

in ga vstavimo v (8):

$$p_t = p_2 - k_2 \rho c^2/2 + \rho c^2/2 = p_2 + \rho c^2/2 \cdot (1 - k_2) \quad (28)$$

Bočna izvrtina (1 ali 3) bo pokazala tlak p_1 , ki se razlikuje od statičnega tlaka za določen iznos, dobljen kot produkt dinamičnega tlaka s koeficientom korekcije k_1

$$p_1 = p_s + k_1 \rho c^2/2$$

Iz te enačbe je statični tlak

$$p_s = p_1 - k_1 \rho c^2/2 \quad (29)$$

Če vstavimo (28) in (29) v (8), lahko preračunamo hitrost

$$\begin{aligned} \rho c^2/2 &= p_t - p_s = p_2 + \rho c^2/2 \cdot (1 - k_2) - p_1 + k_1 \rho c^2/2 \\ \rho c^2/2 &= p_2 - p_1 + \rho c^2/2 \cdot [1 - (k_2 - k_1)] = \\ &= \Delta p + \rho c^2/2 \cdot (1 - \Delta k) \\ c &= \sqrt{\frac{2 \Delta p}{\rho \Delta k}} \quad (30) \end{aligned}$$

S pomočjo (30) preračunamo iz (29) statični tlak

$$p_s = p_1 - \frac{k_1}{\Delta k} \Delta p \quad (31)$$

Da bi dobili univerzalne umerjalne krivulje, pretvorimo enačbi (30) in (31) z delitvijo s sprememljivo γ v obliki

$$c = 4,43 \sqrt{\Delta h / \Delta k} \quad (32)$$

DK 621.432

Določanje kvalitete pri izpiranju valja dvotaktnega motorja z zunanjo tvorbo mešanice

RADISLAV PAVLETIČ

Uvod

Količine zraka in goriva, ki vstopa v motor in je relativno lahko dostopna merjenju, še ni mogoče imeti za količino v delovnem procesu dejansko sodelujočega medija. V valju zaostaja določena količina produktov zgorevanja od poprejšnjega delovnega cikla, zaradi prekrivanja krmilnih časov ozir. hkrati odprtih izpušnih in vstopnih organov pa del sveže mešanice neposredno pobegne v izpušno cev in je za motor izgubljena. Moč motorja je neposredno odvisna od količine v delovnem procesu sodelujoče sveže mešanice, saj ta pomeni količino energije, ki naj se v delovnem procesu v valju v določenem več ali manj popolnem termodinamičnem ciklu pretvarja v mehansko delo. Zato je razumljiva težnja, da je ta količina sveže mešanice v valju v odnosu do celotne količine mešanice, ki vstopa v motor, kvantitativno in kvalitativno čim večja. To pa ravno določa kvaliteto izpiranja valja, ki je pomembna za presojo vrednosti motorja. Kvaliteta izpiranja se izraža s kvantitativno in kvalitativno stopnjo izpiranja; prvo označujemo z η_n , drugo pa z η_l .

Kvantitativna stopnja izpiranja pomeni razmerje med količino v valju za zgorevanje razpoložljive sveže polnitve in celotno količino sveže mešanice, dovajane v motor

$$\eta_n = \frac{m_l}{m_v} = \frac{V_l}{V_v}$$

s kvalitativno stopnjo izpiranja pa razumemo razmerje med količino v valju za zgorevanje razpoložljive

in

$$h_s = h_l - \frac{k_l}{\Delta k} \Delta h \quad (33)$$

Potrebno je torej z umerjanjem določiti krivulji:

$$\Delta k = f(\Delta h) \text{ in } \frac{k_l}{\Delta k} = f(\Delta h) \text{ (pri različnih hitrostih).}$$

Literatura:

- [1] Popov, S. G.: Izmerenie vozdušnih potokov, OGIZ, Moskva, 1947.
- [2] Deškin, V. N.: Metodika ispitaniya i issledovaniya kotelnih ustanovok, Moskva, 1947.
- [3] Keller, C.: Axialgebläse vom Standpunkt der Tragflügeltheorie, disertacija, Zürich, 1934.
- [4] Eilken, H.: Die Genauigkeit der Messungen mit Zylinderstaurohren, J. M. Voith, Nr. 1165, Heidenheim, 1949.
- [5] Thrasher, L. W. and R. C. Binder: Influence of Compressibility on Cylindrical Pitot-Tube Measurements, Transactions of the ASME, July, 1950.
- [6] Povh, I. L.: Modelirovanie gidravličeskikh turbin v vozdušnih potokah, GOSENERGOIZDAT, Moskva, 1955.
- [7] Eck, B.: Strömungslehre, Berlin, 1954.
- [8] Daugherty, R. L. and A. C. Ingersoll: Fluid mechanics, New York, 1954.
- [9] Sauer, R.: Einführung in die theoretische Gasdynamik, Berlin, 1951.
- [10] Dubs, F.: Hochgeschwindigkeits-Aerodynamik, Basel, 1961.
- [11] Povh, I. L.: Aerodinamičeskij eksperiment v mašinostroenii, MASGIZ, Moskva 1959.

Avtorjev naslov: prof. ing. Miroslav Pečornik, Strojarski fakultet, Rijeka

sveže polnitve in celotno količino vsebine valja, ki sodeluje v delovnem procesu

$$\eta_l = \frac{m_l}{m_l + m_{ls}} = \frac{V_l}{V_l + V_{ls}}$$

S količino v teh izrazih razumemo maso, ki jo zaradi skoraj enake plinske konstante mešanice gorivo-zrak in produktov zgorevanja lahko izrazimo s prostornino pri enakem tlaku in enaki temperaturi, kar je za te izraze v literaturi v navadi. Označba V_l pomeni količino po gornji definiciji sveže mešanice v valju, ki sodeluje v delovnem procesu, V_v količino mešanice, ki vstopa v motor, in V_{ls} količino zaostalih plinov, ki so v valju poleg sveže mešanice.

S kvantitativno stopnjo izpiranja izražamo izgube zaradi pobegle sveže mešanice v procesu izpiranja valja in neposredno količino izgubljenega goriva. Če je npr. $\eta_n = 0,71$, pomeni to, da 29 % dovedenega goriva sploh ni sodelovalo v delovnem procesu, kar je čista izguba. Kvalitativna stopnja izpiranja pa izraža kvaliteto izpiranja valja zaostalih plinov od poprejšnjega delovnega cikla in je merilo za izkoriščanje celotne prostornine valja pri določenem toplotnem stanju medija v valju. Če je npr. $\eta_l = 0,58$, pomeni to, da 58 % celotne prostornine valja izpolnjuje sveža mešanica, 42 % pa je zaostalih plinov.

