

DK 621.434:536.24

Prestop toplote z delovnih plinov na stene valja dvotaktnega hitrotekočega bencinskega motorja z delovno prostornino od 50 do 100 cm³

RADISLAV PAVLETIČ

1. Uvod

Toplota, ki prestopa z vročih plinov na stene delovnega valja motorja z notranjim zgorevanjem, je od vseh toplotnih izgub največjega tehničnega pomena; od nje je odvisen ne samo termodinamični izkoristek, ampak tudi toplotna obremenitev valja. Ta toplota je odločilna za dimenzioniranje hladilnih površin in hladilnega sistema sploh.

V ravnotežnem stanju obratovanja se mora valju odvajati ravno toliko toplote, kolikor je na stene valja prestopa z vročih plinov. Enačba

$$\dot{Q} = \alpha \cdot \Delta T \cdot A \quad \dot{Q} = \frac{dQ}{dt} \quad (1)$$

v kateri so: $\dot{Q}$ — toplotni tok, α — toplotna prestopnost, ΔT — temperaturna razlika, A — prestopna površina, Q — toplota in t — čas, določa količino te toplote, ki je odvisna tako od konstruktivne izvedbe valja, od delovne prostornine, kompresijskega razmerja, vrtilne hitrosti kakor tudi od uporabljenega goriva, stanja mešanice in še drugih faktorjev.

S prestopom toplote v valj motorja z notranjim zgorevanjem so se ukvarjali mnogi raziskovalci, vendar jim doslej ni uspelo sestaviti splošno veljavnih enačb, ki bi v celoti opisovale ta poseben pojav in veljale za vsak motor. Ponajveč ubirajo pri tem dve poti. Eni poskušajo zakonitosti pri prestopu toplote plinskega toka v ceveh prenesti s pomočjo teorije podobnosti na razmere motorja z notranjim zgorevanjem, pri čemer preučujejo vpliv obstoječih fizikalnih razlik med obema problemoma in skušajo tem vplivom polskati analitični izraz. Drugi pa si prizadevajo najti te zakonitosti po empirični poti in jih izraziti z empiričnimi enačbami, pri čemer študirajo vpliv posameznih meritvam ali izračunu pristopnih fizikalnih veličin na prestop toplote za določeno vrsto, velikost in obratovalni režim posameznega motorja.

Delo obeh omenjenih raziskovalskih skupin je koristno in celo neogibno potrebno, saj lahko skupni napor obeh skupin privedejo do univerzalne rešitve problema. Njegovo dokončno rešitev bodo dali rezultati, dobljeni po obravnavanju mnogih motorjev, kolikor jih pokriva celoten izredno širok spekter po vrsti, velikosti in uporabnosti motorjev z notranjim zgorevanjem.

Eksperimentalno teoretična študija zakonitosti pri prestopu toplote, kakršno je avtor opravil na motorju TOMOS UMO-06 N, razširja področje raziskav o tem problemu na področje dvotaktnega, zračno hlajenega bencinskega motorja z delovno prostornino od 50 do 100 cm³.

2. Izrazi zakonitosti o toplotni prestopnosti

Prestop toplote z delovnih plinov na stene valja motorja z notranjim zgorevanjem je zapleten proces, katerega podrobnosti še niso popolnoma pojasnjene. Zakonitosti tega procesa so v tem primeru bistveno drugačne, kakor tiste po teoriji za enostavnejše primere prestopa s tekočega medija v ceveh ali toka vzdolž ravnih sten. Drugače kakor pri stacionarnem toku imamo v valju motorja z notranjim zgorevanjem opraviti z nestacionarnim potekom procesa in vplivom zgorevanja na tokovne razmere. Načelno je tudi tukaj prestop toplote odvisen od hidro- in termodinamičnih faktorjev pri konvekcijskem prestopu in od temperature ter sestave fluida pri prestopu s sevanjem. Pre-

stop s konvekcijo je močno odvisen od tokovnih razmer plinov v valju in svežega polnjenja med izpiranjem, dalje od intenzivnosti turbulence kot posledice izmenjave delovnih plinov in turbulence zaradi zgorevanja, kar pa vse detajlno še ni znano. Hkrati pa vsakokratno sestavo produktov zgorevanja in delovnih plinov lahko določamo, tako da prestopa toplote zaradi sevanja ni posebno težko odrediti, zlasti ne pri bencinskih motorjih, pri katerih je v nasprotju od dieselskega motorja sevanje plamena zanemarljivo, tembolj, ker je bilo s poskusi dokazano, da znaša delež odvedene toplote s sevanjem glede na odvedeno toploto s konvekcijo samo okoli 2 do 6 %, kar je zares malo in pri bencinskem motorju zanemarljivo.

Toplotno prestopnost s plinov na stene valja je težko izmeriti. Tok plinov ob steni se ne da opazovati niti meriti in potem jemati v poštev, ker je v posameznem delovnem ciklu krajevno in časovno različen. Normalne metode merjenja spričo razmer v motorskem valju niso uporabne. Povrh tega se menjata tudi tlak in temperatura plinov ter z njima gostota delovnega medija. Kot posledica se krajevno in časovno menja tudi toplotna prestopnost. V takih pogojih bi bile enačbe, ki bi opisovale dejanski potek toplotnega prestopa, če bi bili sploh izmerljivi vsi potrebni parametri, verjetno preveč zapletene. Zato je v tem primeru smotno teoretične rezultate enostavnih primerov interpolirati z empiričnimi izrazi. S tem je problem poenostavljen in je mogoče brez napornega računanja nastaviti uporabne enačbe.

Za problem toplotnega prestopa so se marsikje pokazale primerne po Nusseltu predlagane eksponentne enačbe v obliki

$$Nu = \text{konst.} \cdot Re^n \cdot Pr^m, \quad (2)$$

kjer so: Nu — Nusseltovo število, Re — Reynoldsovo število, Pr — Prandtlovo število. Te enačbe se dajo po potrebi razširiti še na druge parametre in bi lahko omogočile, da bi se celo kvantitativno približali zamotanim in pogostoma še celo docela neznanim zakonitostim.

