



FLYVEPRINCIPPER

Kompendie til undervisning til SPL-teori

*Indholdet i dette kompendium indgår i teorikravene til faget "Flyveprincipper" i AMC
til EASA-FCL til SPL-certifikatet
Numrene på afsnittene henviser til undervisningsplanen*

Dansk Svæveflyver Union

dsvu@dsvu.net

Version 3 - 05.02.2020



Indhold

Faget "Flyveprincipper"	3
5.1. Aerodynamik	4
Luftens kræfter	4
Dannelse af opdrift	5
Strømning omkring bæreplanet	5
Grænselaget	5
Indfaldsvinklens betydning for opdriften	6
Modstand	7
Formmodstand.....	7
Gnidningsmodstand.....	7
Profilmodstand	8
Induceret modstand	8
Interferensmodstand.....	8
Sammenhæng mellem opdrift og modstand.....	8
Profiltyper	9
Kræfter på svæveflyet	10
Kræfter under ligeudflyvning	10
Kræfter under drej	11
Trykcentervandring.....	11
Kurveradius	11
Planbelastningen:	11
G-påvirkninger	11
5.2. Svæveflyets design i forhold til præstationer	13
V-form	13
Afbalancering af ror	13
Vingens vridning	14
Luftbremser.....	15
Flaps	15
Svæveflyets hastighedspolar	15
5.3. Stabilitet	17
Stabilitet omkring tværsaksen (længdestabilitet).....	17
Statisk stabilitet	17
Dynamisk stabilitet	17
Stabilitet omkring højaksen (kursstabilitet)	18



Stabilitet omkring længdeaksen (Tværstabilitet)	19
5.4. Styling af svæveflyet	20
Ror og akser	20
Højderorets virkning	20
Siderorets virkning	20
Krængerorets virkning	21
Brugen af svæveflyets ror	21
Flutter	21
PIO (Pilot Induced Oscillations)	22
5.5. Begrænsninger i vægt og manøvrer	23
Vægtbegrænsninger	23
Svæveflyets maksimale vægt	23
Minimumvægt i førersædet	23
Maksimumvægt i førersædet	24
Maksimal vandballast	24
Maksimal bagagevægt i flyet	24
Mulig brændstofmængde	25
Hastighedsbegrænsninger og begrænsninger i G-påvirkning	25
Vindbegrænsninger	26
Begrænsninger i tilladte manøvrer	26
Styrtspiral	26
5.6. Stall og spind	27
Sammenhængen mellem indfaldsvinkel og stall	27
Vingens stallegenskaber	27
Highspeedstall og stall under spilstart	27
Asymmetrisk stall og begyndende spind	28
Spind	29
Fladspind	29



Faget "Flyveprincipper"

Teorien bag det at kunne svæveflyve ligger i faget "Flyveprincipper", som tidligere var en del af faget Aerodynamik. Dette fag blev med udgangspunkt i kravene fra EASA delt op i to fag, hvor den anden del af faget blev til Flyveplanpræstationer og -planlægning, som behandler teorien om glidetæl osv. på svævefly samt forhold, som skal med i planlægningen af den flyvning, som piloten skal ud på – uanset om det er i et traditionelt svævefly eller i en TMG – motorsvævefly til rejsebrug.

Svævefly er konstrueret således, at de flyver godt og sikkert, men hvis flyvningen kommer uden for grænserne for sikker flyvning, er det den viden man får i "Flyveprincipper", som sætter piloten i stand til at håndtere en potentiel farlig situation, og teorien gør yderligere det, at piloten altid ved, hvilke grænser han skal holde flyvningen inden for, for at flyet ikke tager skade eller i værste fald ikke kan holde til påvirkningerne under flyvningen.

Faget er også en vigtig ballast for instruktører, når de skal træne eleverne og – ikke mindst – efter flyvningen gennemgå, hvad der gik godt, og hvad der kan forbedres og herunder, hvorfor flyet gjorde noget andet, end det som eleven ville have det til at gøre.

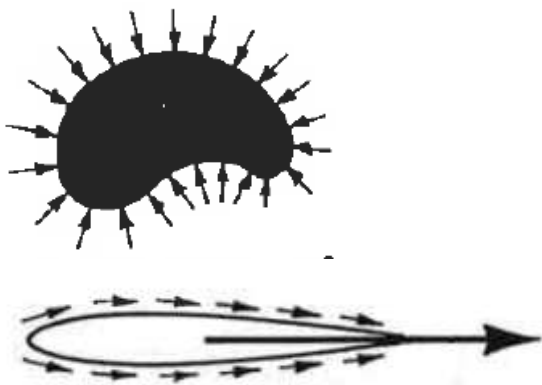
Dansk Svæveflyver Union

Oktober 2019

5.1. Aerodynamik

Luftens kræfter

Et svævefly er ligesom ethvert legeme påvirket af luftens kræfter. Trykkræfterne (statisk tryk) virker altid vinkelret ind på flyet og er upåvirket af, om det bevæger sig. Hvis flyet bevæger sig, er det påvirket af friktions- eller gnidningskræfter, og disse virker til gengæld parallelt med flyet og går i modsat retning som bevægelsen. Når noget bevæger sig fremad, virker friktionskræfterne bagud. Trykket som opstår ved bevægelse, kaldes det dynamiske tryk. Dynamiske kræfter kan også opstå, medens flyet står stille, hvis vinden påvirker flyet.

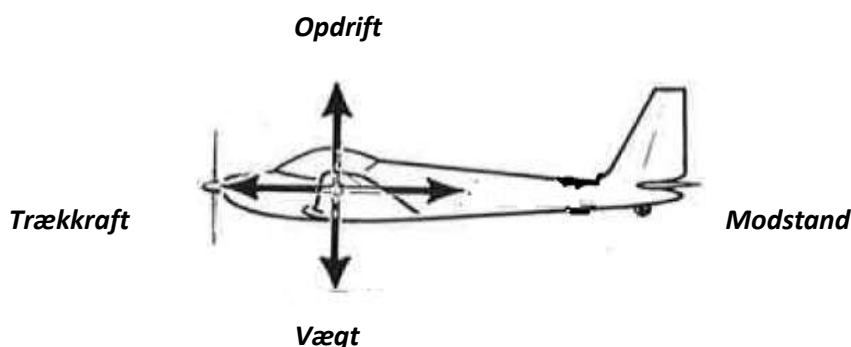


Trykkræfterne virker altid vinkelret ind på et legeme – herunder et svævefly. Det statiske tryk er der, selv om legemet er i ro

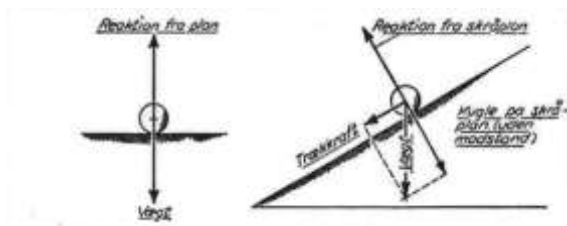
Friktionskræfterne virker parallelt med bevægelsen og i modsat retning. Disse kræfter er en del af det dynamiske tryk og kræver bevægelse

Opdriften på en vinge er resultatet af, at trykkræfterne er mindre på vingens oversiden end på vingens underside. Opdriften er hele baggrunden for, at vi overhovedet kan flyve, og derfor skal vi beskæftige os en del med den i faget "Flyveprincipper". Vi vil komme til at se, at profilet på en vinge og vingens overflade har stor betydning for dannelsen af opdrift og for svæveflyets præstationer i det hele taget.

Udover trykkræfter og friktionskræfter er svæveflyet naturligvis også påvirket af tyngdekraften, og det er påvirket af den opdrift, som opstår på vingen. Et fly med motor – f.eks. en TMG – er også påvirket af en trækraft, som kommer fra motoren via propellen, men et svævefly må selv danne denne trækraft for at komme frem ved at bruge lidt af tyngdekraften til at komme frem med. Og dermed kan man påstå, at et svævefly flyver nedad hele tiden.



Et svæveflys fremdrift og dermed trækraft kan bedst sammenlignes med en bold, som man lægger på et bord. Hvis man hæver bordet lidt i den ene ende, begynder bolden at løbe ned ad bordpladen, og kommer dermed i bevægelse.



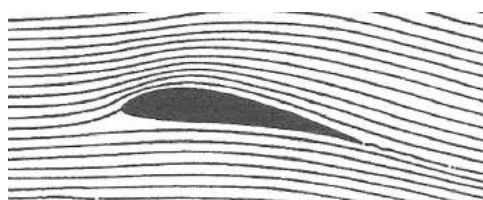
Trækkraften for et svævefly er brugen af en lille del af tyngdekraften, således at flyet flyver nedad hele tiden – indtil det finder et opvindsområde, hvor det kan stige igen for igen at flyve nedad

Dannelse af opdrift

Opdriften på en flyvinge opstår ved, at vingen bevæger sig gennem luften, og på grund af vingens udformning OG indfaldsvinkel passerer luftstrømmen hen over vingen med højere hastighed end den tilsvarende luftstrøm under vingen. Derved opstår der et lavere tryk på oversiden af vingen i forhold til trykket på undersiden af vingen. Langt den største del af opdriften kommer dermed fra oversiden af vingen, hvor der er undertryk. Dog kan flyets haleplan og kroppen også i mindre grad bidrage til opdriften.

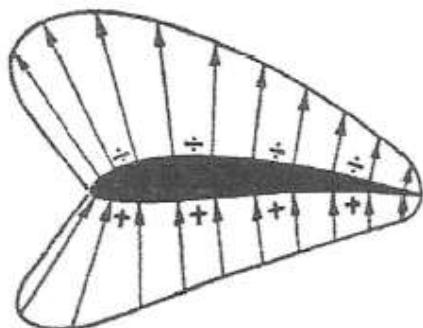
Generelt gælder det, at opdriften på en vinge stiger med kvadratet af stigningen i hastigheden. Det betyder, at en fordobling af hastigheden giver en firdobling af opdriften. Anderledes er det med vingeearealet. Her gælder reglen, at en fordobling af vingeearealet betyder en fordobling af opdriften.

Strømning omkring bæreplanet



Strømningen omkring bæreplanet sker med en højere hastighed på oversiden af vingen, hvilket her er illustreret med linjernes tæthed, og herved opstår der undertryk på oversiden.

Man kan også sige, at luftmolekylerne skal tilbagelægge en længere vej på oversiden end på undersiden for at nå "kollegaen" fra undersiden ved bagkanten af vingen. Det giver en højere hastighed på oversiden end på undersiden.



Den næste skitse viser, at undertrykket på oversiden herved bliver større end overtrykket på undersiden af vingen. Det statiske tryk på oversiden af vingen falder i takt med at lufthastigheden over vingen stiger. Til gengæld stiger det dynamiske tryk, og totaltrykket vil være uændret.

Dannelse af opdrift har gennem flere år været genstand for videnskabsmændenes forskning, og ovennævnte forklaring af opdriften er nem at forstå, men retfærdighedsvis skal det nævnes, at der også er en opfattelse af dannelsen af opdrift med udgangspunkt i Newtons 3. lov, som siger, at luftstrømmens retning ændrer sig ved passage af vingen, således at den er rettet nedad, når den har passeret. Denne nedadrettede kraft giver en modsat rettet kraft, der løfter vingen og dermed skaber opdriften.

