

prostora in stroškov ali pa na zanesljivost in varnost obratovanja. Prizadevamo si najprej za zmanjšanje hrupa pri viru (primarni način), šele nato za aktivno dušenje hrupa ali za sekundarni način zmanjšanja hrupa v sistemu. Pri tem je treba računati, da ni vedno medsebojne povezave med včasih velikanskimi vloženi sredstvi in razmeroma majhnim zmanjševanjem hrupa.

6. LITERATURA

- [1] Beranek, L.L.: Noise and Vibration Control. Mc Graw-Hill Book Company, New York, 1971.
- [2] Harris, C.M.: Handbook of Noise Control, Mc Graw-Hill Book Company, New York, 1979.
- [3] Warring, R.H.: Handbook of Noise and Vibration Control. Trade and Technical Press Ltd. Marden Surrey, England, 1969.
- [4] Čudina, M., Steržaj, M.: Identifikacija izvora buke usisne jedinice za usisivač prašine. Zbornik saopštenja X. Jug. i medjunarodnog savetovanja "Zaštita od buke i vibracija u životnoj i radnoj sredini", Beograd, 1987.
- [5] Čudina, M.: Laboratorijska ispitivanja buke u gluhoj komori, Zbornik radova VIII. Jugoslovenskog savetovanja "Zaštita od buke i vibracija u životnoj i radnoj sredini", Beograd, 1985.
- [6] Čudina, M.: Noise Sources of a Centrifugal Pump. Conference HIDROTURBO '89 Brno, 1989.
- [7] Čudina, M., Steržaj, M., Kavčič, J.: Noise Analysis of a Vacuum Cleaner Suction Unit. NOISE-CON 87. State College, Pennsylvania, 1987.

[8] Čudina, M., Steržaj, M., Kavčič, J.: Noise Sources in a Vacuum Cleaner Suction Unit, INTER-NOISE 88, Avignon, Francija, 1988.

[9] Čudina, M., Kompare, M., Kavčič, J., Krajnik, J.: Zmanjšanje hrupa pri sesalnikih za prah. Zbornik del IV. Posvetovanja o varstvu pred hrupom in vibracijami, Ljubljana, 1984.

[10] Čudina, M., Kompare, M., Kavčič, J., Krajnik, J.: Redukcija buke u sistemima za otprašivanje. Zbornik saopštenja VIII. Jug. savetovanja zaštite od buke i vibracija u životnoj i radnoj sredini, Beograd, 1985.

[11] Čudina, M., Trenc, F.: Optimisation of the Engine Cooling Fan with regard to its Performance and Noise. 13th International Congress on Acoustics, Beograd, 1989.

[12] Čudina, M., Steržaj, M.: Noise Reduction of a Centrifugal Pump. NOISE-CON 88. West Lafayette, Indiana, 1988.

[13] Čudina, M., Steržaj, M.: Uticaj dimenzije rotora na emitiranu buku radialne turbo pumpe. Zbornik saopštenja X. Jug. i medjunarodnog savetovanja Zaštita od buke i vibracija u životnoj i radnoj sredini, Beograd, 1987.

[14] Klemenčič, S., Čudina, M., Kompare, M.: Zmanjšanje hrupa sesalne enote z ekspanzijsko komoro. Zbornik del V. Posvetovanja varstvu pred hrupom in vibracijami, Ljubljana, 1986.

[15] Čudina, M., Trenc, F., Steržaj, M.: Noise Control of the Engine Cooling Fan. INTER-NOISE 89. Newport Beach, California, 1989.

Avtorjev naslov: doc. dr. Mirko Čudina, dipl. inž.
Fakulteta za strojništvo,
Ljubljana

Dvotaktni motor, nekoliko drugače

RADISLAV PAVLETIČ

1. UVOD

Kmalu po Ottovem izumu štiritaktnega motorja z notranjim zgorevanjem se je pojavila zamisel o dvotaktnem motorju in oba sta se od tedaj naprej razvijala drug ob drugem. Zanimanje zanju je nihalo, nekaj časa je bil bolj privlačen prvi, potem spet drugi, sredi šestdesetih let pa je na področju motorjev za vozila dokončno prevladal štiritaktni. Dvotaktni motor je ostal v rabi na področju majhnih motorjev, predvsem za motocikle, in na področju največjih dizelskih motorjev, predvsem za ladijski pogon.

Štiritaktni motor se je odlikoval predvsem v dveh značilnostih: prvič zaradi večje obratovalne zanesljivosti, predvsem pa daljše dobe trajanja, drugič pa zaradi večje gospodarnosti in boljših emisijskih lastnosti. Dvotaktni motor je bil odrinjen in raziskovalna in razvojna prizadevanja v zadnjih 20 letih so bila pretežno namenjena štiritaktnemu motorju, ki so ga močno izpopolnili, medtem ko se dvotaktni motor ni bistveno spremenil.

