

TVORBA ŠTUDIJNÝCH MATERIÁLOV – NAVIGAČNÉ SYSTÉMY

THE NAVIGATION SYSTEMS – STUDY MATERIALS PREPARATION

Michaela Mikulášiková

Air Transport Department, University of Zilina, Slovakia
mikulasikovamichaela@gmail.com

Andrej Novák

Air Transport Department, University of Zilina, Slovakia
andrej.novak@fpedas.uniza.sk

Abstract – The aim of this paper is to present current navigation systems and their use in air transport. Describing their history, categories, principles of operation and practical use. The paper also deals with the problems of navigation systems in determining the accuracy of positioning and errors that may occur in determining the position. It focuses primarily on the current, most advanced navigation systems, called the Global Navigation Satellite Systems (GNSS) used to determine the exact location of an observer on Earth. It describes the function and accuracy of systems such as American GPS, Russian GLONASS, European Galileo and Chinese BeiDou and points out their importance in navigation. It also compares the quality of individual systems. It deals with the construction, structure, principles of operation and factors that influence their resulting positioning accuracy. The augmentation navigation systems SBAS, GBAS and ABAS, which are closely related to GNSS systems are also mentioned in this paper.

Key words: navigation, navigation system, positioning, satellite, signal, satellite navigation system, accuracy

I. ÚVOD

Navigáciu ľudstvo pozná už po stáročia, pričom v minulosti bola potrebná najmä na lodiach, kde boli na navigáciu využívané kompasy alebo sa orientovalo podľa oblohy. Navigácia sa postupne stávala dôležitejšou a jej metódy a potrebné zariadenia prešli obrovským vývojom. Avšak svoj doposiaľ najväčší rozvoj navigácia zaznamenala v minulom storočí, pri vyvinutí rádionavigačných a satelitných systémov, ktoré dnes zohrávajú dôležitú úlohu vo fungovaní dopravy, hospodárstva a v rôznych oblastiach života.

Článok sa zaoberá navigačnými systémami využívanými v letectve. Za posledné desaťročia náramne narástol počet pohybov lietadiel a letecká doprava sa stala veľmi frekventovanou formou dopravy. Postupne sa znižuje kapacita vzdušného priestoru, preto je nevyhnutná neustála modernizácia a vývoj systémov na zaistenie bezpečnosti a pravidelnosti leteckej dopravy.

Článok je zameraný na navigačné systémy a ich historický prehľad od počiatku letectva až po súčasnosť, jednotlivé kategórie navigačných systémov a ich činnosť. Najviac rozobranými navigačnými systémami sú však Globálne Navigačné Satelitné Systémy (GNSS), ktoré sú považované za najmodernejšie a najspoľahlivejšie systémy súčasnej navigácie a v blízkej budúcnosti by mali nahradiť konvenčné navigačné zariadenia.

II. HISTÓRIA A VÝVOJ NAVIGAČNÝCH SYSTÉMOV

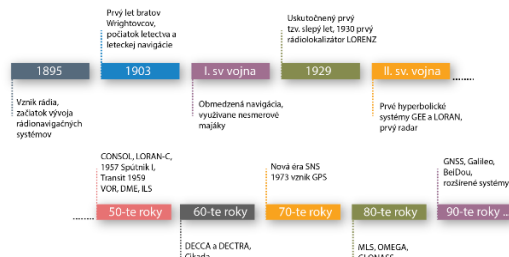
Krátko potom, ako bratia Wrightovci uskutočnili prvý let v roku 1903, obloha sa začala plniť lietadlami. Dobrá viditeľnosť a meteorologické podmienky boli v tom čase kľúčové pre uskutočnenie letov. Veľký prelom znamenal aj objav rádiových vln v roku 1887 a vynález prvého rádia v roku 1895, čo na prelome tisícročia viedlo k vývoju prvých rádionavigačných zariadení.

Po I. SV sa letectvo okrem vojenskej oblasti dostalo aj do tej civilnej. Začali sa uskutočňovať prvé komerčné lety. Narastali tak požiadavky na navigačné systémy, ktoré už nebudú obmedzené počasím. V septembri 1929 sa tak uskutočnil prvý tzv. slepý let, len za využitia prístrojov.

