

Termodynamika

15. První termodynamický zákon

Dodáme teplo $\Rightarrow$ energie $\Rightarrow$ znějí se energie
jednotlivých molekul $\Rightarrow$ znějí se teplota
látky

$$T \sim v_{sk}^2$$

$$v_{sk} \sim \sqrt{T}$$

Teplo je zveštní druh práce = energie

Přeměny této tepelné energie studují **termodynamika**

Termodynamika je vybudována na třech axiomatických
zákonech, které vyplývají ze zkušenosti

Zněšení teploty lze dosáhnout i vynaložením
určitého množství práce - např. třením.

$$\Delta Q_{dod} = \Delta E_k + \Delta W_{vyk}$$

To je I. termodynamický zákon
ITZ

Teplo dodané soustavě se pohybuje na změnu
vnitřní energie a na práci.

To je aplikace zákona zachování energie
na tepelný jev.

ITZ = nelze sestavit perpetuum 1. druhu

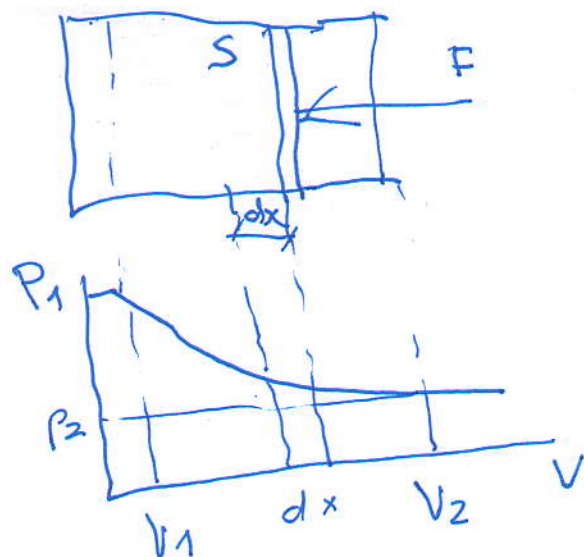
Minutník na konferenci v Loudu 1956

Termodynamika jednoduchých dějů

$$p = \frac{F}{S} \quad \left[\frac{N}{m^2} = Pa \right] \text{ pascal}$$

$$dW = F \cdot dx = p \cdot \underbrace{S \cdot dx}_{dV}$$

$$\boxed{dW = p \cdot dV} \quad \text{práce}$$



a) Izochorický děj

$$V = \text{konstanta} \Rightarrow dV = 0 = dW = 0$$

$$\Rightarrow dQ_{\text{dod}} = dE_v + dW$$

$dQ_{\text{dod}} = dE_v$ (všechna dodaná teplo se spotřebuje na zvýšení vnitřní energie)

b) Izotermický děj

$$T = \text{konstanta}$$

$$\Rightarrow \text{vnitřní energie se nemění } dE_v = 0$$

$$\Rightarrow \boxed{dQ_{\text{dod}} = dW}$$

Dodané teplo se všechno spotřebuje na vykonání práce

$$W = \int_{V_1}^{V_2} p dV = \int_{V_1}^{V_2} \frac{m}{M} \frac{RT}{V} dV = \frac{m}{M} R \cdot T \ln \frac{V_2}{V_1}$$

c) Izobarický $p = \text{konst}$

$$dQ_{\text{dod}} = dE_v + dW$$

Část dodaného tepla se spotřebuje na
zvýšení vnitřní energie a část na
vykonání práce.

$$W = \int_{V_1}^{V_2} p dV = p(V_2 - V_1)$$

16. mērvienība kalorijas

- 1, **Pirmā latība** mēri rosmīgi saskaņoti
zīmēšanai. Mērījums unāroval, ir
dodanē kalor nede pouze ke zņsēni vāitēi ekuq.

$$dQ_{\text{dod}} = dE_v$$

Dodāme-li tēzūju lāthām toliz mērvienībām,
zņsēni se jējēdi kalorij vāitēi

$$dQ_{\text{dod}} = K \cdot dT \quad K \left[\frac{\text{J}}{\text{K}} \right] \text{ kalorijas kapacitāte}$$

