

DK 621.434.018—181

Toplotne izgube v delovnem procesu dvotaktnega, zračno hlajenega bencinskega motorja z majhno delovno prostornino zaradi prestopa toplote na valjeve stene

RADISLAV PAVLETIČ

1. Uvod

Toplota, ki prestopa iz delovnih plinov na valjeve stene, zaradi fizikalne zakonitosti prehajanja toplote v smeri negativnega temperaturnega gradienta, in toplota, ki se izgublja z izpušnimi plini, sta hkrati s količino in načinom dovoda toplote v procesu zgorevanja odločilni za indicirani izkoristek delovnega procesa v motorju. Povrh tega so toplotne izgube zaradi prestopa odločilne tudi za dimenzioniranje hladilnih površin zračno hlajenega valja pri motorju z notranjim zgorevanjem. Za dimenzioniranje hladilnih površin pa je treba poznati tudi razdelitev te toplote na posamezne površine, ki omejujejo delovni prostor valja. Te površine so površine kompresijskega prostora in površine valjevega plašča. Medtem ko so površine kompresijskega prostora med delovnim ciklom v stalnem stiku z delovnimi plini, je površina valjevega plašča, ki je v stiku z delovnimi plini, med ciklom spremenljiva.

2. Ekvivalentna površina valjevega plašča

Dvotaktni bencinski, zračno hlajeni motorji z majhno delovno prostornino imajo navadno organe za izpiranje valja v samem plašču valja v obliki vstopnih in izpušnih oken, ki jih krmili bat motorja. Kompresijski prostor takih motorjev omejuje notranja površina valjeve glave, površina dna bata in morebiten del površine valjevega plašča. Toplotni tok Φ , ki prestopa na te površine, je lahko izračunati iz osnovne enačbe za izračun prestopa toplote

$$\Phi = \alpha_m (T^* - T_{sm}) A, \quad (1)$$

če poznamo srednjo toplotno prestopnost α_m , ekvivalentno temperaturo delovnih plinov med delovnim procesom T^* in srednjo temperaturo sten T_{sm} [1], saj so vse veličine hkrati s površino A v tem izrazu med delovnim ciklom nespremenljive.

Za izračun količine toplote, ki prestopa na valjev plašč v področju giba bata, pa se je treba vprašati, kaj naj zaradi spremenljivosti površine, ki je med delovnim ciklom v stiku z delovnimi plini, pomeni površina A v zgornjem izrazu. Površina se menja v odvisnosti od kota ročične gredi in kinematičnih razmer ročičnega mehanizma. Površina A v enačbi (1) mora biti v tem primeru tako definirana, da je količina toplote izračunana s srednjimi ozir. ekvivalentnimi vrednostmi (α_m , T^* in

T_{sm}) enaka količini toplote, ki dejansko prestopa na valjeve stene pri spreminjajoči se prestopnosti α med ciklom, pri spreminjajoči se temperaturi T delovnih plinov, pri spreminjajoči se površini A , v stiku z delovnimi plini in ob predpostavki, da srednja temperatura stene med ciklom ne variira. Analitični izraz definicije take površine — ekvivalentne površine valjevega plašča — je tedaj

$$A_o^* = \frac{\int_{\text{cikel}} \alpha (T - T_{sm}) A_o d\varphi}{\alpha_m (T^* - T_{sm})} \quad (2)$$

Tako definirana ekvivalentna površina valjevega plašča ni veličina, ki je odvisna samo od geometrijskih veličin motorja, ampak je po gornjem izrazu veličina, ki je prek α odvisna še od toplotnih in tokovnih faktorjev ter prek T še enkrat od toplotnih faktorjev delovnega procesa. Zato je ekvivalentna površina A_o^* odvisna tudi od režima obratovanja motorja in — tako kakor α — vezana na določeno vrsto in velikost motorja.

