

Nemški praktiki so v praksi zadeli na pomanjkljivosti doslej običajnega načina preračuna, prikazane na praktičnem primeru, in skušali najti izhod na razne načine, kakor n. pr. Keck v svoji knjigi: »Zahnrad Praxis«, Verlag Oldenbourg, München, 1956. Vendar trpi to delo zaradi istih napak, t. j. zaradi uporabljanja Wöhlerjeve krivulje *materiala* in ne celotnega *elementa* ter neupoštevanja svojstvenosti cementirane plasti, o čemer pa tu ni mogoče razpravljati obširneje.

Način računanja B. S. S. z dnevnimi časi obratovanja je za tehnika in naročnika prijemljivejši in konkretniji: tako ni treba zamudno in nerealno ocenjevati zaželeno celotne življenjske dobe. Z vgrajevanjem števecv in regulatorjev na vse vrste strojev so dobili Američani zelo zanesljive statistične podatke o letnih delovnih urah strojev. Pri projektiranju se je nanje lahko opreti in na tej osnovi ekonomično konstruirati. Pristaviti pa velja, da so za jeklarniške naprave od dvigal za ponve do manipulatorja pri stiskalnicah znane dolžine delovanja, število vključkov na uro itd.

Prvi pogoj za dobro izvedbo preračuna je poznavanje dejanskega poteka procesa, števila in pogostnost

preobremenitev, velikost in značaj preobremenitev, natančno trajanje delovanja v enem dnevu oziroma vnaprej izračunana polna obremenitev v življenjski dobi. Napake, ki predčasno nastajajo pri obratovanju zobnika, so predvsem posledica napačnega računanja dnevne dobe obratovanja. Zato je potrebno statistično nadzorovati razne vrste pogonov.

Ker so diagrami B. S. S. zelo pregledni in dovolj natančni, omogočajo občutne prihranke na teži in prostornini ter računanje ni zamudno, temveč predvsem prirejeno za praktika v industriji. Ker so njihove osnove podprte z obsežnim eksperimentalnim delom, se ta način preračuna hitro uvaja tudi na celini. Zaradi tega sodim, da bi bilo potrebno, izdelati v okviru naših standardov osnutek preračunskega postopka, ki bi temeljil na standardu B. S. S. Slednjič pa bi morali izvesti obsežne eksperimentalne primerjave, da bi ugotovili natančno lego obrab in zlomov, kar pa je za naše razmere in možnosti skoraj nedosegljiv cilj.

Avtor: ing. Marko Kos, Titovi zavodi
Litostroj, Ljubljana

DK 621.436.05

Nova načela za vbrizgavanje goriva v Dieslovih motorjih

STANE BRENK

V času, ko v mnogih krajih naše države gradimo nove ali izpopolnjujemo že obratujoče tovarne avtomobilov in raznih motorjev z notranjim zgorevanjem, moramo hkrati budno spremljati razvoj motorne industrije po svetu, da ne bi pri reševanju vsakdanjih problemov prezrili važnih novosti na tem področju. Batni motorji z notranjim zgorevanjem so sicer dosegli zelo visoko stopnjo razvoja, vendar še vedno niso izčrpane vse možnosti za izboljšanje njihovih obratovnih lastnosti, kar dokazujejo vedno novi prispevki za izboljšanje kvalitete in pomenitev pogona ter proizvodnje. Za dokaz naj navedem primer novega načela za vbrizgavanje goriva v valje Dieslovih motorjev, ki je plod poizkusov in študija strokovnjakov v tovarni MAN.

