

MERRE? TOVÁBB! MŰHOLDAS NAVIGÁCIÓ!

**Urbán István százados
egyetemi tanársegéd
Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem
Hadtudományi Kar
Repülő tanszék**

Az ICAO megalakulása óta mindig nagy óvatossággal kezelte az új fejlesztésű navigációs berendezések bevezetését, gondoljunk csak a VOR—DME „győztesként” való megnevezésére a LORAN-al szemben.

Ez nem a Szervezet Konzervativizmusából ered, hanem abból a jól felfogott repülésbiztonsági elvből, mely szerint addig, amíg egy új rendszer nem elégíti ki TELJES körűen az önálló fedélzeti berendezések hármaskövetelményét (elérhetőség, folyamatosság, teljesség), addig a régi, jól bevált rendszer alkalmazását ajánlja az annexekben. Nem volt (lesz) ez másképp a műhold navigációs rendszerek vonatkozásában sem. Hosszú út vezet majd el addig az időpontig mikortól a legújabb fejlesztésű GPS-vevőket korlátozás nélkül alkalmazhatjuk a légi navigáció bármely (útvonal navigáció, precíziós megközelítések) szakaszában.

Az utóbbi egy évben számos olyan változás történt e téren, amely előrelépést jelent azon vonatkozásokban, melyek az (eddig) ICAO kétségeket csökkentik, esetenként megszüntetik.

Az Amerikai Egyesült Államok Szövetségi Légügyi Hivatala elfogadta a TSO—C—129 szabványt, mely — bizonyos feltételek mellett — engedélyezik a műhold navigációs vevők kizárólagos alkalmazását a repülés ÖSSZES fázisában.

Ezáltal olyan kezdő lépést tett meg a polgári légi közlekedés második legnagyobb szervezete, amely előre vetíti a felhasználók számára azt a jövőképet, melyet talán még a GPS-rendszer megalkotói sem gondoltak volna.

A GPS-RENDSZER ALKALMAZÁSA A REPÜLÉSBEN

A léginavigáció felosztható:

- Útvonal navigációra;
- leszálláshoz történő megközelítés navigációjára.

A GPS RENDSZER ALKALMAZÁSA ÚTVONALNAVIGÁCIÓRA

Az ilyen repülési feladatok végrehajtásában 19 500 láb repülési magasság felett kizárólag műszerrepülési szabályokat (Instrument Flight Rules, IFR) kell alkalmazni [1]. A navigáció alapját földön telepített NDB (a volt Szovjetunió tagországokban), VOR–DME, valamint LORAN (Észak-Amerikában) adók képezik. Ezen adóberendezések működési elvének ismertetése nem feladata a cikknek annál is inkább mivel az alapgondolat, a működési frekvencia, a navigáció pontossága rendszerenként más és más.

Azonosak azonban a fent említett navigációs rendszerek hátrányai a GPS rendszerrel összehasonlítva:

- nem globális, hanem csak regionális jellegűek;
- kisebb–nagyobb mértékben ugyan, de függenek a meteorológia viszonyoktól (például zivatar tevékenység);
- a navigációs lefedettség és más kritériumok teljesítése érdekében régióként több száz földi állomást szükséges telepíteni;
- ezen földi állomásokat a karbantartások idejére ki kell kapcsolni, a kikapcsolt adók működésképtelenségét külön tájékoztató közlemények (Notice to Airmen, NOTAM) útján kell tudatni az érintettekkel;
- helyzet meghatározási pontatlanságuk akár 10–20 szorosa (0,5-1 NM) is lehet a GPS rendszer C/A kódú S/A hozzáférésű helyzet meghatározási hibájának (0,05 NM);
- kivonásuk a közeljövőben (NDB: 2002-ben, VOR: 2005-ben) várható.

Az ICAO a fent említett időtartamnál előbb is üzemben kívül helyeztethette volna a szóban forgó földi állomásokat és fogadhatta volna el a GPS-vevőket. Amiért nem tette annak az, az oka, hogy a légi járműnek az érvényben levő ajánlás (ANNEX) alapján az elsődleges navigációs berendezés (Primary Navigational Own) működésképtelenségekor ezt kijelzvé át kell térnie egy másik, ún. alpnavigációs, önállóan alkalmazható rendszerre (Stand-alone Navigational Own), ezáltal biztosítva a navigációs berendezések hármas alapkövetelményét: az elérhetőséget (availability); a folyamatosságot (continuity) és a teljességet (integrity). Ezért a GPS-vevők — azon túl hogy önálló rendszerként alkalmazhatók — társíthatók más rendszerekkel is mint hibrid navigációs egységek. Az önálló és hibrid egységek határvonalát képezi az a tény, hogy a GPS vevő önálló integritásfigyeléssel (Receiver Autonomus Integrity Monitoring, RAIM) rendelkezik-e.

