

Lyftkraften förklarad enligt Newtons fysiklagar. (Artikeln tidigare publicerad i "Mekanisten" 1990:2)

Lyftkraft utan Bernoulli

Martin Ingelman-Sundberg*

Vem vill och behöver veta hur man får lyftkraft?

Det förefaller som väldigt många människor av rent allmänintresse vill veta hur flygplan kan hålla sig uppe, men dessutom finns en hel yrkeskategori — piloterna — som anses böra känna till hur lyftkraft kan skapas utan ett fast underlag att stödja sig mot. Det har sedan länge inkluderats i avsnitt om flygteori under pilotutbildningen.

Hur viktigt det verkligen är att piloterna förstår detta, är naturligtvis diskutabelt. Dock har under årens lopp ett antal olyckor skett som kanske skulle ha förebyggts om undervisningen om lyftkraftskapande varit riktigare än vad som är vanligt i dag. Det gäller speciellt några olyckor i USA som tillskrivits vad som kallats "opredikterbar" "wake turbulence", istället för bristfällig flygteoriundervisning.

Trots att tidigare meningsfyllda förklaringar till lyftkraften använts åtminstone i Tyskland och Sverige, så har egendommeligt meningslösa och felaktiga förklaringar kommit in i några viktiga och mycket påkostade läromedel, och i flera amerikanska och engelska encyklopedier. De har därmed blivit "sanning" och svåra att förneka. De skall kommenteras senare i denna artikel. Ett glädjande undantag utgör dock Erik Bratt's "Praktisk Flygteknik", 1982.

Grundprincipen för aerodynamisk lyftkraft

Grundprincipen för att skapa en kraft i någon riktning när man inte har något fast att taga spjörn emot, är att med något slag av anordning accelerera något slag av massa i motsatt riktning.

* Chef vid sekt. f. underljudsaerodynamik vid FFA 1953—1983. Privatflygare sedan 1939 och alltjämt.

När det gäller lyftkraft så är det vingen som accelererar en viss mängd av den passerade luften nedåt. En kubikmeter luft har vid marken massan 1,25 kg, dvs en kub med 10 m sida massan 1,25 ton. Massa är trög, och ger reaktionskrafter om den tvingas ändra sitt rörelsetillstånd.

Reaktionskraften $F = m \cdot a$ Newton.

För 70 år sedan utvecklade Ludwig Prandtl sin virvelteori för beräkning av vingars lyftkraft och strömningsfält. Han visade då också att om lyftkraften är elliptiskt fördelad i spännviddsled, vilket är optimalt, så verkar det som om vingen böjer av luftmassan i ett cirkulärt "strömrör" med spännvidden som diameter, figur 1.

Den vertikalen energi per sekund som tillföres den nedåtsvepta luftmassan motsvarar flyghastigheten \times det inducerade motståndet. Med hjälp av detta förhållande erhålles ett mycket enkelt uttryck för medelnedsvępningsens, w , hastighet nära bakom en vinge med lyftkraften L

$$w = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{1}{\rho} \cdot \frac{L}{b^2} \cdot \frac{1}{V} \text{ m/s, där}$$

luftens densitet ρ är i kg/m^3
lyftkraften L i N
spännvidden b i m
hastigheten V i m/s

Detta gäller generellt. Vid markhöjd kan, om lufttäteten sätts till $1,27 \text{ kg/m}^3$, uttrycket förenklas till:

$$w = \frac{L}{b^2} \cdot \frac{1}{V}$$

På 5 000 m höjd, och med halva lufttäteten, så blir nedsvępningshastigheten fördubblad. Eftersom den erforderliga lyftkraften är proportionell mot lastfaktorn, så måste nedsvępningen vid brant svęng ökas i motsvarande grad.

*)

= en annorlunda härledd, matematisk vidareutveckling av F.W. Lanchesters metod. se artikel 6 och 7.

