

Lögnen om Bernoulli till världens piloter

– resultat av principfel i åtta decenniers aerodynamikteoretiska undervisning

Flygmyndigheternas, ICAO/FAA, version av "Bernoullis princip" innebär förnekande av begreppet massans tröghet och därmed av varje möjlighet till aerodynamiska krafter. Efterföljare till L.Prandtl missförstod dennes volumetriska definition av strömningens geometri. Det kompenserade de med en omkastning av Bernoullis egen relation mellan hastighet och tryck.

Av Martin Ingelman-Sundberg

1. Ett fundamentalt motsatsförhållande.

Både ICAO och FAA påstår att "ökning av hastighet initierar minskning av tryck". ICAO, The International Civil Aviation Organization i sitt DOC 7192, 1985. ("increase in velocity causes decrease in pressure") FAA, the US Federal Aviation Administration, motsvarande i "Pilots Handbook of Aeronautica Knowledge.

Detta innebär förnekande både av massans tröghet och Newton's 1:a lag. (1642 - 1727)

D.Bernoulli, "Hydrodynamica" (p.258) (1738) "Hic non tam pressio ex velocitate quam reciproce velocitas, si foraminulum in lateribus canalis fiat, ex pressione definiri potest."

"Här kan trycket definieras, inte så mycket ur hastigheten, som omvänt, hastigheten ur trycket, om det är ett litet hål i kanalens sida".

(Bernoulli kände till Newton's 1:a lag och begreppet "massans tröghet")

Lyftkraftsbeskrivningarna är idag alltid baserade på något slag av argument om varför hastigheten ovanför vingen skulle vara ökad och under den, minskad, varefter en felvänd "Bernoulli-relation mellan hastighet och tryck används för att motivera trycken. (Det är bara hastigheter som man kunnat beräkna). De åtföljs av en hel flora av fysikaliskt felaktiga experimentella demonstrationer. (bl a på Smithsonian museet och mängder på internet.)

De vanligaste är :

- "Länge distans för luft att förflytta sig över ovensidan på samma tid"
- "Sammanklämning (squeezing) av strömningen mellan översidan (och oändligheten ovanför). Det jämföres med ett halvt venurirör.
- "Cirkulation av luften runt ving-

sektionen, relaterat till en feltolkning av den skruvade tennisbollen från år 1870.

Felen i dessa:

- Inget skäl varför luften som passerar ovensidan skall nå bakkanten samtidigt med den som passerar under vingen. Lyftkraften kommer istället själv att skapa en tidsskillnad.
- Den procentuella sammanklämningen är noll.
- Istället är det lyftkraften som initierar de luftmasserörelser som matematiskt beskrivs med "cirkulation".

Alla dessa beskrivningar strider mot det fundamentala för alla aerodynamiska verkningar – nämligen – begreppet massans tröghet. De kom även att få skjuta bort det som tidigare varit korrekt och enkelt utlärt – den fysikaliska grundprincipen för alla flygfarkoster tyngre än luft – nämligen – acceleration av passerad trög luftmassa nedåt. Redan gymnasiefysik, exvis Moll-Rudbergs, borde ha medfört reaktioner mot dessa grova missförstånd.

2. Massans tröghet är en vardagserfarenhet som gör lyftkraften lätt att förstå – när den förnekas blir det omöjligt
Galileo Galilei (1564 - 1642) var den förste att observera och påpeka denna egenskap för massan. Isaac Newton (1642 - 1727) formulerade den som sin 1:a mekaniklag – "Tröghetslagen" år 1687. Den innebär att varje massa strävar bibehålla sitt momentana rörelsetillstånd om den inte påverkas av en yttre kraft"

Om Du hastigt rycker en tallrik med soppa åt sidan är det soppans tröghet som gör att soppan stannar kvar där den var men nu utan någon tallrik som hindrar den att falla ned. När Du står i en buss är det dina egna 60 - 80 kg trög massa som Du känner effekten av när bussen ändrar riktning eller hastighet. Du måste antingen luta dig eller taga tag i något handtag för

att inte falla och känner då direkt den erforderliga accelerationskraften.

En kub med 4 m sida innehåller vid havsytans nivå 80 kg luftmassa med samma tröghet som Du kände effekterna av i bussen. När två bilar kolliderar är det trögheten i deras massor som orsakar de krafter som uppstår.

