

**D**votaktni motor posebno je osjetljiv na izvedbu ispušnog sustava i to znatno osjetljiviji od četverotaktnog. Ispravnim ispušnim sustavom se iz dvotaktnog motora može „izvući“ više snage. Bolje rečeno, s neodgovarajućim ispušnim sustavom možemo poremetiti sve parametre rada motora kao što su karburacija i upaljiva-nje smjese, radna temperatura, broj okretaja, snaga i slično.

Nakon iscrpnih istraživanja, naročito 50-ih godina prošlog stoljeća i kasnije, pomoću matematičkog

prorauna je moguće uz 80% sigurnosti odrediti temeljnu dimenziju ispušnog sustava nekog agregata. Preostalih 20% optimalizacije rada odnosi se na poboljšanja kroz praktičnu metodu pokušaja i pogreške.

Dobar ispušni sustav će osigurati ispravan rad motora bez gubitaka, a poboljšanja su pogotovo moguća u svrhu takmičenja. Kvalitetno odabran i izveden ispušni sustav može povećati snagu i zakretni moment motora čak do 30 ili 40%.

U početku se ispušni sustav smatrao nevažnim elementom, no njemački su stručnjaci 1949. godine trocilindrični natjecateljski DKW 350 opremili takozvanim ekspanzionim cijevima.

Praktična iskoristivost motora bila je između 3 i 4 tisuće okretaja u minuti, a ispod ili iznad tog područja motor je bio praktički neupotrebljiv. Termin 'rezonancija' ili 'titraj' upotrebljava se zbog vala ispušnog plina koji izlazeći iz motora u ispušnu cijev tvori rezonantni ili titrajni efekt.

Od trenutka otvaranja ispušnog kanala sve do njegovog zatvaranja ispušna se cijev puni sagorjelim smjesom i stvara takozvani val. U trenutku zatvaranja ispušnog kanala nastaje svojevrsna stanka, sve do novog vala. Tako

**Prvi dvotaktni motor s rezonantnim ispušnim kolektorima bio je DKW 350 iz 1952. godine. Do tada su ispušne cijevi dvotaktnih motora bile otvorene, poput onih na četverotaktnim motorima. Bio je to prijelomni trenutak u razvoju 2T motora**

## Sistem koji je revolucionirao 2T motore ispušni sustav

**Osim što su zaslužni za prepoznatljivi zvuk natjecateljskih dvotaktnih motora, rezonantni ispušni sustavi iskorištavaju fizikalnu pojavu titranja fluida kako bi povećali snagu motora i do 40%**

govorimo o valu ispušnog plina, što je svojevrsni fizikalni fenomen. Valovi vrućih ispušnih plinova premešaju se tako u intervalima i odlaze prema kraju ispušnog sustava, u atmosferu. Ti se plinovi uz tlak od približno 2 atmosfere kreću kroz ispuh brzinom od 500-600 m/s. Brzina plinova ovisi o dosta parametara, poput broja okretaja motora, veličine i položaja ispušnih kanala, temperature motora i slično. Tlak i gustoća plinova opadaju prema izlasku iz ispušnog sustava.

Kao što smo opisivali u prošlim brojevima Moto Pulsa, valja ponoviti da se rezonantna ispušna cijev sastoji od pet osnovnih dijelova. Počevši od motora to su: ulazna cijev, konus, cilindrično tijelo, protu-konus i izlazna cijev.

