

FYZIKA

4. KRUHOVÝ DĚJ IDEÁLNÍHO PLYNU

STUDIJNÍ TEXTY PRO 2. ROČNÍK

Frolíková Martina
Augustynek Martin
Adamec Ondřej

OSTRAVA 2007

Budeme rádi, když nám jakékoliv případné dotazy a připomínky k textům zašlete na kterýkoliv z těchto kontaktů:

martina.frolikova@iuventas.cz

martin.augustynek@iuventas.cz

ondrej.adamec@iuventas.cz

Obsah

4. Kruhový děj ideálního plynu	1
4.1 Práce vykonaná při stálém a proměnném tlaku	4
4.2 Kruhový děj	5
4.3 Druhý termodynamický zákon	8
4.4 Tepelné motory	9
4.4.1 Princip čtyřdobého motoru	11
4.4.2 Princip dvoudobého motoru.....	12
4.4.3 Vznětový čtyřdobý motor (Dieselův motor)	13
4.4.4 Ostatní motory.....	13

4.1 Práce vykonaná při stálém a proměnném tlaku

Plyn uzavřený ve válcové nádobě s pohyblivým pístem působí na píst tlakovou silou F a při zvětšování objemu koná práci.

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

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

Práci plynu lze znázornit v diagramu p - V , který vyjadřuje tlak plynu jako funkci jeho objemu.

Práce vykonaná při izobarickém ději, při němž plyn přejde ze stavu A do stavu B je znázorněna obsahem obdélníku ležícího v diagramu- V pod izobarou AB. Tento diagram se taky nazývá pracovní diagram.

Celková práce W' vykonaná plynem při zvětšení objemu z počáteční hodnoty V_1 na konečnou hodnotu V_2 je rovna součtu:

$$W' = p_1 \cdot \Delta V + p_2 \cdot \Delta V + \dots + p_n \cdot \Delta V$$

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

Příklad:

Plyn uzavřený v nádobě s pohyblivým pístem zvětšil při stálém tlaku 4 MPa svůj objem o 100 cm³. Jakou práci vykonal?

$$p = 4 \text{ MPa} = 4 \cdot 10^6 \text{ Pa}, \Delta = 100 \text{ cm}^3 = 100 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3, W' = ?$$

pro práci vykonanou plynem platí:

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

$$W' = 4 \cdot 10^6 \cdot 100 \cdot 10^{-6}$$

$$W' = 400 \text{ J}$$

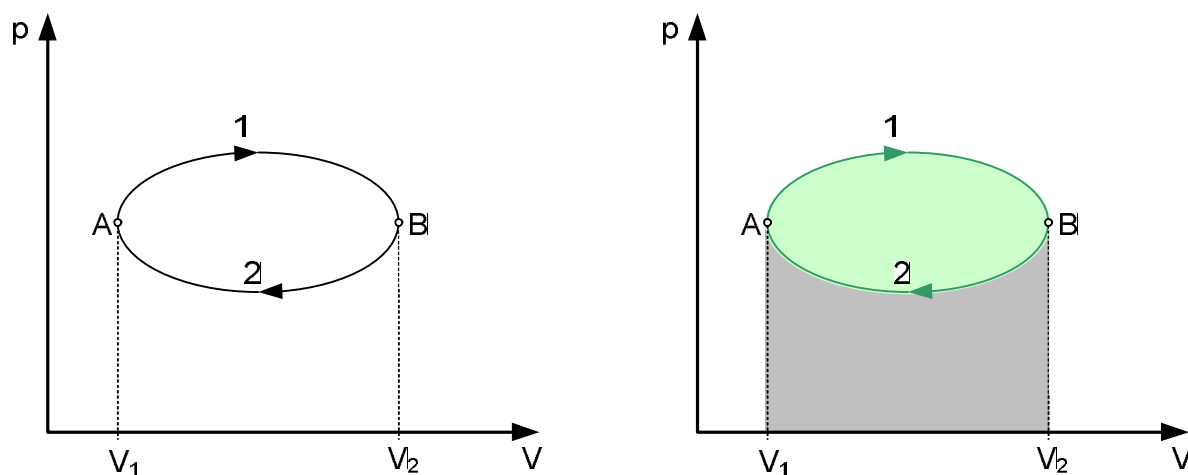
Plyn vykonal práci 400 J.

