

Vliegen op instrumenten

Geschiedenis:

In 1923 werden van oost naar west over de USA grote lichtbakens geplaatst als hulp voor navigatie bij nacht door postvliegers. Nachtvluchten tussen Chicago en de Rockies werden daarmee mogelijk, VFR bij nacht dus. (mag in sommige landen ook nu nog)

In 1933 was dit al een 18000 mijl lang netwerk van “vuurtorens” voor de luchtvaart.

In scenery van de USA zie je zulke wit-groene lichten nog geregeld.

In 1927 kwamen ook al radiobakens in gebruik, die een nauwe bundel signalen (punten en strepen) uitzonden waarmee de nadering van vliegvelden en het volgen van routes mogelijk was.

VOR en ILS werden ontwikkeld toen de VHF/UHF in gebruik kwam door nieuwe typen radiobuizen voor hoge frequenties, en na 1945 in toenemende mate gebruikt.

Voor bepaling van de eigen positie hadden de DC6 en de Constellation aanvankelijk nog een plastic koepeltje, zodat met een sextant sterren geschoten konden worden.

Na de tocht van de onderzeër Nautilus onder het Noordpoolijs werd traagheidsnavigatie (Inertial Navigation) al snel meer toegepast. Tenslotte kwam de satellietnavigatie (GPS) er bij.

Ook de ontwikkeling van instrumenten die blindvliegen (zonder zicht op grond en horizon) mogelijk maakten, kwam in de 30er jaren op gang. (Gyrokompas en kunstmatige horizon (Sperry)). Ook werd hiermee automatische besturing (Autopilot) van vliegtuigen mogelijk, wat voor lange vluchten natuurlijk erg belangrijk is.

Het samenbrengen van verkeersvliegtuigen in “corridors” tussen de bakens maakte regeling hiervan door ATC noodzakelijk. Het vliegen op instrumenten werd gereguleerd (Instrument flight rules)

IFR vliegen

Alle lijndienst- en chartervluchten, vluchten met grote vliegtuigen, en Gen. Av. vluchten in IMC (Instrument Meteorological Conditions) worden onder Instrument Flight Rules (IFR) gedaan.

De door ATC gegeven instructies kunnen alleen met behulp van de boordinstrumenten worden uitgevoerd. Of hierbij de condities (zoals zicht, bewolking, dag of nacht) instrumenten noodzakelijk maken of niet, is onbelangrijk. Ook bij zon en goed zicht: IFR.

Voor het vliegen op instrumenten kunnen we onderscheid maken tussen 2 groepen instrumenten:

1. Instrumenten die nodig zijn voor het vliegen zelf, dus voor het regelen van de stand van het vliegtuig t.o.v. het aardoppervlak (attitude), en voor hoogte, koers en snelheid.
2. Instrumenten nodig voor de navigatie, dus voor het vliegen van A naar B.

Vroeger waren de voor deze functies nodige “klokjes” allemaal afzonderlijk in het panel te herkennen, maar tegenwoordig zijn ze vaak groepsgewijs tot een klein aantal displays geïntegreerd. (de “glass cockpit”) De “Primary Flight Display” (PFD) bevat meest instrumenten uit groep 1, de “Navigation Display” of EHSI (= Electronic Horizontal Situation Indicator”) die uit groep 2.

Met de opkomst van de Glass cockpit komt de MFD (MultiFunction-Display), een scherm waar instrumenten en displays van vlucht- of motorgegevens naar keuze op gezet kunnen worden.

