



Overenie systému DGPS na priblíženie podľa prístrojov na letisku Žilina

prof. Ing. Dušan Kevický, CSc., Ing. František Jůn, CSc.

Abstrakt: Článok popisuje letové overenie priblíženia podľa prístrojov na letisko Žilina pomocou DGPS s využitím korekcií zistených referenčnou stanicou Katedry rádioelektroniky ČVUT Praha, vysielaných na DV vysielacom Poděbrady vrátane spracovania nameraných hodnôt metódami matematickej štatistiky a porovnania výsledkov so stanovenými požiadavkami ICAO RNP na presnosť pri priblížení na pristátie podľa prístrojov.

Kľúčové slová: Priblíženie podľa prístrojov, korekcie, zostupová rovina, satelitné navigačné systémy, navigačná výkonnosť, presnosť, integrita, kontinuita, pohotovosť, referenčná stanica, diferenčné meranie

Zvýšenie presnosti satelitných navigačných systémov je z veľkej časti založené na tzv. diferenčnom princípe. Tvorí základ satelitných rozšírených systémov, ktoré sú okrem presnosti budované aj pre zabezpečenie takých dôležitých parametrov, ktoré vyplývajú zo schválených štandardov a odporúčaných postupov, ktoré boli vypracované pracovnou skupinou ICAO za účelom dosiahnutia rovnakých, prípadne lepších štandardov, aké poskytujú existujúce radionavigačné a iné prostriedky a systémy.

Tieto štandardy definujú požiadavky na výkonnosť. Požadovaná navigačná výkonnosť RNP (Required Navigation Performance) je stanovená s uvažovaním celého satelitného systému pri súvislom pokrytí v priestore SIS (Signal in space). Rozšírené systémy poznáme:

- a) systémy s pozemným rozšírením GBAS (Ground Based Augmentation systems)
- b) systémy s palubným rozšírením ABAS (Air Based Augmentation systems) a
- c) systémy so satelitným rozšírením SBAS (Satellite Based Augmentation systems)

Rozšírené systémy sa zavádzajú pre nevyhnutnosť zabezpečenia požiadaviek RNP na presnosť, integritu a čas do výstrahy, kontinuitu a pohotovosť. Sú dostatočne známe a sú uvedené v Dodatku k Annex 10 ICAO.

Systémy so¹ satelitným rozšírením sú implementované súčasne tri: veľkoplošný rozšírený systém WAAS v Severnej Amerike, systém s rozšírením pomocou satelitov MTSAT- MSAS v Ázii a pacifickom priestore a služby európskeho navigačného pokrytia EGNOS. Tieto systémy na zvýšenie presnosti navigácie využívajú okrem iného aj sieť pozemných diferenčných majákov.

prof. Ing. Dušan Kevický, CSc. – Katedra leteckej dopravy Žilinskej univerzity, kevicky@pedas.utc.sk
Ing. František Jůn, CSc. – Katedra leteckej dopravy Žilinskej univerzity, jun@fpedas.utc.sk

Jedným z prvých, kto sa zaslúžil o vybudovanie a prevádzku diferenčného majáka na území českej republiky bol prof. Ing. František Vejražka, CSc., z katedry elektroniky ČVUT Praha. Dlhovlnný maják bol situovaný v priestore Poděbrad. Pretože bol záujem overiť kvalitu diferenčných korekcií v čo najväčšej vzdialenosti od majáka, bolo uskutočnené v spolupráci s katedrou leteckej dopravy Žilinskej univerzity v Žiline letové overenie, ktorého popis a výsledky v ďalšej časti príspevku uvedieme.

Po teoretickom posúdení všetkých aspektov diferenčného merania sme dospeli k názoru, že je technicky možné vykonávať priblíženie na pristátie na LZZI pomocou DGPS. Vzhľadom na rýchly rozvoj družicových navigačných systémov a harmonogram ich postupného schvaľovania pre civilnú leteckú prevádzku, by priblíženie na pristátie na LZZI pomocou DGPS v dohľadnej dobe vyriešilo dlhoročný problém letiska Žilina, a to bezpečnosť pri postupoch priblíženia na pristátie za nepriaznivých poveternostných podmienok, ktoré sú na LZZI najmä v zimnom období veľmi časté.