Obnoviti zanimanje za dvotaktni motor pomeni najprej odpraviti njegove pomanjkljivosti, izkoristiti pa njegove prednosti in dohiteti razvoj štiritaktnega

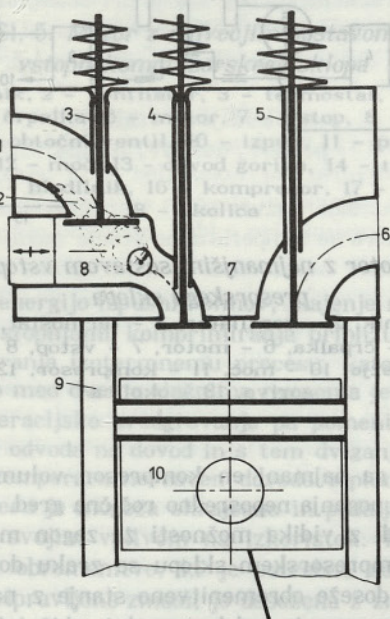
motorja, se pravi, bogate izsledke intenzivnih raziskovanj pri štiritaktnem motorju uporabiti za razvoj njegovega dvotaktnega tekmeča. Ugotovitev relativnih prednosti in pomanjkljivosti dvotaktnega motorja pred štiritaktnim na njeni današnji stopnji razvoja je izhodišče za nadaljnje iskanje. Preglednica v sklepnem poglavju tega članka v prvem ocenjevalnem stolpcu to stanje ponazarja (drugi stolpec prikazuje pričakovanja za predlagani dvotaktni motor).

Iz ocen po posameznih merilih in iz pripomb nanje lahko sklenemo, da pomanjkljivosti pri dvotaktnem motorju po svoji pomembnosti presega prednosti, zlasti pa so za dvotaktni motor usodne s splošnem slabše eksploatacijske lastnosti in pri ottovih motorjih tudi neugodna emisija in poraba goriva. Preusmeriti razvoj, da bo v prid dvotaktnega motorja z uveljavljanjem njegovih prednosti, ki so nedvomno vredne pozornosti, predvsem njegova specifična moč, pomeni odpraviti njegove pomanjkljivosti, ga izpopolniti s prednostmi sodobnega štiritaktnega motorja, da bo še boljši, predvsem glede spektra uporabnih goriv in glede emisije. Zasnovani motor, ki ga v nadaljevanju predstavljamo, obeta izpolnjenje teh prizadevanj.

Dvotaktni motor, pri katerem doba trajanja valjevega sklopa ne bi bila prizadeta zaradi prekinjanja oljnega filma, terja odpravo odprtih v puši valja, kar pomeni, naj bo puša valja enaka valju 4-taktnega motorja. To tudi pomeni, da se mora spremeniti mehanizem pretoka delovnega medija skozi motor.

2. PREDLOG ZA NOVI MOTOR

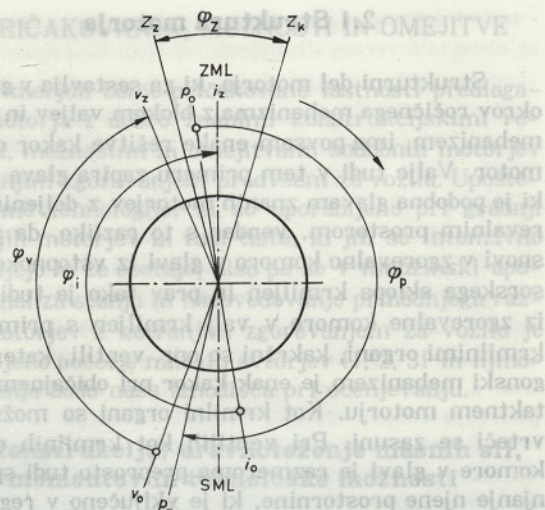
Potek cikla omogoča sklop valja, ki je shematsko prikazana na sliki 1. Posamezne faze cikla morajo biti zunaj valja, da je cikel lahko opravljen v enem samem vrtiljaju ročične gredi. V valju bosta potekali faza ekspanzije in faza izpuha, fazi kompresije in zgorevanja pa sta preneseni v vstopni sistem, ki ga sestavlja primeren kompresor ali več kompresorjev; v ta sistem spada tudi zgorevalna komora v glavi valja.



Sl. 1. Sklop valja dvotaktnega motorja z ventili (shematski prikaz)

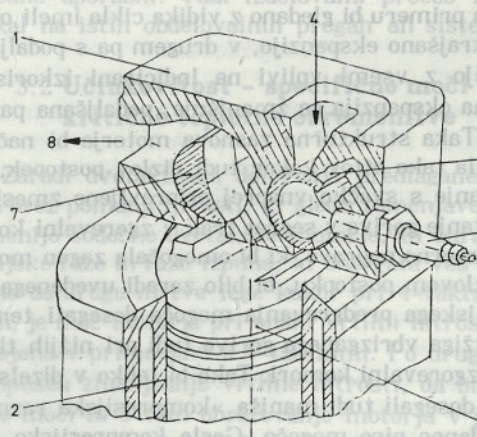
1 - vstop, 2 - svečka, 3 - vstopni ventil, 4 - pretočni ventil, 5 - izpušni ventil, 6 - izpuh, 7 - glava valja, 8 - zgorevalna komora, 9 - valj, 10 - bat

Delovno snov stiska in transportira kompresor, da potem skozi krmiljeni vstopni ventil vstopa v zgorevalno komoro, ki je v tej fazi z zaprtim pretočnim ventilom ločena od valja. Krmilne čase posameznih zapornih organov (vstopnega ventila, pretočnega ventila in izpušnega ventila) orientacijsko prikazuje slika 2. Mogoče je uporabiti tudi vrteči se zasun kot krmilni organ vtekanja v zgorevalno komoro in iztekanja iz nje. Rešitev z vrtečim se zasunom prikazuje slika 3. Zgorevalna komora je tukaj prostor znotraj samega zasuna. Izpušni organ pa je v tem primeru lahko spet zasun, kakor prikazuje slika, ali pa tudi ventil.



