YU — ISSN 0039-2480

STROJNIŠKI VESTNIK

LETNIK 30 LJUBLJANA, APRIL—JUNIJ 1984 ŠTEVILKA 4—6

UDK 621.434.13

Modelni preizkusi zamenjave delovnega medija pri dvotaktnih motorjih z notranjo pripravo zmesi

MIRKO ĆUDINA

V delu je obravnavana zamenjava delovnega medija pri dvotaktnem Ottovem motorju z notranjo pripravo zmesi iz dveh plinastih medijev. S teorijo podobnosti je izdelan matematični model in s preizkusi določena enačba za izračun kakovostnega uspeha izpiranja in tvorbo zmesi. Preizkusi so opravljeni na modelu valja z uporabo kapljevinastih medijev.

1. UVOD

Glavni problem pri dvotaktnih motorjih je zamenjava delovnega medija, ki poteka samo med delom giba bata.

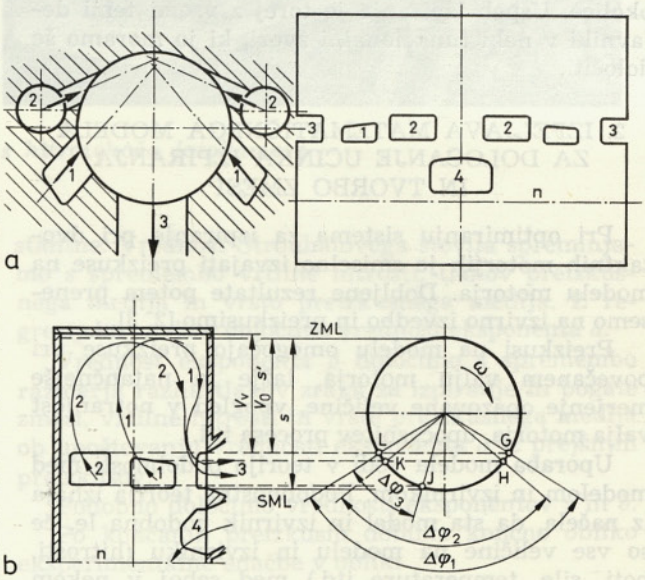
Uspešnost zamenjave delovnega medija je odvisna od sistema za izpiranje. Naloga sistema za izpiranje je, da v čim večji meri odstrani izpušne pline iz valja in napolni valj s čim večjo količino sveže zmesi ob njeni primerni porabi. Sistemi za izpiranje dvotaktnega motorja so se med razvojem razlikovali, vendar nobeden ne izpolnjuje zadovoljivo zastavljene naloge. Pri dvotaktnih Ottovih motorjih z majhnimi delovnimi prostorninami se je do danes ohranil sistem z vzvratnim izpiranjem s simetričnim krmilnim diagramom (sistem Schnürle). Sredstvo za izpiranje je zmes goriva in zraka.

Pomanjkljivost tega sistema je ta, da zaostaja del izpušnih plinov v valju, del sveže polnitve pa uhaja v izpuh. Zaostali izpušni plini zmanjšujejo stopnjo polnitve valja, pobegli delež sveže zmesi pa zmanjšuje gospodarnost motorja in onesnažuje okolje (ogljikovodiki).

Energetska kriza in ekološke zahteve so še poudarile te pomanjkljivosti dvotaktnega motorja. Zato smo se odločili raziskati drugo zamisel sistema za izpiranje. Ta sestoji iz dveh ločenih sistemov s po dvema odprtinama za čisti zrak in za bogato zmes (slika 1) [1].

Odprtini za čisti zrak se krmilita simetrično z gibom bata, drugi dve odprtini za bogato zmes goriva in zraka pa nesimetrično z rotirajočima zasunoma, ki po končani glavni fazi izpiranja odpreta odprtini za zmes, medtem ko se ti odprtini zapirata z gibom bata proti zgornji mrtvi legi.

Po tej zasnovi poteka zamenjava delovnega medija v dveh fazah. V prvi fazi se izpirajo izpušni plini iz valja s čistim zrakom (od točke H do J na sliki 1 b). V drugi fazi (od J do L) vteka bogata zmes, ki še deloma izriva izpušne pline in zrak iz prve faze izpiranja in hkrati tvori zmes za zgorevanje (notranja priprava zmesi) iz vseh snovi v valju.