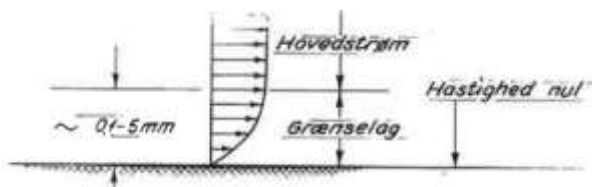
Grænselaget

Vingens grænselag er overgangen fra vingens overflade til luftstrømmen henover vingen. Helt nede ved vingens overflade er luften i fuldstændig ro, medens den en lille smule højere har en høj hastighed. Grænselaget har stor betydning for friktionsmodstanden på vingen. Modstanden er mindre, så længe luftstrømmen bevæger sig jævnt henover vingen (laminar strømning), men hvis luftstrømmen slår fra og ikke længere kan følge vingens overflade (turbulent strømning) stiger modstanden væsentligt.



Omslagspunktet på et profil er det sted, hvor luftstrømme skifter fra at være laminar til at være turbulent, og separationspunktet er det sted, hvor luftstrømmen slår fra profilet.

Derfor gælder det om at konstruere profilet således, at luftstrømmen følger profilet længst muligt, og det betyder normalt et tyndt profil. Et tyndt profil giver generelt en dårligere opdrift end et krumt profil. Derfor er konstruktionen af et profil altid et kompromis mellem laminar strømning og dermed dårlige stall-egenskaber og så opdrift med dårlig performance ved høje hastigheder.



Grænselaget påvirkes af vingens overflade, og når svæveflyvere altid vasker deres fly, skyldes det netop, at en god overflade giver bedre præstationer

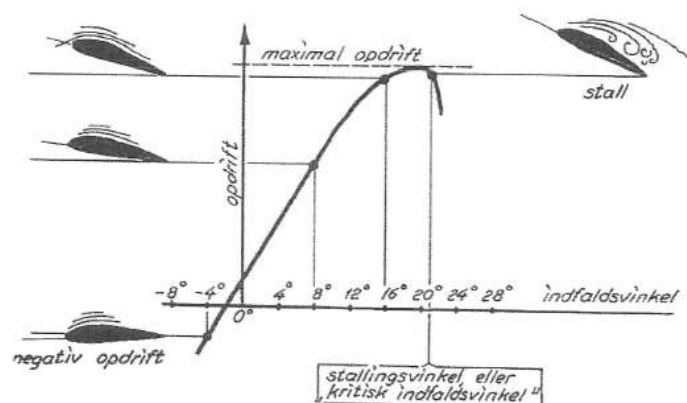
Indfaldsvinklens betydning for opdriften

Sammenhængen mellem opdrift og indfaldsvinkel er således, at opdriften stiger med indfaldsvinklen, indtil indfaldsvinklen bliver så stor, at luftstrømmen slår fra vingens overflade, hvorefter vingen staller. Indfaldsvinklen kaldes "kritisk", når den når punktet lige før flyet staller.

Flyet staller ikke ved samme hastighed, men altid ved samme indfaldsvinkel. Når flyvehåndbogen for et fly (FHB) taler om flyets stallingshastighed, er det stallingshastigheden ved 1 G – dvs. under ligeudflyvning uden yderligere G-påvirkning. Hvorfor stiger stallingshastigheden så ved højere G-påvirkning? Det gør den, fordi vingen her skal præstere mere end blot at bære flyet. Hvis det sker i et dyk, stiger stallingshastigheden under opretning, fordi vingen – udover at skulle bære flyet – også skal skabe den opdrift, der skal trække flyet op.

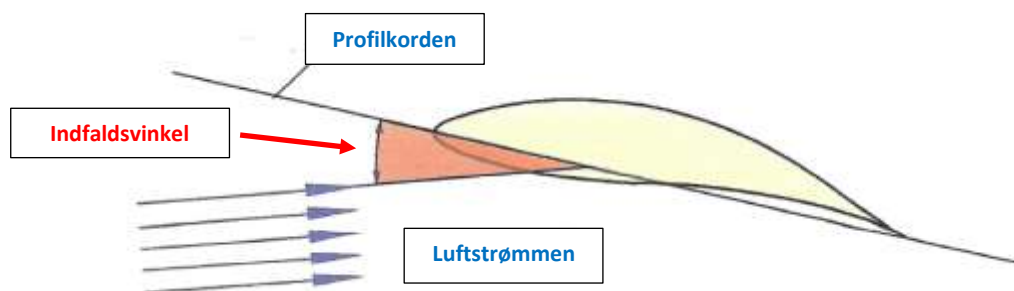
Når stallingshastigheden stiger under en spilstart, skyldes det, at vingen - udover at bære flyet – skal bære vægten af wiren samtidig med, at vingen skal trække flyet op i en stilling, der går noget ud over almindelige ligeudflyvning. Derfor er stallingshastigheden i en spilstart langt højere end under ligeudflyvning.

Og når stallingshastigheden stiger i et drej, skyldes det at vingen – udover at bære flyet – skal trække flyet rundt i et drej, hvor vingens opdrift har en væsentlig rolle i at dreje flyet, når det ligger under krængning.



Jo større indfaldsvinklen er – desto større er opdriften, men kun indtil et vist niveau, hvor vingen staller.

Stallingshastigheden vil være påvirket af indfaldsvinklen, når vingen både skal bære flyet og ændre flyveretningen – uanset om det er ud af et dyk eller i et drej.



Der er en bestemt sammenhæng mellem krængning i drej og forøgelse af stallingshastigheden. Den kan opgøres således:

Krængning i grader	0	25	35	45	55	60	70
Ekstra hastighed i %	0	5	10	20	30	40	70
ift. 80 km/t	80	84	88	95	105	114	137

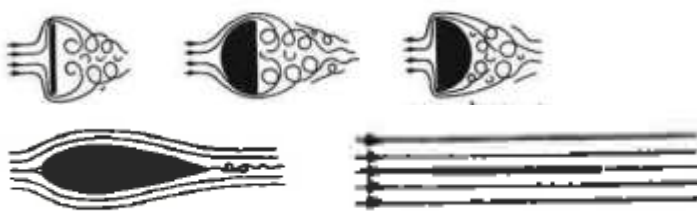
Modstand

Når et svævefly bevæger sig gennem luften påvirkes det af forskellige former for modstand, og vi skal i dette kompendie se på:

- ✓ Formmodstand
- ✓ Gnidningsmodstand
- ✓ Profilmodstand
- ✓ Induceret modstand
- ✓ Interferensmodstand

Formmodstand

Formmodstand har som navnet siger sammenhæng med den form, som et legeme har. Vi kan intuitivt nok regne ud, at et slankt kulfibersvævefly har en mindre formmodstand end en tosædet Lehrmeister, der er bygget af træ.



På figurene til venstre kan man tydeligt se, at hvirvlerne er store bag de øverste figurer, men meget mindre bag den dråbeformede figur og helt væk ved nederste figur til højre

Gnidningsmodstand

Vi så allerede på grænselaget under luftens strømning omkring et bæreplan, og også her opstår der modstand, fordi luftens hastighed hen over overfladen er forskellig. På den første del af bæreplanet er strømningen laminar – dvs. parallel med overfladen, men på et tidspunkt slår luftstrømmen fra og bliver turbulent, hvilket vil sige at luftstrømme danner lufthvirvler, og luftens hastighed falder.

Overfladens beskaffenhed har stor betydning for omslagspunktet, som det punkt kaldes, hvor luftens strømning overgår fra laminar til turbulent. Moderne laminarprofiler er netop konstrueret for at trække omslagspunktet så langt bagud som muligt. Vi kan også gøre noget selv. Jo renere vingens forkant er, desto bedre bliver luftstrømmen, og samme virkning har det, når vi polerer vingerne godt, så de bliver helt glatte.

Profilmodstand

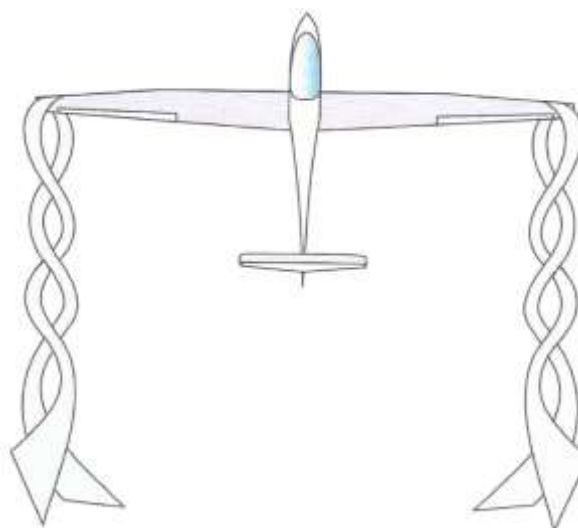
Summen af formmodstand og gnidningsmodstand kaldes for profilmodstand, og profilmodstanden er proportional med luftens vægtfylde (luftens tæthed) og med tværsnitsarealet, medens det proportionalt med kvadratet af hastigheden. Hvis hastigheden fordobles, firedobles profilmodstanden.

Induceret modstand

Induceret modstand opstår ved at overtrykket på undersiden af vingen udlignes med undertrykket på oversiden af vingen ude ved vingetipperne. Herved dannes der randhvirvler, som fra svævefly og andre mindre fly er helt ufarlige, men som kan være voldsomme og særdeles farlige, hvis de kommer fra større fly.



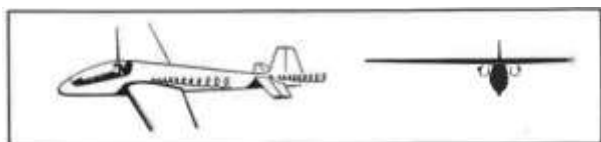
Overtrykket under vingen løber rundt om vingetippen og op på oversiden, hvor det udligner undertrykket. Når svæveflyet bevæger sig fremad, dannes der randhvirvler



Interferensmodstand

Interferensmodstand opstår langs skarpe overgange – f.eks. mellem vingerod og kroppen på et svævefly samt i langsgående samlinger – f.eks. ved cockpitkanten og i samlingen mellem vinge og krop. En omhyggelig afdækning af samlinger med tape vil reducere interferensmodstanden, men den vil ikke helt forsvinde, idet de skarpe overgange mellem vinge og krop og evt. mellem haleplan og halefinne fortsat vil danne lidt modstand.

Moderne svævefly er i dag konstrueret således, at disse skarpe overgange bliver rundet af for at reducere denne type modstand.



Interferensmodstanden opstår i de skarpe overgange mellem krop og vinge og mellem krop og haleplan.

Sammenhæng mellem opdrift og modstand

Størrelsen på opdriften og den dermed forbundne modstand afhænger af flere faktorer:

- ✓ Hastigheden
- ✓ Luftens tæthed (lufttryk) og temperatur
- ✓ Vingearreal og -form
- ✓ Vingeprofilets egenskaber

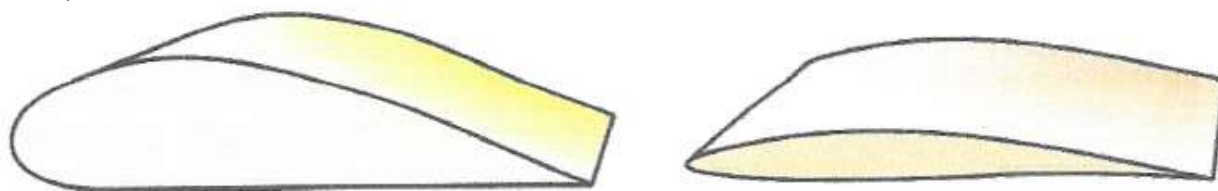
Heraf følger nogle regler om opdrift og modstand:

- a) Opdrift og modstand ændrer sig med kvadratet af hastighedsændringen
- b) Opdrift og modstand ændrer sig lineært med luftens tæthed (lufttryk) og temperatur
- c) Opdrift og modstand ændrer sig lineært med vingearbejdet
- d) Opdrift og modstand ændrer sig i forhold til profilformen

Hvor der er en direkte sammenhæng i a) – c), er der ikke nogen sammenhæng, der kan beregnes for d), men der er alligevel en stor sammenhæng, som vi vil se på i afsnittet om profiltyper.

