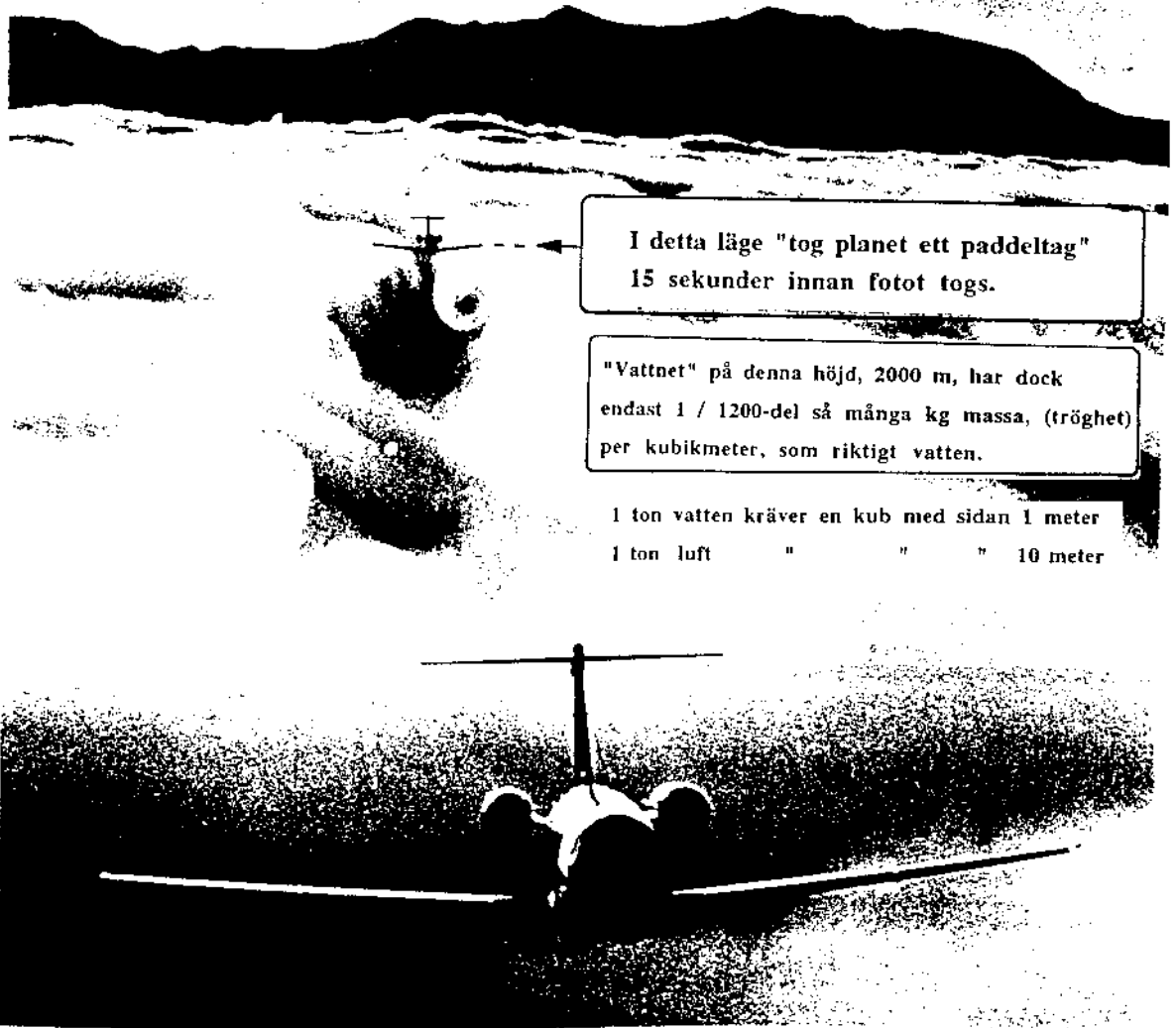


Hur flygplan skapar sin lyftkraft.

