



Luftmodstand

Når et legeme bevæges med en konstant hastighed mod stillestående luft, oplever genstanden en kraftpåvirkning fra luften. Der opstår luftmodstand, eller vindmodstand. Vindmodstand bruges nok mest i daglig tale, men i realiteten bør der tales om luftmodstand. – Vind er jo bare luft i bevægelse.

Luften påvirker genstanden med en kraft F , der måles i [Newton]. Det kræver således en bestemt kraft at bevæge genstanden gennem luften med en konstant hastighed.

Er det vinden, eller luften, der blæser mod en genstand må forholdene være de samme. Luften påvirker genstanden med en kraft. Det er dette, der bruges ved anvendelse af en vindtunnel, hvor man kan teste genstandes opførsel, når de er på vej gennem luften.

På dansk kaldes det luftmodstand, på engelsk Aerodynamisk Drag.

Naturlig nok vil luftmodstanden stige, hvis den genstand, der bevæges gennem luften bliver større. Dvs. kraften stiger med arealet af genstanden, der bevæges mod luften.

Arealet af en genstand måles som arealet af det hul, genstanden ville efterlade, hvis man forestiller sig den fare gennem en væg, som fx i en tegnefilm.¹

Men genstandens form har også betydning. Ubåde, missiler, fly, cykelhjelme, biler osv. er lavet så de oplever så lille en modstand som muligt fra det medie, de bevæger sig gennem. Genstandene er typisk formet, så de er spidse både foran og bagtil.

For fisk og fugle er det nok udviklingen, der har ført til en form, der kræver mindst energi ved bevægelse frem gennem vandet og luften. For biler og fly har man forsket og målt på forskellige former. Ikke mindst efter at benzin er blevet dyr.

Henry Fords HGF-biler kørte ikke særlig hurtigt, og var da heller ikke konstrueret ud fra hensyntagen til bevægelsesmodstand. I dag, med stigende energipriser, udformes biler så de kører længst på literen, dog stadig ud fra, at de skal være funktionelle.



¹ K1: www.windpower.dk/tour/wtrb/drag.htm



Luftmodstanden på en genstand afhænger altså af genstandens form. Men også af dens størrelse. Dvs. hvis genstanden gøres større, men med nøjagtig samme form, må den samlede modstand også være større.

Samlet kan det udtrykkes med en form-koefficient og et areal. Form-koefficienten kaldes også for luftmodstandskoefficient. På engelsk "drag coefficient" C_d . eller - nok på tysk - C_w ., der i hvert fald tidligere har været kendt i Danmark fx som en "CW-værdi" på en bil.

Det må gælde umiddelbart, at:










$$\text{Drag-kraften afhænger af } C_{D\text{-værdi}} \cdot \text{Frontareal i m}^2$$

C_d er enhedsløs.

På nettet kan der findes C_d koefficienter for forskellige genstande. Koefficienterne er fundet eksperimentelt.

Fx har en halvrund kugleskal, der vender den "flade side" fremad mod luften en C_d -værdi på $C_d = 1,42$, men vendes den flade side væk fra luften er $C_d = 0,38$ til $0,42$.

Figuren til højre viser C_d -værdier eller Drag Koefficienter for forskellige legemer. ²

Shape	Drag Coefficient
Sphere → 	0.47
Half-sphere → 	0.42
Cone → 	0.50
Cube → 	1.05
Angled Cube → 	0.80
Long Cylinder → 	0.82
Short Cylinder → 	1.15
Streamlined Body → 	0.04
Streamlined Half-body → 	0.09

Measured Drag Coefficients

Kilde: <http://www.insideracingtechnology.com/tech102drag.htm>

Og i en anden kilde er fundet disse koefficienter:

