



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

FYZIKA PRO II. ROČNÍK GYMNÁZIA

4. KRUHOVÝ DĚJ

Mgr. Monika Bouchalová

Gymnázium, Havířov-Město, Komenského 2, p.o.

Tato prezentace vznikla na základě řešení projektu OPVK, registrační číslo: CZ.1.07/1.1.24/01.0114
s názvem

„PODPORA CHEMICKÉHO A FYZIKÁLNÍHO VZDĚLÁVÁNÍ NA GYMNÁZIU KOMENSKÉHO V HAVÍŘOVĚ“

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

- 1) práce vykonaná plynem
při stálém a proměnném tlaku
- 2) kruhový děj
- 3) druhý termodynamický zákon
- 4) tepelné motory

4. 1. PRÁCE PLYNU PŘI STÁLÉM TLAKU

- při expanzi koná práci plyn ($\Delta V > 0$)
- při kompresi konají práci vnější síly ($\Delta V < 0$)

Práce plynu při konstantním tlaku:

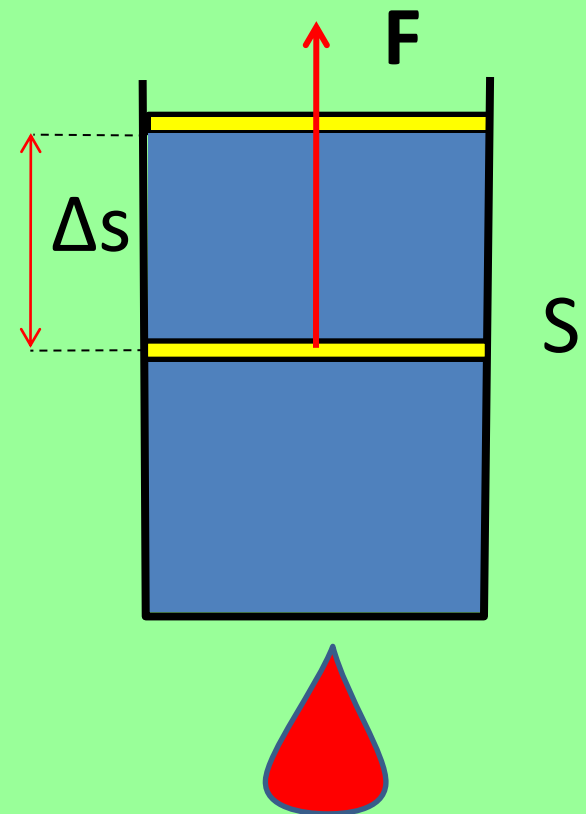
Př.: Plyn uzavřený v nádobě s pohyblivým pístem.

- tlaková síla $F = p \cdot S$

- práce vykonaná plynem

$$W' = F \cdot \Delta s = p \cdot S \cdot \Delta s$$

$$W' = p \cdot \Delta V$$



4. 1. PRÁCE PLYNU PŘI STÁLÉM TLAKU

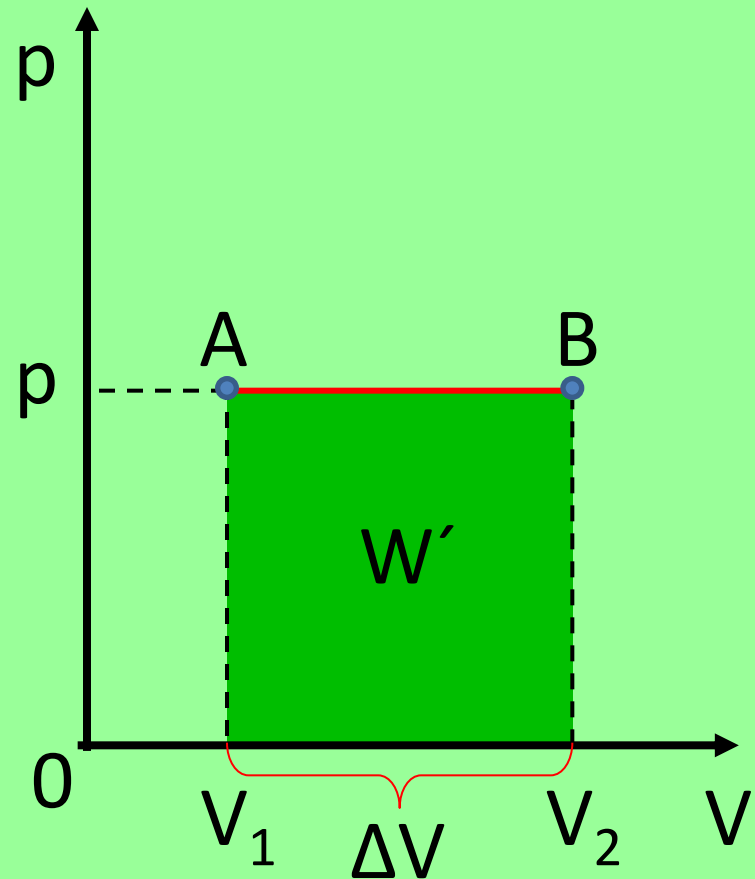
Práce vykonaná plynem při izobarickém ději
je rovna součinu
tlaku plynu a přírůstku jeho objemu.

$$W' = p \cdot \Delta V$$
$$\Delta V = V_2 - V_1$$

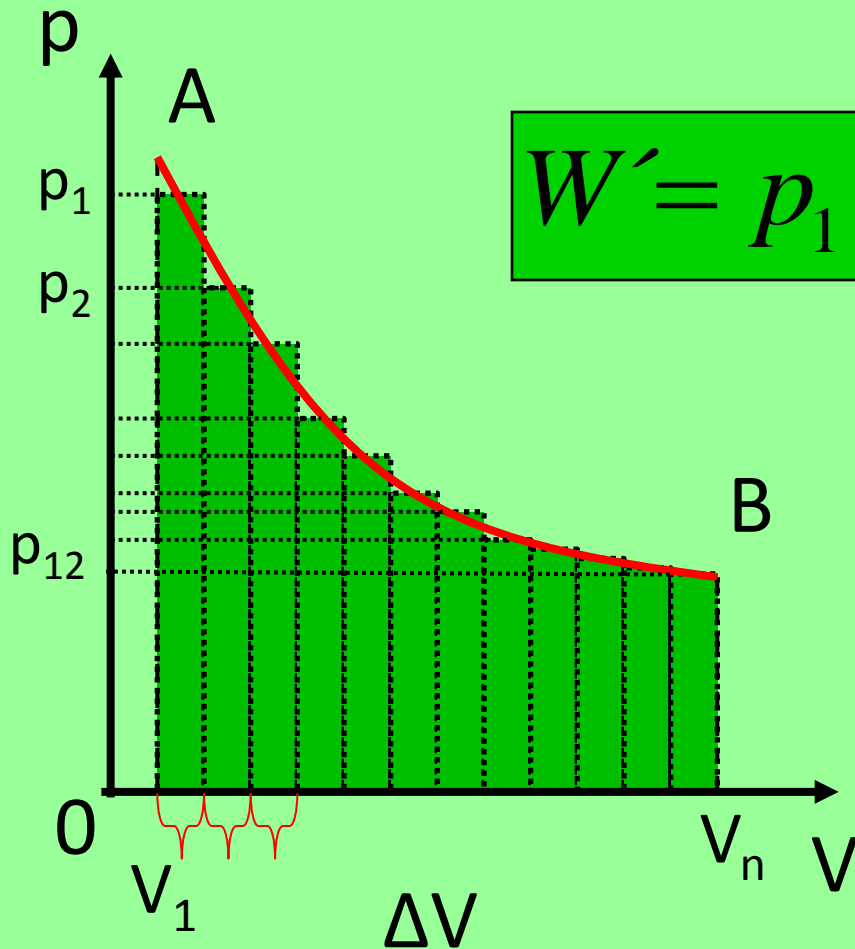
4. 1. PRÁCE PLYNU PŘI STÁLÉM TLAKU

**Práce plynu
vyjádřená graficky:
(pracovní diagram)**

Práce plynu vykonaná při izobarickém ději, při němž přejde plyn ze stavu A do stavu B, je znázorněna obsahem plochy ležící pod izobarou.

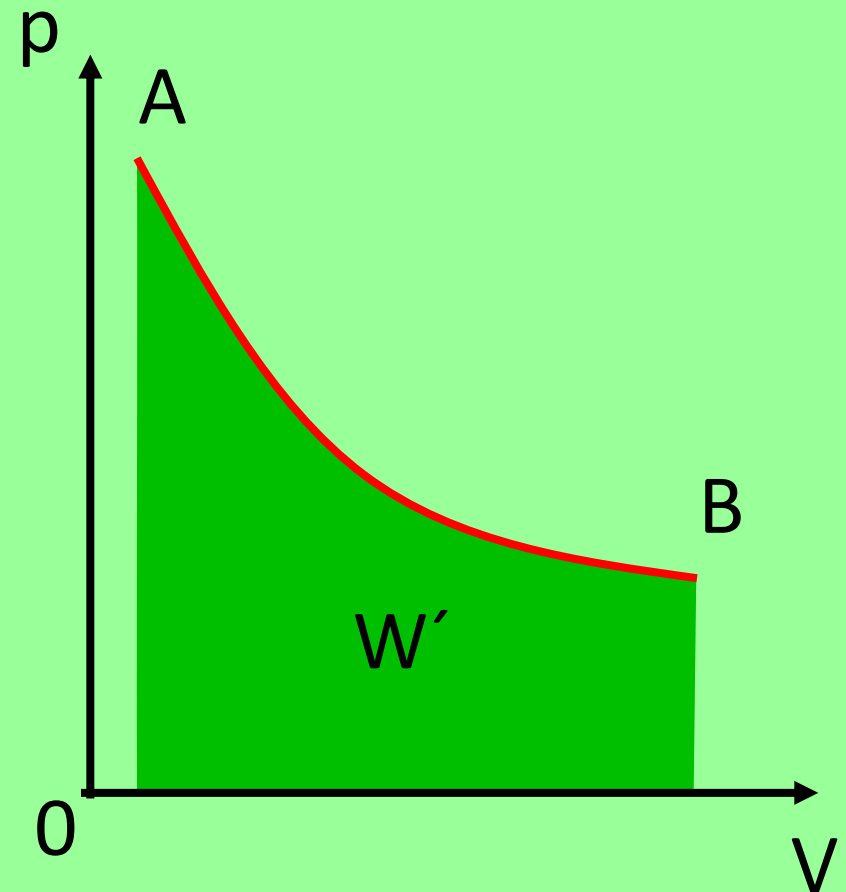
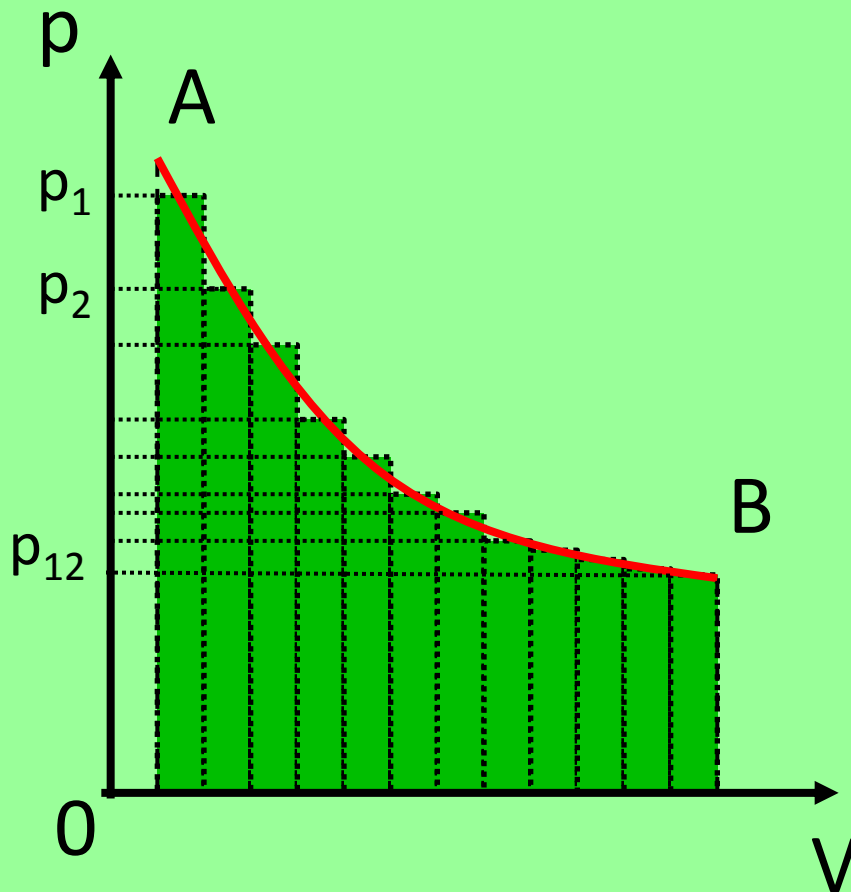


4. 1. PRÁCE PLYNU PŘI PROMĚNNÉM TLAKU



$$W' = p_1 \cdot \Delta V + \dots + p_n \cdot \Delta V$$

4. 1. PRÁCE PLYNU PŘI PROMĚNNÉM TLAKU



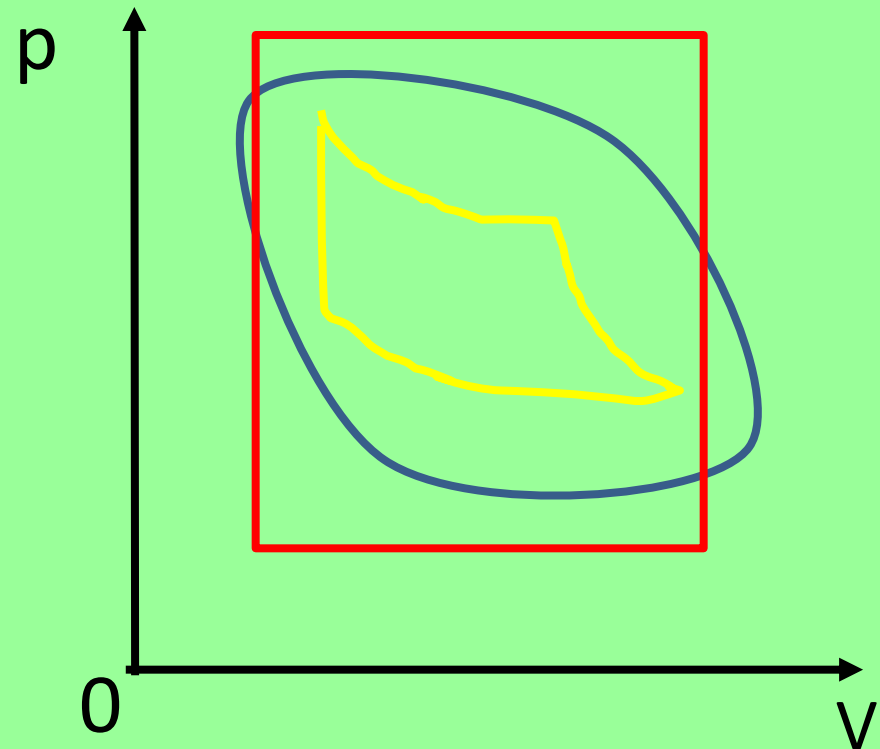
Práce vykonaná plynem při zvětšení jeho objemu je v p-V diagramu znázorněna obsahem plochy, která leží pod příslušným úsekem křivky $p = f(V)$.