Ďalší rozvoj rádionavigácie bol zaznamenaný počas II. SV, kedy boli vyvinuté prvé hyperbolické navigačné systémy Gee a LORAN. V povojnovom období zaznamenala rádionavigácia doposiaľ najväčší rozmach, týkajúci sa vývoja nových zariadení. V období štyridsiatych rokov boli vyvinuté zariadenia ako VOR a DME, ktoré slúžili pre navigáciu po trati. Päťdesiate roky priniesli novšie systémy ako CONSOL a LORAN-C. V rovnakom období bol testovaný aj prvý pristávací systém ILS, ktorý mal byť nahradený v sedemdesiatych rokoch systémom MLS.

Prudký nárast počtu letov, rozšírenie liniek a celkovej popularity leteckej dopravy znamenal čoraz vyššie požiadavky bezpečnosti a spoľahlivosti na navigačné systémy, čo viedlo koncom päťdesiatych rokov k vývoju satelitnej navigácie. Začiatok SN sa datuje vypustením prvého satelitu Sputnik I v roku 1957 vtedajším Sovietskym Zväzom. Pár mesiacov na to, v

roku 1958 reagovalo USA vypustením satelitu Explorer I. Vypustenie satelitov znamenalo začiatok satelitnej navigácie a začalo sa uvažovať o využití satelitov v oblastiach navigácie a lokalizácie. Prvými satelitnými systémami boli Transit a Cikada, z ktorých sa neskôr vyvinuli dokonalejšie systémy GPS a GLONASS.



Obrázok 35: Časová os vývoja rádionavigačných systémov [Zdroj: Autor]

III. KATEGÓRIE NAVIGAČNÝCH SYSTÉMOV

Podľa účelu sa rádionavigačné systémy rozdeľujú na navigačné systémy na veľké vzdialenosti, krátke a stredné vzdialenosti a na systémy pre presné priblíženie na pristátie. Navigačné systémy a ich parametre sú medzinárodne štandardizované v dokumente ICAO ANNEX 10.

NAVIGAČNÉ SYSTÉMY NA VEĽKÉ VZDIALENOSTI

Za systémy na navigáciu na veľké vzdialenosti sa považujú systémy s praktickým dosahom 200 NM až 1000 NM. Využívané boli v období druhej polovice minulého storočia. Patria sem systémy ako rádionaják CONSOL a hyperbolické systémy LORAN, DECCA a OMEGA. Tieto systémy majú za sebou bohatú históriu. K dnešnému dňu sú však už vyradené, v prospech satelitnej navigácie.

Za systémy na navigáciu na veľké vzdialenosti sa považujú aj autonómne navigačné systémy, teda systémy nezávislé od pozemných zariadení. Radiá sa sem Dopplerov navigačný systém, ktorý pre svoju funkciu využíva Dopplerov jav a inercia.

NAVIGAČNÉ SYSTÉMY NA STREDNÉ A KRÁTKE VZDIALENOSTI

Do tejto kategórie patria zariadenia s dosahom 100 NM – 200 NM. Pôvodné zariadenia boli vyvinuté v prvej polovici minulého storočia a väčšina z nich je využívaná dodnes. Patria sem NDB, VOR, DME a vojenské systémy TACAN a VORTAC. Všetky tieto systémy sa používajú ako navigačné body pozdĺž letových ciest, v blízkosti letísk pri nepresnom priblížení alebo poskytujú pri lete pilotom údaje o smere kurze.

PRISTÁVACIE SYSTÉMY

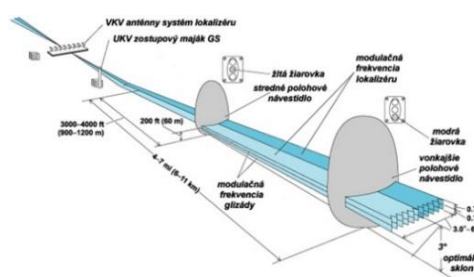
V súčasnosti je štandardným pristávacím systémom ILS. Vzhľadom na jeho nedostatky bol v osemdesiatych rokoch vyvinutý nový systém MLS, ktorý ale nesplnil očakávania a bol vyradený. Hlavným cieľom do budúcnosti je využitie systémov GNSS, ktoré budú umožňovať pristátie v rámci všetkých kategórií prevádzkových minim ICAO.

INSTRUMENT LANDING SYSTEM

Systém ILS je celosvetovo štandardizovaný pristávací systém prijatý organizáciou ICAO v roku 1947. Postupne bol systém technicky zdokonaľovaný, vylepšený o nové parametre a k dnešnému dňu je certifikovaný pre kategóriu II aj III prevádzkových minim ICAO.

