

Motor

Úvaha o dvoudobém motoru

Moderní dvoudobý motor není již oním jednoduchým motorem, k jehož výrobě sahaly továrny z důvodů ekonomické výhodnosti a technologické jednoduchosti. Rozvoj teorie dvoudobých motorů, a to hlavně zásluhou japonských konstruktérů a výrobců, dosáhl dříve netušených možností. Detailní a důsledné rozbor, při kterých každá součást procházela znovu a znovu kritickým sítím techniků, dovolily využít technologických vlastností konstrukčních materiálů až na samotné hranice pevnosti a ostatních vlastností těchto materiálů; nezdědka si dokonce vynutily vývoj úplně nových koncepcí a technologických postupů.

Tento rozvoj se projevil v oblasti sériových, ale především závodních motocyklových motorů, ať již jde o stroje terénní, soutěžní či silniční závodní. Před druhou světovou válkou se konstruktérům motocyklových motorů ani nesnilo o takovém bouřlivém rozvoji. Můžeme bez nadsázky mluvit o tom, že konstrukce motocyklových motorů – hlavně v nižších objemových třídách – je typickým příkladem vědecko-technické revoluce, zasahující do velkého množství vědních oborů. Slavná předválečná závodní čtyřdobá dvěstěpadesátka italské firmy Benelli dosahovala výkonu asi 25 k při tehdy senzačních 11 000 otáčkách za minutu. Tyto otáčky byly však zaplacené velmi malou spolehlivostí a trvanlivostí motoru.

Sériově vyráběné dvoudobé i čtyřdobé motocyklové motory běžně dosahují větší hodnoty výkonu než tehdejší speciální

závodní motory, vyrobené s vynaložením ohromných částek. Není již vzácností u cestovní sériové dvěstěpadesátky s dvoudobým motorem výkon 26 k a více při 6 000 až 8 000 otáčkách za minutu. Tomu také odpovídají maximální rychlosti a zrychlení těchto strojů, a to samozřejmě při zachování této trvanlivosti a spolehlivosti, které jsou naprosto nutné u stroje používaného k denním jízdám bez vysoce odborné údržby a zacházení. Výkony závodních motorů nás stále překvapují. Ohromné částky vynakládané výrobci na vývoj a výrobu speciálních motorů se nutně musí projevit i ve výsledcích. Není to však jenom reklama, co nutí výrobce k investování takových prostředků do vývoje závodních motorů – je to jediná možnost, jak získat zkušenosti a podklady k zlepšování jednotlivých konstrukčních prvků pro sériové výrobky. Každý závodní motocykl je tedy jakousi pojízdnou laboratoří.

Motory třídy do 50 cm³

Objemová třída do 50 cm³ je co do počtu výrobců ve světě snad nejrozšířenější a také nejrozmanitější třídou vůbec. K oblíbenosti a rozšíření cestovních a sportovních motocyklů a mopedů této třídy přispívá nejenom ekonomická výhodnost provozu, ale dříve i značně jednodušší registrace a snadnější získání řídičských průkazů. Závodní motocykly této třídy měly vůbec nejvyšší měrné výkony z objemu válce 11. Uvedme příklad pro porovnání: V době vzniku této knihy měl nejrychlejší závodní

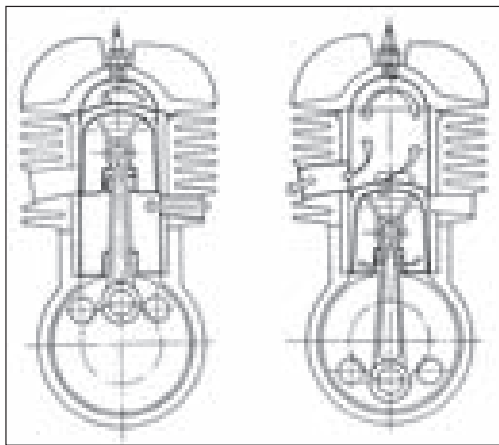
motocykl ve třídě 350 cm³ – japonská Honda (2× OHC, čtyřdobý motor, šestiválec) legendárního britského jezdce a mnohonásobného mistra v silničních závodech Mike Hailwooda – v sezóně 1968 výkon asi 80 k. To odpovídá měrnému výkonu 228 k/l.

A ještě pro zajímavost: předválečný rekord v měrném výkonu měl závodní automobilový motor MG s kompresorem – 170 k/l. A padesátky? Na všech světových závodních drahách při mistrovství světa měly padesátky zcela běžně výkon přes 15 k. Vypočítáme-li měrný výkon, dojdeme k číslu 300 k/l. A rekordní motocykly této třídy – např. Kreidler, který v r. 1968 překonal hranici 200 km/h (dosažená maximální rychlost 208 km/h), měl motor s výkonem přes 18 k (měrný výkon je tu 360 k/l).

