

UDK 621.436—242:536.5

Temperaturni nivo bata v področju kompresijskega batnega obročka pri dieselskem motorju

ANTON ČERNEJ — ŽELIMIR DOBOVIŠEK

1. Uvod

Temperature bata v področju prvega batnega obročka so važen kriterij za presojanje zanesljivosti njegovega delovanja in življenjsko dobo celotnega batnega sklopa. Važno je poznati njihovo višino, ki še dopušča varno obratovanje na novo razvitega motorja in že delujočih motorjev pri novih nastavitvah. Razumljivo je, da so te temperature odvisne od toplotne obremenitve bata, od razmer hlajenja, od materiala in geometrije delov ter od lege prvega utora.

Težnja po čim kompaktnjši izvedbi motorja je privedla do večjih moči na enoto prostornine in do višjih tlakov zgorevanja, ki predvsem pri prehodu na varianto motorja z dodatnim polnjenjem pogosto silijo, da je treba uvesti posebne ukrepe za izboljšanje hlajenja bata.

Eno od prvih predloženih meril za toplotno obremenitev bata je izraz [1]

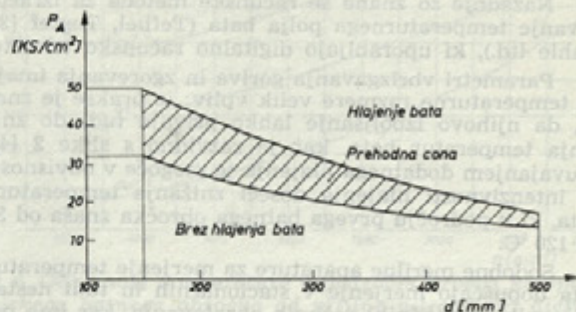
$$P_A = \frac{P_e}{A \sqrt{\frac{s}{d}}} \quad [\text{KS/cm}^2] \quad (1)$$

ki pomeni specifično obremenitev temena bata, v katerem so P_e — moč enega valja, A — površina poprečnega prereza valja in s/d — razmerje med gibom in premerom bata. Za določen motor se lahko izraz (1) prevede v obliko

$$P_A = k p_e n$$

kjer so k — konstanta, odvisna od motorja, p_e — srednji efektivni tlak in n — vrtilna hitrost.

Na sliki 1 je s prehodno cono informativno podana meja dopustnih specifičnih obremenitev [2] na temenu bata med normalno hlajenimi bati in bati, hlajenimi s posebnimi ukrepi — dodatno hlajenimi. Z normalnim



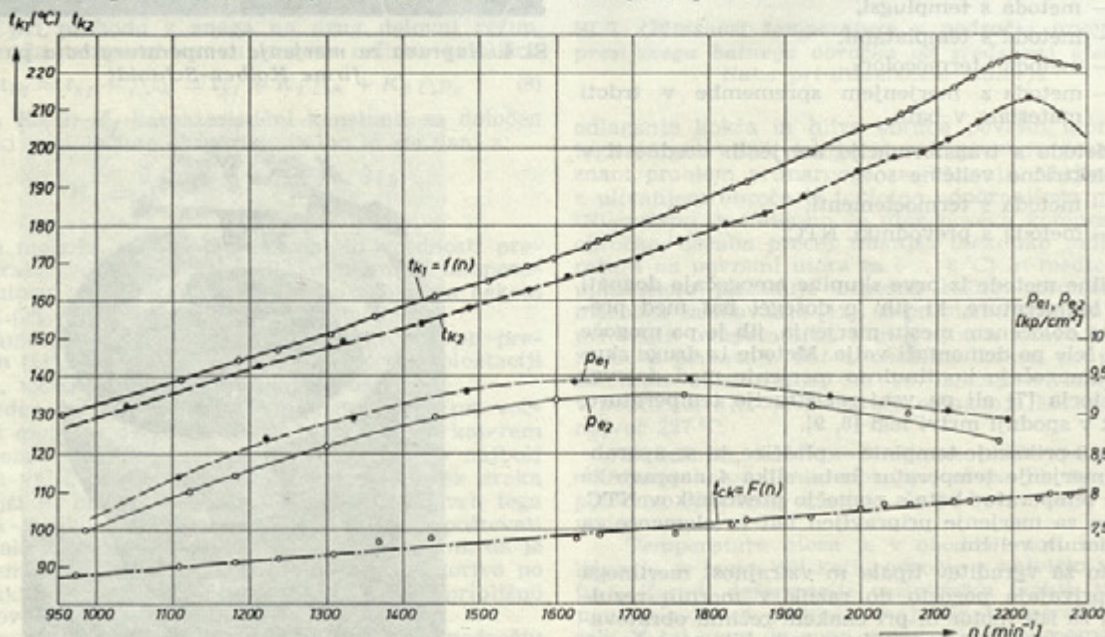
Sl. 1. Prehodna cona za specifično obremenitev batov P_A med normalno in dodatno hlajenimi bati