Tako η_n kakor tudi η_l pa nista odvisna samo od sistema izpiranja, določenega z obliko in razporeditvijo vstopnih in izpušnih kanalov in vrste ter oblike krmilnih organov, temveč še od drugih faktorjev, tako od

celotnega sesalnega in izpušnega sistema, vrste zračne črpalke in tlaka izpiranja ter še drugih, ki do določene mere vplivajo na kvaliteto izpiranja valja v odvisnosti od režima obratovanja, izraženega z obremenitvijo in vrtilno hitrostjo. Proučevanje celotne kvalitete izpiranja je zanimivo predvsem pri polni obremenitvi v celotnem področju obratovalne hitrosti motorja. Pri delnih obremenitvah pa je zanimiva samo kvantitativna stopnja izpiranja, ne pa tudi kvalitativna, saj vprav z vplivanjem na kvalitativno stopnjo izpiranja reguliramo moč dvotaktnega motorja z zunanjo tvorbo mešanice.

V teh izvajanjih bo beseda o kvantitativni in kvalitativni stopnji izpiranja za režime s polno obremenitvijo pri raznih vrtilnih hitrostih dvotaktnega motorja z zunanjo tvorbo mešanice.

Metode za določanje kvantitativne stopnje izpiranja

Za določanje kvantitativne stopnje izpiranja sta znani dve metodi:

- metoda z zaznamovalnim plinom,
- metoda z analizo izpušnih plinov.

Metoda z zaznamovalnim plinom sestoji iz tega, da v motor vstopajoči mešanici zraka in goriva kontinuirano dodajamo in mešamo določeno manjšo količino primerne zaznamovalnega plina, ki se v enakem razmerju kakor mešanica porazdeljuje na del, ki ostane v valju in sodeluje v delovnem procesu, ter na del, ki pobegne skozi izpušne organe neposredno v izpušno cev. Zaznamovalni plin, ki ostane v valju, med zgorevanjem zgori, pobegli del pa se nespremenjen pojavlja v izpušnih plinih. Zaznamovalni plin mora biti zato gorljiv, tako da v valju skupaj z mešanico popolnoma zgori ali pa samo v določeni znani količini, nakar je kvantitativna določitev količine plina lahka in primerna, ker del plina v pobegli mešanici ostane nedotaknjen v izpušnih plinih.

Z merjenjem količine zaznamovalnega plina v sesalni in izpušni cevi lahko določimo kvantitativno stopnjo izpiranja po obrazcu

$$\eta_n = 1 - \alpha, \quad (1)$$

kjer pomeni α relativno količino izgubljene mešanice in je enaka

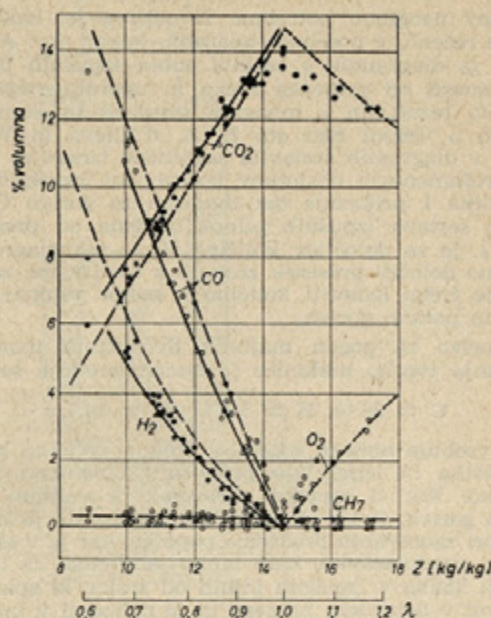
$$\alpha = \frac{\bar{m}_i}{\bar{m}_v}, \quad (2)$$

$\bar{m}_i$ je relativna masa zaznamovalnega plina v izpušnih plinih, $\bar{m}_v$ pa relativna masa zaznamovalnega plina v odnosu do mase mešanice, ki vstopa v motor.

Za uporabo te metode je potreben primeren zaznamovalni plin, ki izpolnjuje nižje navedene pogoje. Kot najprimernejši se je izkazal metilamin (CH_3NH_2), ki mu je z absorpcijsko metodo kaj lahko določiti relativno maso. Ta plin absorbira razredčena 10 % žveplena kislina v natanko določeni količini do trenutka, ko postane nevtralna, kar kaže sprememba barve v majhni količini kislini dodanega reagensa. Nato je treba meriti samo še količino izpušnih plinov, ki tečejo skozi bireto z žvepleno kislino do trenutka, ko se spremeni barva reagensa. Taka meritev količine izpušnih plinov pa skriva določeno napako, ker s tako meritvijo količine ne more biti obsežena kondenzirana vodna para kot produkt zgorevanja. Napaka zaradi tega in zaradi nepopolnega zgorevanja metilamina, ki zgori okoli 97 %, znaša približno 4 %, tako da je treba izraz za kvantitativno stopnjo izpiranja popraviti s faktorjem

$$\eta_n = \frac{1 - \alpha}{0,962} \quad (3)$$

kar zmanjša napako na največ 1 %, če znaša količina dodanega zaznamovalnega plina od 0,5 do 1 % količine



Sl. 1. Presežek zraka in sestava produktov zgorevanja za gorivo C_8H_{17} (84,9 % C, — 15,1 % H $Z_o = 14,7$)

v motor dovedene mešanice. Na sesalni strani pa je treba meriti količino zraka, porabo goriva in količino zaznamovalnega plina s pretočnimi ali prostorninskimi merilniki količine. Če pa motor sesa samo zrak, kar se dogaja pri motorjih z notranjo tvorbo mešanice, lahko uporabljamo enako metodo kakor na izpušni strani brez nevarnosti za omenjeno napako.

Metoda z zaznamovalnim plinom je preprosta in nasploh veljavna ter uporabna ne glede na vrsto motorja po delovnem postopku in načinu, kako zmes nastaja.

Če metoda z zaznamovalnim plinom ne izkazuje nobenih pridržkov glede veljavnosti, sloni uporabnost metode za določanje kvantitativne stopnje izpiranja dvotaktnega motorja z analizo izpušnih plinov na dveh predpostavkah:

1) uporabljeno gorivo ne sme v svoji sestavi vsebovati omebe vredne količine N_2 in O_2 ,

2) zaradi presežka goriva je zrak v valju popolnoma izrabljen in O_2 v izpušnih plinih ne izvira od zraka, ki je sodeloval v procesu zgorevanja.

V izpušnih plinih motorja nahajamo N_2 , CO_2 in H_2O v večjih volumenskih delih, poleg njih pa še O_2 , CO ali H_2 v znatnih količinah; v določenih pogojih so v njih tudi vsi trije plini hkrati. Slednjič so lahko prisotne tudi pare goriva C_mH_n , majhne količine metana in ogljik v obliki saj.

Izpušni plini motorja, ki jih analiziramo, so brez ostankov goriva, saj in vode s temperaturo okolice. To so suhi izpušni plini. Vrednosti analize se najpogosteje nanašajo na enoto prostornine 100 % plinov za analizo. Iz sestave teh in podatkov iz elementarne analize goriva se da izračunati volumenski del pri zgorevanju nastale vodne pare, ki je v vlažnih izpušnih plinih brez goriva.