Sl. 2. Orientacijski prikaz krmilnih časov

i_o - izpušni ventil odprt, i_z - izpušni ventil zaprt, φ_i - kot trajanja odprtja izpušnega ventila, v_o - vstopni ventil odprt, v_z - vstopni ventil zaprt, φ_v - kot trajanja odprtja vstopnega ventila, p_o - pretočni ventil odprt, p_z - pretočni ventil zaprt, φ_p - kot trajanja odprtja pretočnega ventila, Z_z - začetek zgorevanja, Z_k - konec zgorevanja, φ_z - kot trajanja zgorevanja



Sl. 3. Sklop valja dvotaktnega motorja z zasuni

1 - glava valja, 2 - valj, 3 - bat, 4 - vstop komprimirane zmesi (zraka), 5 - vstopni vrteči se zasun v zgorevalno komoro, 6 - svečka (ottov motor), 7 - šoba (dizelski motor), 8 - izpuh

Vstopni sistem, v katerega je prenesena faza komprimiranja delovnega cikla, ki ga bomo v nadaljevanju imenovali vstopnokompresorski sklop, je lahko zgrajen zelo različno, od nekega najmanjšega do nekega največjega sestava (sl. 4 in 5). Največji sestav omogoča uvedbo ukrepov, ki jih poznamo iz teoretične termodinamike in prispevajo h kakovosti delovnega procesa glede povečanja njegovega izkoristka. Siromašenje opremljenosti vstopnokompresorskega sklopa sicer slabša izkoristek, vendar pa tudi pri najmanjšem sestavu omogoča njegovo delovanje v vseh fazah od zagona do polne obremenitve.

2.1 Struktura motorja

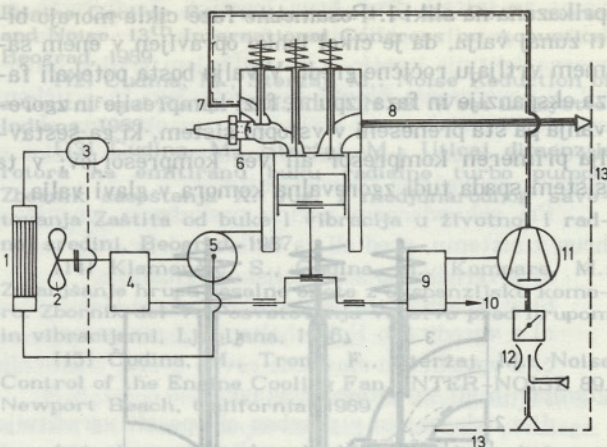
Strukturni del motorja, ki ga sestavlja v glavnem okrov ročičnega mehanizma z blokom valjev in ročni mehanizem, ima povsem enake rešitve kakor običajni motor. Valje tudi v tem primeru zapira glava valjev, ki je podobna glavam znanih motorjev z deljenim zgorevalnim prostorom, vendar s to razliko, da je vtok snovi v zgorevalno komoro v glavi iz vstopnokompresorskega sklopa krmiljen in prav tako je tudi izstop iz zgorevalne komore v valj krmiljen s primernimi krmilnimi organi, kakršni so npr. ventili, katerih pogonski mehanizem je enak kakor pri običajnem štiritaktnem motorju. Kot krmilni organi so možni tudi vrteči se zasuni. Pri ventilih kot krmilnih organih komore v glavi je razmeroma preprosto tudi spreminjanje njene prostornine, ki je vključeno v regulacijski krog obremenjevanja motorja. Imenska prostornina zgorevalne komore naj bi bila enaka prostornini kompresijskega prostora valja običajnega motorja z danim kompresijskim razmerjem. Spreminjanje njene prostornine, bodisi povečevanje ali zmanjševanje, bi pri predlaganem motorju pomenilo v prvem primeru povečanje moči motorja nad njegovo imensko moč, v drugem pa zmanjšanje moči, torej delno obremenitev. V prvem primeru bi gledano z vidika cikla imeli opraviti s skrajšano ekspanzijo, v drugem pa s podaljšano ekspanzijo z vsemi vplivi na indicirani izkoristek; skrajšana ekspanzija ga zmanjšuje, podaljšana pa povečuje. Taka strukturna zasnova motorja bi načelno omogočala tako otov kakor tudi dizlov postopek, torej vžiganje s svečko vnaprej pripravljene zmesi oz. vbrizgavanje goriva v segret zrak v zgorevalni komori. S primerno napravo, ki bi omogočala zagon motorja po dizlovnem postopku, bi bilo zaradi uvedenega regeneracijskega predgrevanja mogoče dosegati temperaturo vžiga vbrizganega goriva tudi pri nižjih tlakih zraka v zgorevalni komori. Tako bi lahko v dizelskem procesu dosegali tudi manjša »kompresijska razmerja«, ki danes niso mogoča. Geslo kompresijsko razmerje je tukaj v narekovaju zato, ker je s tem v predlagani rešitvi mišljeno razmerje tlakov, ki je enako razmerju tlakov, doseženem pri komprimiranju v običajnem motorju z danim »kompresijskim razmerjem«.