Navigatie op instrumenten, RNAV

Voor het vliegen van vertrek- en naderingsroutes bij vliegvelden wordt niet alleen van radiobakens gebruik gemaakt, maar vaak ook van andere waypoints, waarvan hoogte en lokatie zijn vastgelegd. Aanvankelijk waren dit meest snijpunten van VOR radialen, en punten waar routes elkaar kruisten, vandaar de naam “Intersections”. Later kwamen hier talrijke waypoints bij, die bv. door een dme + een radiaal zijn aangegeven, of soms alleen door een geografische positie vastliggen. Geen echte

intersections dus, maar de termen intersection en waypoint worden nog al eens door elkaar gebruikt. Zo ligt SOMPO 17.4 n.m. van EEL op radiaal 035.7. KUBAT op 15.7 n.m. van EEL op radiaal 047.3, enzovoort. Het is duidelijk dat je die radialen niet op een klokje (OBI, RMI) kan aflezen, of er met OBI en DME alléén rechtstreeks naar toe kan vliegen. De computer zal moeten helpen. We spreken dan van RNAV (Area Navigation, de afkorting komt van "Random navigation") Dit kan door een RNAV unit of een compleet Flight Management System (FMS)



MFD met Primary Flight Display

Navigatie met instrumenten van A naar B kan dus op 2 manieren:

a. We willen naar een bepaald radiobaken toe, en de instrumenten geven aan welke koers daarvoor gevlogen moet worden. Dat kan recht er naartoe (NDB), of zodanig dat we op een bepaalde koers over dat baken heen vliegen of er vandaan (langs de radiaal van een VOR). Zolang we het baken maar ontvangen, is minder belangrijk waar we zelf op dit moment zijn.

b. We gebruiken geen bakens, maar weten de positie waar we heen willen, en moeten dus ook precies weten waar we nu zijn, zodat we de koers kunnen (laten) berekenen.

Omdat veel (bv. intercontinentale) vluchten over gebieden zonder bakens gaan, en waypoints niet langer aan bakens gekoppeld zijn, is dit de methode die bij IFR vluchten gebruikt wordt. We moeten dus steeds onze positie weten. Hiervoor zijn 2 systemen in gebruik: INS en GPS.

INS (Inertial Navigation System) werkt met versnellings sensors, die de versnelling van een vliegtuig in 3 richtingen meten en daaruit de verplaatsing berekenen. Een nieuwe vorm hiervan is het Inertial Reference System (IRS) dat geen gyroscopisch platform meer nodig heeft, en nauwkeuriger werkt.

Als de beginpositie nauwkeurig bekend is, kan die positie daarna dus worden bijgehouden.

Voordeel: Volstrekt onafhankelijk van factoren buiten het vliegtuig.

Nadeel: De nauwkeurigheid vermindert met het verstrijken van de tijd. Grote vliegtuigen (Boeing, en een deel van de Airbus vliegtuigen) hebben meestal 3 van zulke systemen aan boord, waarvan de resultaten vergeleken worden door het FMS. Correctie van de positie door GPS en Nav aids is hierbij dus nodig, en hun FMS kan beide systemen IRS en GPS gebruiken.

GPS (Global Positioning System) werkt met een stelsel van satellieten, waar de GPS ontvanger aan boord continu de afstand van meet. Deze waarden kunnen nog verbeterd worden met behulp van grondstations en extra satellieten (Wide Area Augmentation System =WAAS) Hiermee is een zeer nauwkeurige plaatsbepaling mogelijk.

Voordeel: zeer nauwkeurig, verloopt niet met de tijd.

Nadeel: Niet onafhankelijk. Een massale uitval van satellieten door een "solar flare" is niet ondenkbaar, en het systeem wordt onderhouden en gestuurd door de USA (defensie).

Overigens wordt er hard gewerkt aan een vergelijkbaar (of beter) Europees systeem.

Nieuwe ontwikkelingen

Waar GPS vroeger alleen voor navigatie in het horizontale vlak bruikbaar was (LNAV=Lateral navigation) omdat de precisie voor de verticale positie onvoldoende was, moest een hulpsysteem voor verticale navigatie (VNAV) bijspringen. Dit kon gestuurd worden door een nauwkeurige hoogtemeter, waarbij het FMS ook info kreeg over de temperatuur van de lucht en luchtdruk op de plaats van bestemming.

Dit wordt Baro-VNAV of Bar-VNAV genoemd, en is al jaren in gebruik.

Sinds er WAAS bestaat, is de verticale navigatie zoveel beter dat RNAV voor CAT I runways werd toegestaan. Met een nog nauwkeuriger systeem met plaatselijke sensors (LAAS) zijn in principe CAT III landingen mogelijk, hoewel (voor zover mij bekend) nog niet officieel toegestaan.