hlajenjem batov razumemo odvajanje toplote od bata prek plašča in batnih obročkov na steno valjeve puše in prek notranjih površin bata na snov, ki obliva njegovo zadnjo stran (brez posebnega dovajanja medija za hlajenje bata).

Razen s parametrom P_A izražamo toplotno obremenitev bata še s posebnimi nomogrami, ki so izdelani po izkušnjah in obsegajo različne vplivne veličine, med njimi tudi specifično porabo goriva [3]. Obstajajo tudi empirični obrazci za izračun temperaturnega polja bata pri spremembi obremenitvenega režima, na primer:

$$q_p = b_{st}^{0.5} \left(\frac{d}{\eta_v p_k} \right)^{0.38} \left(p_e g_e \frac{T_k}{T_o} \right)^{0.88} \quad (3)$$

kjer so: b_{st} — koeficient, d — premer bata, η_v — volumetrični izkoristek, p_k in T_k — tlak ozir. temperatura snovi pri vstopu v valj, g_e — specifična poraba goriva, p_e — srednji efektivni tlak in T_o — temperatura okolice [293 K].



Sl. 2. Temperature bata v področju prvega batnega obročka

t_k — srednja temperatura bata v področju prvega kompresijskega obročka 1,5 mm pod površino; t_{ck} — srednja temperatura valjevega plašča v področju prvega kompresijskega obročka, kadar je bat v zgornji mrtvi legi, merjena v globini 1,5 mm od površine; p_e — srednji efektivni tlak; indeks 1 — pri prvotnih parametrih vbrzgvavanja; indeks 2 — pri izboljšanih parametrih vbrzgvavanja

Iz diagramov, ki so v prilogi dela [3], lahko ugotovimo linearno odvisnost med temperaturo temena bata in parametra q_p . Vrednosti tega parametra za normalno hlajene bate iz aluminijevih zlitin dosegajo vrednosti do 6.

Nazadnje so znane še računске metode za izračunavanje temperaturnega polja bata (Tefhel, Tegtel [3], Mahle itd.), ki uporabljajo digitalno računsko tehniko.

Parametri vbrizgavanja goriva in zgorevanja imajo na temperaturne razmere velik vpliv; iz prakse je znano, da njihovo izboljšanje lahko privaja tudi do znižanja temperatur bata, kar je razvidno s slike 2 [4]. Z uvajanjem dodatnega hlajenja je mogoče v odvisnosti od intenzivnosti hlajenja doseči znižanje temperature bata, ki v področju prvega batnega obročka znaša od 30 do 120 °C.

Sodobne merilne aparature za merjenje temperatur bata dopuščajo merjenje v stacionarnih in tudi nestacionarnih (prehodnih) režimih obratovanja, kar ima pri motorjih za določen namen uporabe poseben pomen [3, 5, 6]. Nihanje temperature na površini in v tanjši plasti pod površino zaradi sprememb temperature delovne snovi med delovnim ciklom pa je problem zase, tako da lahko izmerimo le neko srednjo vrednost temperature v tem sloju pri določenem režimu obratovanja. Temperaturne spremembe z delovnim ciklom so manj izrazite v področju prvega kompresijskega obročka kakor na temenu bata. Ta nihanja temperatur na površini sami je mogoče tudi približno izračunati [3]. Za prakso je zlasti pomembno izmeriti in ovrednotiti srednje temperature v stacionarnih pogojih obratovanja.

