

De invloed van windstoten, windschering en daalstromen

Door A. Steenhuisen (LMD/KNMI)

In het vorige nummer van *Meteorologica* werd de invloed van de wind op de startlengte van een vliegtuig op de rolbaan en de koers van een vliegtuig in de lucht besproken. In dit artikel wordt de minimum time track, en de invloed van windstoten, windschering en daalstromen besproken.

DE MINIMUM TIME TRACK

Op de aardbol is de grootcirkel de kortste afstand tussen twee geografische posities. Toch wordt die route (afgezien van verkeersleidingstechnische problemen) tengevolge van de heersende meteorologische omstandigheden zelden gevolgen. De route zou bijvoorbeeld dwars door een tropische cycloon kunnen lopen of men zou langs die route de sterke tegenwind van een straalstroom moeten trotseren. In de jaren vijftig is er door de KNMI-meteoroloog Dr.H.M. de Jong een rekenmethode ontwikkeld, waarmee, aan de hand van het verwachte windpatroon, een optimale vliegroute wordt bepaald die de meest gunstige vliegtijd oplevert. Deze Minimum Time Track-methode wordt wereldwijd toegepast.

Boven drukbevoegen gebieden zijn luchtwegen ontwikkeld die weinig gelegenheid bieden om een optimale route te vliegen. Voor de oversteek van de oceanen echter worden door de oceaan-verkeersleidingsdiensten met de MTT-methode twee maal per dag een aantal routes berekend en aan het luchtverkeer ter beschikking gesteld. Deze routes worden zodanig gekozen dat de verkeersafwikkeling beheersbaar is en de MTT's zo goed mogelijk kunnen worden benaderd.

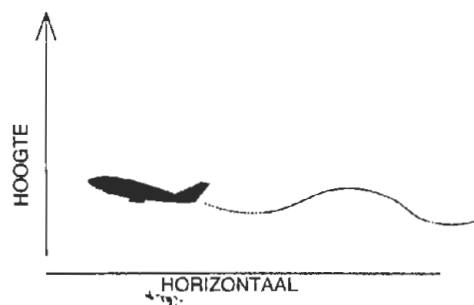
WINDSTOTEN

Windstoten veroorzaken plotselinge, kortdurende veranderingen van de neuswind, de staartwind en/of de dwarswind. Ze geven aanleiding tot gedragsveranderingen van het vliegtuig. De grootte van die veranderingen hangt af van de relatie tussen de vlaaggolflengte (l) (dat is het product van de gemiddelde windsnelheid in de

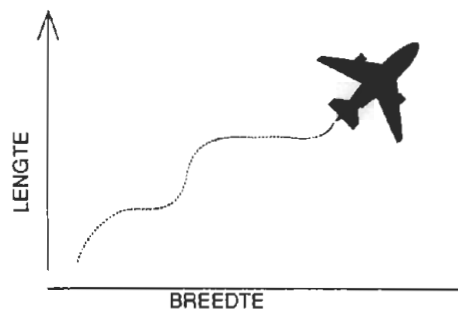
windstoot en de duur van de stoot of vlaag) en de grootte, het gewicht en de snelheid van het vliegtuig. Het zal duidelijk zijn dat kleine, lichte vliegtuigen al van vrij lichte vlagen iets merken, terwijl die voor zware machines niet voelbaar zijn.

Een beurtelings kort toe- en afnemende neuswind vergroot of verkleint de luchtsnelheid langs de vleugels, waardoor het vliegtuig meer of minder lift krijgt. Daardoor gaat het vliegtuig een verticaal golvende beweging maken, zie figuur 1. Korte veranderingen van de staartwind hebben hetzelfde effect.

Kortdurende veranderingen van de dwarswind brengen een vliegtuig in een horizontaal golvende beweging rond de voorgenomen koers, zie figuur 2.



Figuur 1.



Figuur 2.

