

# Letecké radionavigační systémy

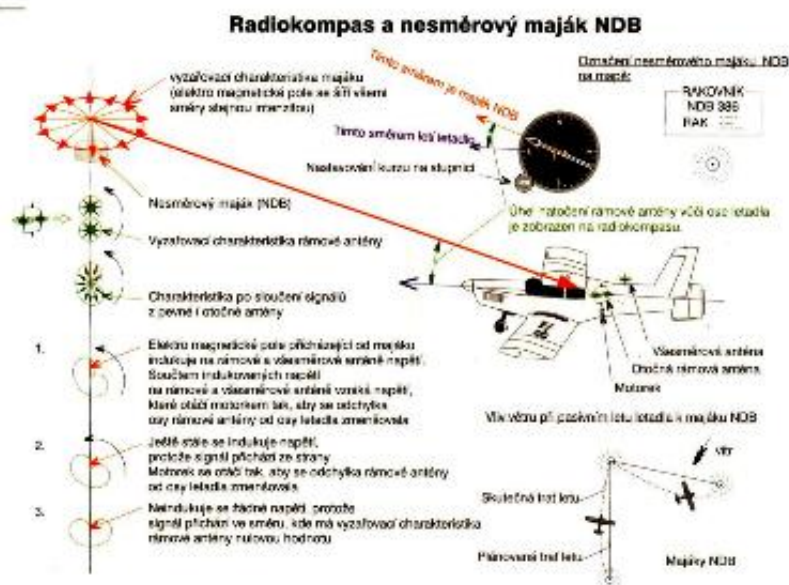
Když se v počátcích letectví vývoj dopracoval tak daleko, že se létající aparáty dokázaly udržet ve vzduchu déle než několik minut, začala nabývat na významu problematika navigace. Stroje začaly být schopny vzdálit se od místa vzletu více než na dohled, a to skýtalo svoje úskalí. Způsoby navigace a přístroje k tomu potřebné prošly obrovským vývojem. Byť jen stručný popis je zcela nad rámec tohoto článku.

Radionavigační prostředky umožňují provedení letu i za nepříznivých meteorologických podmínek (v mracích, mlze, v noci a pod.). Tedy v počasí, kdy není přímá viditelnost země.

V současné době se u moderních proudových letadel používají inteligenční navigační systémy, které jsou schopny provádět syntézu navigačních informací z několika zdrojů. Ve spojení s autopilotem dokáží řídit letadlo od vzletu po přistání. Pokrok techniky však není zatím mnoho patrný ve výbavě letadel používaných zejména pro rekreační letectví. Živelný rozvoj v této oblasti se negativně odrazil ve zpravidla velmi sporé palubní výbavě. Rovněž navigační výcvik, zejména pilotů ultralehkých letadel, není zrovna na ideální úrovni. Vzdušný prostor naší malé republiky je doslova poset prostory, kterým je velice záhodno se vyhnout nebo přesně dodržovat pravidla, která jsou pro ně stanovena. Tyto prostory jsou plošně i výškově přesně vymezeny v AIP (Aeronautical information publication - Letecká informační příručka). Jedná se o zakázané a omezené prostory, CTA (Control area - řízená oblast), CTR (Control zone - řízený okresek) a TMA (Terminal control area - koncová řízená oblast) vojenských a mezinárodních civilních letišť, letové cesty a letové informační zóny letišť AFIS (Aerodrome flight information service - letištní letová informační služba) veřejných vnitrostátních letišť. Přesná znalost své polohy a aktuální znalost zmíněných prostorů (včetně postupů, které jsou v nich stanoveny) je nezbytně nutná pro vlastní bezpečnost a bezpečnost ostatních uživatelů vzdušného prostoru. Toto je mnohdy opomíjeno a neprávem podceňováno. Přitom první požadavek (přesné určení polohy) je možno splnit bez složitých a drahých palubních navigačních systémů. Moderní přijímače satelitní navigace jsou schopny poskytnout velmi přesné údaje o poloze (s přesností desítek metrů) a další informace, které velmi usnadňují orientaci a navigaci. Dlužno dodat, že GPS zatím není v Evropě uznána jako oficiální letecký navigační prostředek (na rozdíl od USA). Lze ho využívat pouze jako doplňkový, což je poněkud paradoxní, neboť je řádově minimálně o jeden stupeň přesnější než běžně používané navigační systémy. Tento stav je způsoben mnoha faktory (od klasické byrokracie, po různé obchodní zájmy atd.). Je to určitě na škodu věci, protože družicová navigace přináší novou kvalitu, jelikož zjednodušuje a podstatně zpřesňuje řešení navigačních úloh.

