

SPALOVACÍ MOTORY

Druhy spalovacích motorů – rozdělení

- podle způsobu zapalování**
- zážehové = zvláštním zdrojem (svíčkou)
 - vznětové = samovznícením
- podle počtu dob oběhu**
- čtyřdobé
 - dvoudobé
- podle chlazení**
- vzduchem
 - kapalinou
- podle způsobu plnění pracovního prostoru**
- nepřepřňované = atmosférické
 - přepřňované
- podle počtu válců**
- jedno a víceválcové
- podle uspořádání válců**
- jednořadé stojaté
 - dvouřadé s válci do V
 - vodorovné - ležaté
- podle tvoření směsi**
- karburační
 - vstřikové
- podle paliva**
- kapalná
 - plynná
 - dvojpaliivová
- podle použití**
- stacionární, lodní, automobilové, motocyklové..



Spalovací motor je : **tepelný hnací stroj**

- tepelnou energii přeměňuje na mechanickou práci
- tepelná energie se uvolňuje z paliva při jeho spalování
- spaluje se směs paliva a vzduchu
- pracovní látkou jsou zplodiny hoření

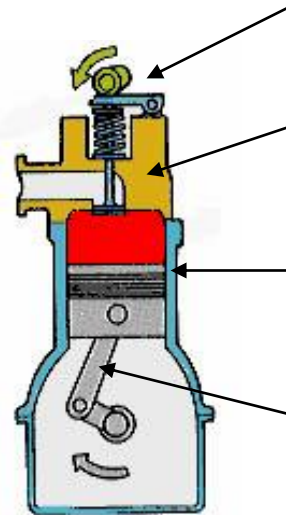
Spalovací motor je : **pístový stroj**

hlavní části jsou :

- válec
- hlava válce
- klikový mechanismus
- rozvodový mechanismus

pracovní prostor tvoří :

- válec
- hlava válce
- píst



otevírání a uzavírání pracovního prostoru pro výměnu pracovní látky zajišťuje rozvodový mechanismus

Práce pístového spalovacího motoru probíhá v pracovních cyklech = obězích.

Jeden pracovní oběh se skládá ze 4.fází.

- I. sání** - nasává se palivová směs nebo čistý vzduch
- II. komprese** - nasátá látka se pístem stlačuje
- III. expanze** - probíhá hoření palivové směsi, vznikající zplodiny se rozpínají a pohybují pístem = jediná fáze kdy z motoru lze odebírat výkon (koná práci) , při ostatních fázích naopak určitou práci spotřebuje
- IV. výfuk** - odvádí se zplodiny hoření do atmosféry

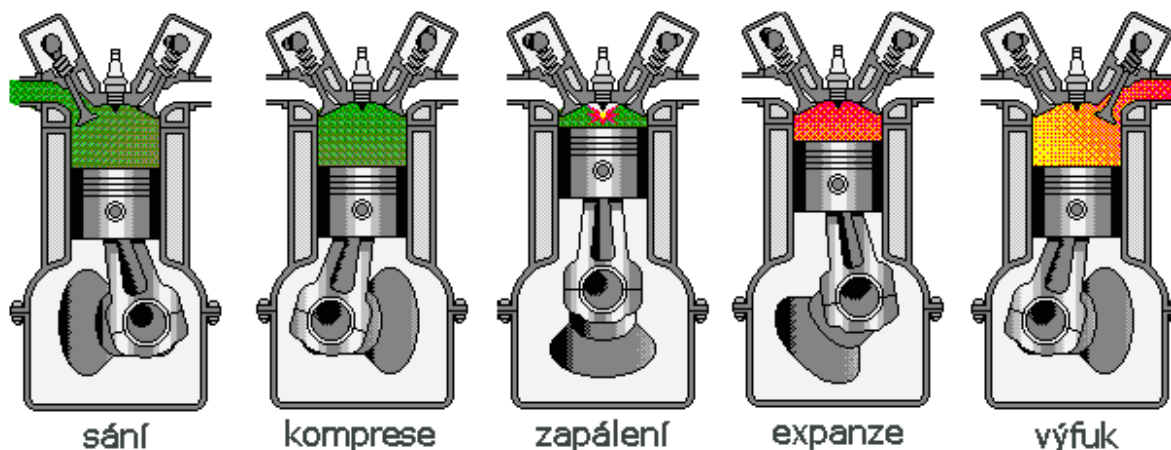
Čtyřdobý motor - tyto 4 fáze proběhnou během 4 zdvihů pístu tj. 2 otáček klikové hřídele