Beide effecten zijn tijdens een vlucht niet altijd comfortabel en kunnen aanleiding geven tot turbulentie. Het maakt de landing voor de vliegers er in elk geval niet gemakkelijker op. Wanneer de grootte van de gemiddelde dwarswind of de grootte van de windvlagen bepaalde limieten overschrijdt, mag er op de betreffende baan niet meer worden geland en gestart. De grootte van de limieten hangt af van de toestand van de baan (nat of droog) en het vliegtuigtype.

WINDSCHERING

Het begrip windschering staat voor een snelle verandering van de windsnelheid en/of -richting over een korte afstand. Er worden drie typen windschering onderscheiden:

- Horizontale windschering (HWS) is de snelle verandering van de horizontale wind tussen twee punten in een horizontaal vlak of in een drukvlak.
- Verticale windschering (VWS) is de verandering van de horizontale wind per lengte-eenheid tussen twee punten, die elk op verschillende hoogten liggen. Voor de meteoroloog liggen die twee punten recht boven elkaar, voor de vlieger in een stijgend of dalend vliegtuig niet.
- Schering van de verticale wind (SVW) is de snelle verandering van de verticale wind tussen twee punten in een horizontaal vlak of drukvlak.

Van elk type zal de invloed in volgorde worden besproken.

In het algemeen geldt dat er turbulentie kan ontstaan wanneer twee luchtmassa's met verschillende snelheid en/of bewegingsrichting langs elkaar of naar elkaar toe bewegen. Lichte turbulentie is alleen oncomfortabel voor de inzittende van een vliegtuig, matige turbulentie bemoeilijkt het sturen en zware tot extreme turbulentie kan een vliegtuig tijdelijk onbestuurbaar maken en structurele schade veroorzaken. Een horizontale windschering, die een snelle verandering van de dwarswindcomponent veroorzaakt, kan worden gecompenseerd door een koerscorrectie. Een snelle verandering van de neus- of staartwindcomponent kan gecorrigeerd worden door het motorvermogen of de stuwdruk aan te passen. In het algemeen komen de windveranderingen voor in een gebied dat in een halve tot een paar minuten wordt doorvlogen, zodat de correcties dikwijls eenmalig behoeven te worden uitgevoerd.

Een verticale windschering heeft alleen invloed op vliegtuigen die een dalende of stijgende beweging maken. De vlieger ervaart de windschering dan als een verandering van de wind per seconde vliegtijd. Als voorbeeld gaan we uit van een

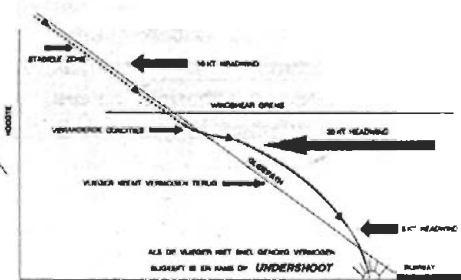
vliegtuig dat een daling maakt. Het standaarddaalvlak maakt een hoek van 3° met het horizontale vlak, zie figuur 3. De vliegsnelheid is 120 knopen.



Figuur 3.

We kunnen nu berekenen hoe groot de verandering van de headwind is bij een meteorologische verticale windschering van 8 kt/100 voet (ft). Als we weten dat 1 kt 1 NM per uur is en 1 NM overeenkomt met 6080 ft is de daalsnelheid van het vliegtuig bij de gegeven snelheid en daalhoek 10,6 ft/s (120 maal 6080 ft maal $\sin 3^\circ$ gedeeld door 3600 seconden). Over 100 ft daling doet het vliegtuig dan 9,4 s (100 ft gedeeld door 10,6 ft/s). Bij een schering van 8 kt per 100 ft is de ondervonden windschering 0,9 kt/s (8 kt gedeeld door 9,4 s).

Hoe het gedrag van het vliegtuig door de VWS wordt beïnvloed wordt duidelijk met behulp van de figuren 4 en 5. De figuren stellen een elektronisch glijpad van het Instrument Landings Systeem (ILS) voor en het begin (de drempel) van de landingsbaan. Om de figuur duidelijker te maken is de hellingshoek van het glijpad, waarlangs de vliegtuigen naar de baan moeten dalen sterk vergroot. Normaal is die hoek slechts 3°.