2. Merilne metode

Ta čas znane metode za merjenje in registriranje temperatur bata lahko razdelimo v dve osnovni skupini:

a) Metode brez transformacije merjenih vrednosti v električne veličine. Te metode so:

- metoda s taljivimi čepi,
- metoda s templugsji,
- metoda s templatami,
- metoda »termocolor«,
- metoda z merjenjem spremembe v trdoti materiala v batu.

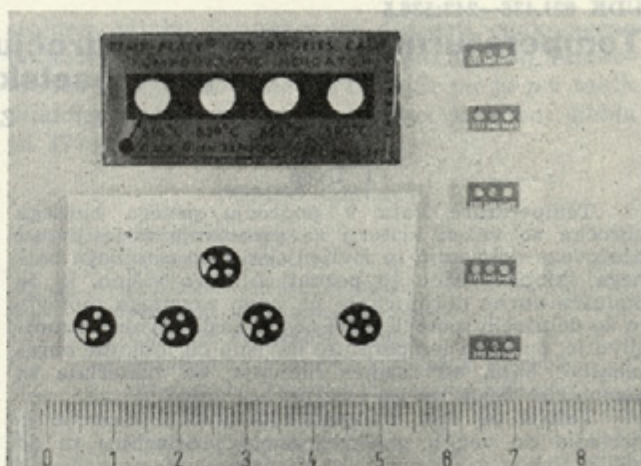
b) Metode s transformacijo merjenih vrednosti v električne veličine so:

- metoda s termoelementi,
- metoda s prevodniki NTC.

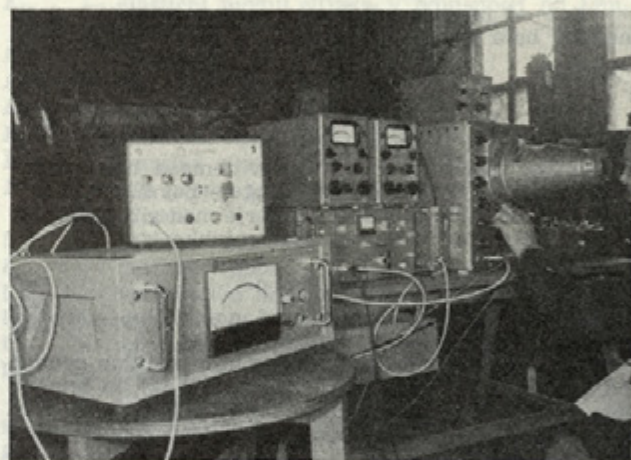
Merilne metode iz prve skupine omogočajo dosegati najvišje temperature, ki jih je dosegel bat med preskusom na določenem mestu merjenja, jih je pa mogoče ugotoviti šele po demontaži valja. Metode iz druge skupine pa omogočajo kontinuirno merjenje med delovanjem motorja [7] ali pa vsaj registracijo temperature, ko je bat v spodnji mrtvi legi [8, 9].

Slika 3 prikazuje template — ploščice, ki se uporabljajo za merjenje temperatur bata, slika 4 napravo za merjenje temperatur bata s pomočjo prevodnikov NTC, slika 5 pa za merjenje pripravljen bat in elemente za prenos mernih veličin.