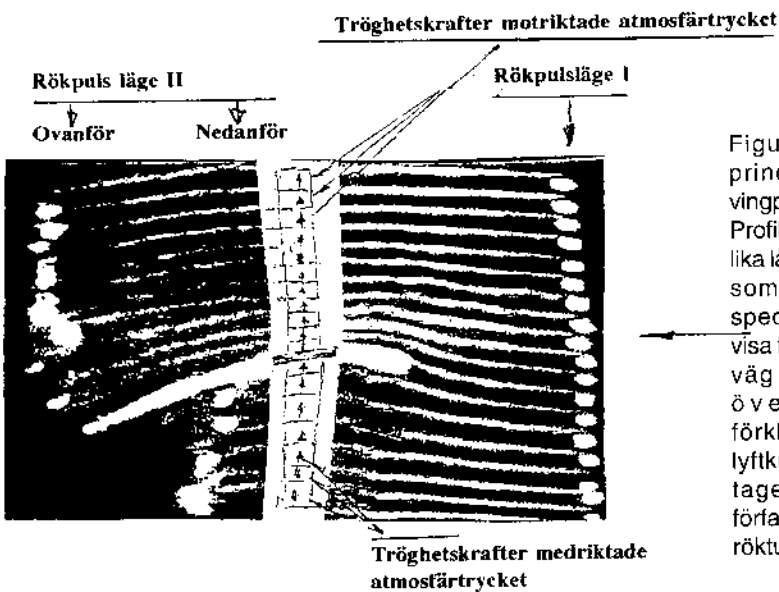
Om Du rör en vertikal platta (t.ex. ett skärbräde genom vattnet i diskhon eller badkaret) snedställd 5 - 10 grader relativt rörelseriktningen (anfallsvinkel), kommer båda sidorna att vara aktiva i att accelerera vattenmassa i tvärlägen – den ena sidan erfar en tryckstegring den andra en tryckminskning. Det indikeras samtidigt av vattenytans lokala höjning resp sänkning. Du erfar reaktionskrafterna från att starta rörelse i tvärlägen, mot trögheten i både "trycksidans" och "sugsidans" vatten.

Om Du rundar "framkanten" kan Du använda större vinkel innan vattnet på sugsidan slutar följa ytan och uppnå ökad tvärkraft. Om Du strör litet vitpeppar som indikator på vattenytan så kan du lära dig mycket om hur strömningen sker, exvis att sugsidans vatten kör förbi trycksidans.

Redan Leonardo da Vinci (1452 - 1519) beskrev hur seglen drar skeppen genom att ändra vindens (=den tröga luftmassans) rörelseriktning, Cayley, Lilienthal, Lanchester, Prandtl, Munk m.fl förstod betydelsen av luftmassans tröghet. Även Wolfgang Langewiesches fysikaliskt korrekta pilotbok (1945) bör nämnas här.

Det förefaller emellertid som om Prandtl's utnyttjande av "klassisk" hydrodynamik's räknemetoder, för sin beräkning, blev allvarligt missförstått av le-

Artikeln är en översättning till svenska av den engelska artikel jag haft i "Mekanisten" 2001/3 dock med viss utvidgning varav en viktig bit om venturirör först idag.



Figur 1 visar i princip hur en vingprofil arbetar. Profilen vald med lika lång översida som undersida speciellt för att visa felet i "långre väg längs översidan" - förklaringen till lyftkraften. Foto taget av författaren i KTH röktunnel 1992.

dande efterföljande teoretiker. Ett översättningsfel i Prandtl's NACA Report 116. (1921) har sannolikt starkt bidragit.

Fysiken blir som följer:

1. Tväraccelerationer (=riktningsändringar) orsakar på grund av luftmassans tröghet tryckgradienter i tvärlängd, vilka närmast ytan adderas till eller subtraheras från det omgivande atmosfärtrycket.
2. Som resultat av detta kommer också longitudinella gradienter att uppstå och den longitudinella hastigheten längs strömlinjen att variera som funktion av det lokala trycket.
3. Detta i sin tur initierar variationer i avståndet mellan röklinjerna - observera ordningsföljden!!!
4. Luftelementen närmast över och under framkanten kommer aldrig mer att mötas. En kvarblivande "fasförskjutning" uppstår som är direkt proportionell mot den s.k lyftkraftskoefficienten.
5. Riktningssändringen nedåt - mellan framkant och bakkant - ger den totala lyftkraften.