Tyto závodní padesátky dosahovaly na světových okruzích takových rychlostí, že technická komise FIM musela předspsat spodní minimální hranici hmotnosti těchto strojů. Výrobci totiž ve snaze postavit stroje co možná nejlehčí nezřídka poddimenzovali rámy a celé šasi. Omezení minimální hmotnosti zmenšilo možnosti takového technického hazardu a podstatně zvýšilo bezpečnost jezdců při vysokých rychlostech. Technické parametry, hlavně se zřetelem na bezpečnost, jsou všude na závodech technickými komisaři přísně a nesmlouvavě kontrolovány. Jde zejména o tuhost rámu, o kvalitu použitých materiálů, jakost provedení svárů apod.

Abeceda dvoudobého motoru

Chceme-li vylepšovat výkon dvoudobého motoru, je dobře seznámit se dokonale



Obr. 1 Hlavní pracovní fáze dvoudobého cyklu

s jeho činností. Je chybou, že mnoho jezdců tuto zásadu často nedodržuje a dělá různé úpravy podle nejistých rad – a výsledky tomu bohužel také odpovídají. Alespoň ve stručnosti popíšeme funkci dvoudobého motoru s přihlédnutím ke zvláštěm a problémům vysokých otáček, používaných u vysoce výkonných závodních motorů (**obr. 1**).

Sledujme tedy postup pochodů ve dvouobém motoru. Při pohybu pístu z dolní úvratě směrem nahoru se v klikové skříni motoru vytváří podtlak. Při otevření sacího systému (způsoby tohoto otevření popíšeme později) proudí do klikové skříň směs vzduchu a pohonné látky, vhodně zpracovaná karburátorem nebo vstřikovacím zařízením. Toto proudění však nekončí dosažením horní úvratě, ale vlivem setrvačnosti plynového sloupce v sacím systému pokračuje i po část pohybu pístu směrem dolů, kdy v klikové skříni dochází ke stlačování nasáté směsi – takzvaná **dolní komprese**.

Ve vhodném okamžiku se pohybem pístu otevrou prepouštěcí kanály a směs stlačená v klikové skříni začne proudit pře-

pouštěcím systémem do pracovního válce motoru. Toto **přepouštění** probíhá symetricky okolo dolní úvratě.

Směs, která vnikla přepouštěcími kanály do pracovního prostoru válce, napřed vypláchne horní prostor válce a spalovací prostor v hlavě válce a vypudí zbytky spálené směsi a zplodin hoření, které vznikly ve válci z předcházejícího cyklu hoření. Část nové směsi přitom unikne spolu se spálenými plyny do výfuku.

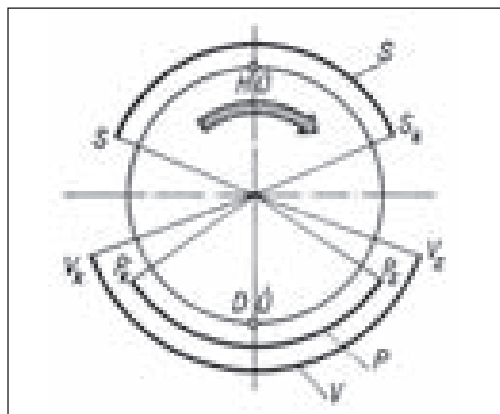
Při tomto pochodu proběhne píst dolní úvratí; při pohybu vzhůru uzavře horní strana pístu nejprve přepouštěcí kanály, čímž se definitivně skončí přepouštění. Při dalším pohybu vzhůru uzavře horní strana pístu i výfukové kanály – tím se skončí **výfuk**. Směs, která je po uzavření výfuku uzavřená ve válci, je při dalším pohybu pístu stlačována směrem nahoru. Toto stlačování je nazýváno **kompresí**. Těsně před doběhem pístu k horní úvratí je směs stlačena do spalovacího prostoru v hlavě válce zapálena jiskrou zapalovací svíčky. Směs rychle prohoří ve fázi těsně okolo horní úvratě pístu, změní se v horké spaliny a tlak ve spalovacím prostoru prudce stoupne. Tlak působí na dno pístu a přinutí píst k pohybu dolů. Nastává **expanze**, kdy píst při pohybu dolů přebírá tlakovou energii stlačených plynů, mění ji v energii mechanickou a předává ji přes ojnici klikovému hřídeli.