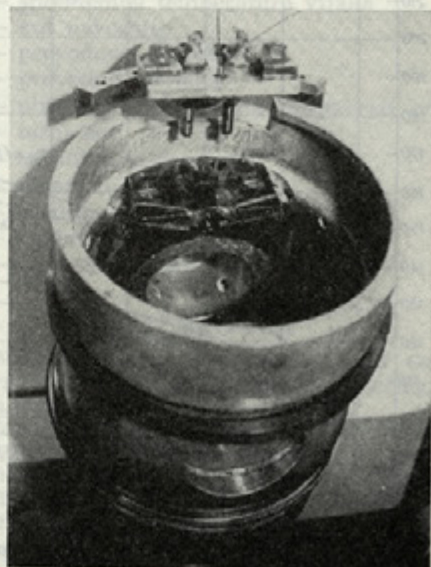
Mesto za vgraditev tipala in vztrajnost merilnega sistema privajajo pogosto do razlik v mernih rezultatih [10] za isti motor in pri enakem režimu obratovanja. Da bi se izognili tem razlikam in bi bilo mogoče rezultate posneti, je potrebno umerjanje merilnega sistema v obratovnih pogojih motorja. Ugotovljeno je, da so razlike pri merjenju temperatur temena bata znatno večje kakor razlike meritev v področju prvega



Sl. 3. Template ploščice za merjenje temperature



Sl. 4. Naprava za merjenje temperature bata po metodi firme Kolben-Schmidt



Sl. 5. Za merjenje pripravljen bat in elementi za prenos merjenih veličin

batnega obročka, kar izvira iz vztrajnosti merilnega sistema samega. Temperaturna tipala postavljamo 1,5 do 2 mm pod površino (v področju utora prvega batnega obročka) in na tem mestu izmerjena temperatura je nekaj manjša od srednje temperature na površini sami. V poprečju lahko jemljemo, da je temperatura na površini t_p pri batih iz aluminijeve zlitine določljiva iz

$$t_p = t_{iz} + 4 \dots 6^\circ\text{C} \quad (4)$$

za litoželezne bate pa iz

$$t_p = t_{iz} + 15 \dots 20^\circ\text{C} \quad (5)$$

kjer je t_{iz} — izmerjena temperatura v materialu 2 mm pod površino.

3. Mejne temperature

Za določen motor, če se zunanji pogoji in pogoji hlajenja ne spreminjajo, se da z zadostno natančnostjo napisati funkcijska odvisnost med temperaturo bata v utoru prvega kompresijskega obročka od vrtilne hitrosti n in srednjega efektivnega tlaka p_e

$$t_k = t_k(n, p_e) \quad (6)$$

Takšna odvisnost je za neki dieselski motor prikazana na slikah 6 in 7.

Po preskusih je mogoče prirastek temperature, če izhajamo iz diagramov na sl. 6 in 7, izvesti iz enačbe (6):

$$\Delta t_k = \left(\frac{\partial t_k}{\partial n}\right) \Delta n + \left(\frac{\partial^2 t_k}{\partial n^2}\right) \frac{\Delta n^2}{2!} + \left(\frac{\partial t_k}{\partial p_e}\right) \Delta p_e$$

ali:

$$\Delta t_k = \left(\frac{\partial t_k}{\partial n}\right) \Delta n + \left(\frac{\partial^2 t_k}{\partial n^2}\right) \frac{\Delta n^2}{2!} + C \left(\frac{\partial t_k}{\partial p_e}\right) (\eta_e \Delta q + q \Delta \eta_e + \Delta q \Delta \eta_e) \quad (7)$$

kjer pomenita: q — v enem delovnem ciklu dovedeno količino goriva in η_e — efektivni izkoristek motorja

Enačba (7) in diagrami na slikah 6 in 7 veljajo za primer, ko motor obratuje v normalnih mejah presežka zraka. Če upoštevamo majhno spremembo vrtilne hitrosti pri prehodu z enega na drug delovni režim, tedaj znaša temperatura na novem režimu približno

$$t_{k2} \approx t_{k1} + \Delta t_k = t_{k1} + K_1 \Delta n + K_2 \Delta p_e \quad (8)$$

kjer sta K_1 in K_2 karakteristični konstanti za določen motor, ki ju določimo eksperimentalno in sta dani z:

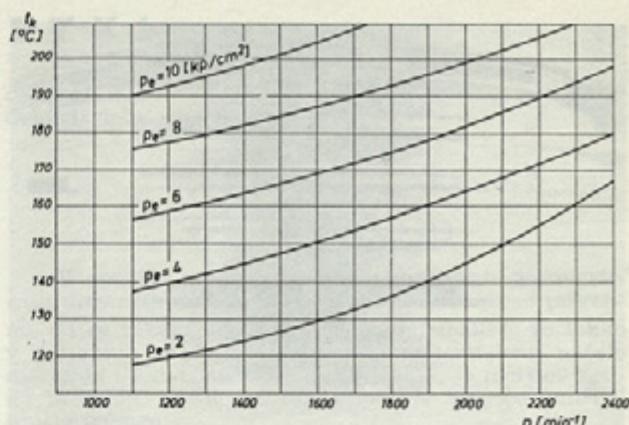
$$K_1 = \frac{\partial t_k}{\partial n} \quad K_2 = \frac{\partial t_k}{\partial p_e}$$

Tako je mogoče v področju normalnih vrednosti presežka zraka vnaprej ocenjevati spremembo temperature v utoru prvega kompresijskega obročka na nekem motorju pri vseh poznejših nastavitvah.

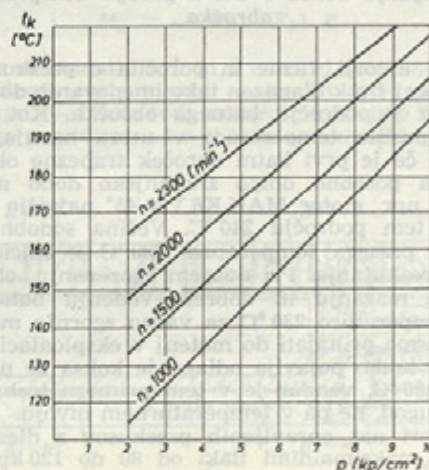
Temperature bata so v stacionarnih pogojih preskušanja [11] za 5...15°C višje kakor pri eksploataciji motorja, vgrajenega v prometnem sredstvu.

Preden začnemo z meritvami temperatur pri večvaljnem motorju, je zlasti važna odločitev, na katerem valju bomo merili. Praviloma so to toplotno najbolj ogroženi valji, pri katerih je dejanski presežek zraka najmanjši in hlajenje najmanj učinkovito. Povrh tega se mora — kakor je razvidno iz enačbe (7) — upoštevati še neenakomernost doziranja goriva, kar pomeni, da je treba jemati v poštev maksimalno doziranje goriva po enem ciklu = po izteku daljše eksploatacije (približno 300 delovnih ur).

Dopustna maksimalna temperatura v področju prvega kompresijskega obročka je predvsem odvisna od eksploatacijskih pogojev motorja, od konstrukcije bata, od mazalnega olja in od batnega obročka samega. Dve jasno izraženi posledici previsokih temperatur sta



Sl. 6. Odvisnost temperature v področju prvega kompresijskega batnega obročka od vrtilne hitrosti pri dieselskem motorju

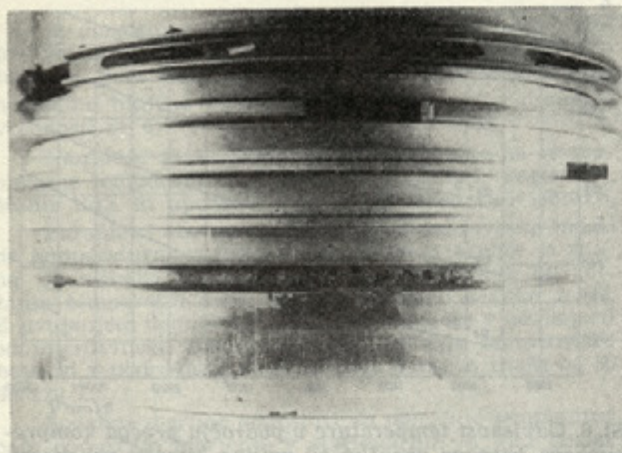


Sl. 7. Odvisnost temperature v področju prvega kompresijskega batnega obročka od srednjega efektivnega tlaka pri dieselskem motorju

