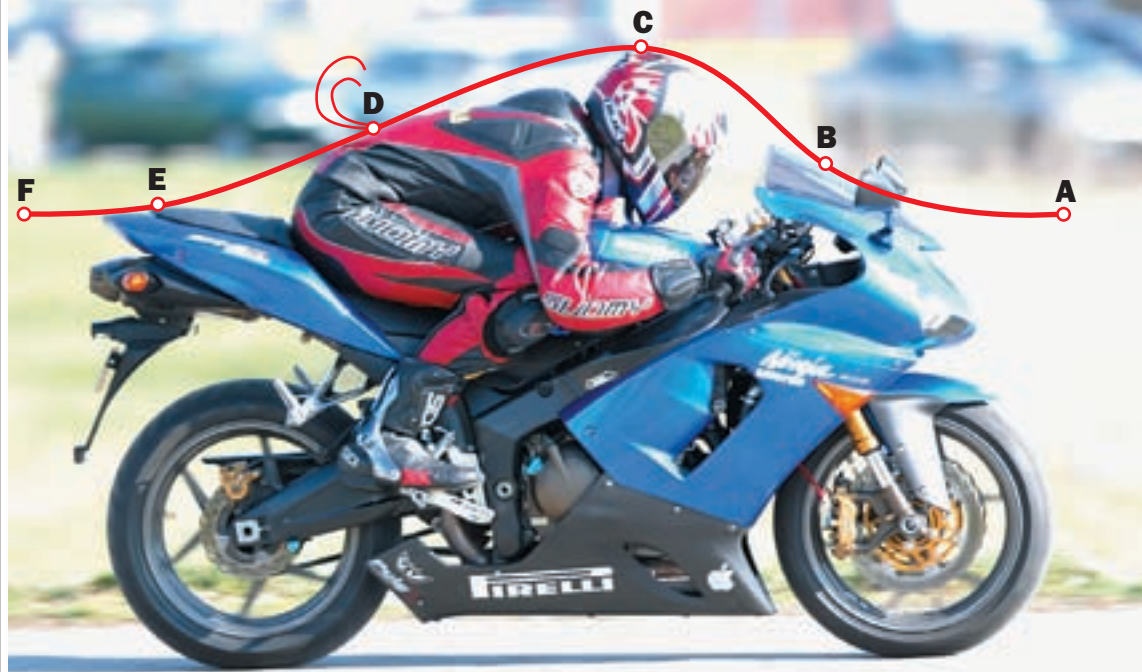


Aerodinamika

SLIKA 1 Ovako izgleda kratak suživot molekule zraka i jurućeg motocikla



Izbjegni vjetar

U posljednjih nekoliko brojeva bavili smo se korištenjem turbo punjača, kompresora i nitra u svrhu generiranja dodatne snage i postizanja velikih brzina. No nije sve u snazi, ima nešto i u aerodinamici tako da ćemo se u ovom broju malo pozabaviti upravo savladavanjem otpora zraka kao još jednog preduvjeta za dostizanje suludih performansi

PIŠE: TOMISLAV BEŠENIĆ
FOTO: IGOR KREČ

Motocikl i vjetar uvijek su išli ruku pod ruku i jedan bez drugog nemaju smisla, te se stoga zakletim ljubiteljima vjetra u kosi lamentiranje o kvalitetno riješenoj aerodinamici motocikla može učiniti potpuno bespredmetnim i besmislenim. Ipak, koliko god oni zatvarali oči i pravili se da takvo što ne postoji, aerodinamika je ipak svugdje oko nas.

Dok je još prije petnaestak godina upravo aerodinamika bila jedan od omiljenih "šlagvorta" svakome tko se smatrao ljubiteljem automobila, ona kod motocikala nikad nije doživjela takvu meteorsku slavu, iako je na ovaj ili onaj način uvijek bila prisutna i neizbježna tema. U novije je doba svoje zvjezdane trenutke proživljavala u drugoj polovici devedesetih godina, kada su i serijski motocikli postali taman dovoljno snažni da uz malu, ali presudnu pomoć aerodinamike dosegnu magičnu granicu od 300 km/h.

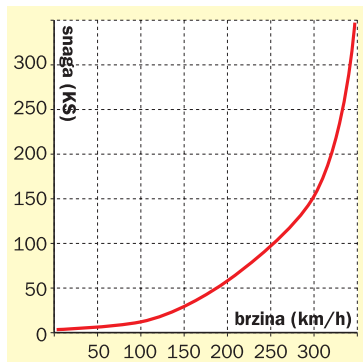
Uz uobičajenu težnju da motocikl što lakše siječe zrak i tako postiže veću krajnju brzinu, jednako je važno, a u mnogim slučajevima i puno važnije, da se omogući dobra zaštita od vjetera, stabilnost pri visokim brzinama i

otpornost na bočni vjetar. Tu su i dodatni zahtjevi koji se odnose na osiguravanje adekvatnog hlađenja pogonskog agregata, smanjenje potrošnje goriva i dobavljanja zraka pod pritiskom u air-box.