Vergelijkbare systemen worden ook voor Europa beschikbaar.

Al deze technieken maken een nauwkeuriger navigatie in het naderen van luchthavens mogelijk, waarbij vooral meetelt dat men nu geheel onafhankelijk is van de lokatie van radiobakens, en de volle vrijheid heeft om routes zo aan te passen dat bv. geluidsoverlast minimaal wordt.

Ook de ouderwetse daling in etappes ("dive and drive") kan vervangen worden door een geleidelijke constante daling van airway via IAF naar de landingsbaan. Ook hiermee forse brandstofbesparing en minder lawaai.

Het ligt niet in de bedoeling om tzt. alle NDB's, VOR's en ILS af te schaffen. Ze blijven beschikbaar voor vliegtuigen zonder RNAV of bij storingen of defecten aan de apparatuur als back-up.

Een belangrijk voordeel boven GPS is dat storingen aan radionav. apparatuur direct in de cockpit is waar te nemen. GPS kan een volkomen fout resultaat opleveren zonder dat dit in de cockpit direct zichtbaar is indien niet met andere navigatiemiddelen wordt vergeleken.

Pas de allernieuwste systemen kunnen hun eigen betrouwbaarheid wel controleren. Die zijn overigens nog lang niet overal in gebruik.

GPS in FS

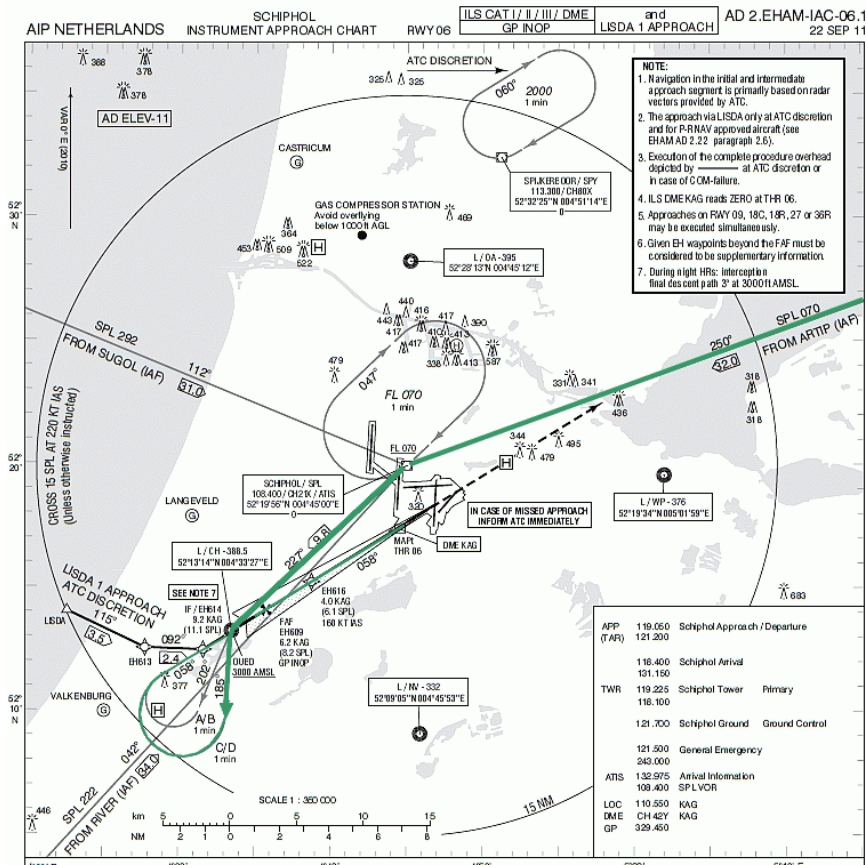
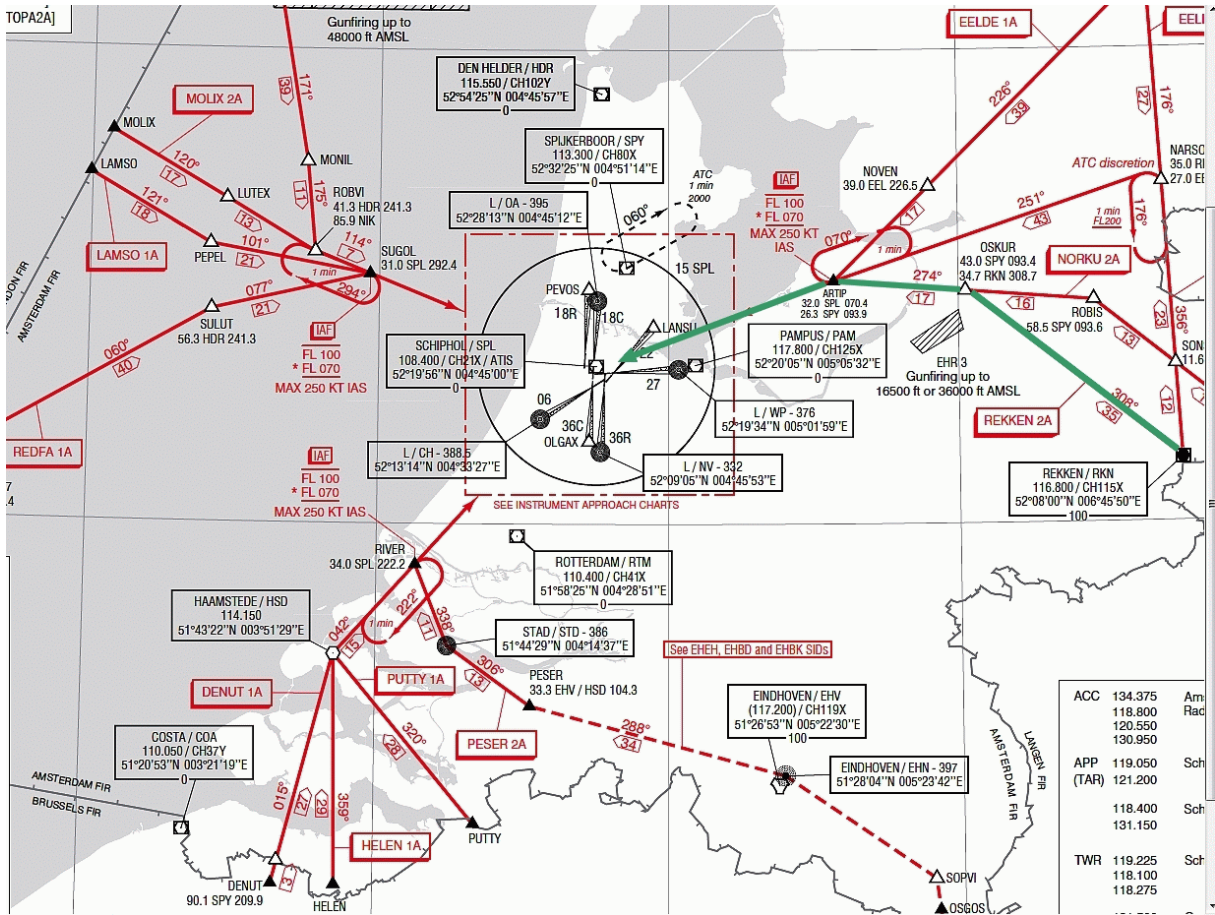
Met een Garmin 500 of 1000 kan een plan dat met de FS Flight planner is gemaakt, worden gevlogen, ook automatisch (LNAV, geen VNAV). Er zijn natuurlijk ook andere programma's voor het maken van een plan.

Wie een vliegtuig heeft met een FMC (bv. de PMDG 737) kan ook intersections met een bepaalde hoogte instellen, en heeft dus RNAV, eventueel met Autoland.