Dvoudobý motor - tyto 4 fáze proběhnou během 2 zdvihů pístu tj. 1 otáčky klikové hřídele

Zážehový motor - palivová směs v pracovním prostoru se v závěru komprese zapálí (zažehne) jiskrou na zapalovací svíčke.

Vznětový motor - palivová směs v pracovním prostoru vznikne po vstříknutí paliva do stlačeného vzduchu a vzniká vlivem zvýšené teploty na konci komprese.

Čtyřdobý zážehový spalovací motor

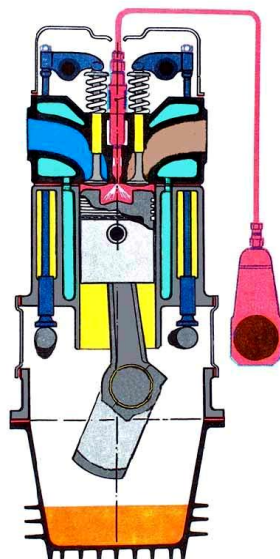


I. sání - píst z HÚ do DÚ, otevřen sací ventil, tvoří se a nasává palivová směs
II. komprese - píst z DÚ do HÚ, ventily jsou uzavřeny, nasátá směs se pístem stlačuje

Zapálení (zážeh) je pouze okamžik, kdy mezi elektrodami zapalovací svíčky přeskočí elektrická jiskra a zapálí stlačenou palivovou směs.

III. expanze - píst z HÚ do DÚ, ventily jsou uzavřeny, probíhá hoření palivové směsi
IV. výfuk - píst z DÚ do HÚ, otevřen výfukový ventil, odvádí se zplodiny hoření

Čtyřdobý vznětový spalovací motor



I. sání - píst z HÚ do DÚ, otevřen sací ventil, nasává se čistý vzduch
II. komprese - píst z DÚ do HÚ, ventily jsou uzavřeny, vzduch se stlačuje

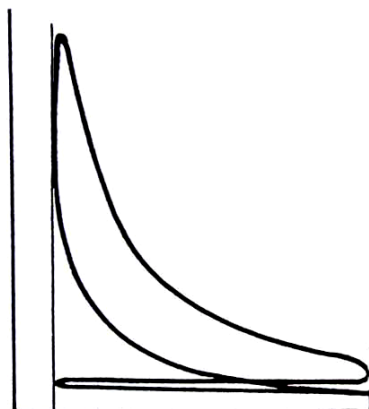
Před koncem kompresního zdvihu se do stlačeného a stlačením zahřátého vzduchu vstříkne palivo, dojde k jeho smíšení se vzduchem a **vznícení** této směsi.

III. expanze - píst z HÚ do DÚ, ventily jsou uzavřeny, probíhá hoření palivové směsi
IV. výfuk - píst z DÚ do HÚ, otevřen výfukový ventil, odvádí se zplodiny hoření

Pracovní diagramy čtyřdobých motorů

Na diagramech lze zobrazit jak se v pracovním prostoru mění tlak v závislosti na úhlu pootočení klikové hřídele (také poloze pístu). Pro zážehové a vznětové motory jsou diagramy podobné. Ve vznětových motorech se však dosahuje vyšších tlaků.

(viz. 3.ročník MEC - stavová rovnice, změny stavu ideálního plynu, tepelné oběhy, přeměna tepelné energie na mechanickou práci)



Teoretické diagramy oběhu se používají při výpočtech tepelných poměrů a předpokládaných parametrů při návrhu motoru.