Profiltyper

Som allerede nævnt ovenfor har formen på profilet stor betydning for både opdrift og modstand. Her er to eksempler:

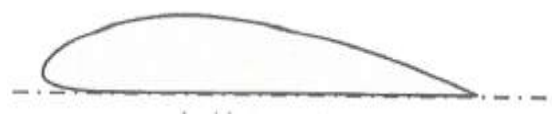


Profilet til venstre er ret tykt og krumt, og et sådant profil giver en god opdrift og gode langsomflyveegenskaber, men profilmodstanden er til gengæld også høj. Profilet til højre er meget tyndere og dermed langt bedre egnet til høje hastigheder. Og modstanden er naturligvis noget mindre end hos det krumme profil. Til gengæld kan et sådan profil være kritisk og have dårlige langsomflyveegenskaber.

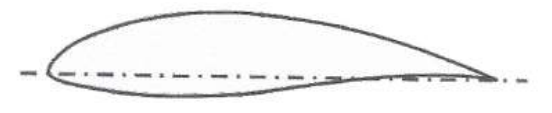
Vi skelner mellem følgende hovedtyper af vingeprofiler:



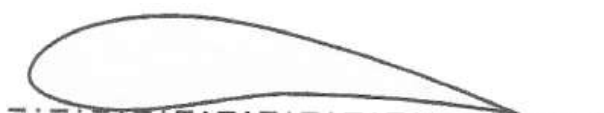
Symmetrisk profil der ikke har noget opdrift, hvis indfaldsvinklen = 0. Krumningen er ens på begge sider, og det symmetriske profil anvendes især til halefinne på et svævefly



Profil med lige underside anvendes til bærende profiler, hvor flyveegenskaberne er harmoniske og ufarlige



Laminarprofilet, som i dag er standard ved bygning af svævefly. Det tykkeste punkt ligger langt tilbage for at flytte omslagspunktet for luftstrømme så langt bagud som muligt



Profiler med hvælvet underside har en god aerodynamik og giver en god opdrift – selv ved en lille indfaldsvinkel, men dette profil har ikke så gode hurtigflyveegenskaber som laminarprofilet.

Kræfter på svæveflyet

Svæveflyet er påvirket af fire kræfter under flyvning:

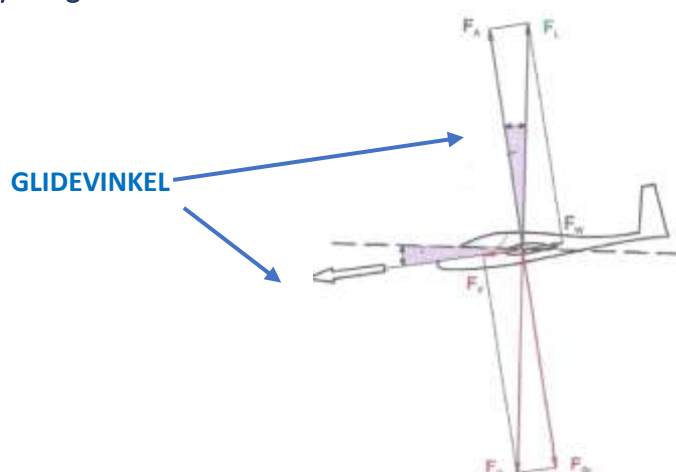
- ✓ Tyngdekraften
- ✓ Opdriften, som modvirker tyngdekraften
- ✓ Modstanden
- ✓ Fremdriften opstår ved at opløse lidt af tyngdekraften

Da et traditionelt svævefly ikke har nogen selvstændig fremdrift, må det bruge lidt af sin tyngdekraft til at komme frem, og dermed befinder svæveflyet sig i et dyk under ligeud flyvning. Vinklen mellem det vandrette plan og svæveflyets bane kaldes for glidevinklen. Jo mindre denne er, jo længere kan flyet flyve. Dette kommer til udtryk svæveflyets hastighedspolar, som bliver behandlet senere og i faget Flyvepræstationer- og planlægning.

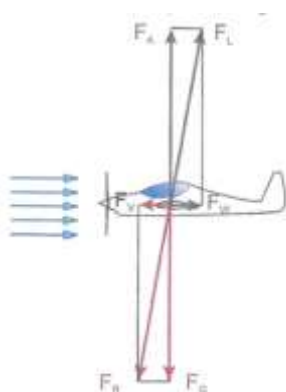
Det teoretiske punkt i profilet, hvor alle luftkræfter fra opdrift og modstand samles, kaldes for profilets trykcenter.

Kræfter under ligeudflyvning

Ved svæveflyvning:



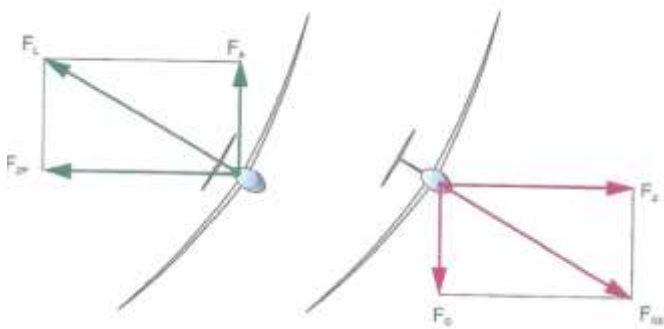
Ved motorflyvning:



Ved motordrevne fly opnås en modsatrettet kraft med propellen i forhold til modstanden, der virker i den modsatte retning, og som har den samme størrelse som modstanden ved konstant højde og hastighed. Dermed kan vingen producere så megen opdrift, at det modsvarer den samlede vægt.

Kræfter under drej

Under det stationære drej er svæveflyet udsat for yderligere en kraft – nemlig centrifugalkraften. Den virker ud ad i det horisontale plan og må ligeledes udlignes med en modsatrettet kraft, som hedder centripetalkraften



Under kurveflyvning skal vingen præstere en opdrift, der svarer til flyets vægt med tillæg af den kraft, der skal til for at dreje flyet.

Jfr. tidligere er det nødvendigt at øge indfaldsvinklen og dermed opdriften for at kunne præstere denne større opdrift. En større indfaldsvinkel bringer vingen tættere på stall, og dermed kan vi konkludere, at stallingshastigheden er højere under drej end under ligeudflyvning.

Trykcentervandring



Når indfaldsvinklen øges rykker trykcentret (opdriftscentret) fremad, medens det rykker bagud, når indfaldsvinklen bliver mindre.

Kurveradius

En kurve kan flyves med en ubegrænset stor radius, men der er til gengæld grænser for, hvor lille en radius en kurve kan flyves med. Hvis kurveradius skal holdes konstant, er der to variabler, som kan bruges:

- Hastigheden
- Krængningen

Vi kan herefter konkludere:

- ✓ Jo højere hastighed, desto større krængning skal der til for at holde samme radius
- ✓ Jo mindre krængning, desto større kurveradius ved samme hastighed
- ✓ Jo snævrere kurven er, desto større skal krængningen være ved samme hastighed.

Planbelastningen:

Ved planbelastning forstås forholdet mellem svæveflyets samlede vægt og planarealet. Hvis flyet f.eks. vejer 470 kg og planarealet er 10 m², er planbelastningen 47 kg/m², og hvis det samme fly kun vejer 350 kg, fordi piloten er lettere, og fordi svæveflyet ikke har vandballast med, vil planbelastningen være 35 kg/m².

Den normale planbelastning for svævefly ligger mellem 30 og 40 kg/m², men planbelastningen kan forøges ved at flyve med vandballast. Resultatet af en sådan vægtforøgelse er, at svæveflyet får sit bedste glidetæl ved en højere hastighed.

G-påvirkninger

Når et svævefly flyver lige ud i en glideflyvning, er det påvirket med en belastning på 1 G – svarende til flyets samlede vægt. Hvis flyet dykker og skal rette op fra et sådan dyk, vil flyet være påvirket af mere end 1 G, måske 2 G, fordi flyets vinger skal kunne både bære flyets vægt og præstere en yderligere opdrift, der får flyet til at rette op igen.



Når svæveflyet flyver ind i kurven – uanset om det er en opretning fra et dyk eller det er under drej – taler vi om positive G. Det betyder, at G-kræfterne virker modsat som flyets flyvebane, og piloten mærker det ved, at han bliver presset ned i sædet.

Hvis flyet flyver den modsatte vej – f.eks. hvis piloten skubber styrepinden frem, mens svæveflyet er under stigning med tilstrækkelig hastighed – vil G-påvirkningerne være rettet den modsatte vej – dvs. ud af kurven, og i det pågældende tilfælde ville piloten mærke, at han er på vej ud af cockpittet, og kun hans seler forhindrer ham i at forlade svæveflyet.

Svævefly kan holde til G-påvirkninger inden for visse grænser, og hvis der er tale om almindelige svævefly i kategorien "Utility", må det trække 5,3 positive G og 2,65 negative G, uden at strukturen derved tager skade.

G-påvirkningen er årsagen til, at stall-hastigheden i drej, under opretning fra dyk og under spilstart er højere end under normal ligeud flyvning, og sammenhængen ses i følgende skema:

Krængning i grader	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
G-påvirkning	1,00	1,02	1,06	1,15	1,31	1,56	2,00	2,92	5,76	∞
Faktor stall-hastighed *	1,00	1,01	1,03	1,07	1,14	1,25	1,42	1,71	2,40	∞
Stall-hastighed km/t	70	71	72	75	80	87	99	120	168	∞

*) Væksten i faktoren for stigningen i stall-hastigheden svarer til kvadratroden af G-påvirkningen

5.2. Svæveflyets design i forhold til præstationer

Et svævefly er konstrueret således, at det så vidt muligt lever op til de krav, som køberen af flyet forventer. Hvis en svæveflyveklub ønsker et to-sædet skolefly til grunduddannelse i klubben, vil den formentlig efterspørge et fly, hvor en elev har nemt ved at lære de grundlæggende principper ved svæveflyvningen, og klubben vil helt sikkert undgå kritiske egenskaber, som kunne bringe en elev – og instruktøren – i en situation, hvor han ikke længere er i stand til at styre flyet, eller hvor han får behov for at bringe flyet ud af flyvetilstand, som hverken han eller instruktøren har ønsket, at flyet skulle komme i.

Hvis en meget rutineret svæveflyver ønsker at købe sit eget fly, som han skal kunne bruge til lange strækflyvninger, og som også kan gøre sig gældende i konkurrencer, som køberen vil deltage i, vil han efterspørge andre egenskaber end dem, som gælder for svæveflyveklubbens skolefly. At et sådant fly så er noget sværere at lande end et skolefly og måske har mere kritiske stall-egenskaber, accepterer køberen, fordi han har den rutine og erfaring, der skal til for at flyve i netop sådan et fly.