Ez a részegység az éppen „látott” NAVSTAR műholdak ideiglenes műkö-

désképtelensége esetén átkapcsolja a berendezést a GPS „meghajtásról” egy másik alpnavigációs rendszerről történő üzemelésre.

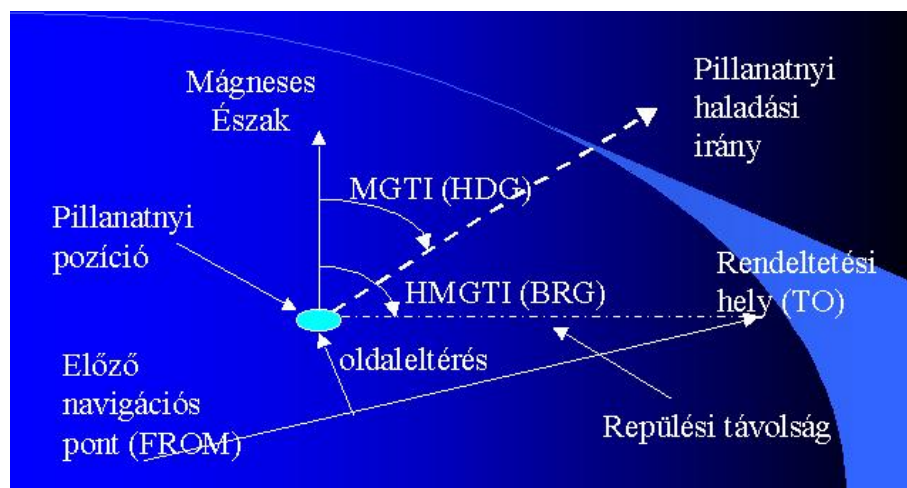
Az USA Szövetségi Légügyi Hivatal-a (Federal Aviation Administration, FAA) a repülésben alkalmazott GPS-vevőkre a végrehajtandó repülési feladat függvényében az alábbi osztályokat és kategóriákat határozta meg. [2]

Műszerrepülésre alkalmas GPS vevőberendezések osztályai és kategóriái (TSO-C129)						
Beren-dezés-kategóri-ája	RAIM	RAIM-al megegyező-séget biztosító integrált navigációs rendszer	A repülés végrehajtásának fajtái			
			Óceán	Útvonal	Közelkörzeti	Nem precíziós megközelítések
„A” osztály — GPS-vevő és navigációs képesség						
A1	igen		Igen	Igen	igen	igen
A2	igen		Igen	igen	igen	nem
„B” osztály — GPS-vevő adattovábbítása egy integrált navigációs berendezés pl. FMS felé						
B1	igen		igen	igen	igen	igen
B2	igen		igen	igen	igen	nem
B3		igen	igen	igen	igen	igen
B4		igen	igen	igen	igen	nem
„C” osztály — GPS vevő adattovábbítása egy integrált navigációs berendezés felé, mely automatizáltan biztosítja a légi jármű vezetését a repülés-technikai (emberi) hibák csökkentése érdekében						
C1	Igen		igen	igen	igen	igen
C2	Igen		igen	igen	igen	nem
C3		igen	igen	igen	igen	igen
C4		igen	igen	igen	igen	nem

Bővebb magyarázat szükséges a táblázat jobb oldali „nem precíziós megközelítések” oszlopához, melyet a I.1.-es fejezetben fogok részletesebben tárgyalni.

Viszont nem szükséges semmit sem hozzáfűzni az ábra fennmaradó oszlopaihoz, ui. látható hogy az összes útvonalrepülési fajtánál a GPS-vevők minden táblázatban definiált osztálya korlátozás nélkül alkalmazható.