Innan någon "inkompressibilitetsmatematik" ännu hade hunnit bli missförstådd beskrev Otto Lilienthal redan 1895 lyftkraften fysikaliskt utmärkt på följande sätt:

"Den luft som ovanför vingen strömmar förbi i krökt bana kommer genom centrifugalkrafter att orsaka en sugning på vingytan och därigenom skapa en svag "uttunnning" av luften. Den luft som strömmar längs undersidan kommer på grund av sin "centrifugala strävan" att erfara en svag kompression, som kommer att verka som ett tryck underifrån mot ytan. Luft "förtunning" ovanför och "för-

tätning" nedanför, eller vad som är det samma, "UTÅT kraften" från den ovanför och nedanför i krökta banor strömmande luften utgör den på ytan verkande lyftkraften."

(Ur "Die Profile der Segelflächen und ihre Wirkung". Zeitschr. für Luftschiffahrt, 1895 s. 42 - 57.)

3. Hur kan misstaget med en omkastad - tröghetsförnekande - Bernoulli-relation mellan hastighet och tryck ha uppstått?

Luftens strömning omkring vingar och kroppar styrs av Newtons mekaniklagar, av den allmänna gasekvationen och av luftens viskositet i ett mycket komplicerat samspel. För varje litet luftelement, luftpaket, i strömningsfältet måste balans råda mellan dess inre tröghet och de yttre krafter som verkar på det. Det är ett mycket svårt beräkningsproblem.

Redan omkring 1750 formulerade Leonard Euler, (1707 - 1783), en vän till Da-

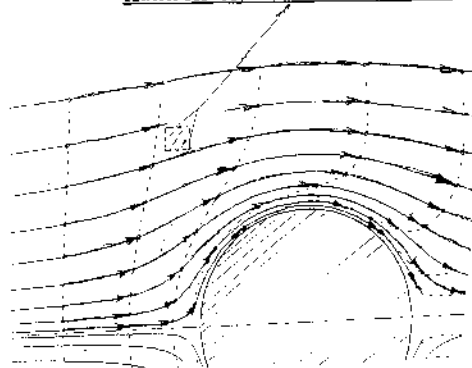
niel Bernoulli, rörelseekvationerna för strömningsfält (förenklade till att bortse från viskositeten) genom att införa en i rummet fixerad s.k "kontroll" volym genom vilken fluiden strömmar förbi. Att luften enligt allmänna gaslagen förändrar sin täthet vid varje tryckändring gjorde emellertid även dessa ekvationer olösliga före superdatoråldern.

Om man begränsar sig till fallet då hastigheten går mot noll blir tätheten överallt lika och för detta speciella s.k. gränsvolym fält" att tillgodose mekanikens krav. Volym "flödet" representerar nämligen då samtidigt massflödet. Detta utnyttjades av engelsmannen F.W. Lanchester i hans bok "Aerodynamics" (på engelska 1907 och på tyska 1909). Professor L. Prandtl och Lanchester möttes hos Prandtl i Göttingen 1908. Även den unge Th von Karman deltog i och beskrev detta möte.

Att denna Lanchester-kunskap - själva fundamentet för hela den linjära potentialteorin - varken fördes vidare av Prandtl eller av von Karman, måste vara orsaken till att fluidens inre mekanik och begreppet massans tröghet så allmänt förbisetts av senare fluidmekanik teoretiker.

Fluidmekanikläroböckerna behandlar genomgående enbart s.k "ideal" eller "perfect fluid" vilket motsvarar Prandtl's konstant volym begränsning men utan hans samtida påpekande om avvikelser från verkligheten. Istället ges ett falskt intryck av att en sådan "ideal" fluid skulle kunna existera. Begreppet massans tröghet har därför försvunnit ur flertalet läroböcker. För rena beräkningar har den ersatts av den felvända Bernoulli-relationen.