Sl. 1. *Dvotaktni motor z dvofaznim sistemom izpiranja*
a — razpored pretočnih odprtin
b — krmilni diagram
1 — zrak, 2 — zmes, 3 — izpuh, 4 — vstop iz vplinjača, n — ničliščna črta
ZML — zgornja mrtva lega, SML — spodnja mrtva lega

Ta, razmeroma novi sistem za izpiranje dvotaktnega motorja je treba optimirati, in sicer je treba optimirati tako obratovalne kakor geometrijske parametre. Za optimiranje poljubnega dejavnika moramo definirati pokazatelje, s katerimi bomo vrednotili uspeh sistema za izpiranje s spremembo opazovanega parametra. V ta namen uporabljamo znana karakteristična števila, ki opisujejo učinkovitost sistema za izpiranje. Med različnimi oblikami teh števil sta najbolj zanimiva dva, in sicer:

— Kakovostna stopnja izpiranja da odgovor o stopnji čistosti valja in je definirana, izraženo s prostorninami, z enačbo

$$\eta_s = \frac{V'_2 + V'_3}{V_v} = \frac{V'_2 + V'_3}{V'_1 + V'_2 + V'_3} \qquad (1)$$

— Koeficient porabe sveže polnitve pove, kolikšna je poraba sveže polnitve, definiran pa je z enačbo

$$\psi = \frac{V_2 + V_3}{V_0} = \frac{V'_2 + V''_2 + V'_3 + V''_3}{V_0} \qquad (2)$$

Pri tem so: V'_1 — prostornina zaostalih izpušnih plinov v valju po končanem izpiranju, V'_2 — prostornina svežega zraka in V'_3 — prostornina bogate zmesi, ki zaostane v valju po končanem procesu izpiranja, V_v — prostornina vseh plinov v valju po končanem izpiranju in V_0 — primerjalna prostornina (npr. delovna prostornina valja V_0 na sliki 1 b).

Na uspeh izpiranja vpliva več dejavnikov. Poleg geometrije sistema za izpiranje vplivajo še obratovalne razmere, lastnosti medijev in stanje okolice. Uspeh izpiranja je torej z vsemi temi dejavniki v neki funkcionalni zvezi, ki jo moramo še določiti.

2. IZPELJAVA MATEMATIČNEGA MODELA ZA DOLOČANJE UČINKA IZPIRANJA IN TVORBO ZMESI

Pri optimiranju sistema za izpiranje pri dvotaktnih motorjih je smiselno izvajati preizkuse na modelu motorja. Dobljene rezultate potem prenesemo na izvirno izvedbo in preizkusimo [2, 3].

Preizkusi na modelu omogočajo preizkuse pri povečanem valju motorja, lažje in natančnejše merjenje opazovane veličine, vpogled v notranjost valja motorja, upočasnitev procesa itd.

Uporaba modela vodi v teorijo podobnosti med modelom in izvirnikom. Podobnostna teorija izhaja iz načela, da sta model in izvirnik podobna le, če so vse veličine na modelu in izvirniku (hitrosti, poti, sile, temperature itd.) med seboj v nekem stalnem številčnem razmerju, ali z drugimi besedami, če med njima obstaja geometrijska, mehansko, toplotna, kemična itd. podobnost. Pri zamenjavi delovnega medija pri motorjih z notranjim zgorevanjem prihajajo v poštev: geometrijska, mehanska in toplotna podobnost.

Pri izdelavi matematičnega modela za določanje uspeha izpiranja in tvorbe zmesi je bila uporabljena metoda dimenzijske analize, in sicer s tvorjenjem potenčnih produktov monomov [4, 5, 6].

Po tej metodi smo iz n spremenljivk, ki se pojavljajo v procesu zamenjave delovnega medija, dobili po Π-teoremu ničto funkcijo brezdimenzijskih skupin v obliki

$$\Phi(\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \ldots, \Pi_m) = 0 \qquad (3)$$

Pri tem je Π — brezdimenzijska skupina, tvorjena iz produkta in kvocienta dimenzijskih spremenljivk in konstant. Število teh skupin je določeno s številom spremenljivk n minus število primarnih enot p ($m = n - p$). Število primarnih enot je določeno s številom osnovnih enot, ki se pojavljajo v fizikalnem sistemu. V našem primeru so to dolžina, čas, masa in temperatura.

Za popolno podobnost modela in izvirnika morajo biti vrednosti vseh brezdimenzijskih skupin v enačbi (3) enake na modelu in izvirniku. Pri večjem številu modelnih zakonov (v našem primeru 41) in pri preizkusih na povečanem modelu popolna podobnost — iz praktičnih in teoretičnih razlogov — ni mogoča.