Stručnjaci su zaključili da ulazna cijev treba biti 1,15 do 1,5 puta većeg promjera od veličine ispušnih kanala i to na donjoj granici ako želimo veći broj okretaja, a veća ako želimo veći zakretni moment. Duljina bi joj trebala biti pri-

tora pri kojem se razvija najveća snaga 8,3=konstanta za uravnavanje američkog sa europskim sustavom mjera

**Witteveen:**

$$L=E \times C / 12 \text{ N}$$

E=trajanje faze ispuha u stupnjevima

C=brzina vala ispušnog plina

N=broj okretaja radilice kod max snage

**Möeler - Van Veen:**

L=otvorenost ispušnog kanala u stupnjevima x 520 / režim rotacije x 12

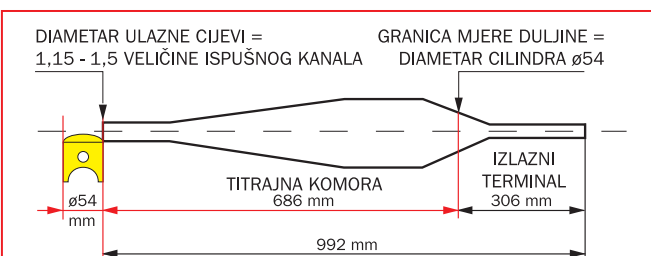
Dvije su posljednje formule identične i preklapaju se s prvom, kao što ste primjetili. Prvo se vrijeme trajanja otvorenosti ispušnog kanala u stupnjevima, mjereno na radilici, množi sa 520, što je srednja brzina ispušnog vala u metrima u sekundi. Dobivena vrijednost se dijeli sa predviđenim najvećim brojem okretaja pomnoženim s indeksom 12.

**Primjer studije:** Duljina ispušnog elementa 2T motora od 125 ccm s ispušnom fazom od 190 stupnjeva i najvećom snagom na 12.000 okr./min. Računa se ovako:

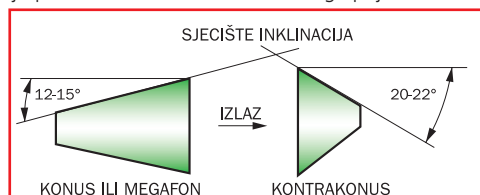
$$\text{Duljina} = 190 \times 520 / 12.000 \times 12 = 98.800 / 144.000 = 0.686$$

Treba napomenuti da se duljina odnosi na početak ulazne cijevi, a završava na mjeri kontrakonusa, koji je istodobno promjer cilindra.

Ulazna cijev nije ništa manje važna od ostalih elemenata, a izbjegava se cilindričan oblik, pa je ta cijev također konična, s malim stupnjem iskošenja (1,5 do 2 stupnja). To iskošenje je potrebno kako bi se ublažio nagli prijelaz u



Duljina ispušne cijevi i način na koji se mjeri



**Površina ispušnog kanala pretvori se u promjer, iz kojeg se zatim izračunava početna dimenzija prvog elementa ispuha. Konična ulazna cijev počinje izračunatim promjerom, a uz kut širenja od 1,5 stupnjeva i duljinu 8 puta veću od početnog promjera završava promjerom od 44,8 mm**

približno 11 puta veća od promjera.

Ova približna mjera se može potkrijepiti i matematički, no moramo odmah naglasti da se računice mnogih vrhunskih svjetskih stručnjaka za 2T motore ne razlikuju bitno, iako su manje razlike ipak neminovne. Amerikanac Jennings, Nijemci Kaaden i Möeler, te Nizozemci Van Veen i Witteveen razvili su vlastite verzije formule ispušnog sustava.

**Jennings:**

$$L=E + V \times 8,3/N$$

L=duljina ispušnog kolektora

E=trajanje faze ispuha u stupnjevima

V=srednja brzina vala ispuha

N=broj okretaja motora

pri kojem se razvija najveća snaga

8,3=konstanta za uravnavanje američkog sa europskim sustavom mjera

**Witteveen:**

$$L=E \times C / 12 \text{ N}$$

E=trajanje faze ispuha u stupnjevima

C=brzina vala ispušnog plina

N=broj okretaja radilice kod max snage

**Möeler - Van Veen:**

L=otvorenost ispušnog kanala u stupnjevima x 520 / režim rotacije x 12

Dvije su posljednje formule identične i preklapaju se s prvom, kao što ste primjetili. Prvo se vrijeme trajanja otvorenosti ispušnog kanala u stupnjevima, mjereno na radilici, množi sa 520, što je srednja brzina ispušnog vala u metrima u sekundi. Dobivena vrijednost se dijeli sa predviđenim najvećim brojem okretaja pomnoženim s indeksom 12.

