

## Literatura:

- [1] Z. Rant: Bilanzen und Beurteilungsquotienten bei technischen Prozessen. Int. Z. für Gaswärme, 1965 (1) 28—37.
- [2] Z. Rant: Vrednost in obračunavanje energije. SV, 1955 (1) 4—7.
- [3] Z. Rant: Exergie, ein neues Wort für »technische Arbeitsfähigkeit«. Forschungen auf dem Gebiete des Ing.-Wesens, 1956 (1) 36—37.
- [4] Z. Rant: Termodinamika kurilnih procesov. SV, 1962 (1/2) 1—5.
- [5] Z. Rant: Thermodynamische Bewertung der Verluste bei technischen Energieumwandlungen. Bericht 111, Tagung der Weltkraftkonferenz, Lausanne 1964.
- [6] P. Grassmann: Die Darstellung thermodynamischer Prozesse durch das Flussbild der technischen Arbeitsfähigkeit. Techn. Mitteilungen. Essen, 1953 (10) 297—302.
- [7] Z. Rant: Termodinamika. Knjiga za uk in prakso. Univerzitetna založba, Ljubljana 1963.
- [8] H. D. Baehr: Thermodynamik. Springer-Verlag, Berlin/Göttingen/Heidelberg, 1962.
- [9] Fachheft Exergie revije Brennstoff-Wärme-Kraft, 1961 (11), z obširno zbirko literature.

[10] Energie und Exergie. VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf 1965.

[11] Z. Rant: Vrednotenje energije v tehniški praksi. SV, 1956 (4) 111—115.

[12] Z. Rant: O prvem in drugem glavnem zakonu termodinamike. SV, 1958 (3/4) 57—59.

[13] V. M. Brodjanski, I. P. Iškin: Termodinamičeskij analiz neobratimyh processov v holodil'nyh ustanovkah. Izv. A. N. SSSR, Otd. tehn. nauk, 1958 (5) 41—45.

[14] V. M. Brodjanski, I. P. Iškin: Termodinamičeskij analiz neobratimyh processov v holodil'nyh ustanovkah. Holodil'naja tehnika, 1962 (3) 17—21.

[15] H. D. Baehr: Exergie und Anergie und ihre Anwendung in der Kältetechnik. Kältetechnik, 1965 (1) 14—22.

[16] H. Giesen: Exergiebetrahtungen in Mollier-Diagrammen. Kältetechnik, 1965 (3) 82—85.

[17] V. M. Brodjanski, I. P. Iškin: Primenenie diagrammy ental'pija — eksergija dlja termodinamičeskikh rasčotov. Holodil'naja tehnika, 1962 (1) 19—24.

[18] H. Glaser: Die thermodynamische Untersuchung von Kälteprozessen mit Hilfe der technischen Arbeitsfähigkeit. Kältetechnik, 1963 (11) 344—353.

Avtorjev naslov: doc. ing. Miran Oprešnik, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana

DK 621.43.013—185.4

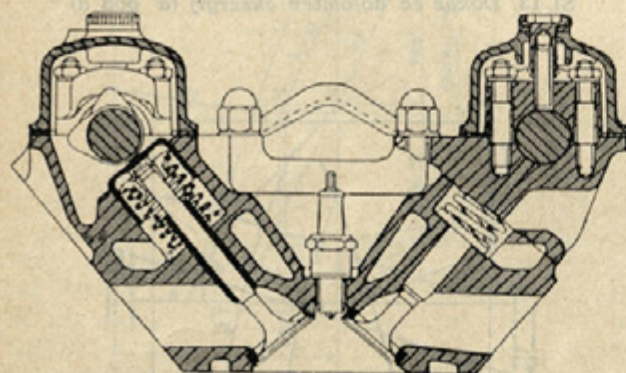
## Priporočljiva možnost za razvoj hitrih motorjev z notranjim zgorevanjem glede na goriva

TONE TOMŠIČ

Konkurenčni boj bencinskega Ottovega motorja in dieselskega motorja na plinsko olje se spričo dosežkov najnovejše tehnologije tekočih goriv in primernih zasnov pri gradnji motorjev leto za letom manjša. Iz časov prvih uporabnih bencinskih motorjev pa do danes se je povprečje kompresijskega razmerja — gledano strogo geometrijsko — pri Ottovem motorju povečalo od 1:4 na 1:8, pri čemer pa se zdaj praktično uporablja tudi že kompresijsko razmerje 1:11. Razlog za neprestano naraščanje kompresijskega razmerja je splošno znan. Boljši termični izkoristek daje še celo vrsto drugih prednosti, tako večjo moč motorja, lažji motor, manjši potreben hladilnik, predvsem pa manjšo porabo goriva. Če problem gledamo samo s te strani, se kaže v najlepši luči. Če pa ga načnemo tudi glede goriva, uporaba dragih goriv za motorje z visoko kompresijo zmanjša prej naštetih prednosti. Visokooktanski bencin, ki je potreben v te namene, zahteva po obsegu in kva-