4.2 Kruhový děj

Část vnitřní energie paliva uvolněné hořením lze přeměňovat v energii mechanickou pomocí tepelným motorů. Nejstarším tepelným motorem schopným konat práci je parní stroj. Vynález parního stroje umožnil přejít od manufaktur k výkonnější strojové výrobě a stal se příčinou významných hospodářských a společenských změn.

Snaha o zvýšení účinnosti parního stroje vedla k podrobnému studiu tepelných dějů, při nichž plyn nebo pára konají práci. Z těchto dějů má největší význam **kruhový (cyklický) děj**.

Práce, kterou může vykonat plyn uzavřený ve válci s pohyblivým pístem při zvětšování objemu, má omezenou velikost, neboť objem plynu se nemůže neustále zvětšovat. Tepelný stroj může trvale pracovat jen tehdy, jestliže se plyn vždy po ukončení expanze vrátí do původního stavu. Děj, při němž je konečný stav totožný s počátečním stavem, se nazývá **kruhový (cyklický) děj**. Grafem vyjadřujícím tlak p plynu jako funkci jeho objemu V je tedy vždy uzavřená křivka.



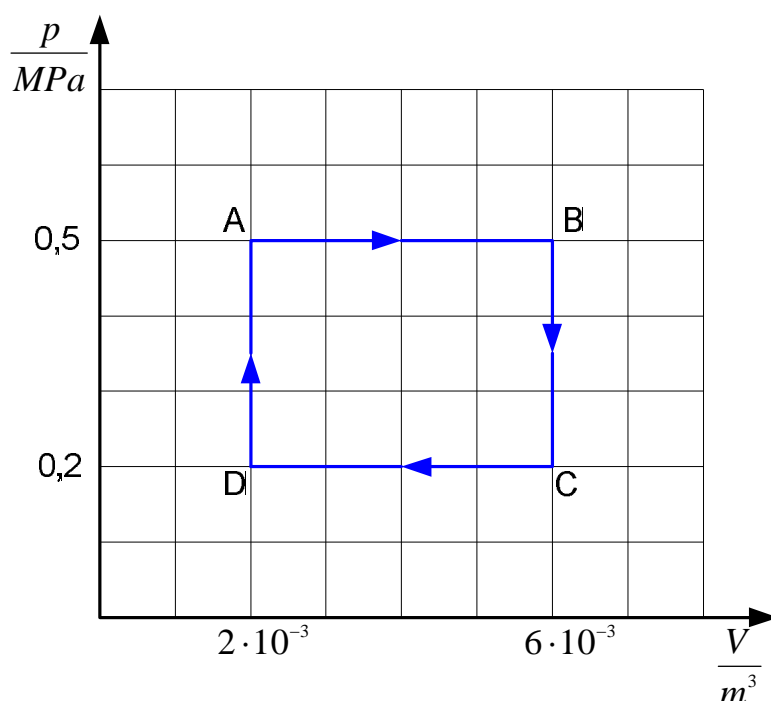
Obrázek 1 - Kruhový děj a pracovní diagram pro kruhový děj

Obsah plochy uvnitř křivky zobrazující v diagramu p - V kruhový děj znázorňuje celkovou práci vykonanou pracovní látkou během jednoho cyklu.

Tento cyklus se může mnohokrát opakovat, takže tepelný stroj, v němž se opakuje cyklický děj, může trvale konat práci.

Příklad:

Z kterých dějů se skládá kruhový děj s ideálním plynem znázorněném na obrázku? Jak lze tyto děje realizovat? Jakou práci vykoná plyn při ději zobrazeném úsečkou AB, BC, CD, DA? Jakou celkovou práci vykoná plyn při kruhovém ději ABCDA? Při kterých částech tohoto děje plyn přijímá teplo ze svého okolí, a při kterých teplo svému okolí odevzdává?



