

## Av Rolf Björkman

I serien om aerodynamik och flyglära har tidigare "Lyftkraft" presenterats i Hypoxia nr 44, "Motstånd" i nr 48, "Prestanda" i nr 49 och "Låga och höga hastigheter (stall)" i nr 50. De riktar sig till alla hängflygpiloter. Avsikten är att så långt möjligt täcka allt inom respektive område. Kunskaper från tidigare artiklar underlättar förståelsen av denna.

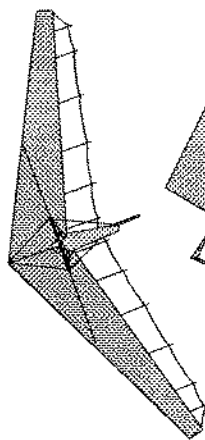
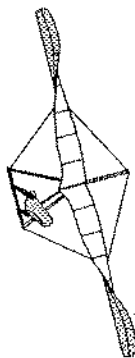
Svängar är mera komplicerade att lära i teorin än i praktiken. Teoretiska kunskaper kan dock underlätta för piloten att rätt utföra svängar i praktiken och främja säkerheten

**En kuggfråga:** Vilket roder på ett flygplan eller vilken rörelseriktning på hängglidarens styrbygel är det som ger sväng? Rätt svar är "höjdrodret eller bygelns rörelse i loopingplanet (framåt)". Nästa fråga: Vilken av de krafter som påverkar en flygfarkost är det som ger sväng? Rätt svar är "lyftkraften".

De båda frågorna ovan hänger ihop. Genom att luta hängglidaren får lyftkraften både lyftande och svängande verkan. När styrbygeln sedan förs framåt ökar lyftkraften och korrekt sväng erhålls.

Det är naturligtvis svårt att argumentera mot det faktum att lutning ger sväng och att rörelsen åt sidan skulle vara rätt svar på första frågan ovan. Läs om svängar och bilda Dig en egen uppfattning.

Skevrodren på ett flygplan ger piloten möjlighet att luta flygplanet. Samma effekt nås med hängglidaren genom att piloten för kroppen åt sidan och därmed flyttar tyngdpunkten åt sidan. Syftet med den lutning som åstadkoms är att rikta lyftkraften snett åt sidan och starta svängen. Det svängande rodet på flygplanet är sedan höjdrodret eller styrbygeln förflyttning framåt för hängglidaren.



Hela sekvensen av rörelser och åtgärder för att gå in i, hålla och sedan gå ur sväng genomförs på följande sätt.

**Ingång i sväng:** Hastighetsökning (eller anpassning av hastigheten), kroppen åt sidan för att ge lutning, kroppen bakåt för att öka anfallsvinkeln och kroppen tillbaka till neutralläge i sida för att stoppa vid önskad lutning. Bild 1 visar hur pilotens kropp förflyttas relativt styrbygeln vid ingång i sväng.

**Konstant sväng:** Kroppen mitt i bygel i sidled och bakåt i längsled.

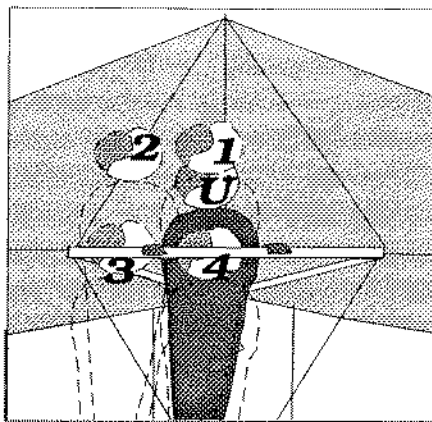
**Urgång ur sväng:** Kroppen framåt för att minska anfallsvinkeln, kroppen åt sidan utåt i svängen för att minska lutningen och kroppen i neutralläge för normal flygning rakt fram. Bild 2 visar hur pilotens kropp förflyttas relativt styrbygeln vid urgång ur sväng.

Även om de olika momenten som beskrivs ovan kan gå i varandra så är ändå ordningsföljden tydlig och viktig så som den beskrivits. Låt oss se på varje del för sig.

### Ingång i sväng Hastighetsökning

Ökning av hastigheten görs innan sväng påbörjas och är egentligen inte en del av själva svängen. Vi räknar den ändå i praktiken som en del av svängen eftersom den är en direkt förberedelse. Hastigheten ökas före ingång i sväng därför att det är svårare att åstadkomma ökningen när svängen påbörjats. Den huvudsakliga anledningen till att man med hängglidaren normalt genomför sväng med högre hastighet än när man flyger rakt fram är att stallhastigheten ökar i sväng. Detta förklaras närmare längre fram. Hängglidaren flygs ofta nära stallgränsen varför det är viktigt att piloten skaffar sig den marginal till stall som svängen kräver.

När hängglidaren ligger i sväng är motståndet högre än vid flygning rakt fram. Det inducerade motståndet ökar med ökad anfallsvinkel. Detta har förklarats ingående i tidigare artikel om motstånd. Hastigheten kommer alltså att minska när piloten initierar sväng. Därför måste hastigheten vara tillräckligt hög innan svängen påbörjas



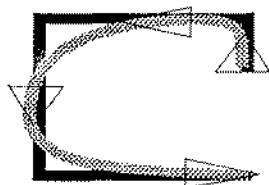
U=Utgångsläge

1=Kroppen fram - farten ökar

2=Kroppen åt sidan - lutning

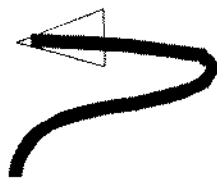
3=Kroppen bakåt - rätt belastning

4=Kroppen till mitten - konstant sväng



Kroppens (tyngdpunktens) principiella rörelse i planet vid ingång i sväng. Den heldragna linjen representerar nybörjarens "fyrkantiga" rörelse. Den skuggade bilden visar den vane pilotens kombinerade rörelse

Bild 1



Kroppens (tyngdpunktens) principiella rörelse i planet vid utgång ur sväng.

Bild 2

så att motståndsökningen i svängen inte ger sådan minskning av hastigheten att stall inträffar. Ju brantare svängen görs desto större blir motståndet. En svag sväng kanske inte alls behöver förberedas med hastighetsökning under förutsättning att piloten inte flyger på marginalen till stall.

Sammantaget kan sägas att hastighetsökning behövs av två skäl:

hastigheten minskar p g a ökat motstånd i svängen och stallhastigheten ökar i sväng (läs om detta i artikeln om stall).

### Lutning

Kroppen förs åt sidan för att med tyngdpunktens hjälp luta hängglidaren. Lutningen är en förutsättning för sväng. Vid lutningen riktas lyftkraften snett åt sidan och ger således både en horisontell komponent som ger svängen och en vertikal komponent som motverkar tyngdkraften. Enbart lutning ändrar inte lyftkraftens storlek. Svängen påbörjas vid lutning men blir inte ren förrän lyftkraften ökas som nästa moment i ingången.

### Anfallsvinkelökning

När lutningen stoppas i önskat läge för piloten styrbygel framåt. Egentligen är det kroppen som flyttas bakåt. Därvid flyttas tyngdpunkten för hela ekipaget (hängglidare, pilot och all utrustning) bakåt. Nosen "höjer sig". Denna "höjning" sker i loopingplanet, inte relativt horisonten. "Noshöjningen" ger ökad anfallsvinkel och därmed ökar lyftkraften. Behovet av lyftkraft är helt beroende av lutningen. Bild 3.