Av Martin Ingelman-Sundberg



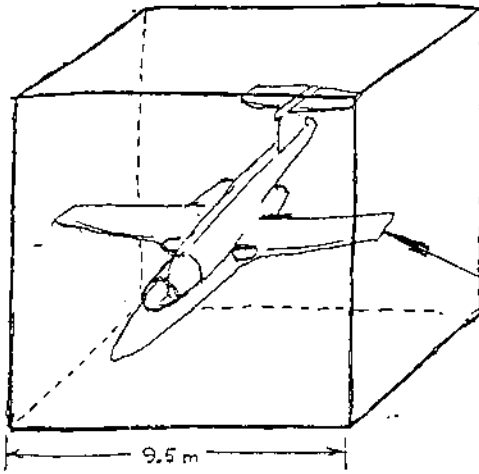
I detta läge "tog planet ett paddeltag"
15 sekunder innan fotot togs.

"Vattnet" på denna höjd, 2000 m, har dock
endast 1 / 1200-del så många kg massa, (tröghet)
per kubikmeter, som riktigt vatten.

1 ton vatten kräver en kub med sidan 1 meter
1 ton luft " " " 10 meter

Med tillstånd av Paul Bowen och Cessna Aircraft.

(Uppdrag för JAS-kommissionen okt. 1993)
(För orientering av kommissionens riksdagsmän)

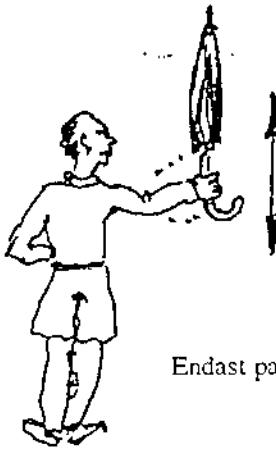


En kub med sidan = SK 60 spännvidd, innehåller vid markhöjd 2.3×10^{28} molekyler syre och kväve vilket ger
1,1 ton massa luft

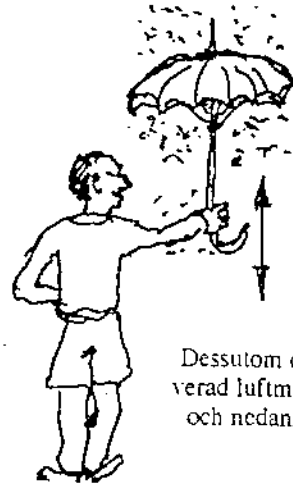
Det är att denna massa har **tröghet som är förutsättningen** för alla aerodynamiska tryck och krafter.

4,5 ton massa SK 60

Har är både trögheten och tyngden av betydelse.



Endast paraplymassan.



Dessutom ca 1/2 kg medaktiverad luftmassa, både ovanför och nedanför.

Att luftmassan har tröghet kan du känna genom att först snabbt föra ett hopfällt paraply uppåt och nedåt. Fäll sedan ut det. Då känner du en helt annan tröghet i vändningarna. Det är effekten av omgivande massa som du då måste ändra rörelsetillståndet för. (Teckning Bengt Serwe)

Varje flygplan måste självt kontinuerligt skapa sin bärande väg med hjälp av den passerade luftmassans tröghet.

Copyright.

Hur flygplan skapar sin lyftkraft.

Av Martin Ingelman-Sundberg

På omslaget till "Flying's" mars 92-nummer visas ett foto som kan ersätta många timmar flygteori. Det kan sägas visualisera själva grundprincipen för flygning enligt system tyngre än luft. Och det gör det inte i en liten vindtunnel utan uppe i den verkliga flygmiljön. Bilden borde ha sin plats på en vägg i varenda grundflygskola. FIGUR 1.

En Cessna Citation kommer stigande upp ur molnen ovanför Lake Tahoe i Californien. I aktertornet till en gammal B-25 bombare, 500 m framför den, sitter fotografen Paul Bowen. Även när Citationplanet kommit helt ovanför molnet så tvingar det ändå luften nedåt så att molnöversidan först blir badkarsformad för att sedan efter 15 sekunder ha "rullats ihop" till två koncentrerade virvlar vilka sakta rör sig nedåt med ett konstant inbördes avstånd.

1. Ett kontinuerligt av-"stamp" från successivt nya tröga massor av luft är vad som skapar lyftkraften.

För att hålla flygplanet i luften, mot jordens dragningskraft måste planets vingar kontinuerligt accelerera en viss del av den luft den passerar i motsatt riktning d.v.s. nedåt, så att denna luft sedan vingen just passerat har fått en viss hastighet nedåt.