2.2 Vstopnokompresorski sklop

Vstopnokompresorski sklop motorja je poleg ločene zgorevalne komore posebnost predlaganega projekta. Ne dovaja samo medija, s katerim v strukturalnem delu motorja poteka transformacija energij; v vstopnokompresorskem sklopu se medij tudi komprimira, s čimer je faza delovnega cikla, ki ji pravimo komprimiranje, prenesena iz valja motorja. Zaradi tega krožni proces ne poteka samo v valju kakor pri običajnih motorjih, ampak je razdeljen med valj na eni strani ter zgorevalno komoro in vstopnokompresorski sklop na drugi.

Valj z gibanjem bata ne določa pretoka medija skozi motor, razbremenjen je tudi komprimiranja, tako da mu preostane le faza ekspanzije in izpuha, za kar sta potrebna le dva giba bata med mrtvima legama, torej le en vrtljaj ročične gredi. Motor po predlogu torej deluje dvotaktno.

Da bi motor po zamisli sploh lahko obratoval, je potreben nek najmanjši sestav vstopnokompresorskega sklopa, kakor ga prikazuje slika 4.

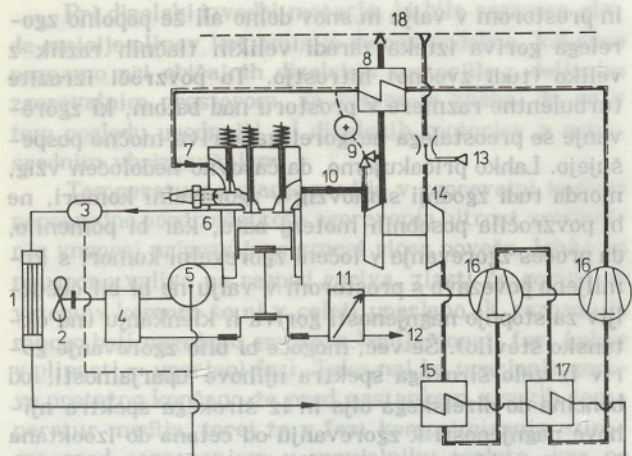


Sl. 4. Motor z najmanjšim sestavom vstopnokompresorskega sklopa

1 - hladilnik, 2 - ventilator, 3 - termostatski element, 4 - predležje, 5 - črpalna enota, 6 - motor, 7 - vstop, 8 - izpuh, 9 - predležje, 10 - moč, 11 - kompresor, 12 - dovod goriva, 13 - okolica

Sestavlja ga najmanj en kompresor volumetričnega tipa, ki ga poganja neposredno ročična gred. To je potrebno tudi z vidika možnosti za zagon motorja. V vstopnokompresorskem sklopu se zraku dovede tudi gorivo in doseže obremenitveno stanje z napravami, kakršne poznamo iz sodobne gradnje običajnih motorjev. Najmanjši sestav vstopnokompresorskega sklopa omogoča zagon in delovanje motorja do njegove največje indicirane učinkovitosti, omejene z drugimi dejavniki, ne omogoča pa uvedbe nobenega ukrepa, ki naj bi posebej vplival na gospodarnost delovanja motorja.

V določeni meri omogoča uvedbo ukrepov, ki po termodinamični teoriji prispevajo h gospodarnosti delovanja motorja, največji sestav vstopnokompresorskega sklopa, ki ga shematsko prikazuje slika 5. Vstopnokompresorski sistem v tem primeru sestavljajo, če ga opišemo v smeri toka medija, kompresor turbinskega tipa v sestavi turbokompresorja, ki izkorišča energijo izpušnih plinov, hladilnik po turbinskem kompresorju, kompresor ali sklop kompresorjev volumetričnega tipa, ki jih poganja ročična gred, s hladilnikom med posameznimi stopnjami sklopa kompresorja in regeneratorski predvstopom medija v glavo valja oziroma v zgorevalno komoro v njej. Turbokompresor



Sl. 5. Motor z največjim sestavom
vstopnokompresorskega sklopa

1 - hladilnik, 2 - ventilator, 3 - termostat, 4 - predležje, 5 - črpalka, 6 - motor, 7 - vstop, 8 - regeneratorski ventil, 9 - obtočni ventil, 10 - izpuh, 11 - predležje - variator, 12 - moč, 13 - dovod goriva, 14 - turbokompresor, 15 - hladilnik, 16 - kompresor, 17 - hladilnik, 18 - okolica