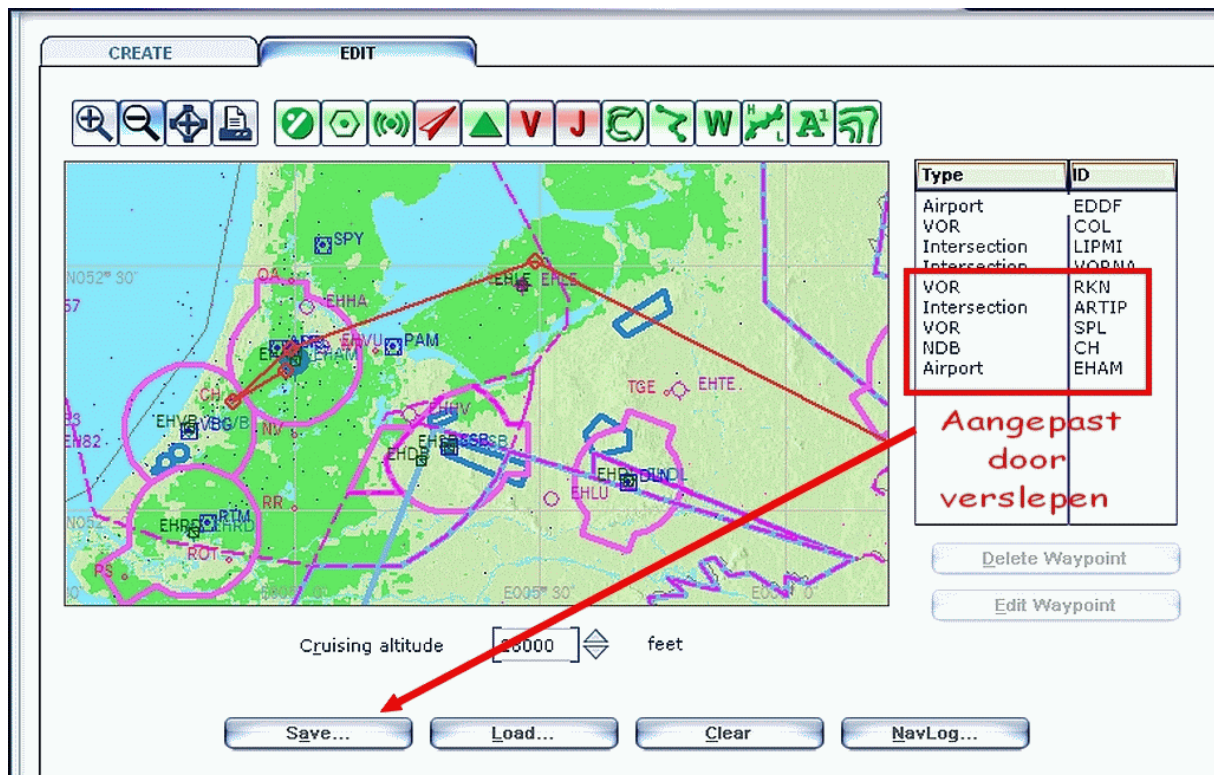
Voor de solovlieger die de ATC van FS niet wil gebruiken (deze is ook niet al te best) is een goede optie om een vliegplan in de FS Flight planner in te voeren, en dan aan te passen naar wens.

Ieder overbodig waypoint in het plan (Tabblad EDIT) kan gewist worden ("Delete Waypoint") en nieuwe waypoints kunnen worden tussengevoegd door met de muis de rode lijn van de route naar dat waypoint toe te slepen. Op die manier kan je een wat ruw plan van de planner veranderen in een plan dat de goede waypoints van een STAR en ILS nadering bevat.

Save het, en je kan het met de GPS gaan vliegen.



Op de kaart met STARS voor EHAM (1) is de gewenste STAR groen getekend. De verbinding tussen IAF en ILS is ook groen op het 2^e kaartje. De 3^e figuur hieronder laat zien dat het plan in de FS Flight planner door verslepen van de rode lijn hieraan is aangepast.



Navigatie op bakens (VOR, NDB, DME)

Dit onderwerp wordt met veel illustraties toegelicht als "Navigatie in beeld" op de HCC Groningen website, verder ook de tekst "Nadering en landing op instrumenten".

