

Fordonsdynamik

Vi har här helt inriktat oss på de faktorer som påverkar en motorcykel – och även alla andra fordon – när man kör rakt fram på en slät väg dvs. det som händer när man kör dragracing.

Det är flera olika faktorer som bestämmer vilken hastighet man kan uppnå. En motorcykels hastighet och accelerationsförmåga bestäms dels av:

- Bakhjulseffekten

Motståndet som ska övervinnas för att nå en viss hastighet eller en viss accelerationsförmåga kallas det dynamiska motståndet som huvudsakligen består av:

- Rullmotståndet och luftmotståndet

Andra yttre faktorer som också kan påverka hastigheten både positivt och negativt är:

- Vinden och vägens lutning

Att motorns effekt, som anges i hk eller watt, har en stor betydelse på hastigheten är lätt att förstå. De andra faktorerna kan möjligen vara lite svårare att få grepp om.

Krafterna som verkar på motorcykeln

Effekten, P som krävs för att driva motorcykeln är $P = F_{total} \cdot v$ där F_{total} är det dynamiska motståndet och v är hastigheten.

Det dynamiska motståndet F_{total} består av flera olika komponenter.

$$F_{total} = F_{roll} + F_{slope} + F_{accel} + F_{wind}$$

Kraften F har sorten N (kg m/s²)

F_{total} Dynamiska motståndet.

$$F_{total} = F_{roll} + F_{slope} + F_{accel} + F_{wind}$$

F_{roll} Rullmotståndet

$$F_{roll} = c_r \cdot m \cdot g$$

F_{slope} Lutningsmotståndet

$$F_{slope} = s \cdot m \cdot g$$

F_{accel} Accelerationsmotståndet

$$F_{accel} = a \cdot m$$

F_{wind} Luftmotståndet, strömningsmotståndet

$$F_{wind} = 0,5 \cdot r \cdot c_d \cdot A \cdot v_{wind}^2$$

De olika storheterna i formlerna är följande:

c_r	Koefficienten för rullmotstånd	Dimensionslös
m	Massan. Motorcykel med förare	kg
g	Tyngdfaktorn	9,82 m/s ²
s	Lutningsfaktorn	Dimensionslös
a	Accelerationen	m/s ²
r	Luftens densitet	kg/m ³
c_d	Koefficienten för luftmotstånd	Dimensionslös
A	Frontens area	m ²

Rullmotståndet

Kontakten mellan däck och vägbana ger friktion och ett rullmotstånd. På en motorcykel är däckets dimensioner en kompromiss mellan friktion och komfort. Friktionen mellan däck och underlag är nödvändig vid kurvtagning och bromsning. På en motorcykel för dragracing är framdäcket ofta väldigt smalt. Anledningen är i första hand att minska vikten och i andra att få ett lågt rullmotstånd. Rullmotståndet är en mycket liten del i det dynamiska motståndet. Men man kan inte välja hur smalt däck som helst då man även vill ha en viss bromsförmåga. Friktionen mot underlaget anges som en rullningskoefficient, c_r , eng. coefficient of rolling resistance.

Gravel trap?

Vid bantävlingar använder man rullmotståndet som uppstår mellan däck och underlaget i sand eller grusfällor för att bromsa upp fordon som kört av banan. Här är det huvudsakligen underlaget och inte däcket som deformeras och ger upphov till rullmotståndet.

Rullmotståndet är direkt proportionellt mot den deformation som sker av däcket och underlaget och omvänt proportionellt mot däckets radie. Det innebär att ett högt lufttryck i däcket ger mindre anläggning mot underlaget och mindre friktion. Det innebär också att ett större hjul ger mindre friktion än ett mindre. Genom deformationen av däckerna ökar rullmotståndet då fordonets massa ökar, då hastigheten ökar och då fordonet svänger.

Ett smalt däck har lägre rullningskoefficient än ett bredare däck. Den erfarenheten fick FIA lära sig då de införde smalare däck för att minska hastigheten på bilarna i Formula 1. Hastigheten genom kurvorna minskade något genom den lägre friktionen men gjorde också att bilarna gick ännu fortare på raksträckorna. Smalare däck gav även en mindre frontyta vilket tillsammans med det lägre rullmotståndet gav högre topphastighet.

Andra faktorer som indirekt påverkar rullmotståndet är bromsarnas utförande. Skivbromsar har egenheten att släpa mot bromsskivan. Dubbla skivbromsar med många klossar kan ha stor bromsverkan redan i vila. Det kan enkelt kontrolleras genom att lyfta upp hjulet och sätta det i rotation. En för spänd kedja eller drivrem ger också ökat rullmotstånd.