Obrázek 2 - Obrázek k příkladu

Řešení:

Děj zobrazený úsečkou AB je izobarické zvětšení objemu plynu, děj BC je izochorické snížení teploty plynu, děj CD je izobarické zmenšení objemu plynu a děj DA je izochorické zvětšení teploty plynu. Tyto děje lze uskutečnit např. s plynem uzavřeným ve válcové nádobě s pohyblivým pístem.

Závěr:

Při ději AB plyn teplo od svého okolí přijímá, při dějích BC a CD plyn teplo svému okolí odevzdává a při ději DA plyn teplo od svého okolí opět přijímá.

Poněvadž při kruhovém ději je počáteční stav látky totožný s konečným stavem, je **celková změna vnitřní energie pracovní látky po ukončení jednoho cyklu nulová** ($\Delta U = 0$). Těleso, od kterého pracovní látka přijme během jednoho cyklu teplo Q_1 , nazýváme **ohříváč**, těleso, kterému pracovní látka předá teplo Q_2 ($Q_2 < Q_1$), nazýváme **chladič**. Celkové teplo, které pracovní látka během jednoho cyklu přijme, je $Q = Q_1 - Q_2$. Použitím prvního termodynamického zákona $Q = \Delta U + W'$ pro tento děj pak dostaneme $W' = Q$.

Celková práce W' , kterou vykoná pracovní látka během jednoho cyklu kruhového děje, se rovná celkovému teplu $Q = Q_1 - Q_2$, které přijme během tohoto cyklu od okolí.

Z kruhového děje lze poznat, že z tepla Q_1 odebraného ohříváči se jen část tepla využije k vykonání práce W' , zbývající část (teplo Q_2) odevzdá plyn chladiči. Účinnost η libovolného kruhového děje je určena vztahem:

$$\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \quad \text{Účinnost je vždy menší než 1.}$$

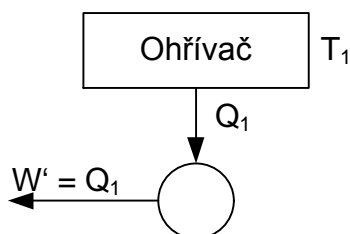
4.3 Druhý termodynamický zákon

Při rozboru činnosti tepelných strojů zjišťujeme, že z tepla přijatého od ohřivače lze jen část využít ke konání práce, zbytek tepla odevzdá pracovní látka chladiči. Tento poznatek platí pro libovolný cyklicky pracující tepelný stroj (např. kruhový děj).

Druhý termodynamický zákon:

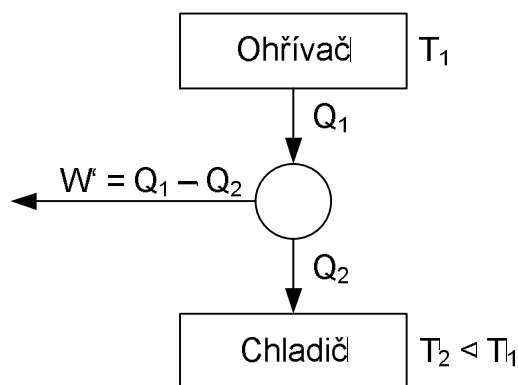
Není možné sestavit periodicky pracující tepelný stroj, který by jen přijímal teplo od určitého tělesa (ohřivače) a vykonával stejně velkou práci.

Při tepelné výměně těleso o vyšší teplotě nemůže samovolně přijímat teplo od tělesa o nižší teplotě.



Obrázek 3 - K druhému zákonu termodynamiky

Každý cyklicky pracující stroj pracuje podle tohoto schématu:



Obrázek 4 - Schéma činnosti cyklicky pracujícího stroje

Cyklicky pracující tepelný stroj, který by pracoval podle schématu na obrázku, se nazývá **perpetuum mobile** druhého druhu.

