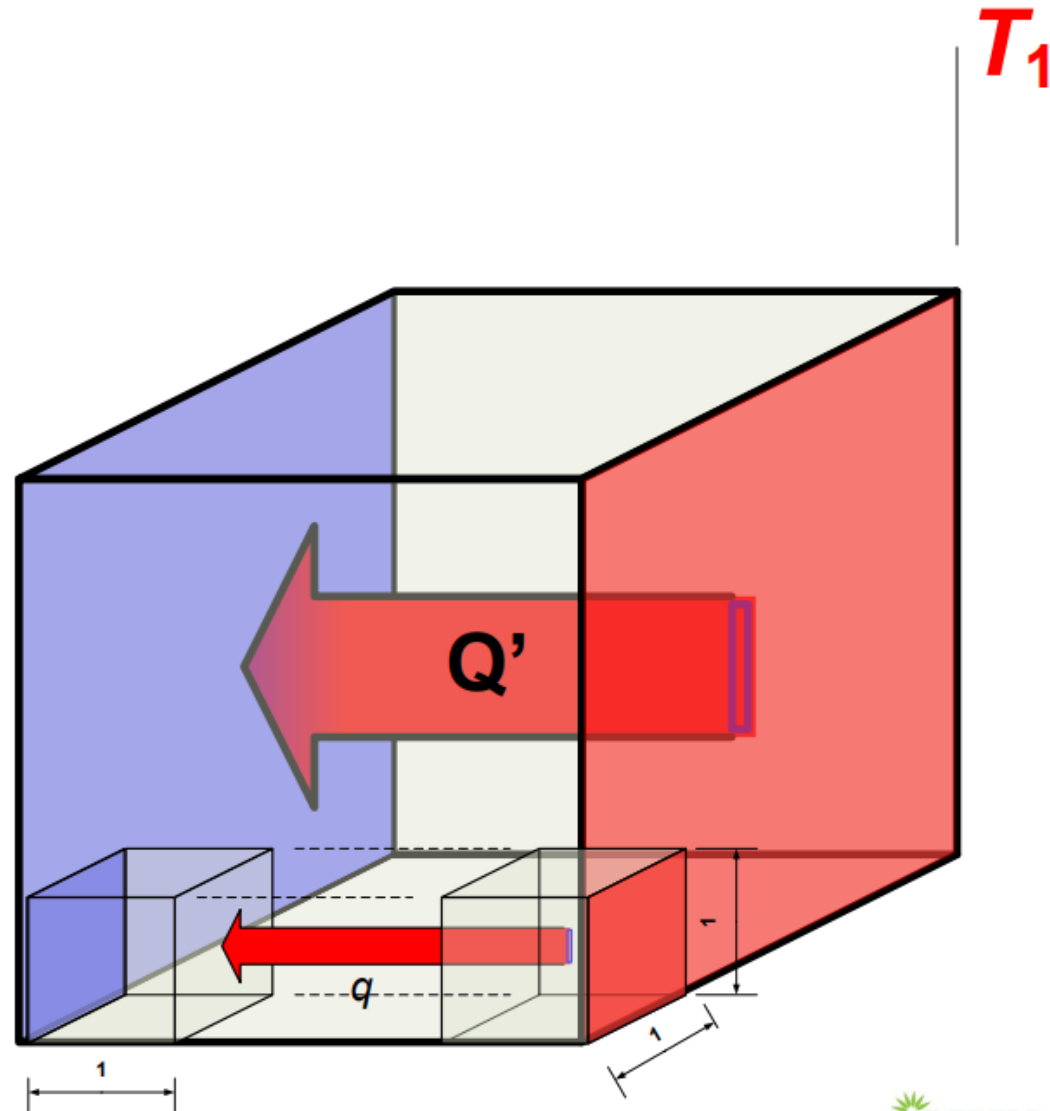


ZPŮSOBY PŘENOSU TEPLA – VEDENÍ (3)

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

q hustota tepelného toku
[J/m²s = W/m²]

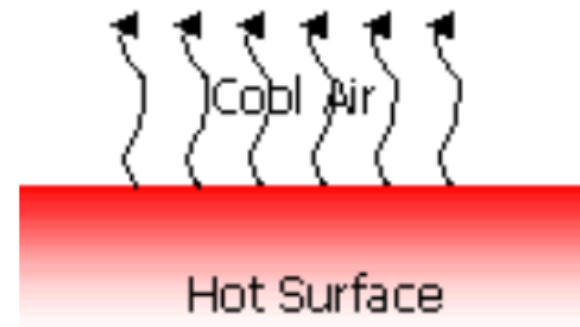
$(T_1 - T_2)/d$ teplotní gradient
[K/m]