Při expanzním pohybu pístu dolů z horní úvratě píst nejprve otevře výfukový kanál. Začíná výfuk, při kterém se začne vyprazdňovat válec od spálených plynů, které již odevzdaly hlavní část své energie. O určitý časový úsek později se otvírá přepouštěcí kanál a **celý cyklus se opakuje**. Doba otevření jednotlivých kanálů se uvádí v úhlových stupních pootočení klikového hřídele. Průběh těchto vztahů, které nazýváme

časování motoru, můžeme znázornit jednoduchým diagramem (**obr. 2**), kde $D\dot{U}$ značí dolní úvratě pístu, $H\dot{U}$ je horní úvratě pístu, S je doba sání, P značí přepouštění, V je doba, po kterou probíhá výfuk. Označme S_z bod, kdy začíná sání, S_k je okamžik, kdy sání končí. P_z – přepouštění začíná, P_k přepouštění končí. Bod V_z určuje začátek a V_k konec výfuku.

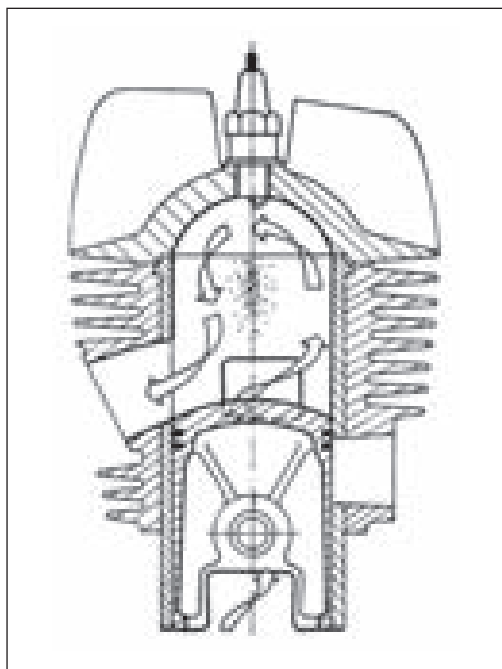
Z tohoto diagramu vidíme, že přepouštění a výfuk se navzájem překrývají, tj. po určitou dobu probíhají současně a v jednom prostoru, jak jsme již dříve uvedli. Při tomto překrývání je velmi důležitý vzájemný vztah výfukového a přepouštěcího kanálu. Při expanzi, tj. pohybu pístu z $H\dot{U}$, klesá tlak spálených horkých plynů úměrně se zvětšujícím se objemem prostoru uvolněného pístem. V okamžiku otevření výfukového kanálu horní hranou pístu dojde ve válci k rázovému poklesu tlaku. V ústí výfukového kanálu se vytvoří postupná vlna, která rychlostí zvuku projde výfukovým systémem.

Pokles tlaku ve válci rychle pokračuje – v okamžiku otevření přepouštěcího kanálu musí být tlak plynů ve válci menší, než je



Obr. 2 Úhlový diagram rozvodu

tlak směsi připravené k přepouštění v prostoru pod pístem a v dolní části přepouštěcích kanálů. Je-li totiž tlak nad pístem v okamžiku otevření přepouštěcích kanálů větší než v prostoru pod pístem, vnikne část spálených plynů přepouštěcím kanálem zpět do klikové skříně. V tom případě dojde k částečnému smíšení čerstvé směsi se spálenými plyny, a k znehodnocení jakosti směsi. Dále se podstatně omezí doba, která je k dispozici pro vlastní přemístění směsi z klikové skříně do pracovního prostoru. Musíme si uvědomit, že v závodním motoru, který pracuje např. při 12 000 otáčkách za minutu – to je 200 otáček za jednu sekundu – je na přepouštění směsi z klikové skříně do válce za každou otáčku k dispozici doba zhruba 0,002 s. A nyní jeden



Obr. 3 Schéma vratného vyplachování

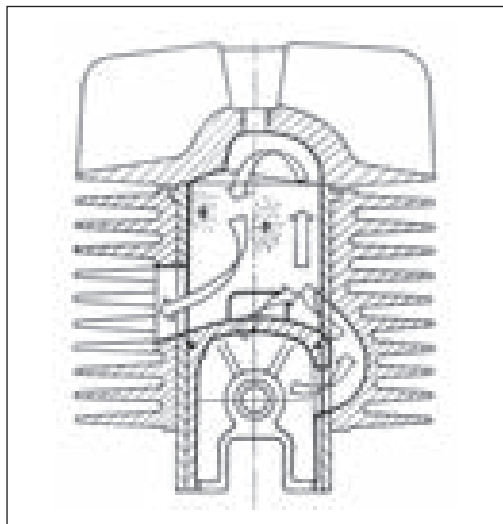
praktický poznatek. Motor, u kterého dochází k takovému pronikání výfukových plynů do motorové skříně, poznáme podle začernání přepouštěcího kanálu, popřípadě podle zakarbonování celých setrvačnicků klikového mechanismu.

Vyplachování válce

Při samotném přepouštění je nutno nejen dopravit maximální množství z klikové skříně do prostoru nad píst, ale také dát tomuto množství správný směr a pohybovou energii, nutnou k dobrému vypláchnutí pracovního prostoru válce.