4.4 Tepelné motory

Tepelné motory jsou stroje, které přeměňují část vnitřní energie paliva uvolněné hořením na energii mechanickou.

Rozdělujeme je na motory:

- **parní** (parní stroj, parní turbína)
- **spalovací** (plynová turbína, zážehový motor dvoudobý a čtyřdobý, vznětový motor, proudový motor a raketový motor)

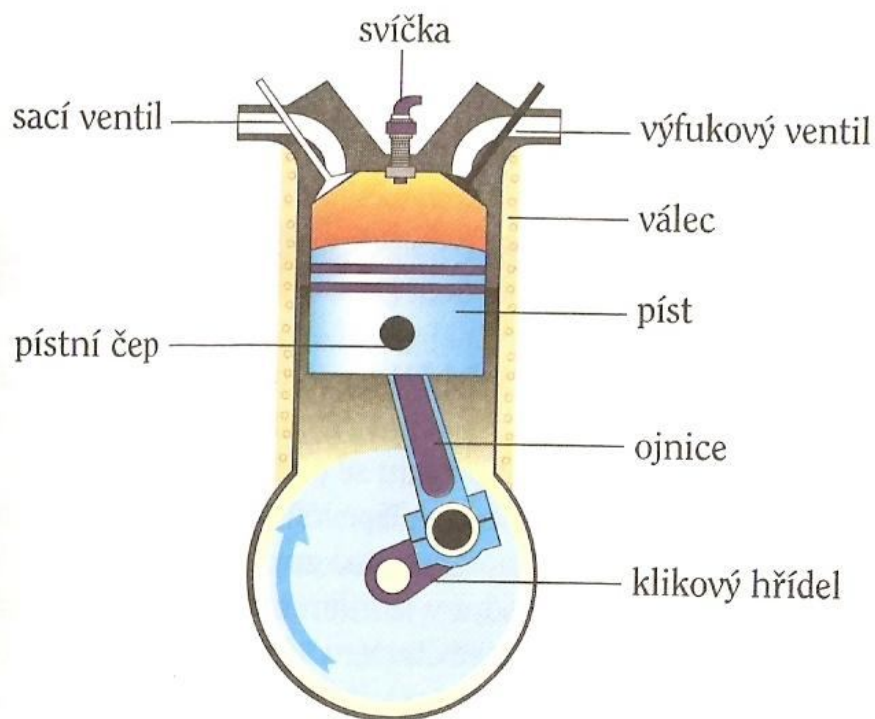
U parních motorů je pracovní látkou vodní pára, u spalovacích motorů je pracovní látkou plyn, vznikající hořením paliva uvnitř motoru.

Pro účinnost η tepelného motoru, který pracuje s ohříváčem o teplotě T_1 a chladičem o teplotě T_2 , platí:

$$\eta \leq \eta_{\max} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad \text{kde } \eta_{\max} \text{ je horní hranice účinnosti}$$

Účinnost tepelného motoru je tím vyšší, čím vyšší je teplota ohříváče a čím nižší je teplota chladiče.

Poznámka: Parní stroj sestrojil v roce 1784 skotský mechanik J. Watt, tento stroj se postupně rozšířil do různých odvětví a znamenal začátek průmyslové revoluce.