Poglavitni pomanjkljivosti hitro tekočih Dieslovih motorjev v vseh izvedbah sta trdi tek in dimljenje. Rešitev tega problema so konstruktorji iskali skozi desetletja tako, da so težili k tvorbi čim popolnejše zmesi zraka in goriva, kakršno so skušali doseči s pomočjo čim finejše razpršitve goriva ob vbrizgavanju skozi šobo in gibanju zraka v zgorevalnem prostoru. Da je v Dieslovih motorjih res težko doseči homogeno zmes, vidimo že, če upoštevamo, da je za njeno tvorbo razpoložljivi čas približno šestkrat krajši od časa, razpoložljivega za tvorbo zmesi v motorjih z vplinjačem. Ker je z dosedanjimi merskimi pripomočki skrajno težko spremljati potek goriva in zraka ter si po tej poti ustvariti sliko o njegovi popolnosti, je vedno prevladovala težnja, da bi naprtli vse pomanjkljivosti pri zgorevanju nepopolni zmesi in preslabemu izkoriščanju zraka, pri tem pa je ostalo ob strani zelo važno vprašanje — kemizem zgorevanja v Dieslovih motorjih. Za dosego čimvečje moči motorja je odločilen potek zgorevanja, zato je izpolnitev pogojev, ki so potrebni za čim uspešnejše zgorevanje, skoraj važnejša kakor tvorba »idealne mešanice«.

Da bi ugotovili, koliko se lahko izboljšajo lastnosti Dieslovega motorja z rastočo popolnostjo mešanice, so v tovarni MAN izvedli vrsto poizkusov, katerih cilj je bil, doseči čimbolj homogeno zmes fino razpršenega goriva in zraka. V ta namen so izvedli posebne šobe, ki so gorivo razprševale tako, da je imela ob koncu vbrizganja vsaka kapljica okrog sebe dovolj

zraka za popolno zgorevanje. S takimi šobami opremljen motor je pokazal proti pričakovanju slabe lastnosti. Trdi tek se je močno povečal, vrhu tega pa se je na vsem območju obremenitve in vrtilne hitrosti povečalo dimljenje. Na osnovi tega rezultata se je dalo sklepati, da je »idealna« mešanica ovira pri zgorevanju in na plinsko olje vpliva neugodno, če je v času zakasnitve vžiga pomešana z vročim zrakom.

Težnja, da bi dosegli po zgledu eksplozijskih tudi v Dieslovih motorjih čimbolj homogeno zmes še pred vžigom, je torej vodila do zelo neljubih pojavov pri zgorevanju. Dieslovi motorji sicer tečejo, in to prav uspešno, toda z omenjenimi pomanjkljivostmi. Konstruktorji so s poskusi dognali najugodnejši kompromis med mirnostjo teka, porabo goriva in dimljenjem, vendar se je tako ravnotežje porušilo že pri manjših spremembah v obratovanju, recimo če smo uporabili drugačno plinsko olje.

Raziskovanja kemizma zgorevanja kažejo, da so pojavi pri samovžigu precej podobni onim pri detonaciji v eksplozijskih motorjih. V enem in drugem primeru ne poteka oksidacija direktno, ampak preko vmesnih proizvodov. V prvi fazi oksidacije detonaacijsko zgoreva plašč hlapov, ki obdaja vsako kapljico goriva, medtem ko jedro kapljice zaradi pomanjkanja kisika ne more oksidirati. Pri zgorevanju povišana temperatura povzroča razpad molekul v jedru kapljice, pri čemer atomi vodika zgorejo, ostane pa skelet ogljikovih atomov, ki zelo težko oksidirajo, kar se pokaže v izpušnih plinih polnih saj. Pri zelo drobnih razpršitvah goriva se dimljenje sicer nekoliko zmanjša, poveča pa se detonacija. Če sedaj zaviramo dotok kisika, pritisk v valju ne narašča preveč strmo, močno pa se poveča dimljenje. Opisani pojavi dokazujejo, da s pomočjo »idealne« zmesi goriva in zraka ne moremo izboljšati zgorevanja v Dieslovih motorjih.

Po drugi strani poznamo popolno zgorevanje plinskega olja, ki nastane, če gorivu dodajamo zrak — kar je zelo važno — pri nizki temperaturi. Takšno zgorevanje poteka v gorilcih. Spektralna analiza plamena kaže, da teče oksidacija preko drugačnih vmesnih proizvodov kakor v valju Dieslovega motorja in je torej potek reakcije v obeh primerih bistveno različen. Popolno zgorevanje je mogoče, če se zrak (kisik) in

gorivo segrevata skupno, pri čemer poteka počasna vnaprejšnja oksidacija, zmes pa mora dokončno zgoreti, preden se pojavi samovžig. Raziskovanja drugih znanstvenikov so pokazala, da tvorijo plinska olja pri počasnem segrevanju pline, ki imajo visoko vnetišče, tako da temperatura ob koncu takta kompresije še ne more povzročiti samovžiga.