Nejčastěji používaným druhem vyplachování je **vratné vyplachování (obr. 3)**, jehož autorem byl Dr. Schnürle. Přepouštěná směs je přitom usměrňována horním vyústěním přepouštěcích kanálů téměř vodorovně a rovnoběžně s plochým nebo mírně vyduťtým dnem pístu bez deflektoru na zadní stěnu válce. Zadní stěnou rozumíme stěnu válce protilehlou výfukovému kanálu, kde se proudy z obou přepouštěcích kanálů setkávají a společně pokračují po stěně válce nahoru do spalovacího prostoru. Tvar spalovacího prostoru v hlavě válce obrací směr proudících plynů dolů opět k výfukovému otvoru. Nová přepouštěná směs při tom před sebou vytlačuje zbytky spálených plynů.

Nejdůležitější varianta tohoto vyplachování je s výhodou používána u motorů opatřených sacím šoupákem, kde zadní stěna válce není opatřena sacím otvorem. U těchto motorů bývá proveden ještě jeden dodatkový třetí přepouštěcí kanál (**obr. 4**). Jeho vyústění do válce nesměruje rovnoběžně se dnem pístu vodorovně do válce,



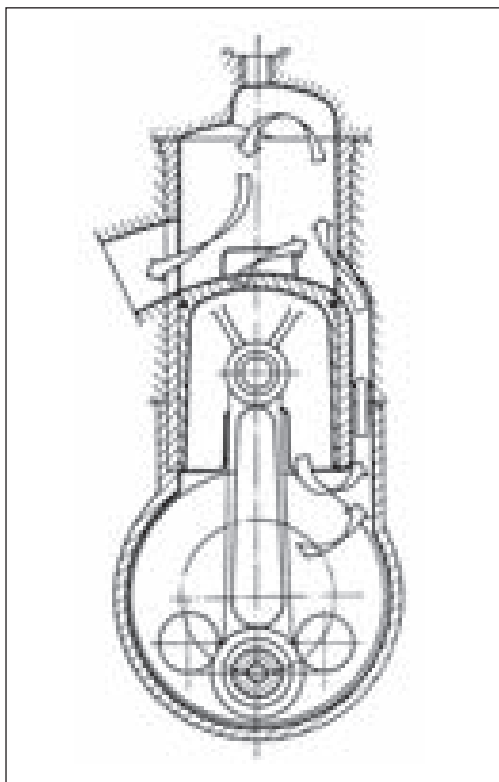
Obr. 4 Třetí přepouštěcí kanál zlepšuje vyplachování

ale přibližně pod úhlem 45° nahoru směrem k hlavě. Oba boční vodorovné přepouštěcí proudy jsou tímto třetím přepouštěcím proudem usměrněny směrem nahoru a proudění se značně urychlí. Velmi důležité při tom je, že výsledný přepouštěcí proud směsi stoupá přesně rovnoběžně s osou válce.

Vraťme se však ještě k úhlu 45° , pod kterým vystupuje třetí přepouštěcí proud do válce. Pro usměrnění celkového proudu směsi při přepouštění nahoru by byl teoreticky vhodnější ještě strmější úhel. Při tak strmém kanálu se však užitečný průřez kanálu v řezu kolmém k ose proudění zmenšuje natolik, že třetí kanál ztrácí na účinnosti. Třetí přepouštěcí kanál má dvě hlavní varianty. U jedné z nich, dá se říct původní, známé ze závodních motocyklů MZ, se používá krátkého třetího kanálu. Směs prochází otvorem ve stěně pístu, který odpovídá spodnímu vyústění ve válci. Výhodou tohoto provedení je, že dosud chladná

směs musí projít pístem a účinně jej chladí. Také horní ojnicí ložisko je lépe chlazeno a mazáno směsí. Závažnou nevýhodou je značné zhoršení mechanické pevnosti pístu, který je narušen otvorem právě na mechanicky více namáhané straně pláště pístu. Také spodní vyústění kanálu zhoršuje tvarovou stálost vložky válce.

Druhá varianta, původně využívaná u strojů Yamaha, se vyznačuje delším kanálem (**obr. 5**), vycházejícím až z klikové skříně. Výhodou je neporušený tvar pláště pístu a větší tvarová stálost dolní části válce. Delší kanál pak dovoluje lepší vedení a usměrnění sloupce plynu. Nevýhodou je



Obr. 5 Dlouhý třetí přepouštěcí kanál

dlouhý kanál, jehož činnost bývá často nedostatečná.