Ovaj ćemo članak ipak posvetiti isključivo klasičnom otporu kao glavnom ograničavajućem čimbeniku kod postizanja maksimalne brzine. Otpor zraka je nešto sa čime se moraju boriti sva tijela koja se kreću kroz atmosferu. Bez da sada ulazimo u suviše detaljna razmatranja osnovnih načela aerodinamike, u sljedećih nekoliko odlomaka pokušat ćemo objasniti njene osnovne postavke. Dakle, kada se neko tijelo, u ovom slučaju motocikl, kreće nekom brzinom, ono se sudara s molekulama zraka koje se manje-više ne kreću. Da bi se motocikl probio kroz zid kojeg čine te molekule, on ih mora nekako razmaknuti i napraviti si slobodan prolaz.

Kako biste lakše razumjeli kakve to probleme stvara, pogledajte sliku 1 i zamislite si da ste molekula zraka. U točki A vi ste obična molekula koja ništa ne sluteći lagano leluja na povjetarcu brzinom ne puno većom od 0 km/h. Djelić sekunde kasnije na vas nalijeće motocikl brzinom od oko 270 km/h s vozačem u polegnutom

položaju. Nakon bolnog kontakta s oplatom motocikla "nabijate" se tlakom koji vam daje energiju za ubrzanje i krećete na ludu vožnju. Ako pretpostavimo da vas je motocikl "pogodio" svojim prednjim oplatom negdje u predjelu prednjih svjetala i taman iznad ulaza u airbox, onda ćete se kao molekula zraka morati uzmicati vertikalno prema gore, kako

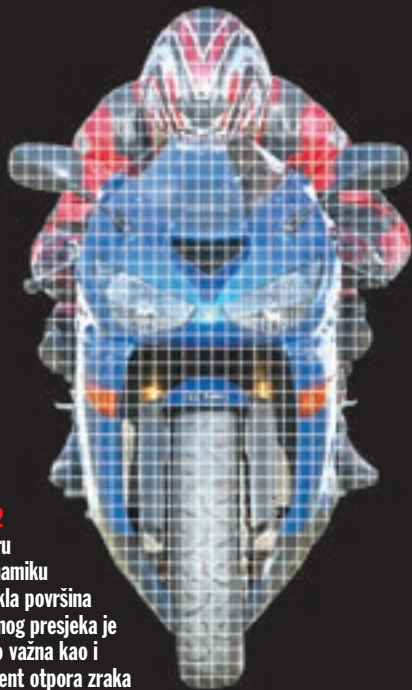


Sila otpora zraka se izračunava po formuli $F_{\text{OTPOR}} = 0,5 \times C_x \times A \times v^2 \times \rho$, pri čemu je C_x koeficijent otpora zraka, A je površina čeonog presjeka u m^2 , v je brzina izražena u m/s , a ρ je gustoća zraka izražena u kg/m^3 . Jednom kada se izračuna otpor zraka, lako je izračunati snagu u kW koja se troši na savladavanje tog otpora i to tako da se F_{OTPOR} pomnoži sa brzinom u m/s

biste stvorili prostor za prolazak motocikla. Zbog toga ćete u manje od jedne stotinke sekunde svladati razdaljinu od točke B kao mjesta kontakta i točke C, odnosno vrha kacige vozača, kao najvišeg djela kombinacije motocikl-vozač, što u prijevodu znači da ćete u odnosu na oplatu motocikla putovati prosječnom brzinom od približno 350 km/h. Kao i uvijek u životu, takva brza vožnja nije besplatna, tako da ćete jedan dio energije koji ste od motocikla naslijedili u točki B morati potrošiti na trenje dok putujete ka vrhu kacige. To trenje ne samo da usporava motocikl, već i vama kao molekuli zraka uzima životnu energiju toliko potrebnu za kasnije spuštanje ka točki E, kako biste se u konačnici, uvjetno rečeno, mogli vratiti na svoje staro mjesto (točka F). Do sada vam je valjda postalo jasno da točku F više nikada nećete vidjeti, no nemate namjeru odustati i svejedno se spuštate niz leđa vozača prema točki E. Pri spuštanju ponovo dolazi do trenja koje vas dodatno iscrpljuje, a kao posljedica iscrpljenosti opada vam brzina. U jednom trenutku, negdje oko točke D, brzina vam pada blizu 0 km/h i ne možete više pratiti brzinu ostalih molekula u svom okruženju, te se odvajate od kontaktnog sloja i zajedno s još pokojom molekulom koja se našla u istim problemima naglo zakrećete prema gore i počinjete formirati turbulentne vrtloge koji stvaraju podtlak. Drugim riječima, dok na prednjoj strani motocikla caruje tlak veći od atmosferskog, na stražnjoj strani motocikla vlada tlak niži od atmosferskog, a upravo na temelju te razlike tlakova možemo zaključiti u kolikoj je mjeri dobro riješena aerodinamika. Pojednostavljeno govoreći, što je ta razlika manja, to je motocikl aerodinamičniji.

