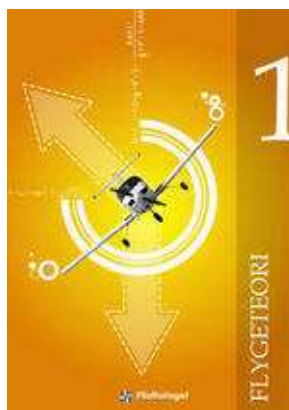


# FLYGETEORI

## Bok 1



Michael Katz  
Nedre Romerike Flyklubb  
michael@katz.no  
5. august 2009

# Innhold

<b>1</b>	<b>Krefter på flyet</b>	<b>3</b>
1.1	Kraftkomponenter . . . . .	3
1.2	Likevektssituasjoner . . . . .	3
1.3	Rorenes sekundærvirkninger . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Motstand</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Fartskonsepter</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Viktige størrelser</b>	<b>4</b>
<b>5</b>	<b>Viktige formler</b>	<b>5</b>

# 1 Krefter på flyet

## 1.1 Kraftkomponenter

- **Trykksenteret:** Punktet der resultantkraften fra summen av alle punktene på vingeprofilen virker. Trykksenteret vil bevege seg fremover når angrepsvinkelen  $\alpha$  øker, og bevege seg bakover når vingens krumning øker (flaps).
- **Løftsenteret:** Punktet der resultantkraften fra summen av løftet for hele vingen i tre dimensjoner virker (notasjon  $L$ ).
- **Tyngdepunktet:** Punktet der resultantkraften av alle flyets vektkomponenter angriper (notasjon  $W$ ).
- **Motstandssenteret:** Punktet der resultantkraften av alle flyets motstandskomponenter virker (notasjon  $D$ ).
- **Propellersenteret:** Punktet der resultantkraften av alle flyets trekkraftskomponenter virker (notasjon  $T$ ).
- **Dreiemoment om tverraksen:** Oppstår om tyngdepunktet ikke er på linje med løftsenteret eller motstandssenteret/propellersenteret. Balanseres med et løft  $l$  på haleflaten.
- **Skid/slip:** Hvis ikke riktig kreningsvinkel brukes for en gitt hastighet og svingeradius, oppstår skid eller slip. Skid er en kraftkomponent som trekker flyet ut fra svingen (krenger for lite ift. hastighet), mens slip er en kraftkomponent som trekker flyet inn i svingen (krenger for mye ift. hastighet).

## 1.2 Likevektssituasjoner

- **Horisontal flyging:** Løft og vekt er i likevekt ( $L = W$ ), og trekkraften er i likevekt med motstanden ( $T = D$ ). Kraften  $l$  på haleflaten må oppheve et eventuelt dreiemoment, dvs.  $L = W + l$  og/eller  $T = D + l$ .
- **Horisontal flyging med stor angrepsvinkel:** Trekkraften er ikke parallell med flyretningen, så trekkraften dekomponeres i en løftekraft  $l_1$  i vertikal retning og en trekkraft  $t$  i horisontal retning. Vi har da  $t = D$  og  $L + (l_1 - l_2) = W$ , der  $l_2$  er løftekraften fra haleflaten.
- **Stigning/stup med konstant hastighet:** Vekten virker vertikalt ved stigning, men dekomponeres i en vektkraft  $w$  og en motstandskraft  $d$  som kommer i tillegg til motstanden  $D$ . Likevekt oppnås med  $T = D + d$ , med evt. kompensasjon av løftekraft fra haleflaten. For stup har vi  $D = T + t$ , hvor  $t$  er en ekstra trekkraft i tillegg til motorkraften  $T$ .
- **Glideflukt:** En vektkraft og trekkraft må oppveie løftet og motstanden, dvs.  $L = w$  og  $D = t$ .