Rullningskoefficienten på asfalt för några olika typer av fordon är:

Tramcykel, racer	0,0015
Tramcykel, standard	0,008
Motorcykel	0,01
Bil	0,012 -0,015

$c_r = 0,01$ för en motorcykel kan jämföras med en tramcykel av tävlingsmodell som har en rullningskoefficient på ca 0,005. Skillnaden mellan cykelns och motorcykelns rullmotstånd är ganska liten. Att det krävs större kraft att skjuta en motorcykel än en tramcykel beror på motorcykelns 40 till 50 gånger större massa än på den dubbelt så stora rullningskoefficienten.

Motorcykelns massa, inklusive föraren med utrustning, ingår som en del i rullmotståndet. Trycket mot underlaget bestäms av tyngdfaktorn.

Rullmotståndet räknas ut på följande sätt:

$$F_{roll} = c_r \cdot m \cdot g$$

$$F_{roll} = 0,01 \cdot 390 \cdot 9,82 = 38,3 \text{ N}$$

Det innebär att effekten som behövs för att klara rullmotståndet vid 100 km/h är:

$$P_{roll} = F_{roll} \cdot v \quad \text{Där hastigheten är i m/s. Km/h till m/s dividera med 3,6.}$$

$$P_{roll} = 38,3 \cdot 27,8 = 1065 \text{ W}$$

Det innebär att det vid 100 km/h krävs 1065 W för att klara rullmotståndet eller i hk 1065 dividerat med 735 = 1,45 hk.

Vid 200 km/h (55,6 m/s) så krävs det.

$$P_{roll} = 38,3 \cdot 55,6 = 2129 \text{ W}$$

Det innebär att det vid 200 km/h behövs 2129 W för att klara rullmotståndet eller i hk 2129 dividerat med 735 = 2,9 hk

Anmärkning: Det är skillnad på metriska (europeiska) hästkrafter och imperial hp (engelska). En metrisk hästkraft, 75 kp x m/s, är 735W. En imperial hp, 550 lbf x ft/s är 746 W.

Vi kan konstatera att rullmotståndet är direkt proportionellt mot hastigheten och att det är en liten del i det dynamiska motståndet.

Luftmotståndet

Luftmotståndet bestäms av front arean och den aerodynamiska utformningen, dvs. motorcykelns c_d -koefficient. Brukar också kallas c_d -värde.

Vi använder här c_D som är engelska och betyder Coefficient of Drag (motstånd). I tysk litteratur används c_W där $w = \text{widerstand}$.

Olika former har olika aerodynamiska egenskaper och har därför olika c_d -värden. Suzuki anger att deras Hayabusa har bästa c_d -värdet (minsta mätetalet) av alla seriebyggda motorcyklar, dock utan att ange värdet. Följande är några exempel på c_d -värden.

Flygplan, underljuds	0,012
Flygplan, överljuds	0,016
Täckt racerbil	0,3-0,4
Bordtennisboll	0,45
Modern personbil	0,3-0,5
Motorcykel	0,5-1,0
Person, stående	1,0-1,3
Öppen sfär	1,4 med öppningen mot vinden

Det höga c_d -värdet som den öppna sfären ger används bland annat i bromsskärmar.

Motståndskoefficienten c_d definieras som:

$$c_d = \frac{F_{wind}}{0,5 \cdot r \cdot A \cdot v_{wind}^2}$$

Luftmotståndet (strömningsmotståndet) räknas ut på följande sätt:

$$F_{wind} = \frac{r \cdot c_d \cdot A \cdot v_{wind}^2}{2}$$

En av faktorerna som ingår i luftmotståndet är luftens densitet. Vid 0°C och 101,3 kPa (1 atm) är den 1,29 kg/m³. Det värdet gäller vid nivån havsytan. Det är därför vanligt att man använder värdet 1,202 kg/m³ som gäller för höjden 200 m. De aerodynamiska krafterna är till övervägande del en effekt av avlänknigen av luften. Luftens densitet har alltså stor betydelse. Sätter vi in mätetalen:

r	Luftens densitet	1,202 kg/m ³
c _d	Koeff. luftmotstånd	0,9 Dimensionslös
A	Frontarean	0,75 m ²
v	Hastigheten	100 km/h dvs. 27,8 m/s