Ta se razlika tlakova događa kod svih tijela koja se kreću kroz atmosferu i nemoguću ju je izbjeći, no poštovanjem nekih zakonitosti moguće je umanjiti njene negativne posljedice. Idealni aerodinamični oblik imaju kapljice kiše, no čak se i kapljica mora boriti s otporom zraka, što je u konačnici dobro, jer bi inače udarala u zemlju takvom brzinom da bi iza sebe ostavila maleni krater. Dakle, konstruktori bi morali težiti tome da što je moguće više slijede oblik kapljice, odnosno da teže zaobljenim i izduženim formama sa što postupnijim smanjivanjem poprečnog presjeka. No, kada bi se striktno držali toga i kada bi aerodinamika bila jedini kriterij pri oblikovanju motocikla, dobili bi vozilo koje bi bilo sve, samo ne funkcionalno. Stoga treba tražiti kompromisna rješenja koja će najbolje odgovarati konstrukciji i primjeni motocikla, a pritom se ne smije se zaboraviti ni vizualna komponenta.

Iako se sportski motocikli oblikuju tako da pružaju što manji zračni ot-



SLIKA 2
Za dobru aerodinamiku motocikla površina poprečnog presjeka je jednako važna kao i koeficijent otpora zraka

por, oni ipak za ostvarivanje velikih brzina u većoj mjeri koriste svoj povoljan omjer snage i težine, negoli aerodinamični oblik, tako da možemo reći da kod njih um ne caruje, nego snaga klade valja.

To ne znači da se oplate konstruiraju bez primjene inteligencije, već da konstrukcija motocikla kakvu danas poznajemo ne ostavlja previše mjesta za bitna poboljšanja. Gledajući motocikl s prijed, lako je uočiti da veliki dio njegove frontalne površine zauzimaju "gutači zraka" kao što su hladnjaci tekućina ili ulaz za air-box, a tu je i prednja guma, koja je konstantno izložena vjetrometini. Ti elementi neumitno loše utječu na aerodinamični profil motocikla, no ne mogu se izbjeći, niti se mogu bitno poboljšati u aerodinamičnom smislu.

Sve to rezultira time da čak i promišljeno oblikovana Hayabusa, koja je svoju ljepotu žrtvovala za aerodinamiku, ima koeficijent otpora zraka (C_x) 0,56, dok Ninja ZX-12 R ima taj isti koeficijent otpora u iznosu 0,60. C_x je najbolja mjera aerodinamičnosti nekog oblika i kada gore spomenute vrijednosti usporedimo s nekim obiteljskim automobilom kod kojeg C_x iznosi malo iznad 0,30, ili prosječnim kamionom koji ima C_x reda veličine 0,70 do 0,80, onda stvari djeluju porazno za motocikle. Ipak nije sve tako crno, jer je vrijednost koeficijenta otpora zraka vezana isključivo uz oblik, a ne uzima u obzir dimenzije vozila. Drugim riječima, kada bismo napravili uvjerljivi model nekog motocikla u umanjenom mjerilu, taj bi model imao isti C_x kao i pravi motocikl, iako je jasno da će pravi motocikl zbog svojih većih dimenzija trebati razmaknuti veći broj molekula i samim time savladati veći otpor zraka. Dakle, kako

bismo mogli izračunati silu koju pruža otpor zraka, koeficijent otpora zraka (C_x), moramo pomnožiti s površinom poprečnog presjeka, odnosno čeonom površinom. Poprečni presjek nekog vozila je u stvari njegova poprečna silueta svedena na dvije dimenzije, odnosno, sve ono što nam zaklanja vidik kada motocikl gledamo od naprijed.

Vrijednost poprečnog presjeka najlakše se može

predočiti tako da se motocikl slika od naprijed, zajedno s nekim mjerilom na temelju kojeg se napravi raster i onda se jednostavno prebroje kvadratići (Slika 2). Važno je naglasiti da se pritom ne uzima u obzir samo prednja oplata, već u površinu poprečnog presjeka ulaze i svi elementi koji strše izvan same siluete motocikla, kao što su retrovizori, pokazivači pravca, ispušni lonac, ali i sam vozač, posebno ako se može pohvaliti dužim ekstremitetima.