² www.insideracingtechnology.com/tech102drag.htm



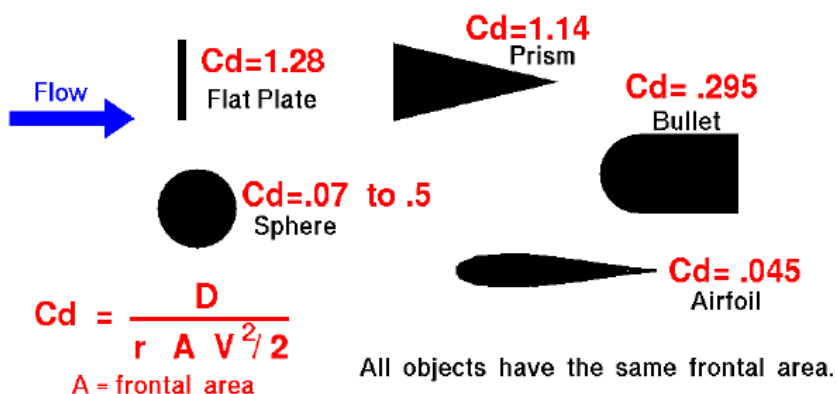
Kilde: :
<http://www.grc.nasa.gov/WWW/K-12/airplane/short.html>



Shape Effects on Drag

Glenn
Research
Center

The shape of an object has a very great effect on the amount of drag.



For andre genstande, ligeledes fundet forskellige steder på nettet, er opgivet følgende værdier:

Genstand	C _d cirka
Bil	0,27 til 0,35
Bil med campingvogn	> 1
Løber (person)	Ca. 0,5
Person på ræserykel	0,4
Vinge på fly / vindmølle	0,04

Lufthastigheden: (vindhastigheden)

Den kraft, der opleves på en genstand, må også være afhængig af luftens hastighed, (eller genstandens hastighed imod luften.) Jo hurtigere man kører i bilen, jo større vindpres kan opleves, hvis man holder en arm ud af vinduet. Og jo kraftigere modvind, man har, jo sværere er det at cykle imod vinden.

Det er sådan, at luftmodstand for et legeme, der bevæger sig gennem luften, stiger med kvadratet på hastigheden. Derfor betyder luftmodstanden mere, jo hurtigere bevægelsen er i forhold til luften, altså den relative bevægelse.

En løber løber fx. 6 m/s svarende til 21 km/h vil altså opleve mindre luftmodstand end en ræserykel der kører 12 m/s, svarende til 42 km/h. Dvs. der må være størst luftmodstand mod en cykelrytter, - hvis de altså fylder lige meget.



Pressure Drag

Når man cykler, oplever man den form for vindmodstand man også kalder "pressure drag". Foran cykelrytteren opleves et positivt pressure drag, som "skubber" cykelrytteren bagud. Bagved opleves et negativt pressure drag som "trækker" cykelrytteren bagud.

Begge former for pressure drag opleves altså som en kraft der skal overvindes.

Når en anden cykelrytter ligger i læ bag den forankørende, oplever den forankørende samme positive pressure drag som før, mens det negative reduceres af den bagved kørende. Den forankørende får altså en gevinst ud af at have en på slæb. Det er dog ikke nogen stor gevinst.

Den bagved kørende har den forankørendes negative tryk foran sig, og oplever dermed et væsentligt lavere positivt pressure drag, mens det negative pressure drag opleves fuldt ud, som om man kørte alene.

Begge har altså en gevinst ud af det. Den bageste er dog klart den største gevinst.

Ja turbulensen der opstår bag bagerste kører, og virker som et sug bagud-- sendes videre bag, når en ny lægger sig i baghjul.

Gevinsten skulle være ca 3 % fremdrift

http://ing.dk/artikel/111145-er-det-haardt-for-den-forankoerende-cyklist-hvis-en-koerer-paa-hjul?utm_medium=email&utm_source=nyhedsbrev&utm_campaign=ingformiddag

Bil-eksempel:

Køres en bil med konstant hastighed, bruges energien, der frembringes af motoren til at overvinde luftmodstanden, til rullemodstanden, til tab i lejer, transmission, generator osv.

Tjek rullemodstand og lejetab.

For en bil er opgivet en Cd-værdi: $Cd = 0,34$. Den yder 150 Hk ~ 110 kW.

Ved 80 km/h, svarende til 22,2 m/s, bruges ca. 6 hk ~ 4,6 kW af motorens energi til at overvinde luftmodstanden og 14 hk ~ 11 kW til rullemodstand. Altså kan en bil med 20 hk motor holde en fart på 80 km/t ud ad lige vej i stille vejr. (Der ses bort fra transmissionstab)

Ved en hastighed på 210 km/h, svarende til 58 m/s, er værdierne ca. 112 hk ~ 82 kW til luftmodstand, og 38 hk ~ 28 kW til rullemodstand. Motoren skal altså yde $112 + 38 = 150$ hk for blot at holde farten!! ??