## 1.3 Rorenes sekundærvirkninger

- **Høyderoret:** Angrepsvinkelen endres, slik at *hastigheten* øker eller minker.
- **Sideroret:** Den relative vinden endres, slik at *bevegelsen om lengdeaksen* påvirkes.
- **Balanseroret:** Balanseroret øker motstanden på ene vingen, slik at *bevegelsen om vertikalaksen* påvirkes.

## 2 Motstand

- **Formmotstand:** Motstand som forårsakes av *turbulensen* som skapes av vingens form når luften strømmer forbi. Kan reduseres ved å lage vingen så *strømlinjeformet* som mulig.
- **Friksjonsmotstand:** Motstand som skyldes luftens *viskositet* som motvirker strømmingen, og som gjør at luften henger igjen på vingen. Kan reduseres ved å gjøre vingen så *glatt* som mulig.
- **Turbulensmotstand:** Motstand som skyldes utvendige utstikkere som stag, vaiere, håndtak og braketter.
- **Interferensmotstand:** Motstand som skyldes forstyrrelser i luftstrømmen som følge av at to gjenstander er nær hverandre, f.eks. skrog og vinger.
- **Indusert motstand:** Den motsatt rettede kraft av løftet og virker i motsatt retning av den relative vinden, og inbefatter også vingetippvirvler. Øker når angrepvinkelen øker.

Samlebetegnelser:

- **Profilmotstand:** Samlebetegnelse på formmotstand og friksjonsmotstand.
- **Parasittmotstand:** Samlebetegnelse på formmotstand, friksjonsmotstand, turbulensmotstand og interferensmotstand.
- **Totalmotstand:** Samlebetegnelse på alle motstandene som virker å flyet. 47 % er indusert motstand og parasittmotstand fra vingene, og 53 % er parasittmotstand fra skrog og motor (29 %), understell (12 %), rorflater (4 %) og interferens (8 %).

## 3 Fartskonsepter

- **Beste L/D-forhold (beste glidevinkel)  $v_{L/D}$ :** Farten som gir beste løft med lavest mulig motstand, dvs. minst mulig høydetap per lengdeenhet ved glidning. Brukes f.eks. for å gli *lengst* mulig etter motorstans.
- **Beste stigeevne  $v_y$ :** Farten som gir maks. høydegevinst per *tidsenhet*. Brukes f.eks. for å komme raskest mulig til gitt høyde.
- **Beste stigevinkel  $v_x$ :** Farten som gir maks. høydegevinst per *lengdeenhet*. Brukes f.eks. for å komme seg over hindringer ved utflyging.
- **Velocity never exceed  $v_{ne}$ :** Største tillatte fart. Markert med rød strek på fartsmåleren
- **Velocity normal operations  $v_{no}$ :** Største marsjfart. Endepunktet på grønn sektor.
- **Største manøvreringsfart  $v_a$ :** Høyeste fart for å kunne bruke fullt utslag på kontrollene.

## 4 Viktige størrelser

- **Standardatmosfære:** Temperatur er 15°C ved havoverflaten og faller med 0,65°C per 100 m. Trykk er 1013,25 hPa og faller med ca. 30 hPa per 1000 fot. Luften er tørr og helt uten vanddampinnhold.
- **Fordeling av vingens løft:** Ca. 75 % fra oversiden, og ca. 25 % fra undersiden.
- **Steilevinkel:** De fleste vingeprofiler steiler ved en angrepvinkel på ca. 18°.
- **Trykksenter/Løftsenter:** Ligger ca. 25 % bak på korden/MAC (Mean Aerodynamic Chord).

- **Bakkeeffekten:** Den induserte motstanden kan reduseres med så mye som 40 % pga. bakkeeffekten, som slår inn når flyet er nærmere bakken enn lengden på vingespennet.
- **Max. sidevind:** Hvis intet annet er gitt i flyghåndboka, skal maks. sidevindskomponent ikke overstige 0,2x steilefarten med flaps nede.
- **Lastfaktor** er 3,8G (sikker) og 5,7G (brudd) for fly i normal-kategori, 4,4G (sikker) og 6,6G (brudd) i utility-kategori og 6,0G (sikker) og 9,0G (brudd) i aerobatic-kategori.