Vid hastigheten 100 km/h (27,77 m/s):

$$F_{wind} = \frac{1,202 \cdot 0,9 \cdot 0,75 \cdot 773}{2} = 313,6 \text{ N}$$

Kraften i luftmotståndet är då $F_{wind} = 313,6 \text{ N}$

Vid 100 km/h blir effektbehovet $P_{wind} = 313,6 \cdot 27,77 = 8708 \text{ W}$

Omräknat till hästkrafter 8708 dividerat med 735 = 11,8 hk

Vid hastigheten 200 km/h (55,55 m/s):

$$F_{wind} = \frac{1,202 \cdot 0,9 \cdot 0,75 \cdot 3091}{2} = 1254 \text{ N}$$

Kraften i luftmotståndet är då $F_{wind} = 1254 \text{ N}$

Vid 200 km/h blir effektbehovet $P_{wind} = 1254 \cdot 55,6 = 69722$

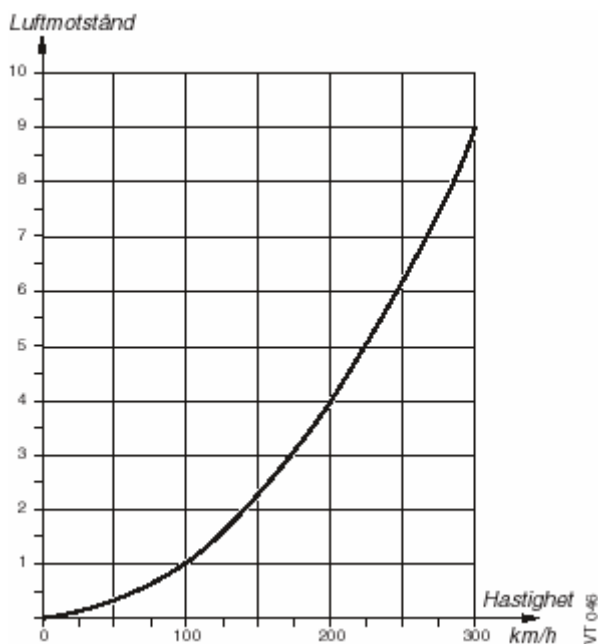
Omräknat till hästkrafter 69722 dividerat med 735 = 94,9 hk

En H-D i standardutförande – och alla andra inte påklädda hojar – har en mycket dålig aerodynamisk form. En bidragande orsak förutom avsaknad av kåpor är upprätt körställning och brett styre. Aerodynamiken kan bli ännu sämre genom vindruta och packväskor.

Grundkravet för hög hastighet och är liten frontarea och bra strömlinjeform. I praktiken innebär det kåpor, inklädnad, smalt styre och låg sittställning. Droppformen är en hyfsad form för att få ett lågt luftmotstånd. En långsmal form som profilen på en flygplansvinge är ännu bättre. Den är dock direkt farlig då en något höjd anfallsvinkel, genom sidvind eller kast, kan göra att motorcykeln lyfter.

Baken är viktigast!

Motorcykelns front ger 30 % av luftmotståndet och ytan 5 %. Undertrycket som bildas där luftvirvlarna släpper ger 65 % av luftmotståndet.



innebär att luftmotståndet vid 100 km/h har fördubblats redan vid hastigheten 141 km/h. Om hastigheten ökar till 200 km/h ökar luftmotståndet med faktorn fyra och vid 300 km/h med faktorn nio.

En droppformad hel kåpa ger lågt luftmotstånd men blir känslig för sidvindar. Det beror på att tryckpunkten hamnar för nära fordonets tyngdpunkt. Tyngdpunkten bestäms av gravitationen och har sitt centrum på samma ställe oavsett fordonets hastighet. Den nedåtriktade kraft som uppstår på grund av fordonets hastighet genom luften flyttas framåt efterhand som hastigheten ökar. Detta på grund av att undertrycket ökar bakom motorcykeln.

Ibland kan man höra någon säga, "att hojen är väldigt sidvinds känslig när jag åker fort". Även sidvindskraften är proportionell mot kvadraten på hastigheten. Sidvinds känsligheten ökar alltså snabbt med hastigheten. Även svaga vindpustar ändrar den skenbara vindriktningen och anfallsvinkeln på motorcykeln relativt fartvinden. Denna ändring ger upphov till en stor ändring av kraften. Approximativt kommer kraften att vara proportionell mot anfallsvinkeln, dvs. en fördubbling av sidvindens hastighet ger en fördubbling av sidkraften. I byig vind varierar sidvinden flera hundra procent vilket yttrar sig i en obehagligt variabel sidkraft.

