

KKE/TSM – Teorie přeplňovaných spalovacích motorů

doc.Ing. Jiří Polanský Ph.D.



Podpořeno v rámci projektu CZ.1.07/2.2.00/15.0383  
Inovace studijního oboru Dopravní a manipulační technika  
s ohledem na potřeby trhu práce

## ÚVOD

- Přeplňování – proces, při kterém je do spalovacího prostoru motoru dopravován vzduch o vyšším hmotnostním průtoku a tlaku za pomoci turbodmychadla
- Turbodmychadlo – zařízení pro zvyšování tlaku dopravovaného média do spalovacího prostoru motoru

# PŘEPLŇOVÁNÍ SPALOVACÍCH MOTORŮ

## Základní parametry přeplňování

## ÚVOD

- Důvody pro zvyšování výkonu spalovacích motorů (vznětových – VM, zážehových ZM, benzínových – BM i plynových – PM):
  - Roste výkon a teda i tonáž vozidel (ekonomický aspekt)
  - Roste přepravní rychlost
  - Snižuje se spotřeba paliva

## Historie

- 1885 – patent přeplňovaného zážehového benzinového motoru – **Gottlieb Daimler**
- 1886 - patent přeplňovaného vznětového motoru – **Rudolf Diesel**
- 1905 – motor přeplňován pomocí dmychadla poháněného turbínou pomocí výfukových plynů – **Alfréd Buchi**

## ROVNICE PRO VÝKON

$$P_e = \frac{V_M \cdot p_e \cdot n}{30 \cdot \tau};$$

- Podle rovnice pro výkon je možné zvýšit výkon:
  - Zvyšováním otáček
  - Zvyšováním zdvihového objemu  $V_M$
  - Zvyšováním středního efektivního tlaku  $p_e$  -> přeplňováním

---

$V_M$  – Zdvihový objem motoru

$p_e$  – střední efektivní tlak

$n$  – otáčky

$\tau$  – počet zdvihů pístu na jeden pracovní

## Zvyšování středního efektivního tlaku $p_e$

Velikost středního efektivního tlaku je propojena s:

- Dopravní účinností
- Součinitelem přebytku vzduchu
- Indikovanou účinností
- Mechanickou účinností
- Hustotou plnicího vzduchu

## Cíle přeplňování

- Získat z pracovního oběhu větší množství energie (mechanické práce) při vysoké účinnosti
- Zvýšit přebytek vzduchu ve válci k regulaci teploty stěn válců a výfukových plynů.

# Základní parametry a označení

## • Střední rychlost pístu (čas jednoho zdvihu)

$$t_z = \frac{1}{2.f} = \frac{60}{2.n} [s]$$

f – frekvence otáčení [Hz]

n – otáčky motoru [ $\text{min}^{-1}$ ]

## • Průměrná rychlost pístu

$$c_s = \frac{Z}{t_z} = \frac{Z.n}{30} [m.s^{-1}]$$

Z – zdvih [m]

## • Hustota plnicího vzduchu

$$\rho_s = \frac{p_s}{r.T_s} [kg.m^{-3}]$$

$p_s$  – tlak plnicího vzduchu (v sání) [Pa]

r – plynová konstanta [ $J.kg^{-1}.K^{-1}$ ]

$T_s$  – teplota plnicího vzduchu (v sání) [K]

## • Kompresní poměr

$$\varepsilon = \frac{V_1}{V_2} [-]$$

$V_1$  – objem na začátku komprese [ $m^3$ ]

$V_2$  – objem na konci komprese [ $m^3$ ]

# Základní parametry a označení

## • Průtokové množství paliva

$$\dot{m}_p = \frac{m_p}{t} [kg.s^{-1}]$$

$m_p$  – množství paliva [kg]

## • Výhřevnost paliva $H_u$

$$H_u = \frac{Q}{m_p} [J.kg^{-1}]$$

Q – množství uvolněné energie [J]

## • Měrná spotřeba paliva

$$m_{pe} = \frac{\dot{m}_p}{P_e} [kg.s^{-1}.W^{-1}]$$

$P_e$  – Užitečný výkon [W]

## • Střední indikovaný tlak - $p_i$

$$p_i [Pa]$$

Tlak stálé velikosti, který by při zdvihu pístu z jedné úvratí do druhé vykonal stejnou práci jako proměnlivý tlak během celého cyklu.