Za računanje količine toplote, ki iz delovnih plinov prestopa na valjeve stene v področju giba bata po izrazu (1), je primerno najti za določen motor in določen režim obratovanja motorja določeno zvezo med ekvivalentno površino po definiciji (2) in neko geometrijsko veličino kakor npr. maksimalno površino stene valjevega plašča v gibnem področju bata A_{oo} , ali integralno srednjo vrednostjo te površine, definirane kot

$$A_o = \frac{1}{2\pi} \int_{\text{cikel}} A_o d\varphi, \quad (3)$$

ki je tudi geometrijska veličina določenega motorja. Vprašanje je, koliko je upravičeno računati z integralno srednjo vrednostjo namesto z ekvivalentno površino in kolikšna je razlika med obema vrednostima. Če označimo razmerje med ekvivalentno površino in maksimalno površino plašča v gibnem področju bata z ξ_1

$$\xi_1 = \frac{A_o^*}{A_{oo}} \quad (4)$$

razmerje med ekvivalentno površino in integralno srednjo vrednostjo iste površine pa z ξ_2

$$\xi_2 = \frac{A_o^*}{A_o} \quad (5)$$

tedaj je toplotni tok, ki prehaja na to površino, po izrazu (1) enak

$$\Phi_o = \alpha_m (T^* - T_{sm}) \xi_1 A_{oo} \quad (6)$$

oziroma

$$\Phi_o = \alpha_m (T^* - T_{sm}) \xi_2 A_o' \quad (7)$$

3. Ekvivalentna površina valja pri motorju TOMOS UMO-06 N in toplotne izgube zaradi prestopa toplote

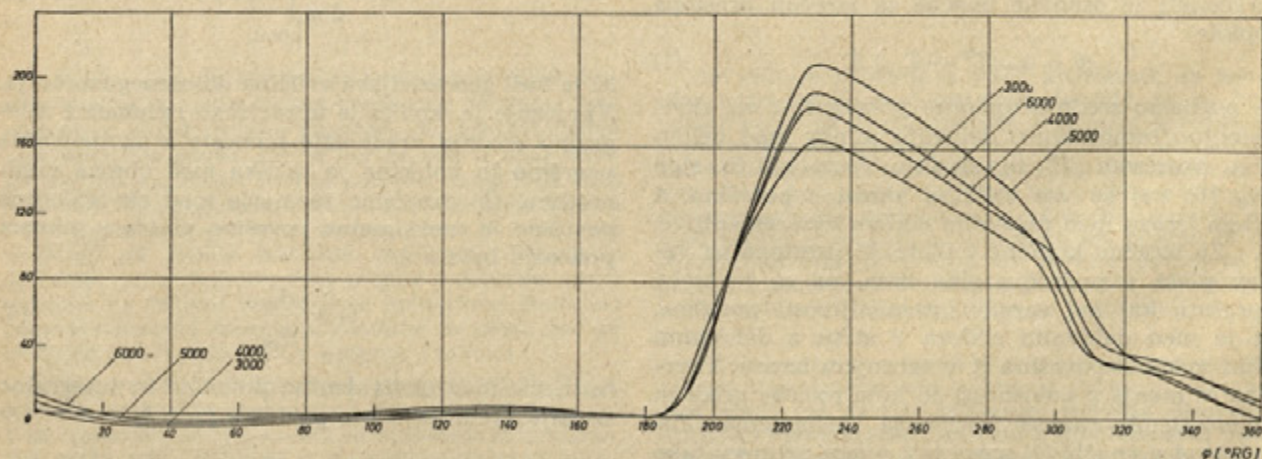
Motor TOMOS UMO-06 N je dvotakten in zračno hlajen motor z delovno prostornino 60 cm³. Motor je opisan v članku [1], v katerem so določene tudi srednje prestopnosti α_m , ekvivalentna temperatura delovnih plinov T^* in srednja temperatura notranjih valjevih sten T_{sm} . Ti podatki so tukaj zbrani v tabeli 1, iz katere je razvidna še vrednost števca, izraza za ekvivalentno površino (2). Števec tega izraza pomeni toplotni tok, ki prestopa v eni uri na valjevo steno v področju giba bata. Če to toploto označimo s Φ_o , tedaj dobi izraz (2) obliko

$$A_o' = \frac{\Phi_o}{\alpha_m (T^* - T_{sm})} \quad (8)$$

Tabela 1

n min ⁻¹	α_m kcal/m ² h K	T^* °K	T_{sm} °K	$\Psi(c_m)$	Φ_o' kcal/h	Φ_o kcal/h	A_o m ²	ξ_1	ξ_2
3000	292,3	1149	435	4,91	38,3	188,0	0,00080	0,160	0,299
4000	394,0	1126	440	6,35	43,2	274,5	0,00103	0,182	0,341
5000	458,0	1143	446	7,26	47,9	348,0	0,00109	0,192	0,362
6000	530,5	1098	445	8,60	46,1	396,0	0,00114	0,201	0,377