No, priča ne ostaje samo na C_x i poprečnom presjeku. Oni su vrlo važni, ali najveći utjecaj na silu kojom nas zaustavlja otpor zraka ima brzina vozila, budući je zračni otpor funkcija kvadrata brzine. Drugim riječima otpor zraka se ne povećava linearno s porastom brzine, već se povećava s njezinim kvadratom (Graf 1).

To znači da se motocikl i njegov vozač pri 300 km/h moraju boriti s 2,25 puta (225 %) većim otporom zraka negoli pri 200 km/h i čak 9 puta (900%) većim otporom zraka od is-

tovtjetne kombinacije motocikla i vozača koji se kreće brzinom 100 km/h.

Uz otpor zračenja, motocikl mora savladavati i otpor kotrljanja, no on je pri brzinama o kojima mi ovdje govorimo gotovo zanemariv. Pri malim brzinama, motocikl najveći dio proizvedene snage troši upravo na savladavanje otpora kotrljanja, no kako brzina raste, otpor kotrljanja se bitno ne mijenja, za razliku od otpora zraka koji, kako

sve smo već spomenuli, raste s kvadratom brzine. To sve dovodi do toga da pri velikim brzinama otpor kotrljanja predstavlja tek 10 posto ukupnih otpora, dok se ostatak snage troši na savladavanje otpora zraka.

Ako izuzmemo motocikle stvorene isključivo za obaranje svjetskih brzinskih rekorda i ako razmišljamo samo o klasičnim serijskim ili natjecateljskim motociklima, možemo zaključiti da poboljšanje koeficijenta otpora zraka i smanjivanje poprečnog presjeka može pomoći da iz motocikla iscijedimo desetak, dvadesetak kilometara maksimalne brzine, no sama aerodinamika ne može postići čuda.

Jedan od najzornijih primjera koji to dokazuje je razlika u maksimalnoj brzini BMW-ovih motocikala K 1200S i K 1200R. Ranije predstavljeni K 1200S je oklopljeni lovac na brzine, dok je K 1200R njegova naked verzija lišena aerodinamičnih dodataka. Ta dva tehnički istovjetna motocikla razvijaju praktički jednak broj konjskih



Otpor zraka ne raste linearno, već raste s kvadratom brzine. To ima za posljedicu da pri velikim brzinama upravo otpor zraka "guta" i do 90% ukupno proizvedene snage

snaga, a oklopljena je inačica za samo 10 km/h brža od "golog" modela koji razvija 267 km/h. To znači da je kvalitetnija aerodinamika u pogledu maksimalne brzine omogućila napredak od samo 3,7%.

Dakle, osjetnije povećanje maksimalne brzine serijskih motocikala moći će se ostvariti tek osjetnijim povećanjem njihove snage, a tu se opet vraćamo na priču s kompresorima i turbinama. Iako bi se na temelju relativno visokih vrijednosti koeficijenta otpora zraka moglo zaključiti da postoji još puno prostora za napredak, njega zapravo i nema previše. Ako se jednog dana značajnije promijeni konstrukcija motocikla, stvari bi se mogle promijeniti, no do onda ljubiteljima aerodinamike i motocikala preostaje samo da štiju motocikle poput Suzukija Hayabuse. O tome koliko je Hayabusa doista aerodinamičan motocikl najbolje govori nikad potvrđena priča da su Kawasakijski inženjeri prilikom traženja idealnog aerodinamičnog motocikla dobili prototip motocikla koji je bio bezobrazno nalik na kasnije predstavljenu Hayabusu. Legenda dalje kaže da su u Kawasakijsku procijenili da bi takav motocikl bio preružan i radije su se odlučili za oblik koji i danas ima ZX-12R. Suzuki je ipak bio dovoljno hrabar i tako je Hayabusa prva probila barijeru od 300 km/h i još za života postala legendom, svom (aerodinamičnom) izgledu usprkos.

Time bismo završili priču o aerodinamici, barem što se ovog broja tiče. U nekom od slijedećih brojeva Moto Pula pozabavit ćemo se aerodinamikom natjecateljskih MotoGP motocikala, kod kojih što lakše "rezanje" zraka nije u prvom planu, a oni svejedno razvijaju brzine vrlo bliske oznaci 350 km/h. ■



I ispušni sustav svojim smještajem utječe na otpor zraka. Ispušni topovi smješteni ispod sjedala ne narušavaju aerodinamiku, no to se ne bi moglo reći za ispušne topove smještene sa strane