Den luften har massa (kg). FIGUR 2 visar att en kub med sidan lika med spännvidden för ett typiskt lätt flygplan innehåller 1250 kg luftmassa (vid markhöjd) En tänkt luftcylinder med Citation-spännvidden som både diameter och längd innehåller på här aktuella höjden 6000 ft, en massa av inte

mindre än 3,35 ton (!!!) och den har dessutom också en motsvarande **tröghet**. Den vill därför inte frivilligt ändra sitt initiala rörelsetillstånd av "vila", d.v.s. att flytta sig undan nedåt när vingens "anfall" vill tvinga den till detta. Det motsvarar den s.k. "Newtons första lag". Den kommer därför att utöva lika stor motkraft mot vingen d.v.s. lyftkraft, som erfordras för dess massinnehålls successiva acceleration nedåt.

Denna sker genom att det uppstår en sänkning av luftens tryck mot översidan, vars begränsningsyta ju "flyr undan" nedåt från den stillastående atmosfärluften. En del av atmosfärtrycket balanseras då av den tröghet som måste övervinnas för att ge luften fart nedåt i riktning mot ytan. Under vingen, där undersidan istället "tränger" nedåt, verkar motsvarande tröghet i riktning in mot ytan och adderas vid ytan till atmosfärtrycket så att trycket mot denna blir ökat. Som resultat uppstår den tryckdifferens mellan över- och undersidorna som ger själva lyftkraften, FIGUR 3.

Varje sekund tager Citation-vingen "avstamp" från (=aktiverar) vad som har visat sig motsvara, en tänkt likformigt aktiverad mängd luft, sådan som ryms inom det antal sådana cylindrar som vingen passerar per sekund. Det sker successivt under vingpassagen. (Det är en schematisering och i verkligheten påverkas luften närmast över och under vingen starkast, och påverkan minskar så successivt till noll på stort avstånd.)

Storleken på denna "ekvivalenta aktiverade massa", FIGUR 4, framkom redan för 75 år sedan som ett resultat av en utförlig be-

räkning, som professor Ludvig Prandtl gjorde så snart han vidareutvecklat F.W. Lanchesters virvelteori för vingberäkning. Om vingens lyftfördelning i spännviddsled avviker från den därvid optimalt antagna, så motsvarar det att den aktiverade massan (tvärsnittet därav) blir något reducerad, vilket ger ett ökat "lyft-inducerat" motstånd. Sambandet gäller oförändrat idag, och virvelteorin är fortfarande den mest använda beräkningsmetoden. Det finns en direkt likhet även med en "jumpare på isflak", som tar avstamp från successivt nya is- och vattenmassor vilka accelereras nedåt, FIGUR 5.

Det är också samma princip som utyttjas när man genom att vinkla ut ett roder vid en vingbakkant och med detta ger luftmassan en extra acceleration uppåt eller nedåt just innan den lämnar vingen.

2. Spår uppstår i luften när vingen passerat -- "svallrörelser" kallade "wake turbulence".

Omedelbart när vingen passerat så har nämnda luftmassa lämnats av med en viss hastighet nedåt. Den rörelseenergi som tillförts den återvinns aldrig. Denna energiförlust är vad som orsakar vad som kallas (lyft)-inducerade motståndet. Det är inte alls någon liten lokal omströmning från tryck till sug sida runt själva vingspetsen som det brukar sägas. Om det skall kallas "läckage" så sker det både långt ovanför, under och utanför spetsarna.

Uttrycket att läckaget orsakar inducerade motståndet kommer från en jämförelse med en tänkt oändligt lång vinge. Denna skulle nämligen inte behöva orsaka någon kvarblivande nedåthastighet, varför det lyft-inducerade motståndet skulle bli noll. Detta kräver dock en egen artikel liksom hur vingens profil i detalj fungerar. Det fysikaliskt viktiga fenomenet för vingprofilens funktion är att undersidans luftström inte förmår följa ytan runt den skarpa bakkanten utan "släpper" från ytan samtidigt som dock

strömningen runt framkanten och ovanför förblir anliggande.