odlaganje koksa in hitra obraba površin utora. Vrhu tega je pri višjih temperaturah posebno pereč dobro znani problem primarnega zaribavanja. Medtem ko se z ulivanjem obročka iz toplotno odpornejšega materiala (Ni-rezista), v katerem je utor prvega kompresijskega obročka, obraba precej zmanjša (nekoliko tudi temperatura na površini utora za 5...8°C) in medtem ko se upravičeno pričakuje uspešna rešitev problema primarnega zaribavanja [12], se problemu odlaganja koksa pri višjih temperaturah tudi z njim s težavo izognemo. Slika 8 prikazuje bat z usedlino koksa po približno 80 urah obratovanja, ko so izmerjene temperature v področju, kjer je prišlo do odlaganja koksa, znašale največ 227°C.

Z batnim obročkom trapezne oblike se posledice odlaganja koksa lahko ublažijo, ni pa jih mogoče popolnoma odpraviti, zlasti še, če je bat v valju še slabo voden.

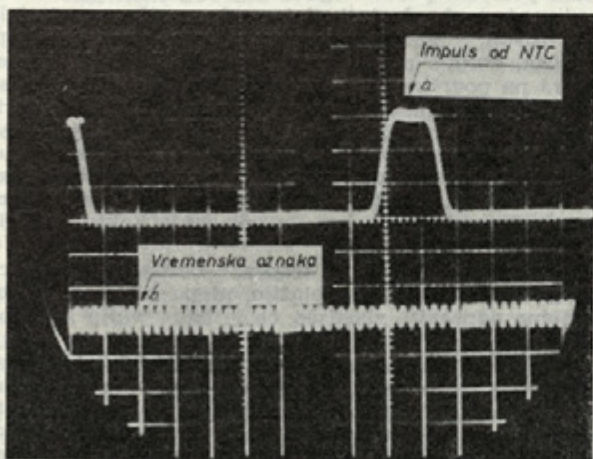
Temperatura utora je v obodni smeri lahko različna in je treba poiskati področje z najvišjo temperaturo. Zaradi deformacije razmeroma tankih sten batnega plašča se področje najvišje temperature lahko seli. V tej zvezi je znan pojav, ki ga poznamo z imenom »kolaps«; ko obroček ne deluje več pravilno, se pojavljata intenzivno puščanje toplih plinov v okrov ročičnega mehanizma in nadaljnje zvišanje temperature nivoja področja prvega batnega obročka.



Sl. 8. Odlaganje koks v utoru prvega kompresijskega obročka

Razni avtorji, firme in poročila o preskusih navajajo precej širok diapazon tako imenovanih dopustnih temperatur v področju batnega obročka. Kot maksimalno dopustno temperaturo v utoru navajajo zdaj 245 °C [3], če je prvi batni obroček trapezne oblike in ne gre za posebno dolgo življenjsko dobo motorja. Tako ima npr. motor MAN K6 V30/45^o najvišjo temperaturo v tem področju 240 °C. Večina sodobnih motorjev ne presega temperature 230 °C v stacionarnih pogojih preskušanja. Pri dobrem zgorevanju, ob funkcionalnem mazanju in dobrem vodenju bata lahko imamo temperaturo 230 °C za varno zgornjo mejo, pri kateri ne sme prihajati do motenj v eksploataciji. Vseeno pa se lahko pojavlja odlaganje koks že pri temperaturi 220 °C, vendar je v tem primeru treba iskati vzroke drugod, ne pa v temperaturnem nivoju.

Več pri nas opravljenih preskusov z dieselskimi motorji z maksimalnimi tlaki od 80 do 120 kp/cm², s srednjo hitrostjo bata od 7 do 12 m/s in s srednjim efektivnim tlakom od 6...11 kp/cm² z normalno hlajenimi bati iz aluminijevih zlitin potrjuje zgoraj omenjeno ugotovitev. Temperature v področju prvega batnega obročka smo merili s prevodniki NTC s premerom 2 mm zato, da so diagrami registracije temperature (slika 9) pred delovanjem motorja lahko pokazali mo-



Sl. 9. Fotografija ekrana osciloscopa s krivuljo impulzov od NTC in s krivuljo, ki označuje kot zavrtitve ročice gredi

rebitno oscilacijo srednje temperature v določenem režimu. Sprememba temperaturnega nivoja v nekem danem režimu je znašala največ nekaj stopinj.