izkorišča energijo izpušnih plinov, hlajenje med posameznimi stopnjami komprimiranja približuje proces komprimiranja izotermnemu procesu, katerega tehnično delo med dvema tlačnima ravnema je najmanjše, regeneracijsko predgrevanje pa pomeni vračanje toplote od odvoda na dovod in s tem dviganje procesa na višjo temperaturno raven dovoda toplote. Tudi v tem primeru je mogoča skrajšana in podaljšana ekspanzija s svojim vplivom na izkoristek. Kolikostna regulacija obremenitve, ki je potrebna za vžiganje vnaprej pripravljene zmesi, je dosežena z zmanjševanjem prostornine zgorevalne komore pri nespremenjenih parametrih medija, ki vstopa v komoro, ali pri nespremenjeni prostornini zgorevalne komore z večanjem specifične prostornine medija, ki vstopa v komoro, ali pa z enim in drugim ukrepom hkrati. Spreminjanje specifične prostornine lahko dosežemo z dušenjem v vstopnem sistemu, kakor je danes običajno pri ottovih motorjih, z zmanjšanjem zmogljivosti kompresorja (kompresorjev), pri spreminjanju njegove vrtilne hitrosti, ali s segrevanjem v zgorevalno komoro vstopajočega medija, za kar je z vidika izkoristka primerno izrabiti toploto izpušnih plinov, torej regeneracijo toplote. Ta regeneracija je sicer dosežena v odprtem delu delovnega cikla, zaradi česar v proces vrnjena toplota ne pomeni regeneracije, kakršno poznamo pri teoretično povračljivem vračanju toplote v sam zaprti del delovnega cikla, ki izkoristek cikla približuje karnotovemu izkoristku. Naprave za dovod goriva in pripravo zmesi so lahko enake tistim, ki jih poznamo iz gradnje običajnih motorjev.

3. PRIČAKOVANJA, MOŽNOSTI IN OMEJITVE

Primerjali bomo pričakovane lastnosti predlaganega motorja z dobro znanimi konstrukcijskimi rešitvami, možnostmi in omejitvami sodobnih motorjev z notranjim zgorevanjem predvsem za vozila. Upoštevali bomo tehnologije, ki so uporabljene pri gradnji današnjih motorjev in tudi tiste, ki jih še intenzivno raziskujejo in že obetajo, niso pa še v množinski uporabi. Analiza stanja in napovedovanje prihodnjega razvoja motorjev z notranjim zgorevanjem za vozila je priljubljeno početje mnogih avtorjev [1, 2, 3] in njihova mnenja bodo naša izhodišča pri ocenjevanju.

3.1 Konstrukcija, uravnoteženje masnih sil, momentov in tehnološke možnosti

Ker je struktura predlaganega motorja enaka običajnim motorjem in so enaki tudi mehanizmi (ročni mehanizem je enak kakor pri dvotaktnih motorjih, krmilni mehanizem pa kakor pri štiritahtnih), so tehnološke možnosti in tudi ukrepi za uravnoteženje masnih sil in momentov v celoti prenosljivi in dosedanje izkušnje in izgledi za prihodnost na tem področju neposredno uporabni. Tudi izdelovalni proces bi lahko potekal na istih obdelovalnih progah ali sistemih.

3.2 Učinkovitost - specifične moči in kritične toplotne obremenitve

Zaradi dvotaktnega delovanja predlaganega motorja brez pomanjkljivosti, ki glede zamenjave medija bremenijo sodobne dvotaktne motorje, in zaradi ekspanzijske faze in faze izpuha, ki obsegata ves gib bata od ene do druge mrtve lege kakor pri 4-taktnih motorjih, je moč motorja pri enaki vrtilni hitrosti lahko podvojena v primerjavi s 4-taktnimi. Po drugi strani pa dopušča zmanjšanje vrtilne hitrosti, da bi dosegli enake moči in s tem obratovanje motorja v področju večjega mehanskega izkoristka in večje gospodarnosti. Seveda povečanje učinkovitosti pomeni tudi povečanje toplotnih obremenitev komponent valja, zgorevalne komore in krmilnih organov, za katerih obvladovanje vliva upanje uvažanje novih materialov (keramike). Kritična je zlasti toplotna obremenitev pretočnega ventila, ki krmili vtekanje že goreče zmesi iz zgorevalne komore v valj, za kar izkušenj pri običajnih motorjih nimamo.

Izraba podvojene delovne zmogljivosti motorja z enako gibno prostornino in vrtilno hitrostjo zanesljivo pomeni prispevek k specifični moči predlagane zamislil motorja v primerjavi z običajnimi motorji tako glede na maso kakor vgrajitveno prostornino, zlasti pri revnejši aparturni opremljenosti vstopnokompresorskega sklopa. Pri bogatejši opremljenosti pa je specifična moč glede na vgrajitveno prostornino predvsem zaradi obsežnih izmenjevalnikov toplote le lahko vprašljiva.

3.3 Prožnost motorja in odzivnost

Za vožnjo je največkrat zaželen največji moment motorja v spodnjem področju vrtilnih hitrosti, čemur pravimo, da je motor prožen, kar je neposredno dosegljivo pri sesalnih in tlačno polnjenih motorjih z volumetričnimi kompresorji, ki imajo mehanski pogon, medtem ko je pri tlačno polnjenih motorjih s turbokompresorji največji moment premaknjen v območje večjih vrtilnih hitrosti, torej v smeri zmanjšanja prožnosti motorja. Zahtevano prožnost je mogoče doseči z regulacijskimi posegi pri izpušnem sistemu, z izpuščanjem izpušnih plinov mimo turbine v področju večjih vrtilnih hitrosti motorja.

S tipom kompresorja za dodatno polnjenje je povezana tudi odzivnost motorja na spreminjanje njegove obremenitve. Turbokompresor v vstopnokompresorskem sistemu bi tudi pri predlaganem motorju kljub obveznemu mehanskemu pogonu volumetričnega kompresorja (kompresorjev), odzivnost motorja le prizadel, vendar v manjši meri kakor pri običajnem motorju, opremljenem samo s turbokompresorjem. Pri običajnih motorjih z dvojnimi tipom kompresorjev v sistemu tlačnega polnjenja takšne izkušnje že imamo.