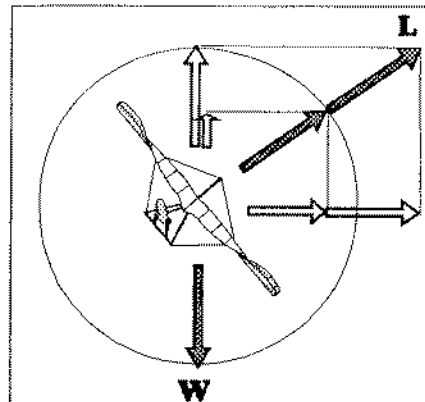
### Lutningsökningen stoppas

När önskad lutning nåtts för piloten styrbygel åter till neutralläge i sida (kroppen mitt emellan bygelbenen). Om kroppen behålls åt sidan ökar lutningen hela tiden. Piloten hänger under svängen mitt i hängglidarens lodlinje. Kroppen hålls i detta läge av centrifugalkraften och tyngdkraften i kombination. Bild 4.

### Ordningsföljd - kombination

Det är viktigt att rörelserna enligt ovan görs i den ordning som beskrivs. Den erfarna piloten låter rörelserna gå i varandra.

Hastighetsökning eller åtgärd för att behålla konstant hastighet och lutningsökning kan kombineras. Om piloten lutar hängglidaren men väntar med att öka anfallsvinkeln är tyngdkraften större än den vertikala komponenten av lyftkraften. Hängglidaren kommer då att accelerera neråt d v s sjunkhastigheten ökar. Redan i utgångsläget har ju hängglidaren en viss sjunkhastighet. Denna rörelseförändring sker inte helt i vertikal riktning. Prova att släppa ett papper

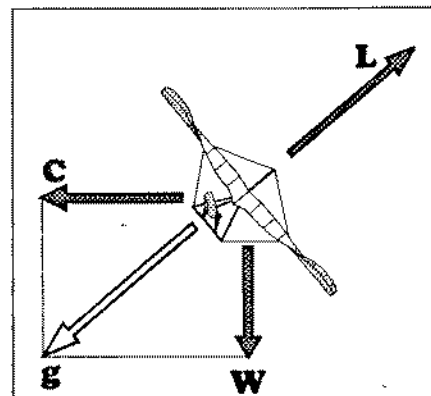


Enbart lutning ger sväng men otillräckligt lyft över marken. Med korrekt lyftkraft erhålls sväng utan onödig höjdförlust och god svängande verkan.

Bild 3

som Du håller snett. Papperet faller snett ner åt sidan åt det håll som hölls lägst.

När hängglidaren glider snett ner mot den lägre vingen utsätts den för snedanblåsning. Den luft som tidigare kom rakt framifrån kommer nu mera snett från sidan. Sidan är i det här läget snett neråt. Hängglidaren är under flygning i princip en stor vindflöjel. Den girar således mot den nya riktning som luften kommer ifrån. En gir mot den lägre vingen innebär att nosen sänker sig i förhållande till jordplanet. Hängglidaren kommer således att flyga i en brantare flygbana. Följden blir en hastighetsökning vilket är vad piloten eftersträvar. Denna rörelse är inte ren och känns därför inte så bra. Metoden är emellertid lämplig om piloten anpassar anfallsvinkelökningen så att nossänkningen och motståndsökningen håller hastigheten konstant. Om



Kroppen hålls centralt i styrbygelns av centrifugalkraften och tyngdkraften som tillsammans ger resultanten g-kraften.

Bild 4

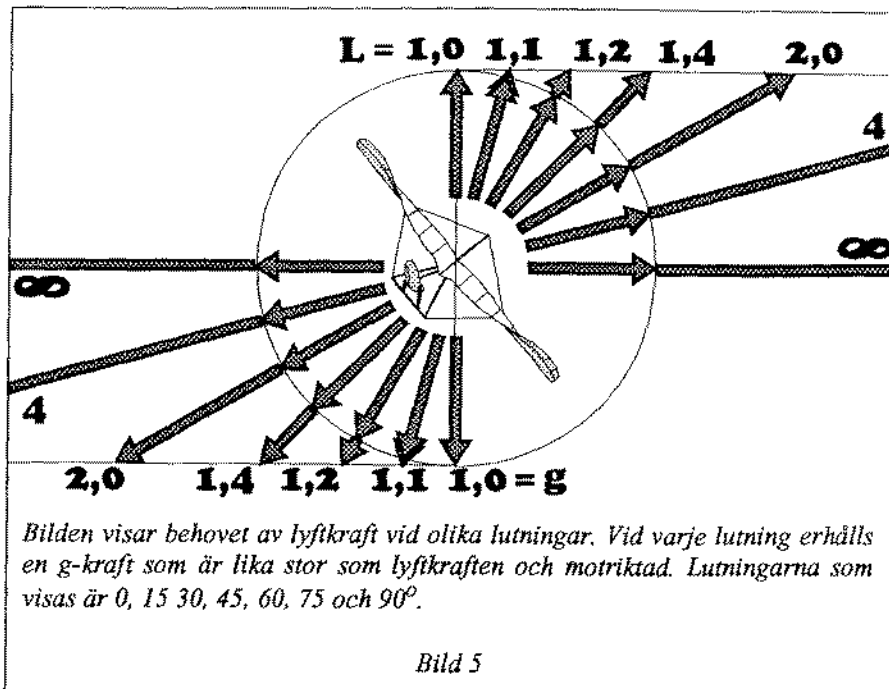


Bild 5

svängningen kan göras med samma hastighet som flygningen rakt fram går piloten på detta sätt över i sväng med brantare bana utan att i något skede ändra sin hastighet.

Lutningsökning och anfallsvinkelökning kan med fördel kombineras. Detta är den enda riktigt korrekta metoden. Varje lutning kräver sin egen lyftkraft som nås genom anpassad anfallsvinkel. Behovet av ökad lyftkraft vid ökad lutning följer inte en rät linje utan en exponentiell kurva. I praktiken innebär detta att de första gradernas lutning kräver väldigt liten lyftkraftsökning. Sedan ökar behovet av lyftkraft efterhand kraftigt för att vid nära 90 graders lutning närma sig oändligheten. Detta framgår av bild 5. Därför är det viktigt att lutningen är den ledande rörelsen. Om piloten för tidigt börjar föra fram styrbygeln blir lätt lyftkraften för hög i förhållande till lutningen. Nosen höjer sig. Hastigheten kan snabbt minska med stall som följd.

De viktigaste råden vid ingång i sväng är:

- Öka hastigheten innan ingång i sväng - mer ju brantare sväng som avses - främst för att undvika stall.
- Låt lutningen bli den ledande rörelsen framför anfallsvinkelökningen för att inte hängglidaren skall tappa fart och ställa.

### Konstant sväng

Under sväng med konstant lutning och hastighet håller som följd av

ingången piloten styrbygeln neutralt i sida och något framförd. Om piloten i detta läge släpper styrbygeln kommer normalt anfallsvinkeln att minska medan lutningen kvarstår konstant. Viss variation kan råda mellan olika typer av hängglidare.

En bra konstruerad och trimmad hängglidare skall själv inta "bästa hastighet". Denna nås vid flygning rakt fram vid en anfallsvinkel som är lägre än den som är normal vid sväng. När piloten släpper styrbygeln minskar alltså anfallsvinkeln.