Pred samotným vykonaním meraní bolo nutné stanoviť metodiku a postup pri získavaní a spracovávaní údajov. Vychádzali sme z možností, ktoré máme na KLD – cvičné lietadlo, ktoré je vybavené rádionavigačným zariadením pre priblíženie na pristátie podľa prístrojov, navigačný prijímač GPS GARMIN 95XL, ktorý pri prepojení s DV prijímačom korekcií DLR 04 je schopný pracovať ako DGPS.

Výškomery používané v lietadlách indikujú počas klesania alebo stúpania údaje o výške s oneskorením, ktoré je zapríčinené konštrukciou prístroja. Aj porovnávanie hodnôt barometrického výškomeru s hodnotami indikovanými pomocou DGPS počas zostupu je ovplyvnené viacerými faktormi ako turbulenciou počas letu, chybným čítaním prístroja pozorovateľom ai. Preto bol stanovený bod TDZ/A ako najvhodnejší bod pre porovnávanie skutočnej a nameranej polohy lietadla. Bod TDZ/A bol zameraný samozrejme pomocou súradníc WGS-84 v stanovenom bode dotyku lietadla pri pristátí na dráhu 06 na LZZI. Bod TDZ/A bol vložený do pamäte navigačného počítača a bola naprogramovaná celá trať pre priblíženie podľa DGPS od bodu počiatočného priblíženia IAF BUKOB cez FAF (bod konečného priblíženia), kde začína lietadlo záverečnú fázu klesania cez rádiomaják ZLA, kde je vykonávaná kontrola výšky pred ďalším klesaním, cez rádiomaják Z na 1. km až do bodu dotyku TDZ/A. Bod TDZ/A má nadmorskú výšku (altitude) 1017 ft a tu je v bode dotyku lietadla vždy možné presne porovnať s údajom nameraným DGPS.

Bod TDZ/A je o 60 m nižšie, ako je výška rozhodnutia požadovaná pre I. kategóriu a len o 800 m ďalej v smere pristátia, čo je z hľadiska veľkosti nameranej chyby u dvoch takto blízkych bodov naprosto zanedbateľné.

Bolo rozhodnuté vykonať 30 overovacích letov s pristátím v bode TDZ/A, uložiť do tabuliek a spracovať vhodným aparátom matematickej štatistiky, ktorého výsledok by sa dal porovnať s požiadavkami ICAO na RNP pre priblíženie na pristátie pre I. kategóriu.

V roku 1998 boli na Katedre leteckej dopravy Žilinskej univerzity pod vedením Ing. Jüna vykonané overovacie lety s využitím DGPS. Pre lety sa používal GPS prijímač Garmin 95XL, ktorý má vstup pre príjem korekcií. Pre príjem korekcií bol využívaný prijímač korekcií DLR 04, ktorý zapožičala Katedra rádioelektroniky ČVUT Praha. Tento prijímač pracuje s korekciami, ktoré šíri ČVUT na dlhých vlnách z vysieláča Poděbrady.

Lety prebiehali v blízkosti letiska Žilina - Dolný Hričov (LZZI). Pre lety boli využívané 2 lietadlá Žilinskej univerzity, Zlín Z-43 s trojčlennou posádkou a neskôr aj letún L-200 OM-UHC. Pilot vykonával let a spolu s inštruktorom obsluhoval prijímač GPS Garmin 95XL, ktorý bol prepojený s dlhovlnným prijímačom korekcií DLR 04. Tretí člen posádky zapisoval údaje.

Lietadlá ŽU Z-43 OM-FOR a L-200 OM-UHC sú vybavené požadovaným štandardným spojovacím a navigačným vybavením BENDIX-KING na lety podľa prístrojov.

Pri letoch boli porovnávané údaje z ADF s údajmi DGPS na palube letúna. Kontrolovaný bol prielet nad jednotlivými bodmi trate priblíženia. Lety boli vykonávané na VMC a preto bolo možné prelet nad daným bodom kontrolovať nielen pomocou indikátorov na palube lietadla, ale aj vizuálne. Zostupová rovina pri priblížení bola udržiavaná dodržaním gradientu klesania ako je publikované v približovacej mape a navyše bol zostup kontrolovaný pomocou funkcie Vertical Navigation, ktorú ponúka prijímač Garmin 95XL.