4. 2. KRUHOVÝ (CYKlickÝ) DĚJ

je termodynamický děj, při kterém pracovní látka

- koná práci
- a vrací se do výchozího stavu.

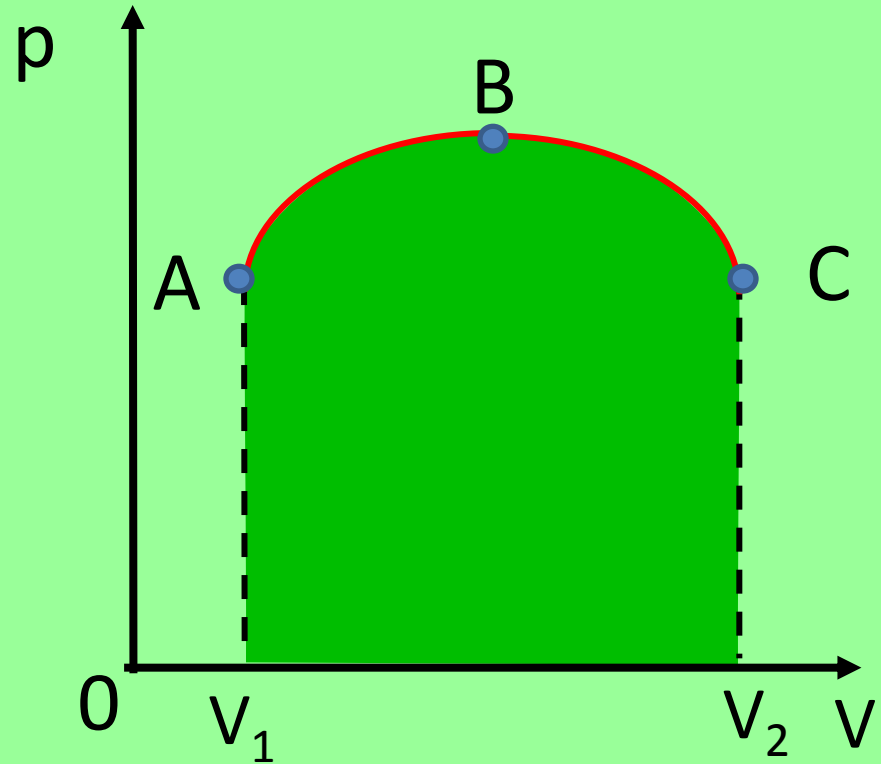
V p-V diagramu
je znázorněn
uzavřenou křivkou.



4. 2. KRUHOVÝ (CYKlickÝ) DĚJ

expanze $A \rightarrow B \rightarrow C$

- plocha V_1ABCV_2
(práce vykonaná
plynem při expanzi)



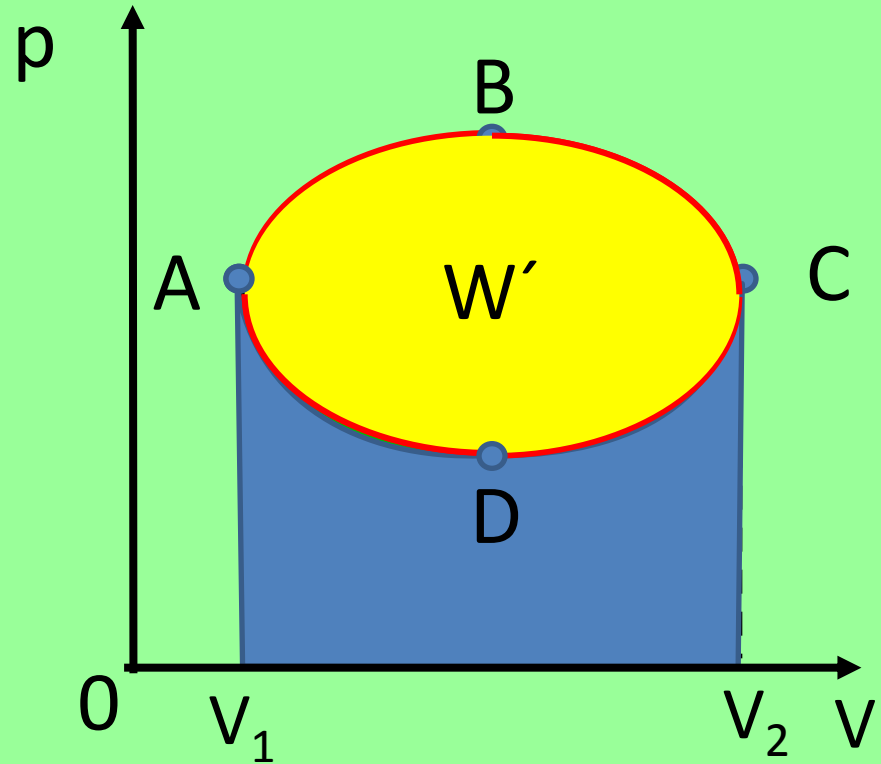
4. 2. KRUHOVÝ DĚJ

expanze $A \rightarrow B \rightarrow C$

- plocha V_1ABCV_2
(práce vykonaná
plynem při expanzi)

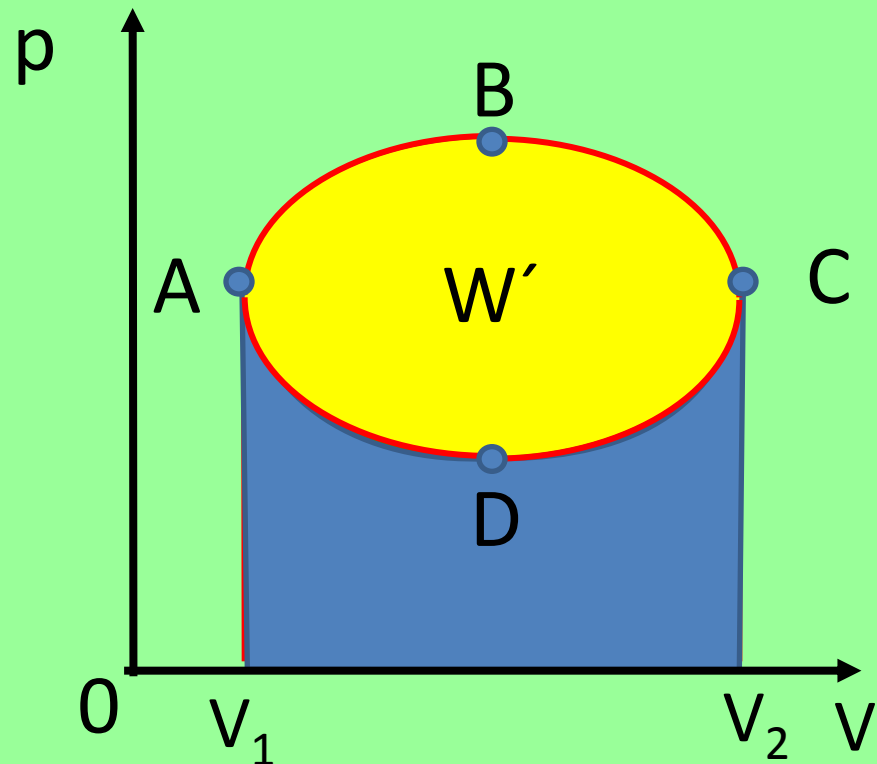
kompresi $C \rightarrow D \rightarrow A$

- plocha V_1ADCV_2
(práce vykonaná
okolními tělesy)



4. 2. KRUHOVÝ DĚJ

Obsah plochy uvnitř křivky znázorňuje užitečnou práci vykonanou plynem.



Celková změna VE pracovní látky po ukončení jednoho cyklu je nulová.

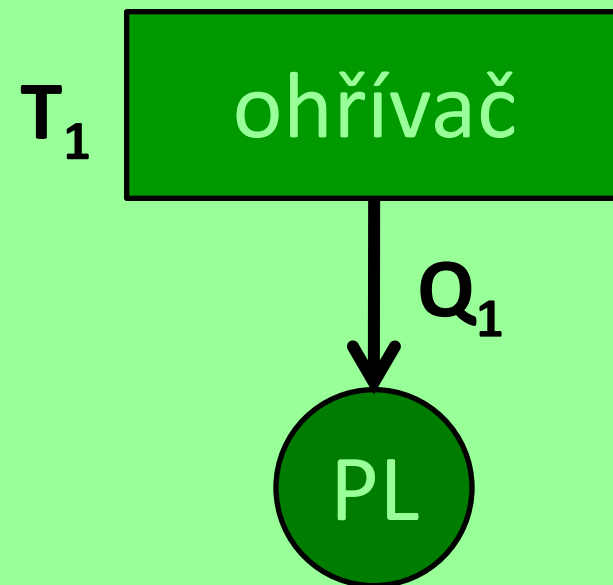
$$\Delta U = 0$$

4. 2. KRUHOVÝ DĚJ

ohřivač

těleso, od kterého
pracovní látka přijme teplo Q_1 ,

T_1 - teplota ohřivače



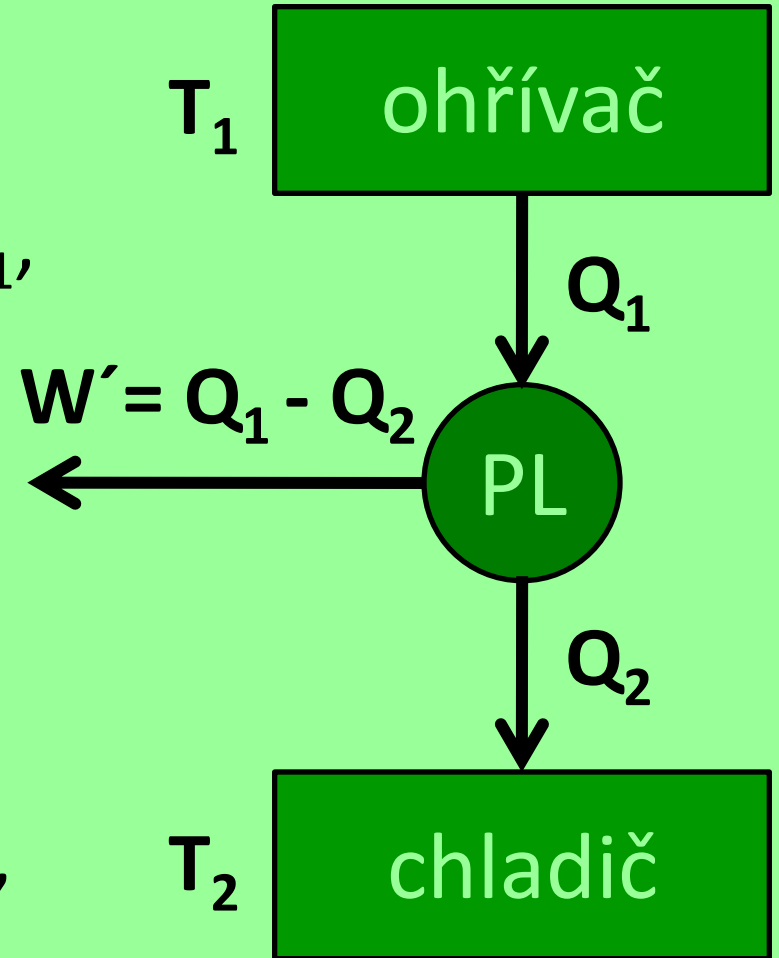
4. 2. KRUHOVÝ DĚJ

ohřívač

těleso, od kterého
pracovní látka přijme teplo Q_1 ,
 T_1 - teplota ohřívače

chladič

těleso, kterému
pracovní látka předá teplo Q_2 ,
 T_2 - teplota chladiče



4. 2. KRUHOVÝ DĚJ

1. termodynamický zákon:

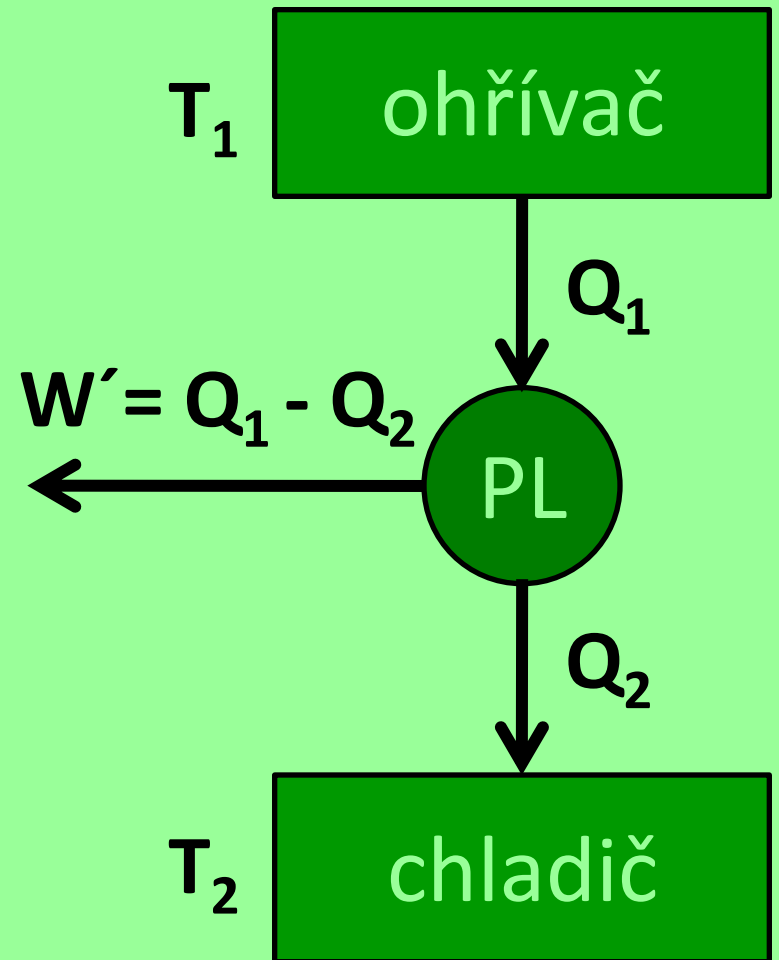
$$\Delta U = Q + W$$

$$\Delta U = 0$$

$$W = -W'$$

$$W' = Q$$

$$\Delta T = T_1 - T_2$$



4. 2. KRUHOVÝ DĚJ

Celková práce W' , kterou vykoná pracovní látka během jednoho cyklu, se rovná celkovému teplu Q , které přijme během tohoto cyklu od okolí.

