

Wanneer is het zwaartepunt (CG) optimaal van mijn modelvliegtuig?

(Door Harry Feijen)

Zwaartepunt

Zoals we allemaal weten is het zwaartepunt, (CG, of wel Center of Gravity) van een model, maar ook tevens voor alles wat vliegt, een ontzettend belangrijk gegeven om te kunnen vliegen.

Wanneer je een lepel op de rand van een bord laat balanceren, dan zit de rand van het bord bij het zwaartepunt.

Doe je vervolgens een suikerklontje in de holte van de lepel, dan moet je de lepel in de richting van (b) verschuiven om hem weer in balans te brengen. Pijl b wordt langer en a korter. Het zwaartepunt is naar voren verschoven. In plaats van de lepel te verschuiven kun je ook gewicht op het uiteinde van de steel van de lepel leggen, want dan is er ook weer een evenwicht van krachten.



Wat je op de steel van de lepel legt mag veel lichter zijn dan een suikerklontje, want gewicht maal arm voor het zwaartepunt is gelijk aan gewicht maal arm achter het zwaartepunt.

Als je een kant en klaar model koopt, dan wordt veelal aangegeven waar zich dat punt moet bevinden en door uit te wegen en eventueel verschuiven van de accu of lood toe te voegen kunnen we dan zorgen dat het model op deze aangegeven lijn precies in balans is met als kanttekening de neus liever iets zwaarder dan de staart.

Als je de beschikking krijgt over een model waarbij het CG niet is opgegeven, hoe zit het dan?

Voor een vaste vleugel model met een rechte vleugel kun je over het algemeen uitgaan dat het CG ongeveer ligt op het dikste deel van de vleugel waar de hoofdlijner veelal zit.

Bij een deltawing of een model met een afwijkende vleugel wordt het probleem lastiger. Er zijn handige hulpprogramma's te vinden op het internet om dit voor veel voorkomende modellen uit te rekenen, maar vliegt het model dan ook optimaal?



Als we uitgaan van een model dat bij het uitwegen precies recht hangt op de door de fabrikant aangegeven zwaartepuntlijn en we maken de neus zwaarder, waardoor het model aan de neuszijde naar beneden zakt, dan spreken we van een neuslastig model.

Als we vervolgens het model weer in balans brengen, dan ligt het zwaartepunt verder naar voren.

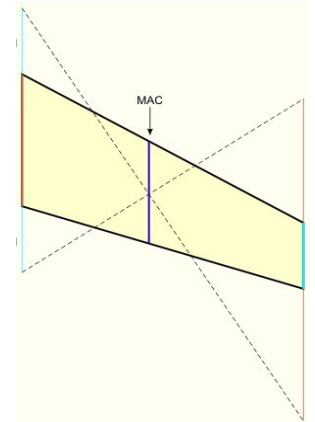
Doen we juist het tegenovergestelde en maken we de staart zwaarder (of de neus lichter) dan wordt het model staartlastig. Met een beetje neuslastig model valt wel te vliegen, maar een staartlastig model is moeilijk in de lucht te houden.

Bij het zelf bouwen van een deltawing, kun je het CG ook zelf vaststellen aan de hand van de afbeelding hiernaast. Ergens op de MAC lijn ligt dan het CG. MAC staat voor Mean Aerodynamic Chord, ofwel de centrale aerodynamische koorde van de vleugel. Bij een deltavleugel moet het CG verder naar voren liggen dan bij een rechte vleugel, ergens tussen de 10 à 20% van de MAC. Om te ervaren of je berekening juist is zul je dan bij een werpproef moeten uitvinden of het model zweeft, de grond in duikt of de neus omhoog steekt en vervolgens alsnog richting aardoppervlak gaat. Ons veld leent zich daar mooi voor om dit te doen boven het hoge struweel.

Bij een deltavleugel is het CG-bereik veel kleiner dan bij een vleugelmodel.

Bij een vleugelmodel kan het bereik tussen maximaal voor en maximaal achter veel groter zijn, waarbij het model toch vliegt. Denk hierbij aan een bommenwerper, waarbij als het goed is hij zonder de last van de bommen toch terug kan vliegen naar de basis.