Findes der grafer for rullemodstand og transmissionsmodstand ??

Vindmølle:



Vindmøller har ret høj vingespids-hastighed i forhold til luften.

Hvis vingerne er lange, fx 25 meter, og vindmøllen roterer 25 omgange i minuttet, fås en vingespids-hastighed på ??? (**Beregn**) Derfor er det nødvendig med en meget strømlinet form ude ved spidsen for at vingerne ikke skal bremses af luften. Dette bruges ligefrem som nødbremser på flere modeller, hvor vingespidsen kan drejes på tværs, for at bremse vingerne, fx hvis møllen løber løbsk. Nær ved akslen er det ikke så nødvendigt med en strømlinet form, fordi vingehastigheden ikke er ret stor.

Vingespidsernes hastighed bør ikke overstige 250 ... 300 km/h pga. vindstøj !

Drag-kraften afhænger altså også af vindhastigheden: $C_{D-værdi} \cdot \text{Front areal i } m^2 \cdot v^2$ (det er da ikke en logisk følge ??) (indsat 2011)

Luftens densitet:

Også luftens densitet (vægtfylde) har betydning for luftmodstanden. Modstanden (drag) stiger proportional med luftens densitet. Dvs. kold luft giver større modstand end varm. Og jo højere man kommer op, jo tyndere er luften, dvs. jo mindre vejer luften pr m^3 . Ved havoverfladen vejer $1 m^3$ luft ca. **1,225 kg**. Løbere og længdespringere oplever mindre luftmodstand jo højere over havoverfladen, de er. Et 100-meterløb er hurtigere på en højtliggende bane. Og fly stiger op til en højde, der giver dem mindre luftmodstand. Fx 11 km, men stadig skal der jo være så meget luft, - og ilt, at der er nok til motorernes forbrænding, og til at bære flyet!!

Luft vejer $1,225 \text{ Kg}/m^3$ ved havets overflade, ved 15 grader C
Luftrykket falder ca. 1 % for hver 80 meters stigning.

Overfladeruhed:

Det gælder også, at værdierne for **luftmodstanden** for en genstand er afhængig af en genstands overflade-ruhed. Normalt ønskes en meget glat overflade. Hvis fx en båd er overgroet med alger og ruger, stiger modstanden drastisk.

Formel:

Herefter findes den endelige formel:³ (k1)

³ www.windpower.dk/tour/wtrb/drag.htm



$$F_d = C_d \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot A \cdot v^2 \quad \left[N = \frac{kg}{m^3} \cdot m^2 \cdot \left(\frac{m}{s} \right)^2 \right]$$

Hvor:

F_d = kraften, Luftmodstandskraften [N]

C_d = Genstandens Drag coefficient fundet eksperimentalt, dimensionsløs.

ρ = luftens densitet, tør luft ved havoverfladen, 15 grader = 1,225 kg/m³.

A = Genstandens areal imod luften i m².

v = Genstandens relative lufthastighed i m/s.

Effekt, en bil skal yde for at overvinde luftmodstand:

Når en bil bevæger sig gennem luften, kan den effekt (energi pr sekund) den skal yde, beregnes af formelen:

$$P = F \cdot v \quad \left[W = N \cdot \frac{m}{s} \right]$$

Beregnes på luftmodstanden, erstattes kraften "F" af F_d .

Det betyder, at den effekt, bilen skal yde for at overvinde luftmodstanden er afhængig af hastigheden i 3. potens !!!

$$P = F_d \cdot v = C_d \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \text{ [Watt]}$$

Eksempel på beregning / bil:

En bil vejer 2000 kg inklusiv last.

Det viser sig, at dens hastighed ved friløb ud ad lige, vandret vej i vindstille vejr falder fra 100 km/h til 95 km/h på 10 sek.

Bilens hastighed er altså faldet 5 km/h ~ 1,389 m/s.