Stručné charakteristiky nejpoužívanějších radionavigačních systémů :

## System NDB a ADF



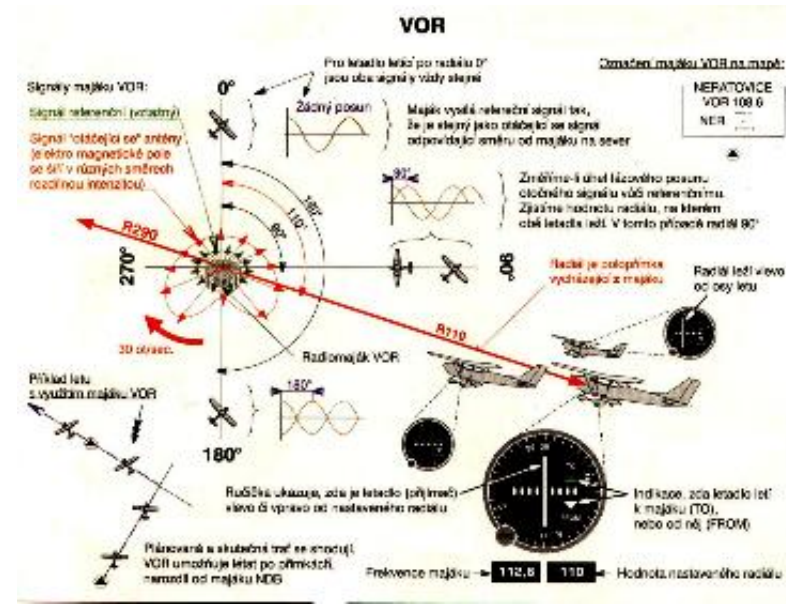
Je jedním z nejstarších a nejrozšířenějších navigačních systémů. Síť pozemních majáků je velmi hustá na celém světě. Pes svou morální i technickou zastaralost a relativně malou přesnost je tento systém díky své jednoduchosti, nízkým provozním nákladům a značné spolehlivosti stále součástí i moderních letadel. NDB se využívají na vytýčení letových cest nebo jako zařízení pro přiblížení na přistání. Radiokompas na palubě po naladění kmitočtu zvolené pozemní stanice ukazuje směr k této stanici. Poletíme-li tedy ve směru, kterým ukazuje šipka radiokompasu poletíme vždy směrem k radiomajáku. Pomocí zaměření dvou NDB lze zjistit průsečíkovou metodou polohu letadla.

*Pozemní vybavení - NDB (Non Directional*

*Beacon - nesměrový maják) - pozemní stanice vysílající všesměrově signál na kmitočtech 200 - 525 kHz.*

**Palubní vybavení** - ADF (Automatic Direction Finder - Automatický rádiový kompas - ARK) - palubní přijímač získává signál z pevné a otočné rámové antény. Součtem signálu z těchto dvou antén vzniká přijímací charakteristika ve tvaru kardioidy (srdcovky), která je význačná tím, že má jedno ostré minimum. Natočením rámové antény na toto minimum lze určit směr na radiomajak NDB. Indikace je realizována na speciálním indikátoru radiokompasu s otočnou, ručně nastavitelnou, kruhovou stupnicí nebo na RMI (radio-magnetic indicator), který je zároveň napojen na magnetický kompas a umožňuje mimo jiné let k majáku s vyloučením snosu větru. **Přesnost systému** je 5° - 7° (pro ilustraci ve vzdálenosti 50 km od NDB je přesnost zaměření 4 - 6 km).