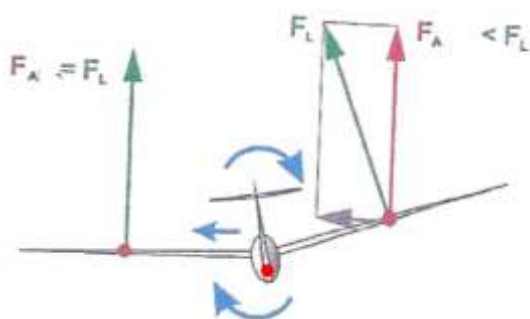
Er den ene så mere rigtigt end den andet? Nej naturligvis ikke, for de opgaver, som de to fly skal kunne håndtere, er vidt forskellige. Derfor vil det evige dilemma være, at man ikke kan få alt i samme fly. Derfor er en ASK-21 ikke det bedste fly i konkurrencer i to-sædet klasse, ligesom en Nimbus 4D slet ikke egner sig til at grunduddanne nye svæveflyvepiloter i.

I dette kompendie beskæftiger vi os med de egenskaber, som er væsentlige for eleven, der skal uddannes til at få et svæveflyvecertifikat.

V-form

Stabilitet omkring længdeaksen (Tværstabilitet eller rullestabilitet) er nødvendig for, at svæveflyet trods turbulens m.v. søger tilbage til ligeud flyvning med vandrette vinger. Det er årsagen til, at langt de fleste svævefly er bygget med en V-form, således vingerne set forfra danner et meget fladt V.

Denne stabilitet efterspørges i alle svævefly – uanset om det er skolefly eller svævefly til konkurrencebrug. Kun svævefly, som er særligt bygget til kunstflyvning, har en opbygning, hvor vingerne ikke har V-form, men går fuldstændig vinkelret ind på flyets krop.



V-formen gør, at højre vinge, der går op i krængningen, laver en mindre opdrift end venstre vinge, der i dette tilfælde ligger vandret. Derfor vil venstre vinge alt andet lige producere en højere opdrift og dermed rette flyet op til højre, så det igen flyver vandret.

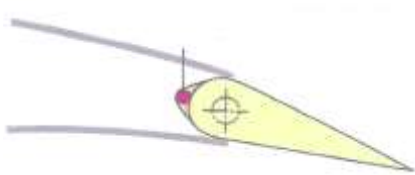
Hvis flyets tyngdepunkt ligger lavere end flyets længdeakse, vil denne placering også medvirke til at flyet rettes op i vandret stilling.

Afbalancering af ror

Afbalancering af rorene – især krængeror og højderor – har to formål:

- ✓ Undgå egensvingninger i rorene (flutter)
- ✓ Lette rortrykket ved betjening af rorene

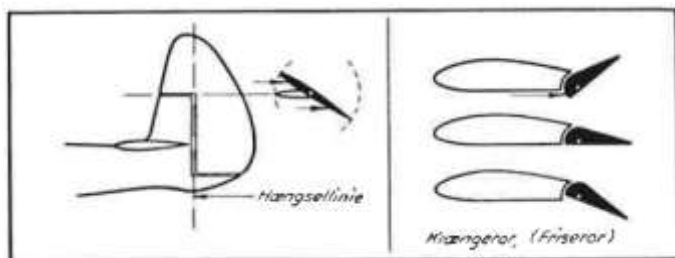
Flutter i krængerorene er en særdeles farlig tilstand, som i værste fald kan få flyet til at bryde sammen i luften. Derfor skal dette for enhver pris undgås. Det sker ved at masseafbalancere krængerorene med blyvægte, så rorene er neutrale omkring den akse, de bevæger sig om.



Masseafbalancering sker ved, at der på forsiden af roret placeres en blystang langs med forkanten på roret. Dermed trækkes tyngdepunktet på roret frem mod den akse, som roret bevæger sig omkring. Alternativet er, at roret konstrueres således, at der er mere gods på forsiden af akse.

Masseafbalancering af krængeror hjælper også med at lette rortrykket ved betjening af roret, men hvis der er behov for en yderligere lettelse ud over masseafbalanceringen, skal der ske en aerodynamisk afbalancering af rorfladerne. Aerodynamisk afbalancering mindsker rortrykket. Det sker ved:

- a) En del af rorfladen sidder på den modsatte side af akse end selve rorfladen
- b) Roret er forskudt således, at det regulerer luftmodstanden ved brug.



På figuren til venstre ser vi et sideror, hvis top slår ud til den modsatte side som siderorets udslag.

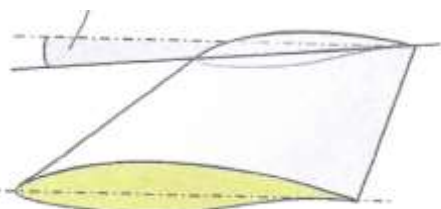
På figuren til højre ser vi en krængeror, som skaber større modstand, når krængeroret går op og dermed tvinger

Vingens vridning

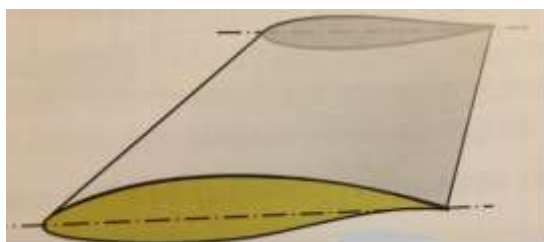
Spørgsmålet om vingens vridning drejer sig om, at vingen – i tilfælde af stall – staller inde fra roden og ud mod vingetippen, så piloten bevarer krængerorsvirkningen så længe som muligt for dermed at kunne styre flyet ud af en stallet tilstand og evt. et begyndende spind.

Vingen kan vrides på to måder:

- ✓ Geometrisk vridning
- ✓ Aerodynamisk vridning



Geometrisk vridning betyder, at indfaldsvinklen i vingetippen er mindre end indfaldsvinklen ved vingeroden. Det vil betyde, at vingen staller sidst i vingetippen, og dermed bevarer piloten styringen af flyet længst muligt.



Aerodynamisk vridning betyder, at vingens profil i vingetippen er mere krum end inde ved vingeroden. Jfr. ovenfor er et krumt profil mindre stall-villigt end et profil, der er tyndt og slankt. Hvis vingen er konstrueret således, at vingeprofilet er mere krumt i vingetippen, vil vingen få samme stall-egenskaber, som hvis vingen havde været geometrisk vredet.

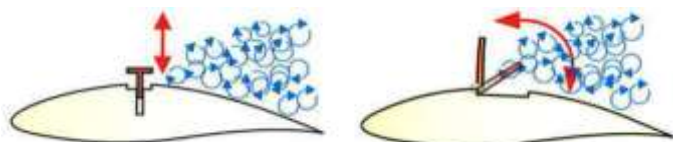


Luftbremser

Luftbremserne har til opgave at reducere vingens opdrift samt skabe modstand. Jo større fladen er, som slås ud i luftstrømme, desto større bliver modstanden og dermed forøges synkehastigheden.

Luftbremser, som slås ud på oversiden af vingen, har den ulempe, at de reducerer den maksimale opdrift. Derved forøges mindsteflyvehastigheden, og landingshastigheden med luftbremser ude skal dermed være større, og landingen skal flyves med en tilstrækkelig fartreserve.

Omvendt har tabet af opdrift med aktiverede luftbremser så den fordel, at svæveflyet kan landes helt præcist, hvor det svæver tæt hen over jorden med noget, der ligner mindste flyvehastighed.



Luftbremser findes i forskellige udformninger. Den mest almindelige slås ud på oversiden vinkelret på vingens overside. Andre luftbremser vippes ud i luftstrømmen – f.eks. på en Rotax-Falke

Flaps

Flaps ændrer vingens indfaldsvinkel og giver en større opdrift, men skaber også større modstand jo længere de kommer ud. Virkningen af flaps er en følge af en ændring af profiletets krumning og den deraf følgende ændring af indfaldsvinklen.



I forbindelse med start sættes flapsene i en stilling, der giver større opdrift men kun en beskedent forøgelse af modstanden. I flyslæb eller under selvstart er en sådan flapsstilling ikke optimal, idet krængerorsvirkningen reduceres ved lavere hastigheder. For at undgå at svæveflyet trækker ud til siden i flyslæb – især ved brug af bundkoblingen – kan flaps sættes i negativ stilling, så krængerorsvirkningen bevares, og når så tilstrækkelig hastighed er nået, ændres flapsene til positiv stilling. Ved spilstart, hvor accelerationen er hurtigere, sættes flaps typisk i stilling "0" for at undgå en kavalerstær.

Under flyvningen kan flaps sættes i positiv stilling, når der er behov for at flyve langsomt – f.eks. under termikflyvning, og kan omvendt sættes i negativ stilling ved høje hastigheder. Når flapsene er i negativ stilling, er der mindst mulig modstand, men langsomflyveegenskaberne er dårlige.



Under landingen sættes flaps i positiv stilling, således at svæveflyet kan flyves ind til landing med en lavere hastighed, og så flyet kan svæves ud ved en relativ lav hastighed.

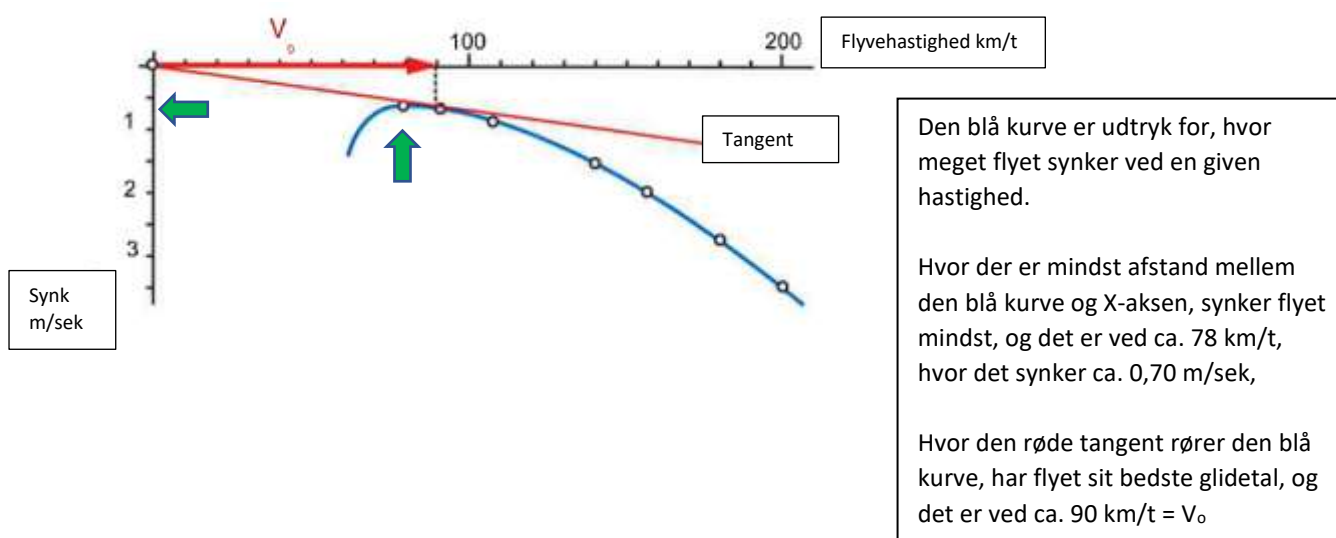
Svæveflyets hastighedspolar

Optimering af brugen af svæveflyet i forskellige luftmasser vil blive nærmere behandlet i faget "Flyvepræstationer og -planlægning", men vi skal også kort ind på flyets hastighedspolar i dette fag – Flyveprincipper – fordi flyets design, profiler og modstand har afgørende betydning for, hvor godt svæveflyet flyver, og dette kommer netop til udtryk i svæveflyets hastighedspolar, som er flyets



synkehastighed som en funktion af flyets vandrette flyvehastighed. Hastighedspolaren er en kurve, som viser hvor meget svæveflyet synker ved en given hastighed, og dermed kan man på kurven se, hvor hastigheden for flyets bedste glidetal ligger.