Det tog 10 sek., altså et fald på $\frac{1,389 \frac{m}{s}}{10 s} = 0,1389$ [meter pr sekund, pr sekund], = [m/s²]

Idet $F = m \cdot a$ findes:

$$F = 2000 [kg] \cdot 0,1389 \left[\frac{m}{s^2} \right] = 278 [N]$$



Der regnes her med gennemsnitshastigheden, $V_{\text{middel}} = 97,5 \text{ km/h}$, $\sim 27 \text{ m/s}$.

Altså den kraft motoren skal lave ved ca $97,5 \text{ km/h}$ for at holde hastigheden er ca. 278 Newton.

Power = effekt = Kraft gange hastighed, $P = F \cdot v \left[W = N \cdot \frac{m}{s} \right]$

Altså, motorens effekt (= energi pr sekund) skal være

$$P = 278[N] \cdot 27 \left[\frac{m}{s} \right] = 7.500 \left[N \cdot \frac{m}{s} \right] = [W]$$

Omregnes til HK, fås, idet $1 \text{ HK} \sim 736 \text{ W}$, at der skal $\frac{7.500}{736} = \text{ca. } 10,19 [HK]$ til for at holde bilen på $97,5 \text{ km/h}$.

Beregninger på en cykel:

I dette eksempel skitseres, hvordan man kan beregne Cd-værdien for en person på en cykel.

Der behøves et rimelig langt vejstykke, med en konstant hældning, α . Jo stejlere, jo bedre.

På en vindstille dag måles den maksimale hastighed, en cykel med rytter opnår ned ad bakke ved friløb. Hastigheden kan fx måles med en cykelcomputer, eller en ledsagebil, der kører et stykke bag ved, så den ikke påvirker luften omkring cyklisten.

Cykel + rytter vejes, og vejens hældning måles.

Den fremdrivende kraft der kommer fra tyngdekraften må balancere med

Kraft til rullemodstand + kraft til luftmodstand + modstand i lejer.

(der ses bort fra lejmodstand !!)

Den fremdrivende effekt, (power) = kraft gange hastighed:

$$P = m \cdot g \cdot \sin(\alpha) \cdot v \left[W = kg \cdot \frac{m}{s^2} \cdot \frac{m}{s} \right] = \left[\frac{Nm}{s} \right] = [W]$$

Effekt til rullemodstand findes som: $P_{\text{rulle}} = C_{rr} \cdot m \cdot g \cdot v \left[W = kg \cdot \frac{m}{s^2} \cdot \frac{m}{s} \right] = \left[\frac{Nm}{s} \right] = [W]$

Rullemodstandskoefficienten C_{rr} er typisk 0,006



Effekt til luftmodstand: $P_{luft} = C_d \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot A \cdot v^2 \cdot v \left[W = \frac{kg}{m^3} \cdot m^2 \cdot \left(\frac{m^2}{s^2} \right) \cdot \frac{m}{s} \right] =$

$$\left[\frac{kg \cdot m^2}{s^3} \right] = \left[\frac{N \cdot m}{s} \right] = [W]$$

Effekten til luftmodstand må være $P_{luft} = P - P_{rulle}$

Omformes ligningen, findes et udtryk for $C_d \cdot A$

$$C_d \cdot A = \frac{P_{luft}}{\rho \cdot 0,5 \cdot v^3}$$

Måles front-arealet af cykel + rytter, kan C_d findes:

$$C_d = \frac{P_{luft}}{A \cdot \rho \cdot 0,5 \cdot v^3}$$

Det ses at effekten, der skal ydes for at overvinde luftmodstanden er afhængig af hastigheden i 3. potens (k1)