Izpušne pline v splošnem analiziramo z Orsatovim aparatom, ki je sposoben določati volumenske odstotke O_2 , CO_2 in CO ; H_2 ali vsote $\text{CO} + \text{H}_2$ pa je mogoče določati v posebnih aparatih. Ker pri dvotaktnih motorjih z zunanjo tvorbo mešanice obratujemo z izrazitim presežkom goriva, kar ima za posledico velik delež produktov nepopolnega zgorevanja v izpušnih plinih, med katere spada poleg CO še H_2 , je njegova

določitev neogibno potrebna. Izvedljiva je, kakor je bilo že rečeno, v posebnih aparatih, kakor npr. ADOS, ali pa iz diagramov o sestavi suhih izpušnih plinov v odvisnosti od presečka zraka in uporabljenega goriva. Po rezultatih z mnogimi preskusi in kemičnih zakonih o vplivu mas sta B. A. d'Alleva in W. G. Lovell v diagramih sestavila analitične izraze za določitev volumenskih odstotkov komponent izpušnih plinov. Slika 1 prikazuje tak diagram za gorivo C_8H_{17} . Ker je sestava izpušnih plinov odvisna od presečka zraka λ , je za določitev količine H_2 iz teh diagramov potrebno določiti preseček zraka λ z meritvami, zaradi česar je treba izmeriti količino v motor vstopajočega zraka in porabo goriva.

Gorivo za pogon majhnih dvotaktnih motorjev z zunanjo tvorbo mešanice je bencin srednje sestave

$$C = 86\%, H = 13\%; Z_0 = 14,7,$$

ki ne vsebuje nobene omembe vredne količine kisika niti dušika in izpolnjuje prvo prej omenjeno predpostavko. Ker ti motorji obratujejo z velikim presežkom goriva, je hkrati dopustna trditev, da je izraba zraka pri zgorevanju praktično popolna, kar je v skladu z drugo predpostavko. Zato lahko jemljemo, da izvira količina kisika v izpušnih plinih od zraka, ki sploh ni sodeloval v delovnem procesu in je pobegnil v izpušni kanal.

Če v izpušnih plinih nahajamo O_2 in N_2 v odnosu $\frac{v_i(O_2)}{v_i(N_2)}$, tedaj je volumenski del svežega zraka, pobeglega v izpuh, nasproti celotni količini v motor vstopajočega zraka v odnosu $\frac{79 v_i(O_2)}{21 v_i(N_2)}$. Dušik v izpušnih plinih izvira od celotne količine v motor vstopajočega zraka, kisik pa samo od tistega dela svežega zraka, ki je bil izgubljen za zgorevanje. V pred simbolom plina v oklepaju pomeni relativno prostorninsko količino plina, indeks i pa se nanaša na izpušne pline.

Če je količina svežega zraka, ki vstopa v motor, V_v , količina zraka, ki sodeluje v delovnem procesu v valju, V_f , in količina zraka, ki je pobegnila v izpušno cev, V_p , tedaj je

$$V_f = V_v - V_p \quad (4)$$

in če je razmerje med pobeglim zrakom in v motor vstopajočim

$$\frac{V_p}{V_v} = \frac{79 v_i(O_2)}{21 v_i(N_2)} \quad (5)$$

tedaj je kvantitativna stopnja izpiranja

$$\eta_n = 1 - \frac{79 v_i(O_2)}{21 v_i(N_2)} \quad (6)$$

V izrazu za η_n je obsežena relativna prostorninska količina kisika in dušika. Količina kisika $v_i(O_2)$ v izpušnih plinih je z Orsatovim aparatom izmerljiva neposredno, medtem ko je treba količino $v_i(N_2)$ izračunati kot razliko vsote relativnih količin vseh sestavnih delov izpušnih plinov

$$v_i(N_2) = 100 - [v_i(O_2) + v_i(CO_2) + v_i(CO) + v_i(H_2)] \quad (7)$$

Metoda za določanje kvantitativne stopnje izpiranja dvotaktnih motorjev z zunanjo tvorbo mešanice z analizo izpušnih plinov je torej dovolj preprosta in povsem zadovoljiva.

Metode za določanje kvalitativne stopnje izpiranja

Za določanje kvalitativne stopnje izpiranja sta v rabi dve vrsti metod, in sicer metode, ki so primerne za proučevanje tega problema na motorjih v normal-

nem obratovanju, in metode z modeli ali posebnimi adaptacijami motorjev, ki niso več sposobni za normalno obratovanje. Tukaj se bomo ustavili pri dveh metodah prve vrste metod, in sicer:

- pri metodi z analizo delovnih plinov,
- pri metodi z izpuščanjem vžigov.

O metodah druge vrste tukaj ne bo govora.

Za določanje kvalitativne stopnje izpiranja po metodi z analizo delovnih plinov je treba poznati sestavo goriva in analizo vsebine valja pred zgorevanjem in po njem. To je teoretično eksaktna metoda; obrazec za izračun je takle:

$$\eta_e = 1 - \frac{\frac{v_f(CO_2)}{v_3(CO_2)}}{1 - v_{el}(H_2O) \left[1 - \frac{v_f(CO_2)}{v_3(CO_2)} \right]} \quad (8)$$

kjer pomenijo:

- $v_f(CO_2)$ relativno količino CO_2 v suhi polnitvi pred zgorevanjem,
- $v_3(CO_2)$ ustrezno količino po zgorevanju,
- $v_{el}(H_2O)$ količino vodne pare v vlažnih produktih zgorevanja.

Za določitev vodne pare $v_{el}(H_2O)$ je Zeman sestavil izraz:

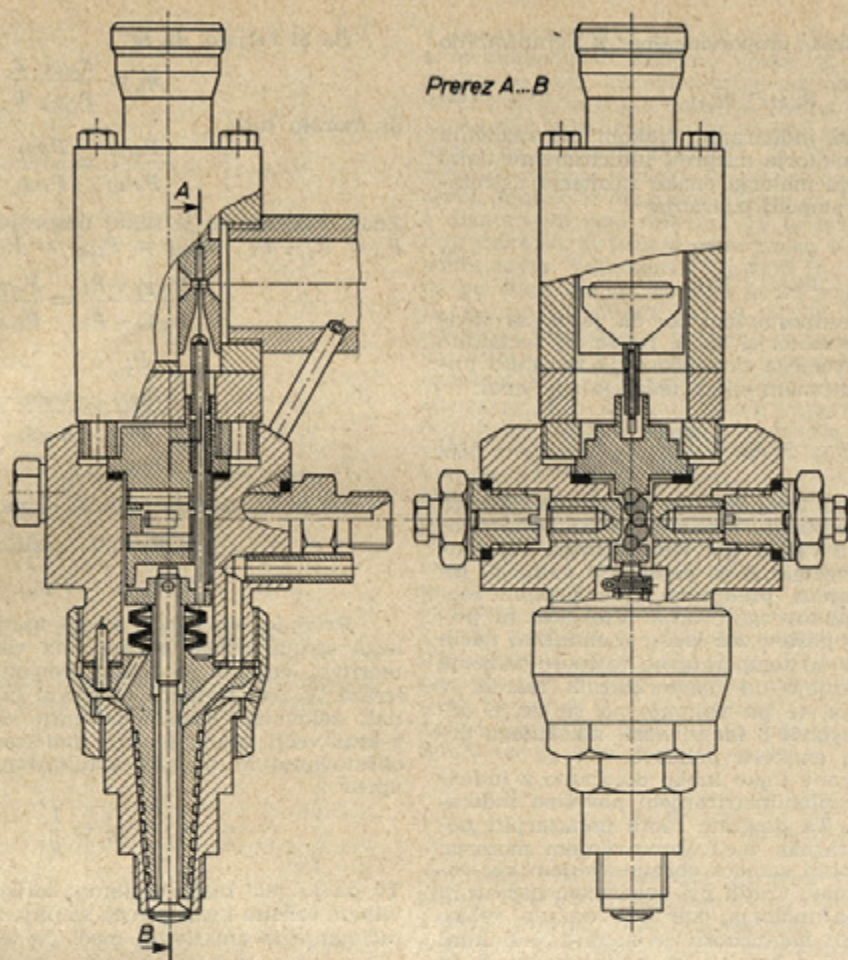
$$V_{el}(H_2O) = \left\{ 6 \frac{h}{c} [v_3(CO_2) + v_3(CO) + m v_3(C_m H_n)] - v_3(H_2) - \frac{n}{2} v_3(C_m H_n) \right\} : \left\{ 1 + 6 \frac{h}{c} [v_3(CO_2) + v_3(CO) + m v_3(C_m H_n)] - v_3(H_2) - \frac{n}{2} v_3(C_m H_n) \right\} \quad (9)$$