Pri določanju toplotne prestopnosti v valju motorja z notranjim zgorevanjem lahko izhajamo iz enačb, ki veljajo za prisilno konvekcijo. V enačbi za Nusseltovo število v omenjeni eksponentni obliki lahko imamo Prandtlovo število za zrak ozir. mešanico in zgoarele pline konstantno, ker je

$$Pr = \frac{\eta \cdot c_p}{\lambda} \approx \frac{c_p}{c_v}$$

V tej enačbi so: η — dinamična viskoznost, λ toplotna prevodnost, c_p in c_v pa specifični toploti pri konstantnem tlaku oziroma prostornini. Ker je razmerje specifičnih toplot s spremenljivo temperaturo v temperaturnem intervalu od 20 do 1500 °C le malo spremenljivo, dobi enačba (2) obliko

$$Nu = \text{konst.} \cdot Re^n \quad (3)$$

pri čemer ima eksponent n neko vrednost med 0,5 in 0,8. Če vstavimo izraz za Nusseltovo število

$$Nu = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda}$$

za Reynoldsovo število pa

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\eta}$$

kjer so d — premer, w — hitrost in ρ — gostota plina s plinskó konstanto R , tlakom p in temperaturo T :

$$\rho = \frac{p}{RT},$$

dobimo za toplotno prestopnost izraz

$$\alpha = \text{konst.} \frac{\lambda p^n w^n}{\eta^n d^{1-n} T^n} \quad (4)$$

Ker λ in η za zrak in zgorele pline lahko izrazimo v odvisnosti od absolutne temperature z naslednjima izrazoma

$$\lambda = 3,65 \cdot 10^{-4} T^{0,748} \quad [\text{W/mK}] \quad (5)$$

$$\eta = 51,8 \cdot 10^{-8} T^{0,62} \quad [\text{Ns/m}^2] \quad (6)$$

je

$$\alpha = \text{konst.} \frac{p^n w^n}{T^{1,62n-0,748} d^{1-n}} \quad (7)$$

Če postavimo hitrost w sorazmerno srednji hitrosti bata v_m , pa je

$$\alpha = \text{konst.} \frac{p^n v_m^n}{T^{1,62n-0,748} d^{1-n}} \quad (8)$$

Povrh premera valja d , ki je geometrična veličina motorja, srednje hitrosti bata v_m , ki je odvisna od geometrije ročičnega mehanizma in vsakokratne vrtilne hitrosti, sta v izrazu (8) še tlak p in absolutna temperatura T plinov.

Če za eksponent n vstavimo vrednost 0,786, ki se pojavlja v teoretičnem izrazu za toplotno prestopnost pri toku plina skozi cev,¹ pridemo do enačbe

$$\alpha = \text{konst.} d^{-0,214} v_m^{0,786} p^{0,786} T^{-0,525} \quad (9)$$

¹ Hausen, H.: Wärmeübertragung im Gegenstrom, Gleichstrom und Kreuzstrom. Springer-Verlag, 1950.



Sl. 1. Krivulje parcialne toplotne prestopnosti v obliki $\sqrt{p \cdot T}$, $\sqrt{p \cdot T}$ in $p^{0,786} \cdot T^{-0,525}$ za določen potek tlakov in temperatur delovnih plinov motorja MAN KV 30/54, reduciranih na enako srednjo vrednost

Tudi empirični izrazi za toplotno prestopnost v motorskem valju, ki so jih dognali razni avtorji, vsebujejo razen člena, ki upošteva srednjo hitrost bata, še člene, ki zaobsegajo tlak in temperaturo delovnega medija v določeni funkcijski zvezi

$$\alpha = \Psi(v_m) X(p, T) \quad (10)$$

Tako obliko ima izraz, ki ga je določil že Nusselt, za njim pa uporabila Brilingu in van Tyen. Vsi ti izrazi imajo skupno to, da je α v naslednji funkcijski odvisnosti od tlaka in temperature:

$$X(p, T) = \sqrt[3]{p \cdot T} \quad (11)$$

razlikujejo pa se v členu, ki vsebuje v_m ali tako imenovani hitrostni funkciji, in sicer

$$\text{po Nusseltu} \quad \Psi(v_m) Nu = 0,99 (1 + 1,24 v_m) \quad (12)$$

$$\text{po Brilingu} \quad \Psi(v_m) Br = 0,99 (3,5 + 0,185 v_m) \quad (13)$$

$$\text{po van Tyenu} \quad \Psi(v_m) Ty = 3,19 + 0,885 v_m \quad (14)$$

Medtem ko izvira izraz (11) iz kalorimetričnih meritev zgorevanja v bombi in merjenja toplotnega prestopa med ekspanziramim plinom in steno bombe, je Eichelberg po poskusih na večjih sesalnih in dvotaktnih dieselskih motorjih za α odredil naslednjo odvisnost od p in T

$$X(p, T)_{Ei} = \sqrt{p \cdot T} \quad (15)$$

za hitrostno funkcijo pa

$$\Psi(v_m)_{Ei} = 2,1 \sqrt[3]{v_m} \quad (16)$$

Odvisnost po enačbi (15) je obdržal tudi Pflaum, ki je v novejšem času raziskoval toplotni prestop v dodatno močno polnjenih manjših dieselskih motorjih, vpliv srednje hitrosti bata pa izrazil z

$$\Psi(v_m)_{Pf} = 6,9 - 5,9 \cdot 4,5^{-(0,008 v_m)^{1,8}} \quad (17)$$

in temu dodal še člen, ki zaobsega tlak dodatnega polnjenja p_d , in sicer različen za glavo in bat ter plašč valja

$$\text{za glavo in bat:} \quad f_1(p_d) = 2,3 p_d^{0,25} \quad (18)$$

$$\text{za plašč valja:} \quad f_2(p_d) = 0,8 p_d^{0,06} \quad (19)$$

Če še izraz (9) po analogiji empiričnih izrazov razdelimo na hitrostno funkcijo $\Psi(v_m)$ in funkcijo toplotnih faktorjev $X(p, T)$, tedaj je

$$\Psi(v_m) = \text{konst.} v_m^{0,786} \quad (20)$$

$$X(p, T) = p^{0,786} T^{-0,525} \quad (21)$$

vrh tega pa izraz vsebuje še odvisnost toplotne prestopnosti od premera valja v obliki

$$f(d) = d^{-0,214} \quad (22)$$

ki je za določen motor konstantna veličina in lahko pripisana konstanti izraza (9).

Oblike funkcij $X(p, T)$ kvalitativno nimajo večjega vpliva na toplotno prestopnost, saj se njihovi poteki, reducirani na enako srednjo vrednost teh funkcij v periodi enega delovnega cikla, med seboj ne razlikujejo mnogo, kar potrjuje slika 1, v kateri so podane krivulje treh reduciranih različnih oblik teh funkcij, danih z izrazi (11), (15) in (21) za določen potek tlakov in temperatur določenega motorja (MAN KV 30/54).

Funkcija $\Psi(v_m)$, ki obsega vpliv zelo spremenljivih in zapletenih tokovnih razmer v valju, pa odločilno vpliva kvalitativno in kvantitativno na vrednost toplotne prestopnosti in je tako odvisna od tokovnih karakteristik v vsakem posameznem primeru.

Različnost teh izrazov daje sklepati, da izračun toplotne prestopnosti v vsaki točki delovnega cikla po teh izrazih ne jamči za posebno natančnost, zlasti zato ne, ker nobeden izmed njih ne obsega vpliva spremembe zaradi velikosti delovne prostornine med de-

lovnim ciklom in je v izrazih (11) in (15) temperatura celo pod enim pozitivnim konstantnim eksponentom, čeprav je dokazano, da se toplotna prestopnost pri plinih z naraščajočo temperaturo slabša. Te formule lahko posredujejo zadovoljive srednje vrednosti toplotne prestopnosti za delovni cikel, ker so vrednosti konstant določene s poskusi. Za praktično uporabo pa je srednja toplotna prestopnost največjega pomena, saj po njej dimenzioniramo hladilne površine motorskega valja.