Zariadenie vyžaruje zmerateľný lúč signálov, ktorý je tvorený ako priesečník dvoch rovín (kurzovej a zostupovej). ILS teda poskytuje vedenie lietadla vertikálne aj horizontálne. Lietadlo vybavené zariadeniami pre ILS sa dokáže po lúči priblížiť dostatočne presne k bodu dotyku. Systém takisto po celú dobu priblíženia zabezpečuje bezpečnú výšku nad prekážkami a musí byť rovnako spoľahlivý aj pri zhoršenej viditeľnosti. ILS pozostáva z kurzového majáka, zostupového majáka a z dvoch (troch) polohových návěstidiel. Palubnú časť zariadenia tvorí prijímač signálov vysielaných z pozemných majákov a palubný indikátor.

Obrázok 2: Umiestnenie častí systému ILS [Zdroj: <https://landingsystem.com/sk/analyza.html>]



MICROWAVE LANDING SYSTEM

Keďže systém ILS úplne nevyhovoval náročnejším požiadavkám, bol v osemdesiatych rokoch vyvinutý nový systém MLS. Systém poskytoval možnosť zložitejších približovacích trajektórií, väčšiu frekvenciu priblížení, znižoval nároky na obsluhu pozemných zariadení a pracoval aj v terénnych oblastiach, kde umiestnenie zariadení ILS nebolo možné. MLS bol od začiatku vyvíjaný ako modernejšia alternatíva ILS, avšak z dôvodu pokroku satelitnej navigácie bola inštalácia MLS v roku 1994 zastavená. Najviac nainštalovaných zariadení MLS bolo v USA, na európskych letiskách bola inštalácia len zriedkavo. MLS poskytuje údaje o elevácii, azimute, vzdialenosti, a tiež informáciu o spätnom kurze pri nevydarenom priblížení. Systém umožňuje presné priblíženie lietadla v priestore konečného priblíženia, kde trať konečného priblíženia nie je totožná s predĺženou osou pristávacej dráhy. MLS bol taktiež schválený organizáciou ICAO pre všetky tri kategórie prevádzkových minim.

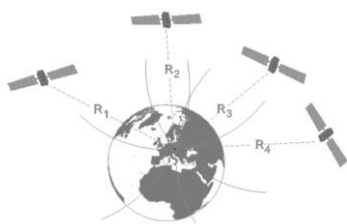
IV. PRINCÍPY ČINNOSTI A PRAKTICKÉ VYUŽITIE SATELITNEJ NAVIGÁCIE

Rádionavigačné zariadenia štandardne tvorí rádionaják a príslušné palubné vybavenie. Pri systémoch satelitnej navigácie úlohu majáku preberá satelit, ktorý je umiestnený na obežnej dráhe Zeme. Satelity obiehajú okolo Zeme po rôznych obežných dráhach. Pre tieto satelity je definovaných päť základných obežných dráh, ktoré sa odlišujú svojím tvarom, sklonom a výškou nad zemským povrchom.

URČOVANIE POLOHY POMOCOU SATELITOV

Satelity na obežných dráhach vysielajú rádiový signál približne rýchlosťou svetla, ktorý obsahuje navigačnú správu s údajmi potrebnými pre určenie polohy. Správa je zakódovaná pseudonáhodným kódom (PRN) a je unikátna pre každý satelit. Prijímač zo správy vyčíta čas jej vyslania a porovnáva ho so svojim vlastným nameraným časom. Z tohto rozdielu prijímač vypočíta čas signálu od satelitu až k prijímaču, z čoho sa vypočíta vzdialenosť od vysielajúceho satelitu. Ďalej sa výsledná poloha určuje na princípe trilaterácie, čo je proces určovania absolútnej alebo relatívnej pozície bodov meraním vzdialeností s využitím geometrie kruhov, sfér alebo trojuholníkov.

Teoreticky by na určenie polohy prijímača mali stačiť signály z troch satelitov, kde sú známe ich súradnice a rovnako sú známe aj súradnice prijímača. Problém však vytvára určenie času. Na satelitoch sú umiestnené synchronizované atómové hodiny, pričom hodiny prijímača sú oveľa menej presné a stabilné. Vzniká tak chyba merania času. Prakticky pre určenie presnej polohy prijímača je potrebný signál zo štyroch satelitov. Táto poloha sa určuje v príslušnom súradnicovom systéme každého satelitného systému. Výsledné súradnice prijímač prepočíta a zobrazí ako zemepisnú šírku, zemepisnú dĺžku a nadmorskú výšku v zobrazení 3D.