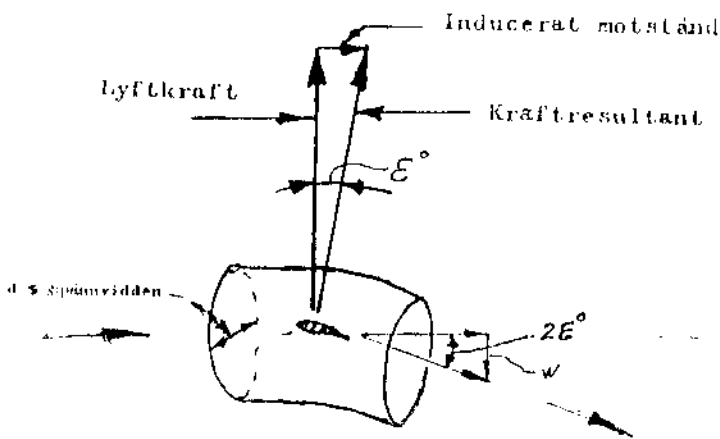


Fig 2 visar hur nedsvepningen vid lastfaktor $n=1$ (rak flygbana) varierar med hastigheten för några olika flygplansklasser.

Virvelbildning

Den sig neråt rörande luftmassan samverkar sedan med den omgivande luften så att denna successivt strömmar dels inåt ovanför, och dels utåt sidan nedanför. Efter en viss tid när flygplanet har hunnit 5–10 spännvidder bort har det utbildats två parallella motriktade luftvirvlar som relativt saktat rör sig nedåt, och med ett inbördes avstånd av ungefär 0,8 ggr spännvidden figur 3.

Bakom 4-motoriga jetplan kan man ofta se denna successiva virvelkoncentration genom att de två motorkondensstrålarna på varje sida lindar sig runt varandra, och liksom sammansmälter, varvid de samtidigt visar var virvelcentra ligger.

Det är dessa koncentrerade virvlar som kan vara mycket farliga om ett i förhållande till det skapande flygplanet, litet plan kommer in i dem. Lokalt nära deras virvelcentra blir tvärhastigheterna flerdubbelt starkare än den i figur 2 visade medelnedsvepningen närmast bakom vingen. Det lilla planet kan mycket väl få 20–30 m/s uppvind för ena vingen, och en lika stor nedvind för den andra. Vid prov på höjd lär en DC-9 som gick in bakom en 747 ha kastats över på rygg. Att korsas ett virvelpar vinkelrätt kan också, orsaka ur hållfasthetssynpunkt farligt stora vindbylaster.

Ofta påstås "att virvlarna orsakas av läckage runt vingspetsen", och de kallas

Fig 1. Nedsvepningshastigheten för en vinge med elliptiskt fördelad lyftkraft blir som om vingen aktiverar en luftmassa genom ett "strömrör" med spännvidden som diameter.

därför "spetsvirvlar". Enligt författarens åsikt är det ett mycket missledande namn, då det ger sken av att det rör sig om något litet lokalt strömningsfenomen kommande från själva spetsen.