3. Metoda za določanje srednje toplotne prestopnosti

Ce vzamemo za izračun toplotne prestopnosti Eichelbergovo obliko izraza zanj

$$\alpha = \Psi(v_m) \sqrt{p \cdot T} \quad (23)$$

tedaj moramo razen časovnega poteka tlaka in temperature delovnih plinov v enem delovnem ciklu v določenih obratovalnih režimih določiti še funkcijo $\Psi(v_m)$.

Toplotne in tokovne razmere plina v delovnem valju motorja so med posameznim delovnim ciklom krajevno in časovno različne in jih je računsko težko zajeti. Zato skušamo vpliv toplotnih faktorjev ločiti od vpliva tokovnih faktorjev ter vsakega izmed njih obravnavati ločeno in h kraju vse vplive združiti v en izraz kot celoto. S toplotnimi faktorji razumemo dve neodvisni veličini, ki se pojavljata v enačbi stanja, in sicer tlak in temperaturo, medtem ko tokovni faktorji sestavljajo tokovne razmere v valju, izražene s hitrostjo gibanja plina v valju in turbulentno gibanja.

Medtem ko so toplotne veličine dostopne za merjenje ozir. izračun po rezultatih določenih meritev, so tokovne veličine praktično neizmerljive in smo glede njih navezani na določene domneve, ki izhajajo že od Nusselta in še vseh drugih raziskovalcev tega problema. Celotni tisti, ki se opirajo na eksaktne teoretične postavke iz teorije podobnosti, veljavne za plinski tok v cevi, so prav nazadnje, če hočejo svojim izrazom pomagati do praktične vrednosti, primorani poskusi kakšno zameno za dejanske tokovne razmere. Po tej domnevi vezemo dejanske tokovne razmere v valju s srednjo hitrostjo bata, kar je očitno precej grobo, toda spričo pomanjkanja boljše doslej priznana od vseh raziskovalcev.

Ce proučujemo samo vpliv toplotnih faktorjev na prestop toplote, tedaj se sploh ni treba vezati na motorski valj, temveč si lahko napravimo model valja, ki sestoji iz posode, v kateri kakorkoli menjavamo časovni potek tlakov in temperatur enako, kakor se menjavajo med dejanskim delovnim ciklom brez vsakega gibanja plina. Če velja zakonitost, da je toplotna prestopnost s plinov na stene odvisna od termodinamičnih faktorjev in je ta odvisnost izražena z izrazom po Eichelbergu

$$\alpha \sim \sqrt{p \cdot T}, \quad (24)$$

dobi ta izraz v pogojih modela znak enakosti

$$\alpha' = \sqrt{p \cdot T} \quad (25)$$

če pa poznamo še temperature stene modela, tedaj lahko izračunamo toplotni tok $\dot{Q}$ s plinov na stene, to je količino toplote Q , ki prestopa v enoti časa t na enoto površine A :

$$\frac{dQ}{dt} = \alpha' (T - T_s) \quad dQ' = \frac{dQ}{A} \quad (26)$$

pri čemer pomenita T temperaturo plinov v posodi, T_s pa temperaturo stene posode. Z integracijo zgornjega izraza v časovnih mejah enega delovnega cikla dobimo količino toplote, ki v enem delovnem ciklu prestopa s plinov na stene oziroma če ta delovni cikel razširimo na časovno enoto, dobimo specifično toplotno obremenitev sten na modelu

$$q' = \int_{\text{cikel}} dQ' \quad (27)$$

Toplotna prestopnost α' po izrazu (25) je funkcija časa, ker sta funkciji časa tudi p in T . Srednjo toplotno prestopnost α_m' pa opredeljujemo kot časovno nespremenljivo veličino, ki bi pri neki srednji temperaturi plinov in neki srednji temperaturi sten v posodi omogočila prestop prav tolikšni količini toplote, kolikršno izračunamo z integracijo izraza (26)

$$q' = \int_{\text{cikel}} \frac{dQ'}{dt} dt = \int_{\text{cikel}} \alpha' (T - T_s) dt = \alpha_m' (T_m - T_{sm}) t \quad (28)$$

Vprašati pa se je treba, kaj naj v tem izrazu imamo za srednjo temperaturo plinov T_m . Ali naj bo T_m integralna srednja vrednost, definirana kot

$$q = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} T dt \quad (29)$$

v kateri razlika časovnih mej integrala pomeni čas enega delovnega cikla, ali pa tako imenovana ekvivalentna temperatura delovnega cikla, kakršno dobimo s predpostavko, da v stacionarnem stanju in brez odvajanja toplote skozi stene vsaka točka notranje površine, ki je v dotiku s plini, dobi vrednost $T_s = \text{konst.}$ Matematični izraz za to predpostavko se glasi:

$$q = \int_{\text{cikel}} \alpha T dt - T_s^* \int_{\text{cikel}} \alpha dt = 0 \quad (30)$$

in

$$T_s^* = T^* = \frac{\int_{\text{cikel}} \alpha T dt}{\int_{\text{cikel}} \alpha dt} \quad (31)$$

v katerem T^* pomeni ekvivalentno temperaturo delovnega cikla.

Iz definicije ene in druge srednje temperature plinov je očitno, da je računanje srednje toplotne prestopnosti pravilnejše z ekvivalentno temperaturo T^* , kakor z integralno srednjo vrednostjo T .

Ce plinu v modelu valja damo sedaj določeno hitrost pri obtoku sten pri enakem termodinamičnem stanju plina, lahko z merjenjem količine toplote, ki skozi enoto površine prestopa s plinov na stene, iz odnosa te količine toplote q nasproti prej izmerjeni količini q' sklepamo o vplivu plinskega toka oziroma hitrosti plina na toplotno prestopnost. Z variranjem hitrosti plinov in merjenjem količine toplote pri različnih hitrostih dobimo odvisnost dejanske toplotne prestopnosti od hitrosti plinskega toka ob stenah posode.

Toplotna prestopnost je torej razen od tlaka in temperature odvisna tudi od hitrosti plina, ta odvisnost pa je dana s funkcijo $\Psi(w)$. Dejanska srednja toplotna prestopnost je potemtakem

$$\alpha_m = \Psi(w) \alpha_m' \quad (32)$$

Specifično količino toplote merimo z odvzemanjem toplote na poljubni površini in poljubnem mestu modela, s pogojem, da so v vsaki točki te površine tlak, temperatura in hitrost plina vsakokrat enaki in iz meritev znani.

Ce te preudarke z modela valja prenesemo na dejanski delovni valj motorja in njegov dejanski cikel, v katerem se med ciklom menjavajo termodinamični faktorji v odvisnosti od spreminjanja prostornine, dovajanja in odvajanja toplote skozi stene valja, dovajanja toplote z zgorevanjem in dovajanjem in odvajanjem mase v delovnem procesu sodelujočega medija med izplakovanjem — vse te lahko z merjenjem tlakov

in mase v delovnem procesu sodelujočega medija izmerimo in z določenimi pogoji izračunamo — lahko določimo tisti del izraza za toplotno prestopnost, ki je odvisen od njih, torej po enačbi (25).