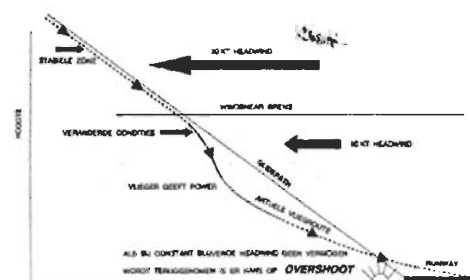


Figuur 4.

In het bovenste deel van figuur 4 heerst een neuswind van 10 kt. Het vliegtuig daalt netjes langs het glijpad; men zegt dan dat hij op het glijpad is gestabiliseerd. Daaronder neemt de neuswind plotseling toe tot 30 kt. Het vliegtuig krijgt daardoor meer lift, waardoor de daling afneemt en het vliegtuig boven het glijpad terecht komt. De vlieger of de stuurautomaat reageert daarop met gas terug te nemen.

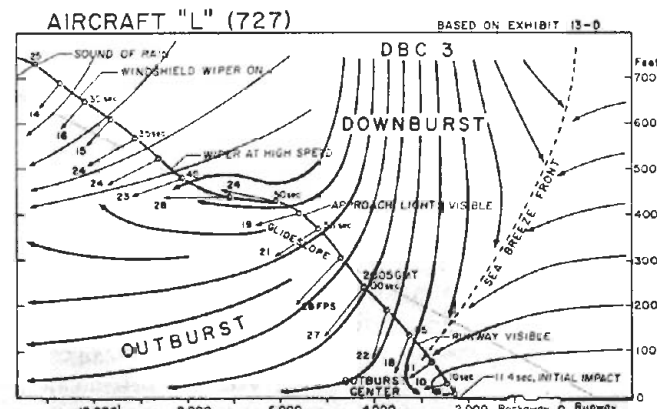
Het vliegtuig zakt daardoor terug naar het glijpad. In het onderste deel van de atmosfeer neemt in dit geval de wind af tot 5 kt, waardoor extra liftverlies ontstaat. Er moet dan snel worden gereageerd met gas bijgeven om de daalsnelheid te verminderen. Als deze verandering minder dan 100 m boven de grond plaatsvindt is er een kans dat het vliegtuig zich niet op tijd kan herstellen en vóór de baan op de grond terecht komt, een situatie die undershoot wordt genoemd. Wanneer een vlieger een dergelijke windsituatie vermoedt of hem het bestaan ervan is meegedeeld zal hij geen of minder gas terugnemen en de neus van het vliegtuig iets meer naar beneden prikken. De naderingssnelheid wordt daardoor iets hoger, maar daar weet de vlieger wel raad mee.

In figuur 5 is het vliegtuig bovenin bij een neuswindcomponent van 30 kt goed op het glijpad gestabiliseerd.



Figuur 5.

Beneden de windscheringsgrens is de wind 10 kt. Het vliegtuig verliest lift en zakt onder het glijpad. De reactie is gas geven. Bij een constant blijvende neuswind kan dit tot gevolg hebben dat het vliegtuig weer boven het glijpad terecht komt en te hoog boven het begin van de baan. De overblijvende baanlengte is dan veelal te kort voor een landing en de machine moet weer worden opgetrokken. Deze manoeuvre wordt een overshoot genoemd. Voor de volledigheid moet nog worden opgemerkt dat lichte vliegtuigen



Figuur 6.

en kleine passagiersvliegtuigen met zuigermotoren in deze situaties een tweetal voordelen hebben t.o.v. grote machines met straalmotoren :

- zuigermotoren reageren sneller op de verandering van de gastoevoer, turbine-motoren hebben een aantal seconden nodig om de stuwkracht op te voeren
- Kleine vliegtuigen bezitten een kleinere massa dan grote, waardoor ze sneller accelereren of vertragen.

