Výpočet tlaku

$$p = \frac{C_{int}}{V_{red}^{n}}, \text{ [1, zl. 437]}$$

p [Pa],

C_{int} [Pa·m^3] nutný iterační postup výpočtu, proveden níže,

V_{red} [m^3],

n [-].

$$V_{red} = V_{TV} + \tau \cdot V_{SV} + V_{TM} + \tau \cdot V_{SM} + \tau_R \cdot V_R,$$

V_{TV} [m^3],

τ [-],

V_{SV} [m^3],

- $V_{TM} = 110 \cdot 10^{-6}$ m^3,
- $V_{SM} = 90 \cdot 10^{-6}$ m^3,

τ_R [-],

- $V_R = 68{,}682 \cdot 10^{-6}$ m^3.

$$V_{TV} = S_T\left[l + r - \sqrt{l^2 - r^2 \cdot \sin^2(\varphi)} - r \cdot \cos(\varphi)\right], \text{ [1, zl. 440]}$$

S_T [m^2],

- $l = 0{,}105$ m,
- $r = 0{,}022$ m,

A $\varphi = 0$ deg, pootočení kliky.

$$S_T = \frac{\pi \cdot D_T^2}{4},$$

- $D_T = 0{,}068$ m, průměr válce na teplé straně,

-- $S_T = 3{,}631681 \cdot 10^{-3}$ m^2.

BB $$V_{TV}(0) = 461{,}12235 \cdot 10^{-6} - 79{,}89698 \cdot 10^{-6} \cdot \cos(\varphi) - \\ - \sqrt{145{,}4099 \cdot 10^{-9} - 6{,}383528 \cdot 10^{-9} \cdot \sin^2(\varphi)} = 0 \text{ m}^3.$$

$$\tau = \frac{T_{TR}}{T_{SR}},$$

- $T_{TR} = 900$ K,
- $T_{SR} = 330$ K,

-- $\tau = 2{,}727273$.

$$V_{SV} = S_S\left[l + r - \sqrt{l^2 - r^2 \cdot \sin^2(\varphi - \alpha)} - r \cdot \cos(\varphi - \alpha)\right], \text{ [1, zl. 440]}$$

- $S_S = S_T$ [m^2],
- $\alpha = 105$ deg.

CC $$V_{SV}(0) = 465{,}2223 \cdot 10^{-6} - 79{,}89698 \cdot 10^{-6} \cos(\varphi - 105) - \\ - \sqrt{145{,}4099 \cdot 10^{-9} - 6{,}383528 \cdot 10^{-9} \cdot \sin^2(\varphi - 105)} = \\ = 108{,}3658 \cdot 10^{-6} \ \text{m}^3 .$$

$$\tau_R = \frac{T_{TR}}{T_R},$$

-- $$T_R = \frac{T_{SR} - T_{TR}}{\ln\left(\frac{T_{SR}}{T_{TR}}\right)} = 568{,}124 \ \text{K}, \text{ [1, zl. 436]}$$

-- $\tau_R = 1{,}584161$.

DD $V_{red}(0) = 538{,}3982 \cdot 10^{-6}$ m^3.

$$n = \kappa - \nu(\kappa - 1), \text{ [1, zl. 446]}$$

- $\nu = 0{,}5$, ideální poměr mezi teplosměnnými plochami motoru a mrtvými objemy,
- $\kappa = 1{,}67$, [3, str.]

-- $n = 1{,}335$.

Nyní se provede první odhad iterační konstanty $\mathbf{C_{int}}$:

$$C_{int} \approx p_{st} \cdot V_{red}^n(0),$$

- $p_{st} = 15$ MPa,

E $C_{int} \approx 997{,}548$ Pa·m^3.

FF $p(0) = 15$ MPa.

Následně se vypočítá tlak pro další vybrané úhly pootočení hřídele*. Poté se podle [1, zl. 443] provede výpočet středního tlaku, pokud se vypočítaný střední tlak bude nepřiměřeně odchylovat od zadaného, pak se provede nový odhad integrační konstanty a celý výpočet (řádek **F**) se opakuje. Výsledky iterace jsou uvedeny v kapitole **Výpočet tlaku**.