K - zārvēsi na - hmotuēdi tēces

— materiāls

— cārvēsi na oharviti kalorij

Tepluā kapacitāte vāitēni na 1 kg re
māzjvā

mērvienība kalorijas kapacitāte (mērvienība kalor)

$$c = \frac{K}{m} = \frac{dQ_{\text{dod}}}{m \cdot dT} \left[\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right]$$

mērvienība kalorijas kapacitāte zārvēsi

v tabulkaich

— na materiāls

— na skvepenti

— pēvēbud na oharviti kalorij

$$1 \text{ kcal} = 4186,8 \text{ J}$$

merenim na
konferenci
v Londyňi 1956

	$c / \frac{\text{kcal}}{\text{kg K}}$
voda	1
olej	0,47
hlinik	0,21
kremit	0,17
med'	0,09
želero	0,11

2, u plynu vzdušné

C_V — měrné teplo při konstantním objemu

$C_p - \text{---} k \text{---} k \text{---}$ Heater

Celková vnitřní energie jednotlivého molekula

$$E_{v1} = \frac{1}{2} RT$$

Obecní množství a vlastnosti

$$E_v = \frac{m}{M} \cdot \frac{1}{2} RT$$

Isochorisch $V = \text{const.}$

se vřechu dodan' teplota plynu
zvýšit vnitřní energii plynu
m i p d T

$$\Delta Q_{\text{des}} = dE_v = \frac{m}{M} \cdot \frac{1}{2} R dT$$

$$C_V = \frac{1}{m} \frac{dQ_{\text{diss}}}{dT} \Big|_{V = \text{const}}$$

$$C_V = \frac{1}{\cancel{m}} \frac{\cancel{m}}{m} \frac{i}{2} R \cdot \cancel{dT} \cdot \frac{1}{dT}$$

$$e_v = \frac{1}{2} \frac{R}{M}$$

Izobarični dej $p = \text{konst}$

dQ_{dod} $\rightarrow$ zvišeni notranji energiji
 $\rightarrow$ na uykvanji prae

$$dQ_{\text{dod}} = dE_v + dW$$

Starova rovnice

$$p = \frac{dV}{dT} = \frac{m}{M} R$$

$$dW = p dV = \frac{m}{M} \cdot R \cdot dT$$

$$dE_v = \frac{m}{M} \cdot \frac{i}{2} R dT$$

$$dQ_{\text{dod}} = \frac{m}{M} \cdot \frac{i}{2} R dT + \frac{m}{M} R dT$$

$$c_p = \frac{1}{m} \cdot \frac{dQ_{\text{dod}}}{dT} \Big|_{p=\text{konst}}$$

$$c_p = \frac{1}{m} \cdot \frac{m}{M} \frac{R dT}{dT} \left(\frac{i}{2} + 1 \right)$$

$$c_p = \frac{R}{M} \left(\frac{i}{2} + 1 \right)$$

Tepelna kapacita vzklana na
jednu mol se naziva **molar** **kapka** c .

$$C = M \cdot c \left[\frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \right]$$

C - molná tepota

že tepelná kapacita vztažená na jednotku mol.

$$C = M \cdot c \left[\frac{\text{J}}{\text{mol K}} \right]$$

u plynu

$$C_V = \frac{i}{2} R$$

$$C_P = \left(\frac{i}{2} + 1 \right) R$$

Pouzívame

$$\frac{C_P}{C_V} = \gamma = \frac{i+2}{i}$$

γ - Poissonova konštanta

$$\gamma = 1,33 \text{ — } 1,66$$

$$i = \begin{cases} 3 = 1,66 \\ 5 = 1,33 \end{cases}$$

17. adiabatici a polytropici ději

$$dQ_{\text{dod}} = dE_v + dW$$

a, ději při nichž dochází k výměně tepla
s okolím (izochorici, izobarici, izotermici)

b, ději při nichž nedochází k výměně tepla
s okolím (- drbanci izolace
- velmi rychlé děje (k výměně
nedochází))