$$W' = Q$$

Účinnost η kruhového děje je dána vztahem:

$$\eta = \frac{W'}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

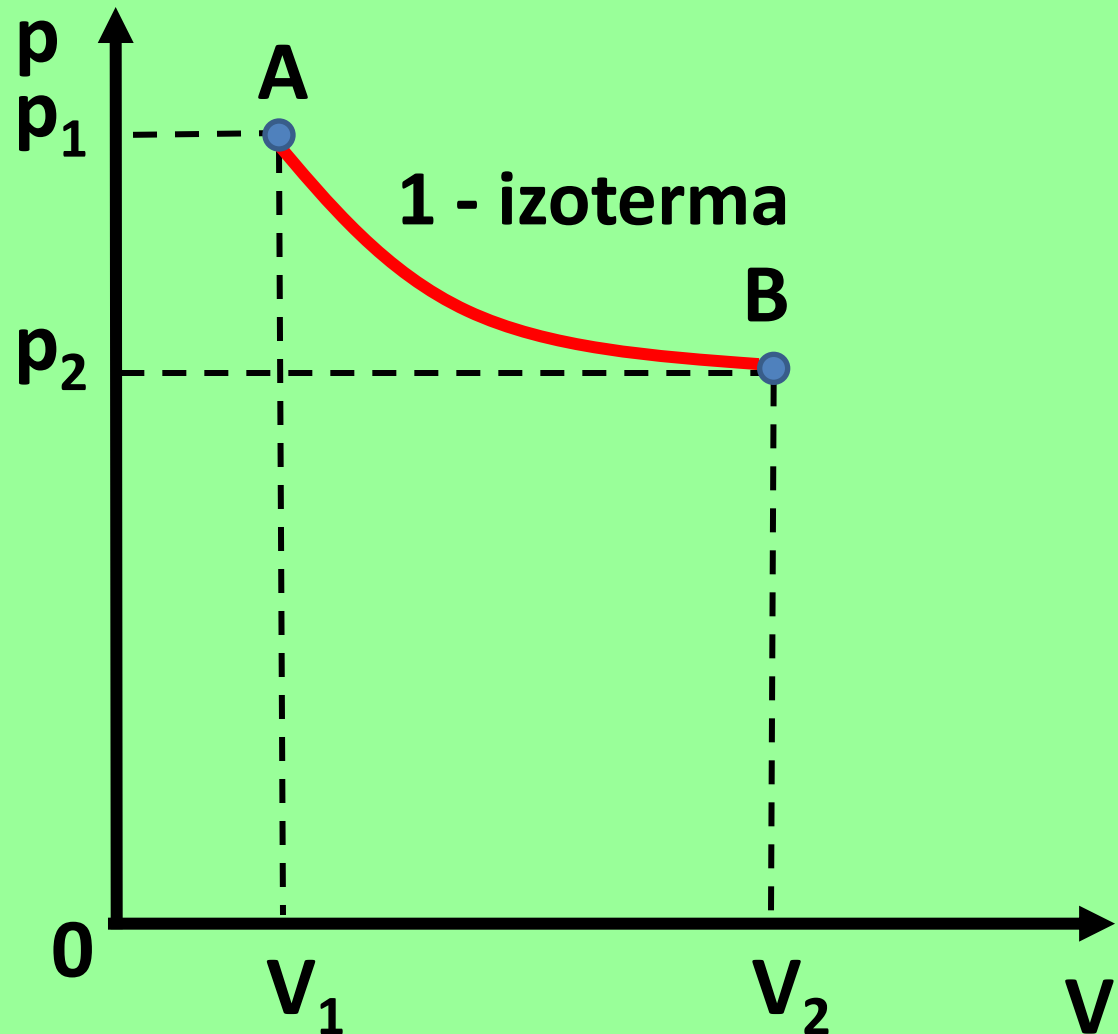
$$\eta < 1$$

4. 2. KRUHOVÝ DĚJ – CARNOTŮV CYKLUS

- je nejznámějším příkladem vratného kruhového děje
- skládá se ze čtyř fází:

expanze

1. izotermická

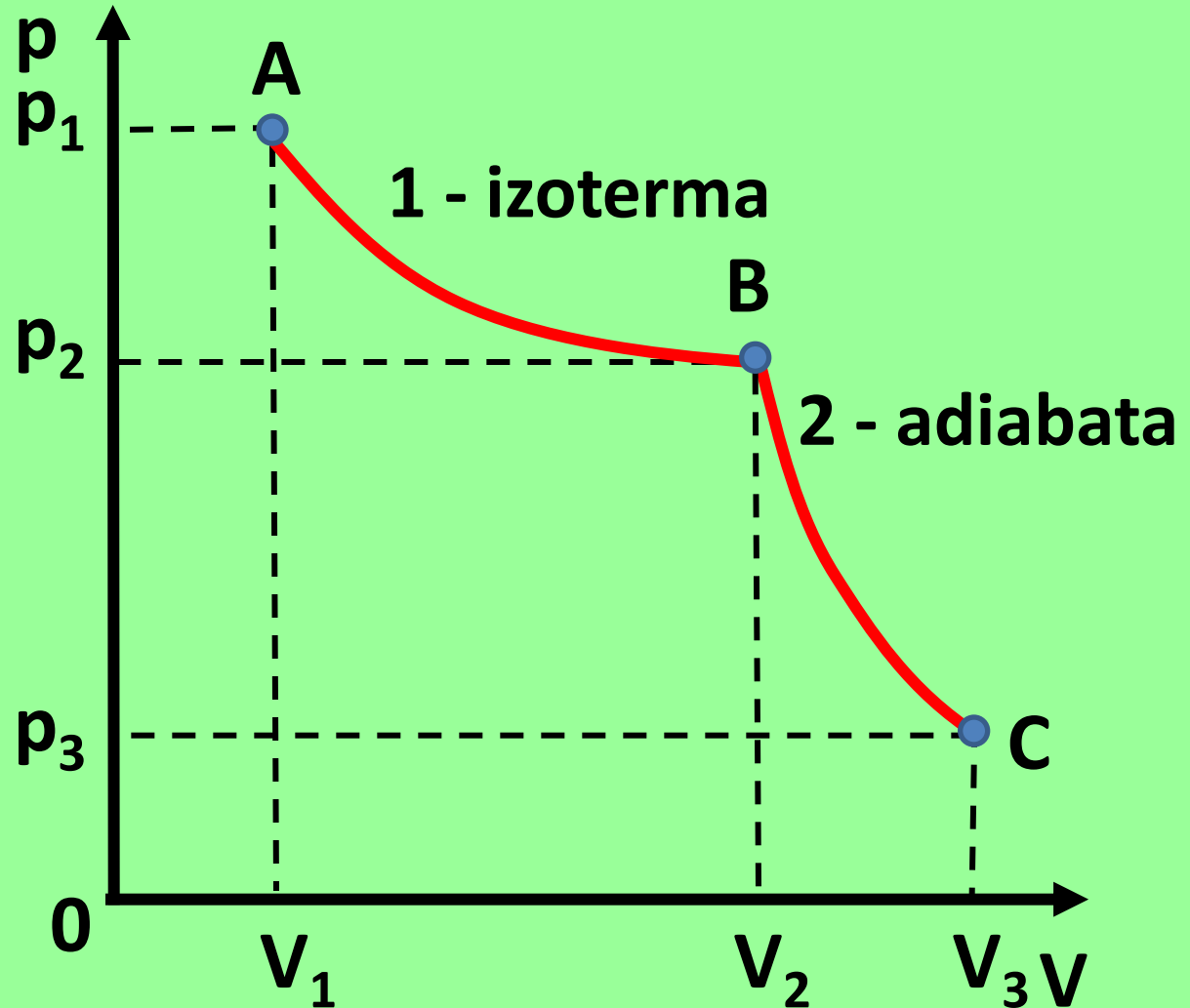


4. 2. KRUHOVÝ DĚJ – CARNOTŮV CYKLUS

- je nejznámějším příkladem vratného kruhového děje
- skládá se ze čtyř fází:

expanze

1. izotermická
2. adiabatická



4. 2. KRUHOVÝ DĚJ – CARNOTŮV CYKLUS

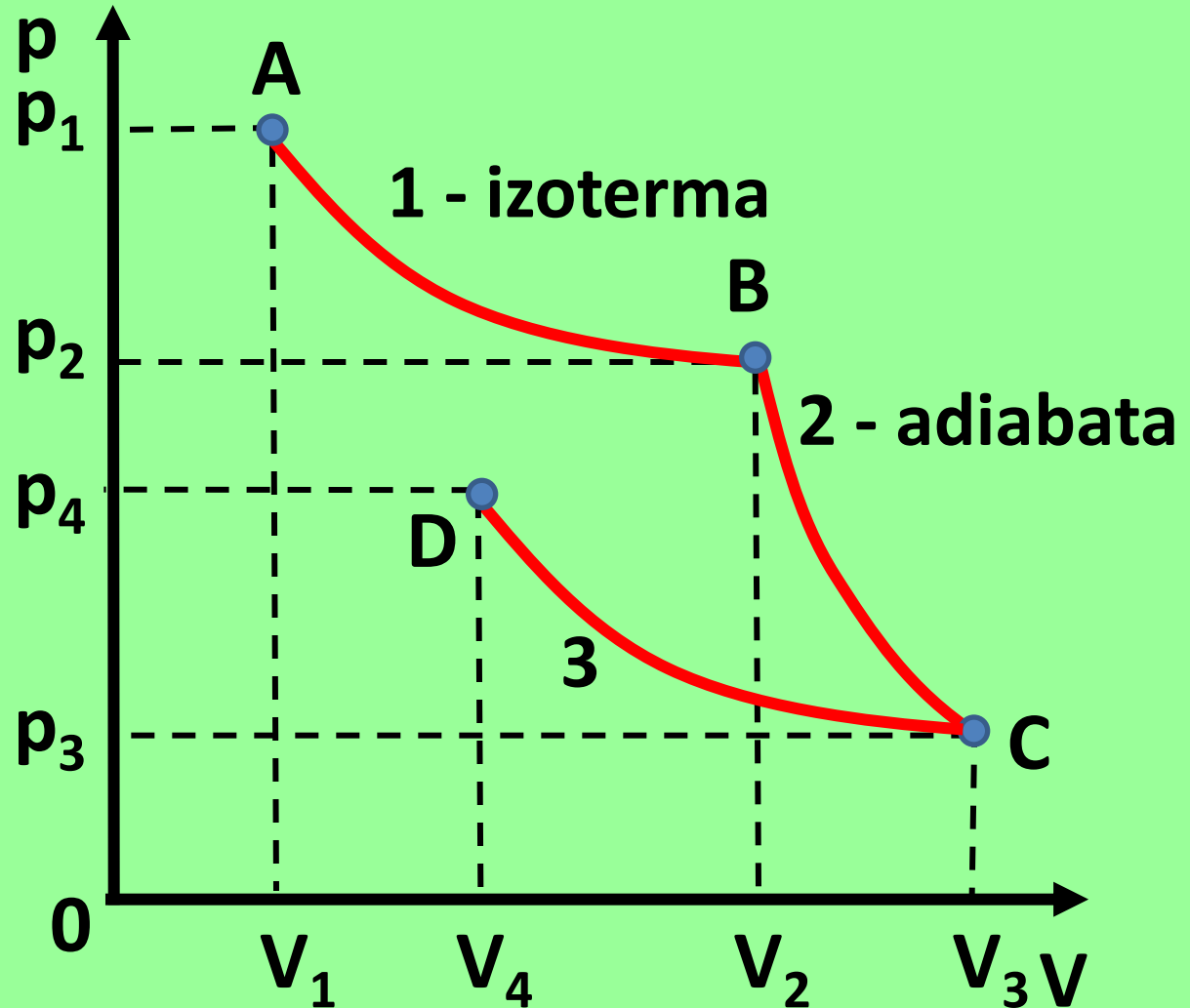
- je nejznámějším příkladem vratného kruhového děje
- skládá se ze čtyř fází:

expanze

1. izotermická
2. adiabatická

kompresa

3. izotermická



4. 2. KRUHOVÝ DĚJ – CARNOTŮV CYKLUS

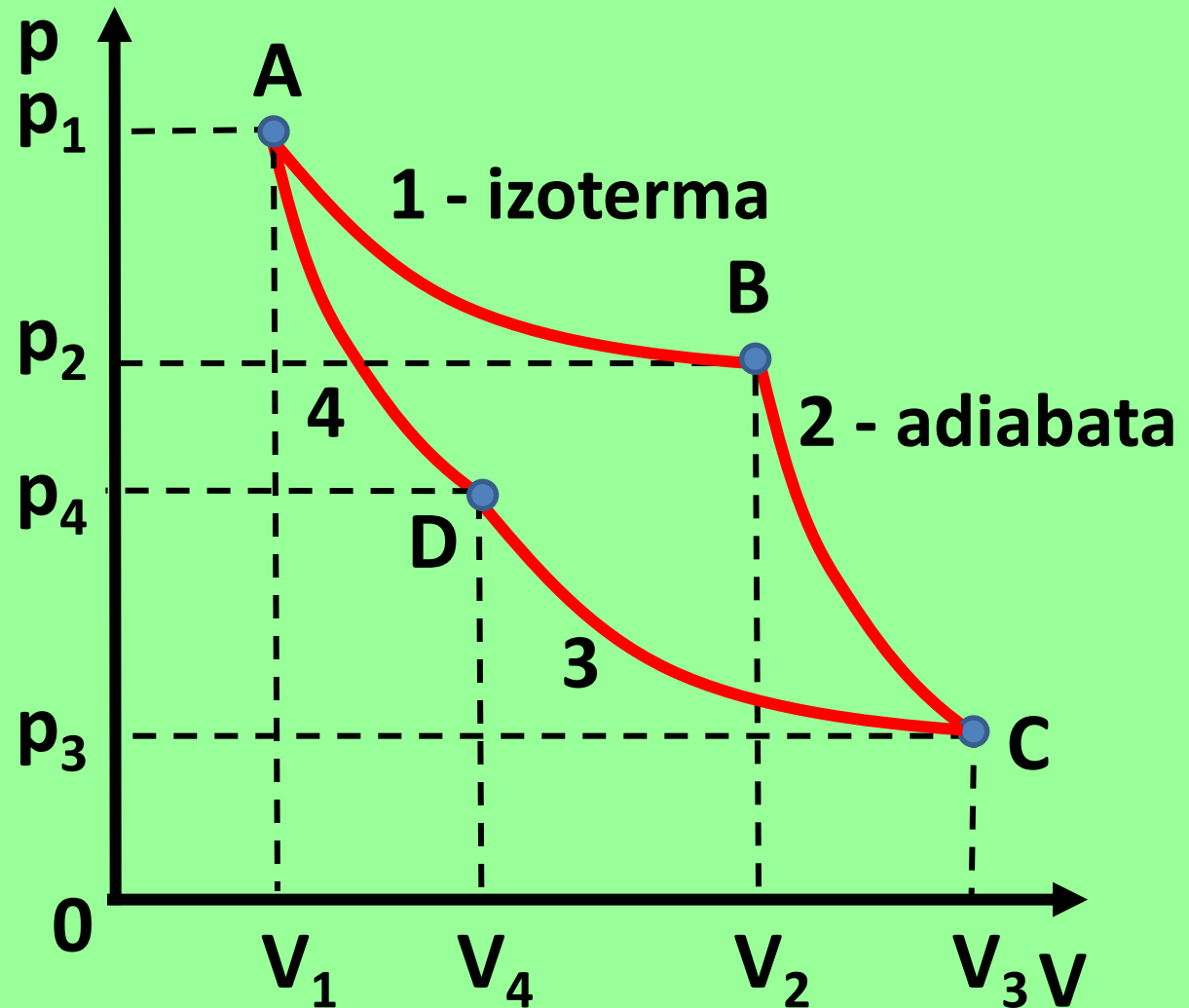
- je nejznámějším příkladem vratného kruhového děje
- skládá se ze čtyř fází:

expanze

1. izotermická
2. adiabatická

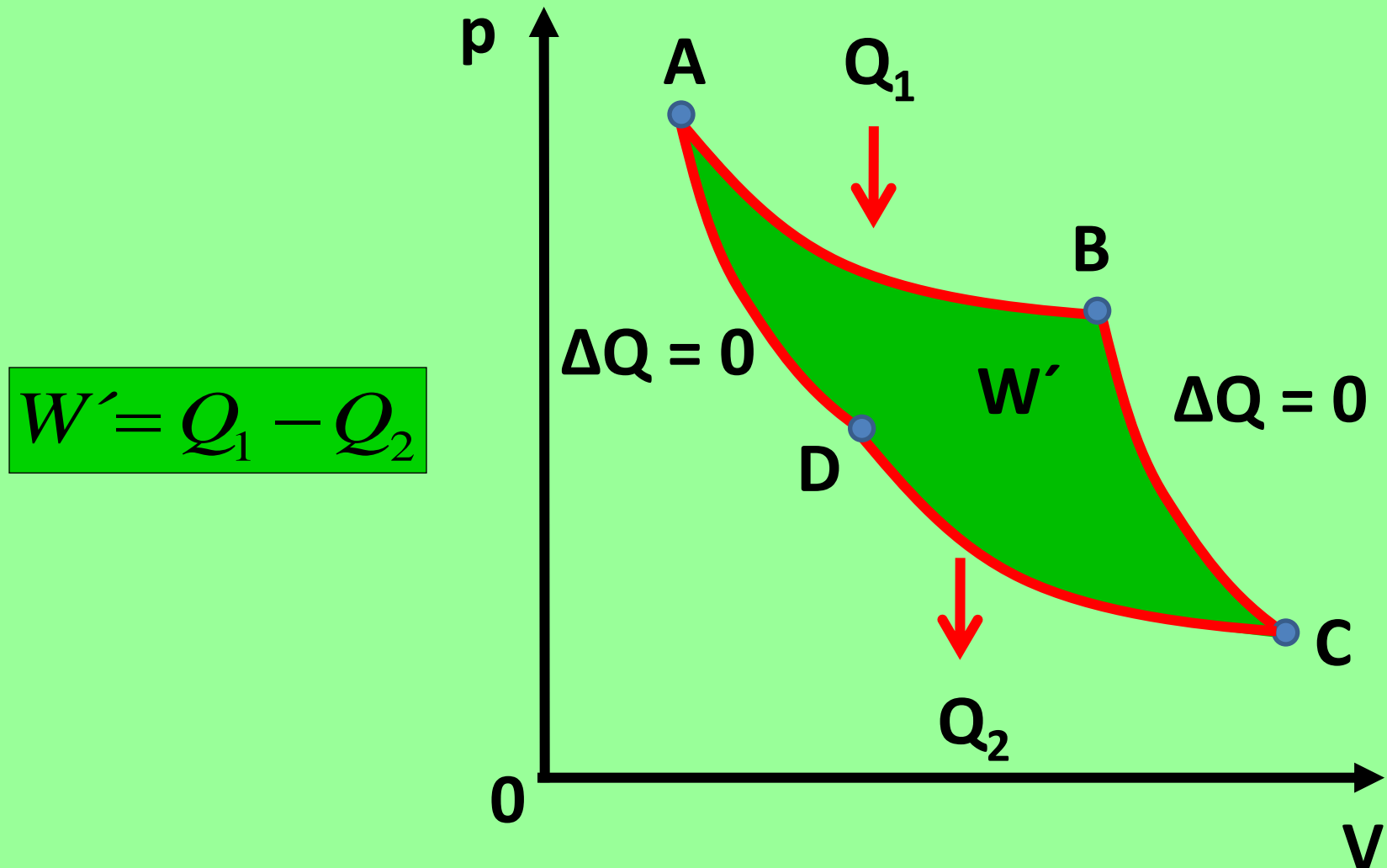
kompresse

3. izotermická
4. adiabatická



4. 2. KRUHOVÝ DĚJ – CARNOTŮV CYKLUS

Účinnost není závislá na druhu použitého plynu.



4. 2. KRUHOVÝ DĚJ

Termodynamické děje lze rozdělit na

vrátané (reverzibilní) děje – původního stavu lze dosáhnout obrácením pořadí jednotlivých úkonů.

nevratné (ireverzibilní) děje – probíhají bez vnějšího působení pouze v jednom směru.

K dosažení původního stavu je nutno vynaložit určitou energii, která nepatří dané soustavě.

V přírodě jsou všechny reálné děje nevratné.

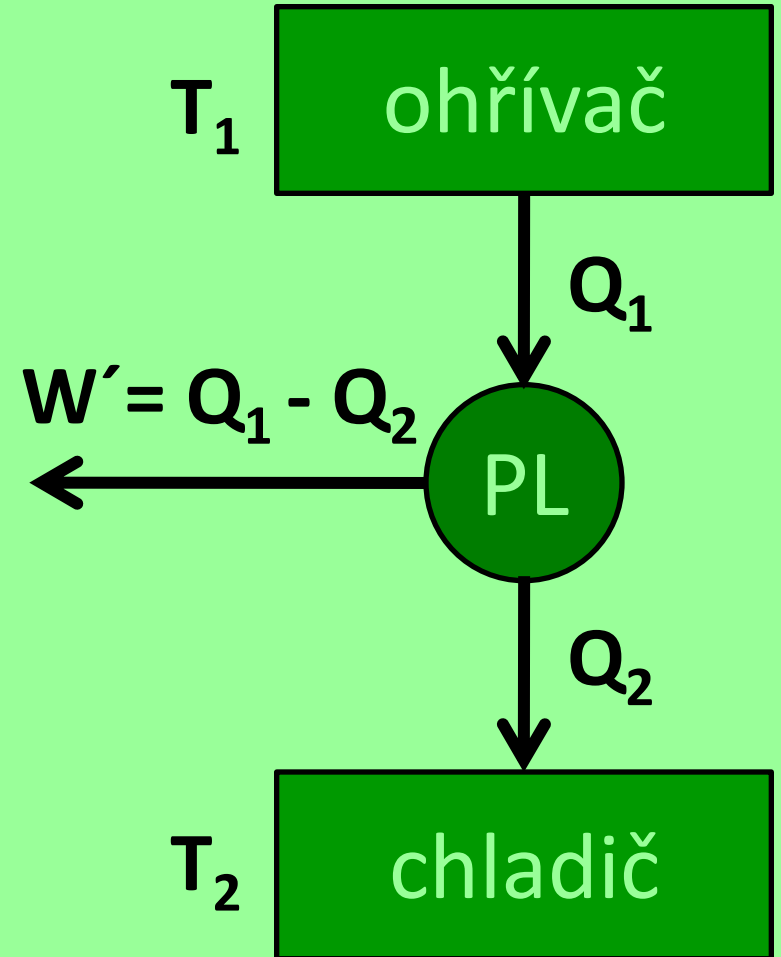
4. 3. DRUHÝ TERMODYNAMICKÝ ZÁKON

TEPELNÉ MOTORY

Periodicky pracující stroje fungující na principu kruhových dějů v plynu.

Tepelný motor

- přijímá teplo od teplejšího tělesa (ohřívače),
 - část z něj odevzdá chladnějšimu tělesu (chladiči)
 - část přemění na mechanickou práci.

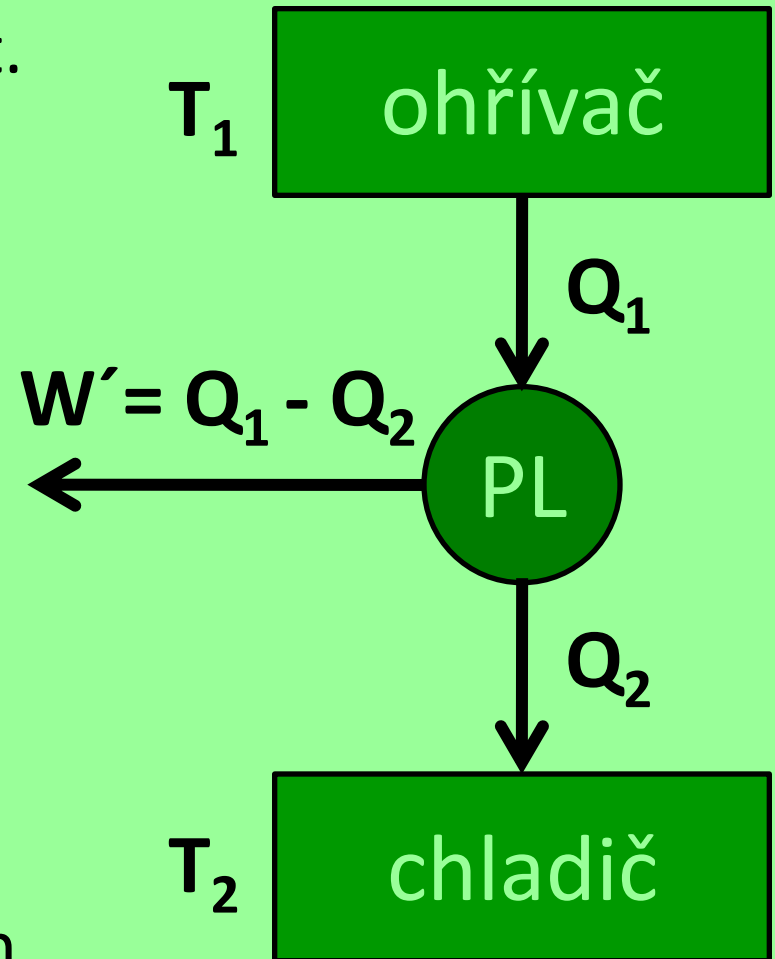


4. 3. DRUHÝ TERMODYNAMICKÝ ZÁKON

- 1. TDZ nedovoluje určit směr, ve kterém může TD děj probíhat.
- Je možný přenos tepla z teplejšího tělesa na chladnější, ale taky naopak.

Perpetuum mobile 1. druhu:

není možné sestavit periodicky pracující stroj, který by měl výkon větší než příkon.



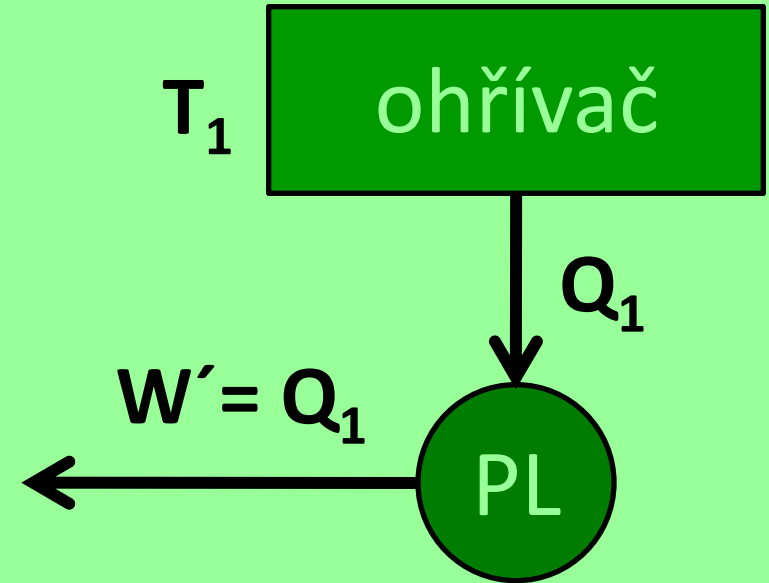
4. 3. DRUHÝ TERMODYNAMICKÝ ZÁKON

1. TDZ umožňuje sestavit

Perpetuum mobile (2. druhu)

Cyklicky pracující stroj
pracující podle
tohoto schématu.

(Mohl by trvale pracovat jen
ochlazováním jednoho tělesa.)



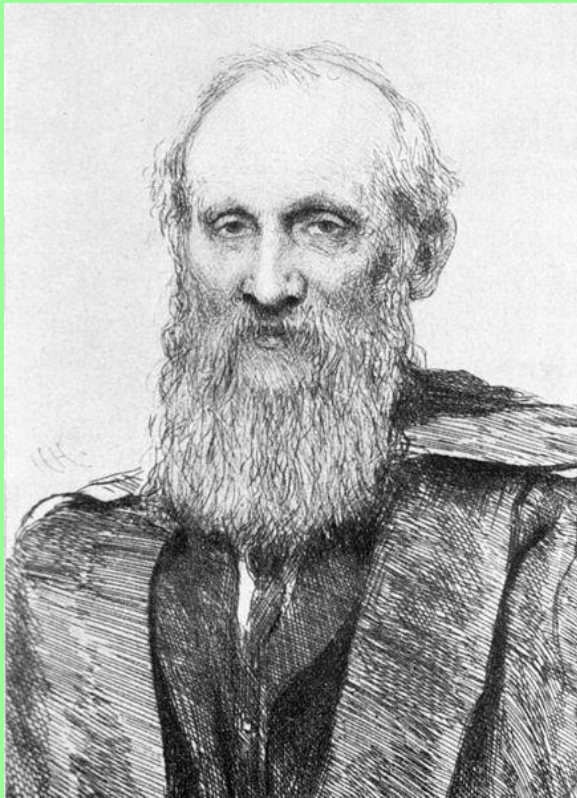
4. 3. DRUHÝ TERMODYNAMICKÝ ZÁKON

W. Thomsonova a Planckova formulace

Není možné sestrojít
periodicky pracující tepelný stroj,
který by jen přijímal teplo od ohříváče
a vykonal stejně velkou práci.