Zaradi tega smo prisiljeni upoštevati načela približne podobnosti. To pomeni, da veličin, ki nimajo bistvenega vpliva na dogajanje v procesu, ne opazujemo. V našem primeru v času zamenjave delovnega medija lahko zanemarimo naslednje vplive [7, 8]:

— vpliv spremembe temperature (zaradi kratkega časa, ki je na voljo),

— vpliv stisljivosti medija (pri vrednostih Machovega števila Ma $< 0{,}4$),

— vpliv viskoznega trenja (pri vrednosti Reynoldsovega števila $Re > 10^4$),

— vpliv sile teže (pri zaprtih sistemih in kadar Frondovo število Fr $\rightarrow \infty$).

S temi poenostavitvami dobimo poenostavljeno enačbo, ki jo lahko izrazimo eksplicitno za kakovostni izkoristek izpiranja v obliki enačbe

$$\eta_s = \Phi\left(Sr_2, \frac{\Delta p_2}{\Delta p_3}, \frac{\varrho_1}{\varrho_2}, \frac{\varrho_3}{\varrho_2}\right) \qquad (4)$$

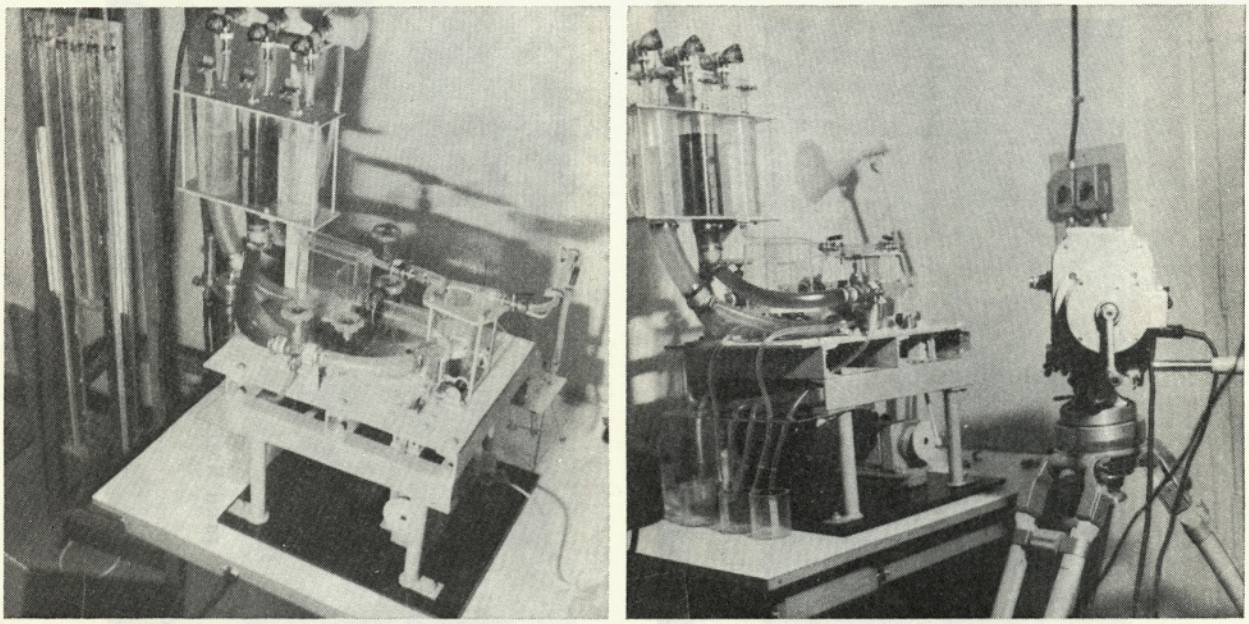
Ta enačba ni definirana, definiramo jo tako, da iz členov v oklepaju tvorimo potenčne produkte monomov

$$\eta_s = \text{const}\,.\, Sr_2^{\alpha} \cdot \left(\frac{\Delta p_2}{\Delta p_3}\right)^{\beta} \cdot \left(\frac{\varrho_1}{\varrho_2}\right)^{\gamma} \cdot \left(\frac{\varrho_3}{\varrho_2}\right)^{\delta} \qquad (5)$$