$\frac{h}{c}$ je razmerje vodika nasproti ogljiku v gorivu, določljivo pa je z elementarno analizo goriva. Vse druge vrednosti iz izraza so rezultat analize suhih produktov zgorevanja.

Izraz za η_i pa daje pravilne vrednosti samo tedaj, če vzorci delovnih plinov sestavljajo povprečje vsebine valja. Težav za natančno določitev η_i je manj pri analizi kakor pa pri pravilnem odvzemanju vzorcev in pri odvzemanju nasploh. Polnitev ni homogena mešanica, tako da majhni vzorci, ki jih jemljemo na enem mestu v določenem časovnem intervalu, v splošnem ne dajejo povprečne sestave polnitve. Vzorce je treba zato jemati proti koncu kompresije, in sicer po možnosti z več ventili na raznih mestih zgorevalnega prostora. Prav tako je treba tudi vzorce po zgorevanju odzemat neposredno pred odpiranjem izpušnega organa ali v njem samem pred odpiranjem vstopnega organa.

Jemanje vzorcev mora potekati torej v določenem časovnem intervalu, za kar je potreben krmiljeni ventil. Zlasti pri hitro tekočih motorjih je čas odvzemanja izredno kratek, saj traja vsega nekoliko 10^6 kota ročične gredi, kar pomeni v časovni enoti komaj tisočinko sekunde ali še manj. To pa je izredno težavno za ventil sam. Da je krmiljenje v tako kratkih časovnih presledkih sploh mogoče, mora biti lastna frekvenca ventila visoka, za kar so potrebne izredno majhne mase gibajočih se delov in izredno strma konstanta vzmeti. Eno konstrukcij takšnega ventila kaže slika 2.

Cepnav je metoda z analizo delovnih plinov teoretično eksaktna, pa zaradi omenjenih težav v zvezi s to metodo ne jamči za posebno natančno določitev kvalitativne stopnje izpiranja, zlasti ne za hitro tekoče motorje, med katere spadajo vprav dvotaktni motorji z zunanjo tvorbo mešanice. Zato se je treba vprašati,



Sl. 2. Primer ventila za jemanje vzorcev delovnih plinov

ali je metoda izpuščanja vžigov, čeprav je označena samo kot približna, sploh slabša od te. Ker je ta metoda v literaturi le redkokje opisana ali celo podana napačno, bi jo tukaj razčlenili podrobneje.

Metoda z izpuščanjem vžigov za določanje kvalitativne stopnje izpiranja je praktična, sestoji pa iz merjenja moči normalno delujočega motorja — vžig pri vsakem vrtiljaju — in merjenja moči motorja, ki obratuje z izpuščanjem vžigov. Če izpuščamo vsak drugi vžig, tedaj motor deluje štiriktaktno; če pa sta izpuščena dva vžiga po enem aktivnem ciklu, deluje motor šestktaktno, če trije — osemktaktno itd.

Moč merimo pri enaki vrtilni hitrosti in enakem odnosu mešanice gorivo—zrak, predpostavljamo pa še, da je indicirana specifična poraba goriva vsakega aktivnega cikla pri vseh načinih obratovanja enaka, kar pomeni z drugimi besedami, da je proces zgorevanja zmeraj enak. Slednjič predpostavljamo še, da je enaka tudi količina polnitve v delovnem valju pri vseh načinih obratovanja. Te predpostavke pa veljajo samo deloma, ker so razmere toka skozi motor za aktivni in neaktivni cikel različne, zaradi česar je ta metoda tudi približna.

Od stopnje polnitve so neposredno odvisne samo veličine, ki so značilne za notranji proces v motorju, to sta srednji indicirani tlak ozir. indicirana moč. Efektivni tlak in efektivna moč, ki ju merimo na prirobnici motorja, sta od stopnje polnitve odvisna posredno prek mehanskega izkoristka, zaradi česar je

treba metodo razumljivo vezati na indicirane parametre.

Indicirana moč motorja je po gornjih predpostavkah odvisna od količine polnitve s svežo mešanico ozir. od kvalitativne stopnje izpiranja η_b in sicer v naslednji relaciji:

$$P_{i(k)} = K_i \frac{V_s p_{i(k)} n}{k} \approx \frac{V_s p_{i(k)} n}{k} \quad (10)$$

v kateri se indeks v oklepaju nanaša na način obratovanja motorja kot dvotaktnega, štiriktaktnega itd., K_i pa je v tem izrazu konstanta, katere številčna vrednost v tej zvezi ni zanimiva, k v imenovalcu pa ima številčno vrednost indeksa (k). Indeks k je 2 za dvotaktno delovanje motorja, 4 za štiriktaktno itd., vedno oštevilčen v skladu s številom taktov pri delovanju motorja. Konstanto K_i lahko iz izraza izpustimo in namesto znaka enakosti zapišemo znak proporcionalnosti.