Dynamiska motståndet

Det totala motståndet som ska övervinnas för att uppnå en viss hastighet kallas det dynamiska motståndet. Det består av summan av rullmotståndet, lutningsmotståndet, accelerationsmotståndet och vindmotståndet.

Bakom motorcykeln skapas en virvel som ger ett undertryck. Man kan säga att luften inte hinner tillbaka bakom hojen utan att där bildas ett undertryck som drar hojen bakåt. Kan man fördröja avlösningen – luftsläppet – bara någon decimeter så kan man vinna mycket i minskat luftmotstånd. Det är därför vanligt att man på bilar längst bak har någon form av ving, ibland bakom själva fordonet. En ving ger lyftkraft, här riktad neråt, men även ett ökat luftmotstånd. Höga framhjulsluft på en vingförsedd dragster ändrar vingens anfallsvinge och kan i olyckliga fall göra att hela bilen blir luftburen.

Största hindret för hög hastighet är luftmotståndet. Luftmotståndet ökar med kvadraten på hastigheten. Det

Bil blev flygplan!

De aerodynamiska krafterna kan vara svåra att bemästra trots erfarenhet, vindtunnelprov och datorsimuleringar. Det fick Mercedes lära sig på Le Mans 1999. Deras bil en AMG Mercedes CLR med föraren Peter Dumbek blev vid passagen av ett mindre krön före Indianapolis-kurvan helt luftburen. Bilen singlar efter en spektakulär luftfärd ned i skogen bredvid banan. Föraren klarade sig bra då bilen lyckligtvis landade på hjulen.

$$F_{total} = F_{roll} + F_{slope} + F_{accel} + F_{wind}$$

Kör vi på plan väg betyder det att termen $F_{slope} = s \cdot m \cdot g$ blir 0.

Kör vi med konstant hastighet dvs. utan acceleration blir termen $F_{accel} = a \cdot m$ också 0.

Effekten som krävs för att köra i en konstant hastighet av 100 km/h respektive 200 km/h blir då enbart beroende av rull- och luftmotståndet.

$$P_{total} = P_{roll} + P_{wind}$$

Vid konstant fart i 100 och 200 km/h krävs en effekt av:

$$100 \text{ km/h } hk_{total} = 1,45 + 11,8 = 13,25 \text{ hk}$$

$$200 \text{ km/h } hk_{total} = 2,9 + 94,9 = 97,8 \text{ hk}$$

ET & Speed

Om man håller på med dragracing så är ju ET för ¼ mile (402,336 m) av största betydelse.

Vi har här ”konstruerat” två enkla formler för att kunna räkna ut ET och Speed (sluthastigheten). Formlerna gäller för en motorcykel som har någon form av aerodynamisk anpassning, exempelvis en toppkåpa och eller en bakdel och med en förare som ligger ner.

Formlerna gör inte anspråk på att vara vetenskapligt korrekta, men kan ge en uppfattning om hur vikten och hästkrafterna påverkar tiden och sluthastigheten.

$$ET = \sqrt[3]{\frac{\text{massa}}{\text{hästkrafter}}} \cdot 7,8 = \text{sek} \qquad \text{Speed} = \sqrt[3]{\frac{\text{hästkrafter}}{\text{massa}}} \cdot 279,5 = \text{km/h}$$

ET	sek	
Speed	km/h	
massa	kg	Motorcykel och förare
hästkrafter	hk	735 W

Om vi antar att ekipaget väger 350 kg och motorn levererar 115 hk på bakhjulet så kan ET räknas ut så här.

$$ET = \sqrt[3]{\frac{350}{115}} \cdot 7,8 = 11,30 \text{ sek} \qquad \text{Speed} = \sqrt[3]{\frac{115}{350}} \cdot 279,5 = 192,86 \text{ km/h}$$

Om ekipaget väger 315 och har 185 hk på bakhjulet.

$$ET = \sqrt[3]{\frac{315}{185}} \cdot 7,8 = 9,31 \text{ sek} \qquad \text{Speed} = \sqrt[3]{\frac{185}{315}} \cdot 279,5 = 234 \text{ km/h}$$

Om ekipaget väger 300 och har 190 hk på bakhjulet.

$$ET = \sqrt[3]{\frac{300}{190}} \cdot 7,8 = 9,08 \text{ sek} \qquad \text{Speed} = \sqrt[3]{\frac{190}{300}} \cdot 279,5 = 240 \text{ km/h}$$

Anmärkning: För att göra de här uträkningarna så måste du ha en miniräknare med kubikrötter. .