b = **adiabatici** $\Delta Q_{\text{dod}} = 0$

$0 = dE_v + dW$

$$0 = \frac{m}{M} \cdot \frac{1}{2} R dT + p dV$$

$$\Rightarrow p dV = - \frac{m}{M} \cdot \frac{1}{2} R dT$$

Stavová rovnice $pV = \frac{m}{M} \cdot RT$

Vydělíme

$$\frac{dV}{V} = - \frac{1}{2} \frac{dT}{T}$$

Integraci

$$\ln V = - \frac{1}{2} \ln T + \text{konst}$$

$$VT^{\frac{1}{2}} = \text{konst}$$

$$\text{ale } \frac{1}{2} = \frac{1}{\gamma - 1}$$

→ **$pV^{\gamma} = \text{konst}$**

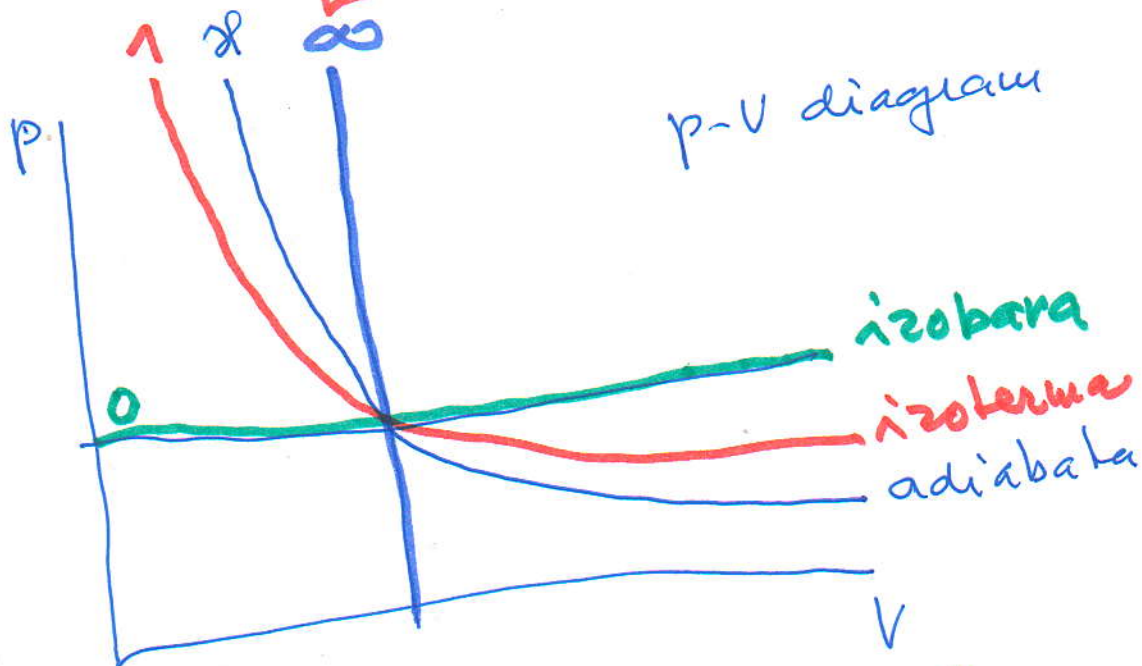
Poissonova rovnice

$$pV^\gamma = \text{const}$$

Poissonova rovnice

Bez výměny tepla s okolím.

Obecně $pV^n = \text{const.}$ Polytropická děje



$n = \gamma$ - adiabata

$n = 1$ - izoterma

$n = 0$ - izobara

$n = \infty$ - izochora

$$pV^\gamma = \text{const.}$$

$$pV = \text{const}$$

$$p = \text{const}$$

$$V = \text{const}$$

Kalorimetrická rovnice

Máme-li dvě tělesa mající různou teplotu T_1 a T_2 v dostatečně dlouhém tepelném styku, (izolovaně od okolí) dojde k vyrovnání teplot. Teplejší těleso odevzdá teplo dQ_1 chladnější přijme teplo dQ_2

$$dQ_1 = dQ_2$$

Zák. zach.
energie

$$c_1 m_1 (T_1 - T) = c_2 m_2 (T - T_2)$$

Kalorimetrická rovnice

Voda

m_3	$c_3 = 2010 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$
100°C	$l_v = 2260000 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$
t_v	$c_2 = 4186 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$
0°C	$l_f = 335000 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$
m_1	$c_1 = 2100 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$

smícháme m_3 kg páry teple t_3 a $t_3 = 130^\circ\text{C}$
 ledem m_1 kg teple $t_1 = -10^\circ\text{C}$.

$$m_1 c_1 (t_0 - t_{10}) + l_f \cdot m_1 + m_1 c_2 (t_v - t_0) =$$

$$= m_3 c_3 (t_{130} - t_{100}) + l_v \cdot m_3 + m_3 c_2 (t_{100} - t_v)$$

18. Druhý termodynamický zákon

1) Děj, který probíhá tak, že soustava se nachází v každém okamžiku v rovnovážném stavu se nazývá
matný (reversibilní)

2) Rovnovážný stav $\equiv$ všechny parametry charakterizující tento stav (teplota, tlak, objem) závisí pouze na působení vnějších sil nezávisle na všech částech soustavy nejvíce pro neomezenou dobu.