Skutečné = indikátorové diagramy se získají z měřených veličin na skutečném motoru.

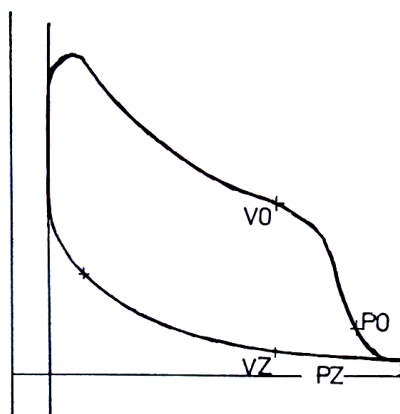
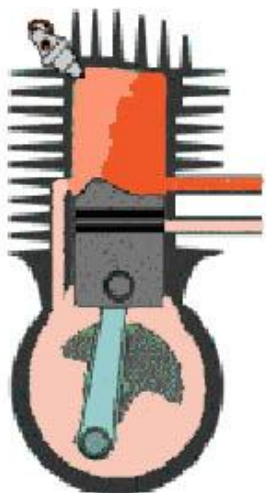
Dvoudobý zážehový spalovací motor

Pracovní cyklus probíhá během dvou zdvihů pístu. Pro práci je využit i prostor pod pístem. Motor nemusí mít ventily, sací a výfukový kanál jsou ve stěně válce a jsou zavírány překrytím pláštěm pístu.

1. zdvih - píst z DÚ do HÚ, ve spalovacím prostoru dochází ke kompresi, v prostoru pod pístem dojde k nasátí palivové směsi

2. zdvih - píst z HÚ do DÚ, ve spalovacím prostoru probíhá hoření-expanze, před DÚ se otevírá výfukový kanál, dochází k odvodu spalin a téměř současně se palivová směs z prostoru pod pístem přepustí otevřeným přepouštěcím kanálem do pracovního prostoru nad píst. Po určitý čas jsou otevřeny oba kanály současně.

Animace: <http://www.youtube.com/watch?v=LuCUmQ9FxMU&feature=channel>



Výhodou dvoudobého motoru je jednodušší konstrukce, neboť nemusí mít ventilový rozvod. Expanzních pracovních zdvihů je dvakrát více než u čtyřdobého motoru, proto motor stejného výkonu jako čtyřdobý je menší.

Nevýhodou je horší účinnost spalovacího procesu, což způsobuje větší měrnou spotřebu paliva a větší obsah škodlivin ve výfukových plynech. Dále je motor většinou mazán olejem přidaným do paliva, olej se spaluje a tím zvyšuje obsah kouře a nemožnost použít katalyzátor výfukových plynů.