Kontrollvolym fixerad i rummet

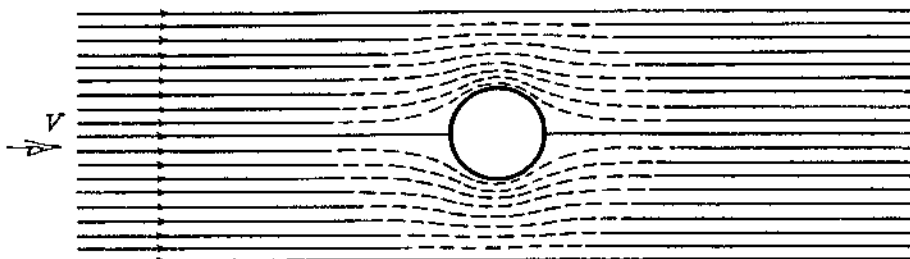


p = lokalt tryck
 ρ = lokal masstäthet
 v = lokal luft hastighet
 d = differens

Volymens massa är mått på dess tröghet.
 Utan massans tröghet skulle ingen tryckdifferens dp uppstå.

$$dp = -\rho v dv \quad (\text{Observera, det är en vektor med både storlek och riktning!})$$

Figur 2. Eulers s.k. grundekvation definierar flöde och kraftbalans för en stationär strömning av trög fluidmassa genom en s.k. "kontroll" volym fixerad i rummet.



Figur 3. Sammanklämning mellan en cylinder och oändligheten (!!). Felaktig men normbildande figur ur C B Millikan "Aerodynamics of the Airplane" (GALCIT 1941)

I den fysikaliska verkligheten finns dock ingen rak strömlinje förrän oändligt långt ovanför eller nedanför cylindern. Det innebär att relativa "sammanklämningen" blir noll procent. Sammanklämningen kan därför inte initiera hastighetsökningen. (Det är istället tvåaccelerationerna i krökt strömning som initierar hastighetsändrade tryckändringar. Observera ordningsföljden.)

Efter WWI publicerade Prandtl 1918 - 1921 sin vidareutvecklade version av Lanchesters vingteori. I denna hoppar han förbi mekaniken och bygger istället direkt vidare på det från "klassisk hydrodynamik" nedärvda antagandet om att strömning skulle kunna ske utan volymändring. Han påpekar dock tydligt skillnaden till verkliga fluider och att dessa alltid är något kompressibla och främst styrs av "inertia". Tyvärr behandlar han det dock tydligen inte tillräckligt. Han skriver att hans beräkningar skulle motsvara en inkompressibel och inviskös "ideal fluid". Han verkar dock aldrig påpeka att detta enbart kan gälla som det grännsfall för hastigheten noll vilket författaren nu här påpekar. Ingen trög fluidmassa kan accelerera utan inre tryckgradienter. Ingen har någonsin fått tryck ur en cykelpump utan att ändra luftens volym!

Prandtls räkningar fungerar genom att man med de matematiska verktygen "källa", "sänka" och "virvel" skapar ett rent geometriskt bestämt konstantvolym

hastighetsfält så att det följer vingytan. Ur de hastighetsvärden som då erhålles kan trycken härledas (!) med hjälp av fysikaliskt bakvänt utnyttjande av Bernoullis egen hastighetsrelation. Det är denna felvändning som flygmyndigheterna kallar Bernoullis princip.

Prandtl var alltså väl medveten om verkligheten men beskrev ändå relationen mellan denna och den matematiska modellen för ofullständigt. Mycket snart efter hans publicering började teoretiker tala om Prandtls "ideal fluid" som om det var en strömning av verklig fluidmassa. Prandtls varning att verklig strömning styrs av mekanik blev allmänt förbisedd. Även med den starkt förenklade "konstant volym" approximationen blir räkningarna mycket komplicerade och de aktiva personerna glömde helt den bakomliggande fysiken och kunde därför sällan beskriva tryckskapandet utan felaktiga hastighetsmotiveringar plus en "lögn" om Bernoulli.