$\frac{d\Phi}{d\varphi}$ [kcal/h*RG]



Sl. 1. Krivulje intenzivnosti prestopa toplote na stene valjevega plašča v področju giba bata za popolno obremenitev motorja TOMOS UMO-06 N pri vrtilni hitrosti 3000, 4000, 5000 in 6000 min⁻¹

$$\begin{aligned} \Phi_o &= \int_{\text{cikel}} \alpha (T - T_{sm}) A_o d\varphi = \\ &= \Psi(c_m) \int_{\text{cikel}} \alpha' (T - T_{sm}) A_o d\varphi \end{aligned} \quad (9)$$

saj je $\alpha = \Psi(c_m) \alpha'$, kjer pomenita $\Psi(c_m)$ funkcijo hitrosti za prestopnost in α' parcialno prestopnost, obe veličini pa sta definirani in številčno dani v prej omenjenem članku [1]. Če $\int \alpha' (T - T_{sm}) A_o d\varphi$ v izrazu (9) označimo s Φ_o' , dobimo z integracijo krivulj $\alpha' (T - T_{sm}) A_o$ na sliki 1, ki pomenijo intenzivnost prestopa toplote iz delovnih plinov na stene valjevega plašča v gibnem področju bata s parcialno prestopnostjo α' :

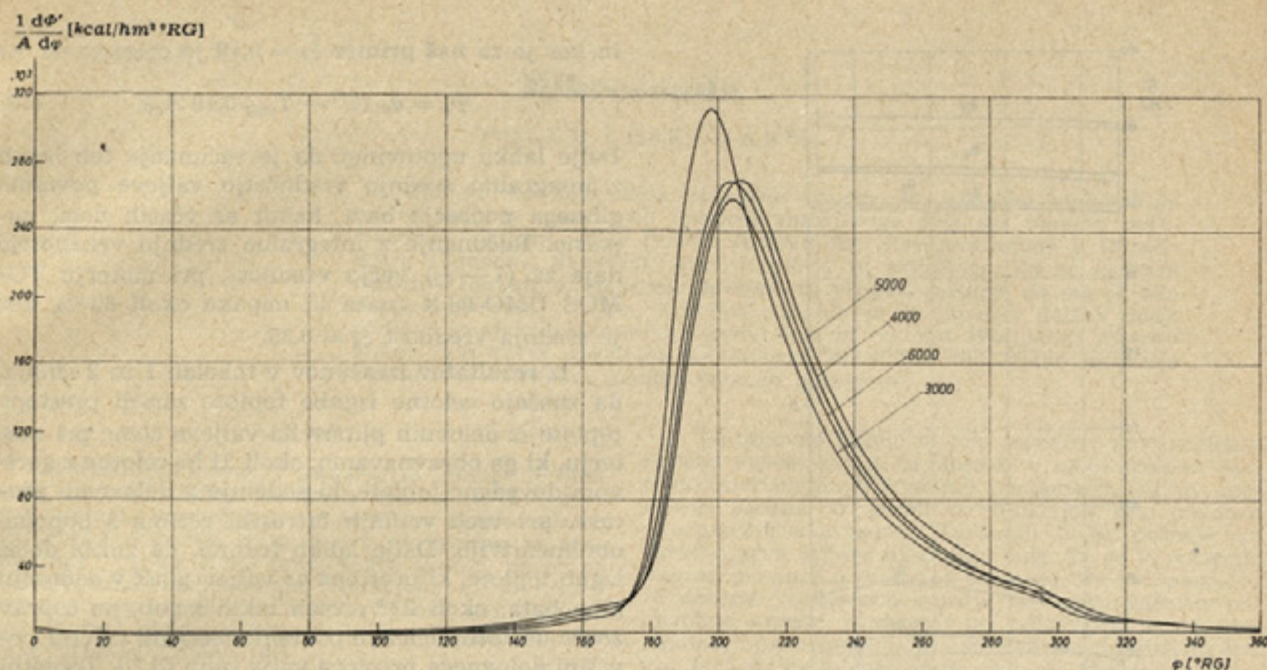
$$\frac{d\Phi_o'}{d\varphi} = \alpha' (T - T_{sm}) A_o \quad (10)$$

Vrednost tega izraza je zapisana v tabeli 1, v njej pa je tudi izračunan $\Phi_o = \Psi(c_m) \Phi_o'$.