Srednji indicirani tlak p_i pa je dan z obrazcem

$$p_{i(k)} = K_2 \frac{\eta_{i(k)} V_I}{b_i \lambda V_s} \approx \frac{\eta_{i(k)} V_I}{b_i \lambda V_s} \quad (11)$$

v katerem je K_2 prav tako konstanta, katere številčna vrednost enako ni potrebna. V izrazu za $p_{i(k)}$ pomeni b_i indicirano specifično porabo goriva, λ presežek zraka, V_s gibni volumen valja. Iz izraza za $p_{i(k)}$ vidimo, da je srednji indicirani tlak, če veljajo prednje pred-

postavke, neposredno proporcionalen s kvalitativno stopnjo izpiranja

$$P_{i(k)} \approx \eta_{i(k)} \quad (12)$$

in je razmerje med indiciranim tlakom pri različnih načinih delovanja motorja nasproti indiciranemu tlaku normalno delujočega motorja enako razmerju ustrežajočih kvalitativnih stopenj izpiranja

$$\frac{P_{i(2)}}{P_{i(k)}} = \frac{\eta_{i(2)}}{\eta_{i(k)}} \quad (13)$$

Če slednjič predpostavimo še, da je η_i za štiritaktno obratovanje motorja, zlasti pa še za večtaktno enak 1 zaradi vse večjega razredčevanja zaostalih plinov po zadnjem aktivnem ciklu, tedaj je $\eta_{i(2)}$ enak

$$\eta_{i(2)} = \eta_i = \frac{P_{i(2)}}{P_{i(k)}} \quad (14)$$

Določiti je treba torej srednje indicirane tlake za normalno delujoč dvotaktni motor in za delovanje motorja z izpuščanjem vžigov kot štiritaktnega, šesttaktnega itd. Kolikor večtaktno je delovanje motorja, toliko bolj je izpolnjena predpostavka o popolni razredčitvi zaostalih plinov zgorevanja. Vsekakor ni priporočljivo jemati v poštev več kakor osemtaktni način delovanja, zato ker se temperaturne razmere motorja čedalje bolj razlikujejo od temperaturnih razmer v dvotaktnem motorju, te pa vplivajo na še večje odstopanje od predpostavk o identičnosti notranjega delovnega procesa in enakosti polnitve.

Srednje indicirane tlake lahko določimo z indiciranjem motorja in planimetričnim površine indikatorskega diagrama. Ta diagram mora ponazarjati povprečje notranjih razmer med obratovanjem motorja, ki ga je mogoče dobiti samo z obravnavanjem več indikatorskih diagramov, vzeti pri določenem načinu in režimu obratovanja motorja, kar vse nalaga veliko dela. Do neke mere natančnosti je srednji indicirani tlak mogoče določiti z merjenjem efektivne moči in določanjem moči trenja po določeni znani metodi.

$$P_i = P_e + P_t \quad (15)$$

Ker velja med srednjim indiciranim tlakom in močjo z izrazom (10) dana proporcionalnost, lahko v izraz za η_i namesto P_i vnesemo indicirano moč, in sicer

$$\eta_i = \frac{P_{i(2)}}{P_{i(k)}} \cdot \frac{2}{k} \quad (16)$$

Napačno je določati kvalitativno stopnjo izpiranja po tej metodi iz efektivnih tlakov ozir. efektivnih moči, kakor semtertja navaja literatura. To bi veljalo le tedaj, če bi bil mehanski izkoristek pri določenem režimu obratovanja za vse načine obratovanja motorja enak. To pa v splošnem ni tako, pač pa je enaka moč trenja, če vzamemo, da je moč trenja odvisna samo od hitrosti obratovanja motorja in ne od srednjega indiciranega tlaka. Za motorje z notranjim zgorevanjem velja ta predpostavka v precejšnji meri, kar so potrdili tudi preskusi.

Če bi veljalo, da je

$$\eta_i = \frac{P_{e(2)}}{P_{e(k)}} \cdot \frac{2}{k}$$

bi morale biti

$$\frac{P_{e(2)}}{P_{e(k)}} = \frac{P_{i(2)}}{P_{i(k)}}$$

Znak enakosti pa je tukaj nesprejemljiv, kar dokazuje $P_i = P_e + P_t$ $P_{i(2)} = P_{i(k)} = P_t \dots$ po predpostavki

$$\frac{P_{e(2)} + P_t}{P_{e(k)} + P_t} = \frac{P_{e(2)}}{P_{e(k)}}$$

$$1 + \frac{P_t}{P_{e(2)}} = \frac{\eta_{m(k)}}{\eta_{m(2)}} = 1$$

Da bi ta relacija veljala, bi morale biti

$$1) P_t = 0 \quad \text{ali}$$

$$2) P_{e(2)} = P_{e(k)}$$

Prvo je nemogoče že po naravi motorja in vsakega stroja, drugo pa tudi ne velja, kar dokazujejo meritve, čeprav je nekaj verjetnosti za veljavnost izraza. V tem primeru bi moral biti srednji indicirani tlak delovnega cikla k -taktnega obratovanja motorja k -krat večji kakor srednji indicirani tlak dvotaktnega obratovanja in bi bila kvalitativna stopnja izpiranja vprav

$$\eta_i = \frac{1}{k}$$

To pa je zelo malo verjetno; toliko verjetnosti o pravičnem računu kvalitativne stopnje izpiranja daje njeno računanje iz efektivnih moči po tej metodi.

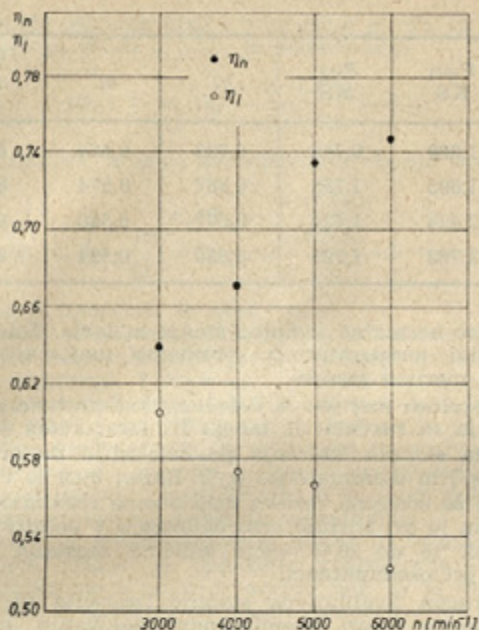
Uporaba metod na motorju TOMOS UMO 06N

Metoda z analizo izpušnih plinov za določanje kvantitativne stopnje izpiranja in metoda s prekinjanjem vžigov za določanje kvalitativne stopnje izpiranja sta bili uporabljeni na motorju Tomos UMO 06N. Stopnji izpiranja sta bili določeni za polno obremenitev motorja pri štirih vrtilnih hitrostih 3000, 4000, 5000 in 6000 min⁻¹.

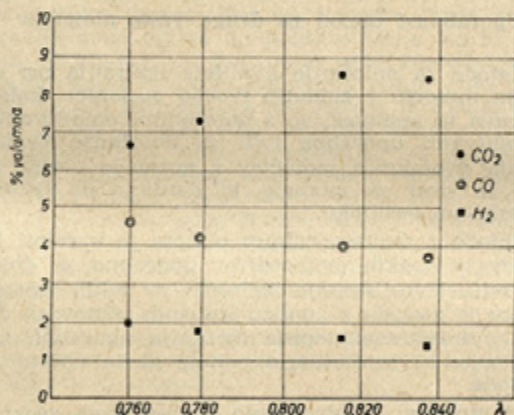
Motor Tomos UMO 06N je dvotakten, hitro tekoč, bencinski in zračno hlajen z delovno prostornino 60 cm³ s kartersko črpalko. Sistem izpiranja je nasprotno izpiranje po sistemu Schnürle z enim izpušnim in dvema glede na izpušno okno bočno nameščenima vstopnima oknom — s tako oblikovanima vstopnima kanaloma, da je tok v valj vstopajoče mešanice usmerjen proti izpušnemu oknu nasproti ležeči valjevi steni ter usmerjen navzgor proti glavi. Sesalni kanal in sesalno okno sta na nasprotni strani izpušnega okna. Organ krmiljenja je bat motorja, ki s spodnjim robom krmili sesanje sveže mešanice v okrov ročičnega mehanizma

Tabela I.