Pri preletoch nad jednotlivými bodmi bola kontrolovaná nielen presnosť určenia polohy, ale aj výška v akej bol prelet vykonaný. Výšky boli odpočítané z palubného výškomera a súčasne z DGPS. Údaje o výške boli zapisované tretím členom posádky. Pretože lety boli vykonávané manuálne (letún nie je vybavený autopilotom), všetky lety boli zaťažené chybou pilotáže (FTE). Za letu boli zaznamenávané pomerne presné údaje o výške a poloha bola overovaná pri prelete nad známymi bodmi (ZLA, Z).

Počas letov sa nám podarilo zhromaždiť patričný súbor nameraných výšok vzťahujúcich sa k bodu dotyku TDZ/A s hodnotou 1017 ft. Tento súbor 30 hodnôt nami nameraných nadmorských výšok bodu TDZ/A bol spracovaný metódami matematickej štatistiky. Pristátia všetkých lietadiel na letisku Žilina môžeme považovať za „základný súbor“ a nami vykonaných 30 meraní reprezentuje „náhodný výber“. Overované lety sú klasickým prípadom, kedy je nutné na základe spracovaných výsledkov matematickej štatistiky poznať výsledok skôr, ako bude vykonané meranie všetkých prvkov rozsiahleho základného súboru, za ktorý môžeme považovať v našom prípade všetky následné pristátia lietadiel pomocou DGPS.

Na súbor nameraných hodnôt som aplikoval tzv. normálne (Gaussove) rozdelenie. Jednotlivé namerané hodnoty sa v dôsledku pôsobenia systematických a náhodných vplyvov viac či menej odchyľovali od skutočnej hodnoty.

Normálne rozdelenie je popísané frekvenčnou funkciou:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

σ - smerodiatná odchýlka

μ - aritmetický priemer

V prípade štatistického súboru, ktorý obsahuje namerané výšky bodu TDZ/A je aritmetický priemer a stredná hodnota súboru $\mu = 1028,4$.

Rozdiel medzi $\mu = 1028,4$ a skutočnou nadmorskou výškou letiska LZZI = 1017 ft = 11,4 ft (3,775 m). Smerodiatná odchýlka $\sigma = 15,8603$ ft (4,8342 m)

V súlade s koncepciou ICAO o RNP sa požaduje model s pravdepodobnosťou 95 %.

Na grafe vyznačené hodnoty 997 ft a 1059 ft nám určujú interval, v ktorom sa s pravdepodobnosťou 95 % budú vyskytovať všetky hodnoty základného súboru, nakoľko platí, že pravdepodobnosti 0,95 zodpovedajú hodnoty

$$\mu \pm 1,96 \sigma = 1028,4 \pm 1,96 \cdot 15,86 = \begin{cases} 1059,48 \\ 997,31 \end{cases}$$

Stredná kvadratická chyba narastá so zväčšujúcou sa vzdialenosťou a vekom korekcií. Túto chybu môžeme považovať za systematickú a technicky by nebol problém ju eliminovať pre každé letisko osobitne. Vplyv veku korekcií prijímaných v Žiline je zanedbateľný (cca 3 sec) a chyba spôsobená vzdialenosťou je cca 3 m, čo je hodnota veľmi blízka rozdielu medzi μ (1028,4) a altitude LZZI (1017), ktorý je 11,4 ft (3,475m).