4. 3. DRUHÝ TERMODYNAMICKÝ ZÁKON

W. Thomsonova a Planckova formulace



Obr.: 1 - William Thomson - lord Kelvin



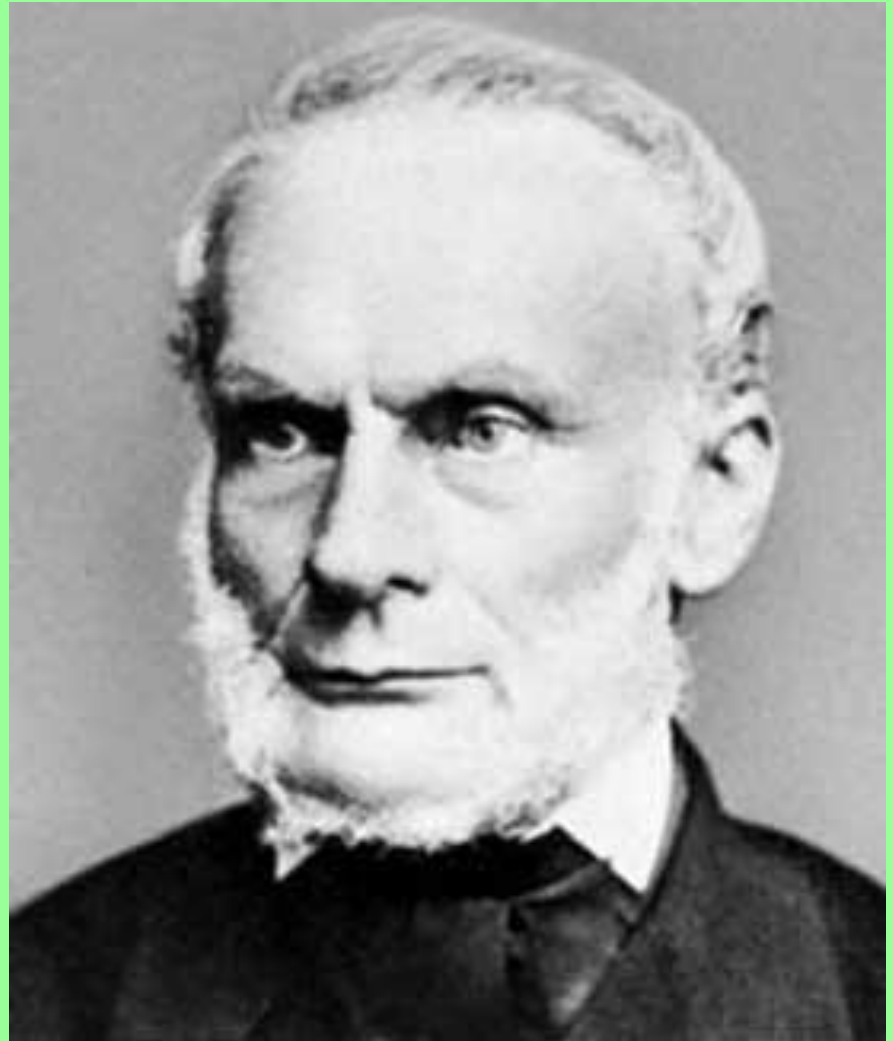
Obr.: 2 - Max Planck

4. 3. DRUHÝ TERMODYNAMICKÝ ZÁKON

Clausiova formulace

Není možné,
aby studenější těleso
samovolně předávalo
teplo tělesu teplejšímu.

Obr.: 3 - Rudolf Clausius



4. 3. DRUHÝ TERMODYNAMICKÝ ZÁKON

W. Thomsonova a Ostwaldova formulace

Nelze sestrojít perpetuum
mobile druhého druhu.



Obr.: 4 - Wilhelm Ostwald

4. 3. DRUHÝ TERMODYNAMICKÝ ZÁKON

Carnotova formulace

Žádný tepelný stroj pracující mezi dvěma teplotami nemůže mít vyšší účinnost než Carnotův stroj pracující mezi stejnými teplotami.

Obr.: 5 - Sadi Carnot



4. 3. (DRUHÝ) TERMODYNAMICKÝ ZÁKON

TŘETÍ TERMODYNAMICKÝ ZÁKON

vyjadřuje nedosažitelnost absolutní nuly.

$$T \rightarrow 0$$

Popisuje chování látek

v blízkosti absolutní nulové teploty

4. 4. TEPELNÉ MOTORY

Přeměňují část vnitřní energie paliva
v mechanickou energii.

(hořením, při jaderných reakcích,...)

Skládají se ze tří částí:

1. pracovní látky
2. ohříváče
3. chladiče

4. 4. TEPELNÉ MOTORY

Rozdělení:

A) Parní motory

pracovní látkou je vodní pára z parního kotle.

B) Spalovací motory

pracovní látkou je plyn, vznikající hořením paliva uvnitř motoru.

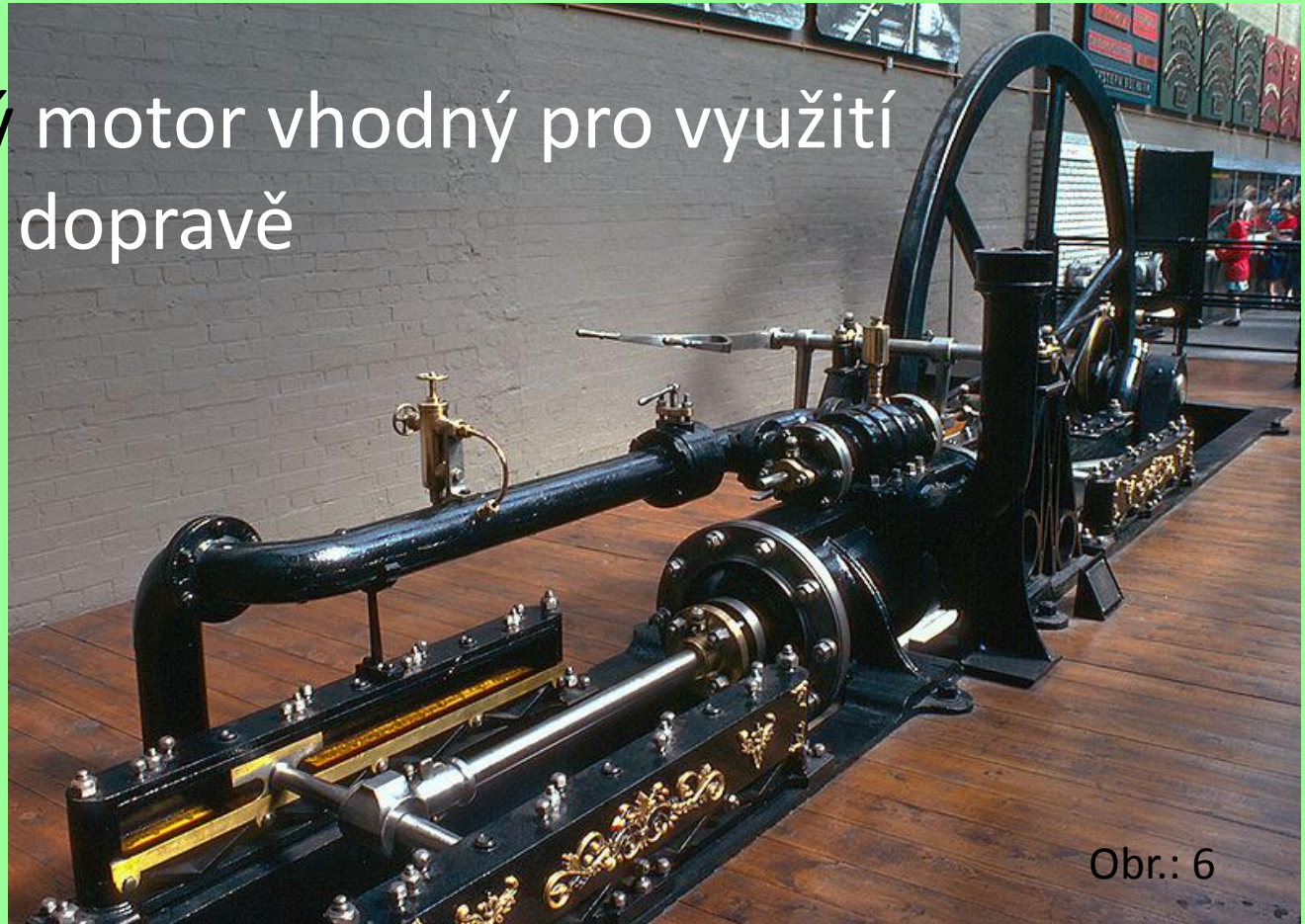
4. 4. TEPELNÉ MOTORY

A) Parní motory

parní stroj

první tepelný motor vhodný pro využití
v průmyslu a dopravě

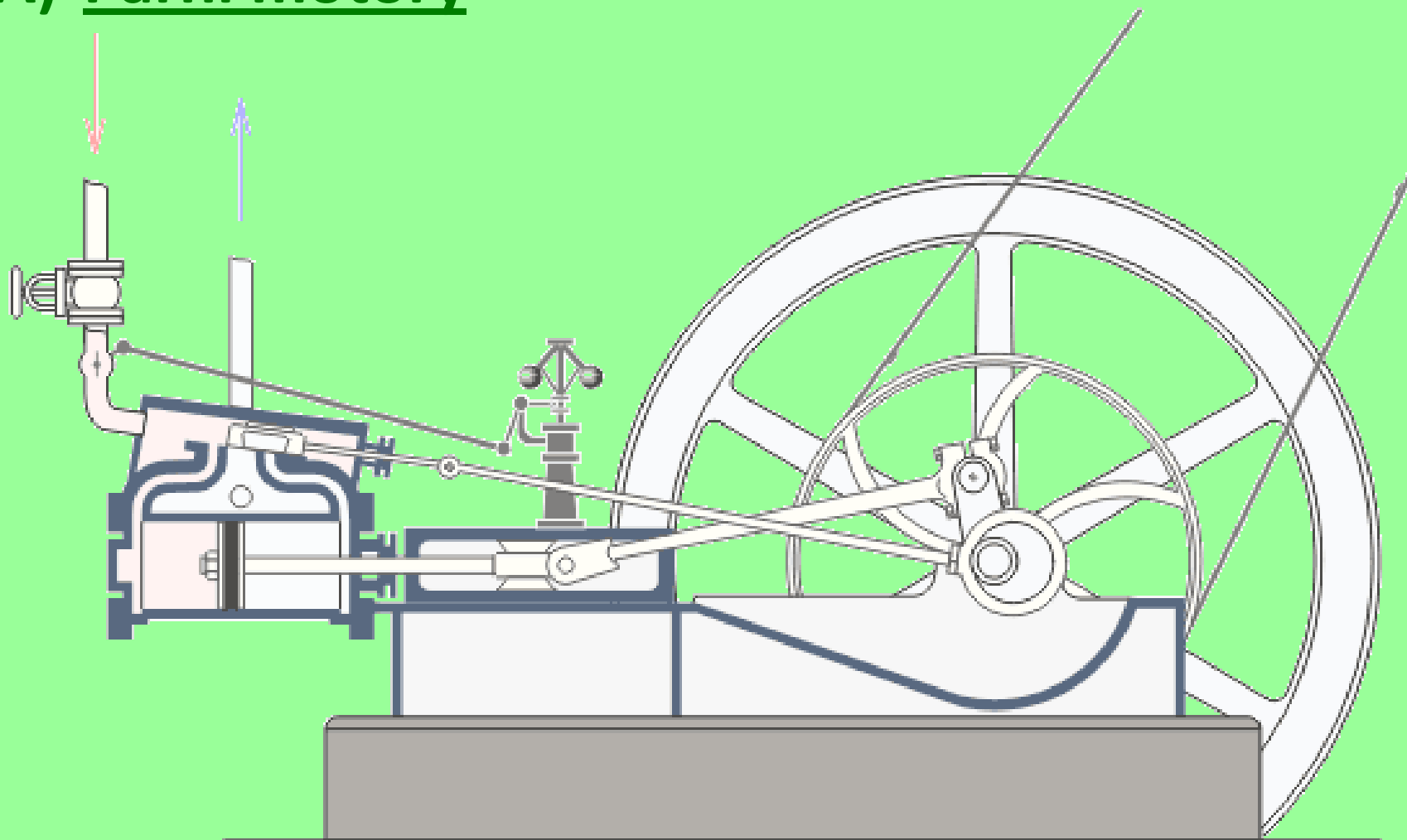
(konec 18. stol.
James Watt)



Obr.: 6

4. 4. TEPELNÉ MOTORY

A) Parní motory

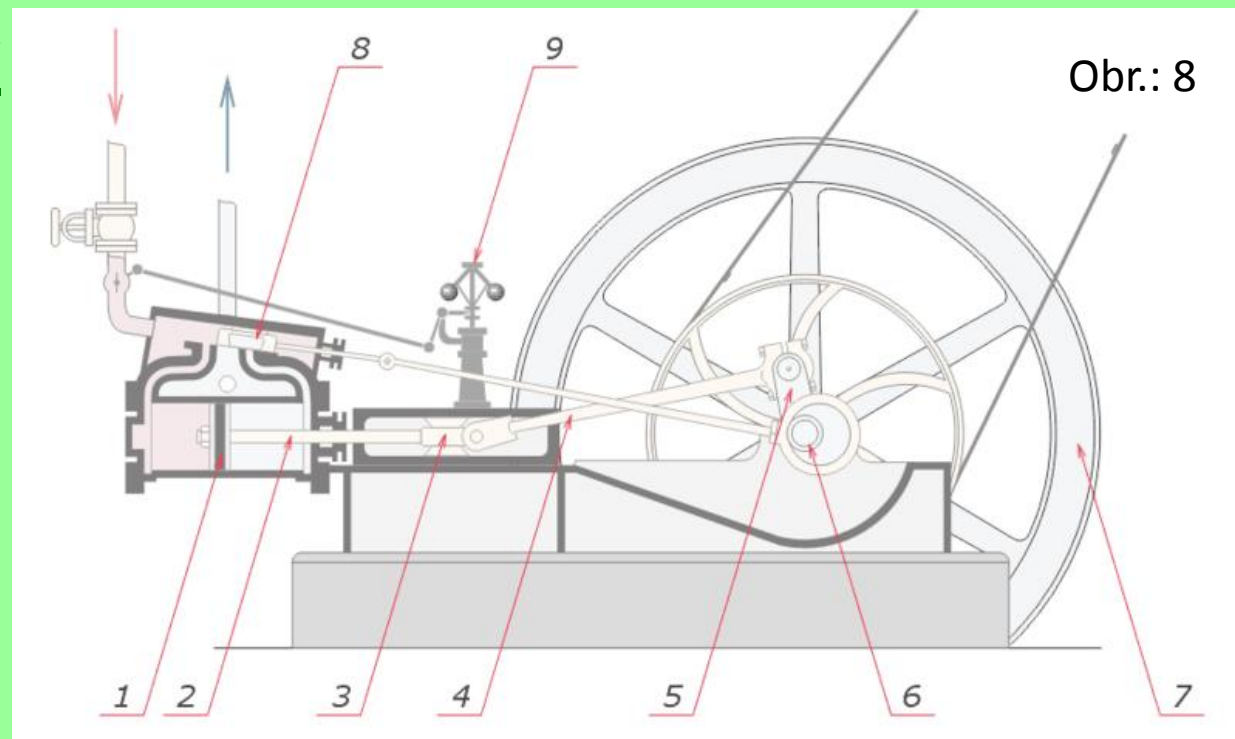


Obr.: 7 - Animované schéma práce stroje.