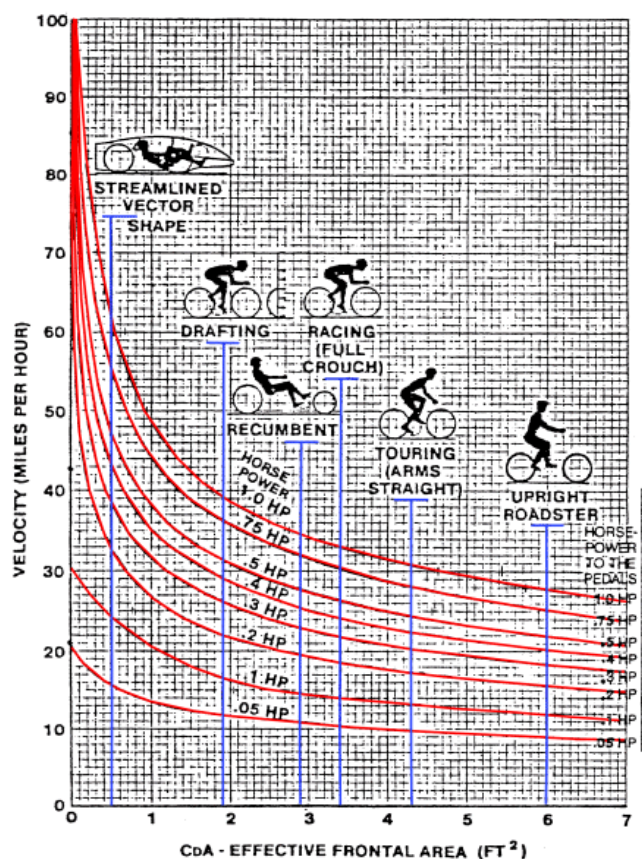
Det kan også tolkes således, at kører man hurtigere, stiger forbruget af hk i 3. potens.

Graf for HK-forbrug og opnåelige hastigheder for forskellige cykeltyper:



Hvad viser X-aksen?

Hvordan skal grafen tolkes?



Canadisk 'cykel' sætter hastighedsrekord

Af [Bjørn Godske](#) 27. sep 2016 kl. 16:43 Kilde: Se [her](#):



Med en tophastighed på 144 km/t har et canadisk-udviklet cykel sat verdensrekord. Men cyklen er også verdens mest energieffektive transportmiddel. Rekorden blev sat på offentlig vej ved 'the World Human Powered Speed Challenge'.



Grundlæggende består cyklen af et stel, to hjul og fremdriftssystem, som et menneske driver – altså må det være en cykel.

Alt dette er gemt under en ekstremt aerodynamisk indpakning, og selv om vi tidligere har set den type cykler, som for eksempel den hollandske Velomobiel, så er Aerovalo gået til yderlighederne.

Her er alt optimeret med et stel og en skal bestående af kulfiber. Lejer, kædesystemer og hjul har ekstremt lille modstand, og aerodynamikken er optimeret ved hjælp af CFD-beregninger (Computational Fluid Dynamics).

Også placeringen af cyklisten i stellet har været grundigt undersøgt for at kunne udnytte de menneskelige kræfter bedst muligt.

Læg også mærke til, at cyklisten tilsyneladende ikke kan se, hvor han kører. I stedet for et vindue har føreren et lille skærm inde under skallen, som er forbundet til et kamera. Dermed kan skallen gøres endnu mere aerodynamisk.

Den 18. september i år satte Todd Reichert, der er en af grundlæggerne af Aerovalo, sig ned i cyklen og satte verdensrekord med 89,59 mph, eller hvad der svarer til 144,18 km/t.

»Det er en hel ubeskrivelig følelse at køre i noget så effektivt. Den skærer gennem luften med så lidt modstand, og før du ved af det, cruiser du afsted med motorvejshastighed, uden at du bruger andet end dine egne kræfter,« sagde han i en pressemeddelelse efter rekordforsøget.

Rekordforsøget viste, at Todd Reichert var i stand til at holde en hastighed på 90 km/t blot ved at bruge 198 watt. Hvis det energiforbrug omregnes til kilometer pr. liter benzin, svarer det til, at en bil var i stand til at køre 4.057 km/l. Dermed påstår Aerovalo, at de har udviklet verdens mest energieffektive teknologi til transport pr. person.

Udviklingen af Eta har stået på siden 2009, og blandt sponsorerne finder man blandt andre Google og University of Toronto. Aerovalo har også udviklet en menneskedrevet helikopter, som i 2013 vandt 'the AHS Igor Sikorsky Human Powerd Helicopter Challenge'.

Opgaver:

Tjek ved bilimportører, om der findes grafer for rullemodstand og transmissionsmodstand

Tjek Cd-værdier for biler

Lav forsøg i vindtunnel.