4. Misstag i normbildande böcker från California Institute of Technology, USA

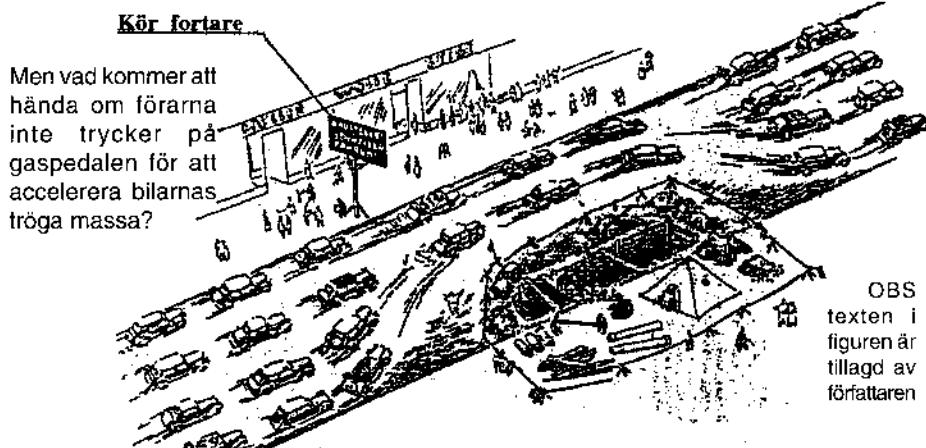
I USA utkommer 1935 den flygtekniskt ledande professor Th. von Karman med en "normbildande" bok "Aerodynamic Theory — Perfect fluids". Den förstärker ytterligare intrycket av att luft skulle kunna betraktas som en sådan fluid. Han beskriver lyftkraften som orsakad av "Circulation" och bakvänd Bernoulli-relation och anknyter detta till fysiken via Lord Rayleighs år 1870 feltolkade sk "Magnuseffekt" (den skruvade tennisbollen). I boken "Aerodynamics of the Airplane" (1941) av Millikan och von Karman ges det "halva venturiröret" och "squeezed streamtubes" beskrivningen en beklagligt misledande styrka.

5. Den stora venturi-hjärntvätten

Det var nu som den verkligt stora "hjärntvätten" med halvt venturirör slog igenom och spreds över världen bl a via Shell-filmerna (1947), FAA m m.

Figur 3 är ur Millikans bok. Den visar hur Millikan och von Karman tror att strömningen "kläms" ihop mellan cylindern och en rak linje en diameter ovanför resp nedanför och därför ökar hastigheten. I verkligheten finns inga raka strömlinjer närmare än på oändligt avstånd och då blir relativa sammanklämningen noll. Av Figur 4 och 5 framgår dessutom att effekten av sammanklämning inte är att öka hastigheten i "klämningen" utan tvärtom att bromsa ner den framför. (Den verkliga delen i ett venturirör är istället diffusorn.)

På Ljungbyhed kom inflytandet från USA att skjuta bort det som förut varit helt rätt. Detta ända fram till 90-talets början då det återkom (möjligen som resultat av författarens hårda strider mot inarbetad slentrian). Att en del elever först reagerade mot påståendet att hastighetsändring skulle initiera tryckändring är klart men



För acceleration av en trög luftmassa motsvaras gaspedalen av en tryckgradient. Accelerationen kan dock inte själv skapa sin egen förutsättning – tryckgradienten.

Fig 4. En vackert utförd figur med "Squeezed car stream tube" som ursprungligen är avsedd att beskriva att trycket sjunker när "strömlinjerna" kläms ihop. (Ur svenska upplagan av "Der Mensch fliegt", Paul Karlsson, 1938.

Författarens bakgrundsrapport
"The neglect of the inertia of mass - a fundamental mistake in eight decades of aerodynamic university teaching"

kan beställas för SEK 150,- plus moms och porto från:

Ing.f:a M. Ingelman-Sundberg
 Smedsbacksgatan 5
 115 39 Stockholm, Sweden
 tel/fax +46-8-663 66 49
 e-mail: ingelman-s@telia.com

sedan måste de kapitulera för att inte riskera bli underkända. De på KTH utbildade flygingenjörernas "passivitet" är förvånande och ett starkt underbetyg åt den flygtekniska undervisningen.

Både Lanchester och Prandtl, vilka båda förstod effekten av rörlig yta ("moving wall effect"), på gränsskiktavlösning, skrev att "Lyftkraft måste orsaka cirkulation". Von Karman, däremot vänder detta helt om och skriver att "the circulation creates the pressures that give the lift." Det måste vara en tankekullerbytta endast tänkande innanför den matematiska fiktionens gränser.