A GPS-rendszer segítségével az útvonalrepülések bármilyen más útvonalnavigációs berendezéshez képest lényegesen egyszerűbben, pontosabban hajthatók végre (1.ábra)



1. ábra
Útvonalrepülés GPS felhasználásával

Európában 1998. április 23. óta minden 10000 láb felett repülő légi jármű számára kötelező egy olyan terület navigációs rendszer (Area Navigation – RNAV) használata, melynek navigációs hibája 0,5 NM lehet. [3.] A légi jármű üzemeltetőknak emiatt modernizálniuk kell repülő eszközeiknek avionikai berendezéseit.

Ez igaz a két legnagyobb hazai „vállalatra” a MALÉV Rt.-re és a Magyar Honvédségre is.

A legnagyobb magyar polgári légiforgalmi részvénytársaságnál a régebbi „nyugati” gyártású (Boeing 737–200) repülőgépeknek, illetve a volt Szovjetunióban gyártott repülőgépeknek (Tupoljev–154) kell átesniük modernizáción.

Az előbbi típussal kevesebb problémája fog adódni a légitársaságnak, mivel ezek a légi járművek lízingelt repülőgépek és a korszerűsítés gyárilag megoldható a következő nagyjavítás alkalmával, míg a magasabb típusszámú Boeinge

(737–300; –400; 767–200) illetve az új Fokkerek eredetileg beépített Flight Management Computer System — FMS/RNAV berendezéssel rendelkeznek.

Nagyobb azonban a probléma a saját tulajdonú volt szovjet gyártású Tupoljev–154 típusokkal. Ezek a légi járművek teljesen új FMS beépítését igénylik, ugyanis eddig (2000. január) egyetlen orosz (volt szovjet) gyártású légi jármű sem rendelkezett gyári tervezésű és beszerelésű, megfelelő pontosságú terület navigációs rendszerrel. A probléma volumenét tovább növeli, hogy a nyári időszakban a légitársaság a megnövekedett charter-járatok igénye miatt további hasonló típusú repülőgépeket szándékozik bérelni. A legutóbbi információk szerint az RNAV-berendezés beépítését egy Észak-Amerikai elektronikai vállalat fogja elvégezni, és e rendszer lelke (meghajtója) GPS-berendezés lesz. Ez a megoldás mindenképpen jobb lesz, mint a jelenleg használt RAIM nélküli, C/A kódú, S/A hozzáférésű GPS-vevő amit már kb. 4 éve üzemeltet a légitársaság a TU–154 repülőgépek fedélzetén.

A Magyar Köztársaság Légierőjén belüli pillanatnyi helyzet nagymértékben hasonló a MALÉV 4-5 évvel ezelőtti GPS üzemeltetési-felhasználási körülményeihez. Figyelembe véve a feladat végrehajtási magasságait a különböző légi jármű típusoknak 10 000 láb útvonal repülési magasság nem tipikus a könnyű és közepes szállító helikopterek valamint a könnyű szállító repülőgépek esetében. Ezért ezen légi járművek avionikailag még ideig-óráig üzemben tarthatóak persze csak akkor ha:

- nem helyezik őket NATO csapatok alárendeltségébe;
- az országhatárt nem repülik át;
- csak kizárólag látvarepülési szabályok (Visual Flight Rules, VFR) szerint hajtják végre feladataikat.

Amennyiben bármelyik feltétel a fenti hároomból nem teljesül, a korszerűsítésre sort (pénzt) kell keríteni.

A közepes szállító repülőgépek, valamint a harcászati repülőezredek gépparkjainál a legnagyobbak az avionikai hiányosságok ui. ezek a légi járművek több olyan repülési feladatot hajtanak végre (hazai és nemzetközi légi szállítások, külföldi éleslövészetekre való ki és hazatelepülések, nagymagasságú útvonalrepülések) amelyek szükséges (lenne) az RNAV rendszer.

Ezért a közepes szállító repülőgépek, valamint a harcászati repülőezredek repülőgépparkjainak avionikai korszerűsítése — véleményem szerint — a legfontosabb tennivaló.

Összegzésként megállapítható, hogy az előzőekben említett hiányosságok a Magyar Honvédség légi járművei navigációs téren csak a legszűkebb keresztmetszeten képesek a NATO-val való útvonal navigációs együttműködésre, így nem teljesíti a géppark sem a kompatibilitás sem az interoperabilitás kritériumait.

A GPS RENDSZER ALKALMAZÁSA A LESZÁLLÁSHOZ TÖRTÉNŐ MEGKÖZELÍTÉS NAVIGÁCIÓJÁBAN

Ez a repülési fázis — többek között — közel körzeti navigációra (Terminal Area Navigation) és a végső megközelítés navigációjára (Final Approach Navigation) osztható fel.