;-----



Formel 1 løb, hvor en bil løftes af luft under bilen:

<http://www.youtube.com/watch?v=wsjApAZGHhk&feature=related>

<http://www.youtube.com/watch?v=srYDvV680gk>

Kilder:

K1: www.windpower.dk/tour/wtrb/drag.htm

K2: <http://home.planet.nl/~IMPS/tech/aero.html>

K3: <http://WEB.syr.edu/~smdemar/rocketdrag.html>

K4: www.insideracingtechnology.com/tech102drag.htm

Links til materiale på nettet:

<http://www.autoteket.dk/newsarticles.asp?show=newsarticles&newsarticle=85>

Bilag:

Herefter følger nogle skemaer for Cd, fundet på nettet.

Alle data i de næste tabeller skal opfattes som gennemsnitlige værdier.

Each entry has its own order of approximation. The tables have been elaborated from a number of sources.

Description

[Table 1](#) reports some typical values for widely studied bluff bodies.

Ru kugle	0.40
Glat kugle	0.10
Hollow semi-sphere opposite stream	1.42
Hollow semi-sphere facing stream	0.38



Hollow semi-cylinder opposite stream	1.20
Hollow semi-cylinder facing stream	2.30
Squared flat plate at 90°	1.17
Long flat plate at 90°	1.98
Open Wheel, rotating, h/D=0.28	0.58

[Table 2](#) is a summary of typical drag coefficients of streamlined bodies.

Table 2: drag coeffs for streamlined bodies	
Laminar flat plate	0.001
Turbulent flat plate	0.005
Airfoil Section, minimum [1]	0.006
Airfoil Section, at stall [1]	0.025
2-Element Airfoil	0.025
4-Element Airfoil	0.05
Subsonic Aircraft Wing, minimum [2]	0.05
Subsonic Aircraft Wing, at stall [2]	0.16
Subsonic Aircraft Wing, minimum [3]	0.005
Subsonic Aircraft Wing, at stall [3]	0.09
Aircraft Wing (supersonic)	n.a.

[Table 3](#) is a summary of drag data for airborne systems and road vehicles.

Table 3: drag coeffs for transport systems	
Subsonic Transport Aircraft	0.012
Supersonic Fighter, M=2.5	0.016
Airship	0.020-0.025
Helicopter Download [4]	0.4-1.2



Sports Car	0.3 -0.4
Economy Car	0.4 -0.5
Pickup Truck	0.5
Tractor-Trailer, with fairings	0.6-0.7
Tractor-Trailer	0.7-0.9
Trailer alone	0.9
Racing Car [5]	0.65-1.10

[Table 4](#) reports a summary of drag data for a human being performing some well known physical activities.

Table 4: drag coeffs of Human	
Man (upright position)	1.0 - 1.3
Ski jumper	1.2 - 1.3
Skier	1.0 - 1.1
Parachutist	1.0 - 1.4

[Table 5](#) reports drag coefficients and total drag forces for some automobiles.

Table 5: Drag coefficients for some passenger vehicles		
Vehicle (class)	CD	CD × A (m²)
VW Polo (class A)	0.37	0.636
Ford Escort (class B)	0.36	0.662
Open Vectra (class C)	0.29	0.547
BMW 520i (class D)	0.31	0.649
Mercedes 300SE (class E)	0.36	0.785

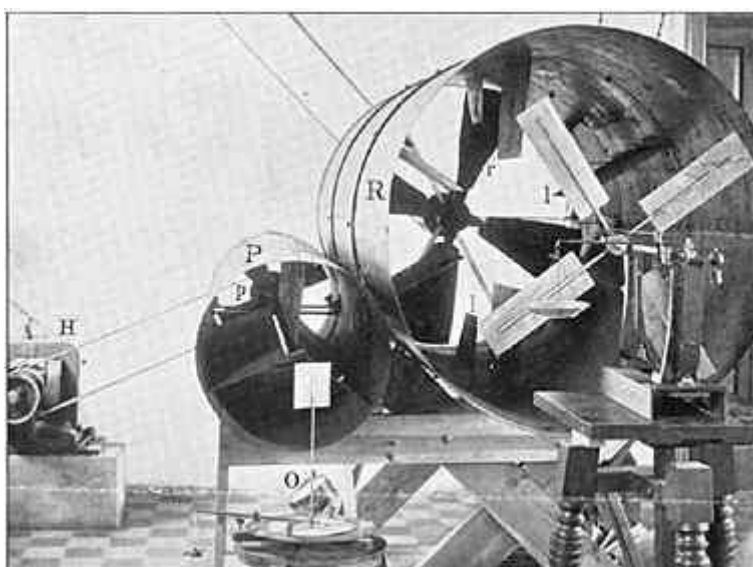
[Table 6](#) reports data for other systems, including towers and tall buildings.