Kort samengevat:

NDB Een NDB is een in de lange golf (200-500 kHz) uitzendend baken dat door de ADF (Automatic Direction Finder) aan boord wordt ontvangen. (overigens zijn omroepzenders op de middengolf ook bruikbaar)

Een speciale antenne-ontvanger combinatie maakt mogelijk de richting van de zender t.o.v. de lengteas van het vliegtuig op een instrument weer te geven. De afstand wordt niet gemeten.

De peiling, dus de richting, is niet nauwkeurig, oa. door invloed van water, weer, dag/nacht.

Op eenvoudige instrumenten is de richting van het baken te zien, maar moet de koers er naartoe worden afgelezen door een schaal gelijk te draaien met het kompas (de H.I.)

Op RMI en HSI draait de wijzer van de ADF in een schaal die gelijk loopt met de HI, en kan de koers naar het NDB direct worden afgelezen.

Bij het aanvliegen van een NDB is belangrijk om de invloed van de wind in de gaten te houden, en voldoende op te sturen. Hieronder een voorbeeld bij westenwind. Wit is de geplande koers naar GE.



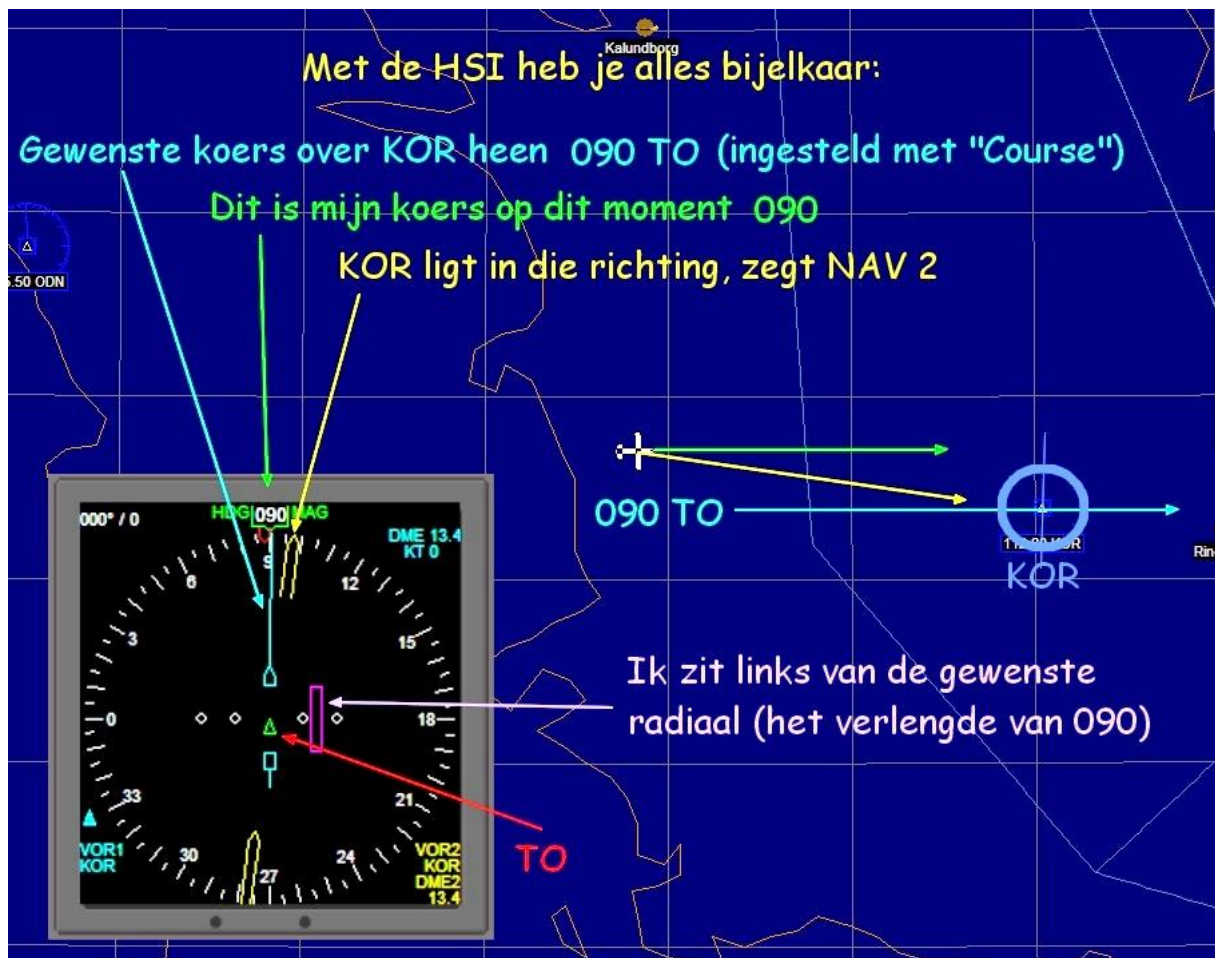
Bij het aanvliegen van een ILS kan vaak een NDB gebruikt worden om de localizer "netjes" onder een niet te grote hoek te naderen. Door even naast de NDB te mikken, zie je aan het steeds sneller gaan draaien van de naald dat je dichtbij bent, en kan je tijdig de bocht inzetten.