Az előbbi eset lényegében útvonalrepülést jelent, melynek helyzet meghatározásához elegendő minden RAIM-al ellátott, C/A kódú, S/A hozzáférésű GPS-vevő. (lásd TSO-táblázat)

A végső megközelítési eljárás kétfelé bontható, ún. precíziós /nem precíziós megközelítésekre (Precision/non Precision Approach), melyek megkülönböztetésének egyik alapfeltétele földet érési zónában (Touchdown Zone) a meteorológia adatok (elsősorban a felhőalap és a vízszintes látás) meghatározott érték alá csökkenése.

A *nem precíziós megközelítések* földi navigációs adóberendezései viszonylag pontatlanabbak, közel sem nyújtanak olyan minőségű és mennyiségű információt a légi jármű személyzeteknek, mint a precíziós megközelítésekre alkalmas berendezések. Ebből következően a nem precíziós rendszerek „repülőtéri leszállási minimum” jellemzői (az elhatározási/minimális süllyedési magasság és látástávolság értékei) kb. 50%-al kedvezőtlenebbek a precíziós rendszerek hasonló értékeinél.

A fentiek szemléltetésére célszerű megvizsgálni egy adott nemzetközi repülőtér (Budapest — futópályájának 31-es Jobb) „B” kategóriájú légi járművekre vonatkozó leszállási minimum értékeit a különböző leszállító rendszerek függvényében [4].

Leszállító r. típusa			Megjegyzés
ILS	Elhatározási magasság	Futópálya menti látástávolság	Precíziós megközelítési eljárás
	61 m	720 m	
VOR—DME	Minimális süllyedési magasság	Általános látástávolság	NEM Precíziós megközelítési eljárás
	117 m	720 m	
NDB	Minimális süllyedési magasság	Általános látástávolság	NEM Precíziós megközelítési eljárás.
	117 m	1200 m	

2. ábra

Budapest—Ferihegy 31 jobb futópályájának leszállási minimum értékei

A leszállási minimumok mivel sok más tényezőtől függenek (például akadálymagasságok, domborzatok) így értékeikben (azonos leszállító rendszert feltételezve) kisebb-nagyobb eltérések lehetnek.

Az ICAO ajánlásait betartván a polgári légitársaságok „járatgépei” mindhárom rendszert tudják alkalmazni.

Sajnos ugyanez nem mondható el a Magyar Köztársaság Légierőjének légi járműveiről, ui. összesen 4 db (!) repülőgép képes használni mindhárom rendszert. A géppark fennmaradó része csupán a legkedvezőtlenebb minimumokkal bíró NDB rendszert képes alkalmazni, azt is csak kisebb-nagyobb korlátozások (repülés közben nincs lehetőség a földön előre behangolt-beprogramozott adóállomások újrahangolására) figyelembe vételével.

Még szomorúbb a helyzet, ha figyelembe vesszük, hogy a NATO legelterjedtebb leszállító rendszerét (Tactical Air Navigation, TACAN) egyetlen magyar katonai légi jármű sem tudja alkalmazni.

A fent említett problémákra megoldást jelentene RAIM-al ellátott GPS-vevők beépítése, mivel a TSO-C129 [4] szabvány értelmében — amit a NATO is elfogadott — a GPS A1, B1, C1 valamint a RAIM-hoz hasonló képességeket biztosító GPS vevők közül a B3, C3 osztályba soroltak alkalmasak nem precíziós megközelítési eljárások végrehajtására. (lásd TSO-táblázat)

A *precíziós megközelítések* főbb jellemzői közül — a teljesség igénye nélkül — meg kell említenem:

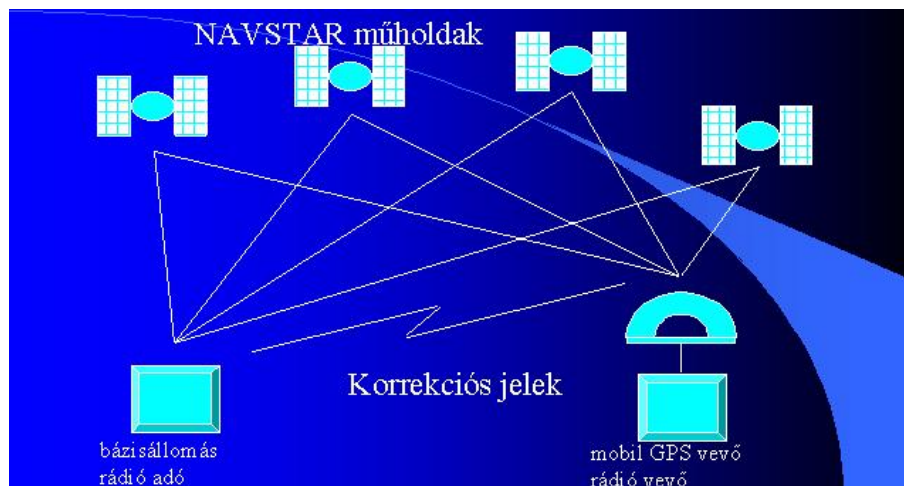
- a jelentékenyen pontosabb (adott esetben 5–10 m) navigációt követel meg;
- a folyamatos süllyedési profil (siklópálya, Glide Path-GP) kijelzést kell biztosítania;
- a folyamatos irányosság (Localiser-LOC) információt;
- és a földet érési zónától számított távolságértékeket szükséges jeleznie.

A legutolsó két követelményt bármely GPS vevő teljesíteni tudja, azonban az első két feltétel teljes körű lefedésére sem a C/A, sem a P/Y kódú („katonai”) vevők nem alkalmasak, mivel ezek helyzet meghatározási hibája 2÷20 szorosa a megkívánt értékeknek.

Fentiekhez kapcsolódóan meg kell jegyezni, hogy a GPS helyzet meghatározás egyik legpontosabb módszere az ún. valós idejű (Real-time) differenciális üzemmódban lehetséges, amelyet elsősorban a geodéziában, a térképészetben illetve bizonyos esetekben a precíziós megközelítési eljárások során alkalmaznak. Ebben az üzemmódban egy (vagy több) C/A kódú, S/A hozzáférésű vevő-pár együttes üzemeltetésére van szükség úgy, hogy az egyik vevő (bázis) egy ismert koordinátájú pontra települ, a másik pedig a repülőgépre, mozgó járműre kerül. A bázisvevő határozza meg a vevő és a műholdak közötti távolságkorrekciókat úgy, hogy a mért távolságból kivonja az ismert pont koordinátáit, illetve a

műholdak pályadatai alapján számított távolságokat, majd megfelelő csatornán továbbítja azokat a mozgó vevőbe. (3. ábra) Ezzel a módszerrel a GPS helyzet meghatározásuk pontosságát befolyásoló tényezők közül kiküszöbölhető:

- a műhold pályahibája;
- a műhold órájának hibája,
- az ionoszféra hatása;
- a troposzféra hatása;



3. ábra
A differenciális GPS/DGPS technika elve

Egy adott területen belül a differenciális navigáció pontossága jelentősen jobb lehet a polgári felhasználók kb. 100 méteres helyzet meghatározási hibájánál.

A fentiek bizonyítására megemlíthető, hogy az USA Nemzeti Oceanológiai és Légköri Hivatala (National Oceanological and Atmospheric Agency, NOAA) által még 1990-ben végrehajtott kísérletei során egy 680 km/h sebességgel haladó repülőgépen elhelyezett GPS-vevő 300 kilométeres távolságon 1 cm horizontális, és 2 cm vertikális hibát „gyűjtött” össze. A kísérleti repüléseket rendkívül kedvezőtlen időjárási körülmények közepette is megismételték, de a felhalmozódott hiba nem haladta meg a 3 illetve 6 centimétert.

A fenti eset kurióznak tekinthető, ui. a gyakorlati tapasztalatok alapján a navigációs pontatlanság az 1-5 m közötti tartományon belülre „hozható”. Ugyancsak empirikus úton bizonyított tény, hogy a felhasználóknak célszerű egy, a bázisállomás, mint centrum köré rajzolt kb. 50 NM/93 km sugarú körön belül maradni az utóbb említett pontosság érdekében. E kritérium hazánk földrajzi

terjedelmét figyelembe véve könnyen teljesül.

Jelentős egyszerűsítést jelentene, ha a korrekciós jelenet sugárzó rendszert egy már „üzemelő” telekommunikációs frekvenciasávban üzemeltetnénk.