Schering van de verticale wind komt veel voor in Cumulonimbuswolken. Stijgende en dalende luchtmassa's, waarvan de snelheden dikwijls veel meer dan 10 m/s zijn, veroorzaken zware tot extreme turbulentie. Vliegers proberen buien dan ook zoveel mogelijk te vermijden.

Soms komen onder zware buiencomplexen sterke daalstromen voor. De algemene naam voor die daalstromen is downdrafts of downbursts (2). Downbursts met een doorsnede van 1-4 km, de microbursts, zijn het gevaarlijkst, omdat die doorgaans sterker zijn dan downbursts, die een doorsnede van 4-10 km hebben. De daalsnelheden erin kunnen soms groter zijn dan 35 km/uur.

Downbursts gaan veelal met zware neerslag en onweer gepaard. Figuur 6 geeft een schematisch beeld van de gebeurtenissen die zich kunnen afspelen als een dalend vliegtuig in een microburst terechtkomt. In de figuur zijn de laatste 45 seconden vóór het verongelukken van een B727 gereconstrueerd voor een baan van de luchthaven J.F. Kennedy van New York. Het ongeval vond op 24 juni 1975 plaats. De figuur stamt uit het rapport van Fujita, dat als eerste in noot 3 wordt vermeld.

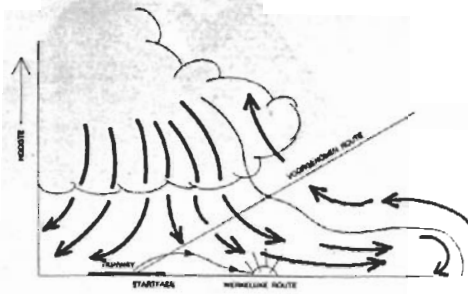
Links boven in de tekening daalt het vliegtuig naar het glijpad. Op de opnamen uit de zwarte doos en van de verkeersleiding is het geluid van regen te horen. Circa 5 seconden na het begin van de figuur worden de ruitwissers aangezet en circa 15

seconden later op hoge snelheid, omdat de regenval kennelijk zwaarder werd. Een paar seconden daarna, na de markering van 40 s neemt de neuswind toe, net als het vliegtuig begint af te vlakken op het glijpad. Het krijgt nu meer lift en stijgt weer. De vlieger of de automaat neemt daarop gas terug. Tussen de markeringen van 50 en

55 seconden meldt een van de vliegers dat hij de naderingsverlichting van de baan ziet. Direct daarna wordt de neerwaartse snelheid van downburst zo groot dat het vliegtuig steeds sneller naar beneden wordt gedrukt. De herstel-acties, zoals gas geven en de neus optrekken, werden, omdat analyse van de situatie even tijd kost, kennelijk niet of te laat uitgevoerd en de machine verongelukte.

Startende vliegtuigen kunnen in een downburst eveneens in moeilijkheden raken als de neuswind overgaat in een downdraft en later zelfs in een staartwind, zoals in figuur 7 is geschetst. Overigens

hangt het heel sterk af van de positie van de bui ten opzichte van het vliegveld, hoe de effecten ervan zullen zijn. Vliegers worden in simulators intensief getraind



Figuur 7.

om alle soorten windschering de baas te blijven.

Literatuur

1. J. Wieringa en P.J. Rijkoort, 1983. Windklimaat van Nederland, par. 3.6. KNMI/Staatsuitgeverij.
2. C.J. van der Ham, A. Steenhuisen en J.A.M. Sanberg, 1992. Meteorologie voor de luchtvaart, par. 10.5. KLM luchtvaartschool.
3. T.T. Fujita, 1976. Spearhead echo and downburst near approach end of a John F. Kennedy airport runway, New York City.
- T.T. Fujita, 1985. The downburst, microburst and macroburst. Report of projects NIMROD and JAWS.

Figuren

Figuur 1, 2, 3, 4, 5, 7: NIMOS.