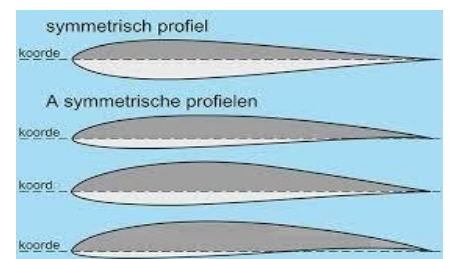
Ook een sportvliegtuig kan met 2 of 4 personen de lucht in, waarbij het CG in beide gevallen niet gelijk is.



De koorde van een vleugelprofiel:

In de afbeelding hiernaast is te zien waar de koorde ligt bij verschillende vleugelprofielen.

Ergens op die koorde ligt dan het CG.



Statische en dynamische stabiliteit:

De ligging van het CG heeft een enorme invloed op het totale gedrag van een vliegtuig, waaronder de besturing. Stabiliteit en besturing gaan hand in hand en zijn soms met elkaar in tegenspraak.

Statische en dynamische stabiliteit zijn twee compleet verschillende zaken.

Statisch wil in de praktijk zeggen, hoeveel hoogteroer moet je geven om de romp in een vaste (horizontale) vliegstand te houden. Dat kan dus met UP of DOWN zijn. De limieten worden dus bepaald door de werking van je stabilo/hogteroer.

Gebaseerd op de statische stabiliteit zou je theoretische CG-range kunnen liggen tussen de waardes die aangegeven worden door de maximaal mogelijke uitslagen van je hoogteroer. Bij een maximaal theoretische voorlijke ligging b.v. moet je continue met vol UP vliegen om de neus niet te laten zakken. Het model is dus maximaal neuslastig.

Dynamisch is lastiger om voor te stellen: bij een verstoring door turbulentie bv zal bij een achterlijk CG de staart wat "achterblijven" en een vergroting van de invalshoek als gevolg hebben. Gevolg: een kleine verstoring en je model knalt als een gek omhoog. Ook op de minste HR uitslag reageert het model als een bezetene. Ligt het CG te ver naar voren dan zal het een stabiel dynamisch gedrag vertonen, het model is nauwelijks uit zijn vliegbaan te branden.

In de praktijk zal de voorste ligging bepaald worden door de statische stabiliteit: Waar ligt het punt dat je nog voldoende bestuurbaarheid (hoogteroer werking) over hebt om de stand van je model nog goed te kunnen veranderen, zoals bij de landing.

Ruim vóórdat je tegen de achterste limiet van de statische stabiliteit aanloopt (dat je dus onvoldoende DOWN meer over zou hebben) komt de dynamische stabiliteit om de hoek kijken, het model gaat giftig reageren op iedere vorm van verstoring. En dat wordt dan de achterste begrenzing.

Hoe ver? Dat ligt aan de durf en stuurmanskunst van de vlieger.

Het Reynoldsgetal:

Nog even iets over het z.g. Reynoldsgetal. Dit getal heeft directe invloed op de stabiliteit van een vliegtuig.

De formule: $Re = V \times K \times 70$

V = de vliegsnelheid in m/s en K = de lengte van de koorde in meters en 70 is de factor voor luchtstroming op zeeniveau.

De koorde is bij een tapse vleugel op iedere plek anders en dat is uiteraard ook zo bij een deltawing.

Daarom heeft snelheidsverandering zoals in de formule is te zien hetzelfde effect als koorde verandering.

Het Reynoldsgetal wordt dan ook wel de aerodynamische koorde genoemd.

Hoe groter het Reynoldsgetal, hoe efficiënter een vleugelprofiel werkt.

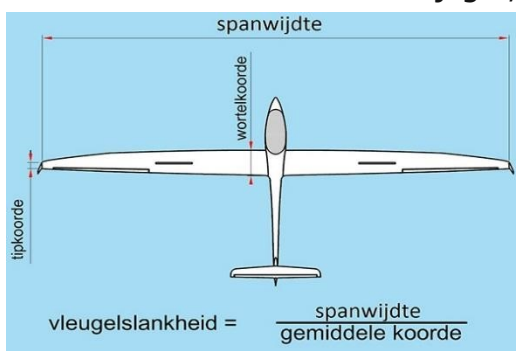
Hieruit blijkt dus dat een model met een tapse vleugel, of een deltavleugel bij hogere snelheden stabiel vliegt dan bij lagere snelheden.