Vratné děje mohou probíhat oběma směry.



Kruhový, cyklický děj

I → II

Expanze

Během této etapy přijme soustava teplo Q_1 z venčí, klesá se spotřebovává na zvýšení vnitřní energie dE_1 a na vykonání práce dW_1 .

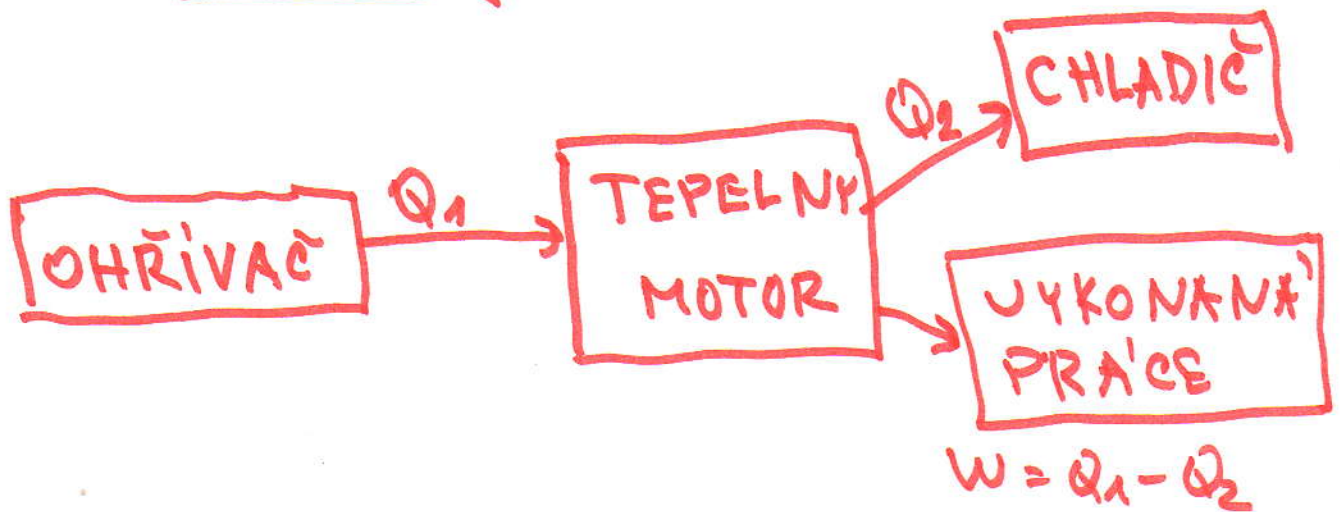
II → I

Kompresi

Soustava odevzdává teplo okolí dQ_2 , klesá se ztrácí na níže potlesu vnitřní energii $-dE_2$ a vykonávání práce $-dW_2$.

$$Q_1 - Q_2 = dE_1 - dE_2 + dW_1 - dW_2$$

Tepelný motor



Jedliži cyklus opakováno, soustava pracuje jako **tepelný motor**.