Både modvind og medvind, stig og synk har indflydelse på, hvor flyets bedste præstationer ligger, og arbejdet med dette vil ske i "Flyvepræstationer og -planlægning", men her vil vi se på hastighedspolaren i sin grundform: Svæveflyets flyvning i rolig luft:



Mindste synk får flyet ved en hastighed på ca. 78 km/t, og det betyder, at flyet skal flyves ved en lav hastighed, når flyet flyver i termik. Dermed får det mest muligt ud af den opstigende luft. En lav hastighed gør også, at kurveradius vil være mindre end ved en højere hastighed, og dermed vil flyet nemmere kunne holde sig inden i kernen af termikken. Den lave hastighed gør til gengæld, at flyet vil være tættere på et stall, så det skal piloten naturligvis også være opmærksom på.

Hvis flyet skal nå så langt som muligt, skal det flyves med sit bedste glidetal, og det får dette fly ved en hastighed på ca. 90 km/t. Her når flyet længst, og det betyder så også, at flyet skal flyves med hastigheden for bedste glidetal, når piloten søger efter termikken. Med det bedste glidetal kan han nå at afsøge det størst mulige område. Glidetallet er udtryk for hvor mange meter flyet kan flyve pr. meter højde det taber.

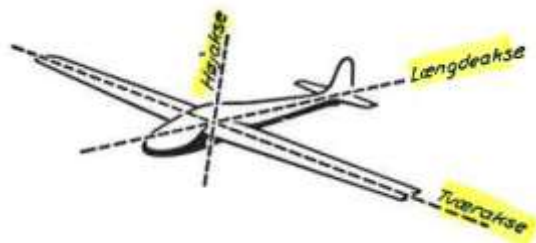
Jo tungere svæveflyet er – desto højere hastighed ligger bedste glidetal ved. Det er årsagen til, at der tankes vand i svæveflyets vandtanke, når vejret er rigtig godt. Til gengæld stiger mindste synk og hastigheden for mindste synk også, og svæveflyet skal dermed flyves hurtigere, når det kurver termik.

Flyets glidetal ændres ikke ved at gøre flyet tungere, men det er alene hastigheden for glidetallet, som bliver bedre.

5.3. Stabilitet

Stabilitet omkring tværaksen (længdestabilitet)

Svæveflyet bevæger sig omkring tre akser, og disse tre akser mødes i flyets tyngdepunkt:

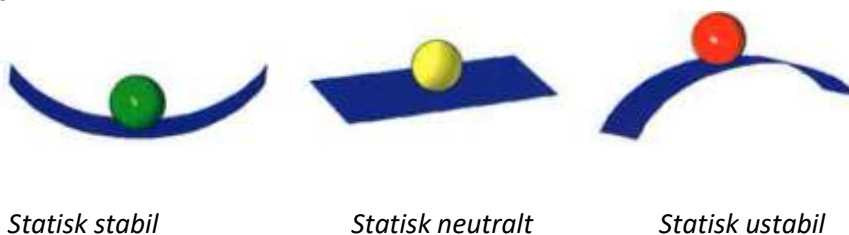


Tværakse:	Længdestabilitet
Højakse:	Kurstabilitet
Længdeakse:	Tværstabilitet

Svæveflyets længdestabilitet er et udtryk for dets evne til at vende tilbage til den oprindelige stilling, efter at det har været udsat for en påvirkning. Længdestabiliteten er den vigtigste af flyets stabiliteter.

Et svævefly skal have en vis grad af egenstabilitet, og det skal kunne styres omkring de tre akser ved alle hastigheder, som flyet må flyves med. Generelt skelner vi mellem statisk stabilitet og dynamisk stabilitet. Et svævefly SKAL være statisk stabilt – dvs. have evnen til selv at finde tilbage til udgangspunktet, men flyet må dog ikke være så stabilt, at det er svært at styre.

Statisk stabilitet



Et legeme er i ligevægt, når det er i ro eller bevæger sig med en konstant hastighed. Af figuren fremgår det, at den grønne kugle vil søge tilbage til bunden af kurven, hvis den bringes i bevægelse. Til gengæld vil den gule kugle også falde til ro efter at være sat i bevægelse, men det bliver et andet sted, end hvor den lå. Den røde kugle ligger på toppen af en bue, og sættes den i bevægelse, vil den accelerere og løbe væk – i princippet uendeligt.

Dynamisk stabilitet



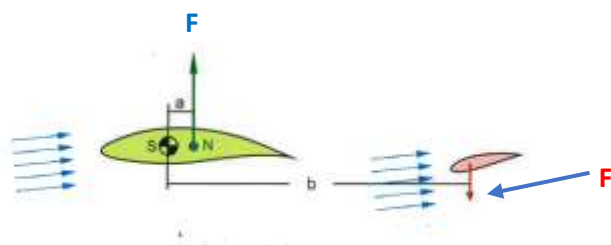
Figuren herover viser et svævefly, der både er statisk stabilt (forsøger at vende tilbage til udgangspunktet) **OG** dynamisk stabilt, fordi flyets udsving reduceres for helt at forsvinde. Hvis udsvingene for at søge tilbage fortsætter med samme udsving, kaldes flyet dynamisk neutralt

Figuren herunder er et eksempel på, at svæveflyet er statisk stabilt, men dynamisk ustabil. Svæveflyet søger at vende tilbage til udgangspunktet, men bevægelserne bliver større og større.



Ved ændringer i indfaldsvinklen ændrer størrelsen af luftkræfterne sig, og samtidig flytter det punkt sig, hvor opdriftskræfterne på vingen samles. Dette punkt kaldes for opdriftscentret. Med disse ændringer ændrer drejningsmomentet omkring tyngdepunktet sig også, og dermed får haleplanet en rolle i at holde flyet stabilt.

Når opdriftskræfterne samles bag tyngdepunktet, vil flyet dykke, og dermed skal haleplanet producere en negativ opdrift, så det udligner drejningen omkring vingen, men opdriftscentret skal ligge bag svæveflyets tyngdepunkt for at sikre stabilitet. Opdriftscentret bevæger sig bagud, når indfaldsvinklen bliver mindre og hastigheden højere, og fremad når indfaldsvinklen øges, og hastigheden falder.



$$(F_{\text{vinge}} * a) + (F_{\text{haleplan}} * b) = 0$$

.. og hermed skabes længdestabiliteten

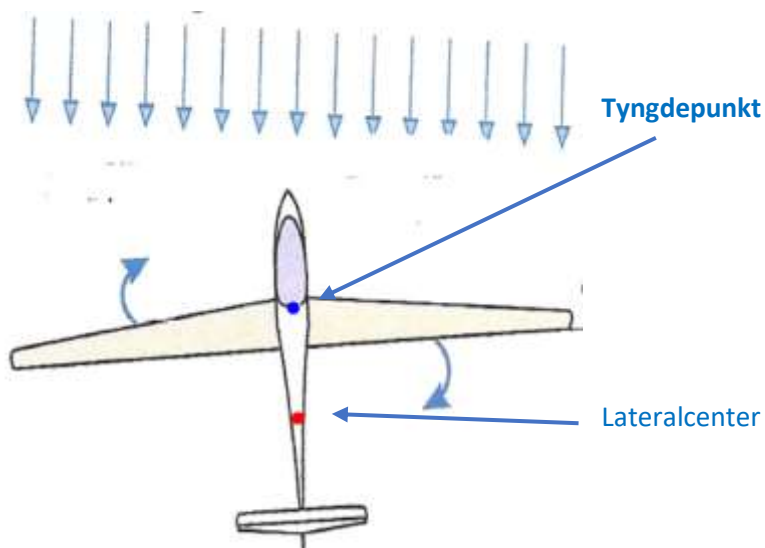
Placeringen af tyngdepunktet er forskellig afhængig af flyets totalvægt – herunder især vægten i førersædet. Jo tungere piloten er, desto længere fremme ligger tyngdepunktet, og omvendt vil en let pilot føre til et tyngdepunkt, der ligger langt bagude.

Tyngdepunktet må flytte sig så meget, som flyets håndbog tillader, og det er baggrunden for, at der altid er givet en mindstevægt for vægten i førersædet, ligesom der også altid er en maksimal vægt for, hvor meget piloten i førersædet må veje. Et svævefly stiger bedre i termikken, når tyngdepunktet rykker bagud, men det må aldrig komme bag den tilladte position, og flyet bliver alt andet lige mere ustabil – især under langsomflyvning. Moderne svævefly kan afbalanceres ud med vand i haletanken eller med vægklodser i halen for at give det bedre stigeegenskaber i termikken, men det kan som nævnt gå ud over stabiliteten

Tyngdepunktet på aldrig kunne rykke så langt bagud, at haleplanet får en større indfaldsvinkel end bæreplanet. Det ville i værste fald betyde, at haleplanet ville stalle under udfladning uden at bæreplanet var stallet. Og på den anden side må tyngdepunktet aldrig ligge så langt fremme, at svæveflyet ikke kan flades ud i landingen. Hertil kommer at svæveflyets maksimale vægt incl. piloten aldrig må overskrides, da det kan medføre strukturelle skader på flyet og i værste fald sammenbrud.

Stabilitet omkring højaksen (kursstabilitet)

Hvis svæveflyet drejes omkring højaksen vil flyets næse pege i en anden retning end den, som flyet bevæger sig. Kuglen vil stå ude til den ene side, og uldsnoeren på førerskærmen til den modsatte side. I denne situation vil flyet selv forsøge at komme ind på plads igen, fordi de kræfter, der virker sideværts på flyet, vil forsøge at dreje det på plads igen. Det vil det, fordi flyets halefinne med sideror udgør en stor flade, der vil trække de sideværts kræfter bagud, så lateralcenteret (de sideværtskræfters samlede angrebepunkt) ligger bag ved tyngdepunktet.



I figuren har vi to elementer, som har indvirkning på kurstabiliteten

Lateralcenter bag tyngdepunkt:

Svæveflyets bagkrop trækkes ind vha. halefinnen, som trækker lateralcenteret bagud

Let pilform på vingerne:

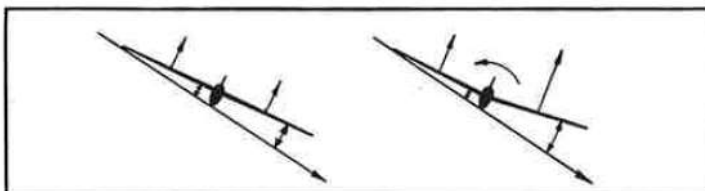
Vingen, der er længst fremme i luftstrømmen, får luftstrømmen direkte ind og får dermed en højere opdrift.