Ker toplotni faktorji le delno prispevajo k dejanski vrednosti toplotne prestopnosti v pogojih dejanskega delovnega procesa, naj vrednosti funkcijske odvisnosti toplotnih faktorjev glede na toplotno prestopnost, izražene s funkcijo $\bar{X}(p, T)$, imenujemo »parcialno toplotno prestopnost« in jo označimo z α' .

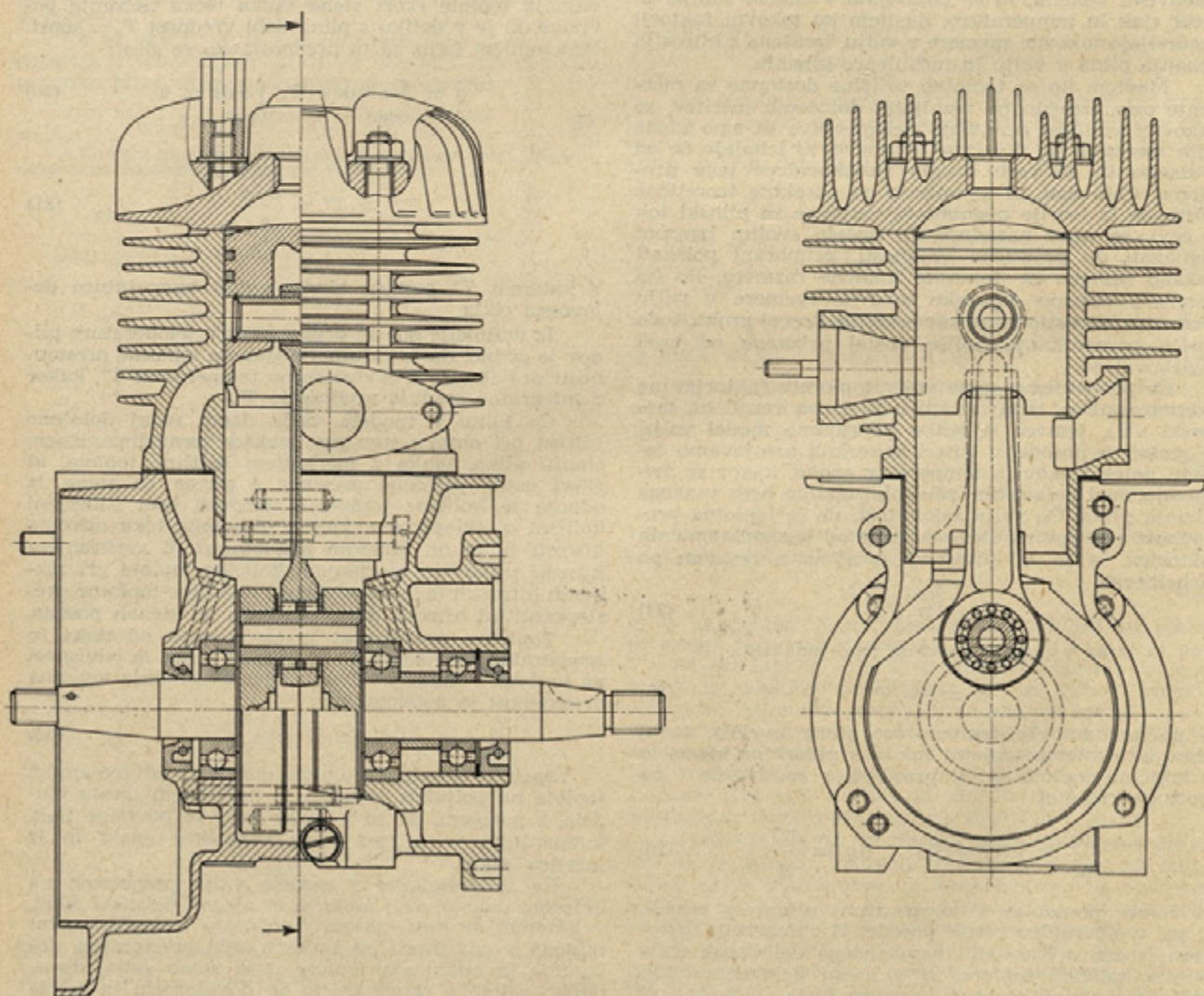
Za določanje vpliva tokovnih faktorjev na toplotno prestopnost pa imamo na delovnem valju površine, o katerih domnevamo, da izpolnjujejo pogoj, po katerem so med celotnim delovanjem motorja v stalnem stiku z delovnimi plini in so potemtakem tlaki, temperature in hitrosti po vsej površini vsakokrat enaki. Prvo je res, drugo pa je samo domneva, ki pa vendar definira povprečno stanje teh veličin v določenem trenutku za celotno notranjo površino delovnega valja. Take površine so dno bata in pri dvotaktnih motorjih z izplakovanjem skozi odprtino tudi valjeva glava. Meriti toploto, ki prestopa na bat, je skoraj nemogoče, zato ni uporaben za tako meritev. Preostane torej samo merjenje odvedene toplote skozi valjevo glavo; ker so vrste motorjev, ki dopuščajo to merjenje, omejene, je omejena tudi uporabnost te metode samo na določene vrste motorjev. Dvotaktni motorji z de-

lovno prostornino od 50 do 100 cm³ se navadno krmilijo z izpušnimi in vstopnimi odprtinami z batom in so primerni za določanje toplotne prestopnosti po opisani metodi.

4. Motor TOMOS UMO-06 N in prestop toplote s plinov na valjeve stene

Za določitev toplotne prestopnosti z delovnih plinov na stene valja zračno hlajenega dvotaktnega motorja z delovno prostornino od 50 do 100 cm³ je bil vzet kot preskušalec motor tovarne Tomos iz Kopra z označbo TOMOS UMO-06 N (sl. 2).

Motor TOMOS UMO-06 N je dvotakten, hitrotekoč in zračno hlajen bencinski motor s premerom valja 42 mm, gibom bata 43 mm in delovno prostornino 60 cm³, s kartersko črpalko. Sistem izplakovanja je obratno izplakovanje po Schnürleju z eno izpušno odprtino in dvema glede na izpušno odprtino bočno postavljenima vstopnima odprtinama, s tako oblikovanima vstopnima kanaloma, da je tok v valj vstopajoče mešanice usmerjen proti izpušni odprtini v nasproti ležeči steni valja najprej navzgor proti glavi. Sesalni kanal in sesalna odprtina sta na nasprotni strani izpušne odprtine. Organ krmiljenja je bat motorja, ki s spodnjim robom krmili sesanje sveže mešanice v okrov ročičnega mehanizma, z zgornjim robom pa izpuh in vstop sveže mešanice v delovni prostor valja.