účinnost termodynamického cyklu

$$\eta = \frac{\text{vykonaná práce}}{\text{dodaný teplo}} = \frac{W}{Q_1}$$

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

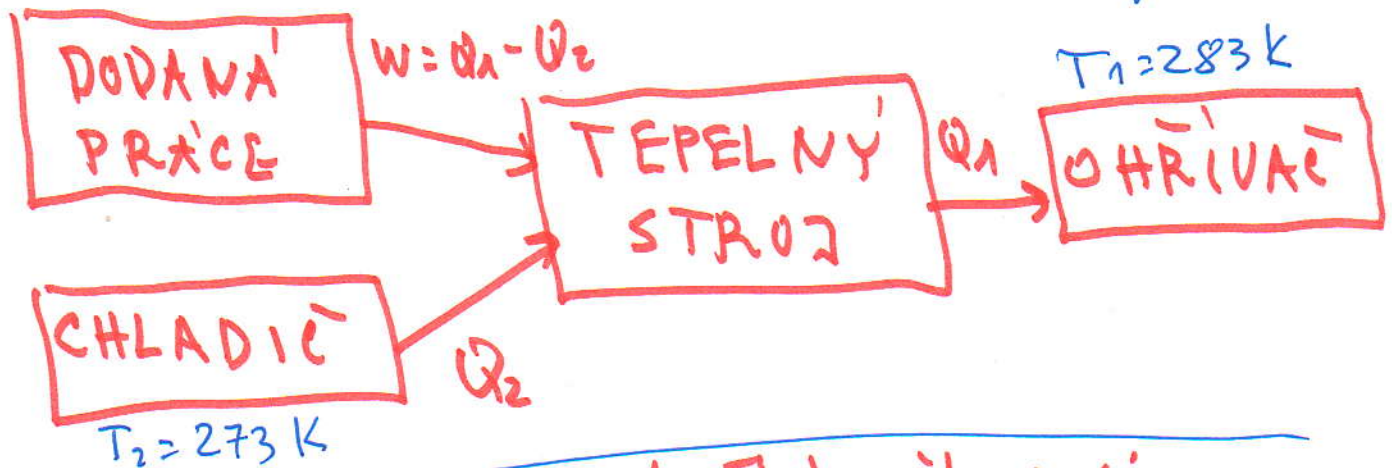
Kdyby přecházelo teplo Q_1 přeměnilo se v práci W , dosáhl by motor 100% účinnosti a navíc by nepotřeboval chladič. $\equiv$ **perpetua druhé druhu**

II. TZ $\equiv$ nelze sestavit perpetua druhé druhu. (stejně by šlo odebrat teplo a konat práci)

Odebrané teplo má $0,01^\circ\text{C} \Rightarrow$ nikdy nepojí na zemi 2000 let.

Chladicí zařízení

Stroj, který pracuje v opačném směru.
Práce se spotřebovává na přenosu tepla
z chladnějšího tělesa (které toto těleso
ještě více ochlazuje.) na teplejší.



ϵ - účinnost chladu = číslo výkonnosti
chladicího zařízení

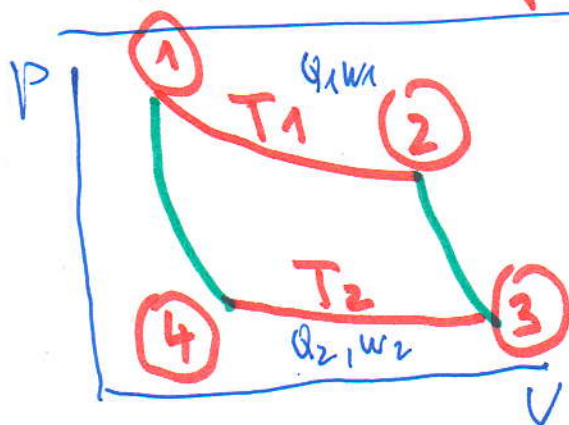
$$\epsilon = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2} = \frac{T_2}{T_1 - T_2} = \frac{273 \text{ K}}{283 \text{ K} - 273 \text{ K}} = \underline{\underline{27,3}}$$

udává množství tepla, které zařízení odejme
chladnějším tělesu vynaloženou jednotkou
mechanické energie z vnějšího zdroje.

Tepelní motory

Tepelní motory $\equiv$ stroj, ve kterém se podle
II. T2 přeměňuje tepelná
energie v mechanickou práci
(parní lokomotiva)

nejvyšší účinnost dosahují tepelné motory,
jež mají pracovní cyklus se podobá
Carnotovu cyklu.



Izotermické $P_1 V_1 = P_2 V_2 = P_3 V_3 = P_4 V_4$

adiabatické $P_2 V_2^\gamma = P_3 V_3^\gamma$
 $P_4 V_4^\gamma = P_1 V_1^\gamma$

Izotermické děj $1 \rightarrow 2$: Soustava přijímá teplo Q_1
a koná práci W_1

adiabatické děj $2 \rightarrow 3$: Soustava teplo z nížšího nepřijímá,
ale koná práci W_2