**Vybrané body pootočení hřídele*

Většinou s dostatečnou přesností postačuje rozdělit otáčku cca po 10 deg.

Mezi skupinou vybraných pootočení hřídele by měly být zastoupeny úhly φ_{max}; φ_{min} [1, zl. 442] a úhly, při kterých je $V_{TVmin,max}$; $V_{SVmin,max}$ a $(V_{TV}+V_{SM})_{max;min}$.

Výpočet vybraných úhlů pootočení hřídele

φ_{max} [deg], [1, zl. 442] z této rovnice je zřejmé, že toto pootočení hřídele bude menší jak 90 deg

φ_{min} [deg], [1, zl. 442]

- φ_{TVmin}=0 deg, pootočení hřídele pro V_{TVmin},
- φ_{TVmax}=180 deg, pootočení hřídele pro V_{TVmax},
- φ_{SVmin}=α=105 deg, pootočení hřídele pro V_{SVmin},
- φ_{SVmax}=180+α=285 deg, pootočení hřídele pro V_{SVmax},

φ_{TSVmin} [deg], pootočení hřídele pro $(V_{TV}+V_{SV})_{min}$,

φ_{TSVmax} [deg], pootočení hřídele pro $(V_{TV}+V_{SV})_{max}$.

φ_{max} [deg],

$$\frac{dV_{red}}{d\varphi}=\frac{dV_{TV}}{d\varphi}+\tau\frac{dV_{SV}}{d\varphi}=0,$$

$$\frac{dV_{TV}}{d\varphi}=S_T\left(r\cdot\sin(\varphi)+\frac{r^2\cdot\sin(\varphi)\cdot\cos(\varphi)}{\sqrt{l^2-r^2\cdot\sin^2(\varphi)}}\right),$$

$$\frac{dV_{SV}}{d\varphi}=S_V\left(r\cdot\sin(\varphi-\alpha)+\frac{r^2\cdot\sin(\varphi-\alpha)\cdot\cos(\varphi-\alpha)}{\sqrt{l^2-r^2\cdot\sin^2(\varphi-\alpha)}}\right),$$

$$0=S_T\left(r\cdot\sin(\varphi)+\frac{r^2\cdot\sin(\varphi)\cdot\cos(\varphi)}{\sqrt{l^2-r^2\cdot\sin^2(\varphi)}}\right)+$$

$$+\tau\cdot S_V\left(r\cdot\sin(\varphi-\alpha)+\frac{r^2\cdot\sin(\varphi-\alpha)\cdot\cos(\varphi-\alpha)}{\sqrt{l^2-r^2\cdot\sin^2(\varphi-\alpha)}}\right),$$

$$0=r\cdot\sin(\varphi)+\frac{r^2\cdot\sin(\varphi)\cdot\cos(\varphi)}{\sqrt{l^2-r^2\cdot\sin^2(\varphi)}}+$$

$$+\tau\left(r\cdot\sin(\varphi-\alpha)+\frac{r^2\cdot\sin(\varphi-\alpha)\cdot\cos(\varphi-\alpha)}{\sqrt{l^2-r^2\cdot\sin^2(\varphi-\alpha)}}\right).$$

Řešením této rovnice na intervalu **0** až **360** deg (jedno otočení hřídele) je:

-- φ_{min}=87,0244 deg.

-- φ_{max}=259,647 deg.

Stejným způsobem lze řešit pootočení hřídele pro minimální a maximální objem motoru:

φ_{TSVmin} [deg],

$$\frac{d(V_{TV}+V_{SV})}{d\varphi}=\frac{dV_{TV}}{d\varphi}+\frac{dV_{SV}}{d\varphi}=0,$$

$$0=r\cdot\sin(\varphi)+\frac{r^2\cdot\sin(\varphi)\cdot\cos(\varphi)}{\sqrt{l^2-r^2\cdot\sin^2(\varphi)}}+$$

$$+r\cdot\sin(\varphi-\alpha)+\frac{r^2\cdot\sin(\varphi-\alpha)\cdot\cos(\varphi-\alpha)}{\sqrt{l^2-r^2\cdot\sin^2(\varphi-\alpha)}}.$$

-- φ_{TSVmin}=52,5 deg,
-- φ_{TSVmax}=232,5 deg.