Rychlost proudění v kanálech dosahuje v některých fázích, např. při začátku výfuku a v době kolem jedné třetiny přepouštění, kritické hodnoty, což značí, že rychlost nemůže být již zvýšena větším rozdílem tlaků. Rychlost proudění můžeme ovlivnit, a tak zvětšit průtočné množství plynů, pouze zlepšením tvarováním průběhu, vstupních a výstupních otvorů kanálů.

Spalovací prostor

Tvar spalovacího prostoru musíme posuzovat ze dvou hledisek. Je to jednak vhodnost tvaru pro vlastní spalování, jednak jeho tvar usměrňující proudění ve spalovacím prostoru. Prohořívání směsi zapálené ve spalovacím prostoru probíhá přibližně rychlostí 60 m/s. Tato rychlost je závislá na složení směsi a kromě toho ještě na tlaku ovlivněném především hodnotou kompresního poměru, na teplotě, vlhkosti a na rovnoměrném promíšení spalované směsi.

Bez vlivu proudění by se plamen šířil od bodu zapálení směsi elektrody svíčky v kulové, resp. v polokulové vlně, protože bod zapálení leží přibližně v úrovni povrchu spalovacího prostoru. Směs ve spalovacím prostoru však velmi intenzivně víří a toto víření je vlivem proudění při výplachu směřováno, a proto na výsledný tvar spalovací vlny má vliv rychlost částic směsi. Postupná rychlost je přibližně shodná s rychlostí výsledného přepouštěcího proudu. Tato rychlost zpravidla o něco přesahuje rychlost hoření. Výsledný tvar spalovací vlny má pak tvar poloviny kužele o vr-

cholovém úhlu asi 70°. Tento polokoužel je zakřiven podle tvaru spalovacího prostoru.

Podle této teorie je výhodný tvar spalovacího prostoru, který zavedla u závodních motorů firma DKW již v roce 1950. Hlava je zde opatřena tzv. **antidetonační štěrbínou**, která je vytvořena nad výfukovým kanálem. Štěrbina má tloušťku 0,75 až 1,5 mm a v této vzdálenosti sleduje tvar dna pístu v horní úvratí. Při doběhu pístu do horní úvratě je z této štěrbiny směs vytlačena vodorovně, rovnoběžně se dnem pístu. Vzniklý proud se složí s prouděním z přepouštění a vytvoří velmi intenzivní víření ve spalovacím prostoru. Tímto vířením se spalovací směs velmi dokonale promísí.

Další velkou výhodou tohoto spalovacího prostoru je tvar, který při vyplachování ohně vyplachovací proud od přední strany válce, tj. od stěny s výfukovým otvorem, směrem blíž k ose válce. Tím umožní vyplachovacímu proudu zasáhnout jádro vyplachovaného prostoru, které by s použitím klasického půlkulového spalovacího prostoru zůstalo nedotčeno a ponechalo by ve směsi velký podíl spálených plynů. Tím se také znatelně prodlouží dráha vyplachovacího proudu a zmenší se únik čerstvé směsi do výfukového kanálu.

Nejteplejším místem motoru je zpravidla horní hrana pístu v místě, kde sousedí s vyústěním výfukového kanálu do válce. Toto teplé místo na pístu je nejdéle ohříváno horkými nebo ještě hořícími plyny. Teplota na takovém místě často dosahuje hodnot nad 300 °C, což odpovídá teplotě potřebné k zažehnutí pohonné směsi (nebo ji přesahuje). Přejde-li směs do styku s takovým přehřátým místem, mohou nastat samozápal, které způsobují nadměrné namáhání celého klikového mechanismu a ložisek motoru. Tím, že samozápal nastávají v nevhodnou dobu, většinou před normálním

zapálením svíčkou a hlavně daleko před horní úvratí, vznikají síly působící proti směru pohybu pístu, které způsobí markantní snížení výkonu motoru a další prudký vzestup teploty.

Mnohem nebezpečnějším jevem než samozápaly jsou u závodních motorů detonace. Motor pracující s detonacemi má totiž mnohem nižší životnost i spolehlivost, přehřívá se a má nižší výkon. Detonace se navenek projevují jasným kovovým zvukem, který bývá někdy naprosto nesprávně označován za klepání ventilů. Odstranění detonací u sériových motorů je celkem jednoduché. Jelikož detonace se projevují hlavně při vyšším zatížení při nízkých nebo středních otáčkách, stačí ubrat plyn nebo přefadit na nižší stupeň a detonace hned přestanou. Spolehlivější a hlavně trvanlivější je použití benzínu s vyšším oktanovým číslem nebo snížení předstihu.

U sportovních motocyklů nelze při závodě ubírat plyn, ani zbytečně řadit. Zde je však již vznik detonací částečně omezen sportovním způsobem jízdy s udržováním motoru v oblasti nejvyšších otáček. Zmenšení předstihu by mnohem více snížilo výkon, než omezilo vznik detonací. Rovněž benzin nelze měnit, neboť jeho druh i oktanová hodnota jsou předepsány. Hlavní cestou k odstranění vzniku detonací bude tedy volba optimálního kompresního poměru a vhodného antidetonačního tvaru spalovacího prostoru.