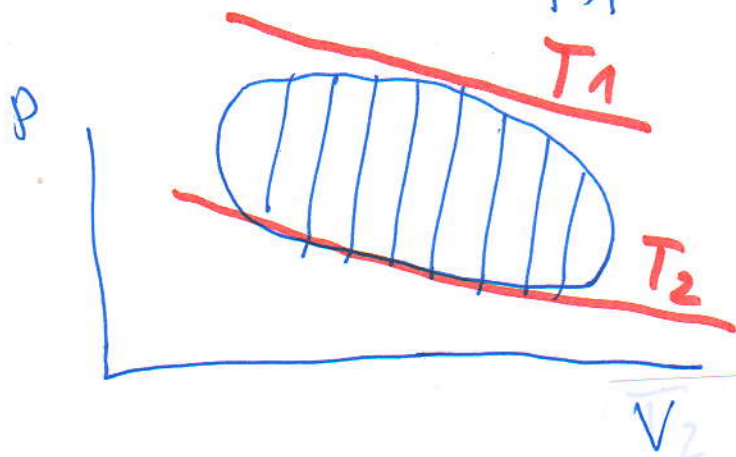
Izotermické děj $3 \rightarrow 4$: Soustava odvádí teplo Q_2
a spotřebovává práci W_3

adiabatické děj $4 \rightarrow 1$: Soustava teplo nepřijímá, ale
spotřebovává práci W_4

Celková vykonaná práca $W = W_1 - W_3 = Q_1 - Q_3$

účinnosť

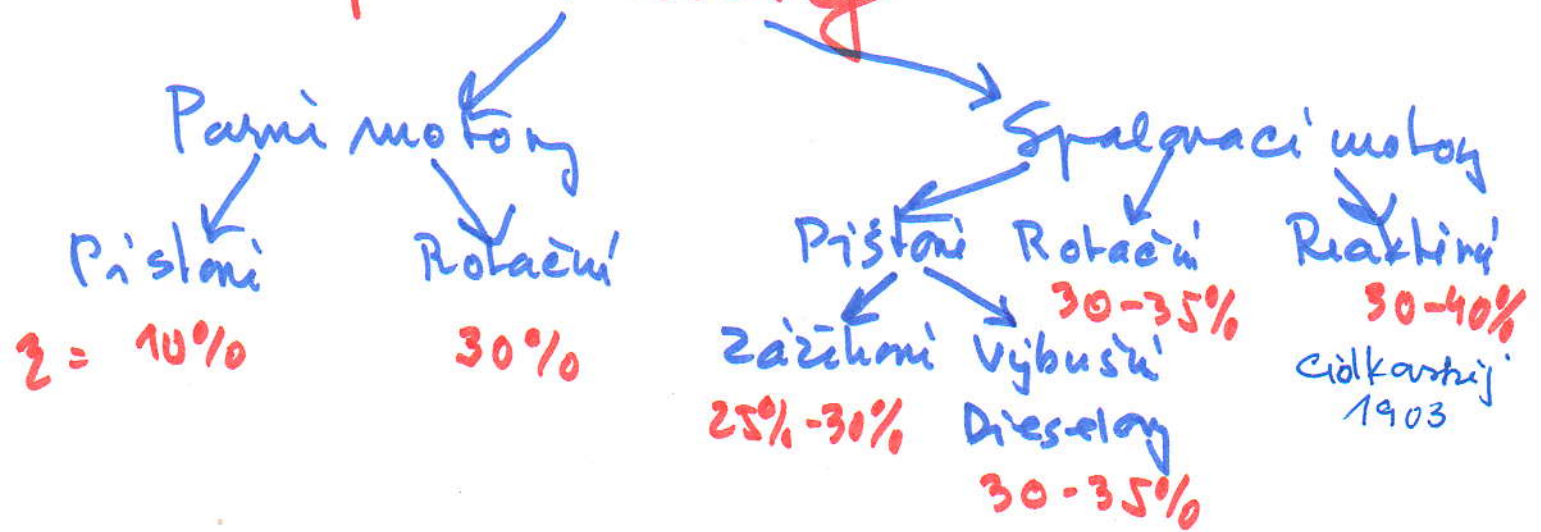
$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$



Libovolný kruhový dej sa môže na dostatočne veľký počet Carnotovych cyklov v tečle cyklov ísť ležby vesmír medzi T_1 a T_2 . $\Rightarrow$ účinnosť tečle stroja je rovná účinnosti Carnotových cyklov.

Ze všetkých cyklových dejí, pracujúcich medzi krajnými teplotami T_1 a T_2 má Carnotov cyklus najvyššiu účinnosť.

Teplu' motory



Rota'ni = Waukelin motor