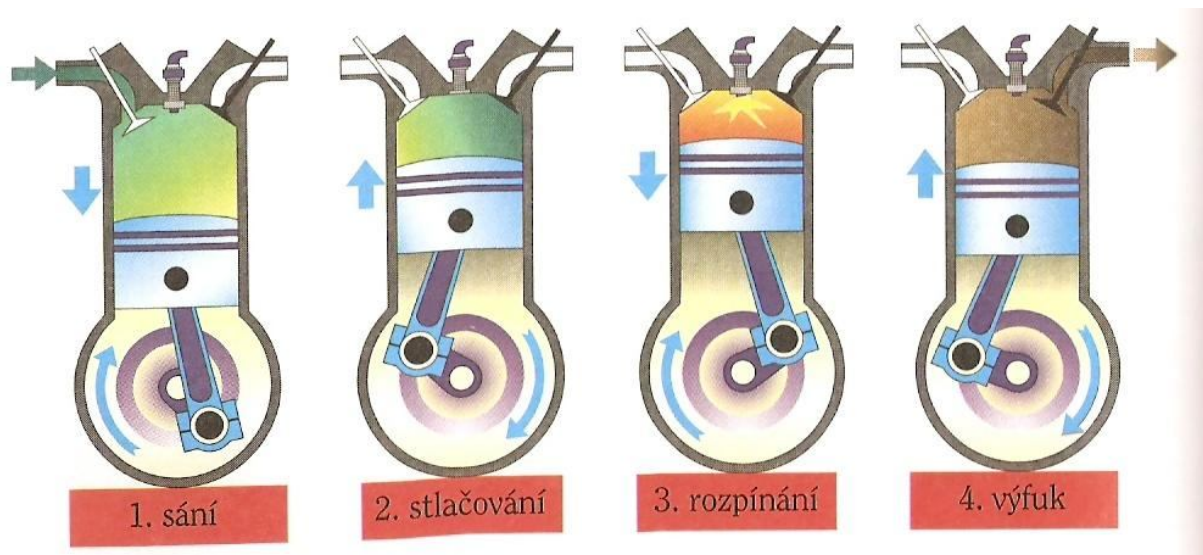


Obrázek 5 - Jednotlivé prvky motoru

V automobilech se používá **zážehový čtyřdobý motor**. Jako palivo se používá směs benzínu a vzduchu. Motor pracuje ve 4 dobách, které se opakují, to je **pracovní cyklus motoru**. Doby jsou tyto:

1. **Sání:** Píst jde dolů a tím vzniká podtlak. Proto otevřeným sacím ventilem vniká do válce chladná palivová směs.
2. **Stlačování:** Píst jde nahoru a stlačuje směs, oba ventily jsou při tom uzavřené. Tím se zvýší tlak směsi i teplota. Ve vhodném okamžiku, kdy se píst blíží své horní poloze, zapálí se stlačená směs elektrickou jiskrou.
3. **Rozpínání:** Zapálená směs hoří, zvyšuje se tlak vznikajícího plynu i teplota (asi na 2 000 °C). Oba ventily jsou uzavřené. Vytvořený plyn se prudce rozpíná a tlačí píst dolů. Koná práci a jeho vnitřní energie se zmenší, plyn se ochlazuje. Část vnitřní energie plynu se přemění na pohybovou energii pístu.
4. **Výfuk:** Píst jde nahoru, výfukový ventil se otevře: sací zůstává uzavřen. Spálené plyny jsou pohybem pístu vytlačeny výfukovým ventilem z válce.