Čtyřdobý vznětový přeplňovaný spalovací motor

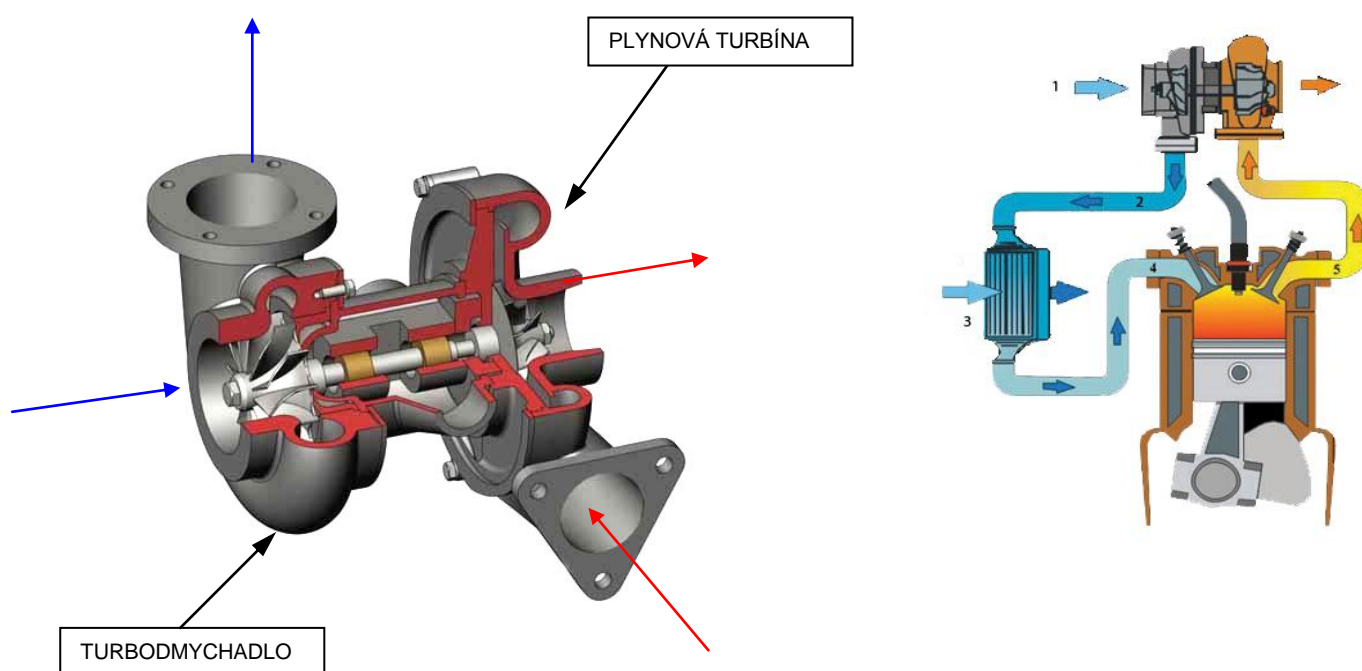
- Vzduch do pracovního prostoru není nasáván pohybem pístu ale tlačěn dmychadlem.
- Do pracovního prostoru se tak dostane více kyslíku, tím lze dodat a spálit více paliva.
- Dosáhne se vyššího pracovního tlaku a motor má vyšší výkon a větší točivý moment.
- Zvýší se i účinnost motoru a tím poklesne měrná spotřeba paliva.

Podle plnicího tlaku dmychadla se dělí motory na nízko, středně a vysokopřeplňované. U vysokopřeplňovaných motorů je plnicí tlak až dvojnásobný než atmosférický a tím lze zvýšit výkon až o 90% motoru nepřeplňovaného.

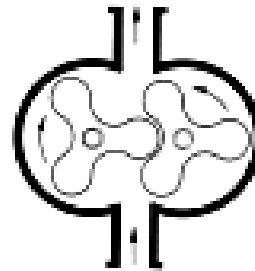
Pro stlačování a dopravu vzduchu se používají dmychadla.

Většinou se používá **turbodmychadlo poháněno turbínou** výfukovými plyny. Jedná se o dva lopatkové stroje na společné hřídeli. Turbínové lopatkové kolo je roztáčeno energií výfukových plynů. Toto kolo přes hřídel roztáčí lopatkové kolo radiálního turbodmychadla. Dosahuje se až 160 000 ot/min. Dmychadlo nasává vzduch axiálně a vytlačuje radiálně.

(podrobně princip práce – viz. kapitola kompresory)