Under sväng har yttervingen längre väg att röra sig än innervingen. Vid 45° lutning och 35 km/tim färdas i själva verket yttervingens spets dubbelt så snabbt som innervingens. Båda fullbordar ett varv på samma tid. Alltså måste yttervingen röra sig snabbare än innervingen (dubbel hastighetsskillnad mellan spetsarna). Högre hastighet ger större lyftkraft. Hängglidaren skulle av den anledningen själv öka sin lutning under sväng utan pilotens motverkan. Innervingen flyger emellertid med högre anfallsvinkel vilket ger ökad lyftkraft.

Att innervingen har större anfallsvinkel kan lätt förstås av

följande jämförelse. Hängglidarens rörelse neråt kan liknas vid en spiralfjäder eller en spiraltrappa. Låt oss tänka oss två spiraltrappor i ett torn. Den ena är byggd invändigt nära tornets centrum och den andra utvändigt. Båda skruvar sig neråt med samma höjdskillnad på ett varv. Den yttre som tar en vidare sväng blir längre men inte lika brant som den inre. Samma princip gäller hängglidarens vingar. Den mötande luften mot vingarna kan tänkas följa spiraltrapporna. Det är då lätt att förstå att anfallsvinkeln på den inre vingen blir större. I själva verket ökar anfallsvinkeln kontinuerligt från den yttre vingspetsen till den inre (bortsett från det faktum att vingen är torderad). Se bild 6.

Ju brantare sväng desto större blir effekten både av hastighetsskillnaden och anfallsvinkelskillnaden mellan vingarna. Oftast balanserar effekterna ut varandra.

### Urgång ur sväng

Vid urgång ur sväng är det viktigt att anfallsvinkelminskningen blir den ledande rörelsen före lutningsminskningen. I annat fall riskerar piloten att nosen höjer sig och hängglidaren tappar fart. Rätt utförd kombination av kroppen framåt och åt sidan får hängglidaren att gå ur svängen och inta rätt attityd (vinkel relativt horisonten) som sedan ger rätt hastighet.

Vad som är viktigt att konstatera för nybörjare är att piloten måste föra kroppen åt sidan utåt i svängen för att stoppa svängfgen. I själva svängen låg ju kroppen neutralt i sida. Ett vanligt fel i början vid kortare sväng är att nybörja-

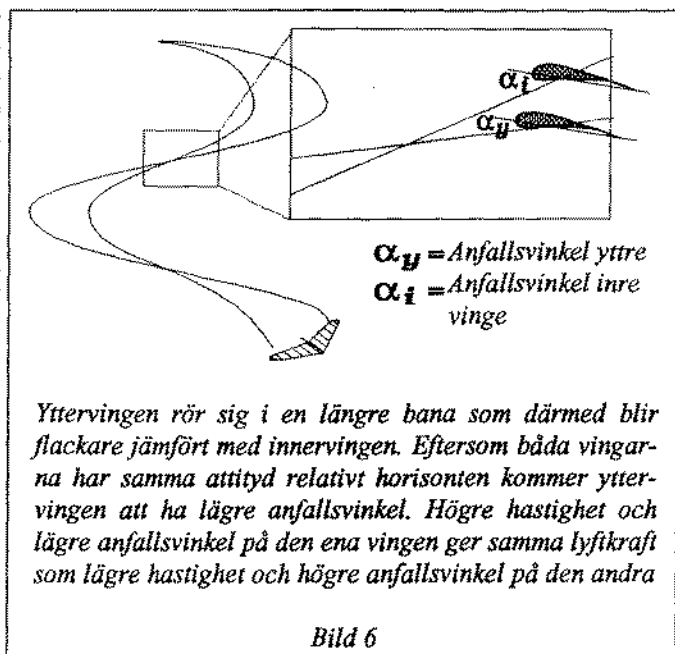


Bild 6

ren ger ingångsrörelser men felaktigt uppfattar att när kroppen förs från sidan till neutralläge så skulle svängen också stoppa. Så är ju inte fallet. Piloten måste själv aktivt gå ur en sväng.

## G-belastning

Behovet av lyftkraft under sväng är direkt beroende av belastningen. Lyftkrafttillskottet i procent räknat som krävs för en viss lutning jämfört med flygning rakt fram är alltid detsamma oberoende av typ av luftfarkost med vingar och oberoende av typ av luftfartyg och oberoende av hastigheten. Se på bild 5. Där visas behovet av lyftkraft för var 15:e grads ökning av lutningen.

Som följd av lyftkraftens riktning som både ger sväng och motverkar tyngdkraften (W) uppstår en centrifugalkraft som är riktad rakt ut från centrum av svängplanet (den tänkta yta i rymden som hängglidaren rör sig i under svängen). Centrifugalkraften kommer alltid att balanseras så att den och tyngdkraften tillsammans får en resultant som är rakt motriktad och lika stor som lyftkraften. Denna kraft benämns g-kraften.

G-kraften har ett fast värde för viss lutning och följer principen för lyftkraftsbehov. Vid flygning rakt fram är g-kraften=1. Vid 60° lutning svänger piloten med 2 g. Detta framgår av bild 7. Alla krafter på pilot och hängglidare är då dubbelt så stora som vid flygning rakt fram.

Som också framgår av bild 7 är den svängande komponenten av lyftkraften lika stor och motriktad centrifugalkraften. Denna kraft benämns centripetalkraften. Den är av mindre vikt för piloter att lära sig.

De tre egentliga krafterna under sväng är lyftkraften (L), tyngdkraften (W) och centrifugalkraften (C). Dessa tre balanserar alltid ut varandra så länge rörelsen är konstant dvs i detta fall sväng med konstant lutning. Korrekt återgivna på bild skall krafterna ha inbördes proportion så att de helt tar ut varandra. Resultanten av två av dem är således lika stor och motriktad den tredje. De tänks angripa (utgå från) samma punkt (tyngdpunkten).

## Olika lutningar

Eftersom lyftkraften måste ökas exponentiellt med ökad lutning krävs i

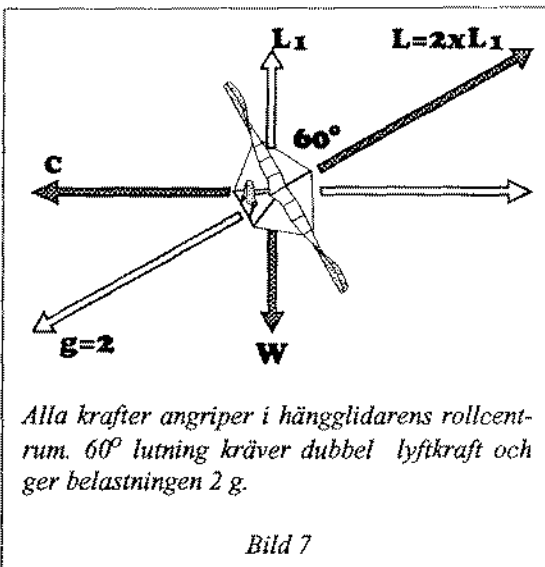


Bild 7

princip motsvarande ökning av anfallsvinkeln. Vid viss lutningsförändring från ett utgångsläget med liten lutning skall lyftkraften således ändras lite. Samma lutningsförändring utgående från en större lutning kräver stor lyftkraftsförändring. Detta är en anledning till att det är lätt att göra en svag sväng medan det är svårt att hålla en konstant brant sväng. Minsta variation i lutningen ger i det senare fallet lätt stora variationer i nosläge och sjunkhastighet. Se bild 8.