4. Sklep

Glede na naše preskuse in na osnovi primerjanih rezultatov o opravljenih meritvah na drugih motorjih lahko zanesljivo trdimo, da smemo za zgornjo dopustno temperaturo utora prvega kompresijskega obročka imeti temperaturo 230 °C, izmerjeno v stacionarnih razmerah preskušanja, pogojih dobrega vodenja bata, pri pravilnem zgorevanju in funkcionalnem mazanju. V tem primeru se zanesljivo izognemo znanim težavam, ki spremljajo visoke temperature v področju prvega batnega obročka, vendar je pri tej temperaturi že priporočljivo uporabljati bat z ulitim obročem iz odpornejšega materiala, da bi se zmanjšala obraba utora. Problemu primarnega zaribavanja na drsnih površinah prvega kompresijskega obročka zaradi zvišane temperature se v veliki meri lahko izognemo s pravilnejšo geometrijsko obliko valja in zadovoljivimi razmerami mazanja. Lahko pričakujemo, da pojava odlaganja koks pri temperaturi utora 230 °C ne bo, kar potrjujejo pri nas opravljeni preskusi v zgoraj opisanih pogojih. Od znanih, pri nas uporabljenih metod za merjenje temperature v področju prvega batnega obročka sta se pokazali najprimernejši metoda s prevodniki NTC in metoda s taljivimi čepi.

* Studija v okviru naloge »Tokovno termični problemi batnih motorjev z notranjim zgorevanjem«, ki jo je financiral republiški fond BiH za znanstveno delo. Temo je obdelal in opravil preskuse Zavod za motorje in motorna vozila v Sarajevu.

LITERATURA

- [1] Meier, A.: Kolben mit Öhlkühlung, MTZ 28/1967/3.
- [2] Kohl, E.: Grundsätzliche Überlegungen zur Kühlung von Kolben, MTZ 31/1970/2.
- [3] Djačenko, Daškov, Kostin, Buzin: Teplobjom v dvigateljah i toplonaprjažnost ih detaljei. Izdat.: Mašinstroenije, Leningrad, 1969.
- [4] Cernej, A. — Dobovišek, Ž.: Ispitivanja prehranjivanih motora i temperaturnih polja na klipu i glavi motora. Izveštaj Zavoda za motore i motorna vozila, Sarajevo, 1969.
- [5] Vordran, W. — Leistl, G.: Temperaturmessungen an Otto- und Dieselmotoren, Mahle »Kolben-Kolloquium«, Januar 1969.
- [6] Sitkei, G.: Wärmebelastung von Dieselmotoren bei veränderlicher Belastung. The Internal C. E. Conference, Bucuresti 1970.
- [7] Huber, E.: Kontinuierliche Übertragung von Meßwerten aus dem laufenden Motor. Mahle »Kolben-Kolloquium, 1969.
- [8] Karl Schmidt GmbH: Beschreibung und Bedienungsanleitung zum KS Kolbentemperaturmeßgerät.
- [9] Dr. Munro Robert Wellwoth Ltd. Lymington: Novi minijaturni beskontaktni mjerni uređaj, Seminar 600/II oktober, 1969, Technische Akademie, Wuppertal.
- [10] Syassen, O.: Diskussionsbeitrag, Seminar 600/I, »Kolben, Kolbenringe und Zylinder, TA Wuppertal, 1967.
- [11] Köpke, G.: Neuere Messungen von Kolbentemperaturen, Sonderdruck aus ATZ/1968/2.
- [12] Baumgarten: Reibung und Verschleiß von Kolbenringen und Zylinderbüchsen, Dissertation TU Berlin, 1968.

Naslov avtorjev:

doc. dr. ing. Anton Cernej in
doc. dr. ing. Želimir Dobovišek,
Mašinski fakultet, Sarajevo