6. Slutsatser

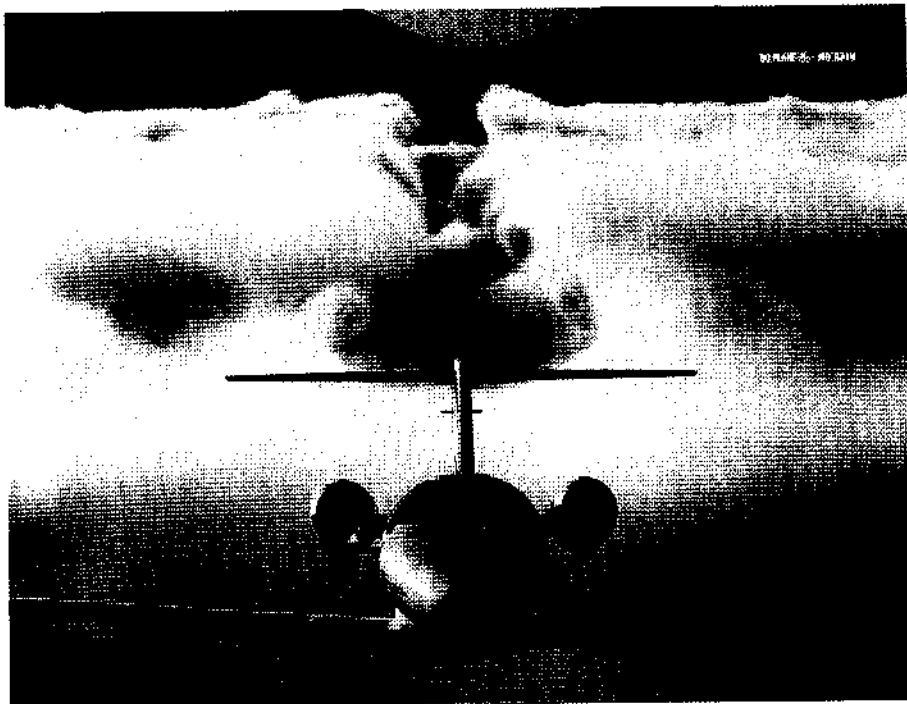
Universitetsundervisningen inom både flygteknik och fluidmekanik måste reformeras så att ekvationerna anknyts till verkligheten. I dag har arvet från klassisk hydrodynamik medfört att fluidmekanik läroböckerna helt domineras av vad som skulle kunna kallas ett "perfect fluid paradigm" helt utan sådan anknytning till fysiken/mekaniken.

Det saknar all betydelse för rent räknearbete men har medfört aerodynamiker vilka utmärkt kan beräkna lokala tryckändringar men utan förståelse för fysiken som initierar dessa ändringar. Perfect fluid fiktionen har för deras beräkningar fungerat så utmärkt att den mentalt har kommit att för dem ersätta den fysikaliska verkligheten.

För fysikaliska beskrivningar har den missade kunskapslänken emellertid medfört ett flertal direkt missledande "plausible falsehoods" krönta av flygmyndigheternas tröghetsförnekande nödlögn som helt felaktigt tillskrivs Bernoulli som skrivit motsatsen. Om den varit sann skulle inga aerodynamiska krafter varit möjliga. Sedan felet även blivit myndighetsföreskrivet har det omöjliggjort all korrekt flygteoriundervisning.

Det är ödet ironi att det förhållandet att Bernoulli alls behöver nämnas enbart är orsakat av att matematikerna inte kunde räkna på något annat än konstant volym, som enbart är geometriskt styrt, men av alltför många missuppfattas såsom fysikalisk verklighet. Man har måst acceptera denna förenkling trots att ingen ännu fått något tryck ur en cykelpump utan att ändra luftens volym.

Författaren hoppas att artikeln genom att anknyta till vardagslivet skall kunna eliminera dagens mystik om lyftkraft och flygning. Sannolikt kan också, då och då, en olycka förebyggas



"Så du menar att varje flygplan själv måste skapa sin egen bärande vägbanan genom att starta rörelse nedåt av passerad trög luftmassa" (Slutsats av min passagerare Ingrid Palm 1952). Bilden publicerad med tillstånd av Cessna aircraft och Paul Bowen.