Det inducerade motståndet är direkt beroende av anfallsvinkeln. Därför är det lätt att göra fel och hamna i obehagligt hög eller låg hastighet (oftast det senare) vid brant sväng.

## Svängradie och svänghastighet

Svängradien beror av lutning/g-belastning och hastigheten. Vid samma lutning är det således hastigheten som är avgörande. Hängglidaren flyger med mycket låg hastighet och svänger som vi vet med liten svängradie. Ett flygplan i hög hastighet får vid samma lutning en oerhört mycket större svängradie.

Svängradien är proportionell mot hastigheten i kvadrat. Fördubblad hastighet ger fyra gånger större svängradie. 45° lutning och 35 km/tim ger en svängradie på ca 11 m. Detta är en brant sväng med hängglidare. Om samma lutning används vid 70 km/tim

blir således svängradien ca 45 m. Bild 9.

Med svänghastighet avses hur snabbt man svänger. Normalt mäter man svänghastigheten i grader per sekund.

Med ökad radie följer ökad omkrets på cirkeln dvs den sträcka som skall flygas. I ovanstående exempel ökar sträckan för ett helt varv från ca 70 till ca 280 m. Tiden för svängen ökar till den dubbla eftersom sträckan är 4 gånger längre och hastigheten den dubbla. Svänghastigheten har således halverats. Detta ligger inom hängglidarens prestanda och piloten måste känna till denna effekt för att i olika hastigheter svänga undan för hinder och för att kunna bedöma tiden för en sväng.

Om hängglidaren finns i närheten av en skärm kan skärmen med sin låga hastighet vända med mycket liten svängradie vilket sker på mycket kort tid även om lutningen inte är särskilt stor. Ett segelflygplan kommer enligt

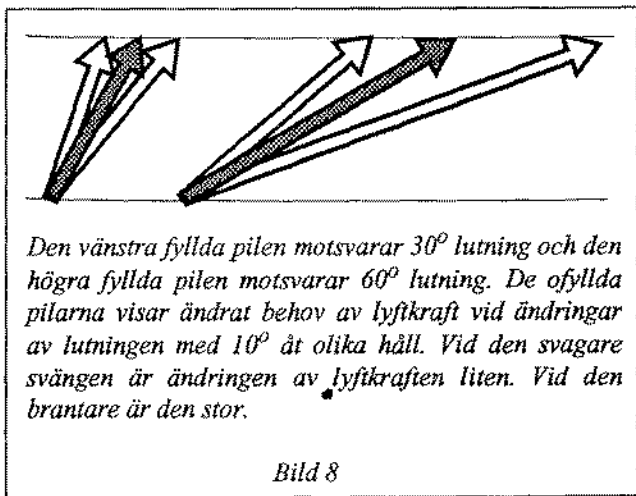


Bild 8

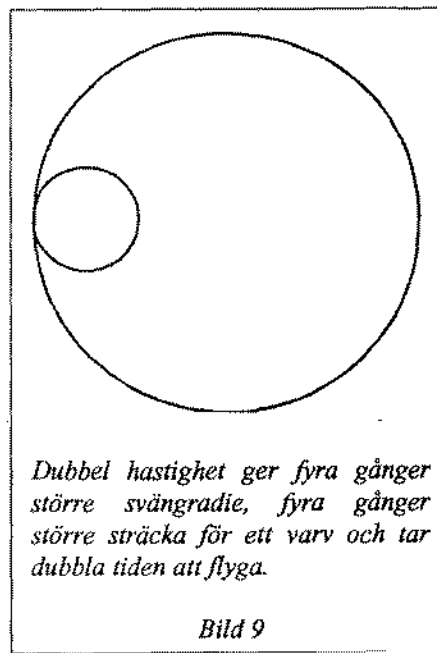
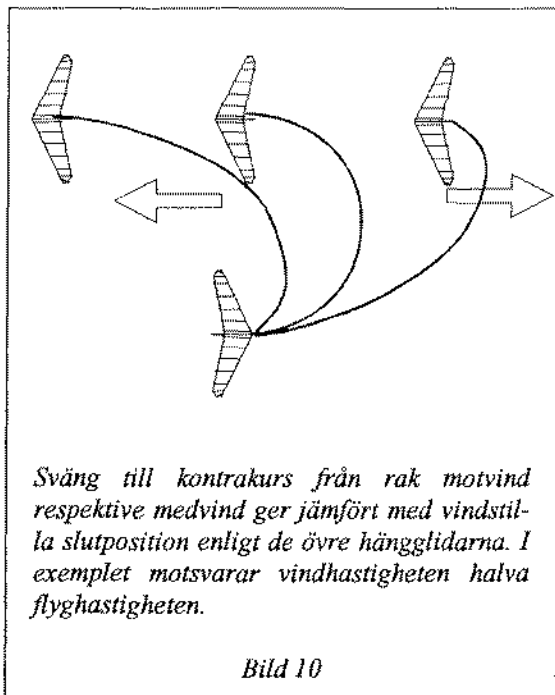


Bild 9



*Sväng till kontrakurs från rak motvind respektive medvind ger jämfört med vindstilla slutposition enligt de övre hängglidarna. I exemplet motsvarar vindhastigheten halva flyghastigheten.*

Bild 10

samma resonemang att få en avsevärt större svängradie och kanske tre gånger längre tid för svängen. Talar vi om jetflygplan på låg höjd med kanske 20 gånger högre hastigheter ger en överslagsberäkning svängradier på åtskilliga km med samma lutning.

## Kombinationen

Om man kombinerar effekten av en rad faktorer som nu behandlats, i detta fall hastighet, lutning/g-belastning, motstånd, sjunkhastighet, svänghastighet och svängradie, kan man konstatera följande: Ökad hastighet medger större lutning/g-belastning men ökar svängradien och tiden att fullborda svängen med samma lutning/g-belastning. Större lutning/g-belastning ger större motstånd och resulterar i större sjunkhastighet eller hastighetsminskning med risk för stall som följd.

## Optimal sväng

### Hinder i vägen

En pilot i knipa som har hinder t ex i form av bergvägg i svängriktningen och hinder under sig måste välja rätt kombination. Följande råd kan allmänt ges: Om det är hindret på samma höjd som är det kritiska bör man fortsätta svänga, öka lutningen och efterhand belasta så mycket som hastigheten tål. Svängen kan bli kraftigt grävande. Om det är höjden över hinder som är avgörande skall svängen företas med relativt svag lutning för att hålla sjunkhastigheten nere.

## Vindens betydelse

Om inte hinder finns utan piloten avser att svänga runt till kontrakurs finns alltid en lutning som ger optimal sväng med minsta höjdförlust i vindstilla för att åstadkomma denna manöver. En brant sväng går snabbt och ger på kort tid stor höjdförlust. En svag sväng tar lång tid och även om sjunkhastigheten är låg så blir ändå den totala höjdförlusten stor. Erfarenheten lär piloten vilken sväng som ger bäst resultat.

Nu är det sällan som denna manöver verkligen sker i vindstilla. Vid sväng från med till motvind driver piloten från den nya tänkta flygriktningen (målet) under hela svängen och bör därför göra den på kortare tid d v s brantare. Vid sväng från med till medvind får piloten istället hjälp av vinden att röra sig åt det nya hållet. Svängen bör göras svagare. Se bild 10.