Při použití spalovacího prostoru s antidetonační šterbinou je v okolí horní úvratě stlačená směs oddělena od teplého místa pístu šterbinou. Prohořívání ve šterbině je mnohem pomalejší než ve volném prostoru spalovací komory, a to i při samovolném vznícení směsi ve šterbině.

Spalovací prostor, vytvořený v hlavě válce, který není rozprostřen nad celým dnem

pístu, má při stejném kompresním poměru větší hloubku než polokulového prostoru. Zvláště u malých jednotek s objemem 50 cm³ se tím dosáhne vhodné a nutné odlehlosti elektrod zapalovací svíčky ode dna pístu. Je-li tato vzdálenost příliš malá, zasahuje plamen hořící směsi příliš brzo na povrch pístu. Výsledkem je značné zvýšení teploty dna pístu v oblasti přímo pod svíčkou, které může spolu s jinými vlivy způsobit zadření motoru nebo propalování dna pístu. Je zajímavé, že při propálení nedochází vlastně k odtavení materiálu; pouze mechanické vlastnosti přehřáté části materiálu pístu se natolik zhorší, že se postižená část vylomí ze dna pístu. Okraje otvoru mají pak ostře hraničený lom. Vypadlá část dna pístu pak obvykle způsobí havárii motoru.

S odtavením části pístu se spíše setkáme na okraji hlavy pístu – hlavně při přehřátí motoru vlivem příliš chudé směsi nebo nesprávného předstihu zapalování. Odtaví-li se materiál na kraji pístu, zablokuje se obvykle pístní kroužek a motor se zadře.

Druhy rozvodu

Rozvodem rozumíme u motoru zařazení nebo způsob, kterým ovládáme cesty palivové směsi a plynů v motoru. Mluvíme-li o dvoudobém motoru, pak výfuk a přepouštění jsou zpravidla ovládány pohybem pístu, který svou horní hranou postupně zakrývá a uvolňuje otvory výfukových a přepouštěcích kanálů, umístěné v horní části válce. Pouze z dob historie motorů známe dvoudobý motor, jehož výfuk byl řízen ventilem v hlavě válce ovládaným vačkou, podobně jako u motorů čtyřdobých.

Rozdíly v různých rozvodech dvoudobých motorů omezujeme na rozdíly v ovládní sání. Základem je rozvod sání určovaný pohybem pístu. Sací otvor je ovládán spodní hranou pístu. Tento rozvod má několik nevýhod. Je to hlavně symetričnost sání. To značí, že úhel, který udává bod začátku sání před horní úvratí, je shodný s úhlem, který určuje bod uzavření sání po horní úvratí. Sání má končit v okamžiku kdy se vlivem stoupajícího tlaku v klikové skříni zastaví sloupec plynů, pohybující se setrvačností hmoty plynů v sacím systému. Je to při vysokých otáčkách úhel asi 70° po horní úvratí. Je-li tento úhel větší, můžeme hlavně při nižších otáčkách pozorovat vyhazování směsi ven z difuzéru karburátoru.

Při symetrickém pístovém rozvodu vychází tedy maximální celkový úhel sání $2 \times 70^\circ$, to je 140° . Sání by však ve skutečnosti mohlo začínat mnohem dříve. Teoretickým rozbohem se dospělo k hodnotám celkového úhlu otevření sání přes 200° pootočení klikového hřídele při nesymetrickém umístění kolem horní úvratí. Proto byly realizovány některé způsoby nesymetrického rozvodu sání.

Přirozený rozvod sání je vytvořen sacím ventilem, který se automaticky otevírá při dosažení určitého podtlaku v klikové skříni. Při stoupnutí tlaku před přepouštěním se ventil sám uzavře. Ventil je zpravidla membránový, vytvořený ocelovou planžetou, která svou pružností těsní na plochém sedle sacího otvoru.

Nevýhodou takového uspořádání je značné zvětšení škodlivého prostoru ve spodní části motoru, a tím zhoršení plnicí účinnosti klikové skříně. Dále je zřejmé, že tento sací systém bude vyhovovat pouze pro nízké a střední otáčky motoru. Tím se omezuje použití pouze na cestovní moto-

cykové motory nebo stabilní průmyslové motory. Aby planžetové ventily mohly sledovat frekvenci vysokých otáček, musely by být velmi tuhé, a tím by neúměrně stoupal odpor proudění nasávané směsi. Značného rozšíření doznal tento způsob sání u velké většiny přívěsných lodních motorů. Jako příklad uvádíme americké motory Mercury, Johnson, švédské Crescent, sovětský motor Moskva a mnoho jiných.