Po spoznanjih o lastnosti goriva in na osnovi rezultatov o poteku zgorevanja lahko odredimo tri pravila, s pomočjo katerih se izboljšujejo lastnosti Dieslovih motorjev:

1. Količina goriva, ki zgore zaradi samovžiga, naj bo čimmanjša.

2. Zmes se ne sme vbrizgavati direktno v vroč zrak, ampak naj se segreva postopoma, pri čemer mora imeti možnost počasne oksidacije.

3. Zmes vročega zraka in goriva naj poteka postopoma, in sicer z veliko brzino, tako da v trenutku vžiga količina zraka zadostuje za popolno zgorevanje. Pri tem pa ne sme zgoreti večja količina goriva, kakor je dopustno glede na porast tlaka.

Ta pravila seveda v osnovi nasprotujejo tvorbi zmesi, kakršna je bila v navadi doslej. Prvo pravilo ni izpolnjeno, ker prihaja v času zakasnitve vžiga v zgorevalni prostor že približno pol doze goriva in je zato mogoče omejiti količino, ki jo bo zajel samovžig. Sedanji način vbrizgavanja dalje popolnoma nasprotuje drugemu pravilu, saj se gorivo prav v času, ko bi se moralo počasi segrevati ob pomanjkanju zraka, najintenzivneje meša z vročim zrakom. V tej fazi je razlika hitrosti med kapljicami goriva in zraka največja, v naslednji pa se obe hitrosti izravnata, kar je v nasprotju s tretjim pravilom, ki terja prav v zaključni fazi zelo intenzivno mešanje, torej velike relativne hitrosti med gorivom in zrakom.

Prvi pogoj je očitno izpolnjen samo takrat, če se večina goriva vžge pod tujim vplivom in ne zaradi samovžiga, kar pa je mogoče tedaj, ko imamo takšno zmes, ki zdrži visoko temperaturo ob koncu kompresije tako dolgo, da zgore vsa. Takšna zmes nastane ob previdnem segrevanju goriva, ki je zvezano s počasno oksidacijo. To seveda ni izpolnjeno, če leti kapljica po vročem zraku pri prestopnosti 50.000 kcal/h^o m².

Goriva glede na drugo pravilo ne smemo vbrizgavati naravnost v zrak in tudi ne razprševati. Ker pa mora nazadnje v valju le zgoreti in se poprej seveda pomešati z zrakom, ga moramo hraniti v nerazpršeni obliki, in to v takem temperaturnem območju, ki omogoča počasno vnaprejšnjo oksidacijo in nazadnje postopno mešanje z zrakom. Pripraven kraj za to je površina zgorevalnega prostora, ker je njena temperatura dovolj izpod temperature zraka in tako obvaruje gorivo hitrega pregrevanja. Drugemu pravilu je zadoščeno, če gorivo pokriva čimvečjo ploskev zgorevalnega prostora v čimtanjši plasti, ker se tako tvorijo plini, odporni proti detonaciji, in obenem teče počasna vnaprejšnja oksidacija. Tako je površina zgorevalnega prostora neke vrste karburator.

Za zdaj še ni izpolnjeno tretje pravilo, ker se še ni storila zmes goriva in zraka, brez katere je zgorevanje nemogoče. Ta zmes se mora doseči s posebno veliko hitrostjo, kajti hitrost, s katero difundirajo hlapi goriva od stene v zrak, je mnogo premajhna, da bi se zmes stvorila pravočasno. Edino prikladno sredstvo za to je gibanje zraka, ki mora biti pravilno usmerjeno, stalno in tako, da ga samo zgorevanje ne zavira. Teh pogojev navadno vrtnčenje ne izpolnjuje, ker je neurejeno in se med zgorevanjem slabi, zelo pa je prikladno vrtnčenje okrog osi valja, ki se prične že med sesanjem zraka in se zaradi vztrajnosti zračne mase obdrži še v izpušnem taktu. Ob koncu kompresije se hitrost vrtnčenja močno poveča, ker zrak preide v zgorevalni prostor, to se pravi, kroži na manjšem premeru od premera valja. Da bi to intenzivno vrtnčenje ne nasprotovalo drugemu pravilu, je