**Primjer studije:** Duljina ispušnog elementa 2T motora od 125 ccm s ispušnom fazom od 190 stupnjeva i najvećom snagom na 12.000 okr./min. Računa se ovako:

$$\text{Duljina} = 190 \times 520 / 12.000 \times 12 = 98.800 / 144.000 = 0.686$$

Treba napomenuti da se duljina odnosi na početak ulazne cijevi, a završava na mjeri kontrakonusa, koji je istodobno promjer cilindra.

Ulazna cijev nije ništa manje važna od ostalih elemenata, a izbjegava se cilindričan oblik, pa je ta cijev također konična, s malim stupnjem iskošenja (1,5 do 2 stupnja). To iskošenje je potrebno kako bi se ublažio nagli prijelaz u

konični dio ispuha. Prijelaz može izazvati turbulencije koje usporavaju ispušnu smjesu, remete „red“ valova, a samim time usporavaju i smanjuju količinu smjese usisane u motor.

Dakle, početna cijev trebala bi biti izvedena konično, s blagim lukom i bez suvišnih prijelaza i zapreka. Tu je izuzetno važna vrhunska izvedba pri kojoj precizni zavari ne smiju smetati u prolazu vala.

Na završetak ulazne cijevi ispuha nastavlja se konus ili megafon, koji nije od velike važnosti, ali treba se držati zadanog kuta od 12 do 15 stupnjeva. S manjim kutom dobit ćemo dulji konus, koji se koristi kod, primjerice, trial motocikala, a s većim kutom naglo se oslobađa i proširuje promjer, pa se takva izvedba koristi na takmičarskim cestovnim motociklima.

Kontrakonus treba imati kut od najviše 20 do 22 stupnja. To je usporavajući element koji zadržava val i stvara zapreku na izlasku ispušnih plinova. Ova zapreka u obliku povećanja tlaka neće dozvoliti smjesi usisanoj u cilindar da ga napusti kroz površinom velik ispušni kanal. Što je kut konusa veći, zapreka će biti veća, a jasno je da lakoća prolaska ispušnih plinova ovisi i o promjeru izlazne cijevi, kao i o promjeru centralne ekspanzione odnosno rezonantne komore.

Centralna komora je valjkastog, cilindričnog oblika (na skici „C“) i uglavnom povećava ili smanjuje volumen ispuha. Po potrebi je moguće da ona uopće ne postoji ili da bude vrlo dugačka, opet ovisno o namjeni motora.

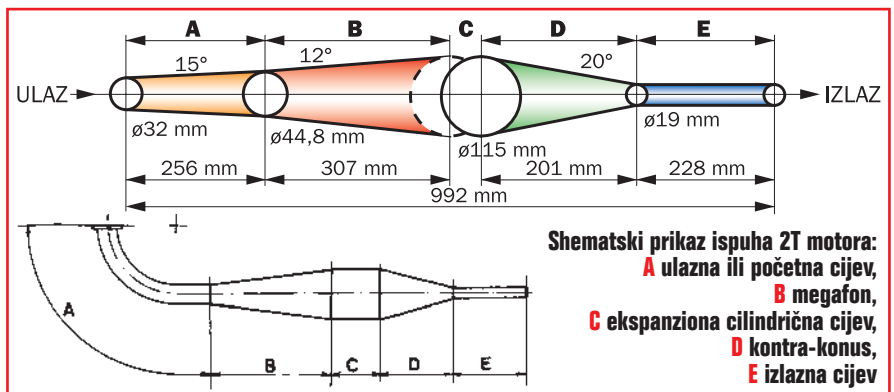
Sjecište dviju inklinacija megafona i kontrakonusa odredit će, mjereno u stupnjima, centralni promjer rezonantne komore. Kao što smo naveli, ona je obično cilindričnog oblika i služi povećanju zapremine ispušnog sustava. Ovisno o kutovima megafona i kontrakonusa promjer će biti veći ili manji, a ne trebaju čuditi niti moguća odstupanja od cilindričnog oblika, jer postoji više pristupa izračunavanju i izradi ispušnog sustava kod 2T motora.