Sl. 2. Osnovni sklop motorja TOMOS UMO-06 N

Kompresijski prostor je približno polkroglaste oblike s centralno postavljenno svečico. Dno bata je blago konveksno bombirano. Aluminijasti bat ima dva batna obročka s pravokotnim prerezom, zaščitena proti sukanju v žlebu.

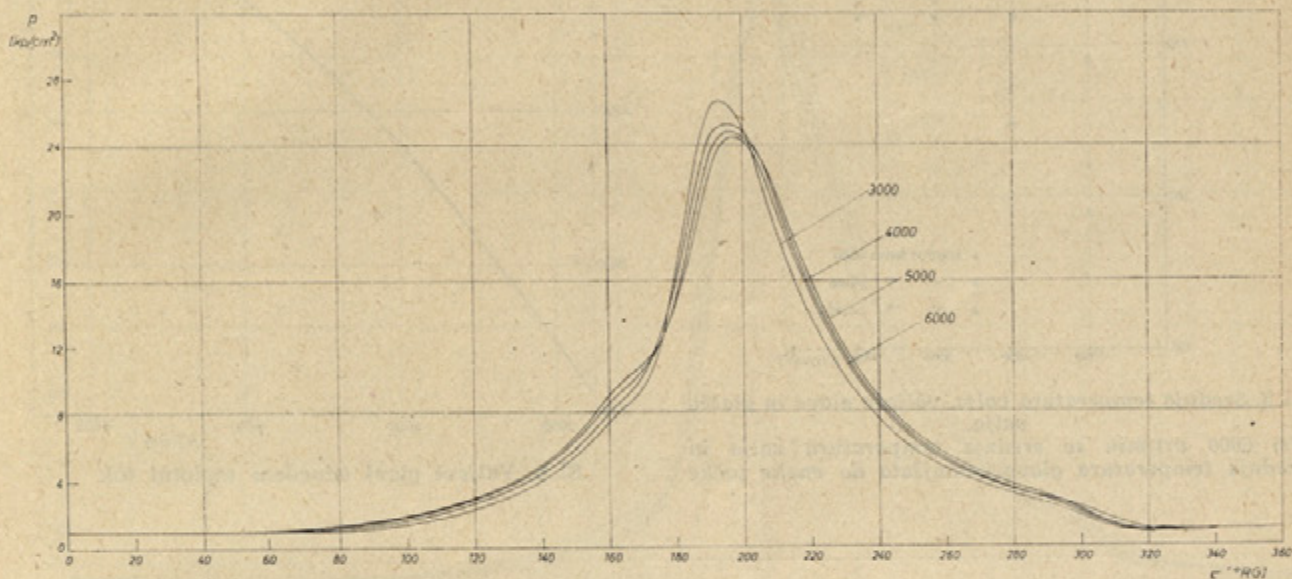
Valj sam je iz malo legirane sive litine, medtem ko je valjeva glava iz aluminijeve zlitine. Na rolični gredi nasajeno puhalo dovaja hladilni zrak rebrastim hladilnim površinam valja in glave. Puhalo je radialno, brez kolektorskih lopatic in brez izrazite spirale, z ravnimi radialnimi lopaticami. Hladilni zrak usmerja poseben usmernik, ki v celoti obdaja valj in valjevo glavo ter z rebri na notranji površini in z obliko izstopne

rege določa pretok hladilnega zraka na posameznih področjih valja in glave.

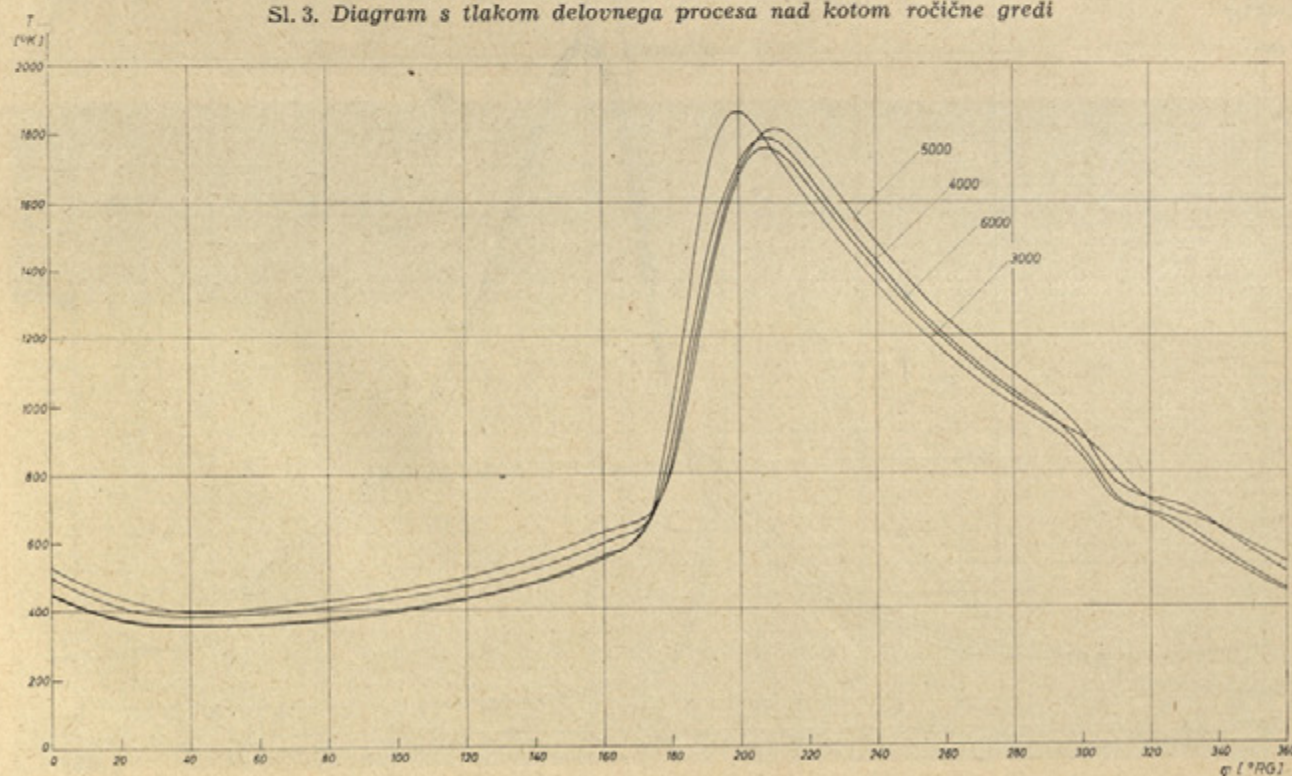
Vžigalna naprava deluje z magnetom. Permanentni magneti so pritrjeni na notranjem obodu prstanastega vztrajnika.

Zunanji sesalni sistem sestavljajo glušnik z zračnim filtrom, uplinjač z loputo in kratka sesalna cev, s katero je pritrjen na prirobnico sesalnega kanala na valju. Zunanji izpušni sistem pa sestavljajo izpušni lonc valjaste oblike s kratkim cevničnim priključkom, ki je pritrjen na prirobnico izpušnega kanala valja.