A repülőgép fedélzetén telepítendő berendezések:

- GPS-vevő DGPS-re előkészítve;
- 1 m felbontású barometrikus vagy rádiómagasság mérő (napjainkban már számos GPS-vevő tudja ezt biztosítani!);
- adatátviteli rádió berendezés.

A földön telepítendő berendezések:

- adatátviteli rádió berendezés (korrekciós adatok, barometrikus adatok, DGPS korrekciós jelek képzéséhez);
- intelligens, vezérlő egység (a kommunikációt vezérli a földi berendezés és a repülőgép, illetve a számítógép felé);
- PC-alapú számítógép rendszer.

A DGPS rendszer előnyei:

- nagyobb pontosság;
- az ország egész területére biztosítaná a DGPS korrekciós jeleket;
- az egyetlen nagy pontosságú bázisállomást kell csak telepíteni;
- precíziós megközelítésekre is alkalmassá tehető a rendszer.

Az utolsó kitétel bizonyítására meg kell említenem azt az esetet amikor az FMS rendszerrel egybeépített DGPS-rendszert alkalmazták Észak–Amerikában precíziós leszállító rendszerként. Ekkor az „elért” hiba — egy repülőtér meghatározott bejövetele irányán — húsz centiméter volt mind a siklopályán, mind az irányzávon mérve. Ez azonban földrajzi és technikai értelemben véve nem széleskörűen elterjedt rendszer, főleg azért nem mert talán ez a legköltségesebb konfiguráció a GPS berendezések közül [5].

Az azonban már Európában (szerencsére Ferihegyen a Légiforgalmi és Repülőtéri Igazgatóságnál is) számtalan esetben előfordult hogy a precíziós leszállító rendszerek (ILS, RSZBN) ún. hitelesítő berepülését DGPS-alapú rendszerrel oldották meg, minden eddigi rendszerrel megbízhatóbban és pontosabban.

Sajnos a NATO tagállamok európai hadseregeihez viszonyítva a Magyar Honvédség nincs ilyen kedvező helyzetben ui. nincs önálló DGPS-rendszere sem a Légierőnek sem pedig a Szárazföldi Csapatoknak. A Magyar Köztársaság Fegyveres Erőit és Testületeit képes lenne kiszolgálni egy megfelelően elhelyezett, teljes konfigurációt tartalmazó bázisállomás, mint ahogyan ezt például a Bundeswehr-nél megvalósították még 1996-ban.

BEFEJEZÉS

Összegzésként megállapítható, hogy a NATO csatlakozás után is még számos tennivalónk van a navigációs interoperabilitás és kompatibilitás eléréséig. Ennek egyik alternatíváját (talán az egyik legpontosabbat) kínálja számunkra a különböző GPS konfigurációk alkalmazása.

A költségek elemzése után a döntéshozók felelőssége kiválasztani a megfelelő berendezést.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] 44. sz. Egyesített Légügyi Előírás KHVM Légügyi Főosztály, Budapest, 1990.
- [2] Federal Aviation Administration: Advisory Circular ,No: 90-94
- [3] Eurocontrol: Related Order to RNAV Systems DOC 003-93 3
- [4] Légiforgalmi tájékoztató Kiadvány Magyar Köztársaság, KHVM Légügyi Főosztály, Budapest 1992.
- [5] G. WARWICK: A New Approach to Approaches

The ICAO — since his foundation — has been carefully accepting the new developing navigation systems' establish for example let us think it over the VOR–DME's victory by the LORAN in the early sixties.

It is not for the Organisation's conservative point of view, because of the International Civil Aviation Organisation has a triple requirement (availability, continuity, integrity) for every new navaid.

As far as these reqs are not perform the principles of safety as well as the ICAO will not recommend the using of any new systems in his ANNEX.

There was not (will not) any other way for the satellite navigation systems. There is (will) a long way to the accurate date when the newest developing GPS-receivers are (will) able to establish in the any form (en–route precision approaches) of the air navigation. The last year has been bringing a great amount of change, what means a big step forward to us, besides that the ICAO's doubt will have decreased at a minimum rate by 2005.

The FAA accepted the Technical Standard Order No: C–129 in 1999, which is approved the using of the satellite navigations systems in all of the flying's phases.

At last but not least the Earth's No:2 Civil Aviation Organisation made a big footprint that shows us a kind of future which was unbelievable a couple years ago.