## • Střední efektivní (užitečný) tlak - $p_e$

$$p_e = p_i \cdot \eta_m [Pa]$$

je indikovaný tlak  $p_i$  zmenšený o mechanickou účinnost (tlak přepočtený na spojku motoru, tedy s uvažováním ztrát při přenosu energie z čela pístu motoru až na spojku)

# Základní parametry a označení

## • Měrná práce – $w$

## • Měrná výkonost – $w_t$ (spalovací turbína)

Objemová měrná práce (střední tlak) –  $w_v$  je vztažená na zdvihový objem válce  $V_{z1}$  (objem probíhaný pístem o průměru  $D$  – *vrtání motoru* a  $Z$  – *zdvihu*)

$$w_v = \frac{W}{V_{z1}} = \frac{\int_{ob\dot{e}h} p.dV}{V_{z1}}$$

$$V_{z1} = \frac{\pi.D^2}{4} . Z$$

# Základní parametry a označení

## • Výkon – P

Pro adiabatický děj:  $P = \dot{m} \cdot (h_p - h_0)$

Výkon pístového motoru:

$$P = \frac{W_1 \cdot i_v \cdot i_p}{t_1} = \frac{W_1 \cdot 2 \cdot f \cdot i_v \cdot i_p}{\tau} = \frac{W_1 \cdot n \cdot i_v \cdot i_p}{30 \cdot \tau}$$

$W_1$  – práce jednoho oběhu trvajícího čas  $t_1$

f – frekvence otáčení kliky

n – otáčky motoru

$i_v$  – počet válců

$i_p$  – počet činných ploch

$\tau$  – počet zdvihů

## Základní parametry a označení

- Užitečný (efektivní) výkon –  $P_e$  [kW]
- Výkon pístového motoru:

$$P_e = \frac{i_v \cdot i_p \cdot V_{z1} \cdot p_e \cdot n}{30 \cdot \tau}$$

- $V_{z1}$  – zdvihový objem jednoho válce [dm<sup>3</sup>]
- $p_e$  – užitečný střední tlak [MPa]
- $i_v$  – počet válců
- $i_p$  – počet činných ploch ( 1 – jednočinný motor)
- $\tau$  – počet zdvihů ( 2 – dvoudobý, 4 – čtyřdobý )
- $V_{z1} \cdot i_v$  – zdvihový objem motoru

## Základní parametry a označení

- Točivý moment –  $M_M$  (za podmínky  $W_M = W_e$ ) [kN.m]

$$M_M = \frac{i_v \cdot i_p \cdot V_{z1} \cdot p_e}{\pi \cdot \tau}$$

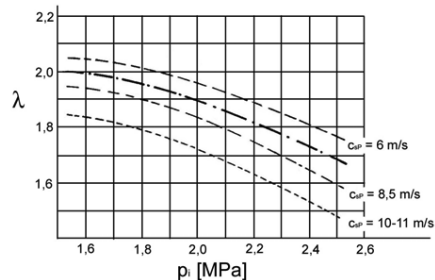
- $V_{z1}$  – zdvihový objem jednoho válce [dm<sup>3</sup>]
- $p_e$  – užitečný střední tlak [MPa]
- $i_v$  – počet válců
- $i_p$  – počet činných ploch ( 1 – jednočinný motor)
- $\tau$  – počet zdvihů ( 2 – dvoudobý, 4 – čtyřdobý )
- $V_{z1} \cdot i_v$  – zdvihový objem motoru

## Základní parametry a označení

- Součinitel přebytku vzduchu ve válci  $\lambda_e$ .

$$\frac{\rho_s}{\lambda_e} = \rho_s \cdot m_p \cdot \frac{L_t}{V_z \cdot \rho_s}$$

- Součinitel přebytku tlaku ovlivňuje velikost  $p_i$  nepřímo



Graf závislosti  $\lambda$  na  $p_i$  a  $c_s$  [2]