Největší překvapení však přišlo před sezónou 1972 z Japonska, kdy Yamaha zavedla sání ovládané membránou na své terénní i soutěžní motocykly. Zavedením speciální chromniklové oceli na membránu se podařilo zajistit její správnou činnost až do 8 000 ot/min. Největší předností tohoto systému bylo však proudění části nasávané směsi ze sacího potrubí do spalovacího prostoru bez obvyklého průchodu klikovou skříni.

Šoupátka

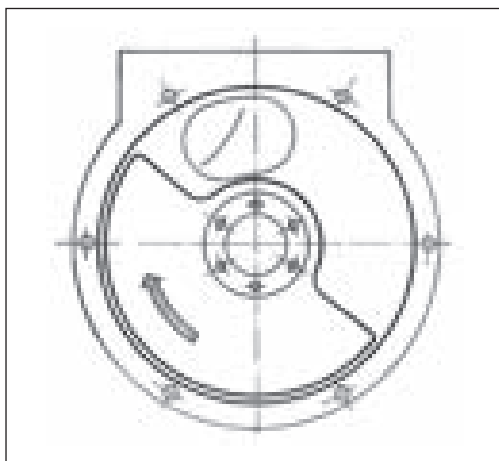
Nesymetrický rozvod sání nejlépe řešily motory se sacím šoupátkem. U motorů pro modely letadel s nepatrným zdvihovým objemem od 0,8 do 5 cm^3 bývalo často šoupátko vytvořeno bočním otvorem v dutém klikovém hřídeli motoru. Podobné šoupátko měl i lodní motor Orlik s objemem 73 cm^3 , výrobek n. p. Motor v Českých Budějovicích. Další typ šoupátka byl tvořen přímo tvarem obvodu nebo čela setrvačnicku klikového mechanismu. Jako příklad poslouží starší konstrukce závodního motoru DKW nebo cestovního skútru Vespa.

Jednou z nejúspěšnějších konstrukcí šoupátek bylo segmentové rotační šoupátko vedle setrvačnicku klikového hřídele.

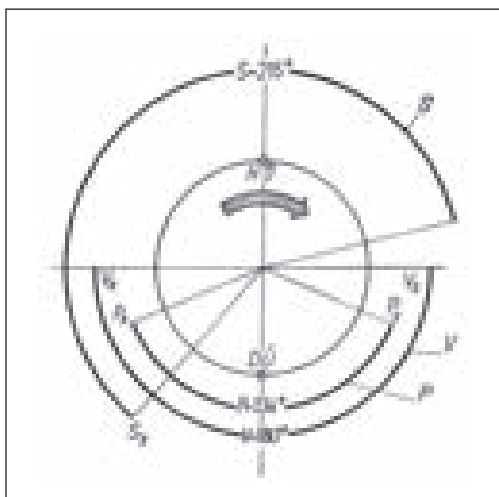
Původní patent na takové šoupátko (z roku 1951) patřil firmě MZ v NDR a jeho původcem je Daniel Zimmermann. Šoupátko mělo tvar plochého segmentu z ocelové planžety nebo z plastické hmoty a bylo připevněno přímo na klikovém hřídeli. Otáčelo se buď přímo kolem klikového hřídele v klikové skříni nebo ve zvláštním prostoru vedle klikové skříně. Tvar výřezu šoupátka umožňoval otevírání a zavírání vstupního otvoru sání. Sací kanál zpravidla ústil do spodní části jednoho přepouštěcího kanálu v klikové skříni.

U závodních motorů se šoupátka zhotovovala z broušené a leštěné tvrdé ocelové planžety. Tloušťka planžety byla asi 0,4 až 0,8 mm. Pro zmenšení součinitele tření planžety o bok šoupátkové skříně býval povrch šoupátka opatřen vrstvou tvrdého chromu, která znamenitě odolávala otěru a značně zvyšovala životnost šoupátka. Tenká stěna šoupátka umožňovala takovou pružnost a poddajnost, že šoupátko se působením přetlaku v klikové skříni mohlo přitisknout k vnější stěně šoupátkové skříně a těsnit směrem ven. Úlve mezi šoupátkem a stěnou šoupátkové skříně bývala asi 0,4 mm. V době, kdy je v klikovém prostoru podtlak, je šoupátkem řízené stání otevřeno a směs může proudit do motoru. Šoupátková skříň se vyráběla z kvalitní oteruvzdorné hliníkové slitiny (**obr. 6**).