Mazanje motorja je doseženo z oljem, ki ga dovajamo skupaj z gorivom v obliki mešanice olja in goriva.



Sl. 3. Diagram s tlakom delovnega procesa nad kotom rolične gredi

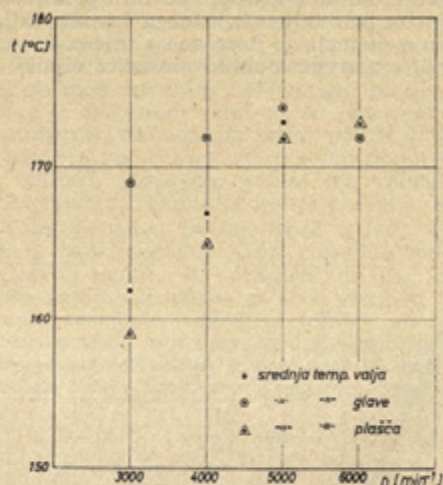


Sl. 4. Temperatura delovnih plinov

Določanje toplotne prestopnosti je treba nasloniti na določen obratovalni režim motorja. Z režimom obratovanja razumemo nastavitve določenih parametrov, ki jih v določenih mejah lahko spreminjamo med obratovanjem. Regulacijska loputa je en tak organ motorja z zunanjo tvorbo mešanice, katere lega določa obremenitev motorja. Popolnoma odprta loputa pomeni polno obremenitev, sicer pa je motor delno obremenjen, če je

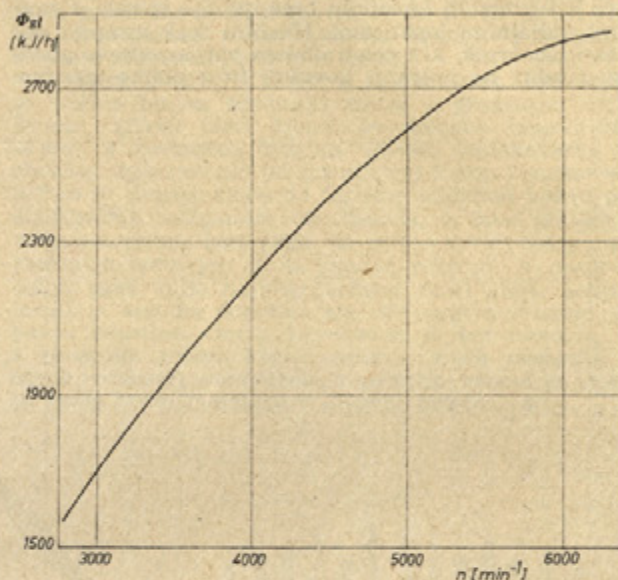
loputa priprta. Povrh tega vplivata na režim obratovanja še nastavitve uplinjača in vžig mešanice v valju, kar oboje določa izdelovalec.

Na obratovanje motorja pa vplivajo tudi zunanji faktorji, tako velikost zavornega momenta, okolica in gorivo. Spreminjanje zavornega momenta vpliva na vrtilno hitrost motorja oziroma nasprotno — zavorni moment je pri nespremenjenih drugih parametrih, ki

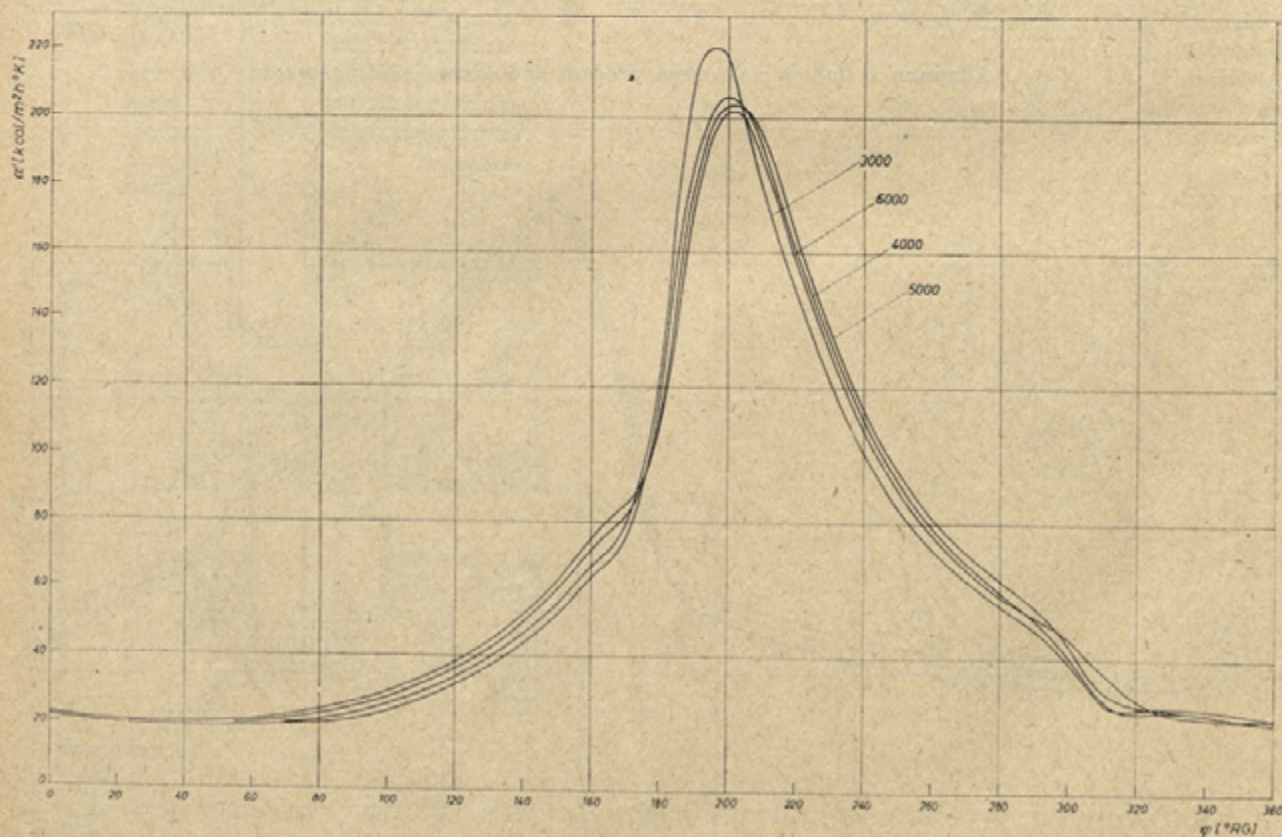


Sl. 5. Srednja temperatura valja, valjeve glave in plašča valja.

Pri 6000 vrt/min se srednja temperatura valja in srednja temperatura glave zmanjšata do enake točke



Sl. 6. Valjevi glavi odvedeni toplotni tok



Sl. 7. Krivulje parcialne toplotne prestopnosti po Eichelbergovem izrazu

opredeljujejo obratovalni režim motorja, odvisen samo od vrtilne hitrosti, zato je ravno vrtilna hitrost parameter, ki natanko določa režime obratovanja, na katere vezemo določanje toplotne prestopnosti. Vrtilna hitrost je hkrati označba režima obratovanja.