4.4.1 Princip čtyřdobého motoru



Obrázek 6 - Princip čtyřdobého motoru

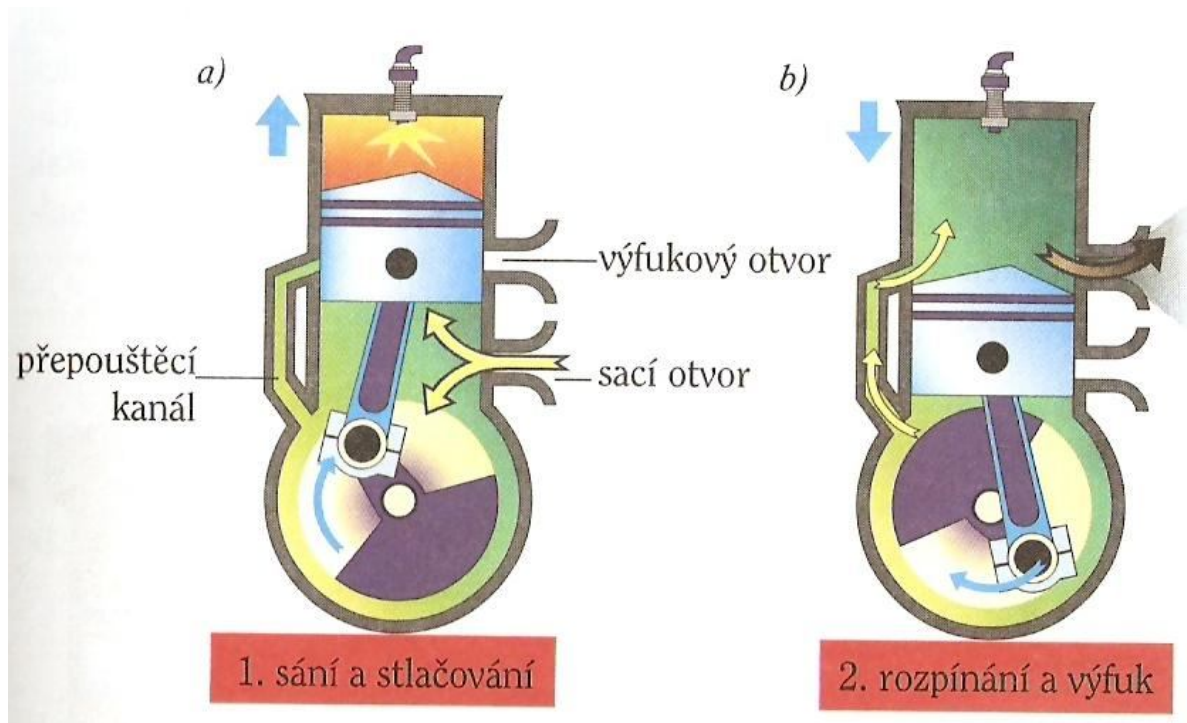
Motor tedy koná práci **jen ve třetí době**, kdy se rozpínají plyny vzniklé hořením palivové směsi.

Ve zbývajících dobách pracovního cyklu se píst udržuje v pohybu díky setrvačnosti. Motor automobilu má zpravidla 4 válce, když je v jednom z nich sání, tak v druhém je stlačování, ve třetím rozpínání a ve čtvrtém výfuk. Tím je zajištěno, že vždy se v jednom z válců koná práce. **Účinnost čtyřdobého motoru je asi 30%.**

Jednodušší je **zážehový dvoudobý motor**, který nemá sací a výfukový ventil. Pracovní cyklus tohoto motoru je:

1. **Sání a stlačování:** Píst jde nahoru, palivová směs se nasává do prostoru pod pístem. Současně probíhá stlačování směsi, která je nad pístem. Na konci stlačování je směs zapálená jiskrou.
2. **Rozpínání a výfuk:** Nad pístem se rozpínají plyny vzniklé shořením palivové směsi a tlačí píst dolů. Současně se přepouští kanálkem nová palivová směs z prostoru pod pístem do válce nad píst. Nová směs přitom pomáhá vytlačit plyny vzniklé předchozím spálením výfukovým otvorem.