4. 4. TEPELNÉ MOTORY

A) Parní motory

Schematický popis
jednoválcového
parního stroje.



1 - Píst

2 - Pístní tyč

3 - Křižák

4 - Ojnice

5 - Klika čepu ojnice

6 - Excentrický mechanismus
(jednoduchý vnější rozvod)

7 - Setrvačnick

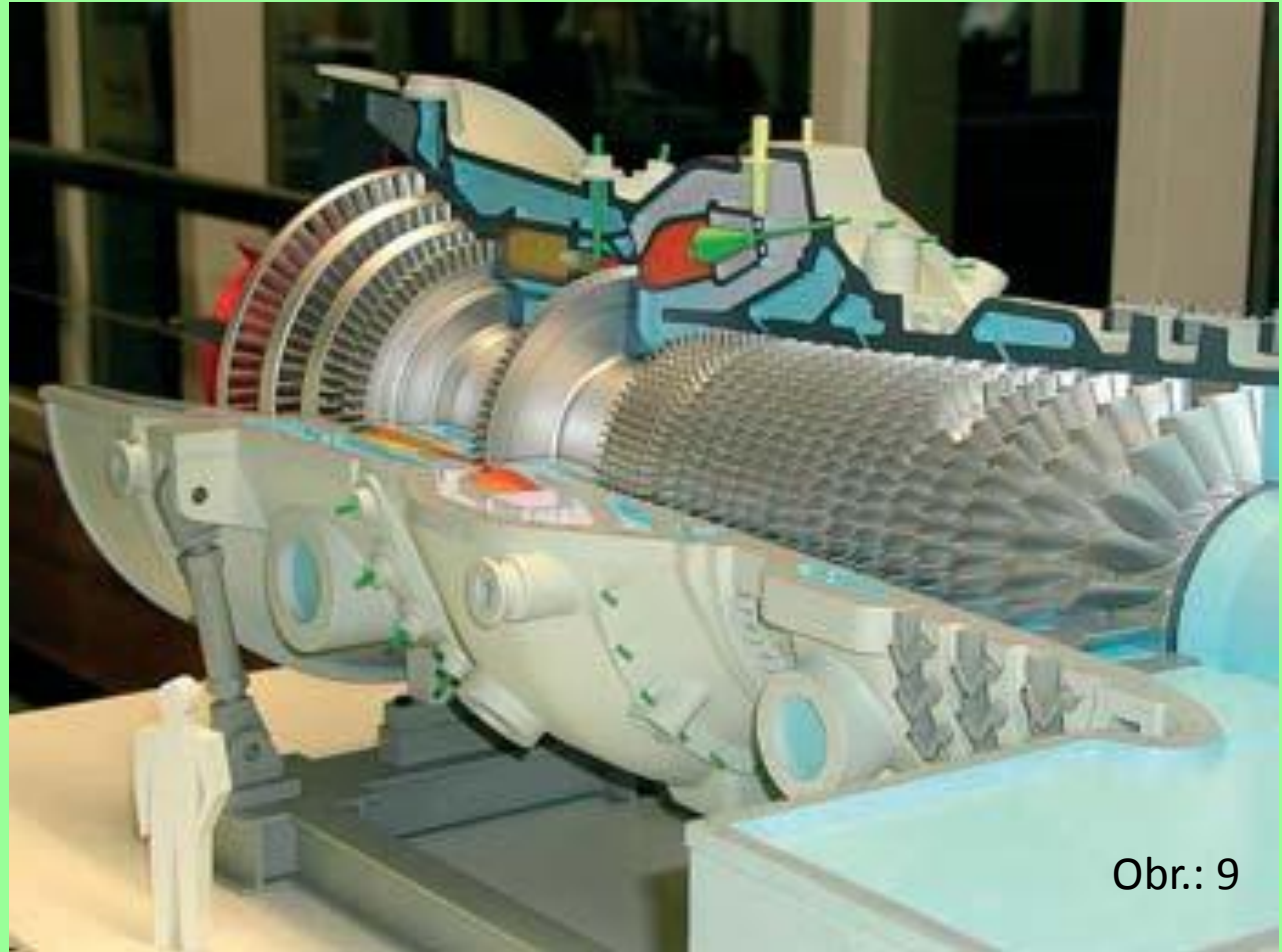
8 - Šoupátko

9 - Wattův odstředivý regulátor.

4. 4. TEPELNÉ MOTORY

A) Parní motory

parní turbína
soustava kol
s lopatkami,
na které
dopadá pára
a roztáčí je



Obr.: 9

4. 4. TEPELNÉ MOTORY

B) Spalovací motory

pracovní látkou je plyn, vznikající hořením paliva uvnitř motoru.

Rozdělení:

1) zážehový

- čtyřdobý
- dvoudobý
- trojdobý

2) vznětový

3) proudový

4) raketový

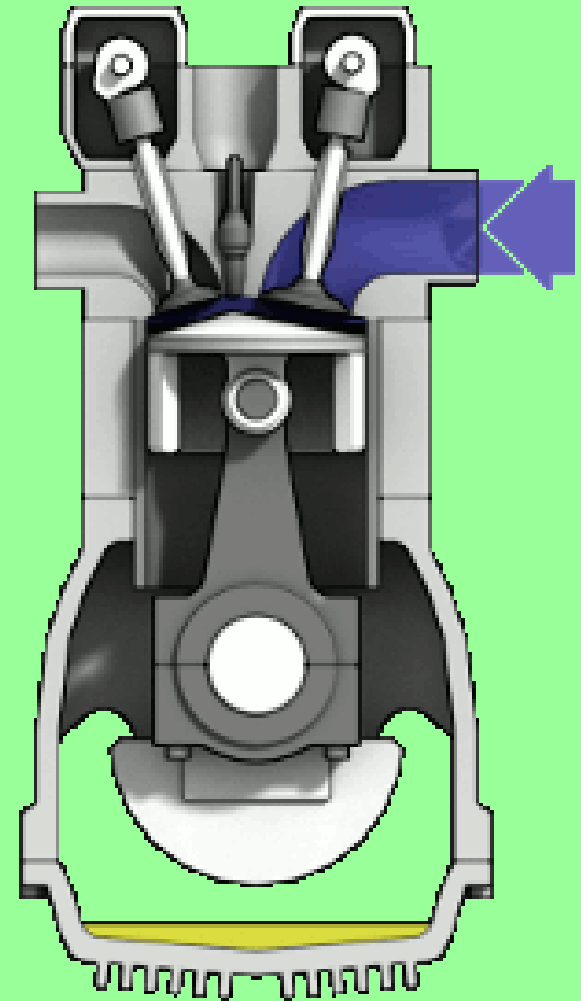
4. 4. TEPELNÉ MOTORY – (1) zážehový - čtyřdobý

pracovní látkou je směs benzínových par a vzduchu.

Princip:

1. **sání** – otevře se sací ventil a do válce se nasaje směs paliva a vzduchu, ventil se uzavře
2. **kompresa** – píst stlačí nasátou směs a svíčka ji jiskrou vznítí
3. **výbuch – expanze** – směs vybuchne a zatlačí na píst
4. **výfuk** – otevře se výfukový ventil a vyhořelá směs je pístem vytlačena ven

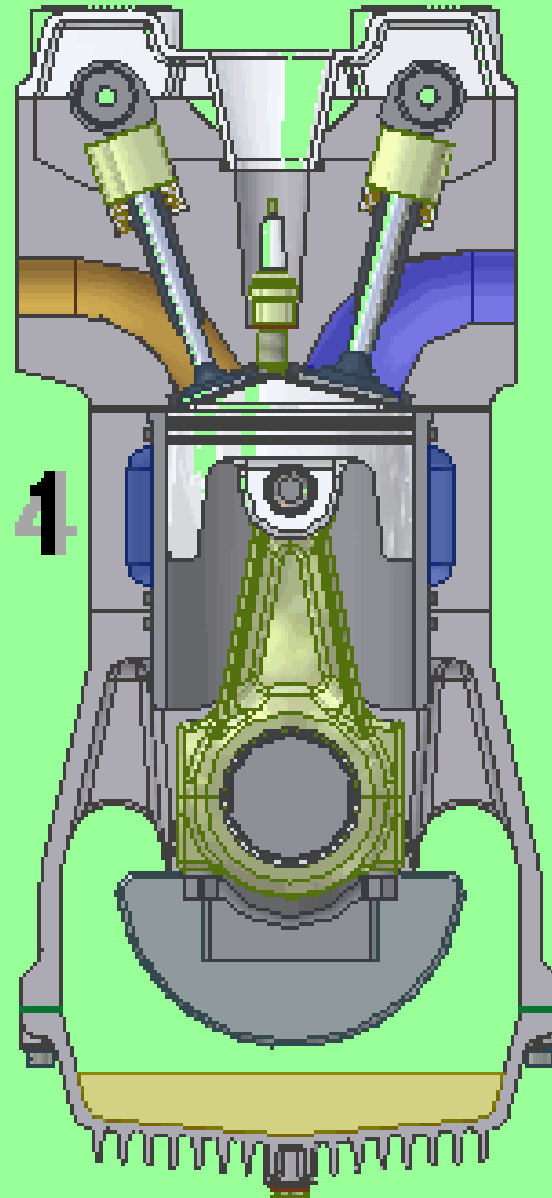
Cyklus se opakuje.



Obr.: 10

4. 4. TEPELNÉ MOTORY – (1) zážehový - čtyřdobý

Popište princip:



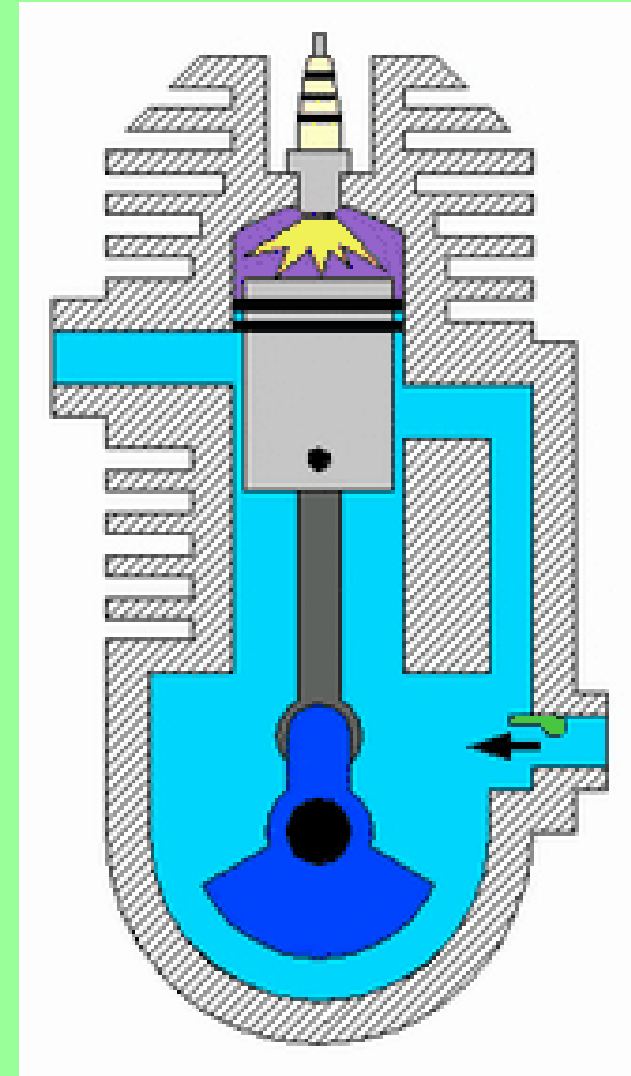
Obr.: 11

4. 4. TEPELNÉ MOTORY – (1) zážehový- dvoudobý

Pracovní fáze motoru:

- **sání a komprese**

- Píst se pohybuje směrem nahoru.
- Vzniká podtlak, tím se nasaje do klikové skříně zápalná směs.
- Uzavírá se výfukový a přepouštěcí kanál.
- Směs v prostoru nad pístem se stlačuje, nastává komprese.