I det aktuella "Citation"-fallet på bilden (Spännvidden $b = 15.9$ m, Vikten $G = 6700$ kg, Farten $V = 175$ knop $= 87$ m/s), passerar vingen varje sekund 5,5 stycken av förut nämnda cylindrar . Det blir $5,5 \times 3,35$ ton $= 18,4$ ton luft per sekund. Den tröga massan hos all denna luft bibringas successivt en nedåt-hastighet av 3,7 m/s.

Närmast bakom planet syns att molnöver-sidan huvudsakligen tvingats iväg nedåt. Längre bak, d.v.s. viss tid efter passagen, har annan luft från sidorna hunnit strömma in ovanför den initialt nedsvepta luften och likaså har luften nedanför tvingats ut åt sidorna. Successivt har de två vackert visade koncentrerade motroterande virvlarna bildats. Deras centra stabiliseras på ett inbördes avstånd av ca 79 % av vingens spännvidd (Prandtl) . Deras avstånd i bilden är därför 12,6 m vilket kan utnyttjas till att ge en längdskala i detta tvärsnitt på bilden.

Med en approximativ utvärdering av fotobilden, med kännedom om kamerabrännvidden, har avståndet mellan planet och "virvelögonen" kunnat uppskattas till 1400 m, d.v.s. planet passerade det markerade läget 15 sekunder innan bilden togs. Virvelcentra kan beräknas röra sig nedåt med ca 0,6 m/s varför "virvelögonen" på fotot ligger 9 m under den höjd där vingen verkligen passerade då den initierade luftens rörelse nedåt. (Jfr utvecklingen av virvlarna efter ett paddeltag i vattenytan, det är samma sak).

För vingar med stor utsträckning i längdled relativt spännvidden, exvis flygplan Draken och Viggen, hinner de virvlar som orsakas av vingens främre delar ofta att koncentreras redan ovanför vingens egna bakre delar.

3. Hur starka och farliga kan olika flygplans virvlar vara och hur länge finns de kvar.

Med ledning av flygplanets tyngd, spännvidd och fart och med aktuell lufttätthet går det att beräkna virvlarnas styrka och därmed den "periferi"-hastighet som råder på olika radier från deras centrum.

Den blir i detta speciella fall, uttryckt i m/s, $v = 7,7$ dividerat med radien i meter.

Den ökar alltså mot centrum. På radien 2 m erhålles 3,8 m/s och på radien 0,5m då 15,4 m/s. Allra närmast virvelcentrum råder dock speciella förhållanden på grund av luftens viskositet (= seghet, liknande sirap men mycket tunnare). Annars skulle hastigheten där bli oändligt stor.

Citation-planet har ganska låg vikt per meter spännvidd och flyger här någorlunda fort varför dess virvlar är relativt ofarliga. Om dess fart sänks till hälften dubblas dock virvelstyrkan.

En Concorde, med vikten 185 ton inom en spännvidd av 26 m, skulle däremot vid nu aktuell fart ge virvlar som är mycket farliga för mindre flygplan, 17 gånger så starka som Citation! (En 747 --15 gånger, DC-9 --5 gånger men en 4-sitsig Piper Cherokee endast 1/4-del så starka)

Den som kanske erfarit "kyttet" när han med en "Cherokee" i brant sväng korsat sina egna virvlar kan tänka sig detta kyt, 60 gånger så starkt. Så blir det nämligen om han skulle råka flyga in i lyftkraftsvirvlarna -- "svallvågorna" efter en långsamt flygande 747.

I USA har t.o.m. ett totalhaveri skett då ett DC-9 plan under skolflygning i samband med landningen kom för nära efter en 747:a och kastades över på rygg och i marken.

Tiden det tager innan virvlarna dämpats ut och övergått till oordnad turbulens beror på atmosfärens egen turbulens. I stilla luft

lever de längst, och det kan vara en fråga om många minuter innan de dämpats i väsentlig grad.

Innan detta problems vidd till fullo insågs kom USA för 30 år sedan att hinna förlora sin prototyp till överljudbombplanet B-70, då ett eskorterande jaktplan greps av dess virvlar och kolliderade med det.

Det vanligen använda uttrycket vingspetsvirvlar ger en bedrägligt mild association, även om det är samma sak som åsyftas.

----- 0 -----

Om JAS-flygplanets virvlar.