kjer so »const« — konstanta, ki je močno odvisna od oblike sistema, neodvisna pa je od njegove velikosti, Sr_2 — Strouhalovo število za zrak za izpiranje ($Sr_2 = l/(w_2\,\Delta t_2)$, w_2 — hitrost, Δt_2 — čas odprtja odprtin za zrak in l — dvojna dolžina giba bata), $\Delta p_3/\Delta p_2$ — razmerje tlakov bogate zmesi in čistega zraka za izpiranje, ϱ_1/ϱ_2 — razmerje gostot izpušnih plinov in zraka za izpiranje in ϱ_3/ϱ_2 — razmerje gostot bogate zmesi in zraka za izpiranje. Eksponenti α, β, γ in δ so konstante, ki jih določimo s preizkusi na modelu, in to tako, da spreminjamo vedno samo osnovo iskanega eksponenta, medtem ko osnovne drugih obdržimo konstantne.

3. DOLOČANJE VPLIVA POSAMEZNIH MODELNIH ZAKONOV

Za določanje vrednosti eksponentov α, β, γ in δ in za določanje vpliva vseh drugih vplivnih faktorjev na proces zamenjave delovnega medija je konstruirana in izdelana preizkusna postaja, ki je prikazana na sliki 2.



Sl. 2. *Preizkusna postaja s hitrotekočo fotokamero*

Preizkusna postaja je zasnovana tako, da omogoča en vrtljaj motorja in se bat giblje samo na višini izpušne odprtine (kot najvišji med odprtinami). Model valja motorja je izdelan iz prozornega poliakrilnega stekla (»pleksi«) v povečanem merilu (10 : 6), kar omogoča opazovanje pretočnih razmer v notranjosti valja. Preizkusna postaja omogoča spreminjanje vseh vplivnih faktorjev tako za optimiranje obratovalnih kakor geometrijskih parametrov. Naprava je primerna za preizkušanje tudi drugih sistemov za izpiranje.

Z zanemarjanjem vpliva temperature in stisljivosti medija so ustvarjene razmere za uporabo kapljevinastih medijev.

Pri preizkusu so uporabljene naslednje kapljevine: destilirana voda, alkohol, cikloheksan in tetrakloretilen. Kapljevina-izpušni plini je pred preizkusom neobarvana, kapljevina-zrak za izpiranje je obarvana rumeno, ker prvi vteka v valj in kapljevina-bogata zmes je obarvana z modro barvo.

Po opravljenem preizkusu odvzamemo vzorce zmesi iz valja in iz izpuha in opravimo analizo vsebine valja in izpuha s spektralnim fotometrom z merjenjem ekstinkcije obarvanih medijev.

Ekstinkcijo merimo pri valovni dolžini, pri kateri je konstanta ekstinkcije standardnega barvila največja. Vrednosti izmerjenih ekstinkcij preračunamo v prostornine ustrezne snovi in nato po enačbi (1) izračunamo izkoristek izpiranja η_s.

Pri preizkušanju določimo najprej vrednost eksponenta α, ker je vrednost Strouhalovega števila najteže obdržati konstantno. Vrednosti drugih brezdimenzijskih skupin iz enačbe (5) obdržimo konstantne. Vrednost Strouhalovega števila spreminjamo s spremembo vrtilne hitrosti, tlakov preizkusnega medija in vrsto preizkusnega medija. Z regresijsko analizo določimo vrednost eksponenta α.

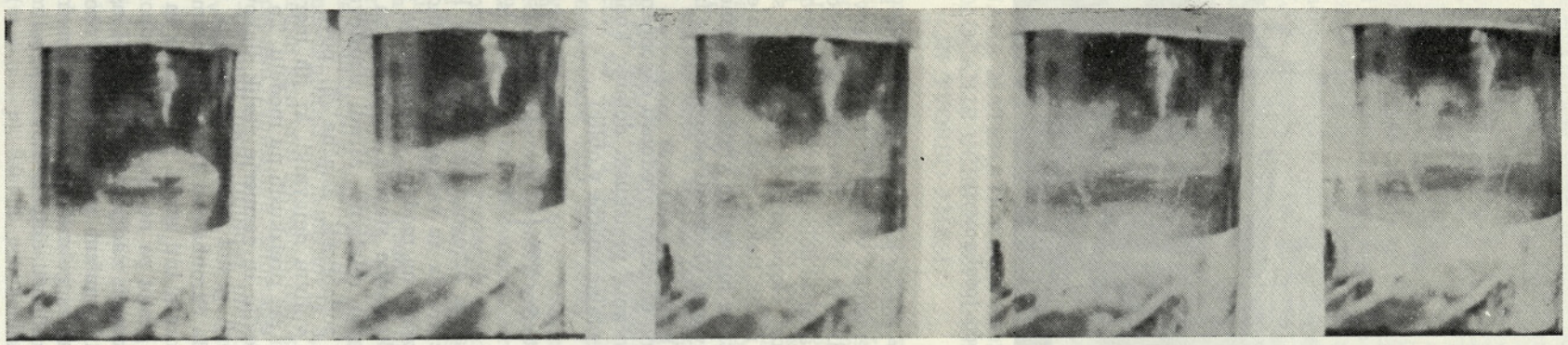
Vrednost eksponenta β določimo s spremembo razmerja razlik tlakov zraka za izpiranje in bogate zmesi, vrtilne hitrosti in vrste preizkusnega medija ob upoštevanju vrednosti eksponenta α iz prejšnjih preizkusov.