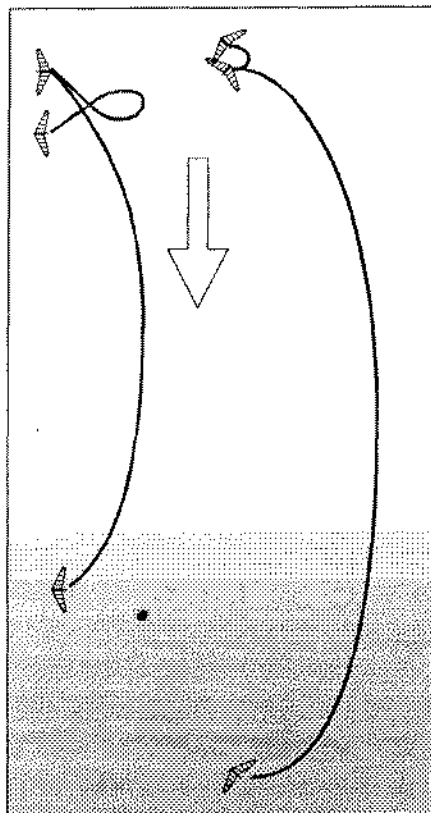
Svängradien relativt marken vid sväng till kontrakurs kan variera avsevärt beroende på vinden. Se bild 11. Antag att man flyger parallellt med ett hang en bit ut från berget och skall välja mellan sväng utåt eller inåt mot berget till kontrakurs. Det blåser 8 m/s rakt mot hanget. Hängglidarens luft-hastighet är  $36 \text{ km/tim} = 10 \text{ m/s}$ . Svängen genomförs med en lutning som ger 25 m radie, dvs parallellförflyttningen vid sväng till kontrakurs blir 50 m vid vindstilla. Sträckan till kontrakurs är i luften knappt 80 m. Tiden för  $180^\circ$  sväng blir således 8 s oberoende av svängriktning. Hängglidaren flyttar sig då  $8 \times 8 = 64 \text{ m}$  med vinden under tiden svängen pågår. Sväng med vinden innebär en sidoförflyttning på  $50 + 64 = 114 \text{ m}$  medan sväng mot vinden för hängglidaren  $50 - 64 = -14 \text{ m}$  dvs 14 m på "felsida" om den ursprungliga kurslinjen.

I just det här exemplet färdas normalt hängglidaren med  $55^\circ$  upphållning mot vinden för att flyga parallellt med hanget. Rundsväng med vinden måste då göras  $180 + 55 + 55 = 290^\circ$  vilket tar ca 13 s och ger förflyttning  $30 + (13 \times 8) = 139 \text{ m}$  mot berget under svängen. Sväng mot vinden kräver endast  $70^\circ$  kursändring som tar ca 3 s och ger  $30 - (3 \times 8) = 6 \text{ m}$  förflyttning ut från berget. Båda dessa svängar ger ca 30 m sidoförflyttning i vindstilla.

Siffervärdena ovan är delvis avrundade. De visar tydligt risken att svänga med vinden in mot berget.

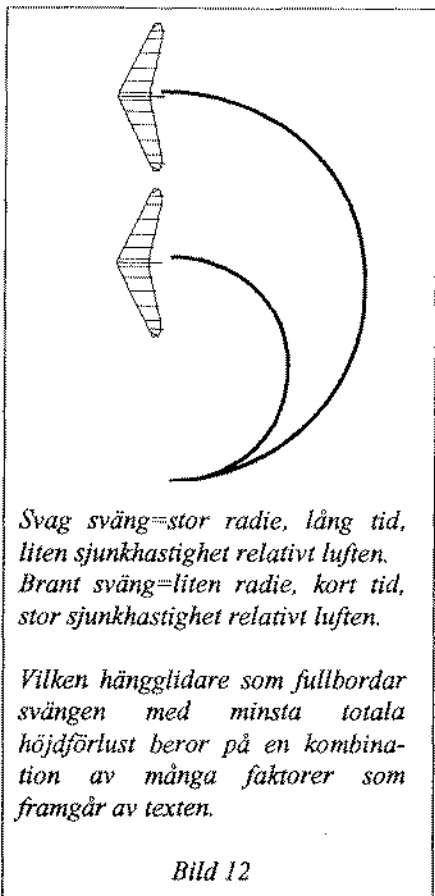
## Luftens vertikala rörelse

Lägger man dessutom till luftens vertikala rörelse blir bilden än mer komplicerad. Det är lätt att förstå att man avslutar en sväng med högre höjd än man påbörjade den om man kan moderera svängen så att luftens stighastighet är större än hängglidarens sjunkhastighet. Det kan därför vara mycket lönsamt att i vissa lägen göra mycket svaga svängar som tar lång tid medan det i andra lägen är klart lönsamt att svänga brant så att man inte hamnar utanför stiget t ex vid vändning på hang eller i termikblåsa.



*Denna bild är skalenlig. Flygning sker på hang ca 100 m ut från berget. Vinden är rakt mot hanget 8 m/s. Flyghastigheten är 10 m/s. Den vänstra hängglidaren har kurs parallell med hanget och en färdriktning före och efter sväng snett in mot berget. Svängen görs till kontrakurs. Den högra hängglidaren håller upp mot vinden och färdas parallellt med hanget. Sväng sker till motsatt färdriktning. Förhoppningsvis ligger hängglidarna över bergets nivå vid högersvängarna.*

Bild 11



Piloten måste förstå principerna i detta resonemang för att kunna utvecklas men det är erfarenheterna som lär honom hur det skall utföras i praktiken. Den med de största grundkunskaperna kopplat till bäste flygkänslan som vinner. Se bild 12.

## Vad händer aerodynamiskt vid ingång i sväng?

Piloten åstadkommer rollrörelsen primärt genom att flytta tyngdpunkten

så att vingen "tippar". Den här rörelsen kan åstadkommas rent mekaniskt, dvs endast pilotens tyngdpunktsförändring åstadkommer lutningen. Om hängglidaren enbart skulle påverkas av dessa mekaniska krafter skulle den emellertid bli mycket trög och ovillig att svänga för att inte säga omöjlig. Genom sin konstruktion kommer emellertid hängglidaren att hjälpa till att ge rollrörelse när piloten initierar den. Olika fabrikanter utnyttjar hjälpmedlen lite olika. Därför är olika hängglidare olika lätta att manövrera.

En hängglidare som är mycket lätt att få att luta kräver liten fysisk kraft från pilotens sida att gå in och ur svängar vilket i sig är positivt. Nackdelen är att hängglidaren känns mindre stabil. Piloten måste kanske parera mera. En stunds ouppmärksamhet ger kanske oönskade rollrörelser. Fabrikanterna strävar naturligtvis efter den optimala funktionen som för piloten ger den mest behagliga känslan.