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/(m².K)]

A plocha [m²]

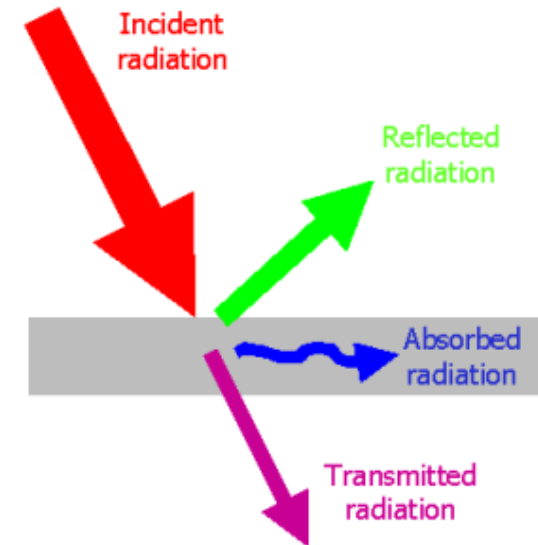
T teplota [K]

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

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

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

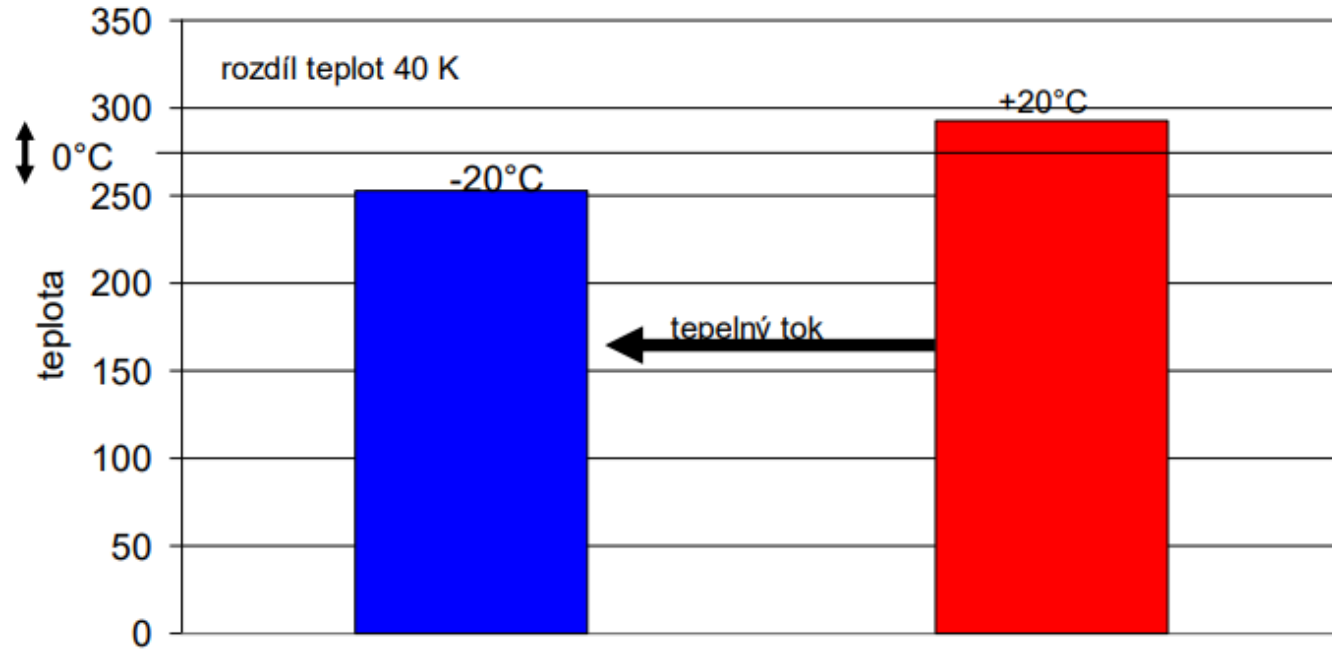
- ε emisivita [-]
- σ Stefan Boltzmannova konstanta [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-4}$]

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

ZTRATY IZOLACÍ

- tepelný tok = rozdíl teplot / tepelný odpor

příklad



tepelný tok zdi
 $q = \Delta T / R$ [W/m²]