VOR Een VOR is een bakken dat in de VHF band werkt en voorzien is van een speciaal antennesysteem. Hiermee wordt een radiosignaal uitgezonden dat varieert afhankelijk van de richting waarin het wordt uitgestraald. De magnetische richting waarheen het signaal van een VOR wordt uitgestraald wordt radiaal genoemd. Wie op radiaal 270 zit, bevindt zich vanuit de VOR gezien in die richting, en zou $(270-180) = 090$ graden magn. moeten vliegen om naar de VOR toe te komen. Belangrijk is om te onthouden dat dit magnetische koersen zijn. (GPS en INS werken i.h.a. met ware koersen)

Een ontvanger aan boord van het vliegtuig kan hierdoor niet alleen weergeven welk bakken ontvangen wordt, maar ook wat de richting van het vliegtuig t.o.v. het bakken is, dus op welke radiaal het zit.

Een belangrijk verschil tussen NDB en VOR is dat de NDB de richting bepaalt t.o.v. het vliegtuig en de VOR doet dit t.o.v. het bakken. De heading van het vliegtuig is dus voor een VOR totaal onbelangrijk, maar voor een NDB bepaalt de heading waar de naald heenwijst.

De weergave van een VOR kan op 2 manieren: in een RMI wijst een pijl naar de VOR, net als bij een NDB. Maar bij een OBI of in een HSI wordt een bepaalde radiaal (Course) ingesteld, waarna het instrument aangeeft of je op die radiaal zit of niet; in dat geval zie je ook of je rechts- of links van de radiaal bent. Als je zo een koers van- of naar een VOR vliegt, zie je ook direct of je van de gewenste radiaal afwijkt.



Een belangrijk voordeel is dat daardoor het langs een bepaalde track wegvliegen van een VOR (bv. radiaal 200 volgen met koers 200) veel gemakkelijker is dan precies op koers 200 van een NDB wegvliegen. Je ziet bij een NDB veel minder snel dat je van je juiste track wordt weggeblazen door dwarswind.

Omdat de indicator (OBI of HSI) altijd 2 radialen heeft waarbij de naald in het midden staat, bv. 030 en 210 of 114 en 294., is er ook een pijltje of driehoekje dat aangeeft of je met de ingestelde Course naar de VOR toe vliegt of juist er vandaan. (TO / FROM).

Met de op dat moment gevlogene heading heeft dat dus niets te maken!

DME VORs worden vaak gecombineerd met een DME, zodat ook de afstand tot de VOR bekend is, en daarmee de positie, maar DME stations komen ook zonder VOR voor.