Nyní se provede kontrola odhadu $\mathbf{C_{int}}$ podle středního tlaku oběhu [1, zl. 443].

$$p_{st}=\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi}p(\varphi)\,d\varphi\approx\frac{1}{360}\sum_{k=1}^{k=37}\underbrace{\frac{p_{k+1}+p_k}{2}(\varphi_{k+1}-\varphi_k)}_{M_k}$$

Jestliže se vypočítaný $\mathbf{p_{st}}$ bude významně odlišovat od zadaného je nutné provést nový odhad $\mathbf{C_{int}}$ a celý výpočet od řádku **E** zopakovat tolikrát než odhad $\mathbf{C_{int}}$ bude dostatečně přesný:

ST	[cm2]	36,3168
τ	[-]	2,7273
TR	[K]	568,124
τR	[-]	1,5842
ν	[-]	0,5
κ	[-]	1,67
n	[-]	1,335
Cint	[Pa·m3]	997,548

	φ [°]	VTV [cm3]	VSV [cm3]	p [MPa]
φTVmin	0	0	108,4669	14,554
	10	1,4663	95,2595	15,4867
	20	5,7988	81,3326	16,5003
	30	12,8025	67,1092	17,5696
	40	22,1665	53,0694	18,6527
φVmax	36,5639	36,5639	23,955869	19,933
	60	46,2786	27,6096	20,6038
	70	60,0347	17,2129	21,3098
	80	74,2291	8,9836	21,7276
φmin	87,0244	84,1905	4,6979	21,8169
	100	101,977	0,3676	21,5106
φSVmin	105	108,4669	0	21,2359
	120	126,1756	3,2835	19,9843
	130	136,1976	8,9836	18,9003
	140	144,5758	17,2129	17,7239
	150	151,1881	27,6096	16,5364
	160	155,9559	39,7284	15,4005
φTVmax	180	159,7939	67,1092	13,4338
	190	158,8326	81,3326	12,6369
	200	155,9559	95,2595	11,9684
	210	151,1881	108,4669	11,4236
	220	144,5758	120,6012	10,995
φVmin	232,5	133,8403	133,8403	10,61
	240	126,1756	140,6009	10,4536
	250	114,6874	148,1084	10,3262
φmax	259,647	102,4432	153,6366	10,2866
	270	88,3611	157,6326	10,3312
	280	74,2291	159,5535	10,4573
φSVmax	285	67,1092	159,7939	10,5507
	300	46,2786	157,6326	10,9529
	310	33,484	153,8061	11,3248
	320	22,1665	148,1084	11,7831
	340	5,7988	131,3824	12,9747
	350	1,4663	120,6012	13,7152
	360	0	108,4669	14,554

Úloha 1: souhrn zadání a výsledků.

$\varphi_{Vmin;\ max}$ [°] pootočení hřídele pro minimální, respektive maximální součet objemů válců; **$T_{TR,st}$** [K] střední teplota plynu na teplé straně regenerátoru; **$T_{TR,st}$** [K] střední teplota plynu na studené straně regenerátoru.

Odkazy

1. ŠKORPÍK, Jiří. *Oběh Stirlingova motoru*, 2009. [online] pokračující zdroj: Transformační technologie, ISSN 1804–8293. Dostupné z http://www.transformacni-technologie.cz/obeh-stirlingova-motoru.html.
2. KALČÍK, Josef, SÝKORA, Karel. *Technická termomechanika*, 1973. 1. vydání, Praha: Academia.
3. POLESNÝ, Bohumil. *Termodynamická data pro výpočet tepelných a jaderných energetických zařízení*, 1990. Brno: Vysoké učení technické v Československé redakci VN MON, ISBN 80-214-0160-5.