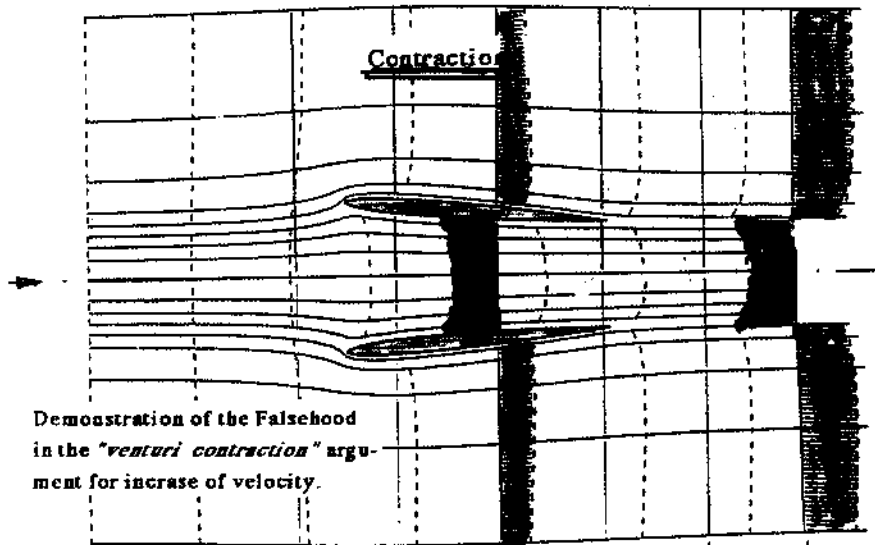


Fig 5. En teoretiskt beräknad figur som visar att "sammanklämning" inte initierar hastighetsökning i "klämningen" utan tvärtom uppbromsning framför den. Luftpaketerna saknar gaspedal att trycka på! (Beräkningar av Sven Hedman efter en idé av författaren. Figuren visar hur de initialt stilla små luftpaketerna förflyttas från sina utgångslägen på de vertikala linjerna då en "venturikontraktion" kommer in från höger.

Om författaren:

1947 examinerad från KTH-flygteknik. Efter ett års arbete där flyttade han till låghastighetssektionen vid Flygtekniska Försöksanstalten. I dess 3,6 m diameter vindtunnel har största delen av lågfartstutprovningen av alla svenska flygplan utförts. Åren 1951 - 1983 var han chef för sektionen bortsett från ett avbrott 1962-63 då han deltog i Boeing-Vertols första svåra vindtunnelprov med arbetande helikopterrotorer. Efter pensioner-

ingen har han gjort omfattande litteraturstudier för att finna ut bakgrunden till det otroliga "kejsarens nya kläder exempel" som den felvända Bernoulli -relationen utgjort i åtta decennier. I november 1991 var han vid FAA/ NASA tvådagars aircraft icing seminarium i Cleveland ordförande för dess aerodynamiksektion.

Han har kontinuerligt varit privatpilot i 49 år, 1947 - 1996, och dessförinnan segelflygare i åtta år.

Viktiga fysikaliska begrepp och Newtons mekaniklagar

Newton's lagar, massa, masstäthet, gravitation, tyngd, kraft, tryck, tröghet, hastighet, rörelse-mängd (impuls), rörelseenergi, mekaniskt arbet-e, effekt, acceleration, viskositet.

Isaac Newton, engelsk matematiker och fysiker (1642-1727), formulerade bl a tre grundläggande principer om kroppars (=massors) rörelser (mekanik) och om massors inbördes dragning, gravitationen.

Massa är en kropps eller en gasmassas materiecinnhåll (dess molekylmassa). Den mäts i kilogram (=massan för 1 kubikdecimeter vatten vid 4 graders temperatur). Den har två helt skilda men för flygning helt avgörande egenskaper. Den har dels en "inneboende" tröghet som gör att den strävar att förbli i sitt momentana tillstånd av rörelse eller vila såvida den inte påverkas av någon yttre kraft. Det motsvarar Newton's tröghetslag eller hans "1:a mekaniklag".

Dessutom påverkas alla massor av att det finns "något" (!) som gör att massor dras mot varandra med en kraft proportionell mot deras storlekar (Newton's "gravitationslag"), alltså av tyngdkraften.

Masstäthet (density) är innehållet av massa uttryckt i kg per kubikmeter

Newton's 1:a lag anger att varje massa strävar att bibehålla sitt momentana tillstånd av rörelse eller vila såvida den inte påverkas av en yttre kraft, den är "trög" eller sägs ha "tröghet". Lagen kallas också för enbart "tröghetslagen". Den definierar klart en orsakverkan inom Bernoullirelationen, i överensstämmelse med Bernoullis eget påpekande, mot vilken ICAO:s och FAA:s Bernoulli Principle klart strider.