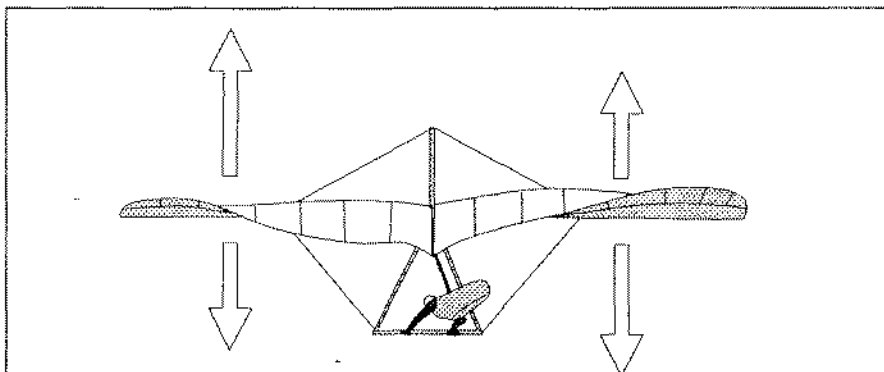
När tyngdpunkten flyttas mot den ena (senare nedåtgående) vingen får denna en högre vingbelastning. Denna vinge vill välva mer. Seglet buktar sett bakifrån mera från köl till vingrör. Den andra vingen får en planare form. Rörens böjlighet medger en viss sådan förändring. Andra hjälpmedel för att möjliggöra större skillnad på seglets bukighet mellan vingarna är kölficka och flytande korsbom. Ökad billow ger seglet möjlighet att få större bukighet. Seglet har också en viss inbyggd bukighet. **Billow-shift** är den engelska benämningen på det fenomen där den ena vingen får ökad bukighet på den andras bekostnad. Begreppet billow har behandlats utförligt i artikeln om prestanda. Moderna hängglidare har

ingen billow men seglet har ändå en viss bukighet. Detta ser man tydligt bakifrån på en flygande hängglidare. Något svenskt ord för billow som egentligen är en vinkel finns inte.

**Vingarnas ytterdelar kan flexa.** Detta har utförligt beskrivits i artikeln om hög och låg hastighet (stall). Genom den billow-shift som beskrivits ovan får vingens bakkant större möjlighet att svänga fritt och kan anpassa sig till luftströmmen. Därvid minskar anfallsvinkeln. För den andra vingen spänns seglet och minskar seglets flexning. Bakkanten dras ner och anfallsvinkeln ökar. Genom den ökade anfallsvinkeln på yttervingen ökar dess lyftkraft. På innervingen minskar anfallsvinkeln och lyftkraften. På så sätt kommer rollrörelsen igång ordentligt. Bild 13 visar hur det ser ut.

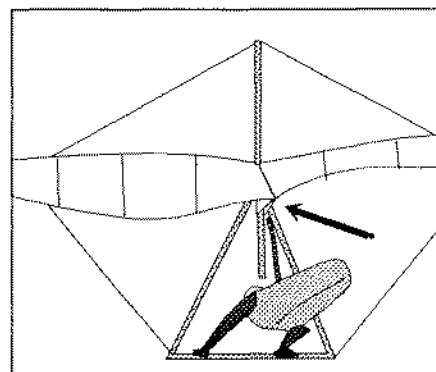
För den uppåtgående vingen fälls således vingens bakkant ner och för den nedåtgående vingen fälls den upp. Rörelsen kan liknas vid skevroderrotationer. På hängglidaren sker emellertid anfallsvinkelförändringen successivt längs större delen av vingens spännvidd eftersom rollrörelsen har den största inverkan på vingpetsarna och ingen alls omkring kölröret. Vingtippen kan göras olika liksom seglets bukighet vilket påverkar flygegenskaperna. Här har fabrikanterna olika tekniska lösningar.

**Kölfickan** är ett hjälpmedel att påverka och förstärka flexningen. På grund av det högre trycket på den nedåtgående vingen kommer kölfickan att luta mot denna vinge. Seglet ges därvid möjlighet att bukta än mer och ge utrymme för vingen att flexa ytterligare. Av samma anledning kommer



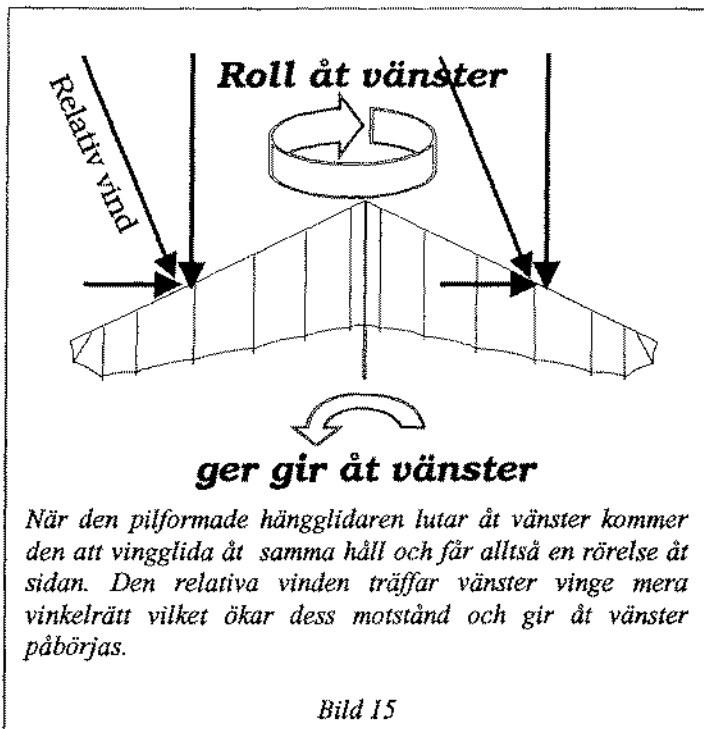
*När piloten flyttar kroppen åt höger utsätts höger vinge för större vingbelastning. Den buktar då mer. Bakkanten medges flexa mer fritt och böjs uppåt varvid anfallsvinkeln minskar liksom lyftkraften. Det mera sträckta seglet på vänster vinge drar ner bakkanten varvid anfallsvinkeln och lyftkraften ökar.*

Bild 13



*Kölfickan medger att seglet kan bukta än mer på den sida som får den största vingbelastningen varvid den vingen kan flexa mer.*

Bild 14



den uppåtgående vingens segel att sträckas och bli planare och därmed hindra flexningen uppåt. Detta framgår också av bild 14.

En flytande korsbom ger i princip samma effekt som kölfickan. Om piloten står på marken och lutar vingen "faller" korsbommen av tyngdkraften mot den lägre vingen. Detta ger fel balans i vingen. Vissa vingar kan kännas väldigt ostadiga att hålla före start därför att korsbommen inte vill hålla sig stilla i neutralläget. Detta gäller främst vid vindstilla. Vid flygning och sväng rör sig emellertid korsbommen i motsatt riktning. Den effekt som kölfickan enligt beskrivningen ovan åstadkommer hindras delvis av en fast korsbom. Om korsbommen ges möjligheter att flyta fritt eller i vart fall röra sig något i sidled kommer den att tryckas över mot den uppåtgående vingen. Man kan säga att kölröret dras åt sidan neråt och hamnar i ingången i sväng något diagonalt. Två effekter nås. Dels ger det möjligheter för den nedåtgående vingen att välva och flexa ytterligare, dels får denna vinge något mindre total vingyta

Vissa hängglidare har ett ganska stort slack i vajrarna. På marken med svag eller ingen vind känns dessa hängglidare ganska instabila då styrbygeln i sidled har ett glapp omkring vilket piloten skall försöka hålla vingen horisontell. I luften är detta obehag borta. Även detta slack gör det möjligt för hängglidaren att anpassa sin form.

dar.