Table 6: drag coeffs of other systems

Wires and cables	1.0 - 1.3
Empire State Building	1.3 - 1.5
Eiffel Tower	1.8 - 2.0
Suspension Bridge	N.A.

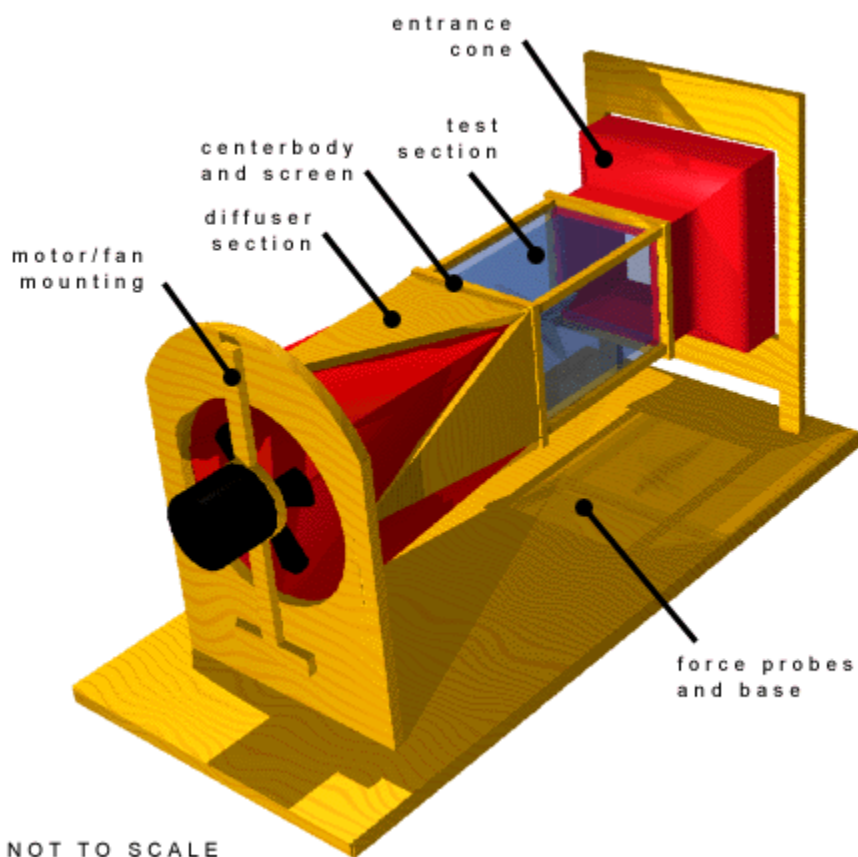
Billeder af vindtunneler fra nettet:



<http://www.poullacour.dk/dansk/vindtunn.htm>



http://en.wikipedia.org/wiki/Wind_tunnel



<http://130.64.87.22/ldaps/htdocs/curriculum/tunnel.html>

Lav forsøg med luftmodstand for et / flere objekter i vores vindtunnel.

Effekt Tab kontra Luftmodstand Kilde: http://www.dot-e.dk/sadanvirker/facts/dot_facthk

Tabellen viser hvor mange HK der som tommelfingerregel normalt er i **transmissionstab**, ved forskellige hastigheder. Og hvor mange HK der skal til ved en given hastighed, for at ophæve **luftmodstand**.

Hastighed KM/t	Effekt tab - Rullemotstand HK	Effekt tab - Luftmodstand HK	Total - Effekt forbrugt HK
16	1	0	1
32	3	1	4
48	4	2	6
72	5	5	10
80	7	10	17
96	8	17	25
112	9	27	37
128	10	41	51



144	12	58	70
160	13	80	93
172	14	106	121
192	16	138	154
208	17	176	193
224	18	220	238
240	20	270	290

Notes

[0] See [Speed Effects](#) for details

[1] Approximate. Actual values strongly dependent on airfoil and Reynolds number.