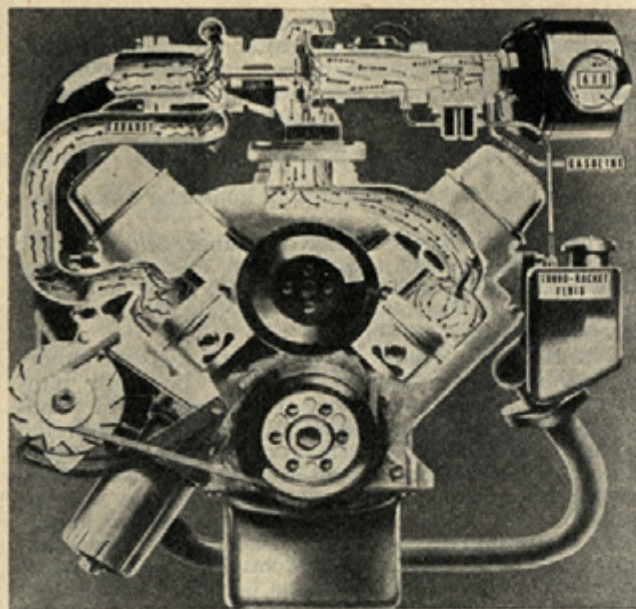
liteti postopka drage rafinerijske naprave, imenovane »platin reforming«, katalitično kreiranje itd. Visoki stroški pridobivanja visokooktanskega goriva se še povečujejo z izdatki za svinčev tetraetil in svinčev tetrametil, ki sta v uporabi za dodatno povečanje, oktantnega števila. Mimogrede naj bo še razloženo, kako je sploh možna uporaba Ottovega motorja z notranjim zgorevanjem, ki ima kompresijsko razmerje 1:11. Izpolnjene morajo biti predvsem zahteve po idealno sferični obliki zgorevalnega prostora s poševno nameščenimi ventili, kakor kaže slika 1, učinkovito hlajenje zgorevalnega prostora pa preprečuje lokalna pregretja, ki so vzrok za sekundarni vžig zmesi. Velika moč motorja in dodatno dovajanje antidekatorjev ali hladilnega metanola pri polni obremenitvi motorja zmanjšuje nagnjenje h klenkanju (sl. 2). Stalno dovajanje svinčevega tetraetila z gorivom v določenih odstotkih nad dopustnim, bi neugodno vplivalo na stanje in pozneje tudi na delovanje motorja zaradi oblog svinčevega oksida na ventilih in batu.

Vse kaže tako, da je v tej vrhunski obliki nadaljnji konstruktivni vzpon Ottovega motorja glede na kompresijsko razmerje nemogoč ali pa zelo dvomen. Vrh tega je eksperimentalno dokazano zvečanje termičnega izkoristka pri povečanju kompresijskega razmerja nad 1:12 tako minimalno, da za prihranek goriva ni več zanimivo. Kakor trdijo raziskovalci zgorevanja v motorjih, pa se termični izkoristek pri povečanju kompresije nad 1:16 deloma celo slabša zaradi ponovnega razpada produktov pri zgorevanju. V takih okoliščinah v bencinskem motorju pravilno in brez škode za motor zgoreva samo gorivo z oktantnim številom najmanj 100, ki je — neodvisno od zakonov tržišča z gorivi in zgolj po načinu pridobivanja — zelo drago. Za zdaj je v veljavi cena 38 dolarjev za tono, medtem ko je za 1 tono plinskega olja določena cena na svetovnem tržišču samo 23 dolarjev. (Takse in stroški distribucije niso upoštevani.) Če imamo navedene stroške za enako kalorično



Sl. 1. Najugodnejša oblika z ventili opremljenega zgorevalnega prostora glede na pojave klenkanja





Sl. 2. Primer dodatnega dovajanja antide-tonacijskih tekočin v primeru visokih kompresijskih tlakov kompresorskega motorja

vrednost kot stabilne in take sem jih tudi poskušal prikazati, tedaj je z Ottovim motorjem pridobljena moč v idealnem primeru za 40 % dražja od tiste, ki jo pridobi dieselski motor. Zato ni čudno, da se dieselski motor čedalje bolj uveljavlja kot pogonski stroj tudi tam, kjer mu je še do nedavna pot zapiral bencinski motor.

