

## Příloha 2 - Výpočtová část

Díličí výpočty geometrie válce a pracovního prostoru, návrh výfukového rezonátoru, jazýčkového ventilu, odhad mechanických ztrát.

# 1. Základní parametry motoru:

časování motoru:

$$P_{ot} := 113.\text{deg} \quad \text{přepouštění otevírá [deg po HÚ]}$$

$$V_{ot} := 82.\text{deg} \quad \text{výfuk otevírá [deg po HÚ]}$$

přepočet časování:

$$TR_{dur} := 2 \cdot \pi - (2 \cdot P_{ot}) = 134.\text{deg} \quad \text{přepouštění otevřeno [deg]}$$

$$EX_{dur} := 2 \cdot \pi - (2 \cdot V_{ot}) = 196.\text{deg} \quad \text{výfuk otevřen [deg]}$$

geometrie válce:

$$\text{bore} := 66.4\text{mm} \quad \text{vrtání [mm]}$$

$$\text{stroke} := 72.\text{mm} \quad \text{zdvih [mm]}$$

$$\text{obj} := \frac{\pi \cdot \text{bore}^2}{4} \cdot \text{stroke} = 0.249\text{L} \quad \text{objem motoru [ccm]}$$

$$r := \frac{\text{stroke}}{2} = 36.\text{mm} \quad \text{poloměr zalomení KH [mm]}$$

$$CR_{geom} := 24 \quad \text{geometrický kompresní poměr [-]}$$

$$l_{oj} := 125.\text{mm} \quad \text{délka ojnice [mm]}$$

$$\lambda := \frac{r}{l_{oj}} = 0.288 \quad \text{klikový poměr [-]}$$

$$\text{alf} := 82 \quad \text{časování výfuku [deg po HÚ]}$$

$$\text{alfa} := \text{alf} \cdot \frac{\pi}{180} = 1.431.\text{rad} \quad \text{přepočet na radiány}$$

poloha pístu po HÚ [mm]:

$$\text{poloha} := r \cdot \left[ (1 - \cos(\text{alfa})) + \left( \frac{\lambda}{4} \right) \cdot (1 - \cos(2 \cdot \text{alfa})) \right] = 36.073.\text{mm}$$

$$\text{skutečný kompresní poměr [-]:} \quad CR_{trapp} := \frac{\pi \cdot \text{bore}^2}{4} \cdot \text{poloha} \cdot \frac{CR_{geom}}{\text{obj}} = 12.024$$

$$\text{objem kompresního prostoru [ccm]:} \quad \text{obj}_{kp} := \frac{\text{obj}}{CR_{geom}} = 10.388.\text{cm}^3$$

$$\text{výška kanálu [mm]} \quad V_k := \text{stroke} - \text{poloha} = 35.927.\text{mm}$$

## 2. Návrh výfukového rezonátoru

vstupní údaje motoru:

$$\text{RPM} := 9000 \frac{1}{\text{min}} \quad \text{otáčky pro výpočet navrhovaného max výkonu [1/min]}$$

$$R_e := 287 \cdot \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad \text{měrná plynová konstanta [J/kg*K]}$$

$$\gamma := 1.4 \quad \text{Poissonova konstanta plynu}$$

$$T_{\text{exc}} := 833\text{K} \quad \text{průměrná teplota zplodin ve výfuku [K]}$$

$$d_0 := 38.\text{mm} \quad \text{výstupní průměr kanálu [mm]}$$

$$\text{výfuk otevřen [rad]} \quad \theta_{\text{ep}} := 2 \cdot \pi - (2 \cdot V_{\text{ot}}) = 3.421 \cdot \text{rad}$$

$$\text{rychlost zvuku [m/s]} \quad A_0 := \sqrt{\gamma \cdot R_e \cdot T_{\text{exc}}} = 578.532 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{výpočtová délka [mm]} \quad L_T := \frac{83.3 \cdot A_0 \cdot \theta_{\text{ep}} \cdot \frac{180}{\pi}}{60000\text{RPM}} = 1.05 \times 10^3 \cdot \text{mm}$$

první část a difuzor:

$$L_1 := 0.1 \cdot L_T = 104.951 \cdot \text{mm}$$

$$L_2 := 0.275 \cdot L_T = 288.615 \cdot \text{mm}$$

$$L_3 := 0.183 \cdot L_T = 192.06 \cdot \text{mm}$$

$$L_4 := 0.092 \cdot L_T = 96.555 \cdot \text{mm}$$

druhá část, konfuzor a koncovka

$$L_5 := 0.11 \cdot L_T = 115.446 \cdot \text{mm}$$

$$L_6 := 0.24 \cdot L_T = 251.882 \cdot \text{mm}$$

$$L_7 := L_6 = 251.882 \cdot \text{mm}$$

volba koeficientů:

$k_1 := 1.1$	rozpětí 1.05 - 1.125
$k_2 := 3.5$	rozpětí 2.125 - 3.5
$k_h := 1.5$	koeficient "troubení" rozpětí 1.25 - 2.0, čím více, tím rozdílnější průměry

průměry segmentů:

$$d_1 := d_0 \cdot k_1 = 41.8 \cdot \text{mm}$$

$$d_4 := d_0 \cdot k_2 = 133 \cdot \text{mm}$$

$$d_5 := d_4 = 133 \cdot \text{mm}$$

$$x_{12} := \left( \frac{L_2}{L_2 + L_3 + L_4} \right)^{k_h} \cdot \ln \left( \frac{d_4}{d_1} \right) = 0.409 \quad \text{poměrné exponenty [-]}$$

$$x_{13} := \left( \frac{L_2 + L_3}{L_2 + L_3 + L_4} \right)^{k_h} \cdot \ln \left( \frac{d_4}{d_1} \right) = 0.88$$

$$d_2 := d_1 \cdot e^{x_{12}} = 62.936 \cdot \text{mm}$$

$$d_3 := d_1 \cdot e^{x_{13}} = 100.73 \cdot \text{mm}$$

$$d_6 := 0.65 \cdot d_0 = 24.7 \cdot \text{mm}$$

výčet všech rozměrů:

$$d_1 = 0.042 \text{ m} \quad L_{x1} := L_1 = 104.951 \cdot \text{mm}$$

$$d_2 = 0.063 \text{ m} \quad L_{x2} := L_{x1} + L_2 = 393.566 \cdot \text{mm}$$

$$d_3 = 0.101 \text{ m} \quad L_{x3} := L_{x2} + L_3 = 585.626 \cdot \text{mm}$$

$$d_4 = 0.133 \text{ m} \quad L_{x4} := L_{x3} + L_4 = 682.181 \cdot \text{mm}$$

$$d_5 = 0.133 \text{ m} \quad L_{x5} := L_{x4} + L_5 = 797.627 \cdot \text{mm}$$

$$d_6 = 0.025 \text{ m} \quad L_{x6} := L_{x5} + L_6 = 1049.5087 \cdot \text{mm}$$

$$L_{x7} := L_{x6} + L_7 = 1301.391 \cdot \text{mm}$$

### 3. Výpočet ztrátového tlaku FMEP

Hodnoty slouží jako vstup do programu Lotus Engine Simulation, jako náhrada defaultních mechanických ztrát, které neodpovídají realitě.

$i := 6..20$       výpočetní vztah dle [1]:  $FMEP = 105 \cdot \text{zdvih} \cdot \text{RPM}$  [pa]

otáčky 3000 - 10 000 [1/min], krok 500

$f_{mep}(i) := (i \cdot 500 \cdot 0.072 \cdot 105)$

výčet ztrátových tlaků:

$f_{mep}(6) = 22680$	při 3000 ot/min [pa]
$f_{mep}(7) = 26460$	při 3500 ot/min [pa]
$f_{mep}(8) = 30240$	při 4000 ot/min [pa]
$f_{mep}(9) = 34020$	při 4500 ot/min [pa]
$f_{mep}(10) = 37800$	při 5000 ot/min [pa]
$f_{mep}(11) = 41580$	při 5500 ot/min [pa]
$f_{mep}(12) = 45360$	při 6000 ot/min [pa]
$f_{mep}(13) = 49140$	při 6500 ot/min [pa]
$f_{mep}(14) = 52920$	při 7000 ot/min [pa]
$f_{mep}(15) = 56700$	při 7500 ot/min [pa]
$f_{mep}(16) = 60480$	při 8000 ot/min [pa]
$f_{mep}(17) = 64260$	při 8500 ot/min [pa]
$f_{mep}(18) = 68040$	při 9000 ot/min [pa]
$f_{mep}(19) = 71820$	při 9500 ot/min [pa]
$f_{mep}(20) = 75600$	při 10000 ot/min [pa]

## 4. Výpočet jazýčkového ventilu

geometrie ventilu:

$n := 8$	počet otvorů [-]
$w := 22\text{mm}$	šířka jazýčku [mm]
$tl := 0.25\text{mm}$	tloušťka jazýčku [mm]
$vd := 29.5\text{mm}$	volná délka jazýčku pro materiál karbon [mm]
$vdo := 25\text{mm}$	délka okna bloku [mm]
$ub := 30.\text{deg}$	úhel bloku [deg]

zadání materiálu jazýčku: [2]

210000 MPa ocel  
21500 MPa glass fibre  
21800 MPa carbon composite

$E_{\text{reed}} := 21800\text{MPa}$  modul pružnosti v tahu

$\rho := 1495 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  hustota materiálu

7850 kg/m<sup>3</sup> ocel  
1850 kg/m<sup>3</sup> glass fibre  
1495 kg/m<sup>3</sup> carbon composite

$$f_{\text{reed}} := \frac{1.875^2}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{E_{\text{reed}} \cdot tl^2}{\rho \cdot 12 \cdot vd^4}} = 177.189 \frac{1}{s}$$

vlastní frekvence kmitání [Hz] dle [1]

$$S_{\text{ef}} := w \cdot vdo \cdot n \cdot \sin\left(\frac{ub}{2}\right) = 1.139 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

efektivní průtočná plocha bloku [mm<sup>2</sup>]

$$D_{\text{carb}} := \sqrt{4 \cdot \frac{S_{\text{ef}}}{\pi}} = 38.078 \cdot \text{mm}$$

průměr difuzoru karburace [mm]

**Seznam odborné literatury:**

[1] BLAIR, G. P. Design and Simulation of Two-Stroke Engines. 1st edition. Warrendale (Pennsylvania): Society of Automotive Engineers, 1996. ISBN 978-1-56091-685-0.

[2] Uhlík. GRM-Systems [online]. © 2015 GRM [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.grm-systems.cz/uhlik>