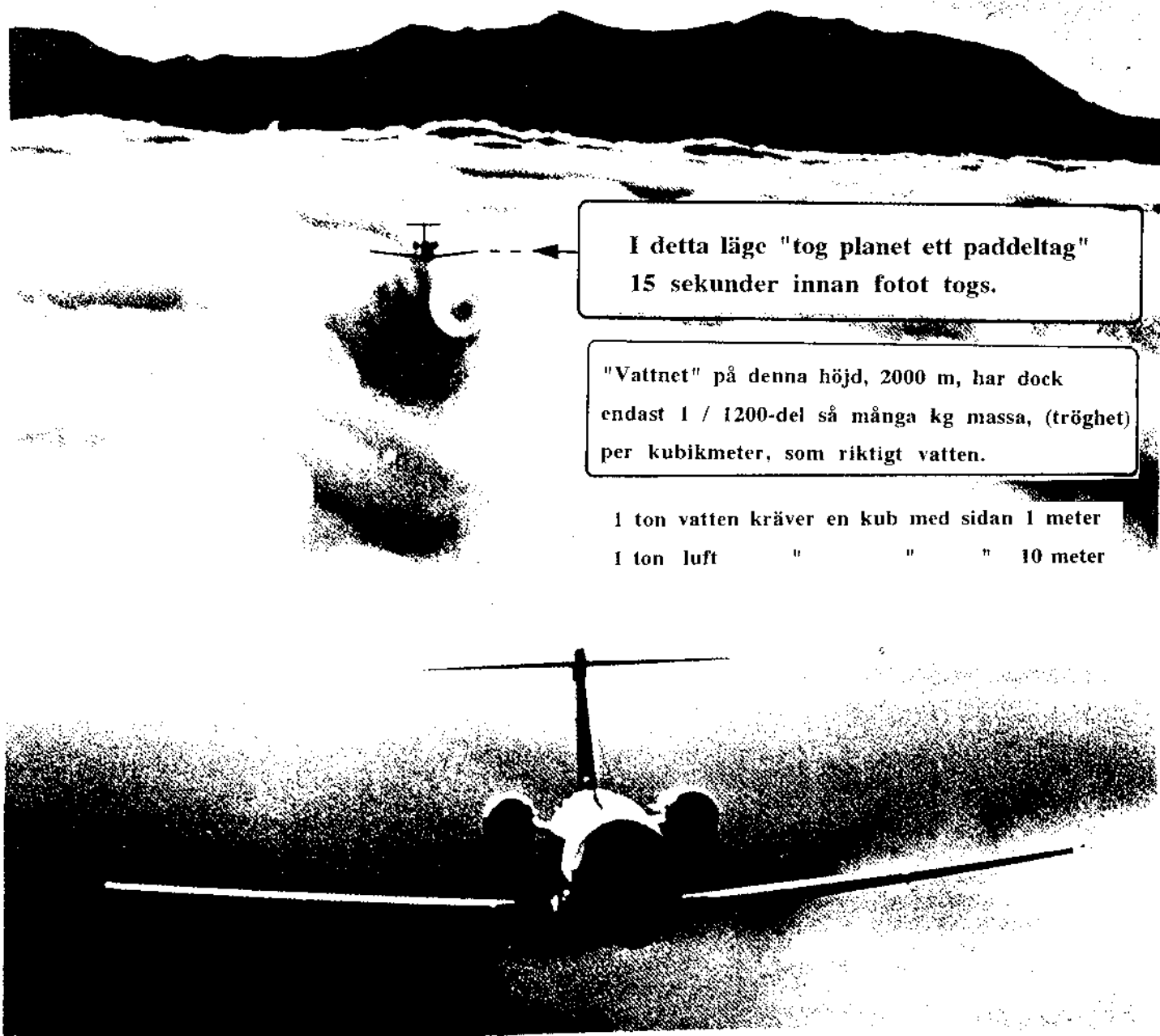
JAS flygplanets (vikten antages 7 ton och spännvidden 8 m) egna lyftkraftvirvlar vid den aktuella 2 g- 360-grader-svängen med 285 km/tim, bör ha haft en styrka som på radien 2 meter från virvelcentrum kan orsaka en periferihastighet av c:a 14 m/s, på radien 1 meter ca 28 m/s och vid 0.5 m radie 56 m/s.