En negativ V-form ger således instabilitet i roll och därmed blir det lätt för piloten att åstadkomma rollrörelser. Det kan synas som om hängglidare inte har någon V-form men små variationer förekommer. I princip regleras denna genom längden på sidovajrarna. Vingrörens böjlighet påverkar också V-formen. När hängglidaren flygs drar lyftkraften vingrören uppåt och böjer dem något samtidigt som undervajrarna sträcks maximalt. V-formens betydelse kommer att utförligare behandlas i kommande artikel om stabilitet.

Pilformen påverkar svängegenskaperna. En rak vinge, vi hade någon sådan i slutet av 70-talet, blir nästan omöjlig att svänga med enbart tyngdpunktsförändring. Visserligen lutar vingen med den vingglider utan att vilja gira inåt i svängen. Detta löstes då med luftbromsar. Dessa såg ut som fenor längst ut på vingarna. När piloten med ett vridhandtag på styrstängens kantställde en luftbroms ökade motståndet på den vingen och hela hängglidaren girade. Som följd härav kom yttervingen att flyga med högre hastighet och fick mera lyftkraft. På just den hängglidaren behövde således inte piloten alls använda tyngdpunktsstyrning i roll.

När hängglidaren som är pilformad börjar luta kommer den att glida inåt i svängen som vi tidigare förklarat. Den snedanblåses således. Den lägre vingen träffas av luftströmmen mera vinkelrätt och motståndet ökar. Hängglidaren

Vingens V-form har betydelse. Ju kraftigare V-formen är desto stabilare är luftfarkosten i roll. En stabil vinge vill själv gå ur svängar och inta horisontellt läge i luften. Om man ville vara säker på att alltid flyga rakt fram skulle en V-formad vinge vara att föredra. Den skulle emellertid vara svår att gå in i sväng med och även att hålla kvar

kommer alltså att gira inåt i svängen vilket är vad vi önskar för att åstadkomma en korrekt sväng. Se bild 15.

## Skevroderbromsen

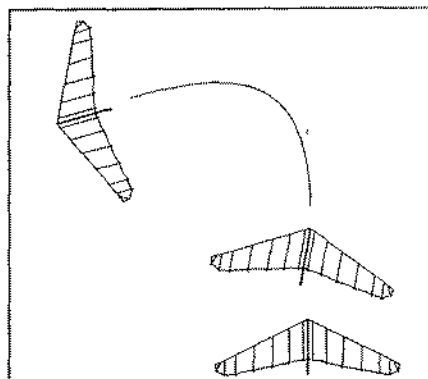
På ett vanligt flygplan med skevroder ger det nedåtgående skevrodret större lyftkraft men också större motstånd och det uppåtgående minskar motstånd. Flygplanet girar mot den uppåtgående vingen och ger en oren ingång i svängen som piloten kan motverka med sidrodret. Här har begreppet skevroderbroms uppkommit.

Hängglidaren saknar roder men effekten blir ändå densamma. Låt oss återgå till rollrörelsens inledning. När piloten ger svängkommandot med kroppen och billow-shift erhålls ökar anfallsvinkeln på yttervingen och minskar på innervingen. Som följd härav ökar det inducerade motståndet på yttervingen och minskar på innervingen. Hängglidaren kommer därför att gira "åt fel håll" mot den uppåtgående vingen. Se bild 16. Därefter startar giren åt "rätt håll" i svängen som vi nyss förklarar.

Vid varje ingång i sväng erhålles under ett kort moment en gir åt fel håll. De flesta piloter märker knappast detta. Effekten kan variera mellan olika hängglidare.

## Stall i sväng

I artikeln om höga och låga hastigheter behandlades stall i sväng ingående samt hur man undviker och går ur sådan. Här konstateras bara att stallhastigheten ökar med ökad sväng eftersom anfallsvinkeln ökar. Vid sväng med 2 g (60° lutning) är stallhastigheten 40 % högre än vid flygning rakt fram. Ju brantare man svänger desto



större är det inducerade motståndet som följd av högre anfallsvinkel. Risken för att tappa fart ökar således med ökad lutning.

Vi har tidigare visat på att innervingen flyger långsammare och med större anfallsvinkel än yttervingen.

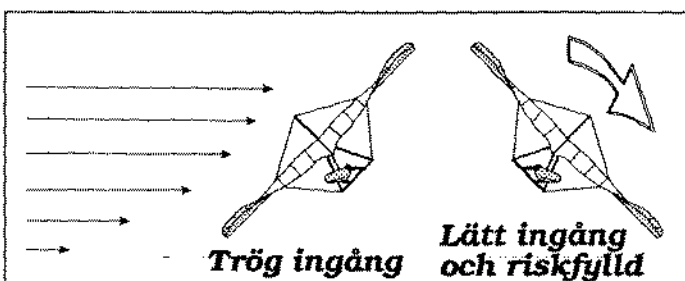
Risken för stall ökar alltså med ökad lutning i sväng av två skäl, dels ökad stallhastighet dels större risk att tappa fart.

## Sväng nära marken

Under ca tio meters höjd är vindgradienten stark. Om man svänger nära marken kommer vingarna att befinna sig i olika stark vind. Detta kan göra att vingen vill "stjälpa" med vinden. Riskerna är störst vid sväng från vinden. Följden kan bli ofrivillig medvindsländning under sväng. Vid sväng på hang på låg höjd har vi en av de största flygsäkerhetsriskerna inom hängflyget. Det är vanligt att oerfarna piloter direkt efter start kraschar. Detta beror ofta på att sväng initieras för tidigt innan tillräcklig hastighet och höjd erhållits. Bidragande bov i dramat kan var vindgradienten. Se bild 17.

## Sväng på relativt låg höjd

När piloten svänger på så låg höjd att vindens påverkan på hängglidaren ger förvrängda synintryck måste piloten vara medveten om problemet. Fenomenet är en utveckling av det fartintryck som flygning i med- respektive motvind ger. Sväng från vinden ger en känsla av ökande hastighet. Pilotens omedvetna korrektion kan leda till stall. Detta blir extra allvarligt då stallen inträffar i medvind med hög hastighet och dessutom i sväng. Vid sväng upp mot vinden ges det motsatta



*Sväng på låg höjd i vindgradienten kan vara riskfylld speciellt vid sväng från vinden.*

Bild 17

intrycket vilket gör riskerna för omedvetna fel små. Bild 11 visade detta.

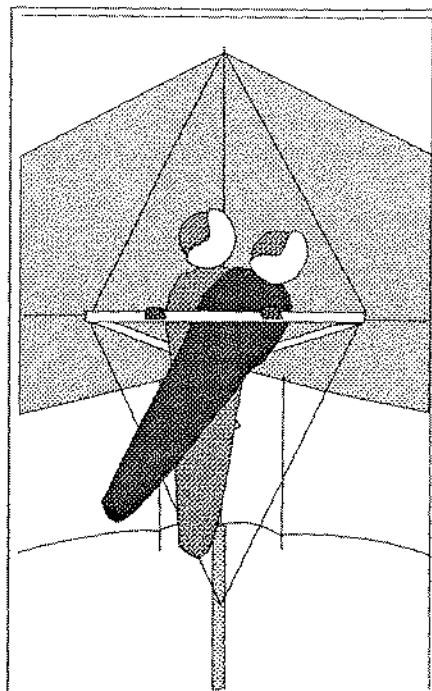
## Omtvistat problem

Alla rörelser sker relativt luften. Vid sväng från vinden ökar markhastigheten. Eftersom hängglidaren hela tiden befinner sig i den luft som rör sig är detta i sig inget problem. Där finns emellertid en liten hake. Problemet är omtvistat. Det har med tröghetslagen att göra och liknar problemet vid landning i vindgradienten där hängglidaren inte hinner anpassa sig till den förändrade vinden. Här är det ingen förändrad vind men hastigheten över marken förändras. Hängglidaren skall visserligen hålla samma hastighet i luften men relativt marken accelerera. Trögheten gör att denna acceleration inte hinns med fullt ut. Vid marginell flygning blir detta droppen. Åter är det sväng från vinden som är det farliga.