Waar moet het CG dan liggen?

Dat is van nogal wat zaken afhankelijk:

Is het een lestoestel (je zoekt een wat stabiel vliegend model), dan is een wat zwaardere neus, waardoor het CG iets verder naar voren komt te liggen prettig.

Of is het een 3D model of een jager, waarvan je wilt dat die snel en direct reageert



op je hoogteroer, dan kun je het CG wat meer naar achteren verleggen.

Verder is het snelheidsbereik waarbinnen je vliegt van invloed, met een jet is dat groot en kan het CG bij hoge snelheden prettig liggen maar bij lagere snelheden desastreus uitwerken. Dat komt omdat bij dit soort grote snelheidsverschillen (afhankelijk van het type vleugel dus) je liftpunt behoorlijk kan

verschuiven (loopt naar achteren bij hogere snelheden, waardoor het hard vliegende stabiel wordt).

De zwaartepunten die fabrikanten/ontwerpers aangeven zijn niet altijd correct.

Meestal zit het ongeveer goed, met dien verstande dat ze vaak het zwaartepunt wat meer naar voren leggen, dat is vele malen veiliger dan meer naar de achteren.

De modelvlieger zal zelf aan het gedrag van het model moeten afleiden waar de voorkeur naar uit gaat.

De aerodynamische krachten op een model in de lucht zijn van veel zaken afhankelijk en alleen door in de praktijk te vliegen kom je er achter wat voor je model de beste gewichtsverdeling is.

Het uitwegen van een model

Daar wordt nog wel eens verschillend over gedacht.

Het gaat er om het punt te vinden, waarop het model in balans blijft.

Voor een stabiel vliegpatroon willen we de neus dan iets laten hangen, maar hoeveel is iets? 5 graden is voor sommige vliegers ideaal, een ander gaat voor 30 graden. Beter is het om uit te gaan van een exacte horizontale weging op het opgegeven CG punt en daarna het meetpunt iets naar voren te schuiven en dan het model met verschuiving van componenten of lood weer horizontaal te stellen.

Moeten we meten met een volle tank bij brandstof vliegtuigen of met een lege?? Het antwoord is: meten met een lege tank (mits de tank voor het zwaartepunt is gesitueerd.) Immers, we willen een goedmoedig karakter bij het landen en nemen de neuslastigheid bij opstijgen graag op de koop toe. Indien mogelijk kun je er wel naar streven om de brandstoftank zo dicht mogelijk richting CG te plaatsen.

En een elektro model dan: welnu, theoretisch is een volle accu zwaarder dan een lege accu. Voorbeeld: het verschil in gewicht tussen een volgeladen accu-pack van een Renault Clio-E en een lege set accu's is iets minder dan een miljardste deel van een kilo.

Bij een LiPo accu zal een potloodstreepje hierop dus meer gewicht in de schaal leggen dan de in de accu opgeslagen energie. Volgeladen of leeg maakt voor het gewicht dus niet uit.

Zodra bij een weging het model niet meer horizontaal staat, verandert de gewichtsverdeling als het CG punt lager of hoger ligt dan het meetpunt (immers het CG is altijd goed met de neus verticaal naar beneden).

Ook is het belangrijk om er rekening mee te houden waar je het CG meet.

Bij een hoogdekker met meetpunten onder de vleugel ligt het CG verder naar onderen dan bij een laagdekker in dezelfde positie.

Bij de hoogdekker zal extra gewicht veel minder invloed hebben dan bij de laagdekker, waarbij het CG bij het meten boven het meetpunt ligt en het model veel eerder uit balans raakt. Daarom worden laagdekkers ook vaak "op de kop" gemeten.

En nu het luchtruim kiezen:

Het is zover, je denkt het juiste CG te hebben ingesteld!