Stabilitet omkring længdeaksen (Tværstabilitet)

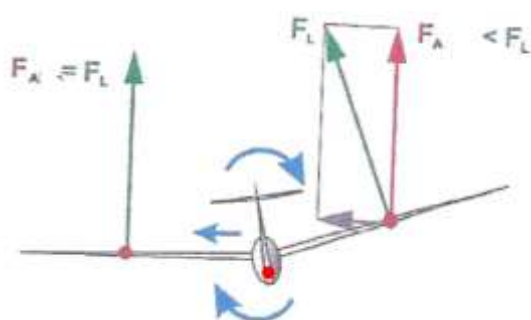
Tværstabiliteten kaldes også for rullestabiliteten, og begreberne dækker over flyets tendens til at vende tilbage til vandret flyvning, efter at den ene vinge har løftet sig. Vingernes V-form er den helt afgørende årsag til, at flyet selv søger tilbage til en vandret flyvestilling, og det skyldes to forhold:

Hvis flyet skrider sidelæns ind mod vandret stilling, får inderste vinge en større sideværts indfaldsvinkel og dermed større opdrift end den modsatte vinge

Den vandrette vinge i V-formen har større reel opdrift end den vinge, der peger op som følge af V-formen.



Når flyet skrider sidelæns, vil den vinge, der vender indad, have en større sideværts indfaldsvinkel og dermed skabe en større opdrift end den anden vinge. Dermed tvinges flyet på plads i vandret stilling



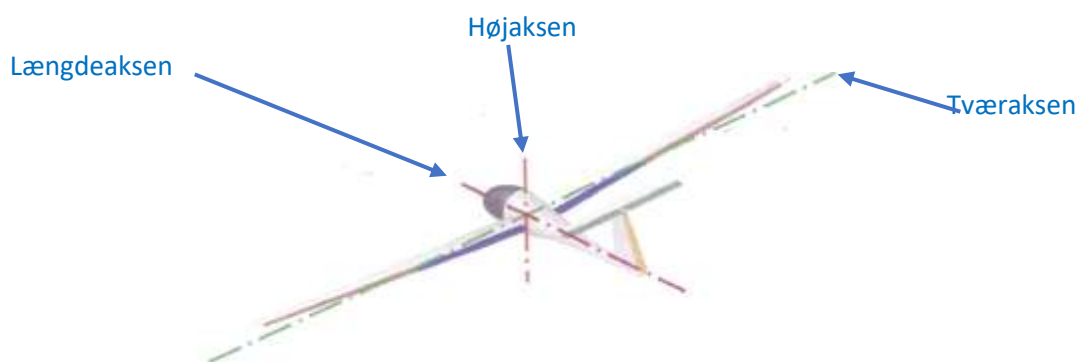
Opdriften virker vinkelret opad på vingen. Dermed vil den vinge, der har en skrå stilling som følge af V-formen, reelt få en lavere reel opdrift end den modsatte vinge, der på denne figur er vandret. Dermed vil den vandrette vinge tvinge flyet op i vandret flyvestilling

5.4. Styring af svæveflyet

Ror og akser

Svæveflyet bevæger sig i det tredimensionale rum og bevæger sig omkring tre akser med de tilhørende ror. De tre akser går alle gennem flyets tyngdepunkt.

Akse	Tilsvarende ror	Bevægelse
Højaksen	Sideror	Drejning
Længdeaksen	Krængeror	Krængning (rulning)
Tværsaksen	Højderor	Ændring af næsestilling (pitch)



Rorenes virkning

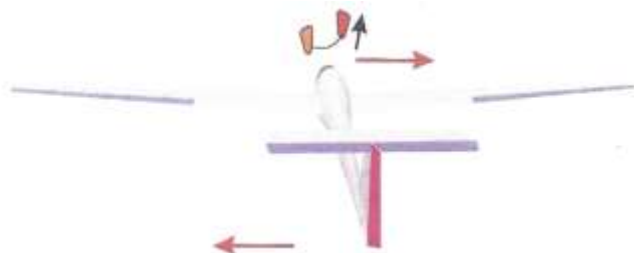
Ethvert rorudslag medfører en profilændring og dermed en ændring af luftstrømmene. Der vil således opstå områder med overtryk og undertryk på samme måde, som når opdriften opstår.

Højderorets virkning



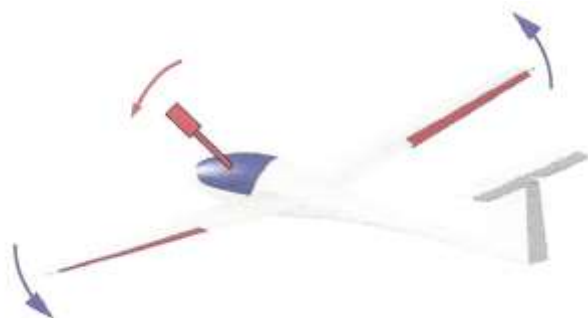
Trækker man i styrepinden, vil højderoret bevæge sig opad og danner et krumt profil. Luftens strømning drejes opad, og der skabes undertryk på undersiden. Dermed trykkes bagkroppen nedad, og flyet drejer sig omkring tværsaksen. Dermed løftes flyets næse, og indfaldsvinklen øges, og opdriften stiger. Flyet vil stige, så længe det har tilstrækkelige fart.

Siderorets virkning



Hvis der gives højre ben, slår sideroret ud til højre, og trykkræfterne i halen trykker halen mod venstre. Flyet drejer omkring højaksen, og næsen drejer mod højre. På denne måde skubbes flyet lidt sidelæns i flyveretningen, men begynder derefter at krænge omkring længdeaksen, fordi den vinge, der drejes længst frem, giver mere opdrift end den anden vinge.

Krængerorets virkning



Hvis styrepinden føres til venstre, drejer det højre krængeror nedad, og det venstre drejer opad. På den måde øges opdriften på den højre vinge, og den reduceres tilsvarende på den venstre vinge. Flyet krænger omkring længdeaksen til venstre.

Den – uønskede – sekundære virkning er, at flyet begynder at dreje til højre, fordi det nedadgående krængeror skaber større modstand end det opadgående, der kommer til at ligge i skygge af det krumme profil.

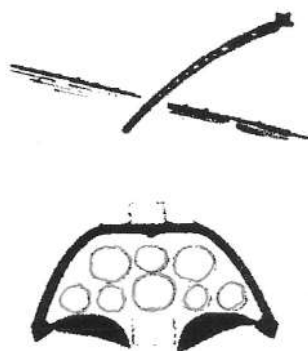
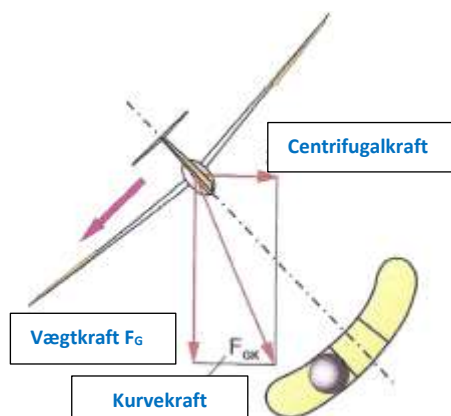
Brugen af svæveflyets ror

Flyets ror skal sjældent bruges alene – der er næsten altid tale om en kombination af rørene. Et koordineret drej udføres ved at give både krængeror og sideror ind i drejet, og når den ønskede krængning er nået, neutraliseres krængeroret, og siderorsudslaget reduceres. Samtidig skal piloten måske trække lidt i styrepinden, fordi flyet stilling i luften har gjort, at højderoret nu får lidt siderorsvirkning, og sideroret lidt højderorsvirkning.

Flyet skal flyves ”rent” hvilket vil sige, at det skal flyve lige gennem luftstrømmen – også under et drej, da modstanden så bliver så lille som muligt. Om flyet flyves rent, kan ses på kuglelibellen eller på svæveflyets uldsnor. Som huskeregel kan vi bruge:

”Vi skal sparke til kuglen”

”Vi giver sideror til den side, vi vil have snoren til”



Flyet i figurerne til højre skrider ind i drejet til venstre, og kuglen hænger ind i drejet, mens uldsnoren slår ud til højre.

Hvis piloten giver lidt sideror til venstre, vil både kugle og uldsnor komme ind på plads.

Flutter

Teorien bag begrebet ”flutter” (egensvingninger) er meget kompliceret og skal ikke gennemgås her, men flutter er meget farlig og skal derfor undgås. Flutter kan opstå både som svingninger op og ned i bæreplanerne, og her er der en tendens til, at de forstærkes, når først de er kommet i gang. Ud over de lodrette bevægelser kan der også komme vridninger i vingerne, og kræfterne kan være så voldsomme, at de river svæveflyet fra hinanden.

Et svævefly er dog konstrueret således, at flutter ikke kan opstå, hvis hastighederne holdes indenfor flyets tilladte grænser – især max. hastighed – V_{ne} . Der kan dog være forhold som gør, at flutter kan opstå på et tidligere tidspunkt. Her er nogle eksempler:



- ✓ Svagheder i strukturen (skjulte skader og dårlige reparationer)
- ✓ Slid eller slør i styresystemerne
- ✓ Ændringer i rorenes afbalancering efter spartling og lakering
- ✓ Flyvning i stor højde

Hvis flyet nærmer sig grænsen for flutter, skal der kun små rorbevægelser eller lidt turbulens til for at sætte det i gang. Omvendt opstår der ikke nødvendigvis flutter, hvis hastigheden overskrides i helt rolig luft. Hvis der opstår flutter, er der kun ét at gøre: **Reducér hastigheden!**

PIO (Pilot Induced Oscillations)

PIO er udtryk for bevægelser omkring flyets tværsakse, som opstår som følge af pilotens brug af højderoret. Hvis piloten f.eks. konstaterer, at flyets næse peger for meget nedad, og han herefter korrigerer ved at trække i styrepinden for at normalisere flyets stilling i luften. Hvis han i denne situation oplever, at han har korrigeret for meget og skubber styrepinden frem igen, kan der opstå PIO, hvis piloten kommer i modfase med flyets bevægelser.

Jo mindre rortryk, der er på højderoret, jo sværere har PIO ved at opstå, men hvis de opstår, kan piloten gøre to ting:

- ✓ Fastholde roret indtil flyet falder til ro
- ✓ Slippe styrepinden og lade flyets egenstabilitet løse svingningerne.

5.5. Begrænsninger i vægt og manøvrer

Et svævefly er underkastet en række grænser for vægte og hastigheder, om operation af flyet skal holdes indenfor. De fleste af disse begrænsninger kan læses i flyets håndbog (FHB), men nogle af begrænsningerne kommer også ud fra, hvad det enkelte fly vejer, og derfor kræver vurdering af sådanne begrænsninger indsigt i flyets aktuelle vægt og evt. andre begrænsninger.