4.4.2 Princip dvoudobého motoru



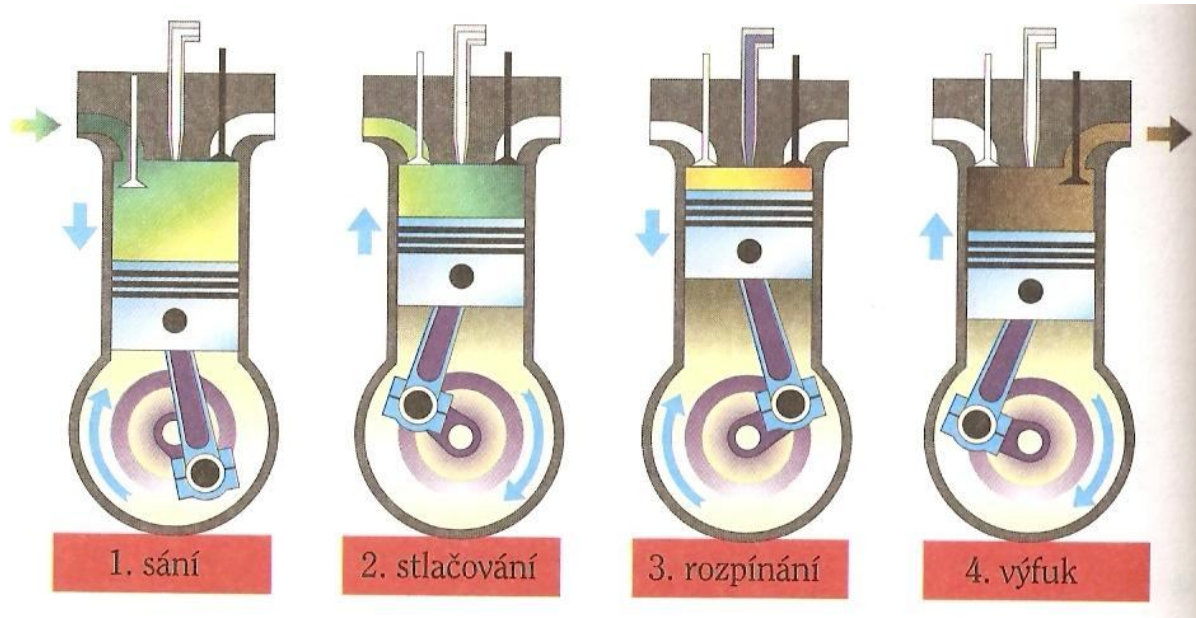
Obrázek 7 - Princip dvoudobého motoru

Dvoudobý motor nepotřebuje ventily, při svém pohybu postupně zakrývá a odkrývá otvory pro výfuk, sání a přepouštění.. Konstrukce tohoto motoru je jednodušší, při stejném výkonu má menší hmotnost, než čtyřdobý.

Účinnost dvoudobého motoru je 20 %.

4.4.3 Vznětový čtyřdobý motor (Dieselův motor)

Vznětový čtyřdobý motor (Dieselův motor) – má obdobnou konstrukci jako čtyřdobý motor, nepotřebuje elektrické zapalování směsi. Do horkého vzduchu (asi 600 °C) se vstříkuje palivo, které se vznítí a hoří ve válci během třetí doby. Jako palivo se používá motorová nafta.



Dané schéma znázorňuje práci Dieselova vznětového motoru.

Účinnost Dieselova motoru je 40 %.

4.4.4 Ostatní motory

Proudové motory se začaly vyrábět během druhé světové války, v současné době mohou některá letadla poháněná proudovými motory létat rychlostí větší, než je rychlost zvuku ve vzduchu.

Raketové motory se používají k uvádění umělých družic, kosmických sond a kosmických lodí na příslušnou trajektorii oběžné dráhy Země.

Seznam použité literatury

- /1/ *Milan Bednařík, Miroslava Šíroková: Fyzika pro gymnázia – Mechanika. Prométheus. Praha 1993*
- /2/ *Karel Bartuška, Emanuel Svoboda: Fyzika pro gymnázia – Molekulová fyzika a termika. Prométheus. Praha 1993*
- /3/ *Oldřich Lepil, Milan Bednařík, Radmila Hýblová: Fyzika pro střední školy – I. Prométheus. 1993*
- /4/ *Oldřich Lepil, Milan Bednařík, Radmila Hýblová: Fyzika pro střední školy – II. Prométheus. 1993*
- /5/ *Pavel Tarábek, Petra červinková a kol.: Odmaturuj z fyziky. Nakladatelství Didaktik. Brno 2004*
- /6/ *Emanuel Svoboda, Karel Bartuška, Milan Bednařík, Oldřich Lepil, Miroslava Šíroková: Přehled středoškolské fyziky. Prométheus. 1996*