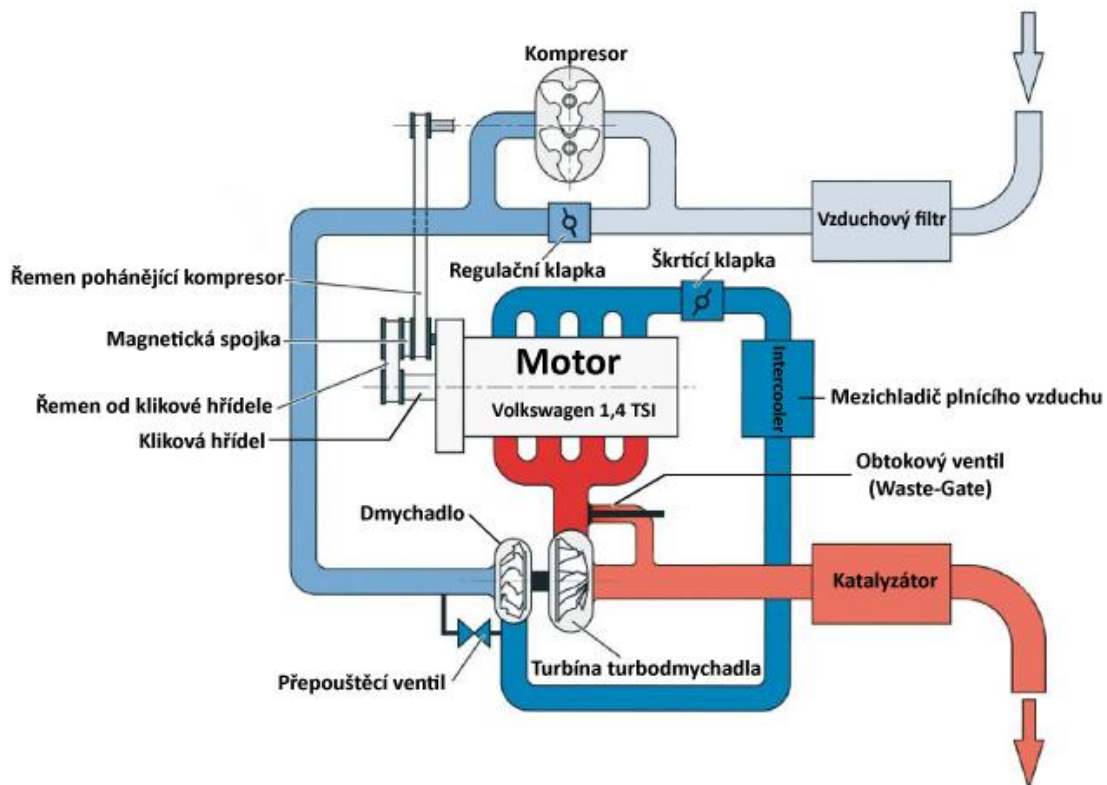
Spíše ojediněle se používá principu **Rootsovo dmyhadlo**, které je poháněno od klikové hřídele motoru.



Čtyřdobý zážehový přeplňovaný spalovací motor

Motory poprvé uvedl koncern Volkswagen s označením TSI. Jedná se o systém postupného přeplňování spojením kompresoru poháněného přímo z klikového hřídele a turbodmychadla klasicky poháněného výfukovými plyny.

Přeplňování naběhne bezprostředně po nastartování motoru, roztočí se kompresor a dodává vzduch se zvýšeným tlakem. Kompresor pracuje od volnoběžných otáček do 2400 otáček, kde se zapojí turbodmychadlo a kompresor se buďto odpojí nebo vypomáhá turbodmychadlu, ale maximálně do 3500 otáček kde naplno přebírá přeplňování turbodmychadlo, všechny přechody od kompresoru na turbodmychadlo a opačně se dějí plynule. Odpojení kompresoru probíhá pomocí magnetické spojky. Pokud se o přeplňování stará pouze kompresor tak se vzduch od kompresoru vyhne turbodmychadlu pomocí přepouštěcího ventilu.



Hlavní rozměry a parametry spalovacích motorů

průměr válce D
zdvih pístu L
kompresní poměr ε
zdvihový objem V_Z
počet válců i
otáčky n
střední pístová rychlost c_s
střední indikovaný tlak p_i a střední efektivní tlak p_e
jmenovitý efektivní výkon P_e
měrná spotřeba paliva m_{pe}

Průměr válce a **zdvih pístu** jsou základními rozměry které s dalšími parametry určují výkon motoru. Jejich vzájemný poměr se nazývá zdvihový poměr.