Velmi důležité je přesné vyrovnání povrchu šoupátka, neboť zdeformované plochy jsou ve stálém styku se stěnami šoupátkové skříně a způsobují značné zahřívání. Mazání šoupátka je olejem z pohonné směsi olej-benzin. U konstrukcí, které mají oddělené mazání olejovým čerpadlem, je šoupátková skříň jedním z mazacích míst, kam je z olejového čerpadla přiváděn čerstvý olej. Šoupátkový rozvod sání závodního motoru používal sacího úhlu asi 215° po-



Obr. 6 Schéma rotačního šoupátka v bočním pohledu



Obr. 7 Úhlový diagram šoupátkového závodního motoru

otočení klikového mechanismu. Úhel sání byl rozmístěn tak, aby sací otvor byl zcela uzavřen šoupátkem 70° až 75° po horní úvrati. Okamžik uzavření byl prakticky shodný s okamžikem ukončení sání u pístového rozvodu sání.

Pro názornost porovnejme průběh otevírání a zavírání sacího kanálu řízeného pístem s průběhem otevírání a zavírání sacího otvoru u šoupátkového rozvodu (**obr. 7**).

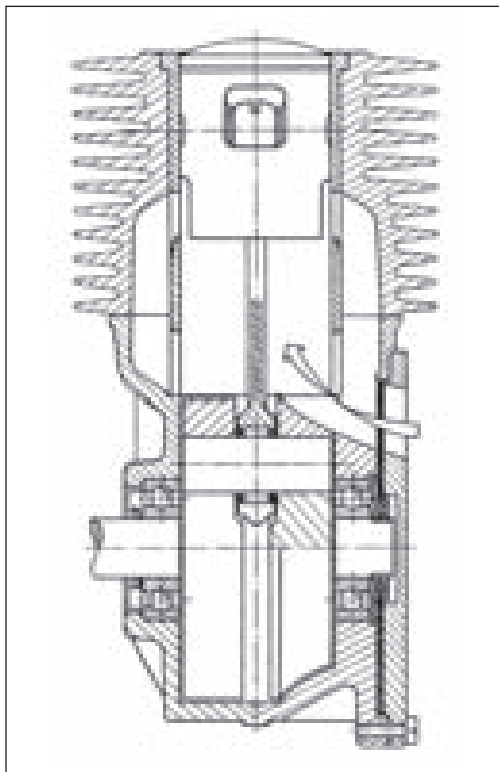
U motoru s rozvodem pístem s celkovým úhlem symetrického sání 150° začíná píst při pohybu vzhůru spodní hranou otevírat vyústění sacího kanálu na spodní hraně sacího kanálu 75° před horní úvratí. V horní úvratí je sací kanál teprve celý otevřen. Po dosažení horní úvratě se píst začne pohybovat dolů a začíná zavírání sacího kanálu. V úhlu 75° po horní úvratí je opět sací kanál úplně uzavřen. Sací kanál je tedy úplně otevřen jenom krátký okamžik kolem horní úvratě. Celou ostatní dobu je kanál částečně uzavřen pohybující se spodní hranou pístu; to znamená, že v sacím kanálu je skoro stále překážka, která značně brání plynulému proudění.

Naproti tomu u šoupátkového rozvodu je sací otvor umístěn téměř na obvodu segmentového šoupátka. Doba otevírání a zavírání je (úhlově) velmi krátká – podle velikosti sacího otvoru v rovině šoupátka asi do 40° pootočení klikového hřídele. To znamená, že sací otvor je částečně zcloněn šoupátkem $2 \times 40^\circ = 80^\circ$. Zbývajících 135° z celkových 215° je sání úplně otevřené bez jakékoli rušivé překážky.

Pohyb kotoučového rotačního šoupátka je shodný s pohybem klikového mechanismu. Rozdíl je v upevnění šoupátka na klikovém hřídeli. Při pevném naklínování náboje šoupátka na klikový hřídel musí být šoupátko velmi tenké, aby mohlo těsnit na vnější stěnu šoupátkové skříňe vlastní pružností. Běžnější byl způsob navlečení náboje šoupátka na jemné modulované drážkování na hřídeli s možným malým axiálním posuvem, který dovolí šoupátku zaujmout optimální polohu v šoupátkové skříni. Modulované drážkování dovoluje

docela jemné přestavování polohy šoupátka při zkouškách motorů.

U cestovních motorů bývaly masivnější plechové segmenty diskových šoupátek upevněny na kolících vyčnívajících z boků setrvačnicků a byly přitlačovány k vnější stěně klikové skříňe spirálovými přitlačnými pružinami, zapuštěnými do boků setrvačnicků. Setrvačnický klikového mechanismu (**obr. 8**), které sousedily se šoupátkem nebo s šoupátkovou skříní, byly obvykle tvarovány tak, aby vstupující směs byla bez zbytečných odporů nasměrována vzhůru ke dnu pístu.



Obr. 8 Tvarovaný setrvačnick je pokračováním sacího kanálu