3.4 Gospodarnost

Bogatejša aparatura opremljenost vstopnokompresorskega sistema, ki je vpeljana prav zato, da so izrabljeni iz termodinamike znani ukrepi za izboljšanje termodinamičnega izkoristka cikla, in spreminjanje prostornine zgorevalne komore v odvisnosti od obremenitve, s čimer je uvedena tudi podaljšana ekspanzija, prispevajo k poboljšanju specifične porabe goriva predvsem pri delnih obremenitvah.

Uspeh je v veliki meri odvisen od kakovosti naprav vstopnokompresorskega sklopa zlasti od izkoristka volumetričnih kompresorjev in pretočnih izgub v izmenjevalnikih toplote. Menimo, da v tem pogledu, zlasti kar se tiče kompresorjev, tudi sodobna tehnologija že ponuja znatne neizrabljene možnosti.

3.5 Občutljivost motorja na goriva in uporabnost različnih goriv

Vprašanje občutljivosti za goriva in uporabnosti različnih goriv pri predlagani zamisli motorja je povezano z vprašanjem samovžiga oziroma s pojavom klenkanja in tudi z vprašanjem škodljivosti klenkanja pri zgorevanju v ločenem zgorevalnem prostoru. Ker je komora z zapornim organom ločena od prostora nad batom v valju, se pojavlja tudi vprašanje, koliko klenkanje in spremljajoča tlačna nihanja lahko prizadenejo bat in mehanizem bata na sploh. Poleg tega je v zadnji fazi zgorevanja, ko se navadno pojavlja klenkanje, že vzpostavljena zveza med zgorevalno komoro

in prostorom v valju in snov delno ali že popolno zgorelega goriva izteka zaradi velikih tlačnih razlik z veliko (tudi zvočno) hitrostjo. To povzroči izrazite turbulentne razmere v prostoru nad batom, ki zgorevanje še preostalega nezgorelega goriva močno pospešujejo. Lahko pričakujemo, da časovno nedoločen vžig, morda tudi zgodnji samovžig v zgorevalni komori, ne bi povzročila posebnih motenj batu, kar bi pomenilo, da proces zgorevanja v ločeni zgorevalni komori s krmiljeno povezavo s prostorom v valju ne bi bil občutljiv za stopnjo nagnjenosti goriva h klenkanju (na oktansko število). Še več, mogoče bi bilo zgorevanje goriv iz zelo širokega spektra njihove uparjalnosti, od bencina do dizelskega olja in iz širokega spektra njihove nagnjenosti k zgorevanju od cetana do izooktana in še čez. Motor z notranjim zgorevanjem z ločeno zgorevalno komoro bi bil neobčutljiv za goriva in uporaben za različna goriva, kar je pri običajnih motorjih le nerealno pričakovati [1]. Seveda so to le pričakovanja, saj eksperimentalne potrditve še ni.

3.6 Škodljiva emisija - plinov, delcev, hrupa

Prostorska razvrstitev vstopnokompresorskega sklopa vpliva na temperaturno stanje medija v zgorevalni komori neposredno pred začetkom zgorevanja, ki je tudi za emisijske lastnosti procesa odločilen dejavnik. S tega vidika je analiziran največji sestav, kakor ga prikazuje slika 5.

Ločena zgorevalna komora, napolnjena z vnaprej pripravljeno zmesjo goriva in zraka, ki ima zaradi uvedenega regeneracijskega predzgorevanja razmeroma visoko temperaturo, omogoča vžiganje tudi izrazito revne zmesi, kar zanesljivo ugodno vpliva na oddajanje ogljikovega monoksida (CO). Zgorevanje izrazito revne zmesi je tudi ugodno z vidika oddajanja dušikovih oksidov (NO_x), ki ima, kakor je dobro znano, svoj maksimum prav v področju razmernika zraka, ki je bližji stehiometričnemu razmerju revne zmesi. Ker priteka delovna snov v valj le prek zgorevalne komore, vstopa v prostor med batom v valju le snov, v kateri se je zgorevanje že začelo. Zaradi velike hitrosti iztekanja iz komore v valju nastane izrazito turbulentno tokovno stanje, ki omogoča hitro in popolno zgorevanje. Pritekanje že goreče zmesi v prostor nad batom pa ne dopušča nastajanja mejne plasti ob stenah, v katerih bi bilo še nezgorelo gorivo, saj gorivo zaradi nizkih temperatur v mejni plasti ne bi zgorelo in bi kot ogljikovodik odšlo v izpušno cev. Tudi rege med batom in valjem, ki so pri običajnih motorjih z vnaprej pripravljeno zmesjo vir oddajanja ogljikovodikov, tukaj to ne bi mogle biti, saj bi bili v njih le produkti zgorevanja. Vse omenjeno bi prispevalo k nizki emisiji vseh pomembnih polutantov, morda k tako nizki, da bi bilo mogoče izpolniti danes tudi najstrožje predpise o strupeni plinski emisiji brez katalizatorjev.

UDK 61.822

Pri dizelski izvedbi motorja, bi bile razmere glede emisije plinov kot emisije delcev podobne, kakršne poznamo pri običajnih dizelskih motorjih z deljenim zgorevalnim prostorom, za katere je znano, da so v tem pogledu ugodnejši od dizelskih motorjev z neposrednim vbrizgavanjem.