Det farliga området är alltså begränsat till inom en omskriven cirkel med diametern c:a 15 - 20 m, och sannolikheten för att planet skall råka komma inom det området efter flygning av en cirkel med en diameter större än 1 km måste vara, om än inte noll, så dock mycket liten.

Om det dock skulle ske, då vore det definitivt en oerhört kraftig störning. Med hänsyn till att flygplanets egen fart endast är 80 m/s skulle sådana vertikala "vindbyar" kunna orsaka lokala anfallsvinkelfluktuationer av storleksordningen 10, 20 respektive 35 grader, samtidigt som flygtillståndet är markant känsligt för yttre störningar.

Planet befinner sig samtidigt nära kritisk anfallsvinkel och har på grund av låg flyghastighet, endast tillgång till relativt liten aerodynamiska verkan från rodren även när dessa ha maximalt möjliga utslag.

----- 0 -----



I detta läge "tog planet ett paddeltag"
15 sekunder innan fotot togs.

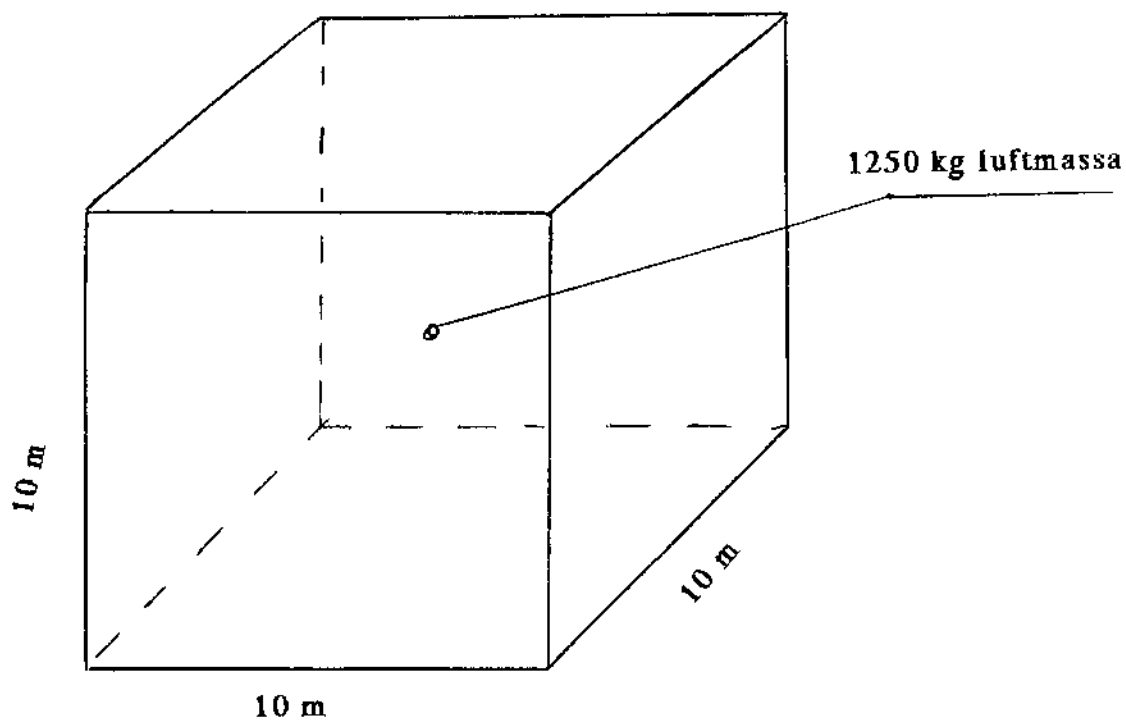
"Vattnet" på denna höjd, 2000 m, har dock
endast 1 / 1200-del så många kg massa, (tröghet)
per kubikmeter, som riktigt vatten.

1 ton vatten kräver en kub med sidan 1 meter
1 ton luft " " " 10 meter

Foto: Copyright Paul Bowen.

FIGUR 1. Utvecklingen av nedsvepningsfältet bakom ett flygplan typ Cessna Citation visualiserad i en molnöversida. Avståndet mellan plan och virvelteckningen har ur kameradata beräknats till c:a 1400 m.

Copyright.