Newton's 2:a lag även kallad "den allmänna kraftekvationen", eller bara "kraftlagen", anger storleken på den kraft (F Newton), som erfordras för att

accelerera (=förändra rörelsetillståndet av. tillföra "rörelsemängd" till) en viss trög massa (m) kg med a m/sek varje sekund.

$F = m \times a$ uttryckt i kraftenheten Newton.(N)

Newton's 3:e lag anger att mot varje kraft (aktion) svarar en motkraft som reaktion.

Dessa tre lagar är styrande för vad som sker både med hela flygplanets rörelser och med varje litet mikropaket av luftmassa omkring det.

Dem upplever vi dagligen exvis när bilhjulens ger en horisontell kraft mot vägbanan så att hastigheten ökar eller minskar, eller som då man står fritt i tunnelbanevagnen och denna ändrar sin hastighet eller riktning. Om vi inte gör något fortsätter vi nämligen själva i den tidigare riktningen. För att rörelse i cirkel (springa i en spiraltrappa) med kontinuerlig ändring av hastighetens riktning skall kunna ske så krävs dragning inåt mot en central ledstång eller "stöd med handen" mot ytterväggen. Vi brukar ju dock (litet felaktigt) vanligen säga att det uppstår centrifugalkrafter utåt trots att det formellt riktiga ju är centripetalkraft inåt för att skapa ändringen.

Dragningskraften mellan en kropp och jordens massa, gravitationen, tyngdkraften är så stor att en fritt fallande kropp ökar sin hastighet med 9,81 meter per sekund per sekund. Detta värde kallas därför "jordaccelerationen". Den varierar "en aning" beroende på geografiska latituden.

Den internationella enheten för kraft är numera baserad på Newton's 2:a lag. Den definieras därför såsom att 1 Newton är den kraft som förmår ge en massa av 1 kg en acceleration av 1 meter per sekund per sekund. Den blir alltså endast 1/9,81 så stor som den äldre kraftenheten "kilopond", som var den kraft jordaccelerationen utövade på samma massa.

Tryck, exvis lufttryck, innebär en jämt fördelad kraft mot viss yta. Brukar oftast anges som kraft per ytenhet exvis Newton per kvadratmeter (N/m²) men har också ett eget internationellt namn "Pascal" som just definieras som 1 N/m². (Vanliga oegentliga beteckningar tum eller mm kvicksilver (pelare), bar (1 bar = 10 000 kilopond / m² m.fl.)

Hastighet är förflyttning per tidsenhet, exvis meter per sekund.

Acceleration är en kropps hastighetsförändring per sekund.

Rörelsemängd även kallad impuls är en kropps massa multiplicerad med dess hastighet. Rörelsemängdens förändring per sekund blir detsamma som acceleration.

Mekaniskt arbete (=mekanisk energi) är produkten av en kraft och dess aktionssträcka och mäts i Newtonmeter (förr kilopondmeter) exvis flygplanmotståndet ggr flygsträckan.

Nya enheter "1 Joule" = 1 wattsekund = 1 Newtonmeter, Nm.

Rörelseenergi är det mekaniska arbete (P) som "lagrats" i en massas (m kg) rörelse vid hastigheten (v m/sek) och är

$P = 1/2 \cdot m \cdot v^2$ i Newtonmeter

Effekt är arbete per sekund. Mättes tidigare i "hästkrafter" (=75 kp meter per sek), numera i watt resp kilowatt.

Viskositet är ett mått på luftens seghet. Luften har nämligen en viss seghet, i likhet med sirap fast mycket mindre. Det medför att luften överallt vid botten av det s k gränsskiktet smetar fast vid vingplåten.

Flygmyndigheternas, ICAO/FAA, version av "Bernoulli's princip" innebär förnekande av begreppet massans tröghet och Newton's 1:a mekaniklag och därmed också av varje möjlighet till aerodynamiska krafter. Efterföljare till L.Prandtl missförstod dennes volymetriska definition av strömningens geometri. Det kompenserade de med en omkastning av Bernoullis egen relation mellan hastighet och tryck.

Martin Ingelman-Sundberg