Zanimiv je potek krivulj $\frac{d\Phi_o'}{d\varphi}$. Maksimum teh

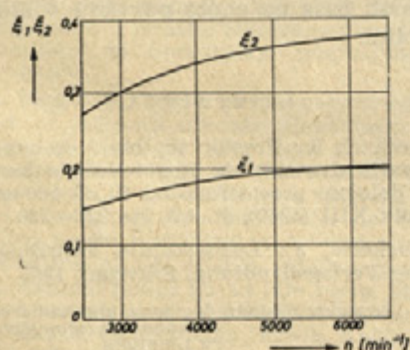
krivulj ne leži v področju maksimalnih vrednosti krivulj, ki na sl. 2 ponazarjajo intenzivnost prestopa toplote na enoto površine

$$\frac{1}{A_o} \cdot \frac{d\Phi_o'}{d\varphi} = \alpha' (T - T_{sm}) \quad (11)$$



Sl. 2. Krivulje intenzivnosti prestopa toplote na enoto površine stene delovnega prostora v valju motorja za motor in režim obratovanja kakor na sliki 1

Te krivulje imajo maksimum v področju okrog 200°RG , medtem ko je maksimum krivulj intenzivnosti prestopa toplote na valjev plašč premaknjen v področje okoli 230°RG , vrhu tega pa imajo te krivulje tri ničelne vrednosti v področju giba bata od 0 do 180°RG , tretja ničla pa je ravno pri 180°RG , ko je bat v zgornji mrtvi legi, ker je takrat površina valjevega plašča v področju giba bata enaka 0 .



Sl. 3. Krivulji za ξ_1 in ξ_2

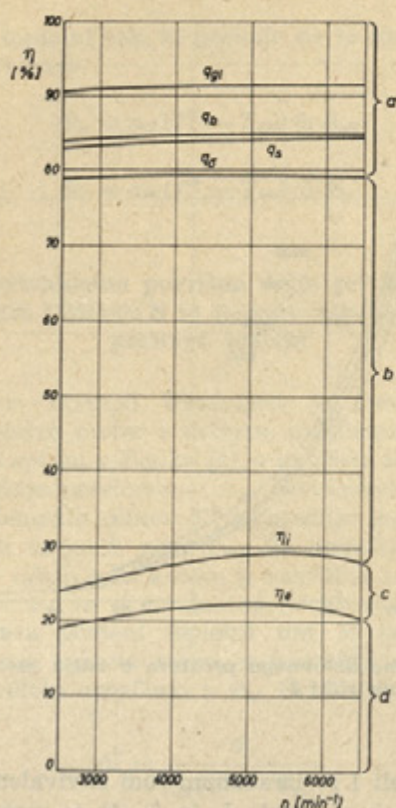
V tabeli 1 so izračunani tudi ekvivalentna površina A_e^* in faktorja ξ_1 in ξ_2 , če je maksimalna površina valjevega plašča v gibnem področju bata $A_{s,0} = 56,71 \text{ cm}^2$, integralna srednja vrednost iste površine pa po izrazu (3) $A_e' = 30,15 \text{ cm}^2$.

Vse vrednosti v tabeli se nanašajo na popolno obremenitev in navedeno vrtilno hitrost motorja. Vrednosti za ξ_1 in ξ_2 so prikazane v obliki krivulj na sliki 3.

Zanimivo je poznati razdelitev toplotnih izgub na posamezne površine delovne prostornine v valju motorja. Po izrazu (1) je določen toplotni tok, ki prestopa na valjevo glavo Φ_{gl} , na dno bata Φ_b in na valjev plašč zunaj področja giba bata Φ_s , če za A v tem izrazu vstavimo ustrezajočo površino. Te izračunane vrednosti so dane v tabeli 2, vrh tega pa so dani še odstotni deleži q vseh teh toplotnih izgub v odnosu do celotne količine toplote, z gorivom dovedene v delovni proces Φ_1 . Odstotne vrednosti teh izgub glede na posamezne površine so označene z q_{gl} , q_b , q_s in q_o ter v odvisnosti od