Vrijedi ponovo naglasiti da je izvedba svih elemenata rezonantnog ispuha jako bitna jer svaka, i najmanja, nepravilnost i prepreka unutar ispuha može dovesti do gubitaka koji će rezultirati lošim radom sustava. Završna ili izlazna cijev je upravo to, cijev cilindričnog oblika i vrlo je važna za pravilan rad. U kalkulacijama je njezin promjer između 58 i 62% promjera ulazne cijevi. U našem primjeru to iznosi 60% od 32 mm, dakle 19,2 mm, ili zaokruženo, 19 mm. Duljina bi trebala iznositi 12 puta više od promjera, pa to možemo izračunati kao 19 x 12, što je 228 mm. Premali promjer ili preduga izlazna cijev prouzročit će probleme pri radu motora u visokim režimima vrtnje, gdje valovi ispušnih plinova neće moći napustiti ispuh, što će rezultirati pregrijavanjem motora i teškim postizanjem visokih okretaja.

U suprotnom slučaju, kada je promjer prevelik ili je cijev prekratka, valovi ispušnih plinova će izgubiti svoju energiju i neće se stvarati dovoljno rezonantnog efekta, što će rezultirati



Na ovoj trkačkoj Yamaha 250 iz 1994. godine vidljiv je ispušni sustav koji je vrlo sličan svim ostalima od 125 ccm (2 x 125u ovom slučaju), sa nešto duljom izlaznom cijevi



smanjenjem snage i porastom potrošnje. Uz pridržavanje osnovne formule za izračun dimenzija izlazne cijevi gotovo da i nema mogućnosti pogreške. Moguća je i drugačija kalkulacija putem zapremine, pa tako možemo reći da ukupni volumen ispušnog sustava može biti između 15 i 25 puta veći od zapremine cilindra, zajedno s kompresijskim prostorom. Što je taj odnos manji, broj okretaja motora će rasti, ali bez većeg efekta, dok omjer preko 20 rezultira porastom zakretnog momenta.

U temeljnom će proračunu biti važne tri mjere: ulazna cijev, rezonantna komora i izlazna ci-

jev, a tome možemo dodati i ukupnu zapreminu, no to su samo početne, grube vrijednosti iz kojih je tek kroz probe moguće iskristalizirati konačnu izvedbu.

Prigušivač rezonantnog ispušnog sustava mora biti izveden tako da ne umanjuje titrajni efekt. Stoga se najčešće koristi cilindrični prigušivač na završetku izlazne cijevi. To je najučestalije i najjeftinije rješenje. Rezonantni ispušni sustav je upravo zbog titrajnog efekta vrlo bučan, pa često prelazi i 100 dB. Prigušivač, koji se sastoji od vanjskog plašta, izolirajuće mase (mineralne vune) i perforirane cijevi, smanjit će akustični efekt za približno 10% i dovesti buku unutar granica dopuštenog. Prigušivači s plaštem koji obavija cijeli ispušni sustav mnogo su skuplji i djelotvorniji, tako da se bez smetnji rezonantnom efektu buka može prigušiti i do 40%. I u jednom i u drugom slučaju prigušenje nije na štetu snage, okretaja ili zakretnog momenta pa nije potrebno odstranjivanje prigušivača, jer učinak ostaje isti.

Konusi, koljena, terminali, prigušivači, cijevi i prirubnice elementi su od kojih su sastavljeni ispušni sustavi. Jednostavni, lagani i efikasni, najkraći je opis rezonantnog ispušnog sustava kod 2T motora. ■