Med ovirami, ki preprečujejo najširšo uporabo motorjev z dieselskim načelom vbrizgavanja goriva, je treba predvsem omeniti njegovo večjo maso (in težo) kot posledico omejene vrtilne hitrosti in odstopanja od zamišljenega idealnega enakotlačnega postopka zgorevanja. Na tem področju je bilo storjenih že mnogo ukrepov, ki naj bi pomanjkljivosti tega sicer najbolj ekonomičnega zgorevalnega motorja odpravili, tečejo pa še nadaljnje raziskave, ki gredo predvsem za tem, da bi zmanjšali zakasnitev vžiga na minimum, kar pa bi že pomenilo mnogo. Naj po vrsti navedem registrirane postopke, ki so bili že posebej poimenovani, nekateri od njih pa so tudi že v uporabi.

**Postopek — M.** O tem revolucionarnem postopku zgorevanja je prvi pri nas obširno pisal ing. Brenk v »Strojniškem vestniku« že leta 1958 in pri tem opozarjal na možnost za ekonomično predelavo cenene, pri nas suficite kemične energije primarnega bencina v dieselskem motorju. Omenjeni motor že lahko imamo tudi za motor z več gorivi. Če na kratko omenim načela delovanja, ki so med drugim spremenila tudi dosedanje teorije o zgorevanju, ki so bile dolgo vrsto let v rabi v praksi, storim to z namenom, da so vsi tovrstni poskusi navedeni in zbrani. Pred nedavnim so namreč težili za vbrizgavanjem fino razpršenega goriva v vroč komprimiran zrak.

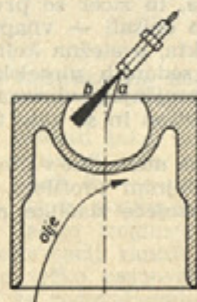
Bistvo postopka — M je v tem, da se samo del goriva (okrog 5 %), in sicer fino razpršenega, vbrizga v vroč komprimiran zrak 600 °C. Ta del goriva rabi za dosego čim hitrejšega vžiga. Preostala količina goriva pa se hkrati vbrizga na površino vdolbljenega bata, ki ima temperaturo 200 do 300 °C. Poglavitni del goriva se vbrizga kot kompakten curek tangencialno na smer zvrtnicega zraka, kjer gorivo v bistvu počasi izhlapeva, ne da bi bilo poprej mehanično razpršeno v majhne delce. Torej ima šoba za vbrizgavanje dve izvrtini

z različnim premerom (sl. 3). Spodnja stran bata je intenzivno hlajena z oljem, da bi se obdržala zahtevana nizka temperatura, kakor je potrebno v postopku zgorevanja.

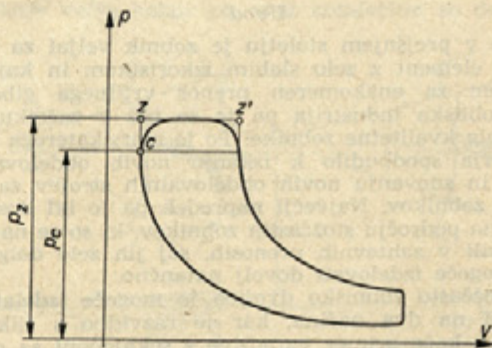
Opisani način zgorevanja je prinesel bistvene spremembe v obratovanje motorja, predvsem močno približanje enakotlačnemu zgorevanju, možnost za uporabo goriv z nizkim cetanskim številom, dogorevanje brez dimljenja in s tem manjšo porabo goriva ter relativno miren in neslišen tek motorja. Zaradi nižjih maksimalnih tlakov zgorevanja je dimenzioniranje sestavnih delov lahko prilagojeno za manjše sile.