Toplotna prestopnost je izračunana za režime s polno obremenitvijo za obratovanje z gorivom »Su-

perior 98« in 4 % dodatkom olja »Dvotaktol« pri 3000, 4000, 5000 in 6000 vrtljajih na minuto. Pri teh režimih obratovanja so bili merjeni in izračunani vsi potrebni parametri, ki so potrebni po tej metodi za izračun toplotne prestopnosti:

— potek tlakov plina za ves delovni cikel v funkciji časa ozir. kota ročišne gredi je razviden s slike 3;

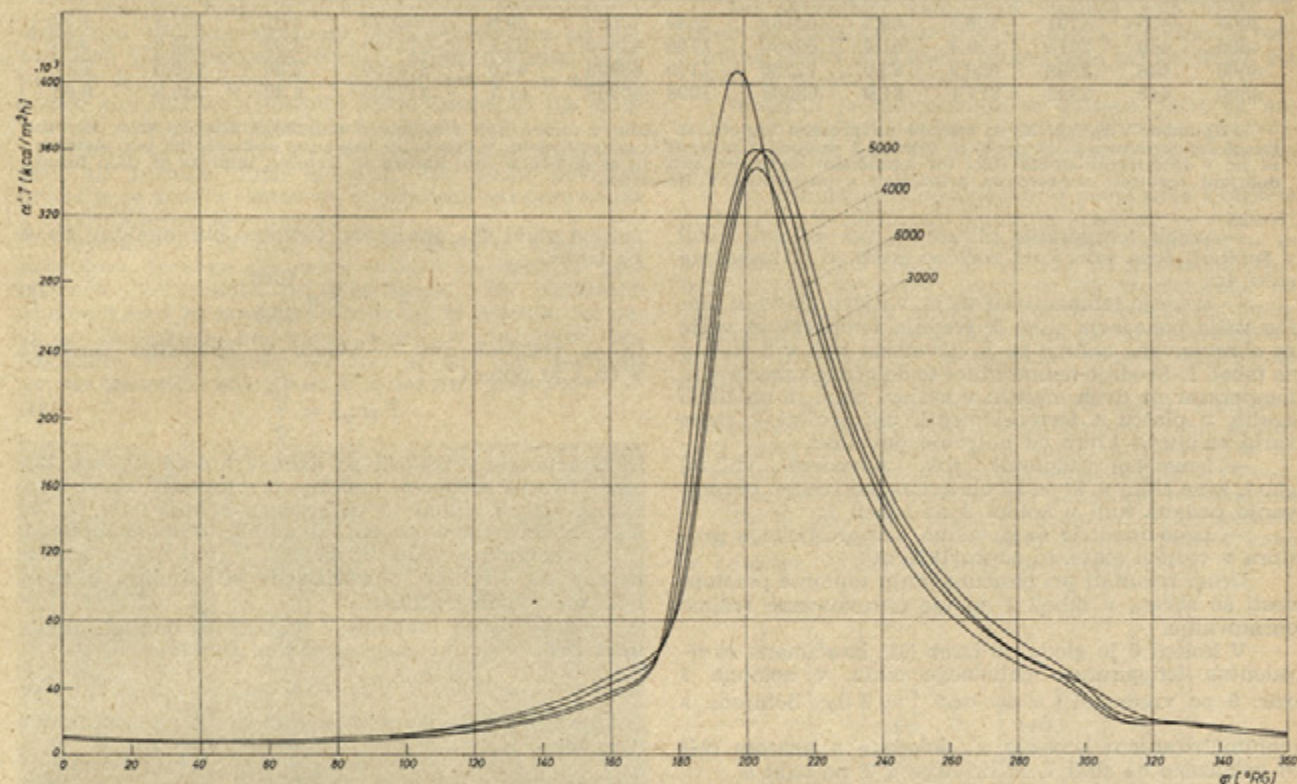
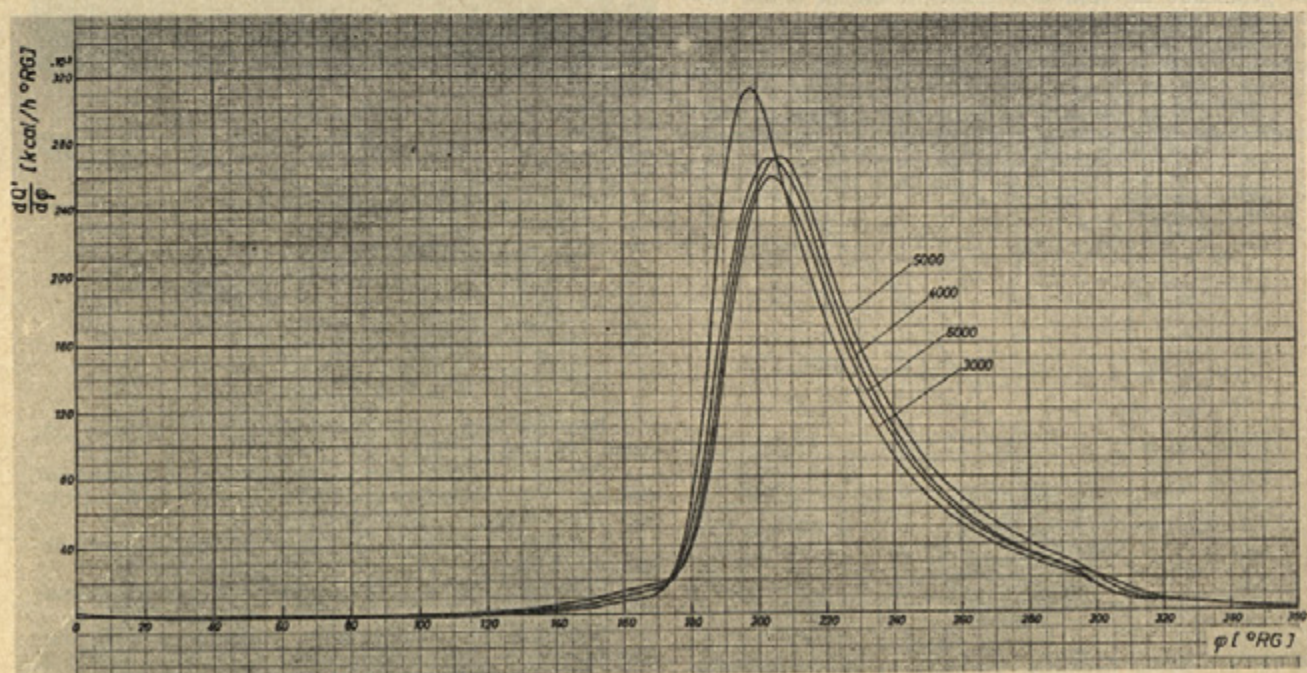
Sl. 8. Krivulje $\alpha' T$ Sl. 9. Krivulje $\frac{dq'}{d\phi}$