Podobno določimo vrednosti eksponentov γ in δ.

Po končanih preizkusih dobimo končno obliko eksperimentalne enačbe v obliki

$$\eta_s = \text{const} \,.\, Sr_2^{-0,866} \,.\, \left(\frac{\Delta p_3}{\Delta p_2}\right)^{0.34} \cdot \left(\frac{\varrho_1}{\varrho_2}\right)^{0,0528} \cdot \left(\frac{\varrho_3}{\varrho_2}\right)^{0,0942} \qquad (6)$$

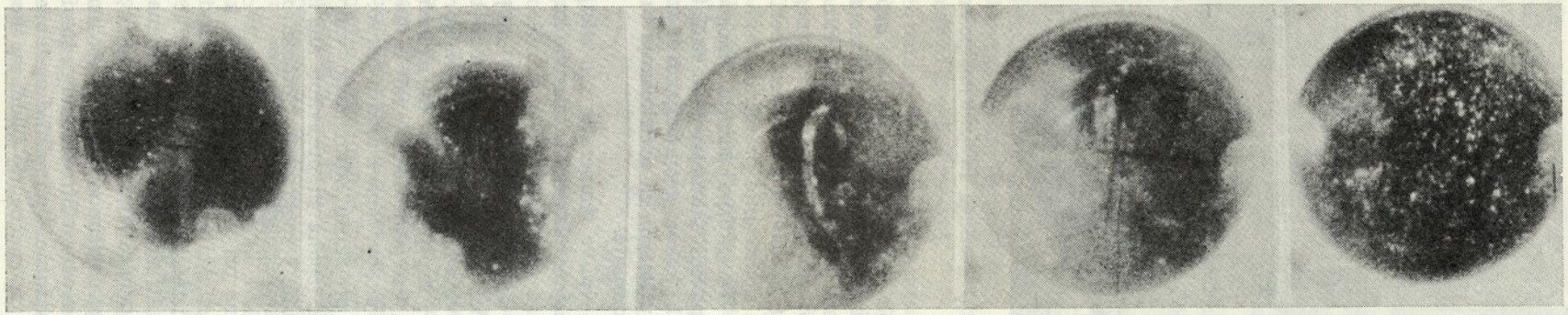
Ta enačba omogoča izračunavanje kakovostne stopnje izpiranja za vsakokratno vrednost obratovalnih razmer na modelu. Uporabna je tudi za izračun kakovostne stopnje izpiranja na izvirniku, vendar samo relativno, zaradi upoštevanja načel približne podobnosti. Enačba (6) pove predvsem, kateri so vplivni dejavniki, ki jih moramo zlasti upoštevati pri preizkusih na modelu. To sta Strouhalovo število in razmerje razlik tlakov, medtem ko razmerji gostot nimata bistvenega vpliva. To pomeni, da Strouhalovo število in razmerji razlik tlakov morata biti enaki na modelu in izvirniku, razmerja gostot pa ne, kar omogoča uporabo cenenih preizkusnih medijev. Konstanta »const« v enačbi (6), ki v našem primeru znaša okoli 0,17, se s spremembo geometrije modela spremeni, medtem ko vrednosti eksponentov α, β, γ in δ ostanejo konstantni.