Ta motor lahko imamo za motor z več gorivi in izrednimi lastnostmi, ki pa ni dal bistvenih prednosti pri povečanju vrtilne hitrosti, glede na razmerje med potrebnim in razpoložljivim časom za popolno zgorevanje. Če rečemo, da ni prinesel bistvenih prednosti za povečanje vrtilne hitrosti, pomeni to, da je deloma le bil dosežen napredek, vendar ne tak, kakršnega želimo imeti, če hočemo zgraditi motor z izkoristkom dieselskega postopka in teže bencinskega motorja. Res, da je zakasnitev vžiga pri postopku M minimalna in ta okoliščina rabi pri formiranju idealnega diagrama  $p-v$  z dogorevanjem po izobari, vendar ne more samo po kvaliteti diferencirano vbrizgavanje omogočiti tega, kar bi želeli.

Raziskave, ki so potekale v tej smeri, so privedle do tako imenovanega »Fumisation Diesela«. Načelo tega postopka je v tem, da se del goriva (okoli 10 odstotkov) dovaja prek vplinjača in sesalne cevi, preostali del goriva pa se vbrizgava kakor pri »klasičnem« dieselskem motorju. Vžigalni del goriva je v valju že med sesalnim in kompresijskim taktom fizikalno pripravljen na to, da se ob pojavu potrebno visoke temperature proti koncu kompresije vžge brez zakasnitve. Časovna določitev tega vžiga, merjena v ločnih stopinjah kota ročične gredi, ni natanko odrejena niti ni potek zgore-



Sl. 3. a — fino razpršen curek, b — kompakten curek



Sl. 4. Diagram  $p-v$



vanja pod kontrolo, vendar to ne moti, ker se to vendarle dogaja približno na pravem mestu nekje pred zgornjo mrtvo lego. Diagram  $p-v$  zaradi tega ni bistveno popačen, ker je vžigalni del goriva neznačen v primerjavi z drugim vbrizganim gorivom. Postopek se bo zdel še toliko bolj razumljiv, če ga primerjamo z odsluženimi motorji z žarilno glavo, kjer je bilo vse gorivo vbrizgano med kompresijskim taktom in je zgorevalo časovno popolnoma nekontrolirano. Tovrstni motorji so obratovali zadovoljivo, če odštejemo za sedanje razmere nemogočo pomanjkljivost polurnega segrevanja glave pred zagonom motorja z zunanjim toplotnim izvorom. Za gorivo so bili motorji z žarilno glavo malo zahtevni in so pomenili prve motorje z več gorivi. Skušnje z motorji na žarilno glavo so zelo prav prišli pri gradnji motorja Fumisation, ki ima naslednje prednosti:

1) meja dimljenja je prestavljena daleč v področje večje vrtilne hitrosti in večjih obremenitev, zaradi česar je specifična volumenska moč motorja večja;

2) zahteve po cetanskem številu so brezpomembne, torej se lahko uporabljajo vse vrste goriv od plinskega olja do petroleja in bencina;

3) mirnejši in tišji tek motorja brez tolčenja;

4) za okoli 10 odstotkov manjša poraba goriva kot posledica popolnejšega zgorevanja brez dima;

5) dolgotrajnejša uporabnost motornega olja, ker se ne maže s sajami, ki nastajajo pri nepopolnem zgorevanju;

6) lažji motor kot posledica prednosti pod točko 1).

Sistem Fumisation za dovajanje goriva in gorenja ima podobne prednosti kakor postopek M, vendar so prednosti večje in dosežene po različni poti. Modifikacija tega sistema pa je francoski patent, znan z imenom Vigom.

Sistem Vigom za dovajanje goriva se oslanja na dvojno vbrizgavanje goriva, pri čemer sta obe vbrizgavanji časovno ločeni v dvo- ali štiritačnem ciklusu zgorevalnega motorja. Odmikali in odmični gredi tlačilke za gorivo imajo dvojni profil, ki omogoča dvakratni vbrizg goriva, in sicer se prvič vbrizga — ali kakor bi tudi lahko opisali — vnaprej vbrizga že ob koncu izpušnega takta, pretežna količina goriva pa se vbrizga kakor pri sedanjih dieselskih motorjih. Cilj tega vžigalnega vnaprejšnjega vbrizga je prav isti kakor pri postopku Fumisation in so zato tudi prednosti podobne.

Tovarne precizne mehanike v Franciji že izdelujejo odmične gredi z dvojnimi profili, ki jih naknadno vgrajujejo v že obstoječe tlačilke na dieselskih mo-

torjih. Zamenjava odmične gredi je tudi vse, kar je potrebno, da se zgorevalni proces spremeni oz. približa idealnemu enakotlačnemu procesu. Stopnja povišanja tlaka, ki je med drugim merilo za smotno konstruiran dieselski motor, ostane pri sistemu dvojnega vbrizgavanja ugodna, pri čemer pomeni  $\lambda = \frac{p_z}{p_c}$ , tj. razmerje

maksimalnega tlaka zgorevanja in končnega tlaka kompresije.