## Kroppen

Skillnaden mellan flygning rakt fram och konstant hållande av sväng är att piloten i det senare fallet ligger något längre bak. Han ligger ju fortfarande mitt i bygeln i sidled eftersom centrifugalkraftens och tyngdkraftens samverkan ger den effekten. Kroppens rörelse från flygning rakt fram tills dess konstant sväng erhållits kan liknas vid ett inte helt fullbordat C - kroppen fram - åt sidan - bakåt - tillbaka i sidled till mitten. I den här rörelsen finns egentligen bara ett kroppsfel som kan sabotera svängen och det hänger samman med kroppens sidoflyttning.

Piloten har en enda central upphängningspunkt. Det som hindrar honom att rotera kring punkten är greppet i styrbygeln. Ett vanligt nybörjarfel är att piloten inte flyttar tyngdpunkten när han försöker svänga. Han för över kroppen åt sidan men inser inte att det bara är överkroppen som flyttar sig i rätt riktning. Benen svänger över till andra sidan så att han i praktiken hänger diagonalt i bygeln. Se bild 18. Detta ger



*Typiskt fel när piloten inte får någon effekt av svängförsök. Kroppen svänger omkring upphängningen utan att tyngdpunkten ändra.*

Bild 18.

naturligtvis ingen svängreaktion. För att flytta kroppen krävs att ett antal muskler spänns. Bäst effekt erhålls om benen får en ledande rörelse. Det mest korrekta är att se till att kroppen är rak och att det är höfterna som flyttas i sidled. Då kommer hela kroppen att förflyttas parallellt i bygeln.

Även när man flyger stående kan motsvarande fel göras. Kroppen står som ett  $\pi$  i styrbygeln.

Vanligt nybörjarfel är också att piloten slänger fram och tillbaka som en pendel. Det är inte lätt att då känna vad man sysslar med.

Någon nybörjare försöker styra genom att försöka vrida styrbygeln som ett cykelstyre.

Alla dessa fel kan man arbeta bort om man tänker på dem. Den bästa flygningen får man om man rör kroppen lugnt och med säkra rörelser utan pendlingar.

## Bogsering

Vid bogsering är draget fäst vid pilotens sele. Den kraft med vilket draget sker ökar pilotens tyngd i upphängningen. Den kraft som piloten utövar på hängglidaren vid en tyngdpunktsförändring är således ungefär dubbel mot normal flygning. För kurshållning krävs under bogsering



därför små rörelser. Normala svängkommandon kan ge för häftig respons och överkorrigeringar som följd. Även här gäller dock att flytta hela kroppen och inte vrida den i bygen. Höfterna bör vara den del som piloten koncentrerar sig på att flytta med små snabba men ändå lugna rörelser.

## Konstruktionen

Som framgått har fabrikanten ett antal möjligheter att spela på när det gäller konstruktionen så att hängglidaren får olika svängegenskaper. Flera av variationerna kan för en betraktare vara omöjliga att se med blotta ögat. Någon grad här och någon centimeter där ger andra flygegenskaper.

De flesta moderna högprestanda-vingar flygs med mycket litet bygeltryck. Det är således mycket lätt för piloten att ge nosupp/nerröresler. Detta påverkar i hög grad den känsla och den ansträngning som piloten utsätts för. Kravet på piloten kan öka när det gäller att med känsla manövrera korrekt.

## Sammanfattning och råd

Det är bra att ha grundkunskaper om svängar. Ingen annan manöver kräver emellertid så mycket av pilotens känsla för flygning. Svängar innehåller

många svårigheter och faror om de utförs felaktigt och vid fel tillfälle. Här sammanfattas de viktigaste problemområdena.

- Motståndsökning samtidigt som stallhastigheten ökar ger risk för stall. Öka hastigheten före sväng!
- Sväng på låg höjd påverkas av vindgradienten! Se upp vid sväng från vinden!
- Synintrycket vid sväng på lägre höjd kan lura piloten. Se upp vid sväng från vinden!
- Det "blir ingen sväng" trots försök. Öka hastigheten (sänk nosen) och kontrollera att benen är med åt samma håll som sväng avses!
- Tänk på att svängradien ökar med kvadraten på hastigheten! Sväng i tid!
- Brantare svängar är svårare att utföra än svaga. Grävande sväng eller stall kan båda få allvarliga följder på låg höjd.
- Det är ibland fördelaktigt att svänga brant ibland svagt för att förlora minsta höjd eller vinna längsta distans.
- Sväng till kontrakurs via medvind kan jämfört med sväng via motvind

ge mångdubbel svängradie. Sväng aldrig med vinden mot ett berg.

- Det är långt till vingspetsarna! Det är lätt att tro att korsbommens ände också är vingens. Sväng på tillräcklig höjd!
- Som nybörjare bör Du särskilt tänka på följande:
  - Korrigera kurshållning tidigt, dvs innan det hunnit bli fel flygriktning när Du närmar Dig låg höjd så slipper Du hamna i ofrivilliga svängar i vindgradienten!
  - Gör inte för stora kroppsrörelser! Svängen kan bli för brant. Det tar tid att gå ur sådan sväng och Du hamnar lätt i för kraftig sväng åt motsatt håll.
  - Se hela tiden till att Du har tillräcklig hastighet! Det är särskilt lätt att få för låg hastighet då Du går in och ur sväng.
  - Sväng inte nära marken före landning! Det är bättre att landa i sidvind på rak kurs än att vara under sväng när marken tar emot.

**H**

Ma

Suc

För

pop

stär

Vi

erfa

får

har

inst

I på

Mal

dire

Tra

Brä

lunc

FRONT VIEW

UPPER (LANDING) SIDE WIRE (OR CABLE)

LEADING EDGE (RIGHT)

DEFINED TIP BATTENS

TRAILING EDGE OF SAIL

KEEL POCKET

HANG STRAP

CONTROL BAR UPRIGHT (DOWNTUBE)

CONTROL BAR HORIZONTAL (BASE TUBE)

UPPER RIGGING OR LANDING WIRES

SWEEP

BILLOW

REFLEX BRIDLES

REAR VIEW

KINGPOST

UPPER NOSE WIRE

DOUBLE SURFACE

NOSEPLATE

NOSE ANGLE

REEL

CROSSBAR

LEADING EDGE (LEFT)

CORNER BRACKET

LOWER (FLYING) WIRES OR CABLES

**GGY**

Sopot 900m och  
nde på lokala vä-

0:-SEK.

augusti. För opti-  
gning reser vi: 1-  
ti samt 12-26 au-

quette, Icaro och

ntakta:

13 71  
42 52