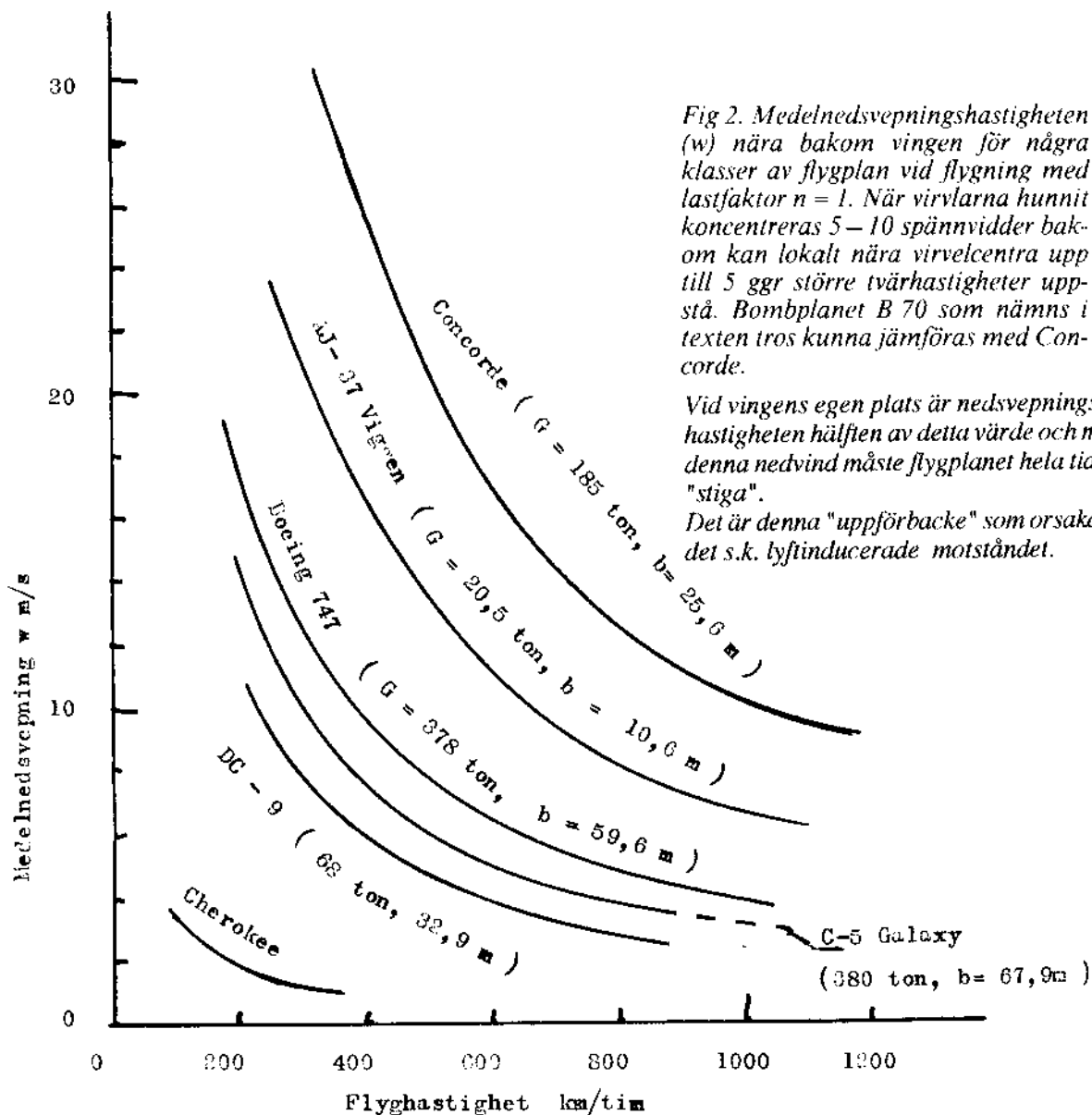
Nedsvepningsverktygets — vingens — arbetssätt

När man diskuterar vad som händer på grund av den relativa rörelsen mellan atmosfären och vingen kan man antingen betrakta det som det verkligen är — att vingen rör sig genom en från början stillastående atmosfär — eller som man ser det när man följer med flygplanet eller tittar in i en vindtunnel, dvs luften strömmar förbi.

Vingen — det kan mycket väl vara en plan platta — är i vila på alla sidor omsluten av atmosfären, som vid marken utövar ett tryck av 100 000 Pa på alla dess sidor. Lyftkraften är då 0 eftersom trycken över och under vingen balanserar varandra.

Om vingen startas i en rörelse framåt med en liten vinkel, anfallsvinkel, relativt rörelseriktningen, så tvingas luften *närmast undersidan* att röra sig nedåt, varvid trögheten hos dessa "luftpaket" orsakar en reaktionskraft mot vingundersidan som adderas till atmosfärstrycket, så att det lokala trycket blir större än detta. Tryckökningen sprider sig också i själva luften, men avtar successivt med avståndet från ytan.

Ovanför vingen kommer det 100 000 Pa starka atmosfärstrycket att tvinga de närmaste luftskikten in mot den undanvåkande vingöversidan, men trögheten hos



dem medför att en del av de 100 000 Pascalen avlastas från vingytan, så att trycket över denna blir lägre än atmosfärstrycket.

Vid framkanten — mellan övertrycksområdet under vingen och undertryck som råder ovanför vingen — kommer luften att accelereras uppåt på grund av att varje litet "mikroluftpaket" påverkas av ett högre tryck på sin undersida än på sin översida, och alltså bli utsatt för en accelererande kraft uppåt. När de skall böja av runt framkanten inträffar emellertid ytterligare ett fenomen, nämligen att centrifugalkrafterna på "paketen" på

grund av den starkt krökta banan kommer att bli mycket stora, och balanserar en mycket större del av atmosfärstrycket än för vingöversidan i övrigt. Det låga trycket gör att den lokala hastigheten ökar ytterligare, med åter ökade tryckavlastande centrifugalkrafter som följd.