[2] Rectangular wing of aspect-ratio 5.

[3] Wing NACA 64-210, aspect-ratio=9, taper=2.5, $Re = 4.4 \cdot 10^6$, $M = 0.17$.

[4] It is the drag coefficient for a helicopter in hover; depends on the type of fuselage and the number and type of free standing sub-parts (stubs, nacelles, wings, fuel tanks, weapons, etc.)

[5] Referred to the frontal area. If the reference area is the projected planform, the CD is much lower.

Senere tilføjet:

Forekommer cykelturen ekstra tung i denne mørke vintertid, så er der en konkret fysisk grund til det. Kold luft yder større modstand end varm.

Faktisk er forskellen i vindmodstand fra at cykle i 20 °C og til at cykle i temperaturer omkring frysepunktet, ifølge DMI, syv procent.

Vælger man at holde hastigheden ved at træde hårdere i pedalerne, skal der trædes syv procent flere watt eller ét gear på en racercykel.

Træder man i stedet samme antal watt, sætter det farten mærkbart ned, for vindmodstanden stiger omtrent med kvadratet på hastigheden i forhold til vinden.

Den kraft, der skal bruges til at gennembryde luften, er afhængig af luftens dynamiske viskositet. Den primære årsag til årstidsvariationerne af den dynamiske viskositet er ændringer i luftens massefylde, som hovedsagligt styres af lufttryk og temperatur. Større lufttryk og lavere temperatur giver højere massefylde, forklarer DMI:

Temperaturen er lavest om vinteren, mens lufttrykket i gennemsnit er stort set ens sommer og vinter. Godt nok er variationerne størst om vinteren (± 15 hPa versus ± 7 hPa om sommeren), men ikke store nok til at dominere over temperatureffekten. De større udsving i lufttrykket om vinteren er årsagen til, at storme hører den årstid til.



Kilde: http://ing.dk/artikel/114602-kold-luft-goer-cykelturen-tung?utm_medium=email&utm_source=nyhedsbrev&utm_campaign=ingeftermiddag

Ekstra:

Vindmodstand

$$F_d = -\frac{1}{2}\rho v^2 AC_d$$

Det er værd at bemærke at selvom vindmodstanden *kun* vokser i 2. potens i forhold til hastigheden, så vil det arbejde der kræves udført forøges i tredje potens! Dette skyldes at en fordobling af hastigheden giver en firdobling af kraften som skal forceres dobbelt så hurtigt. Altså en 8-dobling af effekten. Hvis en bil yder 10 [hk](#) ved 80 km/t, skal den altså yde 80 hk ved 160 km/t

Fra <<https://da.wikipedia.org/wiki/Luftmodstand>>

Biler

Luftmodstanden vokser med kvadratet på hastigheden, og den effekt, en bilmotor skal yde for at overvinde luftmodstanden, vokser endnu hurtigere, nemlig med hastigheden i tredje. Allerede ved beskedne hastigheder er luftmodstanden derfor af afgørende betydning for bilers brændselsøkonomi.

Fra <http://denstoredanske.dk/Bil,_b%C3%A5d,_fly_m.m./Biler/Teknik/luftmodstand>

The [power](#) required to overcome the aerodynamic drag is given by:

Fra <[https://en.wikipedia.org/wiki/Drag_\(physics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Drag_(physics))>

$$\text{Power to overcome drag} = (\frac{1}{2}C_D\rho A)v^3$$

Fra <<http://www.animations.physics.unsw.edu.au/jw/car-physics.htm>>

Suppose that the road is flat, that a power P is transmitted to the wheels and that that power is used only to overcome rolling resistance and aerodynamic drag, so, using the equations above for power P and drag force F_{drag} ,

$$P = (F_{\text{rolling}} + F_{\text{drag}})v = (F_{\text{rolling}} + \frac{1}{2}C_D\rho Av^2)v$$



$$P_d = \mathbf{F}_d \cdot \mathbf{v} = \frac{1}{2} \rho v^3 A C_d$$

Fra <<http://www.animations.physics.unsw.edu.au/jw/car-physics.htm>>