Vrtilna hitrost min ⁻¹	Z kg/kg	λ	$v_i(\text{CO}_2)$ %	$v_i(\text{O}_2)$ %	$v_i(\text{CO})$ %	$\frac{v_i(\text{CO}_2)}{v_i(\text{CO})}$	$v_i(\text{H}_2)$ %	$v_i(\text{N}_2)$ %	η_n
3000	11,17	0,760	6,70	7,55	4,60	1,46	2,0	79,15	0,639
4000	11,43	0,773	7,30	6,85	4,20	1,74	1,8	79,85	0,672
5000	12,24	0,837	8,45	5,70	3,75	2,26	1,4	80,70	0,735
6000	11,98	0,815	8,55	5,35	4,00	2,14	1,6	80,50	0,748



Sl. 3. Izmerjene vrednosti kvantitativne in kvalitativne stopnje izpiranja motorja TOMOS UMO 06N



Sl. 4. Količina CO₂, CO in H₂ v izpušnih plinih motorja TOMOS UMO 06N

— le-ta skupno z valjem in batom sestavlja zračno črpalko — z zgornjim robom pa izpuh in vstop sveže mešanice v valjev delovni prostor.

Za določanje kvantitativne stopnje izpiranja po metodi z analizo izpušnih plinov se izpušni plini jemljejo iz spodnjega dela izpušnega lonca zato, da je vzorec dobro povprečje v sestavi izpušnih plinov, ki so se utegnili med potjo skozi lonec dobro premešati. Vzorci plina so bili analizirani z Orsatovim aparatom, in sicer so vse meritve zaradi dobrega povprečja ponavljali pri vsakem režimu obratovanja štirikrat. Merjeni sta bili tudi količina sesalnega zraka in poraba goriva. Te meritve so potrebne za določitev presežka zraka v mešanici gorivo-zrak.

Za določitev deleža H₂ v izpušnih plinih, ki z Orsatovim aparatom ni izmerljiv, smo uporabili diagram na sliki 1, ki podaja prostorninski odstotek posameznih komponent v produktih zgorevanja pri suhih izpušnih plinih, sestavljen po preizkusih na določenem motorju z določenim gorivom. Poskusi so bili opravljeni na trivalnem bencinskem motorju z gorivom

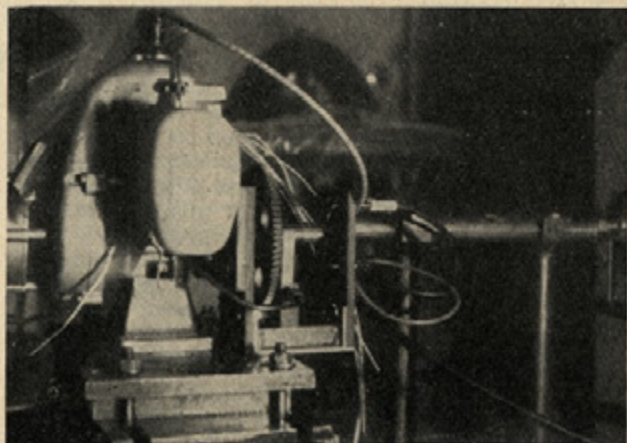
v sestavi 84,9 % C in 15,1 % H masnih odstotkov ter s stehiometrično količino zraka $Z_0 = 14,7$. Sestava goriva je sicer nekoliko drugačna od goriva Superior, ki je v rabi za pogon motorja Tomos UMO 06N, vendar je teoretična količina zraka za obe gorivi enaka. Precej dobro pa razmerje med CO₂ in CO v produktih zgorevanja ustreza odnosu, ki ga pri določenem presežku zraka dobimo iz diagrama. Glede na tolikšno soglasnost z diagramom smo mnenja, da je primerno upoštevati tudi krivuljo, ki podaja odstotke H₂ v odvisnosti od presežka zraka. Volumenski odstotki H₂, vzeti iz diagrama, pa pri dvotaktnem motorju še ne prikazujejo odstotka H₂ v izpušnih plinih, ker je v njih še zrak, ki je pri izpiranju neposredno pobegnil v izpušno cev, medtem ko podaja diagram količino komponent v produktih zgorevanja v valju samem. Zato je treba za določitev odstotkov H₂ v izpušnih plinih vnaprej približno določiti kvantitativno stopnjo izpiranja in iz diagrama vzete vrednosti za H₂ pomnožiti s predpostavljenimi vrednostmi. S tako reducirano vrednostjo izračunamo kvantitativno stopnjo izpiranja. Pri večjem odstopku od predpostavljene vrednosti je treba račun ponoviti. To je sicer približevalna metoda, ki pa zaradi majhnega odstotka H₂ v produktih zgorevanja že zadostuje za prvi korak pri računanju kvantitativne stopnje izpiranja brez upoštevanja H₂ in za primeren popravek v smer zvečanja η_n. V tabeli I so zbrani rezultati analize izpušnih plinov CO₂, O₂ in CO kot povprečje štirih meritev pri enakem režimu obratovanja motorja, in sicer za odnos CO₂/CO, količino zraka Z v kg na kg goriva, presežek zraka λ in odstotek H₂ v izpušnih plinih ter η_n izračunan po enačbi

$$\eta_n = 1 - \frac{79 v_i(O_2)}{21 v_i(N_2)}$$

pri čemer $v_i(O_2)$ pomeni odstotek kisika v izpušnih plinih, dobljen z analizo, in $v_i(N_2)$ odstotek dušika v izpušnih plinih kot razliko vsote vseh izmerjenih in določenih komponent izpušnih plinov od 100.

Vrednosti za kvantitativno stopnjo izpiranja iz tabele I so prikazane še v diagramu nad vrtilno hitrostjo in odstotki CO₂, CO in H₂ nad presežkom zraka (sliki 3 in 4).

Vrednosti v tabeli so neposredno povprečje meritev brez popravkov po poteku posameznih veličin v odvisnosti od režima obratovanja z enakomerno naraščajočimi ozir. pojemajočimi krivuljami, ker potek veličin v dejanskem obratovanju ni tak zaradi dinamičnih vplivov plinskega stebra v sesalnem in izpušnem sistemu, ki v določeni meri vplivajo pri določeni



Sl. 5. Naprava za krmiljeno izpuščanje vžigov, pripravljena motorju TOMOS UMO 06N

Tabela II.