Vægtbegrænsninger

Vi skal i dette afsnit se på en række af de begrænsninger, der ligger i vægten og belastningen af det enkelte svævefly, og hvorfor disse begrænsninger altid skal overholdes. For alle svævefly findes der i flyets håndbog en oversigt vægtbegrænsningerne, og her er et eksempel:

	Kg
Minimum vægt i førersædet (Pilot og faldskærm)	70
Maksimum vægt i førersædet (Pilot og faldskærm)	110
Maksimal vandballast	120
Maksimal flyvevægt med vandballast	460
Maksimal flyvevægt uden vandballast	370
Tomvægt (ved seneste vejning)	260
Maksimal last i bagagerummet	15

Max. vægt i førersædet og min. vægt i førersædet skal fremgå af et skilt i cockpittet og bør være en fast del af cockpitcheck inden start. Hvis f.eks. min. vægt ikke er overholdt, kan flyet jfr. senere få farlige flyveegenskaber.

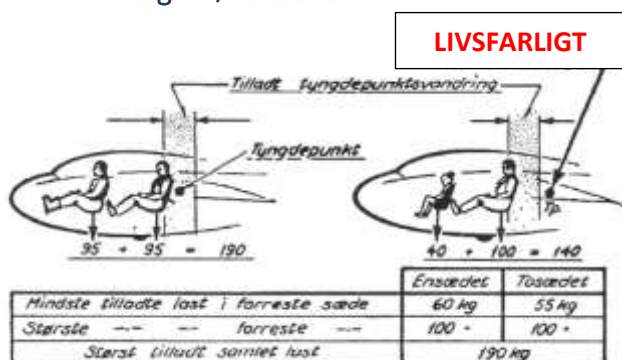
Svæveflyets maksimale vægt

Flyets maksimale vægt må ikke overskrides af to årsager:

- ✓ Tyngdepunktet kommer til at ligge så langt fremme, at flyet ikke flades ud eller får dårlige kurveegenskaber
- ✓ Konstruktionen overbelastes med skader eller brud til følge

Hvis flyet har tanke til vandballast, ligger disse i vingerne og tæller ikke med i vægten af ikke-bærende dele. Derfor vil der typisk være to forskellige max. flyvevægte – en uden vandballast og en med vandballast

Minimumvægt i førersædet



Minimum vægt i førersædet skal overholdes, idet tyngdepunktet ellers vil ligge bag det tilladte område for tyngdepunktets placering under flyvning. Hvis min. vægt ikke er overholdt, kan flyet i yderste konsekvens være umuligt at rette ud af et spind. Hvis piloten incl. faldskærm er vejer mindre end min. vægt i førersædet, skal den manglende vægt kompenseres ved yderligere ballast i førersædet. Det kan være en blybly, som piloten sidder på eller blyklodser, som kan monteres i flyet.

I nogle to-sædede fly, hvor også bagsædet er placeret foran tyngdepunktet, kan mindstevægten i forsædet reduceres med en %-sats af den vægt, der er i bagsædet. Det skal fremgå af flyets håndbog, hvis en sådan reduktion er mulig



Hvis minimum vægten i forsædet på en DG1000 er 82 kg, og 40% af vægten i bagsædet må indregnes i denne, vil tyngdepunktet ligge indenfor de tilladte grænser, hvis piloten i forsædet vejer over 50 kg, når piloten i bagsædet vejer 80 kg.

$$82 \text{ kg} - (80 \text{ kg} * 0,4) = 50 \text{ kg}$$

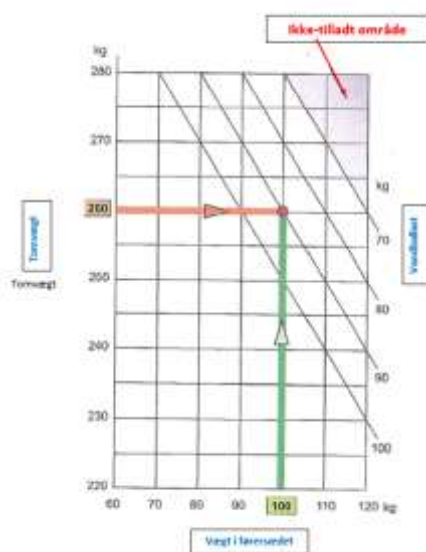
Maksimumvægt i førersædet

Selv om svæveflyets maksimale vægt evt. ikke overskrides, når det flyves af en tung pilot, må max. vægt i førersædet ikke overskrides. I et sådant tilfælde vil tyngdepunktet komme til at ligge foran det tilladte område, som tyngdepunktet skal ligge indenfor.

Med henvisning til afsnittet om længdestabilitet vil bæreplanerne skulle producere så meget opdrift, at haleplanets kompensation for længdestabilitet bliver sådan, at haleplanet ender med at have en så negativ indfaldsvinkel, at det ikke længere er i stand til at give den ekstra kraft, der skal til for at flade flyet ud under landing. Nogle svævefly kan forsynes med ballast i halen for at trække tyngdepunktet længere bagud, men sådan at tyngdepunktet fortsat ligger inden for det tilladte område. Denne ballast kan være en vandtank i halen eller ballastklodser, som kan lægges ind i et særligt rum.

Ballast i halen **MÅ IKKE BRUGES TIL AT KOMPENSERE FOR EN FOR HØJ VÆGT I FØRERSÆDET.**

Maksimal vandballast



Ved beregning af hvor meget vand flyet må have med, skal der tages hensyn til både flyets tomvægt, vægten i førersædet og naturligvis flyets maksimale vægt.

I figuren til højre er flyets tomvægt sat til 260 kg jfr. seneste vejning af flyet. Piloten vejer 100 kg incl. faldskærm mv., og herefter viser figuren, at flyet maksimalt må have 90 liter vand med for at holde den samlede vægt indenfor flyets max. vægt.

Hvis piloten vejede de 110 kg som var som max. vægt i ovenstående skema, må flyet kun tankes med 80 liter vand, og bliver flyet 10 kg tungere efter en reparation eller omlakering, må det ikke længere have vandballast, hvis piloten vejer de maksimale 110 kg.

Maksimal bagagevægt i flyet

Når der er en særlig vægtbegrænsning for vægten på bagagehylden eller i bagagerummet, skyldes det at dette, at bagagen er placeret længere bagude end piloten i forhold til tyngdepunktets placering, og dermed kan bagagemængden være med til at trække tyngdepunktet bag ved det tilladte område for dette. Problemet er størst i motorsvævefly, hvor bagagehylden ofte ligger bag tyngdepunktet, mens piloten sidder foran tyngdepunktet. Det klassiske eksempel er piloten, hvis vægt er tæt på min. vægten i førersædet, flyver solo i TMG på en lang tur og har godt med bagage med, som placeres oppe på bagagehylden bag sæderne, medens højre sæde bruges til arbejdsplads for kort, driftsflyveplan, flyvepladsguide osv.

I eksemplet ovenfor er den maksimale bagagevægt sat til 15 kg samtidig med, at min. vægt i førersædet er 70 kg. Hvis begge disse størrelser overholdes, vil tyngdepunktet ligge indenfor det tilladte område.

Mulig brændstofmængde

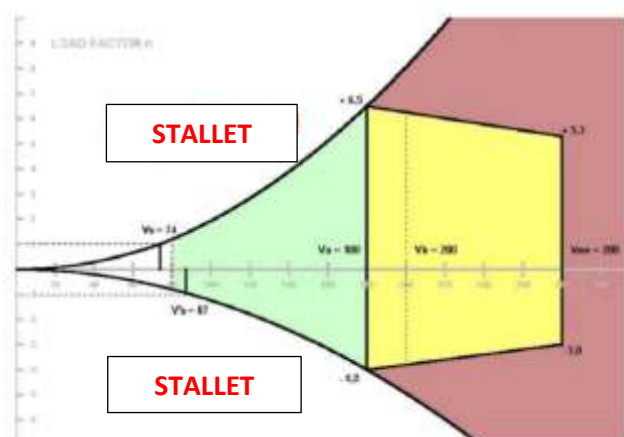
Betydningen af brændstofmængden har også størst betydning i TMG, idet både SLG (Selvstartende svævefly) og SSG (Turbomotorsvævefly) normalt har så lidt brændstof med, at det sjældent er kritisk for tyngdepunktet, men kan naturligvis have en betydning for, om den maksimale flyvevægt er nået.

Noget andet er tilfældet i en TMG, og her er det også mere en overskridelse af den maksimale flyvevægt, som kan være et problem. F.eks. kan en Rotax-Falke have 55 liter benzin med i tanken, som ligger lige over tyngdepunktet. 55 liter benzin vejer ca. 40 kg. Flyets max. vægt er 650 kg og seneste vejning viste en tomvægt på 468 kg. Altså er der 182 kg at gøre godt med. Derfor vil en flyvning med to ombord på hver 80 kg og en fuld tank medføre en overvægt på 18 kg. (182 kg – 160 kg – 40 kg = - 18 kg).

En overskridelse af flyets maksimale vægt giver risiko for overbelastning af strukturen i flyet, men skulle der ske et uheld, og forsikringsselskabet kan påvise, at flyets totalvægt har været overskredet ved starten af flyvningen, er der risiko for, at kaskoforsikringen ikke vil dække.

Hastighedsbegrænsninger og begrænsninger i G-påvirkning

Ethvert svævefly skal holde sig indenfor nogle angivne hastigheder, og det skal også holde sig indenfor nogle begrænsninger i belastningen – kaldet G-påvirkningen, og hastighed og belastning hænger nøje sammen.



Belastningsdiagram for en ASK-21

<u>Hvidt område:</u>	STALL
<u>Grønt område:</u>	Normal område
<u>Gult område:</u>	Begrænset område
<u>Rødt område:</u>	Forbudt område

Belastningsdiagrammet sætter G-påvirkningerne i forhold til hastigheden. Området over linjen med hastigheder er positive G-påvirkninger, mens området under er negative G-påvirkninger

Vs – 74 km/t

Stallhastighed ved påvirkning 1 G

V's – 87 km/t

Stallhastighed ved påvirkning -1 G (rygflyvning)

Va – 180 km/t

Maksimale rorudslag forudsat max. belastning + 6,5 G / - 4,0 G

Vb – 200 km/t

Max. hastighed i urolig luft = 15 m/sek vertikal bevægelse – f.eks. i en rotor.

Vne – 280 km/t

Flyets maksimale hastighed forudsat max. belastning + 5,3 G / - 3,0 G.

I **det grønne område** må flyet flyves med fulde rorudslag. I **det gule område** må flyet flyves med 1/3-del rorudslag, og i **det røde område** må flyet ikke befinde sig. I det hvide område kan flyet ikke flyve, idet det er stallet.

Under en spilstart vil svæveflyet have en højere stallhastighed end under ligeudflyvning. Det skyldes, at flyet både skal flyve og stige, og det øger G-påvirkningen jfr. belastningsdiagrammet ovenfor.



Vindbegrænsninger

I flyets håndbog er normalt altid angivet en **max. demonstreret sidevind**, som flyets kan flyves i. Det kan typisk være 25 km/t svarende til 13 kts sidevind. Det betyder, at fabrikanten under prøveflyvningerne har konstateret, at det er sikkert at lande flyet i en direkte sidevind på 13 kts. Det betyder ikke, at flyet ikke kan landes, hvis sidevinden er stærkere, men i en sådan situation kommer pilotens erfaring og rutine ind som et væsentligt element i håndteringen af landingen.

Flyets sidevindskomponent skal derfor være retningsgivende for, hvornår piloten med en gennemsnitlig erfaring og rutine – herunder en elev - skal stoppe med at flyve. Også her kan det være et element, hvis der sker havari. Vindforholdene i forbindelse med et havari undersøges altid, og det vil også indgå i forsikringsselskabets vurdering af udbetaling af erstatning.