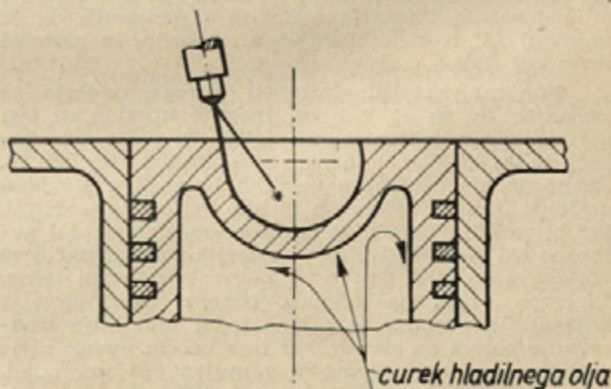
treba usmeriti curek vbrizganega goriva tangencialno na smer gibanja zraka. V prvem trenutku imata gorivo in zrak približno enako hitrost in zato ni nevarnosti, da bi se gorivo odlepilo od stene, nasprotno pa zrak povzroča, da se gorivo razleže v širok film.

Prvi pogoj izpolnimo najenostavneje s tem, da pravilno nastavimo razdaljo med šobo in steno zgorevalnega prostora. Pri dovolj dolgi poti curka skozi zrak se namreč del goriva odlepi, odleti naravnost v vroč zrak in zgoreva enako kakor doslej v vseh Dieslovih motorjih. Ta del goriva obsega približno 5 odstotkov celotne količine. Zrak, ki se vrtinči v valju, ima nalogo, da z izredno hitrostjo pripravi zmes, ki ima dovolj zraka za popolno zgorevanje in je odporna proti samovžigu. Naloga je rešljiva glede na okoliščino, da se relativna hitrost med zrakom in gorivom s časom vedno bolj veča, saj se gorivo po vbrizganju v steno giblje močno pojemalno, zrak pa praktično enakomerno. S tem postaja turbulenca, ki povzroča odlepitev goriva, vedno večja v nasprotju z mešalnimi postopki v dosedanjih motorjih. Izparevanje goriva s stene zgorevalnega prostora poteka postopoma pod vplivom temperature stene in temperature plinov. Zračni vrtnec sproti grabi nastajajoče hlape goriva, ki se z njim mešajo in v naslednjem trenutku tudi zgorejo. Temperatura stene ne sme biti previsoka, da ne bi v gorivu sprožila razpada molekul, mora pa biti dovolj visoka, da gorivo lahko izpareva s primerno hitrostjo.

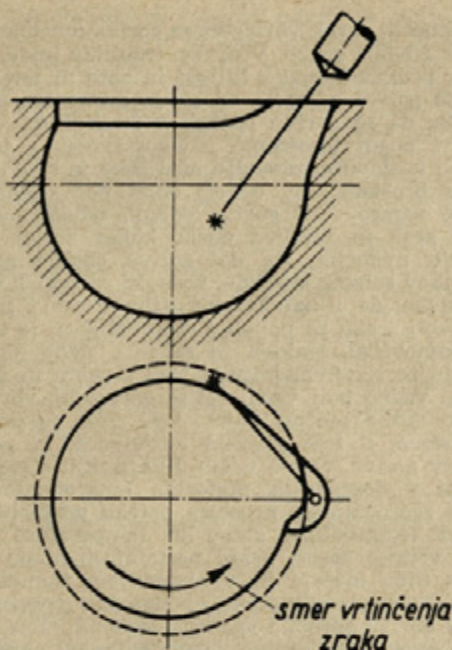
Večina goriva ima med izparevanjem prvotno sestavo molekul, medtem ko tvorijo ostanek razstavljene proizvodi (aldehidi, ketoni in olefini), ki nastajajo pri zmerni temperaturi in močnem pomanjkanju zraka. Ti proizvodi so odporni proti samovžigu in jih vžge tuje telo očitno v trenutku, ko doseže koncentracija goriva v zraku mejo vnetljivosti. Tuje telo, ki vžig povzroča, so žareči delci ogljika, nastali z zgorevanjem majhnega dela goriva v začetku vbrizgavanja. Postopek se ponavlja večkrat zaporedoma na različnih krajih zgorevalnega prostora in obsega tako majhne dele zmesi, da zgorejo, še preden lahko nastane samovžig.