Tabela 1

Režim obratova- nja	T_{sm}	Φ_{ol}		$\int \alpha' d\varphi$ cikel	$\int \alpha' T d\varphi$ cikel	T^*	q'	α'_m	q^*	$\psi(v_m)$	α_m	v_m
	°K	kJ/h	kcal/h			°K	kcal/m²h	kcal/m²h	K	kcal/m²h	kcal/m²h	K
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
3000	435	1701	406,5	59,2	68100	1149	42500	59,5	208500	4,91	292,3	4,30
4000	440	2215	529,4	61,4	69150	1126	42600	62,1	271500	6,35	394,0	5,73
5000	446	2598	620,9	63,0	72100	1143	43900	63,0	318400	7,26	458,0	7,17
6000	445	2833	677,1	61,9	68000	1098	40300	61,7	347200	8,60	530,5	8,60

Opomba. Veličine, ki so vezane na prestop toplote, so dane v dimenzijah tehničnega merskega sistema zato, ker so izrazi, ki obravnavajo ta problem v zvezi z motorji z notranjim zgorevanjem, v dosednji literaturi obdelani po tem sistemu in ne v internacionalnem (IS). Po tehničnem merskem sistemu so določene tudi konstante izrazov, tako da se dajo tukaj dobjeni rezultati neposredno primerjati s podobnimi v literaturi.

— potek temperatur plinov za ves delovni cikel v funkciji časa ozir. kota ročišne gredi je prikazan na sliki 4;

— srednjo temperaturo valja, valjeve glave in plašča valja ponazarja slika 5, srednja temperatura valja za obravnavane režime pa je navedena tudi v 2. koloni na tabeli 1. Srednje temperature so določene z meritvami temperatur na dveh mestih: v valjevi glavi in na štirih krajih v plašču s termoelementi, ugrajenimi v stene valja približno 1 mm od notranje površine;

— izmerjeni toplotni tok, odvedeni valjevi glavi, kaže slika 6, ki je za obravnavane režime obratovanja podana tudi v koloni 3 na tabeli 1;

— izračunana je še površina kompresijskega prostora v valjevi glavi, ki znaša 19,5 cm².

Drugi rezultati pri izračunavanju toplotne prestopnosti so zbrani v tabeli 1 za vse obravnavane režime obratovanja.

V koloni 6 je glede na izraz (31) izračunana ekvivalentna temperatura delovnega cikla, v kolonah 4 ozir. 5 pa vrednosti $\int \alpha' d\varphi$ ozir. $\int \alpha' T d\varphi$, dobljene s planimetriranjem krivulje α' , določene z izrazom (24) in prikazane na sliki 7, in krivulje $\alpha' T$ na sliki 8.

Z integracijo krivulje $\frac{dq'}{dt}$, dane z izrazom (26)

in prikazane na sliki 9 v časovnih mejah enega delovnega cikla, so dobljene vrednosti za q' , ki so podane v koloni 7 tabele 1, glede na izraz (28) je v koloni 8 izračunana srednja parcialna toplotna prestopnost α'_m za vse štiri obravnavane režime obratovanja.

Za izračun hitrostne funkcije $\Psi(v_m)$ izraza za α (10) izračunamo iz izmerjenega toplotnega toka, odvedenega

valjevi glavi Φ_{ol} , specifično toplotno obremenitev glave po izrazu

$$q^* = \Phi_{ol} \frac{1000}{19,5} \quad (33)$$

in je rezultat dan v koloni 9. Hitrostna funkcija $\Psi(v_m)$ je potem

$$\Psi(v_m) = \frac{q^*}{q'} \quad (34)$$

in izračunane vrednosti so dane v koloni 10, a v koloni 11 so še vrednosti toplotne prestopnosti, dane z izrazom (32), v koloni 12 pa srednja hitrost bata v_m , ki ustreza obravnavanim obratovalnim režimom motorja.

Izračunane vrednosti za α'_m , $\Psi(v_m)$ in α_m so nanesene na sliki 10 v odvisnosti od srednje hitrosti bata ozir. vrtilne hitrosti.

Za hitrostno funkcijo $\Psi(v_m)$ je bil dobljen analitični izraz v obliki eksponentialne funkcije

$$\Psi(v_m) = X \cdot v_m^y \quad (35)$$

v kateri je X konstantni koeficient, y pa konstantni eksponent. Krivulja z $X = 1,58$ in $y = 0,786$

$$\Psi(v_m) = 1,58 v_m^{0,786} \quad (36)$$

ki je tabelarično dana v tabeli 2 in vrisana na sliki 10 skupaj z izračunanimi vrednostmi za $\Psi(v_m)$, kaže dobro soglasje z izračunanimi vrednostmi v področju srednjih hitrosti bata, ki ustrezajo obravnavanim vrtilnim hitrostim obratovanja pri motorju TOMOS UMO-06 N.

Tabela 2

v_m m/s	$v_m^{0,786}$	$1,58 \cdot v_m^{0,786}$	v_m m/s	$v_m^{0,786}$	$1,58 \cdot v_m^{0,786}$
0	0	0	6	4,09	6,46
1	1,00	1,58	7	4,62	7,30
2	1,72	2,75	8	5,13	8,10
3	2,73	3,75	9	5,62	8,88
4	2,98	4,70	10	6,10	9,70
5	3,55	5,60			

Literatura:

Brosinsky, H. I.: Wärmeübergangsversuche an einem Ottomotor. MTZ 15 (1954) 3.

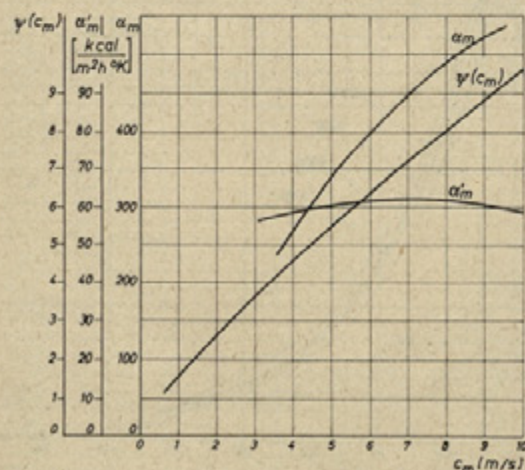
Eckert, K.: Der Wärmeübergang im Zylinderkopf und Zylinder von schnellaufenden, luftgekühlten Otto- und Dieselmotoren. MTZ 22 (1961) 3.

Litkei, G.: Beitrag zur Theorie des Wärmeüberganges im Motor. Konstruktion 14 (1962) 2.

Pflaum, W.: Der Wärmeübergang bei Dieselmotoren mit und ohne Aufladung. MTZ 22 (1961) 3.

Woschni, G.: Beitrag zum Problem des Wärmeüberganges im Verbrennungsmotor. MTZ 26 (1965) 4.

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



Sl. 10. Hitrostna funkcija, parcialna srednja toplotna prestopnost in srednja toplotna prestopnost v odvisnosti od srednje hitrosti bata