## System VOR



Jeho využití je obdobné jako u NDB. Všeměrový radiomajak vysílá signál, který umožňuje zjistit na palubě letadla magnetický radiál (nebo směrník) vůči poloze majáku (viz. obr.). Po naladění pozemní stanice VOR a nastavení radiálu, po kterém chceme letět, nám indikátor na palubě ukazuje odchylku od zvoleného radiálu. Navíc se VOR zpravidla s údaji DME, využívá k vytýčení letových tratí pro odlety a přelety k letištím a stanocení IAF (Initial approach fix - navigační fix (bod) pro zahájení počátečního přiblížení na přistání) a FAF (Final approach fix - navigační fix konečného přiblížení na přistání).

**Pozemní vybavení** - VOR (VHF Omnidirectional Radio Range - všesměrové maják) má vysílací kmitočty 108 - 112 MHz (vybrané kmitočty) a 112 -

118 MHz (kanály po 50 kHz). Vysílaný nosný kmitočet je modulován referenčním signálem - nezávislém na magnetickém směrníku (je ve všech směrech stejný) a proměnným signálem - závislým na magnetickém směrníku vůči majáku VOR (jeho fáze se mění podle úhlové polohy pozorovatele vůči majáku).

**Palubní vybavení** - přijímač vyhodnocuje fázový posuv referenčního a proměnného signálu, který vyjadřuje hodnotou magnetického směrníku vůči zvolenému majáku VOR. Jako indikátor se využívá buď již uvedený RMI nebo různé sdružené přístroje, zpravidla obsahující OBS (Omni Bearing Selector - selektor tratí - nastavení radiálu k majáku), CDI (Course Deviation Indicator - indikátor traťové odchylky) a TO - FROM indicator (pro rozlišení při letu k nebo od majáku). **Přesnost systému** je 2° - 5° (vezmeme opět vzdálenost 50 km od VOR a tam je přesnost zaměření zhruba 2 - 4 km).

## Měřič vzdálenosti DME



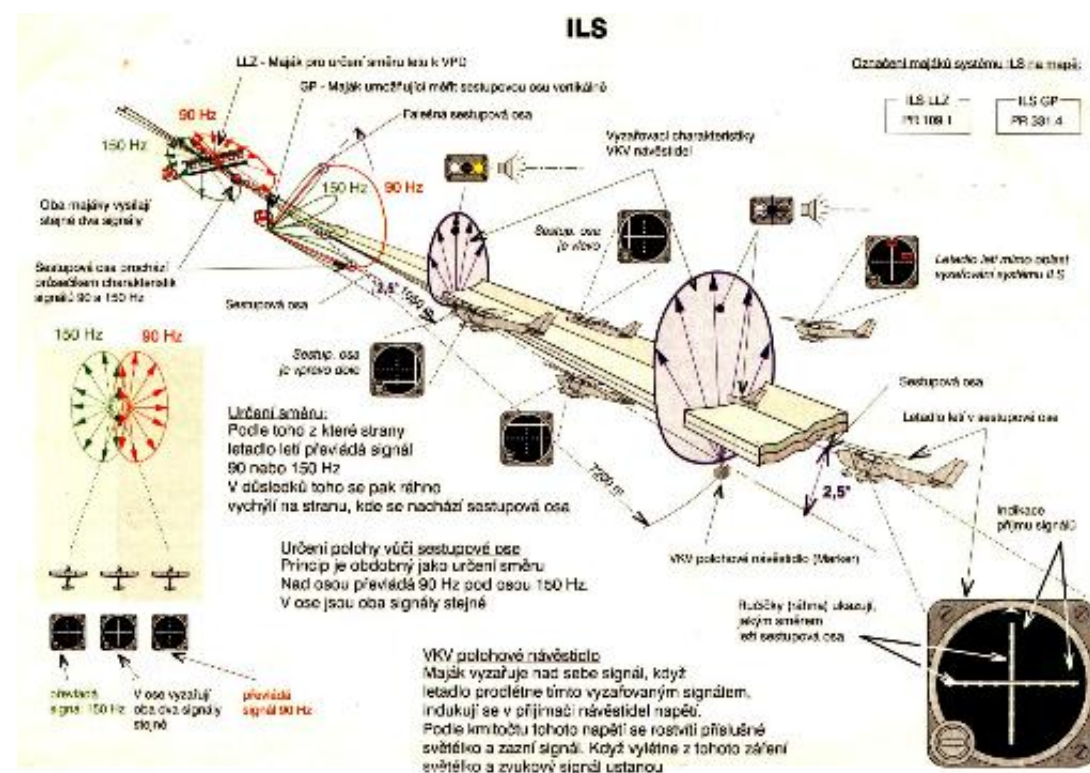
DME (Distance Measuring Equipment) je vlastně impulsový dálkoměr, který měří šikmou vzdálenost od pozemního odpovídáče k letadlu. Odpovídáč je většinou umístěn spolu s radiomajákem VOR. Vzdálenost letadla k DME se vypočítává z času, který uplyne mezi vysláním dvojice impulsů z paluby letadla a příjmem odpovědi od pozemního odpovídáče. Ten je úměrný vzdálenosti odpovídáče a letadla. Na palubě se vzdálenost zobrazí na indikátoru DME