Is het een klein model, doe dan eerst de werpproof. Stabilo en hoogteroer in lijn, werpen, en dan moet het model soepel zwevend langzaam dalen. Als "uitmelken" met een beetje HR ook goed gaat, zijn we klaar voor het echte werk. Opstijgen en op flinke hoogte rechtuit vliegen en HR trimmen bij lage snelheid. Het wordt nu al duidelijk of het model zenuwachtig of stabiel reageert op hoogte variaties. Maar we willen meer: een voor jouw gevoel optimaal vlieggedrag!

De duikproef:

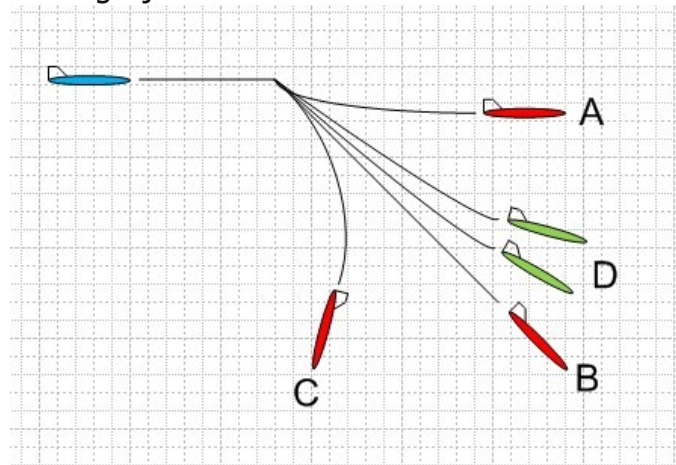
Je hebt een dag uitgezocht met weinig wind.

Je gaat horizontaal vliegen op grote hoogte (100 meter), dwars op je gezichtsveld. Het model is dusdanig getrimd dat hij mooi rechtuit vliegt zonder hoogteroer uitslag. Je geeft zoveel down, dat het model met een hoek van ca. 45 graden naar beneden duikt, met het gas dicht.

Dit houdt je aan tot de snelheid ca. 2x zo groot is als de aanvangssnelheid.

Dan laat je de HR knuppel los en kijkt je wat het toestel doet. Niet te lang kijken, want de grond nadert nu snel!

Er zijn dan een aantal mogelijkheden:



A: Het CG ligt hier te ver naar voren. Omdat het model toch redelijk goed vliegt, geeft het stabilo kennelijk samen met het hoogte roer voldoende down lift om dit te corrigeren. Omdat het CG hier te ver naar voren ligt, is het model neuslastig. Doordat het model snel klimt, neemt de snelheid sterk af. Dit is een te sterke positieve stabiliteit.

B: Eigenlijk ideaal. Het stabilo verstoort de lift niet, niet bij hoge en ook niet bij lage snelheden. Aangezien lift leveren energie kost, vlieg je zo het meest efficiënt. MAAR: als het model door een externe invloed, een windvlaagje, turbulentie of (on)gewilde stuurreactie van richting verandert geeft dit direct een zenuwachtig en overtrokken resultaat.

C: Bij het inzetten van de duikvlucht geef je down en op het moment dat je de HR stick loslaat, duikt het toestel nog dieper en neemt de snelheid nog meer toe. We spreken hier van negatieve stabiliteit. Het zwaartepunt ligt te ver naar achteren en het model reageert sterk op HR veranderingen.

D: Dit is de ideale situatie. Het zwaartepunt ligt iets voorlijk. Bij verstoring omhoog, neemt de snelheid iets af en gaat het stabilo wat minder effectief werken. Het voorlijk liggende zwaartepunt neemt de macht over en trekt de neus naar beneden. Wordt down verstoort, dan gaat het model in snelheid toenemen, het stabilo wordt meer effectief, de downlift van het stabilo hierdoor groter, de neus gaat omhoog en het normale evenwicht is weer hersteld. Dit noemen we auto-corrigerend gedrag. Binnen dit bereik kunnen we door het CG iets te verschuiven, proefondervindelijk vast stellen hoe we met het meeste plezier met dit model kunnen vliegen.

Veel succes met de toepassing van dit artikel, met dank aan de info gegeven door: Google, Dirk Schipper, Richard Branderhorst en vele anderen die zich hebben verdiept in deze materie.