Bij de DME wordt een door het vliegtuig afgegeven signaal door het grondstation teruggestuurd, en de ontvanger aan boord berekent uit de verstreken tijd de afstand. Als een DME indicator een snelheid of tijd aangeeft, is dat niet de snelheid van het vliegtuig, maar de snelheid waarmee de afstand vliegtuig – grondstation verandert. Zo kan je in een jet die op afstand langs een dme station vliegt, een snelheid van 16 knopen meten.

Oktober 2011,

Enno Laverman

Er is over deze onderwerpen meer te vinden in eerdere presentaties voor de wgFS:

2007 (Enno Laverman) Navigatie in beeld (Groningse website)

Dec. 2008 (Enno Laverman) Nadering en landing op instrumenten

Juni 2009 (Geert Koetje) Gebruik van de FMC

Sept. 2009 (Bart Haarman) Het maken van een realistisch vluchtplan

Dec 2009 (Bart Haarman) Garmin GPS

Deze presentaties staan deels ook op de door Joop mak verzorgde CD.

Een mooie overzichtsvideo over GPS ontwikkelingen is te vinden bij:

http://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/gnss/library/video/

Info over de Europese systemen:

<http://www.esa.int/esaNA/egnos.html>

<http://www.esa.int/esaNA/galileo.html>

Een ppt over de Garmin 1000 is te vinden bij www.caa.govt.nz

Prachtige handleidingen, o.a. het Advanced Avionics Handbook te vinden bij:

www.faa.gov/library/manuals/aircraft of www.faa.gov/library/manuals/aviation

Ook in de Wikipedia is veel over navigatie te vinden.

Oefenvlucht met gebruik van NDB, VOR en DME

Maak deze vlucht eerst eens zoals hieronder aangegeven, met mooi weer, overdag en met goed zicht.

Doe het dan nog eens dunnetjes over met dikke bewolking (overcast) vanaf 1000 voet tot 6000 voet, en verminder het zicht tot rond de 4 km.

Laat tenslotte de autopilot uit, en vlieg dit "met de hand".

Trainingsvlucht met gebruik van NDB - VOR - DME

Gebruik GEEN navigatieprogramma's als FSNav, FSComm, Plan-G en dgl.

Ga overdag met goed weer in een Beech Baron 58 staan op NZDN (Dunedin) rwy 21.

Instellingen vooraf:

Nav1 op 112.70 (SW), **Nav 2** op 115.70 (HL), **ADF** op 378.00 (HL).
Zet de **DME** op Nav 2 (HL) en zet de **Course** op 300 (li. knop HSI).

Open het venster van de **Autopilot** (A knop), en zet **ALT** op 3000, Vert. spd. op 900. Activeer de ALT vast. AP staat natuurlijk nog uit.

Take-off Rw 21. Druk op de **Z** van het keyboard om de AP aan te zetten. Je klimt nu automatisch naar 3000 voet.

1. Vlieg op runwayheading naar **NDB HL**
2. Bij passeren van **HL** rechterbocht naar **hdg. 360**. Volg deze koers tot **5.0 DME HL** (5 n.m. N van HL) Zet intussen de **ADF** op 358.00 (**MI NDB**)
3. Op **5 DME HL** maak je een rechterbocht, vlieg rechtstreeks naar **MI NDB**.
4. Na passeren van **MI** een linkerbocht naar koers **060**.
Zet ADF op SW = 338.00. (Dit is handig om tijdig de linkerbocht te maken; je ziet dan aan het draaien van de naald wanneer radiaal 120 er aan komt.)
5. Zoek en volg radiaal **120/300** naar **SW**. Voorbij **SW** verder op radiaal **300**. Zet de ADF weer op **MI** (358.00) en zet de DME op Nav 1.
6. Op **5 DME 300 SW** (5 n.m. voorbij SW VOR) maak je een linkerbocht naar **MI**
7. Intercept en volg radiaal **210 van SW**. Deze brengt je terug naar Dunedin.
8. Druk op Z om de autopilot uit te schakelen, en land op Dunedin Rwy 21.

Herhaal deze vlucht zonder de autopilot te gebruiken, en bij bewolkte lucht, Overcast 8/8 van 1000 tot 6000 voet. Voeg ook wat verminderd zicht toe....

Veel plezier!