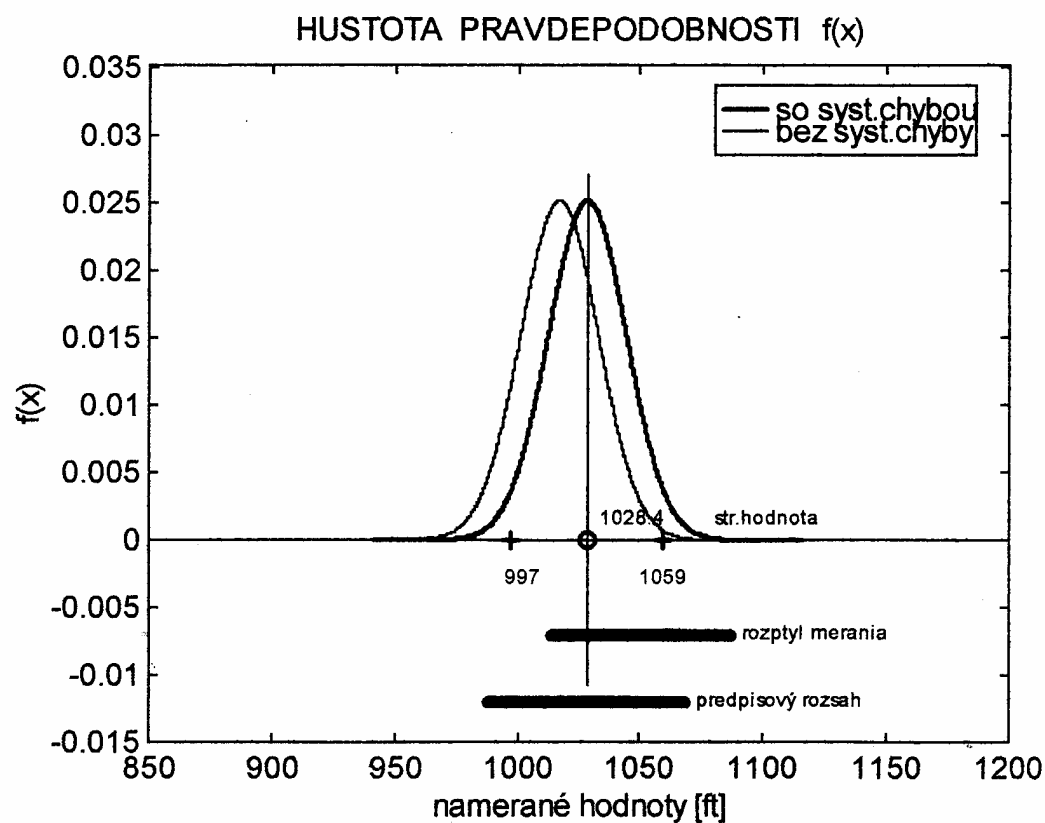
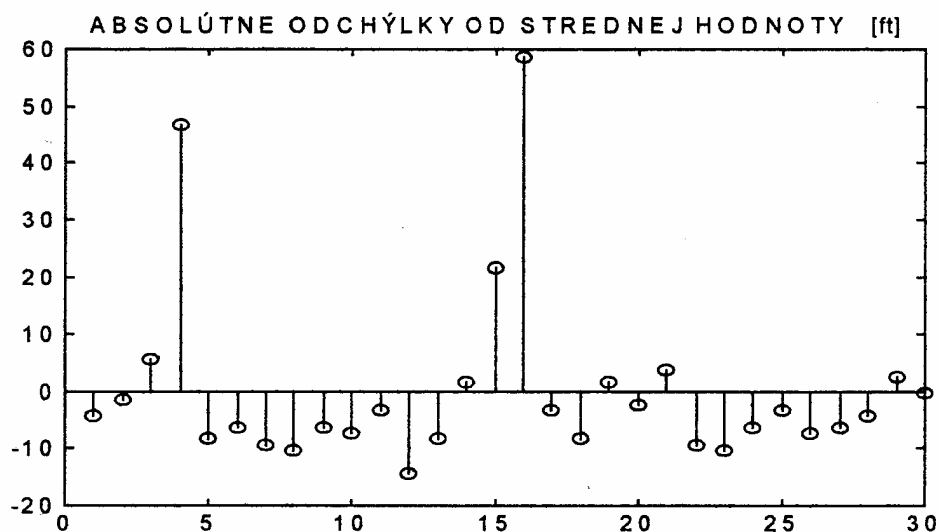
Ostatné chyby spôsobujúce zvyšok tejto odchýlky majú náhodný charakter, určujú smerodajnú odchýlku σ a sú zapríčinené šumom prijímača, viaccestným šírením signálu a nepresnosťou pri spracovaní odmeraných údajov. Z hľadiska požadovanej 95 % presnosti pre priblíženie pre I. kategóriu je však ich veľkosť v prípustnom rozsahu a vyhovujú stanovenej RNP.