FIGUR 2. En kub med 10 m sida (=spännvidden för en Piper Cherokee) innehåller lika mycket massa som en medelstor bil, 1250 kg. Det är 20 % mer än Cherokee-planets egen massa.

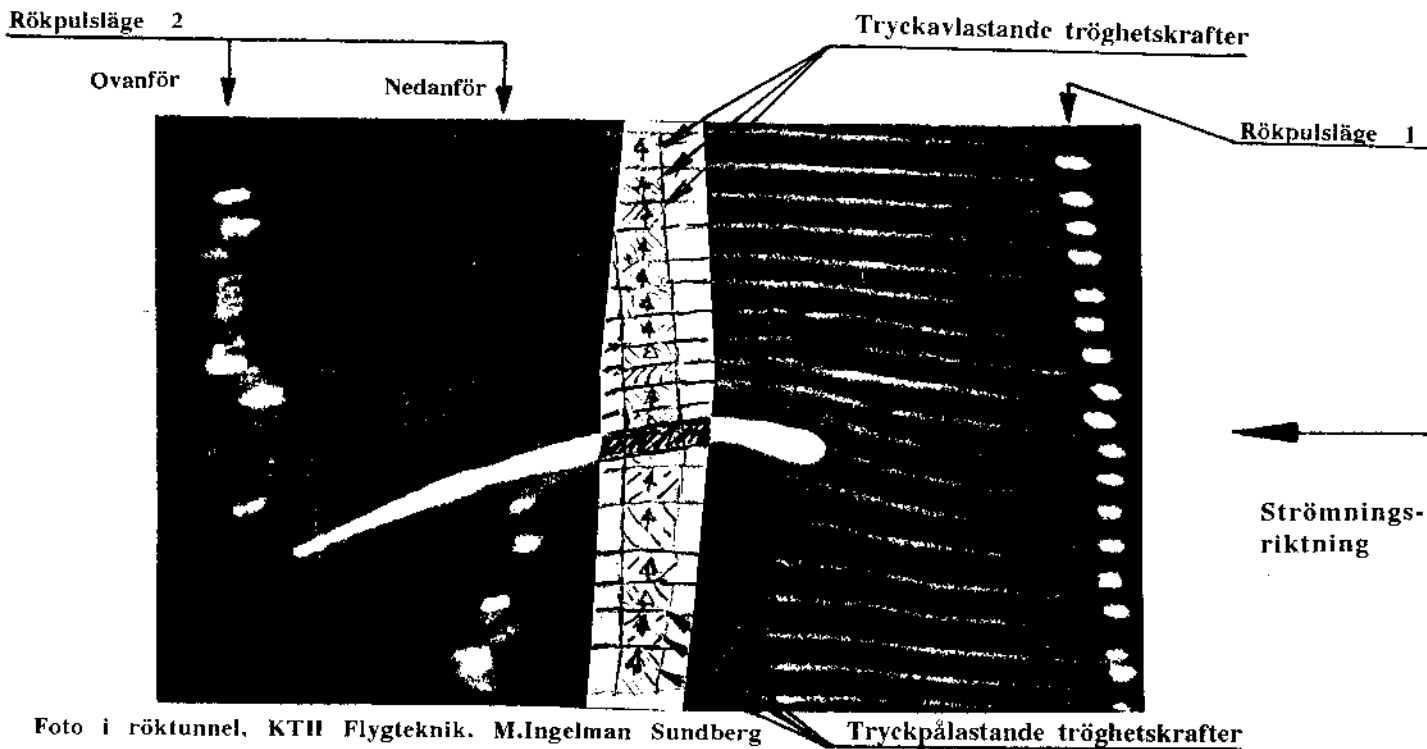
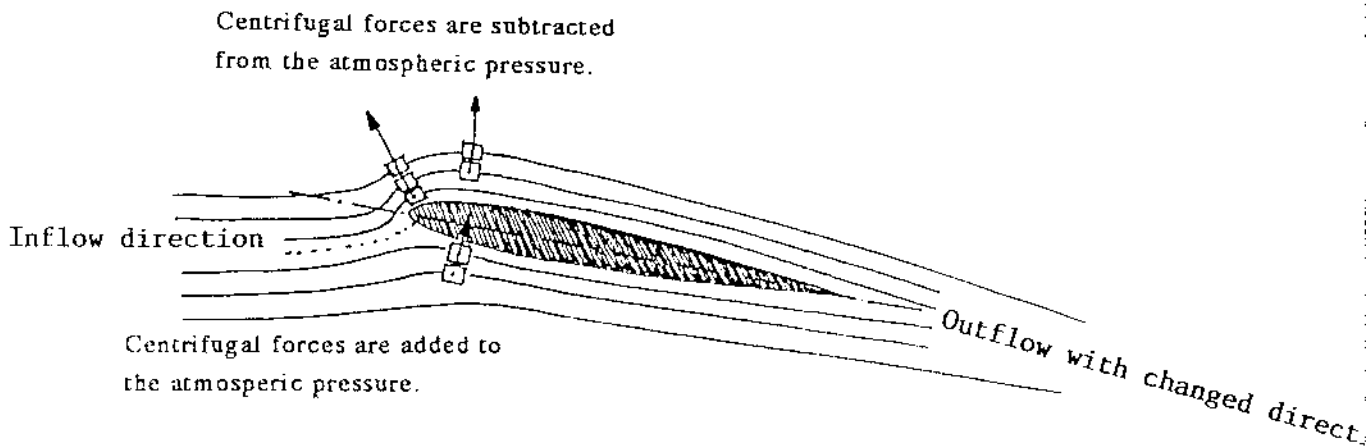