RG: 50° pred SML 40° pred SML 30° pred SML 20° pred SML 10° pred SML

Sl. 3. *Prva faza izpiranja — pogled od strani*

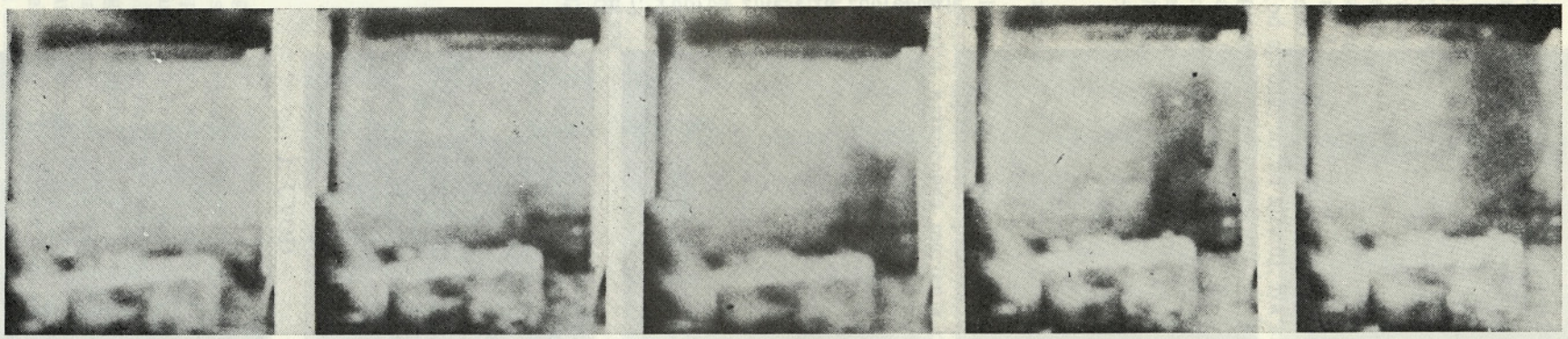
RG — kot ročične gredi



RG: 55° pred SML 50° pred SML 35° pred SML 25° pred SML 10° po SML

Sl. 4. *Prva faza izpiranja — pogled od zgoraj*

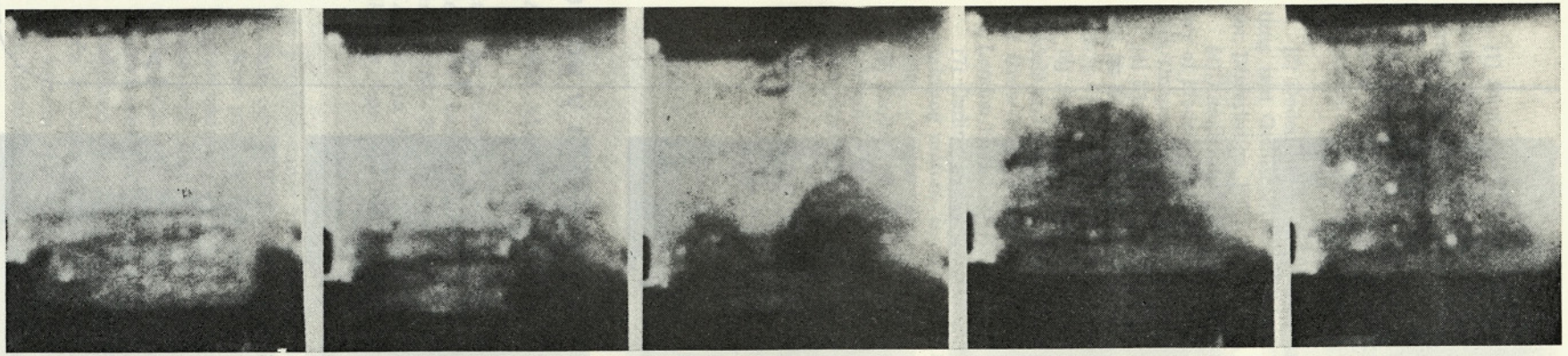
RG — kot ročične gredi



RG: 180° (SML) | 25° po SML | 35° po SML | 45° po SML | 56° po SML

Sl. 5. *Druga faza izpiranja — pogled od strani*

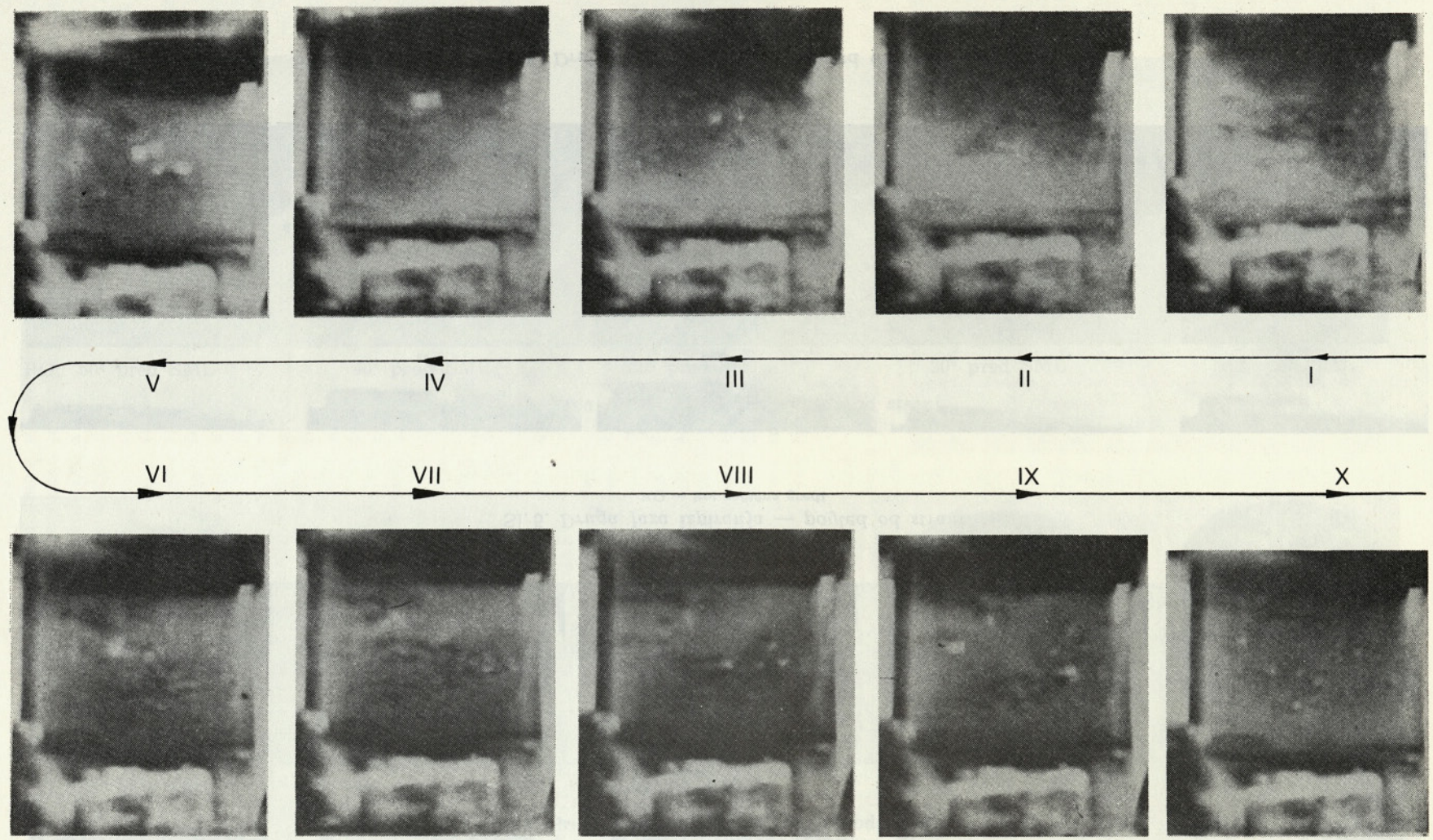
RG — kot ročične gredi



RG: 180° (SML) | 25° po SML | 35° po SML | 45° po SML | 56° po SML

Sl. 6. *Druga faza izpiranja — pogled od spredaj*

RG — kot ročične gredi



Sl. 7. *Tvorba zmesi za zgorevanje (notranja priprava zmesi) v času kompresije*

Proces zamenjave delovnega medija je posnet s hitrotekočo fotokamero s hitrostjo 1000 slik v sekundi. Na slikah 3 in 4 je prikazana prva faza izpiranja s čistim zrakom, in sicer značilni primer kratkega stika, ki se pojavi pri nizkem tlaku zraka za izpiranje. Značilnost tega pojava je, da zaostane velik del izpušnih plinov v valju, medtem ko velik delež svežega zraka uide v kratkem stiku v izpuh. Na slikah 5 in 6 je prikazan proces vpihovanja bogate zmesi v valj v drugi fazi izpiranja iz dveh strani (od spredaj in od strani). Na sliki 7 je prikazan proces tvorbe zmesi po končanem procesu zamenjave delovnega medija v času kompresije. Na posnetku od I do X na sliki 7 je razvidna rotacija vpihane bogate zmesi in njeno mešanje z vsebino valja. Vsebina valja se premeša in homogenizira že po enkratni rotaciji zmesi.