Temperaturno stanje medija v zgorevalni komori neposredno pred začetkom zgorevanja hitrost zgorevanja vnaprej pripravljene zmesi sicer poveča, lahko pa neugodno vpliva na razpad goriva, zlasti če gorivo ob vstopu v komoro še ni v celoti uparjeno. K razpadu je mnogo bolj nagnjeno gorivo v kapljevinski fazi kakor v plinasti — uparjeni fazi. Tako naj bo uparjanje goriva pretežno končano že pred nastankom visokih temperatur medija, torej že v fazi komprimiranja oziroma pred segrevanjem v menjalniku toplote, kar pa vstopnokompresorski sistem dopušča. Lahko ocenimo, da emisija delcev pri zgorevanju vnaprej pripravljene zmesi goriva in zraka pri predlagani zamisli motorja ne bo slabša kakor je danes pri običajnih ottovih motorjih, saj v tem trenutku še ni predmet preverjanja zaradi razmeroma majhne vrednosti.

Emisija delcev je večji problem pri dizelski izvedbi motorja, ki je bolj kakor pri ottovih motorjih odvisna od obremenitve motorja in navadno tudi obremenitev z njo omejena. Lahko pričakujemo, da se bo dizelska izvedba predloženega osnutka motorja kar zadeva emisijo delcev ali plinov obnašala precej podobno kakor običajni dizelski motorji z deljenim zgorevalnim prostorom.

Z vidika oddajanja hrupa mehanskih izvorov iz strukturnega dela predlaganega motorja lahko pričakujemo podobne razmere kakor pri običajnih motorjih, saj sta si po strukturi podobna, razlike pa bodo v hrupu iz procesa in iz vstopnokompresorskega sklopa.

Iz procesa zgorevanja bo hrup odvisen v veliki meri od krmiljenja procesa, kar pomeni od trenutka vžiga in trenutka odpiranja pretočnega ventila iz komore v valj in od medsebojne sinhronizacije obeh časov. Na razliko med emisijami hrupa iz vstopnega sistema glede na običajni motor pa bo imela največji vpliv kakovost šuma kompresorskega sklopa. Zlasti je neznana kakovost šuma volumetričnega kompresorja, kar bo treba še raziskati. Šum iz izpušnega sistema bo lahko zaradi tokovne podobnosti z običajnim štiritahtnim motorjem obvladan z dušilniki šuma, kakor je to danes pri motorjih v navadi.

3.7 Zagon

Zagon pri ottovi izvedbi motorja omogoča batni oziroma volumetrični kompresor v vstopnokompresorskem sklopu, poganjan neposredno od ročične gredi, in drugi podobni ukrepi kakor pri konvencionalnem ottovem motorju. Dizelska izvedba pa bi zahtevala zagonsko pomagala. Zaradi nizkega tlaka v vstopnem sistemu pri nizkih zagonskih vrtljajih in zaradi neaktivnosti regenerativnega predgrelnika v tej fazi de-

lovni zrak v zgorevalni komori ne bi dosegel temperature vžiga tudi najlaže vnetljivih goriv. Verjetno je delovanje motorja ob zagonu kakor pri ottovem motorju, z bencinom kot gorivom in z vžigom s svečko, žarilno ali iskrilno, edina možnost. Žarilna svečka sicer ne bi omogočila časovno natančnega vžiga, bi pa omogočala poprejšnje segrevanje zgorevalne komore, kar bi lahko uporabili tudi v posebnih režimih dizelskega delovanja motorja, če bi bile iz kakršnegakoli razloga temperature medija v zgorevalni komori prenizke. Časovno nekontroliran vžig smo že ocenili kot možen in manj vpliven kakor pri običajnih motorjih.

3.8 Drugi dejavniki

Ti dejavniki za ocenjevanje kakovosti motorja, zlasti tisti, ki vplivajo na obratovalno zanesljivost in na vzdrževanje, so v mnogočem odvisni od obvladovanja že prej obravnavanih kritičnih toplotnih obremenitev in še od drugih dejavnikov, kakor so konstrukcijsko oblikovanje, mazanje, hlajenje in drugi, ki pa v tej fazi snovanja motorja, ali niso določljivi ali niti niso pomembni.

4. SKLEP

Rezultati primerjalnega ocenjevanja predstavljene zamisli motorja, razpravljani v tem besedilu, so zbrani v drugem stolpcu v preglednici 1. Ocenjevanje je opravljeno glede na štiritahtni motor enako kakor v prvem ocenjevalnem stolpcu za običajni dvotaktni motor, kar omogoča tudi njuno medsebojno primerjavo. Iz preglednice izhajajo naslednje ugotovitve: — Predlagana zamisel motorja naj bi bila enakovredna sodobnemu štiritahtnemu motorju kar zadeva konstrukcijo njegove strukture, izdelavo in delovne karakteristike.

— Predlagana zamisel motorja naj bi preseгла štiritahtni motor kar zadeva učinkovitost, gospodarnost, zlasti pri delnih obremenitvah, gorivo in emisijo, torej v vseh danes najpomembnejših lastnostih.