För att inte av luftens seghet orsakat gränsskiktmaterial skall ansamlas mellan framkantens yta och den yttre luftströmmen och "avlösa" denna från ytan blir framkantens rundning av dominerande betydelse för hur stor anfallsvinkel vingen kan ges innan gränsskiktsansamling fördrävar lyftkraften. Man kan också minska

intensiteten i själva framkantsomströmningen genom att välva ned främsta delen av vingen med en rörlig klaff eller permanent nedböjning.

För vingar med små framkantsradier kan lokala hastigheter upp till 10 ggr flyghastigheten uppstå. För ett modernt trafikplan utan framkantklaffar är lokala framkanthastigheten 5 ggr flyghastigheten normalt vid hög anfallsvinkel, dvs lokal ljudfart som ger risk för störande avlösning till följd av kompressibilitets effekter skulle kunna uppstå vid en flyghastighet av 250 km/tim.

Om luften inte hade den seghet, visko-

Det är därför bakkantklaffar är så effektiva att öka lyftkraften vid oförändrad anfallsvinkel, medan framkantklaffar inte har någon verkan alls i detta avseende. Framkantklaffens uppgift är istället enbart att fördröja avlösningen till högre anfallsvinklar.

Felaktiga lyftkraftsförklaringar

I flertalet av dessa lyftkraftsförklaringar ingår en ologisk referens till Bernoulli's lag som eleverna först fått lära sig med mer eller mindre verklig förståelse. Lagen lyder "Längs en och samma förlustfria

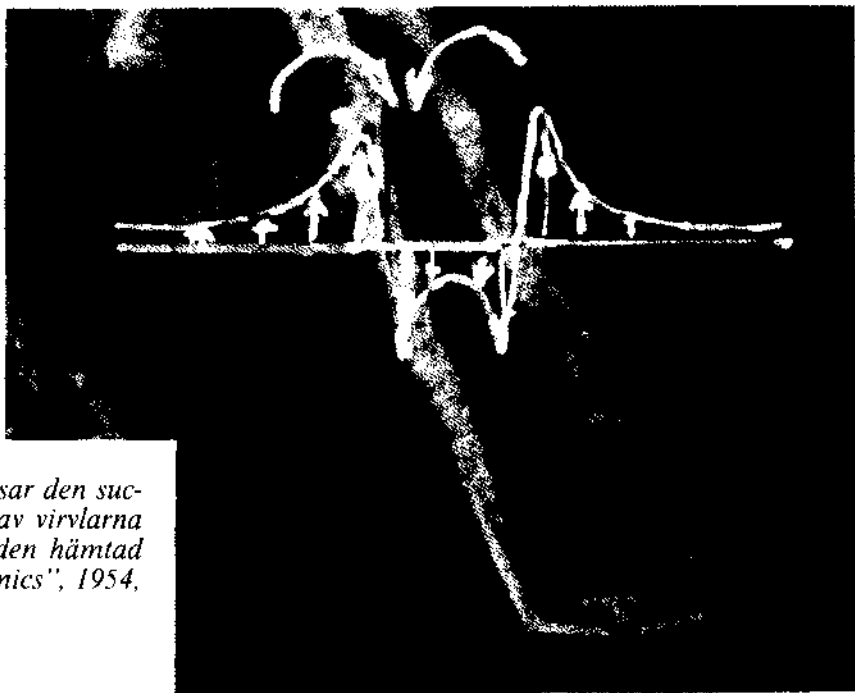


Fig 3. Puderflygplanet visar den successiva koncentrationen av virvlarna bakom planet. Grundbilden hämtad ur v Karman "Aerodynamics", 1954, kompletterad av förf.

sitet, som alltså kan ställa till problem vid framkanten, så skulle tryckskillnaden mellan undersidan och översidan kunna orsaka en motsvarande omströmning av bakkanten. Denna skulle då dels minska övertrycket under vingens bakre del, men också fylla ut och reducera undertrycket ovanför vingen så att ingen lyftkraft skulle bli kvar. Fenomenet avlösning utgör alltså vid bakkanten lyftkraftens förutsättning, men samtidigt, vid framkanten, dess begränsning.

Den hastighet nedåt som vingen har gett luften då den lämnar bakkanten bestämmer helt vilken lyftkraft man får.

strömning är summan av statiskt och dynamiskt tryck konstant".