$\rho_s$  – hustota vzduchu v sání  
 $m_p$  – hmotnost paliva

$L_t$  – teoretická spotřeba paliva  
 $c_s$  – střední pístová rychlost

## Základní parametry a označení

- Dopravní účinnost  $\eta_d$

$$\eta_d = \frac{m_e}{V_z \cdot \rho_s} [-]$$

$m_e$  - množství směsi ve válci [kg]

$V_z$  – zdvihový objem [m<sup>3</sup>]

$\rho_s$  – hustota média v sání [kg.m<sup>3</sup>]

- Objemová účinnost  $\eta_o$

$$\eta_o = \frac{V_e}{V_z} [-]$$

$V_z$  – ztrátový objem [m<sup>3</sup>]

$V_e$  – objem čerstvé náplně [m<sup>3</sup>]

- Účinnost plnění (plnicí)  $\eta_{pl}$

$$\eta_{pl} = \frac{m_s}{\rho_s \cdot V_z} [-]$$

$m_s$  - množství média v sání motoru [kg]

$V_z$  – zdvihový objem [m<sup>3</sup>]

$\rho_s$  – hustota média v sání [kg.m<sup>3</sup>]

- Mechanická účinnost  $\eta_m$

$$\eta_m = \frac{W_e}{W_i} = \frac{P_e}{P_i} [-]$$

Udává poměr efektivní mechanické práce ( $W_e$  [kJ]) / efektivního výkonu ( $P_e$  [W]) na vstupu do zařízení a indikované mechanické práce ( $W_i$  [kJ]) / indikovaného výkonu ( $P_i$  [W]) odvedeného ze zařízení

## Základní parametry a označení

- **Termodynamická účinnost  $\eta_t$**

$$\eta_t = 1 - \frac{Q_o}{Q_{pc}} [-]$$

$Q_o$  – množství tepla odvedeného z cyklu [J]

$Q_{pc}$  – množství tepla přivedeného cyklu [J]

- **Chemická účinnost  $\eta_{ch}$**

$$\eta_{ch} = \frac{Q_p}{Q_d} [-]$$

$Q_p$  – množství tepla uvolněného spalováním [J]

$Q_d$  – chemická energie dodaná palivem (daná množstvím a výhřevností směsi) [J]

- **Koeficient plnosti indikátorového diagramu  $\eta_p$**

$$\eta_p = \frac{W_i}{W_t} [-]$$

$W_i$  – indikovaná mechanická práce [J] (práce pracovního média ve válci závisící od průběhu tlaku během zdvihu pístu)

$W_t$  – teoretická práce cyklu [J]

- **Indikovaná účinnost  $\eta_i$**

$$\eta_i = \frac{W_i}{Q_d} = \eta_t \cdot \eta_{ch} \cdot \eta_p [-]$$

## Základní parametry a označení

- **Efektivní účinnost  $\eta_e$**

$$\eta_e = \frac{W_e}{Q_d} = \eta_i \cdot \eta_m [-]$$

Udává poměr efektivní mechanické práce (  $W_e [J]$  ) na výstupní hřídeli a chemické energie dodané v palivě (  $Q_d [J]$  ). Je to indikovaná účinnosti zmenšená od mechanickou účinností.

## Zdroje

- [1] J. Macek; B. Suk : Spalovací motory I. - Praha 1996
- [2] L. Bartoníček: Přepřívání pístových spalovacích motorů – Liberec 2004
- [3] K. Hoffman: Regulovalé přepřívání vozidlových motorů. Brno, 2000.
- [4] J. Macek; V. Kliment: Spalovací turbíny, turbodmychadla a ventilátory (Přepřívání spalovacích motorů) – Praha 2003
- [5] Hiereth H., Prenninger P.: Charging the Internal Combustion Engine, Springer, Wien 2007
- [6] Bell C : Maximum Boost, Bentley Publishers, Cambridge – 1997
- [7] Baines C.N.: Fundamentals of Turbocharging, NREC, Vermont 2005

DIZKUSE...

...OTÁZKY?





### **Poděkování**

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

**Projekt CZ.1.07/2.2.00/15.0383  
Inovace studijního oboru Dopravní a manipulační technika  
s ohledem na potřeby trhu práce**