jako číselný údaj v kilometrech nebo námořních mílech. DME je zařízení pracující v kmitočtovém pásmu 960 - 1215 MHz.

**Přesnost systému** - je lepší než 3% měřené vzdálenosti (ve vzdálenosti 50 km od pozemního odpovídáče

je tedy přesnost do 1,5 km)

## Přesný přibližovací systém ILS



ILS (Instrument Landing System) se využívá při konečné fázi přiblížení na letiště (final approach), kdy je schopen poskytovat pilotovi informace o poloze letadla vůči sestupové ose (tj. průsečíku kurzové a sestupové roviny).

### Pozemní vybavení :

- kurzový maják - LLZ (Localizer) - kmitočet 108 - 112 MHz - anténní systém LLZ je schopen vyzařovat nosný kmitočet  $f_n$  a dva postranní amplitudově modulované kmitočty  $f_n$  90 Hz (vlevo ve směru přistání) a  $f_n$  150 Hz (vpravo ve směru

přistání).

- sestupový maják - GP (Glide Path) - 328,6 - 335,4 MHz, kmitočet GP je podle mezinárodně schválené tabulky přiřazen k určitému kmitočtu LLZ. GP rovněž jako LLZ vysílá signály amplitudově modulované kmitočtem 90 Hz (nad sestupovou rovinou) a 150 Hz (pod sestupovou rovinou). Průsečíky vyzařovacích diagramů vytváří sestupovou rovinu (sklon roviny je podle nastavení antén  $2^\circ$  -  $4^\circ$ ). Vzhledem k tomu, že vyzařovací diagram každé z dvojic vysílacích antén má více laloků, vznikají falešné sestupové roviny

- VKV polohová navigační pomůcka - vysílají na kmitočtu 75 MHz. Mají úzkou vyzařovací charakteristiku kolmou na zemský povrch. Zpravidla se instalují dvě navigační pomůcky: OM (Out Marker - vnější navigační pomůcka) ve vzdálenosti zhruba 6500 až 11000 m od prahu dráhy a MM (Middle Marker - střední navigační pomůcka) ve vzdálenosti zhruba 1 km od prahu dráhy. Polohová navigační pomůcka slouží k označení vzdálenosti od prahu dráhy.