Lagen innehåller emellertid inget om något konsekutivt samband, utan endast ett samband som sådant.

Man kan i själva verket finna situationer både av typen att statiska trycket är lågt därför att hög fart måste skapas genom ett accelerationsskapande tryckfall — som för mittlinjen i ett venturi — och av typen att farten blir hög därför att en krökt strömning genom tröghetskrafter avlastar atmosfärstrycket från ytan såsom för "sidorna" av en tväranblåst cylinder. Strömningen ovanför en vinge hör enligt

författarens mening definitivt till den senare typen.

I de vanliga förklaringarna ingår alltid ett mer eller mindre felaktigt påstående att farten ovanför vingen av något skäl blir högre, och att "därför måste trycket enligt Bernoulli vara lägre" och "alltså får man en tryckskillnad som lyfter".

Alternativ 1

Vanligast är att man ritar upp en profil med plan undersida och välvd översida, och så påstår man:

"Eftersom distansen längs översidan är längre än längs undersidan, så måste farten på översidan vara större, och alltså trycket lägre, än på undersidan för att de luftpaket som nå framkanten samtidigt återigen skall mötas i fas vid bakkanten".

Detta finns ex vis anslaget på en stor plansch vid entren till US Airforce Museum i Dayton, åhördes i "De lärde i Lund" för ett antal år sedan, och står i Jeppesens "Private Pilot Manual".

Dels finns inget logiskt skäl varför luftströmmen ovanför vingen skall ligga i fas med den under när de möts vid bakkanten, dels så är det just detta som inte sker på grund av att vingen ger lyftkraft helt oberoende av profil; plan platta eller tjock profil är egalt. Det visar sig ju också att man både kan flyga på rygg med välvda profiler, liksom att mängder av flygplan har helt symmetriska profiler.

En variant på alternativ 1 återfinns i en USA-encyklopedi 1963 med ett långt kapitel om flyg där man påstår att vid ökad anfallsvinkel så flyttar sig främre stagnationspunkten ned på undersidan, och då blir ju vägen längs översidan ännu längre, och alltså lufthastigheten högre och trycket lägre.

Alternativ 2

Detta är en mycket vanlig förklaring som spreds vida genom Shells snygga utbildningsfilmer om flyg från 40-talet, och även Time-Life's bok om "Flyg" på 60-talet.

Här utgår man från ett 2-dimensionellt venturi med trång sektion där farten av kontinuitetsskäl är höjd, och därför enligt Bernoulli's lag trycket lågt. Sedan tar man bort överhalvan av venturit och antyder att underhalvan skall motsvara en vinge. Det är ju helt ologiskt för då bortfaller ju utgångsvillkoret om en trång sektion.

En i logiskt hänseende besläktad, men möjligen ännu felaktigare förklaring återfinns i den av Liber Läromedel 1979 utgivna "Grundflygutbildning, Flygtekniska ämnen". Där beskriver man först hur en tryckfördelning runt en tvåranbläst cylinder ser ut. Sedan skär man bort underhalvan och antyder att överhalvans tryckfördelning skulle gälla för denna som vinge betraktad. Denna beskrivning torde ta priset ifråga om irrelevans.

Negativa effekter av felaktig pilotutbildning

Det mest allvarliga är att man förlorar förståelsen för luftnedsvepningen som en nödvändig förutsättning för att flygplanet skall hålla sig uppe. Om detta ger "Bernoulliförklaringarna" ingen som helst information.

Att man vid pilotutbildningen lagt så mycket vikt vid de olika "Bernoulli-förklaringarna" har naturligtvis inneburit ett icke oväsentligt slöseri med tid, men framförallt har medvetenheten i pilotkretsar om luftnedsvepningen och virvlarna försenats ca 50 år, från Prandtl tills dess att en olycka med en Twin Ottermaskin inträffade just på grund av "unpredictable wake turbulence" på Kennedy Airport i mitten på 60-talet.

Kunskapen har hela tiden existerat, men inte hos rätt människor – piloter och trafikledare.

Kanske skulle inte heller det flygplan som senare snett bakifrån fotograferade en långsamtflygande B 70 överljudsbombare har gripits av dess virvlar med kollision till följd om det tidigare nämnda entré-anslaget vid US Airforce Museum haft ett annat budskap.