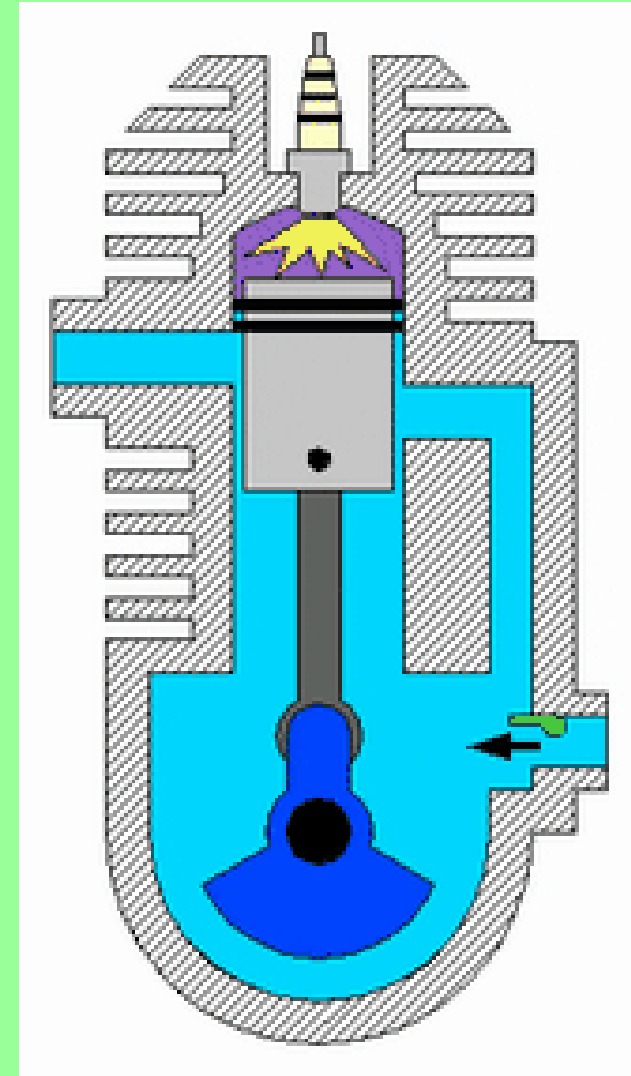


Obr.: 12

4. 4. TEPELNÉ MOTORY – (1) zážehový- dvoudobý

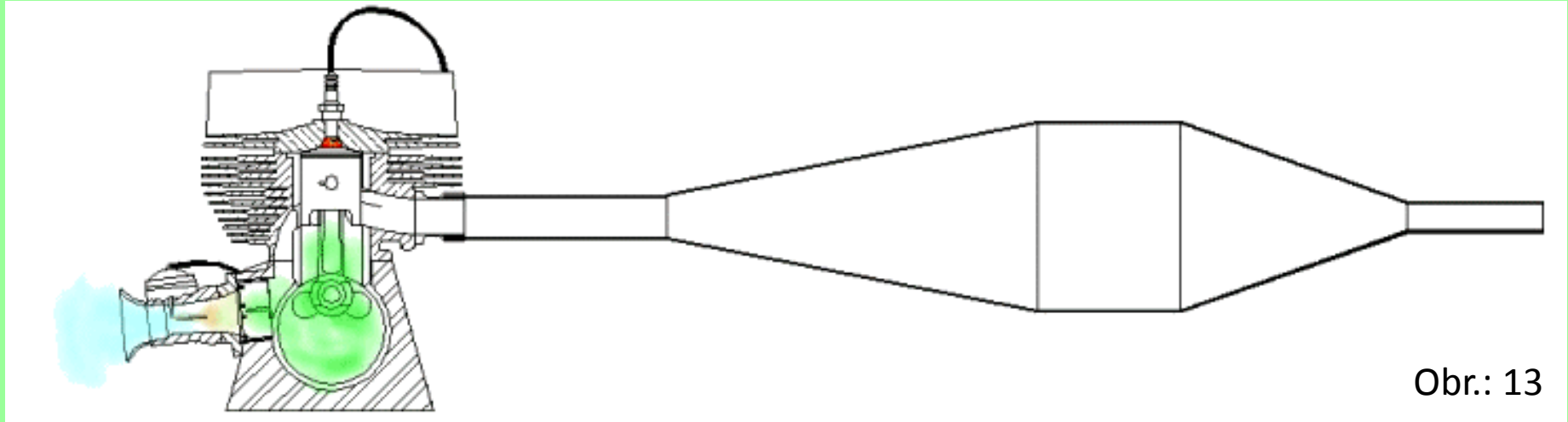
Pracovní fáze motoru:

- **expanze a výfuk**
 - Před horní úvratí přeskočí jiskra, nastává zážeh a expanze.
 - Expanzí je píst tlačěn dolů.
 - Spodní hrana pístu uzavírá sací kanál.
 - Směs v klikové skříni se pohybem pístu stlačuje.
 - Při dalším pohybu pístu otevírá horní hrana pístu výfukový kanál, pak i přepouštěcí kanál a stlačená směs začne vytlačovat zplodiny a dostává se do prostoru nad píst.



Obr.: 12

4. 4. TEPELNÉ MOTORY – (1) zážehový- dvoudobý



Vizualizace přibližuje význam správně vyladěného výfuku
- sledujte proudění zeleně vyznačené čerstvé směsi.

4. 4. TEPELNÉ MOTORY – (1) zážehový - dvoudobý

Použití

(benzínové motory malých výkonů):

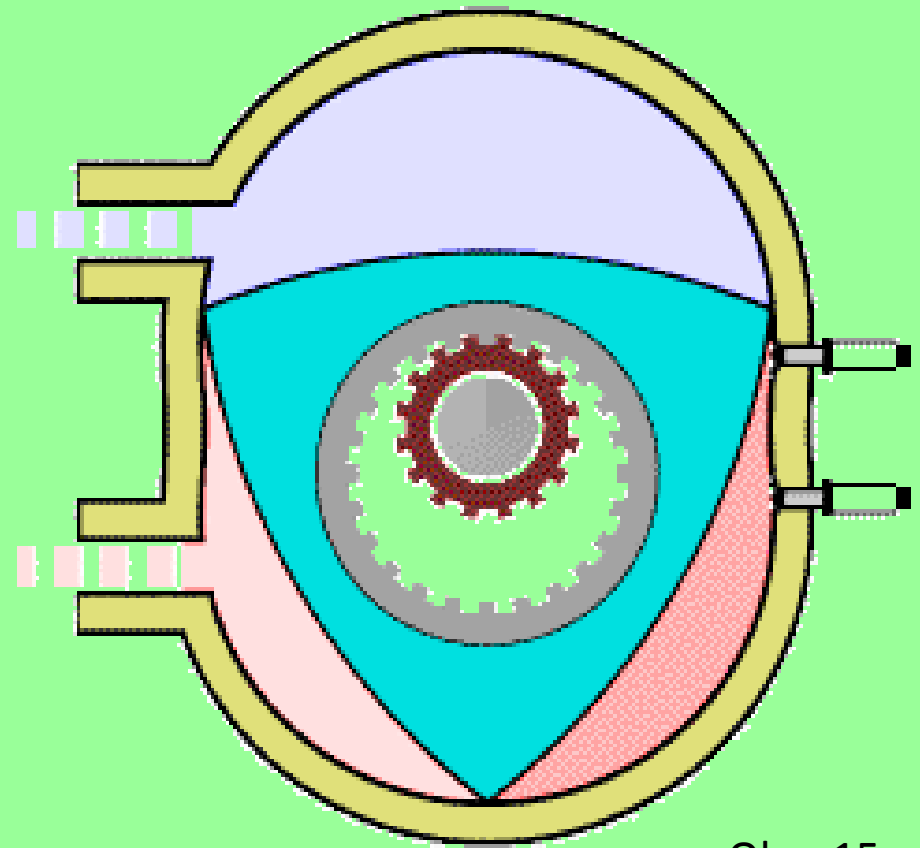
- jednostopá motorová vozidla - mopedy, skútry,
- starší automobily - Trabant, Wartburg
- motorové pily, křovinořezy, sekačky na trávu

4. 4. TEPELNÉ MOTORY – (1) zážehový - trojdobý

rotační stroje - Wankelův motor;
cyklicky se zvětšuje a zmenšuje prostor
mezi válcem a pístem, těžiště se rovnoměrně otáčí



Obr.: 14 - Felix Wankel



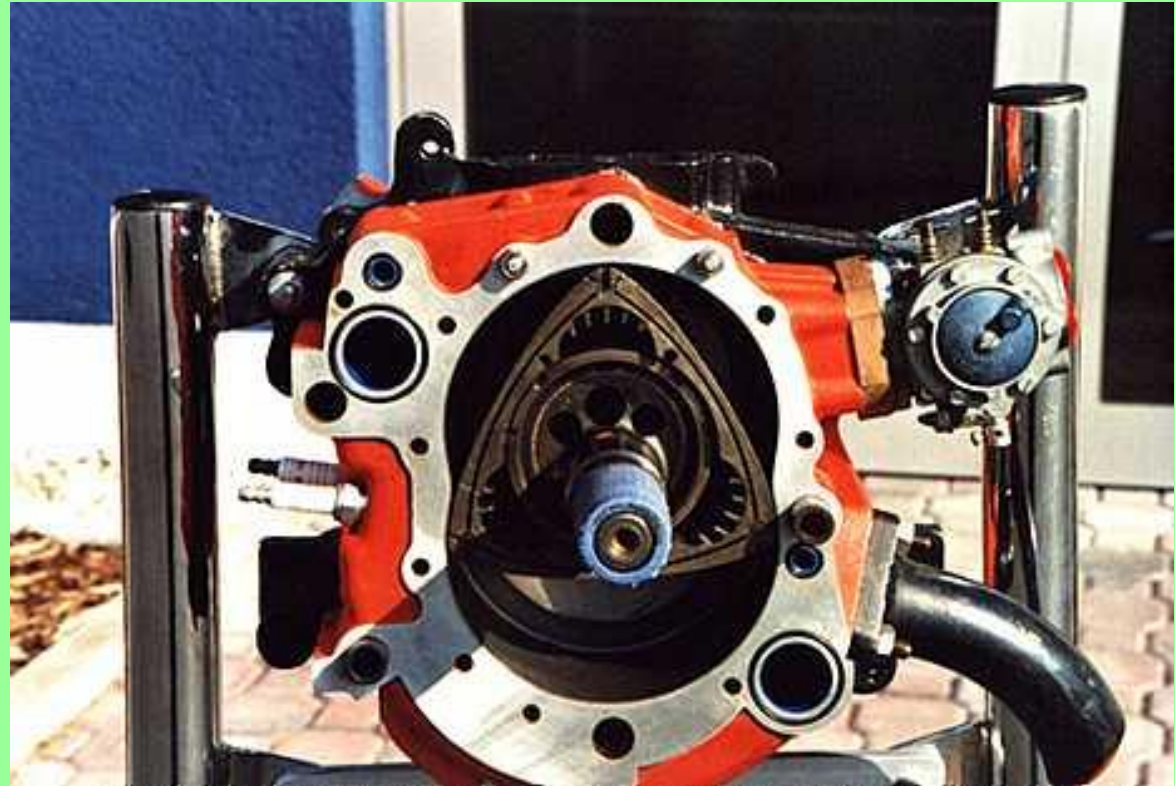
Obr.: 15

4. 4. TEPELNÉ MOTORY – (1) zážehový - trojdobý

Automobilový průmysl:
Citroen

Dnes

- japonská **Mazda** ve sportovních automobilech
- ruská **Lada** ve vozidlech ozbrojených složek Ruska.



Obr.: 16

4. 4. TEPELNÉ MOTORY – (2) vznětový

diesellový motor - naftový motor - Dieselův motor

- palivo – nafta
- tzv. kompresní zapalování
- výhodou je velká tažná síla při nízkých otáčkách



Obr.: 17 - Rudolf Diesel

4. 4. TEPELNÉ MOTORY – (2) vznětový

Pracuje jako čtyřdobý nebo dvoudobý spalovací motor.

Pracovní fáze čtyřdobého vznětového motoru:

1. Sání

- píst se pohybuje směrem dolů
- přes sací ventil nasává vzduch.

2. Komprese

- oba ventily jsou uzavřené
- píst se pohybuje nahoru a stlačuje nasátý vzduch (zmenšuje se objem, zvětšuje se tlak a teplota)
- do válce je vstříknuto palivo

4. 4. TEPELNÉ MOTORY – (2) vznětový

3. Expanze

- oba ventily jsou uzavřené
- směs paliva a vzduchu se vznítí a hoří
- zvýší se teplota i tlak vzniklých plynů
- ty expandují a během pohybu pístu směrem dolů konají práci

4. Výfuk

- píst se pohybuje nahoru
- výfukový ventil je otevřený
- splodiny z pracovního prostoru válce jsou vytlačovány ven

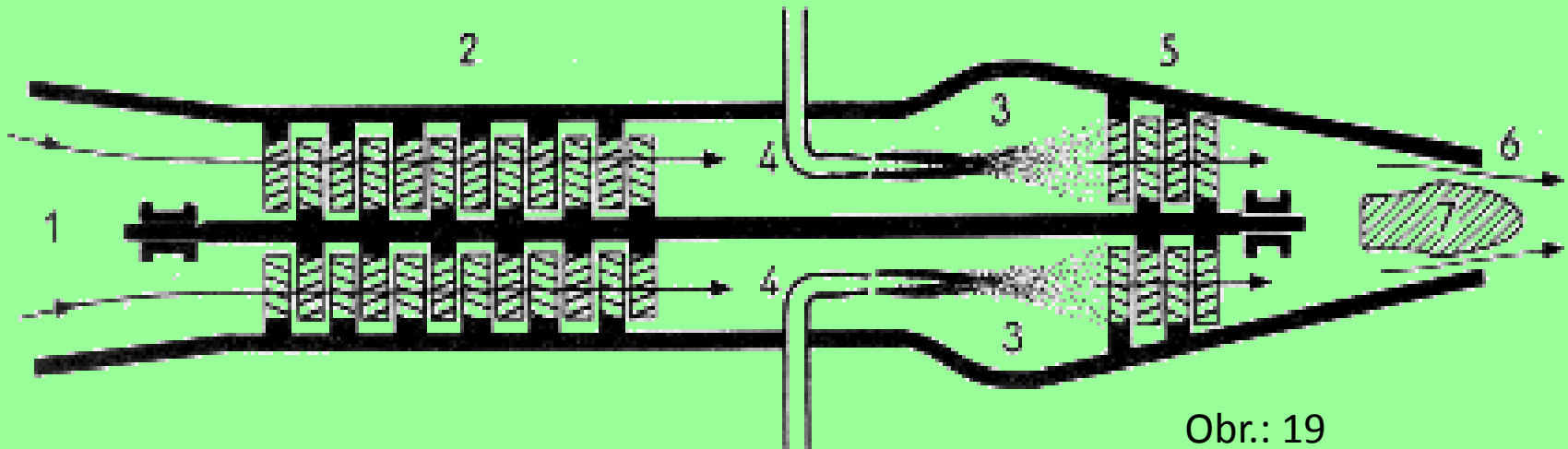
4. 4. TEPELNÉ MOTORY – (3) proudový

- princip akce a reakce
- palivo – kerosin (podobný petroleji)