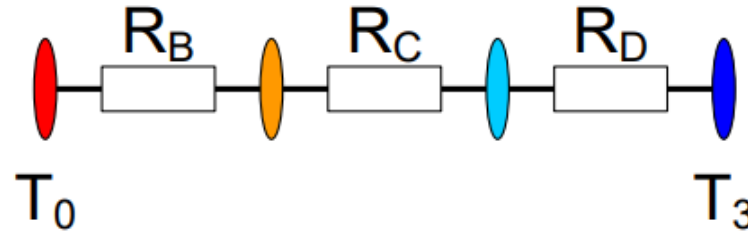
tepelný výkon
 $Q' = A \cdot q$ [W]

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

přestup tepla do vzduchu tepelný odpor zdi přestup tepla ze vzduchu

tepelný odpor zdi R (plošný) [m²K/W] = d [m] / λ [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 [m² K/W] odpor (plošný) vedení tepla
vyjadřuje pro daný materiál určité tloušťky schopnost
klást odpor tepelnému toku

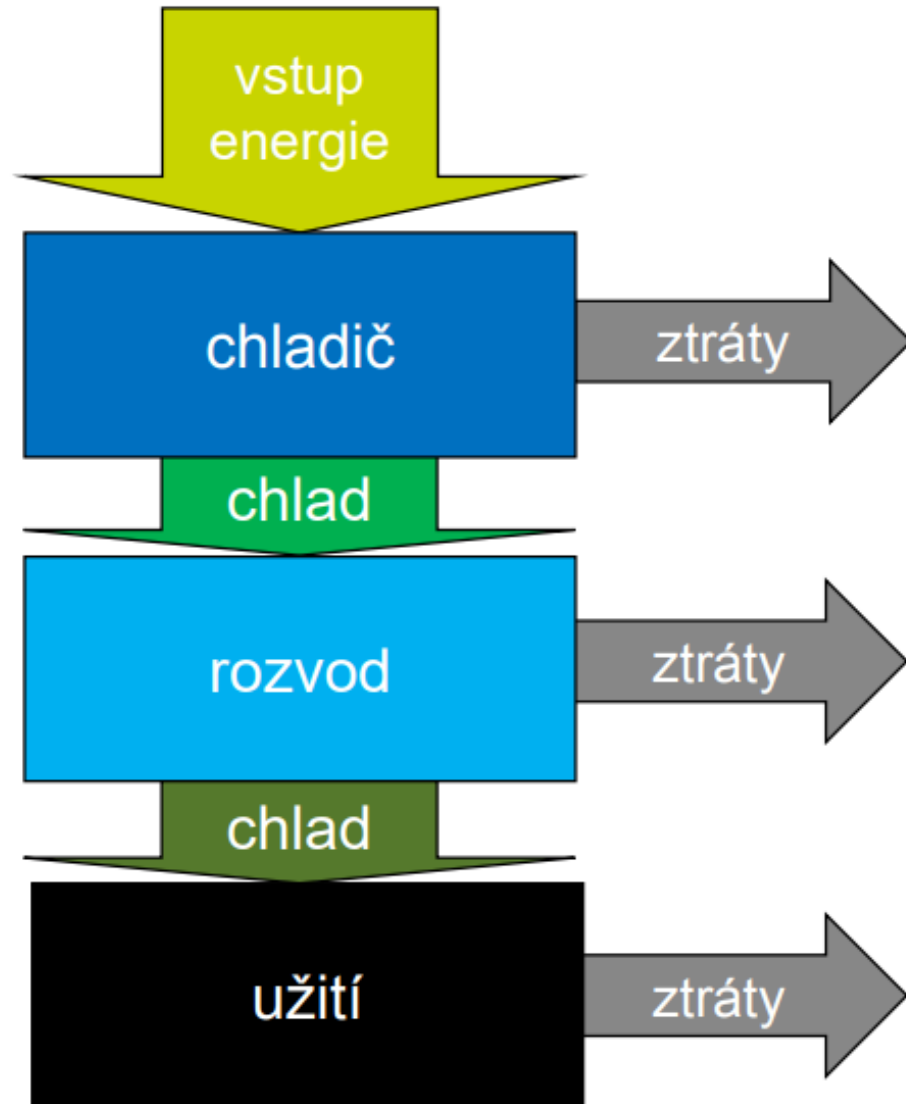
U [W/m² K] součinitel prostupu tepla
udává schopnost materiálu dané tloušťky vést teplo
(též plošná tepelná vodivost)

PŘÍKLAD

STŘEŠNÍ PRVKY	odpor (m ² 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
 $d = \lambda \cdot (R_1 - R_2)$
- λ je tepelná vodivost

OPTIMALIZACE - CHLAZENÍ



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