Glede na izkoriščanje toplote ima opisan postopek to prednost, da odvzema gorivo toploto za izparevanje stenam zgorevalnega prostora in ne zraku. S tem je koristno uporabljen del toplote, ki bi bil sicer izgubljen. Tako se indicirani izkoristek poveča za približno 1,8 odstotka.

Ta postopek je mogoče konstruktivno rešiti na več načinov. V tovarni MAN so izkoristili motor z direktnim vbrizgavanjem, ki ima kroglast zgorevalni prostor izoblikovan v bat. Šoba ima dve izvrtini premera 0,4 mm, tlak vbrizganja znaša 175 atm. Gorivo se vbrizgava na steno zgorevalnega prostora v dveh curkih, ki se razširita in zlijeta v en film debeline približno 0,014 mm (pri vsej moči). Temperatura stene zgorevalnega prostora ne sme presegati 340 °C,



Sl. 1.



Sl. 2.

zaradi česar pri popolni obremenitvi poseben curek olja hladi bat. Smer vbrizgavanja je tangencialna na smer vrtničenja zraka. S primerno nastavitvijo šobe se na začetku vbrizgavanja odlepi majhen del curka, ki zgori zaradi samovžiga. Večina goriva izpareva ob močnem pomanjkanju zraka in počasi vnaprejši oksidira, nastali hlapci pa se sproti mešajo z zrakom in hitro zgorevajo.

Tako izveden motor je na poizkusnem stojalu pokazal zelo dobre lastnosti. Značilnega trdega teka nima v celotnem območju vrtilnih hitrosti; celo pri obratovanju hladnega motorja ne, kljub temu pa je lastna poraba goriva majhna. Značilno je, da na obratovanje motorja ne vplivajo vrsta in lastnosti goriva in niti ne cetansko število. Po konstruktivnih vidikih motor ni bolj zapleten kakor so dosedanji. Važno je, da sta ventila postavljena natančno v sredini, da ima tako vstopni ventil največji možen premer, kajti del vstopnega prereza je pokrit z zaslonom, ki usmerja zrak v valj v tangencialni smeri. Skoljčni diagram porabe goriva in moči kaže majhno lastno porabo, posebno v območju majhnih vrtilnih hitrosti. Motor obratuje zelo elastično, saj se lahko še pri hitrosti 300 vrtljajev v minuti vbrizguje popolna količina goriva. Tudi dimljenje se je v takem motorju zelo zmanjšalo. Natančna preiskava starih mazalnih olj pri raznih Dieslovih motorjih je pokazala, da se najmanj saj tvori v omenjenem motorju, in sicer le malo več kakor v eksplozijskih.

Ena najvažnejših lastnosti novega motorja je vsekakor ta, da je v njem mogoče uporabljati vsa goriva, ki jih dobivamo pri destilaciji nafte, od vrelišča 40 do 400 °C, celo bencin z oktanskim številom 88. Znano je, da bencina z visokim oktanskim številom doslej v Dieslovih motorjih ni bilo mogoče uporabljati, ker bi zaradi detonacijskega zgorevanja povzročal neznosno trd tek, medtem ko v motorjih z novim načinom vbrizgavanja tako gorivo ne povzroča nobenih težav. Direktno vbrizgana količina bencina zgori sicer z zakasnitvijo, vendar se prične tedaj zelo hitro izparavanje goriva na stenah, ker ima bencin mnogo nižje vrelišče in tako nadomešča zamujen čas pri vžigu. Za naslednje zgorevanje glavne količine goriva pa je velika odpornost proti detonaciji celo zaželena, ker je s tem zagotovljen vžig zmesi s pomočjo žarečih ostankov

v začetku zgorelega goriva in s tem zmanjšana nevarnost detonacije. V istem motorju so bila pozneje uporabljena različna goriva, med drugimi tudi motorno olje SAE 10. Lastna poraba goriva in moč motorja sta se pri vseh uporabljenih gorivih razlikovali le malo. Enako dobre rezultate je pokazala mešanica vseh goriv, ki imajo vrelišče med 40 do 400 °C.