Begrænsninger i tilladte manøvrer

Ovenstående belastningsdiagram for en ASK-21 er udtryk for den kategori af svævefly, som kaldes "Utility" og som refererer til byggeforskriften for svævefly, der hedder CS22. Denne kategori må netop trække +5,3 G og -2,65 G ved Va, medens den næste kategori "Aerobatic" må trække +7,0 G og -5,0 G over hele hastighedsområdet op til Vne. ASK-21'eren må dog trække lidt flere negative G end "Utility" – nemlig -3 G mod -2,65 G for Utility.

Selv om et svævefly ligger i kategorien "Utility" må det godt lave kunstflyvning eller visse manøvrer indenfor kunstflyvningen, men fabrikanten skal have demonstreret, hvilke manøvrer flyet må lave, og det skal fremgå af flyets håndbog. Netop af håndbogen for en ASK-21 fremgår det, hvilke manøvrer flyet er tilladt til, og hvilke hastigheder de skal flyves med, men der fremgår også, hvad flyet ikke må lave:

- ✓ Udvendigt loop
- ✓ Haleglidninger
- ✓ Revne manøvre

Styrtspiral

En styrtspiral er et drej med meget høj hastighed og stor krængning. Normal vil man trække styrepinden for at reducere farten, men under en styrtspiral vil et træk i styrepinden medføre en mindre kurveradius og en højere G-påvirkning. Udretning fra en styrtspiral skal derfor ske, ved at man først reducerer krængningen vha. krængerorene og først derefter reducere hastigheden med et forsigtigt træk i styrepinden. Der er meget store påvirkninger på flyet under en styrtspiral.

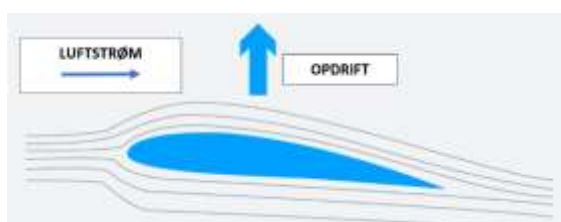
5.6. Stall og spind

Sammenhængen mellem indfaldsvinkel og stall

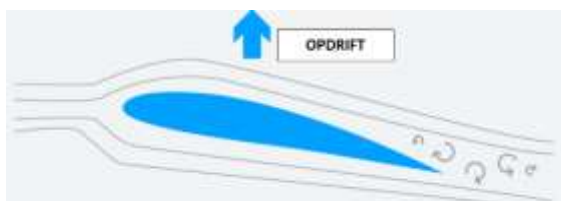
I belastningsdiagrammet for en ASK-21 så vi, at stallingshastigheden under ligeudflyvning var 74 km/t, og dermed kunne man få den opfattelse, at stallinghastigheden altid er 74 km/t for en ASK-21, men her er forudsætningen, at belastningen på flyet er 1 G. Men under opretning fra et dyk, under et drej og i en spilstart er belastningen mere end 1 G, fordi flyets bæreplaner – udover at bære flyet – skal kunne trække flyet ind i en anden flyvebane. Det kan flyets vinger kun gøre, hvis indfaldsvinklen øges. For når indfaldsvinklen øges, stige opdriften, og det er opdriften, der skal ændre flyets flyvebane.

Når indfaldsvinklen øges, stiger opdriften, men det samme gør modstanden, og når modstanden bliver for stor, staller vingen, fordi luftstrømmen ikke længere kan følge profilet på vingen, men slår fra og separerer fra vingens overflade. Strømningen går fra at være laminar til at være turbulent. Vi kan derfor konkludere:

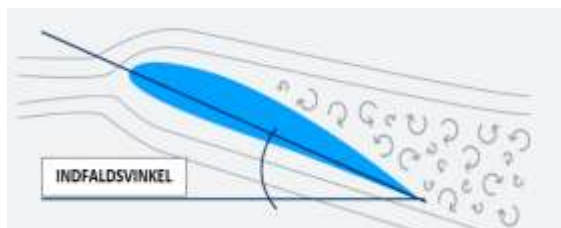
Et stall opstår ikke ved samme hastighed, men altid ved samme indfaldsvinkel.



Her ser vi den normale strømning omkring en vinge, hvor luftens hastighed er højere på oversiden af vingen end på undersiden og dermed skaber et undertryk på oversiden og dermed opdrift



Når indfaldsvinklen stiger, begynder luftstrømmen på oversiden af vingen at slå fra og bliver turbulent. Opdriften øges i takt med forøgelsen af indfaldsvinklen, men det samme gør modstanden, som også stiger



Når indfaldsvinklen bliver for stor, slår luftstrømmen helt fra, og vingen staller. Når vingen staller, er der ingen luftstrøm på oversiden af vingen, som kan danne opdrift. Dermed kan vingen ikke bære noget mere. Kun hvis indfaldsvinklen reduceres, kan vingen genoprette evnen til at give opdrift

Vingens stallegenskaber

En vinge siges at have gode stallegenskaber, hvis vingen staller inde fra vingeroden og ud mod vingetippen. Denne egenskab gør, at piloten bevarer styring på krængeror så længe som muligt, og det vil være afgørende, hvis flyet befinder sig på grænsen til et stall.

De gode stallegenskaber opnås ved at vride vingen en smule, så vingen har en mindre indfaldsvinkel ved vingetippen end ved vingeroden. Vridningen kan enten ske som en geometrisk vridning, hvor vingen rent faktisk vrides, eller en aerodynamisk vridning, hvor vingens profil i vingetippen er mere krum end ved vingeroden. Se side 13.

Highspeedstall og stall under spilstart

Det hvide område i belastningsdiagrammet for ASK-21 ovenfor er især interessant under spilstart, idet en for stor G-påvirkning ved en for lav hastighed vil medføre et stall. Det kan være skæbnesvangert – især i lav

højde. Derfor skal minimumshastigheden i spilstart overholdes og være kendt af piloter, som flyver det pågældende fly. Kavalerstarter må ikke finde sted.

Den maksimale hastighed i spilstart må naturligvis heller ikke overskrides, idet flyet i dette område kan blive overbelastet.

Ikke kun en for stor G-påvirkning i spilstart er interessant. Det er en for stor G-påvirkning i drej og under opretning fra dyk også. Især G-påvirkningen under drej er interessant. Termikbobler er ofte mest snævre i lav højde, og derfor vil det være nødvendigt med en større krængning for at holde sig i boblen. Kombinationen af høj krængning og lav højde er farlig. Den lave højde medfører, at der ikke er ret megen højde til rådighed til en udretning, hvis flyet skulle gå i spind, og derfor er det afgørende at vide, hvor meget hurtigere man skal flyve i et sådant drej.

Om nu piloten er nødt til at kurve med 45 graders krængning eller 60 graders krængning, så skal han være bekendt med krængningens betydning for stillingshastigheden i en drej, og vi kigger lige igen på tabellen fra afsnit 5.1. **Aerodynamik – Indfaldsvinklens betydning for opdriften:**

Krængning i grader	0	25	35	45	55	60	70
Ekstra hastighed i %	0	5	10	20	30	40	70
ift. 80 km/t	80	84	88	95	105	114	137

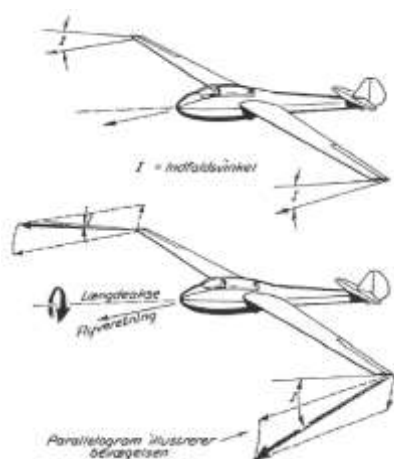
Piloten skal således flyve betydeligt hurtigere i drej med stor krængning for at sikre, at flyet ikke staller.

Asymmetrisk stall og begyndende spind

Når vi taler om stall med eller uden G-påvirkning går vi ud fra, at alt andet er lige. Men alt andet er IKKE lige, og når flyet når stillingsgrænsen, er det ikke lige meget, om vingerne er vandrette eller under drej og dermed ikke-vandrette vinger.

Når stallet opstår, mens vingerne ikke er vandrette, vil den reelle indfaldsvinkel være forskellig på den vinge, der bevæger sig ned ad i forhold til den vinge, der bevæger sig op ad. Denne ubalance forstærkes ved, at den inderste vinge staller før den yderste vinge, fordi den inderste vinge flyver langsommere end den yderste.

Hvis den inderste vinge viser tendenser til at stalle, vil den umiddelbare reaktion fra piloten være at krænge til den modsatte side, men det vil bare forstærke tendensen til at stalle, idet krængerorsudslaget på den inderste vinge i så fald vil bevæge sig ned ad, og dermed vil indfaldsvinklen på den inderste vinge blive endnu større og dermed forstærke stallet.



Proceduren for at komme ud af et sådant begyndende stall er:

- ✓ Modsat sideror
- ✓ Pinden lidt frem
- ✓ Ret ud når flyvefart er opnået og krængerorene igen virker

Nogle ville mene, at det er tilstrækkeligt at følge flyet ind i stallretningen for på denne måde at få flyvefart på igen. I de fleste situationer ville det også bringe flyet ud af den stallede tilstand, men det ville tage mere højde end standard-proceduren.

Brug derfor standard proceduren, da denne også virker, hvis stallet udvikler sig til et egentligt spind.



Spind

Hvis det begyndende spind får lov til at udvikle sig til et egentligt spind, vil flyet befinde sig i en tilstand, hvor den inderste vinge vil have en større indfaldsvinkel end den yderste vinge, og dermed vil flyet forblive i en stabil tilstand, som det ikke kommer ud af uden en aktiv indsats fra pilotens side. I så fald er standard proceduren også den, som skal anvendes:

- ✓ **Modsat sideror – så rotationen ophører, og den inderste vinge skubbes frem og får opdrift**
- ✓ **Kort pause**
- ✓ **Pinden lidt frem – så flyet komme ud af den stallede tilstand**
- ✓ **Ret ud – når der igen er flyvefart og vingerne kan rettes op med krængeroret**

Under spindet er flyet stallet og ikke påvirket væsentligt af kræfter, men når spindet ophører, får flyet igen meget hurtigt høj hastighed, og derfor skal der udvises forsigtighed, når der rettes ud af det dyk, som opstår efter et spind, der ophører. Hold øje med det gule område på fartmåleren og Vne (den røde streg)

Fladspind

Et spind kan udvikle sig til et faldspind, hvis flyet få lov til at spinde i lang tid, eller hvis tyngdepunktet ligger langt tilbage. Fladspindet adskiller sig fra et traditionel spind ved, at flyets næse er længere oppe, og flyet har dermed ikke nedadrettede stilling, der skal hjælpe det at få flyvefart på igen, når rotationen er ophørt, og dermed kan flyet være svært at få ud af spindet.

Når flyet roterer omkring højaksen i et spind, vil momentet i flyets hale via centrifugalkraften forsøge at trække halen ud ad og dermed rette flyets næsestilling op. Denne tendens har især fly, der har ballast i halen i form af vand eller ballastklodser. Der findes endvidere spind-kit til nogle to-sædede skolefly, så disse er nemmer at få i spind. Et sådant spind-kit med ekstra vægt i flyets bagkrop vil øge tendensen til, at spindet udvikler sig til et fladspind.