Vrtilna hitrost min ⁻¹	$P_{e(2)}$ KS	$P_{e(4)}$ KS	$P_{e(8)}$ KS	P_t KS	$P_{t(2)}$ KS	$P_{t(4)}$ KS	$P_{t(8)}$ KS	η_i'	η_i''	$\frac{\eta_i''}{\eta_i'}$ %
3000	1,43	0,864	0,377	0,365	1,795	1,229	0,742	0,729	0,604	82,9
4000	2,06	1,355	0,590	0,540	2,600	1,895	1,130	0,687	0,574	83,5
5000	2,54	1,705	0,715	0,719	3,259	2,424	1,434	0,672	0,568	84,5
6000	2,71	1,878	0,840	0,885	3,595	2,763	1,725	0,650	0,524	80,3

hitrosti obratovanja. S takimi popravki rezultatov bi ta tako pomemben vpliv na obratovanje dvotaktnega motorja zabrisali, kar bi bilo napačno.

Pri uporabi metode z izpuščanjem vžigov za določanje kvalitativne stopnje izpiranja je potrebna naprava, ki omogoča povrhnj normalnega dvotaktnega delovanja motorja še delovanje motorja kot štiri-, šest- ali večtaktnega. Tako napravo, prigrinjeno motorju, za določanje kvalitativne stopnje izpiranja motorja Tomos UMO 06N kaže slika 5.

Naprava sestoji iz razdelilnika vžigalnega toka in pogona zanj. Gnana je s pastorkom, ki je hkrati del spojnice, po kateri je ročična gred motorja spojena z električno zavorno napravo in zobnikom na osi razdelilnika. Prenosno razmerje je 4:1. Zobnik na osi razdelilnika je iz tekstolita in enako zaradi izolacije z »maso« tudi nosilne plošče, ki so pritrjene na podstavke. Plošča pri motorju nosi ležaj, nadalje je z njo naprava vezana na prirobnico motornega okrova, daje pa še potrebno medosno razdaljo zobnikov. Druga nosilna plošča rabi kot druga opora osi razdelilnika in je hkrati tudi nosilec njegovih kontaktov.

Tok visoke napetosti od magneta motorja se po kablu in drsniku vodi na os in prek jezička razdelilnika na kontakte. Jeziček je nastavljen, tako da je v trenutku vžiga ravno pred enim od kontaktov na razdelilni plošči. Ker se os razdelilnika vrti štirikrat počasneje kakor ročična gred, napravi jeziček za en vrtljaj motorja vprav pot od enega do naslednjega kontakta. Z vezanjem vseh kontaktov razdelilnika na svečico deluje motor normalno kot dvotakten, z vezanjem dveh nasproti ležečih kontaktov na maso pa kot štiritakten ali kot osemakten, če so trije kontakti priključeni na maso.

Efektivna moč motorja se meri posredno z merjenjem reakcijskega momenta na električni zavorni napravi. Ker pa je pri tej metodi potrebna določitev indicirane moči, ki je za moč trenja večja od efektivne, je bila moč trenja izmerjena po metodi zunanjega pogona motorja. Ta metoda daje zaradi spremenjenih tokovnih in temperaturnih razmer v motorju v odnosu z normalnim obratovanjem večjo moč trenja kakor je v resnici. Večja izmerjena moč trenja pa ima za posledico, da je izračunana kvalitativna stopnja izpiranja po enačbi (16) manjša od dejanske. Ker pa tudi pri osemtaktnem delovanju motorja ni mogoče trditi, da so bili iz valja odstranjeni prav vsi produkti zgorevanja, vpliva ta nepopolnost izpiranja tudi na račun, da dobimo boljše vrednosti za kvalitativno stopnjo izpiranja od dejanske. Ti dve nepopolnosti v računu vplivata na rezultat nasprotujoče; če vzamemo, da ena napaka kompenzira drugo, tedaj je rezultat brez popravka zadovoljiv.

Vse meritve pri nenormalnem obratovanju motorja kakor tudi meritve moči trenja pri določeni vrtilni hitrosti so bile opravljene v kratkih časovnih presledkih, po vsaki taki meritvi pa je bil motor vrnjen v normalno obratovanje, da je bilo zopet vzpo-

stavljeno normalno toplotno stanje motorja. Zategadelj so vplivi temperaturnih sprememb motorja na rezultate meritev manjši.

Rezultati meritev in določitev kvalitativne stopnje izpiranja so razvidni iz tabele II. Izračunana je kvalitativna stopnja izpiranja po delovanju motorja kot štiri- (η_i') in osemtaktnega (η_i''). Razen tega je v tabeli podana še odstotna razlika med obema rezultatoma, ki kaže, da je pri štiritaktnem delovanju v polniti valja za okoli 16 do 20 % večja količina zaostalih plinov kakor pri osemtaktnem.

Izračun kvalitativne stopnje izpiranja po rezultatih meritev pri osemtaktnem delovanju motorja imamo za kvalitativno stopnjo izpiranja pri dvotaktnem motorju, prikazana pa je v diagramu (slika 3).

Uporabnost metod za druge vrste motorjev

Metode za določanje kvalitete izpiranja pri dvotaktnem motorju z zunanjo tvorbo mešanice, kakršne obravnava ta sestavek, so z določenimi omejitvami in prilagoditvami uporabne tudi za določanje kvalitete izpiranja dvotaktnih motorjev z notranjo tvorbo mešanice, in sicer za motorje, ki delujejo po Ottovem ali Dieslovem postopku.

Metoda za zaznamovalnim plinom je v celoti brez omejitev in vsakih prilagoditev uporabna za določanje kvantitativne stopnje izpiranja na takih motorjih, vtem ko je metoda z analizo izpušnih plinov za določanje kvantitativne stopnje izpiranja uporabna samo za motorje, ki izpolnjujejo pogoje glede uporabnosti te metode.

Za motorje, ki obratujejo s presežkom zraka ali nasploh za motorje, ki zraka v valju iz kakršnegakoli razloga ne izrabljajo v celoti, tako da je v produktih zgorevanja tudi kisik, je treba metodo z analizo izpušnih plinov prirediti tako, da analizi z izpušnimi plini dodamo še analizo produktov zgorevanja. Zato je treba vzeti vzorec delovnega plina iz ekspanzijskega takta neposredno pred odpiranjem izpušnega organa ali pa iz izpušnega organa samega, preden se odpre vstopni organ. To je torej popolnoma enak vzorec, kakršnega povrh vzorca iz kompresijskega takta potrebujemo za določitev kvalitativne stopnje izpiranja po metodi z analizo delovnih plinov. Analiza tega vzorca prinaša volumenski odstotek kisika v produktih zgorevanja, ta kisik pa potem lahko preračunamo na volumenski odstotek tega dela kisika v izpušnih plinih, saj poznamo volumenski odstotek CO_2 v izpušnih plinih in produktih zgorevanja. Ker CO_2 v izpušnih plinih izhaja samo iz produktov zgorevanja, je v razmerju volumenskih odstotkov CO_2 vključeno tudi razmerje volumenskih odstotkov tistega dela kisika v izpušnih plinih, ki je sodeloval v delovnem procesu in volumenskih odstotkih kisika v produktih zgorevanja.

$$\frac{v_i(\text{O}_2'')}{v_3(\text{O}_2)} = \frac{v_i(\text{CO}_2)}{v_3(\text{CO}_2)} \quad (17)$$

Volumenski odstotek kisika v izpušnih plinih, ki izhaja od pobeglega zraka $v_1(O_2)$, je potemtakem

$$v_1(O_2) = v_1(O_2) - \frac{v_1(CO_2)}{v_3(CO_2)} v_3(O_2)$$

in modificirani izraz za kvantitativno stopnjo izpiranja

$$\eta_n = 1 - \frac{79}{21} \cdot \frac{v_1(O_2) - \frac{v_1(CO_2)}{v_3(CO_2)} v_3(O_2)}{v_1(N_2)}$$

Ta izraz je uporaben za vsak motor.