4. SKLEP

Preizkusi na modelu valja in uporaba kapljevinastih preizkusnih medijev imajo v primerjavi s preizkusi na izvirnem motorju vrsto prednosti. Poleg bistvene upočasnitve procesa, vpogleda v notranjost valja, natančnega merjenja pretočnih količin in koncentracij vsebine valja in izpuha je optimiranje geometrijskih in obratovalnih parametrov na modelu veliko lažje, hitrejše in včasih cenejše. Modelni preizkusi omogočajo poleg količinskega tudi kakovostno vrednotenje procesa zamenjave delovnega medija (s snemanjem procesa). Rezultate, ki jih na tak način dobimo, lahko z uspehom prenesemo na izvirnik.

LITERATURA

[1] Pavletič R.: Two Stroke Gasoline Engine Having Small Toxic Emissions, SAE Technical Paper. Serios. Congress and Exposition Cobo Hall, Detroit 1979.

[2] Kruglov M. G., Kozlov I. P.: Issledovanie gazoobmena v dvuhtaktnom dvigatelje na modeli in na dvigatelje. »Vestnik mašinostroenie« Mašgiz 1961, No. 11.

[3] Dedeoğlu N.: Modelluntersuchungen zur Spülung und Gemischbildung in einem Verbrennungsmotor. Dissertation, ETH Zürich 1968.

[4] Langhaar H. L.: Dimensional Analysis and Theory of Models. John Wiley & Sons Inc. New York, London, Chapran & Hall Limited.

[5] Matz W.: Anwendung des Ähnlichkeitsgrundsatzes in der Verfahrenstechnik. Springer-Verlag, Berlin 1954.

[6] Johnstone R. R., Thring M. W.: Pilot Plants, Models and Scale-up Methods in Chemical Engineering. Mc Graw-Hill Book Company Inc. New York, Toronto, London 1957.

[7] Ćudina M.: Modelna ispitivanja ispiranja kod dvotaktnog motora. Saopštenje III, NMV '83 Kragujevac 1981.

[8] Ćudina M.: Zamenjava delovnega medija pri dvotaktnih Ottovih motorjih z notranjo pripravo zmesi iz dveh plinastih medijev. Disertacija, Ljubljana 1983.

Avtorjev naslov: dr. mr. Mirko Ćudina,
višji predavatelj
Fakulteta za strojništvo
v Ljubljani

UDK 539.374

Rezultati postopka robnih elementov v ravninski plastomehaniki

IZTOK POTRČ — ANDRO ALUJEVIČ

Po aplikacijah metode robnih elementov za linearne probleme elastomehanike smo prešli na obdelavo nelinearnih problemov v plastomehaniki. Na osnovi že podane teorije robnih elementov plastomehanike (SV 29, 4—6/83) smo s programom BEPLAS izvedli konkretne izračune na VAX stroju RCU v Mariboru. Priloženi so nekateri rezultati posameznih faz plastifikacije, npr. upogibna stena z izrezom ter zob evolventnega ozobja.

1. UVOD

Program BEPLAS [1] je napisan za analizo elasto-plastičnih problemov. Upošteva tako ravninsko napetostno kakor tudi ravninsko deformacijsko stanje. Mejo tečenja določamo s Huber-Misesovim kriterijem. Program omogoča izbiro tangentnega modula plastifikacije, tako da lahko obravnavamo bodisi idealno plastičnost ali pa utrjevanje oz. mehčanje materiala. Uporabljeni so robni elementi s po dvema vozloma, vključeni pa so tudi elementi ničelne dolžine, kar omogoča boljše predpisovanje mejnih pogojev. Pri analizi plastičnih con opišemo samo tisti del notranjosti telesa, kjer pričakujemo plastifikacijo, z notranjimi integracijskimi celicami, v katerih velja linearna interpolacja plastičnih deformacij. Predpisovanje simetrijskih osi bistveno olajša delo, saj ni treba obravnavati celotnega prereza. Najpomembnejšo izboljšavo pa prinaša izvedba integracije, ki omogoča računanje napetosti v notranjosti do roba in na samem robu z eliminacijo singularnosti v bližini robnih integracijskih točk.