Zdvihový poměr

$$\lambda = \frac{L}{D} \quad \begin{array}{l} = 0,6 \text{ až } 1,1 \text{ pro zážehové motory} \\ = 0,9 \text{ až } 2,2 \text{ pro vznětové motory} \end{array}$$

je-li $\lambda < 1$ tj $L < D$ motor je tzv. podčtvercový
 $\lambda = 1$ $L = D$ čtvercový
 $\lambda > 1$ $L > D$ nadčtvercový

Čím je poměr λ menší, tím je klikový mechanismus motoru tužší neboť má kratší ojnici a menší poloměr kliky R .

Platí vztah $L = 2R$

Kompresní poměr

$$\varepsilon = \frac{V_V}{V_K} \quad \begin{array}{l} = 7 \text{ až } 9 \text{ pro zážehové motory} \\ = 15 \text{ až } 24 \text{ pro vznětové motory} \end{array}$$

V_V je objem válce (objem pracovního prostoru je-li píst v DÚ)

V_K je kompresní objem (objem pracovního prostoru je-li píst v HÚ)

Zdvihový objem

$$V_Z = V_V - V_K$$

$$V_Z = \frac{\pi D^2}{4} L$$

Počet válců

S rostoucím požadovaným výkonem se volí větší počet válců. Motor má také rovnoměrnější chod, ale rostou náklady na výrobu => roste cena motoru.

Otáčky motoru

Vyššími otáčkami motoru lze zvýšit jeho výkon $P = M_K 2 \pi n$. To znamená že motor může být menší a lehčí. Negativně se však vyšší otáčky projeví na rychlejším opotřebením a větší hlučnosti.

| | |
|---|-------------|
| Dnešní automobilové zážehové motory mají max. otáčky asi do | 7000 ot/min |
| automobilové vznětové | 5000 ot/min |
| lodní vznětové asi | 2000 ot/min |

Rozlišujeme :

Otáčky spouštěcí = otáčky, na které se motor musí roztočit pomocí vnějšího zdroje, aby mohl začít sám pracovat.

Otáčky volnoběžné = nejnižší otáčky bez zatížení, při kterých motor může pracovat.

Otáčky kritické = otáčky při kterých dochází k rezonanci stroje. Pokud jsou nižší než maximální, nesmí se využít jako pracovní neboť by došlo k poškození motoru.

Otáčky jmenovité – n_j = nejvyšší otáčky při kterých motor může trvale dodávat jmenovitý (maximální) výkon.

Otáčky nejvyšší dovolené = otáčky které se nesmí překročit, neboť pak hrozí poškození motoru.

Střední pístová rychlost

Je průměrná rychlost pístu mezi HÚ a DÚ.

$$c_s = \frac{2Ln_j}{60} \quad [m.s^{-1}] \quad \begin{array}{l} = \text{do } 20 \text{ m.s}^{-1} \text{ pro zážehové motory} \\ = \text{do } 15 \text{ m.s}^{-1} \text{ pro vznětové motory} \end{array}$$

Střední užitečný (efektivní) tlak p_e [MPa]

Je pomyslný konstantní tlak působící na píst, který by na dráze jednoho zdvihu vykonal na klikové hřídeli motoru stejnou práci, jako skutečný proměnlivý tlak na dráze čtyř zdvihů (pro 4dodý motor).

volí se = do 1,0 MPa pro zážehové motory
= do 1,2 MPa pro vznětové motory
= do 1.5 MPa pro přeplňované mot.

Vyšší hodnotou p_e se zvýší točivý moment a výkon motoru, ale vzroste namáhání jeho součástí.

Střední indikovaný tlak p_i [MPa]

Je pomyslný konstantní tlak působící na píst, který by na dráze jednoho zdvihu vykonal na pístu motoru stejnou práci, jako skutečný proměnlivý tlak na dráze čtyř zdvihů (pro 4dodý motor).