— Predlagani motor naj bi bil podrejen štiritahtnemu kar zadeva toplotne obremenitve nekaterih komponent, kar je nedvomno problem, za katerega iz tehnologije motorjev z notranjim zgorevanjem nimamo izkušenj, se pa z novimi materiali, npr. keramiko, rešitev problema nariva. — Uporabne lastnosti predlagane zamisli motorja niso ocenjevane. Neprekinjenost oljnega filma na puši valja izenači drsne in obrabne razmere s štiritahtnim motorjem, nič zanesljivega pa ne moremo reči o posledicah toplotnih obremenitev, zlasti krmilnega organa v kanalu med zgorevalno komoro in valjem.

Uspeh nove zamisli je v veliki meri odvisen tudi od kakovosti komponent vstopnokompresorskega sklopa in menjalnikov toplote, ki bodo sami zase terjali poglobljene raziskave, da bodo kos delovanju, ki jim je zaupano v novem motorju.

Preglednica 1: Primerjalna ocena običajnega dvotaktnega motorja in tukaj predlagane zamisli (znaki pomenijo: + prednost, 0 enakovrednost, - pomanjkljivost)

Merila		dvotaktni motor	
Konstrukcija		običajni	predlagani
1	enostavnost konstrukcije	+ ¹⁾	0
2	uravnoteženje masnih sil in momentov	0	0
3	mazanje - oljni film	-	0
Izdelovalni postopki in materiali			
4	Izdelovalne možnosti	0	0
5	Materiali	0	- ²⁾
Učinkovitost			
6	specifična moč na gibno prostornino, vgrajitveno prostornino in maso	+	+ ³⁾
Toplotne obremenitve			
7	bata in puše	- ⁴⁾	0
8	krmilnih organov in glave	0	- ⁵⁾
Delovne lastnosti			
9	prilagodljivost momentno-hitrostne karakteristike	0	0
10	prožnost motorja	0	+
11	ciklično nihanje momenta	+	+
12	odzivnost motorja	+	+
13	zagonne možnosti	0	0
Gospodarnost			
14	specifična poraba pri polni obremenitvi	0 ⁶⁾	0 ⁷⁾
15	specifična poraba pri delni obremenitvi	- ⁸⁾	+
Gorivo			
16	občutljivost motorja za goriva (oktansko število)	0	+
17	uporabnost različnih goriv	0	+
Emisija			
18	plinska emisija	- ⁹⁾	+
19	emisija delcev	0	+
20	emisija hrupa	0	0
Eksploatacija			
21	obratovalna zanesljivost	- ⁹⁾	+
22	doba trajanja valjevega sklopa	- ⁹⁾	+

LITERATURA

[1] Gruden, D.: The passenger car engine on the threshold of its second century - state of development and perspectives. Natural Resources and Development. Vol. 28, ed. by the Institute for Scientific Co-operation. Tübingen, Fr Germany, 1988.

1) Ocena velja za motorje z vzvratnim izpiranjem in karter-sko črpalko. Vzдолžno izpiranje potrebuje poleg bata dodatni krmilni organ s potrebnim pogonskim mehanizmom. večji motorji zaradi krožnega mazanja tudi samostojno zračno črpalko, zaradi česar postaja konstrukcija bolj zapletena.

2) Običajni kovinski materiali za pretočni ventil ali vrteči se zasun verjetno ne bi bili primerni. Med novimi materiali mnogo obeta keramika.

3) Specifična moč glede na vgrajitveno prostornino v primeru največjega sestava vstopnokompresorskega sistema verjetno ne bi bila boljša od današnjih tlačno polnjenih motorjev.

4) Nehomogenost temperaturnega polja v batu in puši pri dvotaktnih motorjih, pri katerih je bat edini krmilni organ. Vzдолžno izpiranje povzroča v primerjavi s štiritačnim motorjem manjšo temperaturno nehomogenost.

5) Pretočni ventil ali zasun in kanal zgorevalne komore bi bili zaradi toka že goreče zmesi čezmerno toplotno obremenjeni, kar danes pri običajnih motorjih obvladujemo. Rešitev vidimo v uporabi keramike.

6) Pri ottovi izvedbi motorja je specifična poraba tudi pri polni obremenitvi slabša zaradi pobega vnaprej pripravljene zmesi v fazi zamenjave medija, pri delnih obremenitvah pa tudi zaradi slabšega zgorevanja ob večji količini zaostalih plinov.

7) Izboljšanja specifične porabe ne moremo pričakovati iz procesa, morebiti pri zmanjšanju vrtilne hitrosti zaradi manjših mehanskih izgub.

8) Zaradi pobega sveže zmesi je pri ottovi izvedbi motorja tudi oddajanje ogljikovodikov veliko in zaradi slabega zgorevanja ob zaostalih plinih tudi oddajanje ogljikovega monoksida, zaradi enakega razloga pa je oddajanje dušikovih oksidov boljše. Dizelska izvedba motorja bi bila lahko enakovredna s štiritačnim.

9) Prekinjanje oljnega filma zaradi odprtín v puši valja in temperaturna nehomogenost, razložena v opombi 2), ter deformacije puše, so glavni vzroki za manjšo zanesljivost in krajšo dobo trajanja.

[2] Broom, D.: The present status and future development of the european passenger car engine. Proceedings of XXI. FISITA Congress, Belgrade, 1986.

[3] Randle, J.N.: The state of the art. Automotive technology international '87 Sterling Publications Limited, London

Avtorjev naslov: prof.dr. Radislav Pavletič, dipl.inž.
Fakulteta za strojništvo,
Ljubljana, Murnikova 2