**Palubní vybavení :** - signály z kurzového i sestupového majáku jsou na palubě zpracovány a předány na indikátor CPI (Cross Pointer Indicator), který může být i součástí sdružených indikátorů. Indikace na palubě je "povelová", čili průsečík ručiček CPI ukazuje pilotovi, kterým směrem je třeba provést opravu. Tzn. je-li průsečík v levém horním kvadrantu, je třeba letadlo převést do mírné levé stoupavé zatáčky. Průlet nad VKV polohovými navigačními pomůckami je na palubě letadla opticky a zvukově signalizován. Upozorňuje pilota na vzdálenost od prahu dráhy. Palubní vybavení pro systémy ILS a VOR je stejné. Systém ILS využívá liché kmitočty a VOR sudé.

## MLS

MLS (Microwave Landing System) - pracuje v kmitočtovém pásmu jednotek GHz - měl být nástupcem ILS. MLS je přesnější než ILS a umožňuje přiblížení pod různými sestupovými úhly pro každé letadlo individuálně. Vzhledem k obrovským nákladům, které by představovala instalace tohoto systému na letiště a paluby letadel a k dalšímu zdokonalování diferenční GPS, bude pravděpodobně prosazení MLS velmi obtížné.

### Pozemní vybavení :

- kurzový vysílač

- měřič vzdálenosti DME nebo DME/P

sestupový vysílač

- kurzový vysílač nezdařeného přiblížení

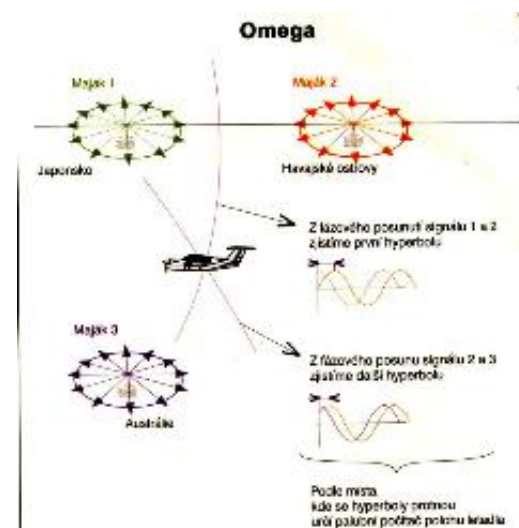
- úhlové informace o podrovnání

Kurzový a sestupový vysílač má listové vysílací charakteristiky, které kmitají ve stanovených sektorech (kurzový vysílač kmitá  $40^\circ$  od sestupové osy a sestupový vysílač pokrývá vertikální sektor od  $0,9^\circ$  do  $7,5^\circ$ ).

**Palubní vybavení :**

- přijímač musí dekódovat číslicové údaje a pulzy úhlové části MLS. Poloha letadla vůči sestupové ose je vyjádřena časovým rozdílem dvou přijatých impulsů (z jedné krajní polohy do druhé a zpět) listové charakteristiky kurzového (sestupového) vysílače. Systém DME lze z paluby letadla přepínat do dvou různých režimů činnosti. Režim IA (Initial Approach) je využíván při počátečním přiblížení a režim FA (Final Approach), který má přípustnou chybu jen několik desítek metrů a nastavuje se ve vzdálenosti menší než 15 km od prahu dráhy, ve fázi konečného přiblížení.

## OMEGA



Jedná se o globální fázový hyperbolický systém skládající se z osmi pozemních majáků (Norsko, Libérie, Havaj, Severní Dakota, Reunion, Argentina, Austrálie a Japonsko). Tyto majáky vysílají v pásmu myriametrových vln, každý postupně na třech kmitočtech (10,2 13,6 a 11,3 kHz) s přestávkou 0,2 s.

Pásmo "velmi dlouhých" vln bylo zvoleno z důvodu, že tyto vlny jsou schopny se šířit na velké vzdálenosti (více než 10 000 km). Proto stačí k celosvětovému pokrytí pouze osm stanic.