Pre presné priblíženie na pristátie je RNP definovaná tunelom okolo zostupovej osi, v ktorom sa lietadlo bude nachádzať s 95 % pravdepodobnosťou. Rozmery tohto tunela vo výške rozhodnutia DH (Pre I. kategóriu je to 60 m nad zemou) sú 24 m vertikálne a 80 m horizontálne a dovoľujú pristávajúcemu lietadlu odchýlku od zostupovej roviny 12 m a od smerovej osi 40 m. Z našich vyhodnotení meraní vyplýva, že stredná hodnota $\mu = 1\,028,4$ ft sa líši od presnej nadmorskej výšky letiska o 11,4 ft (3,475 m) a smerodajná odchýlka $\sigma = 15,8603$ ft (4,834 m). Pre nami požadovanú 95 % pravdepodobnosť platí $\mu \pm 1,96\sigma$, takže môžeme predpokladať, že odchýlky pre zostupovú rovinu nebudú s 95 % pravdepodobnosťou väčšie ako $\pm 1,96\sigma = \pm 31,086$ ft ($\pm 9,475$ m). Nakoľko platí, že vertikálna chyba je o 50 % väčšia ako horizontálna, presnosť nášho systému vyhovuje požiadavku RNP na priblíženie na pristátie pre I. kategóriu.

Číselne charakteristiky súboru nameraných hodnôt :

Počet hodnôt	Minimálna hodnota [ft]	Maximálna hodnota [ft]	Stredná hodnota [ft]	Smerodatná kvadratická odchýlka [ft]	Pravdepodobnosť splnenia predpisových požadaviek [%]
30	1014	1087	1028.4	15.86	96.37

Funkčné charakteristiky súboru nameraných hodnôt :



Nakoľko výsledky meraní z overovacích letov a následné matematické spracovanie sa ukázali priaznivejšie ako teoretické predpoklady, boli iniciované jednania o vybudovaní referenčnej stanice a vysielača korekcií na území SR. Práce na tomto zariadení, ktoré bude slúžiť aj pre neleteckých používateľov, pre ktorých je dôležitá presná informácia o polohe (polícia, spoje, stavebníctvo, plynári, elektrikári a iné) sú koordinované Výskumným ústavom spojov SR. V súčasnosti je v štádiu realizácie vybudovanie referenčného majáka pre geodetické účely na streche budovy Stavebnej fakulty Žilinskej univerzity pod gesciou Geodetického ústavu Bratislava.

Je len na škodu vecí, že sa nepodarilo udržať v prevádzke referenčnú stanicu ČVUT Praha, nakoľko je zrejmé, že uvedená problematika je technicky zvládnuteľná a po odstránení legislatívnych prekážok by korekcie obidvoch vysielačov mohli slúžiť spoľahlivo užívateľom oboch našich susedných štátov.

Literatúra

1. Hrdina, Z., Pánek, P., Vejražka, F.: Radiové určování polohy, ČVUT, Praha, 1996
2. Annex 10 Letecké telekomunikácie, LPS Bratislava, 1999
3. Dúha, J., Kosorín, R., Ščehovič, A., Kevický, D., Volner, R., Hrudkay, K.: Zabezpečenie infraštruktúry pre prechod k multimediálnym službám informačnej spoločnosti. VÚS Banská Bystrica, 2000
4. Kalašová, A., Kevický, D., Petruš, M.: Modern logistical elements increasing safety of vehicle transport, Zborník z medzinárodnej konferencie „Zarządzanie bezpieczeństwem“ Krakow, 2000, ISBN 83-7230-040-2
5. Jůn, F.: Návrh riešenia priblíženia podľa prístrojov s využitím GPS, KDP, Žilina, 1998
6. Predpis L-8168 I. časť, Postupy na vykonávanie letov, MDPaT SR 1997
7. J. S. Ventcel'ová: Teória pravdepodobnosti, Alfa, 1973