Obr.: 18 - Frank Whittle

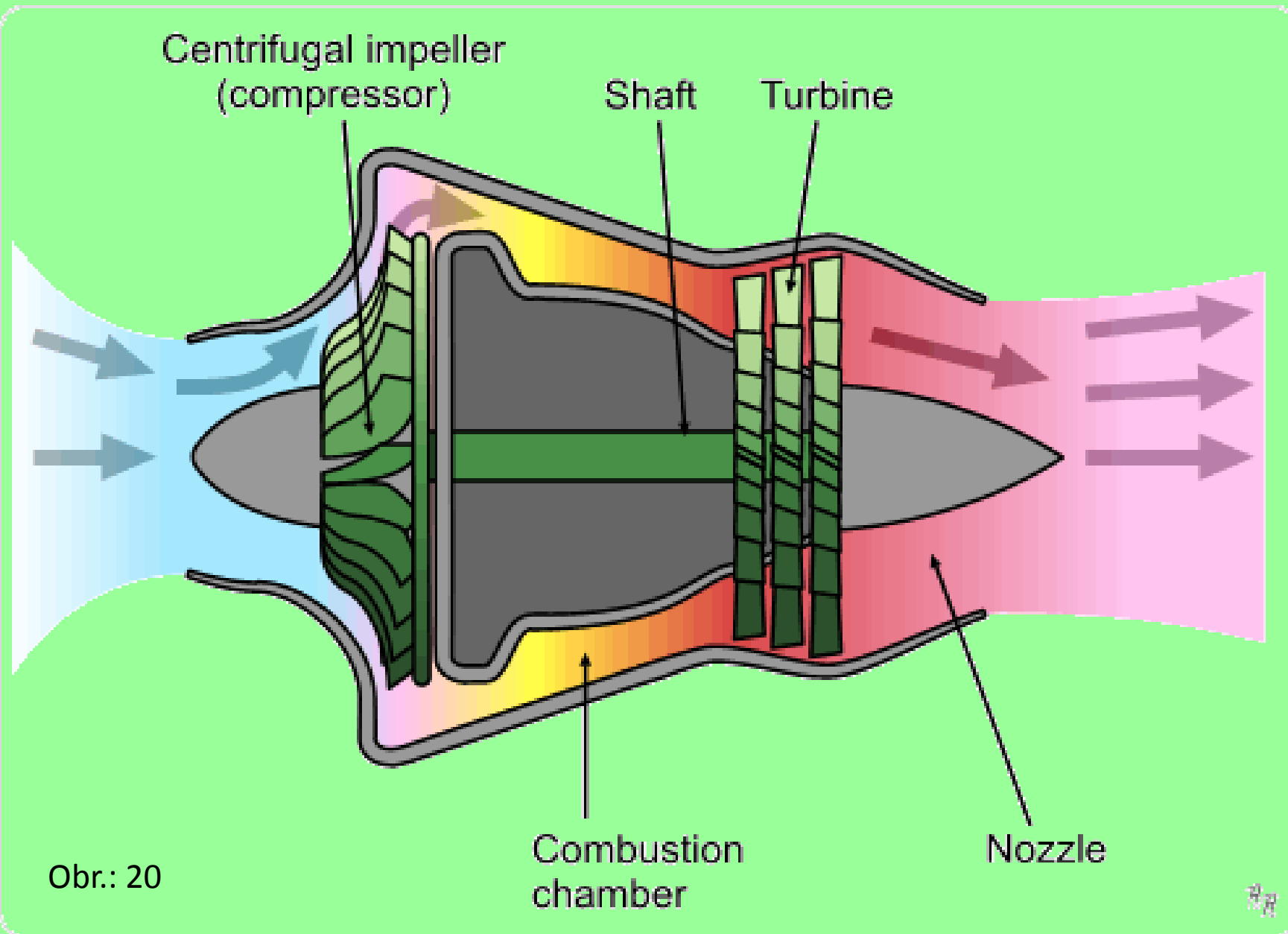
4. 4. TEPELNÉ MOTORY – (3) proudový



části

- turbodmychadlo, kterým vstupuje vzduch
- kompresor vzduch stlačí
- spalovací komora – do stlačeného vzduchu se vstříkne palivo, zažehnutím směsi se uvolní energie a vznikající horké plyny vycházejí ze spalovací komory a roztáčí turbínu v zadní části motoru
- (+) velká účinnost, (–) hluk a spotřeba

4. 4. TEPELNÉ MOTORY – (3) proudový



Obr.: 20

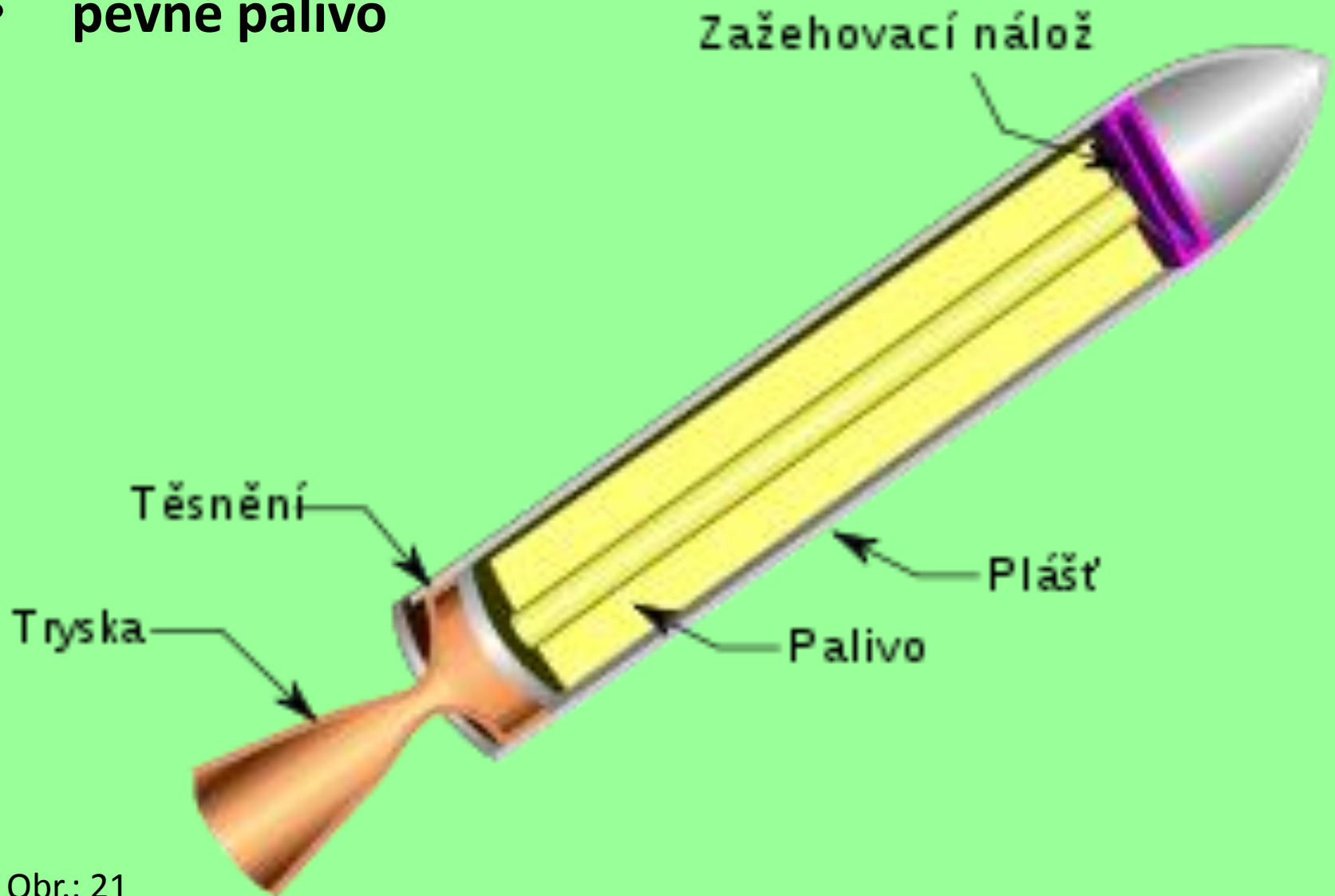


4. 4. TĚPELNÉ MOTORY – (4) raketový

- akce a reakce...
- pracuje i ve vzduchoprázdnu (mimo atmosféru)
- **použití:**
vynesení družic, kosmických sond na oběžnou dráhu,
pohon raketoplánu
- má zásoby paliva a kyslíku (zápalná směs)
- **pevné palivo** – připravené předem
(použití u pomocných raketových motorů, které se po dosažení rychlosti odhazují)
- **tekuté palivo** – v oddělených zásobnících, lépe se ovládá

4. 4. TEPELNÉ MOTORY – (4) raketový

- **pevné palivo**



Obr.: 21

4. 4. TEPELNÉ MOTORY – (4) raketový

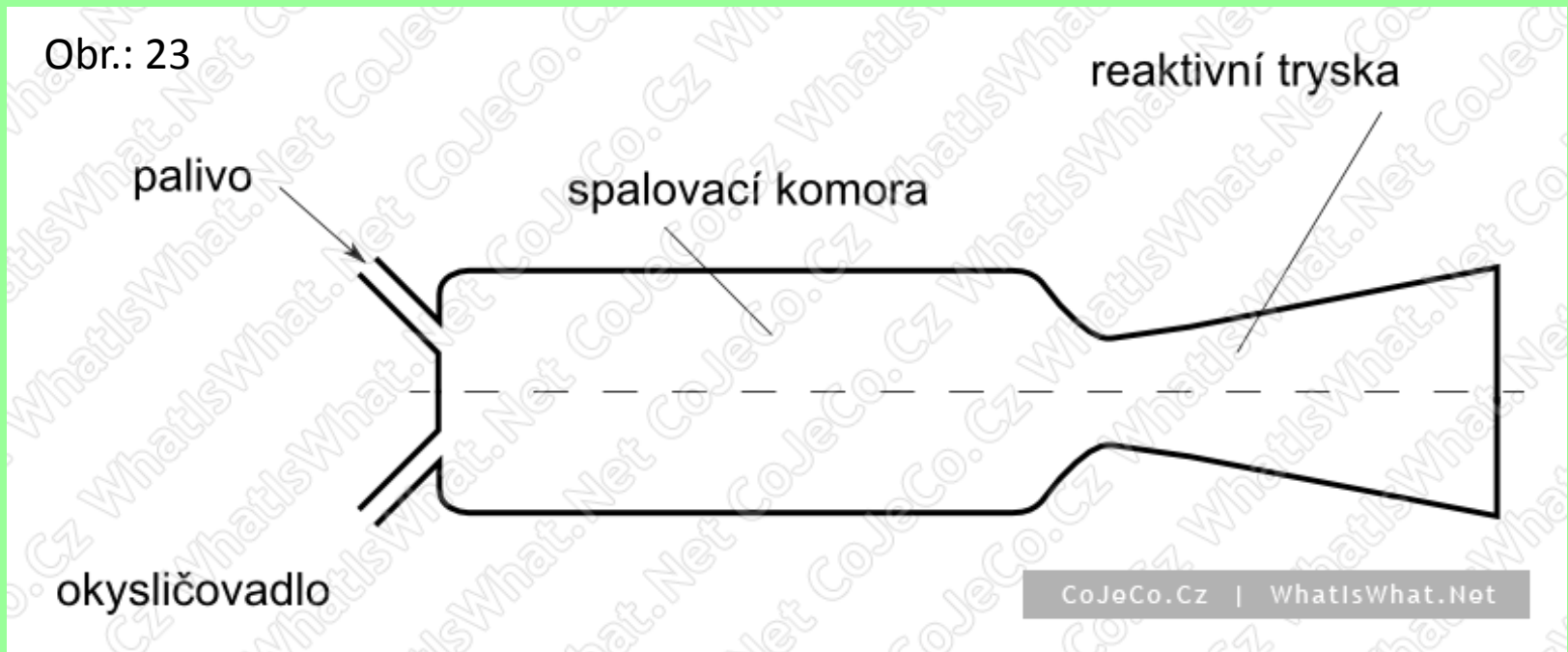
Raketoplán používá dva pomocné motory na tuhé palivo.



Obr.: 22

4. 4. TEPELNÉ MOTORY – (4) raketový

- **tekuté palivo**
- výkonnější, účinnější, složitější.
- využívá dvě nádrže – na palivo a okysličovadlo



4. 4. TEPELNÉ MOTORY

- Tepelné motory pracují cyklicky v tzv. **rozpojeném cyklu** (po expanzi je plyn vypuzován a komprimuje se nová dávka).
- Expanzní práce plynu je větší než práce kompresní, kterou s plynem konají vnější síly.

4. 4. TEPELNÉ MOTORY

- maximální účinnost tepelného motoru pracujícího mezi teplotami T_1 a T_2 je:

$$\eta_{\max} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

- účinnost je tím větší, čím
 - je teplota ohřivače **větší**
 - je teplota chladiče **menší**

4. 4. TEPELNÉ MOTORY

Tepelný motor	η_{\max}	η
parní stroj	0,35	0,09 - 0,15
parní turbína	0,60	0,25 - 0,35
plynová turbína	0,55	0,22 - 0,37
čtyřdobý zážehový	0,65	0,20 - 0,33
vznětový motor	0,73	0,30 - 0,42
raketový motor	0,75	0,50

Použitá literatura

Literatura:

- BARTUŠKA, K., SVOBODA, E. *Molekulová fyzika a termika, Fyzika pro gymnázia*. Praha: Prometheus, 2006. ISBN 80-7196-200-7
- LEPIL, O. *Sbírka úloh pro střední školy. Fyzika* Praha: Prometheus, 2010. ISBN 978-80-7196-266-3

Obrázky:

Obrázky 1 - 8 [online]. [cit. 2012-07-19]. Dostupné z:

- [1] - http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/de/William_Thomson_1st_Baron_Kelvin.jpg/434px-William_Thomson_1st_Baron_Kelvin.jpg
- [2] - http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d7/Max_planck.jpg
- [3] - <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/40/Clausius.jpg>
- [4] - http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d7/Wilhelm_Ostwald.jpg/545px-Wilhelm_Ostwald.jpg
- [5] - http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/8/80/Sadi_Carnot.jpeg/250px-Sadi_Carnot.jpeg
- [6] - http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/8/82/SwanningtonEngine_01.jpg/800px-SwanningtonEngine_01.jpg
- [7] - http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f0/Steam_engine_in_action.gif
- [8] - http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/72/Steam_engine_nomenclature.png/800px-Steam_engine_nomenclature.png

Použitá literatura

Obrázky 9 - 18 [online]. [cit. 2012-07-23]. Dostupné z:

[9] - http://www.automatizace.cz/images/article/5204_a_0509_strnka_17_obraz_0002.jpg

[10] - http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/dc/4StrokeEngine_Ortho_3D_Small.gif

[11] - <http://www.zbynekmlcoch.cz/informace/texty/automobily-motocykly/zazehovy-a-vznetovy-motor-video-princip-demonstrace-jaky-je-rozdil-mezi-motory>

[12] - http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/33/Two-Stroke_Engine.gif

[13] - <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/fc/DEWankel.JPG>

[14] - <http://digitaljournal.com/img/8/7/3/i/5/1/9/o/020823Wankel.jpg>

[15] - http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/da/Wankel_Cycle_anim.gif

[16] - <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/fc/DEWankel.JPG>

[17] - http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/90/Diesel_1883.jpg

[18] - http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/df/Frank_Whittle_CH_011867.jpg

[19] - BARTUŠKA, K., SVOBODA, E. *Molekulová fyzika a termika, Fyzika pro gymnázia*. Praha: Prometheus, 2006. ISBN 80-7196-200-7

Obrázky 11 - 23 [online]. [cit. 2012-07-25]. Dostupné z:

[20] - http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/ce/Turbojet_operation-_centrifugal_flow.png

[21] - http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/b2/SolidRocketMotor_CZ.svg/300px-SolidRocketMotor_CZ.svg.png

[22] - http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/41/Space_Shuttle_Columbia_launching.jpg/712px-Space_Shuttle_Columbia_launching.jpg

[23] - [online]. [cit. 2012-07-24]. Dostupné z:

<http://www.cojeco.cz/attach/image/max/89/fc6a/89fc6a847595a535e6cfb22731648cb2.gif>



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Tato prezentace vznikla na základě řešení projektu OPVK, registrační číslo: CZ.1.07/1.1.24/01.0114
s názvem
„PODPORA CHEMICKÉHO A FYZIKÁLNÍHO VZDĚLÁVÁNÍ NA GYMNÁZIU KOMENSKÉHO V HAVÍŘOVĚ“

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.