Metoda je povsem primerna, če uporabimo metodo z analizo delovnih plinov za določanje kvalitativne stopnje izpiranja. Težave pri tej metodi ostanejo nespremenjene tudi pri modificirani metodi z analizo izpušnih plinov. Za veljavnost metode je potrebna samo prva predpostavka, ki se nanaša na gorivo, omejitve veljavnosti metode z drugo predpostavko pri prilagojeni metodi z izpušnimi plini pa je za določanje kvantitativne stopnje izpiranja nepotrebna.

Metoda z analizo delovnih plinov in metoda z izpuščanjem vžigov za določanje kvalitativne stopnje izpiranja pa sta v celoti uporabni tudi za te motorje. Pri metodi z izpuščanjem vžigov izpuščamo pri dieselskih motorjih namesto električnega vžiga vbrizgavanje goriva v delovni valj.

Pri večjih in počasnejših motorjih je primerno metodo z analizo delovnih plinov modificirati tako, da jemljemo iz delovnega valja v enem delovnem ciklu večje količine vzorca. Ker pa jemanje večje količine vzorca bistveno vpliva na polnitev valja, ne bi dobili dobrih rezultatov, če bi vzorce pred zgorevanjem in po njem jemali v istem delovnem ciklu. Zato je potrebno v tem primeru vzorce jemati iz različnih delovnih ciklov in med cikli jemanja pustiti, da motor teče nekaj ciklov brez odvzemanja. To je potrebno zato, ker tako okrnjen cikel zaradi velikih izgub za vzorec vzetega delovnega medija vpliva še na naslednje cikle, ki jih mora nekaj poteči, da se proces polnjenja valja in zgorevanja normalizira. Ta način jemanja vzorcev daje zaradi večje količine delovnega plina boljše povprečje o stanju plina v valju in je zato metoda natančnejša kakor metoda jemanja majhnih vzorcev iz večjega števila neposredno sledečih si delovnih ciklov motorja, ki pa je za manjše hitro tekoče motorje edino uporabna.

Sklep

Za uporabnost metode z zaznamovalnim plinom in metode z analizo delovnega plina ni nobenih pomislekov in ju je mogoče najti v vsakem delu, ki obravnava problem določanja kvalitete izpiranja. Prav tako je tudi metoda z analizo izpušnih plinov priznana kot uporabna za določanje kvantitativne stopnje izpiranja za motorje, ki obratujejo z mešanico goriva in zraka, pripravljeno pred vžigom.

Metoda z izpuščanjem vžigov za določanje kvalitativne stopnje izpiranja pa nasploh glede veljavnosti še ni priznana. To je razumljivo, če metoda temelji na efektivnih, na gredi motorja neposredno izmerljivih parametrih. V tem sestavku smo dokazovali, da ta metoda v tem primeru ni uporabna. Če pa metodo naslonimo na indicirane parametre, ki so z večjimi ali manjšimi naporji tudi izmerljivi in več ali manj natančni, pa je po našem metodi uporabna in verjetno celo s prav tolikšnim uspehom kakor metoda analize delovnih plinov, ki ji teoretično ni mogoče ugovarjati, vendar je izmerljivost elementov, na katerih sloni, vezana z že omenjenimi težavami in nenatančnostmi.

Rezultati o kvalitativni stopnji izpiranja po metodi s prekinjanjem vžigov na motorju Tomos UMO 06N so povsem verjetni, saj je nadaljnji potek analize delovnega procesa tega motorja, ki temelji na teh rezultatih, v skladu z rezultati in merjenji, kakršna so bila izvedena na podobnih motorjih.

Literatura:

List H.: Der Ladungswechsel der Verbrennungskraftmaschine, Springer, Wien 1950.

Schweitzer: Scavenging of two stroke cycle diesel engines. The Macmillan Company, New York 1949.

Wanscheidt W. A.: Theorie der Dieselmotoren. VEB Verlag Technik, Berlin 1955.

Kemmetmüller R., Richter L.: Abgaszusammensetzung abhängig von Kraftstoffzusammensetzung und Mischungsverhältnis, MTZ 4/1942/2.

Schuh W.: Über die Beurteilung von Verbrennungsmotoren aus der Zusammensetzung der Abgase. MTZ 22/1961/6.

Avtorjev naslov: dipl. ing. Radislav Pavletić,
Fakulteta za strojništvo
v Ljubljani

DK 621.937.004.6

Merjenje obrabe in hrapavosti na rezalnih orodjih z otipavanjem

IVAN GREBENC

1. Uvod

Obdelava materialov z rezanjem nedvomno zavzema najvidnejše mesto v izdelavni tehniki, zato se povzema odrezavanju velika pozornost. Znani so zgodovinski razvoj tehnike odrezavanja in naporji mnogih znanstvenikov za izboljšanje te veje strojništva. Treba je izdelovati čim boljše, hitreje in ceneje; pot k temu cilju pa vodi po sistematičnem raziskovalnem delu. Take sistematične raziskave na področju obdelovalnosti konstrukcijskih materialov in obstojnosti orodij je začel tudi Inštitut za strojništvo v Ljubljani. Za izvajanje raziskovalnih nalog je potrebna določena oprema, zlasti še merilni in kontrolni instrumenti. Pokazala se je potreba po instrumentu, ki bi reproduciral profil obrabljene orodja in odstopanja od iz-

hodne geometrične oblike. S tem bi bilo omogočeno merjenje obrabe na cepilni ploskvi stružnih nožev. Tako je bila potrebna študija možnih načinov za merjenje profilov. Pri tej študiji so bili zajeti tako profili obrabljanih stružnih orodij in s tem v zvezi tudi študij obrabe kakor tudi profili hrapavosti na površini obdelanega materiala. Poleg študije je naloga obsegala tudi konstrukcijo in izdelavo naprave za otipavanje. S to napravo, o kateri je govor v nadaljnjem, je rešen problem merjenja obrabe na nožih. Z nekaterimi dodatki in spremembami, kakršni so opisani pozneje, pa bo možno meriti tudi hrapavost obdelovanca.

Obraba orodja in kvaliteta dobljene površine obdelovanca sta dva važna faktorja v tehniki odrezavanja. Kontrola obeh faktorjev je za raziskovalna dela na področju odrezavanja neogibno potrebna.