Prednosti opisanega postopka so razvidne tudi iz indikatorskega diagrama, ki je bil posnet s pomočjo vgrajenega kremenčevega kristala. V trenutku vžiga se prične dvigati tlak s hitrostjo 4 at/s, in to brez vibracije. Za enak srednji indicirani tlak je najvišji tlak v valju pri opisanem postopku za približno 20 odstotkov nižji kakor pri motorju z direktnim vbrizgavanjem. To je posledica počasnejšega naraščanja tlaka v zadnjem delu kompresijskega takta. Merjenje vibracij, ki povzročajo značilen zvok pri trdem teku, je pokazalo, da se vibracije pri novem postopku pojavljajo z manjšo intenzivnostjo v trenutku najvišjega tlaka, medtem ko v motorjih z direktnim vbrizgavanjem nastajajo zelo močne vibracije že v trenutku samovžiga.

S pomočjo indikatorskega diagrama se da dokazati, da se zmes v kompresijskem prostoru res vžge s pomočjo direktno vbrizgane količine goriva (5 %) in ne zaradi temperature zraka ob koncu kompresije. Če odstranimo vzmet, ki pritiska iglo v vbrizgalni šobi, je potreben tlak za vbrizgavanje goriva enak 0 atm, pri čemer pa ostane količina vbrizganega goriva enaka. Hitrost goriva v zgorevalnem prostoru je seveda mnogo manjša, tako da ne dobimo dela fino razpršenega goriva, s tem pa niti ne začetnega zgorevanja in vžiga glavne količine goriva. Krivulja tlaka v indikatorskem diagramu poteka tako, ko da bi bil v valju sam zrak. Ta pojav je očiten le pri manjši vrtilni hitrosti, ker postaja pri večji hitrosti vrtenja hitrost goriva zopet tolikšna, da se vsaj majhen del goriva razpršuje, vžiga in povzroča delno zgorevanje glavne količine goriva.

Ti pojavi dokazujejo, da poteka zgorevanje pri opisanem načinu vbrizgavanja podobno kakor v eksplozijskih motorjih, torej s pomočjo tujega vžiga in ne zaradi samovžiga. Če zberemo poglobljene prednosti tega postopka, vidimo:

1. da se močno zmanjšata dimljenje in odstotek saj v olju za mazanje motorja,
2. da popolnoma izgine trdi tek pri vseh režimih obratovanja,
3. da lahko v takem motorju predelujemo vsa goriva v območju vrelišč od 40 do 400 °C, pa tudi bencin z oktanskim številom 88.

Po enakih načelih zasnovane, toda konstruktivno drugače rešene Dieslove motorje izdeluje tovarna MWM (Motorenwerke Mannheim). To so zračno hlajeni motorji, ki so na lanskem spomladanskem velesejmu v Hannoveru skupno z motorji MAN vzbujali posebno pozornost. Z gotovostjo lahko pričakujemo, da bodo zgledu omenjenih tovarn sledile tudi ostale avtomobilске tovarne z več ali manj porabnimi izvedbami.

Kakšen je naš odnos do Dieslovega motorja, ki razen ostalih prednosti ni občutljiv za uporabljeno gorivo? Na prvem posvetovanju o mazanju, ki je bilo l. 1954 na Reki, so strokovnjaki naših rafinerij nafte ugotovili, da se stalno večja potrošnja srednjih frakcij, to je motornega petroleja, petroleja za razsvetljavo, goriva za reakcijske avione in plinskega olja. Če bi vgrajevali v tovornjake, traktorje, motorne vlake itd. Dieslove motorje, ki niso občutljivi za vrsto goriva, bi se vprašanje srednjih frakcij zelo poenostavilo, tako glede kvantitete kakor tudi kvalitete. Doslej važna pogoja, destilacijske meje in cetansko število, bi izgubila pomen. Delo rafinerij bi se poenostavilo in goriva pocenila, to pa bi pomenilo znaten prispevek k izboljšanju gospodarskega položaja.

Avtor: Ing. Stane Brenk, Tovarna avtomobilov Maribor