Tabela 2

n min^{-1}	Φ_{gl} kcal/h	Φ_b kcal/h	Φ_s kcal/h	Φ_1 kcal/h	q_{gl} $\%$	q_b $\%$	q_s $\%$	q_o $\%$	q $\%$
3000	406,5	297,5	35,9	4440	9,15	6,69	0,81	4,23	20,88
4000	529,4	385,5	46,5	5984	8,85	6,44	0,77	4,58	20,64
5000	620,9	455,0	54,9	6966	8,90	6,51	0,79	4,99	21,19
6000	677,1	495,0	59,6	7765	8,72	6,37	0,77	5,10	20,96



Sl. 4. Razdelitev izgub v delovnem procesu motorja TOMOS UMO-06 N

vrtilne hitrosti pri popolni obremenitvi motorja prikazane na sliki 4 skupno z izgubami toplote z izpušnimi plini in mehanskimi izgubami.

4. Sklep

Iz vrednosti za ξ_1 in ξ_2 , izračunanih za razmere pri motorju Tomos UMO-06 N, za štiri režime polne obremenitve vidimo, da za računanje toplotnih izgub zaradi prestopa toplote iz delovnih plinov na valjevo steno v gibnem področju bata ne povzročamo velike napake, če vzamemo za ξ_1 in ξ_2 konstantno vrednost kot srednjo vrednost v obravnavanem področju. Tako dobi izraz za približen izračun tega toplotnega toka obliko

$$\Phi_o = a_m (T^* - T_{sm}) \bar{\xi}_1 A_{so} \quad (12)$$

in ker je za naš primer $\bar{\xi}_1 = 0,19$ je

$$\Phi_o = a_m (T^* - T_{sm}) 0,19 A_{so} \quad (13)$$

Dalje lahko ugotovimo, da je računanje teh izgub z integralno srednjo vrednostjo valjeve površine gibnega področja bata, kakor se včasih dela, napako. Računanje z integralno srednjo vrednostjo daje za $(1 - \xi_2)$ večjo vrednost, pri motorju TOMOS UMO-06 N znaša ta napaka okoli 65 %, ker je srednja vrednost $\bar{\xi}_2 = 0,35$.

Iz rezultatov izračunov v tabelah 1 in 2 izhaja, da znašajo celotne izgube toplote zaradi prestopa toplote iz delovnih plinov na valjeve stene pri motorju, ki ga obravnavamo, okoli 21 % celotne z gorišvom dovedene toplote, ki sodeluje v delovnem procesu, pri vseh vrtilnih hitrostih režima s popolno obremenitvijo. Dalje lahko trdimo, da znaša delež izgub toplote, ki prestopa na valjev plašč v področju giba bata, okoli 22 % vseh takih izgub, pa čeprav znaša odstotni delež te površine nasproti celotni površini delovnega prostora valja celih 61 %. Toplotni tok pa, ki ga pri takih motorjih odvajamo hladilnemu sredstvu na hladilnih površinah valjevega plašča, je večji, saj se prek teh površin odvaja še največji del toplote, ki prestopa na bat in valjev plašč zunaj področja giba bata. V tem primeru se odstotek od valjevega plašča odvedene toplote poveča na 58 %. Seveda v tem ni vračunana toplota, ki prestopa v izpušnih kanalih na valjeve stene in jo je tudi treba odvajati s hladilnim zrakom. Okoli 42 % iz delovnih plinov na valjeve stene oddane toplote pa je treba odvajati od valjeve glave, iz česar izhaja, da je valjeva glava glede na plašč toplotno približno dvakrat bolj obremenjena, saj pomeni toplotno obremenitev toplotni tok, ki prestopa v enoti časa na enoto površine v stiku z delovnimi plini.

Literatura

[1] Pavletič, R.: Prestop toplote z delovnih plinov na stene valja dvotaktnega hitrotekočega bencinskega motorja z delovno prostornino od 50 do 100 cm³. Strojniški vestnik XIII (1967), št. 4/5, str. 223—230.

[2] Mackerle, J.: Luftgekühlte Fahrzeugmotoren, Franck'sche Verlagshandlung, Stuttgart 1963.

Avtorjev naslov: doc. mag. ing. Radislav Pavletič, Fakulteta za strojništvo univerze v Ljubljani