## 5 Viktige formler

- Tilstandsligningen:

$$\frac{pV}{T} = \text{konstant}$$

hvor  $p$  er trykk,  $V$  er volum og  $T$  er temperatur.

- Totaltrykk:

$$H = p + q = \text{konstant}$$

hvor  $p$  er statisk trykk,  $q = \frac{1}{2}\rho v^2$  er dynamisk trykk,  $\rho$  er lufttettheten og  $v$  er hastigheten til flyet. Summen av  $p$  og  $q$  er alltid konstant i den samme luftstrømmen (Bernoullis lov).

- Relativ tykkelse til et vingeprofil:

$$t_m = \frac{t}{c}$$

hvor  $t$  er profilets tykkelse og  $c$  er korden.

- Løft:

$$L = \frac{1}{2}C_L\rho v^2 S$$

hvor  $C_L$  er løftkoeffisienten, som er bestemt av vingens form og angrepsvinkelen, og  $S$  er vingeearealet. Huskeregel: Varierer proporsjonalt med alt, bortsett fra farten.

- Sideforholdet:

$$\text{AR} = \frac{b}{\text{MAC}}$$

hvor  $b$  er vingespennet og

$$\text{MAC} = \frac{S}{b}$$

er gjennomsnittskorden. Løftet øker proporsjonalt med sideforholdet.

- Totalmotstand, som er summen av parasittmotstand og indusert motstand, uttrykkes ved:

$$D = D_p + D_i = \frac{1}{2}C_{D_p}\rho v^2 S + \frac{0,63W^2}{\rho v^2 S e_{\text{AR}}}$$

hvor  $C_{D_p}$  er parasittmotstandskoeffisienten,  $W$  er vekten og  $e_{\text{AR}}$  er det effektive sideforholdet. Dermed ser vi at parasittmotstanden varierer med kvadratet av farten og proporsjonalt med tettheten:

$$D_p \propto v^2 \propto \rho,$$

og at den induserte motstanden varierer inverst med kvadratet av farten, omvendt proporsjonalt med tettheten, med kvadratet av vekten og omvendt proporsjonalt med det effektive sideforholdet:

$$D_i \propto \frac{1}{v^2} \propto \frac{1}{\rho} \propto \frac{1}{e_{\text{AR}}} \propto W.$$

- Lastfaktoren uttrykkes i faktor av  $G$ , og er gitt ved

$$n = \frac{L}{W}$$

hvor vekten  $W$  er konstant. Lastfaktoren er  $1G$  når løftet er lik vekten, f.eks. ved horisontal flyging.

- Finne steilefarten  $v_{s,\text{after}}$  for en gitt lastfaktor:

$$\frac{v_{s,\text{before}}}{v_{s,\text{after}}} = \sqrt{n}.$$

- Momentligningen brukes til å finne tyngdepunktets plassering ift. til et referanseplan, og er gitt ved

$$W a = W a$$

hvor  $W$  er vekt og  $a$  er arm. Ligningen kan skrives

$$(W a)_{H1} + (W a)_{H2} + (W a)_N = (W a)_t$$

for et fly, og finner tyngdepunktet  $a_t$  ift. referanseplanet. Her er  $W_H$  notasjon for vekten til hovedhjulene,  $W_N$  for vekten til nesehjulet,  $W_t$  for totalvekten,  $a_H$  er armen mellom hovedhjulene og referanseplanet og  $a_N$  armen mellom nesehjulet og referanseplanet. Momentligningen kan også brukes til å finne tyngdepunktsavstanden  $x$  fra hovedhjulene, og skrives da:

$$W_N(l - x) = W_H x$$

hvor  $l$  er avstanden mellom nesejul og hovedhjul.

- Omregning mellom moment  $m$  og indeks  $i$ :

$$i = \frac{m}{1000}.$$

- Sammenheng mellom moment og tyngdepunkt CG:

$$\text{CG} = \frac{m_t}{W_t}.$$