Nedvomno so opisane razvojne smeri zelo zanimive tudi za našo industrijo zgorevalnih motorjev, saj je splošno znano, da dieselski motor TAM po licenci Deutz precej točje, pa čeprav mu tega v celoti ne zamerjamo zaradi zračnega hlajenja.

Kolikor bi uspešen razvoj hitrih dieselskih motorjev spremenil strukturo razmerja v potrošnji plinskega olja in bencina v korist prvega, ozir. če bi v motorjih z več gorivi lahko predelali vse destilate z vrelni krivuljo od 40 °C do 360 °C, in sicer z mnogo boljšim toplotnim izkoristkom, kakor je to mogoče v točasnem povprečnem bencinskem motorju, bi ne bilo več potrebe po zelo dragih rafinerijskih napravah za katalitično kreiranje in »reforming«, ker pač visokootanskih goriv ne bi bilo treba pridobivati. Tudi vprašanje odvečnih količin nizkootanskega bencina bi bilo s tem rešeno. Države, med katere spadamo tudi mi in skoraj vse socialistične države na vzhodu, ki jih je zdajšnji razvoj rafinerijskih naprav na zahodu prehitel, bi z novo koncepcijo gradnje ali predelave motorjev ponovno lahko ujele ravnotežje pri pridobivanju in potrošnji derivatov. Ne nazadnje pa bi bilo mogoče računati z ogromnim prihrankom pri gorivu.

Analogen prehod na cenejše gorivo že doživlja letalski promet, ki opušča drago visokootansko gorivo za letalske batne motorje in uvaja reaktivne motorje, ki uporabljajo polovico cenejši kerosin tj. ozko destilacijsko frakcijo očiščenega petroleja. Cena goriva v tem primeru sicer ni bila edini razlog za spremembe, vendar lahko rečemo, da je bistveno posegla v potek dogodkov.

Sklep in namen tega sestavka naj bi bil sprožiti misel, zakaj se ne oprimo uresničevanja takih možnosti, ki bi v gospodarstvu pomenile velik prihranek pri energiji in napravah za pridobivanje. Za zgorevanje cenjenih goriv v lahkih, hitrih motorjih z dobrim izkoristkom obstajajo realne zasnove, ki pa še vse prepočasno uveljavljajo v praktičnem življenju.

Avtorjev naslov: Tone Tomšič, dipl. ing., »Petrol«, Ljubljana, Vošnjakova 2

DK 621.833:621.07

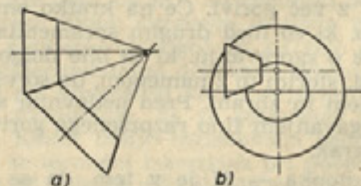
## Primerjava med obdelovalnimi postopki za spiralno stožčaste zobnike

PAVLE ŠMARČAN

### Uvod

Še v prejšnjem stoletju je zobnik veljal za drag strojni element z zelo slabim izkoristkom in kaj neprimeren za enakomeren prenos vrtilnega gibanja. Avtomobilska industrija pa je že brž v začetku potrebovala kvalitetne zobnike. To je marsikaterega konstrukterja spodbudilo k iskanju novih obdelovalnih metod in snovanju novih obdelovalnih strojev za obdelavo zobnikov. Največji napredek pa je bil dosežen ravno na področju stožčastih zobnikov, ki so se najtežje uveljavili v zahtevnih prenosih, saj jih zelo dolgo ni bilo mogoče izdelovati dovolj natančno.

Stožčasto zobniško dvojico je mogoče izdelati in vgraditi na dva načina, kar je razvidno s slike 1. Slika 1a kaže primer vgraditve s sekajočimi se osmi, slika 1b pa hipoidni pogon s križajočimi se osmi (mimobežne osi).



Slika 1

Stožčasti zobniki s spiralnim ozobjem zavzemajo med zobniki čisto posebno mesto. Pri zobnikih nasploh je oblika zoba popolnoma natančno določena s številom zob, vpadnim kotom, kotom poševnosti zoba in profilnim pomikom. S temi podatki lahko izdelujemo zobnik po poljubnem izdelovalnem postopku — kotal-