Vzhledem k tomu, že vysílací doby jednotlivých kmitočtů se u majáků liší a žádný kmitočet není vysílán dvěma majáky současně, lze je díky tomu jednoznačně identifikovat. Vysílací cyklus systému Omega je 10 s, během kterých postupně každý z osmi majáků vyše tři uvedené

kmitočty. Metoda určení polohy spočívá v tom, že palubní počítač, do kterého je před startem vložena počáteční poloha letadla, vyhodnocuje fázový posuv signálů njméně od tří majáků. Fázový rozdíl signálu ze dvou majáků nám určí polohovou čáru - hyperbolu, na které je tento fázový rozdíl vždy stejný. Určíme-li obdobným způsobem polohovou čáru pomocí jiné dvojice majáků, pak v průsečíku (fix) těchto polohových čar se nachází poloha letadla. Zadání počáteční polohy letadla slouží k zajištění jednoznačnosti fixu.

*Přesnost systému je 2-8 km.*

## Družicová (satelitní) navigace

Úvodem je nutno připomenout, že zkratka GPS (Global Positioning System) je vlastně jiný název pro systém NAVSTAR (Navigation System using Time And Range - navigační systém používající čas a vzdálenost), což je družicový navigační systém provozovaný ministerstvem obrany USA. Mnohdy se označení GPS bere jako obecné označení pro systémy družicové navigace, což není správné, byť jde o systém nejrozšířenější.

Pozemní navigační majáky trpí řadou nedostatků, z nichž nejnepříjemnější je malý dosah a závislost na okolním terénu (ten formuje jejich vyzařovací charakteristiku). S rozvojem kosmonautiky se přímo nabízela myšlenka využití družic jako kosmických majáků sloužících k určení polohy na Zemi. Existují

různé druhy satelitní navigace. Zmiňme se o několika nejpoužívanějších metodách určení polohy pomocí družic :

### *metoda úhломěrná*

- analogicky jako v astronomické navigaci změříme elevační úhel minimálně dvou nebeských těles (družic) nebo provedem opakované měření stejné družice (vzhledem k rychlému pohybu družic po nebeské sféře, a tím i rychlé změně azimutu a výšky družice, je možné provést opakované měření zhruba po dvou minutách). Tato metoda je však technicky velmi náročná a na palubě letadel by vyžadovala složité anténní systémy pro přesné směrové zaměření družic. I pro svoji malou přesnost není v praxi používána.

### *metoda dopplerovská*

- jejím základem je skutečnost, že pohybují-li se vůči sobě zdroj a přijímač signálu, pak se liší kmitočet vyslaný od kmitočtu přijatého (důkaz - míjí-li vás automobil, pozorujete změnu zvuku motoru, přestože motor bude pracovat ve stejných otáčkách). Tato vlastnost se nazývá Dopplerův jev. Družice, která se pohybuje po oběžné dráze vysílá kromě stabilního kmitočtu časové značky a údaje o parametrech své dráhy, ze kterých je počítač přijímače schopen vypočítat polohu družice. Přijímač dále obsahuje přesný oscilátor pracujícím na stejném kmitočtu jako vysílač družice. Jeho signál je směřován se signálem přijatým. Časové značky slouží k ovládní čítače, který počítá periody rozdílového (Dopplerova) kmitočtu. Z uvedených údajů můžeme po provedení alespoň tří měření vypočítat polohu přijímače.

Ve službách amerického námořnictva je od poloviny šedesátých let zasazen systém Transit, který pracuje na bázi dopplerovské metody. Jeho hlavní nevýhodou je, že signál družic není nepřetržitě dostupný. Systém Transit je již zastaralý a dožívá.

### *metoda dálkoměrná*

- je založena na měření vzdálenosti příjemce od jednotlivých družic. Známe-li vzdálenost (respektive čas, který potřebuje signál, aby překonal vzdálenost družice - přijímač) alespoň od tří družic, je možno, známe-li polohu družic, vypočítat polohu přijímače.

### *aktivní dálkoměrný systém*

- pozemní řídicí stanice pomocí družic adresněvyše dotaz. Adresát rovněž prostřednictvím družic odpoví stanici, která vyhodnotí zpoždění odpovědi od jednotlivých družic systému a vypočítá z nich polohu adresáta. Opět je samozřejmě nutná znalost polohy družic v daném okamžiku . . .