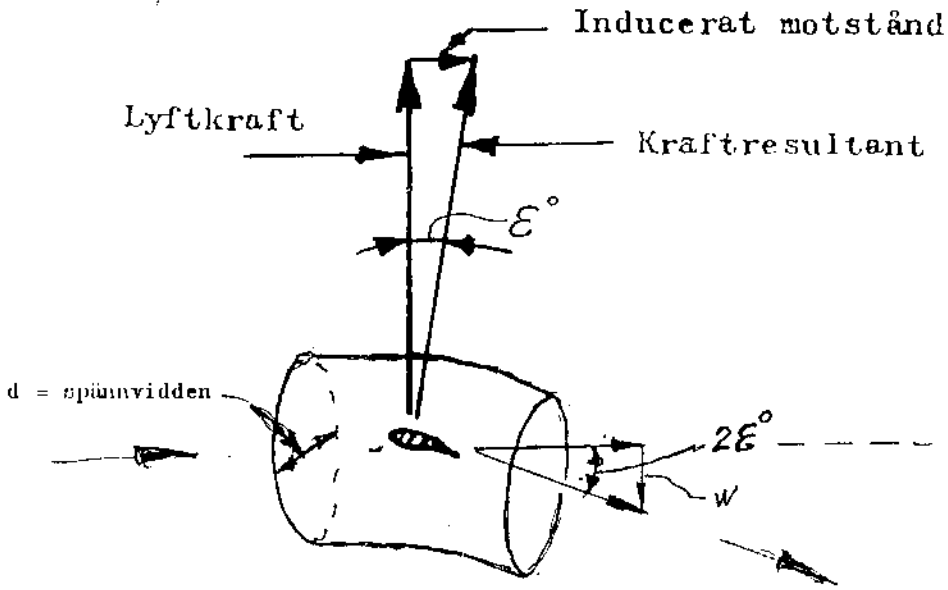
Foto i rök tunnel, KTH Flygteknik. M. Ingelman Sundberg

- a. Tunn "segelprofil" (är mycket beroende av exakt rätt anfallsvinkel).
 Initialt synkrona rökpulser i strömningen visar den fasförskjutning som alltid skapas mellan luft närmast ovanför och närmast under.



- b. Rundad framkant på flygplanprofil ger tolerans för variationer i anfallsvinkel.

FIGUR 3. Hur de lokala tryckändringarna på vingprofilens yta skapas av tröghetskrafterna (centrifugal-) på alla enskilda små element av luftmassa.



FIGUR 4. Medelnedsvepningshastigheten omedelbart bakom en ving blir såsom om vingen likformigt aktiverade en luftmassa som passerar genom ett cirkeltvärsnitt med spännvidden som diameter.



FIGUR 5. Det finns en klar likhet mellan flygning och att "jumpa" från isflak till isflak. Jumparen kan endast hålla sig uppe genom att hela tiden accelerera successivt nya is- och vatten massor nedåt.