Platí vztah

$$p_e = p_i \cdot \eta_m$$

η_m je mechanická účinnost, vyjadřuje ztráty třením při přenosu výkonu od pístu na klikovou hřídel

Výkon

Udává se jmenovitý efektivní výkon.

Vztah pro výkon spalovacího motoru postupně odvodíme :

Obecný vztah pro výkon
$$P = \frac{A}{t} = \frac{F \cdot s}{t} = F \cdot v$$

Efektivní výkon pro 4dobý motor
$$P_e = S \cdot p_e \cdot c_s \cdot i \cdot \frac{1}{4}$$

$$P_e = \frac{\pi D^2}{4} \cdot p_e \cdot \frac{2Ln_j}{60} \cdot i \cdot \frac{1}{4} \quad [W]$$

| | |
|-----------------------------|------------------------|
| D [m] | průměr pístu (válce) |
| p_e [Pa] | střední efektivní tlak |
| L [m] | zdvih |
| n_j [min ⁻¹] | jmenovité otáčky |
| i | počet válců |

Měrná spotřeba paliva

$$m_{pe} \quad [g \cdot kW^{-1} \cdot hod^{-1}]$$

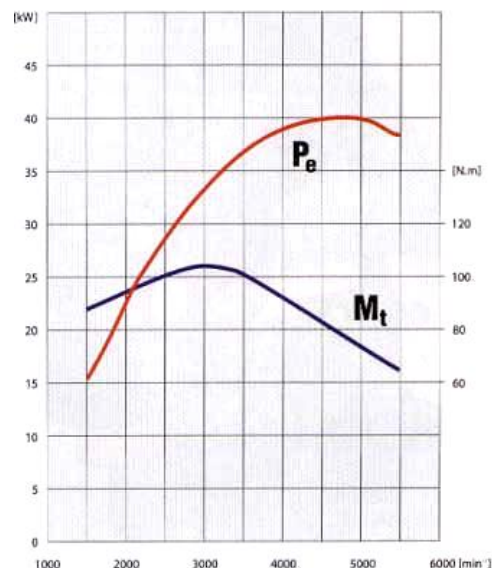
Je hmotnost paliva v g spotřebovaného na 1 kW výkonu za 1 hodinu.

- = 220 až 340 pro zážehové motory 4dobé
- = 400 až 700 pro zážehové motory 2dobé
- = 180 až 280 pro vznětové motory

Charakteristiky spalovacích motorů

Vyjadřují graficky závislosti provozních veličin motoru.

Neběžnější jsou otáčkové charakteristiky, kde nezávisle proměnnou veličinou jsou otáčky, na kterých závisí výkon motoru P_e , točivý moment M_t , měrná spotřeba m_{pe} , teplota výfukových plynů apod.



Účinnost spalovacích motorů

V přivedeném palivu je vázána tepelná energie. Tato energie se uvolňuje hořením. Ale :

1. neumíme realizovat takové spalování, které by uvolnilo všechnu energii obsaženou v palivu.
2. neumíme realizovat takový tepelný oběh, který by všechnu uvolněnou tepelnou energii přeměnil na mechanickou práci.
3. část získané práce se ztratí třením mechanických součástí motoru.

Motor tedy pracuje s určitou účinností.

Indikovaná účinnost : - s jakou účinností se teplo obsažené v palivu přemění na mechanickou práci pístu.

q_i ... teplo využité pro práci tepelného indikovaného oběhu motoru

q_p ... teplo vázané v přivedeném palivu

$$\eta_i = \frac{q_i}{q_p}$$

Mechanická účinnost : - s jakou účinností se přenesení práce nebo výkon z pístu na klikovou hřídel.

P_e ... efektivní výkon na klikové hřídeli

P_i ... indikovaný výkon na pístu motoru

$$\eta_m = \frac{P_e}{P_i}$$

Celková účinnost : $\eta_c = \eta_i \cdot \eta_m$

= do 35% u zážehových motorů

= do 40% u vznětových motorů

= do 45% u vznětových motorů přeplňovaných (TDI)