Obrázok 3: Určovanie polohy pomocou štyroch satelitov [Zdroj: 20]

Určovanie polohy používateľa satelitnými systémami je možné aj prostredníctvom viacerých metód, ktoré sa odlišujú na základe meraného parametra. V letectve najväčší význam nadobúda metóda diaľkomerná, ktorá na určovanie polohy využíva diaľkomerný systém. Pri diaľkomernej metóde je princíp určovania polohy užívateľa založený na meraní vzdialeností vysielajúceho satelitu od prijímača a rozdielu času v prijímaní signálu zo satelitu. Potrebný príjem signálov je aspoň zo štyroch rôznych satelitov. Takto nameraná vzdialenosť sa nazýva pseudovzdialenosť a od reálnej vzdialenosti sa odlišuje o čas.

MOŽNOSTI VYUŽITIA SATELITNEJ NAVIGÁCIE

Využitie satelitnej navigácie je dnes veľmi rozšírené. Vznikla za účelom odstránenia nedostatkov pozemných rádionavigačných zariadení. Dnes sú služby GNSS využívané každý deň a stali sa priam nevyhnutnosťou. Tieto služby zabezpečujú systémy GNSS.

Systémy GNSS majú všestranné využitie (navigácia, sledovanie a pod.) a možno ich využiť na pevnine, na mori aj vo vzduchu. Sú použiteľné všade s výnimkou miest, kde nie je prístup signálu (tunely, jaskyne, pod vodou) a sú aplikované v rôznych odvetviach (doprava, geodézia, veda, poľnohospodárstvo a ďalšie).

VYUŽITIE V LETECKEJ DOPRAVE

Letecká doprava potrebuje vysokú úroveň navigácie a jej prostriedkov na zabezpečenie bezpečnosti, spoľahlivosti a pravidelnosti prevádzky. V civilnom letectve je teda využitie satelitnej navigácie veľkým prínosom. Výhody satelitov sú očividné tam, kde je lietadlo mimo dosahu rádionavigačných pozemných zariadení, ktoré majú obmedzený dosah a sú podmienené rádiovou viditeľnosťou. Systémy satelitnej navigácie si našli svoje miesto aj v RNAV (Area Navigation), ktorej hlavnou úlohou je umožnenie lietadlu prevádzku na ľubovoľnej letovej ceste. Systémy GNSS majú svoje využitie aj pri prístrojovom priblížení na prístátie, kde dopĺňajú štandardné prístávacie systémy ILS a MLS.

V. SATELITNÉ NAVIGAČNÉ SYSTÉMY

Satelitné navigačné systémy v dnešnej dobe nadobúdajú obrovský význam. V porovnaní s pozemnými rádionavigačnými systémami zaznamenávajú výrazný pokrok. Ich najväčšou prednosťou je schopnosť určovania polohy a času s vysokou presnosťou kdekoľvek na Zemi, ktorá nie je závislá na meteorologických podmienkach a dennej či nočnej dobe.

GLOBÁLNE NAVIGAČNÉ SATELITNÉ SYSTÉMY

GNSS patria k najdominantnejším výdobytkom súčasnej navigácie. Prvými systémami boli GPS a GLONASS, ktoré vznikli na základe predchádzajúcich systémov Transit a Cikada. Na prelome tisícročia sa k nim pridali Galileo a BeiDou. Všetky 4 systémy dnes poskytujú globálne služby. Medzi systémy GNSS patria ale aj systémy regionálne alebo národné, ako sú indický IRNSS a japonský QZSS.

Každý zo systémov musí spĺňať základné výkonnostné požiadavky RNP (Required Navigation Performance), pre uskutočňovanie navigačných služieb, a to presnosť, integritu, spojitosť a dostupnosť.

Každý zo systémov GNSS je tvorený kozmickým, pozemným a užívateľským segmentom, ktoré vytvárajú kompletnú architektúru systémov a zabezpečujú ich prevádzku.



Obrázok 4: základné GNSS [Zdroj: <https://www.oxts.com/what-is-gnss/>]

GLOBAL POSITIONING SYSTEM

GPS je satelitný systém poskytujúci služby presného určovania polohy a času, ktorý je pod vlastníctvom vlády USA. Výstavba systému bola zahájená v roku 1973 a prebiehala vo viacerých etapách. Plnú operačnú schopnosť systém dosiahol v roku 1995 a položil tak základ pre vznik GNSS, keď sa stal prvým členom. 1. januára 1984 bol GPS oficiálne uvoľnený medzi civilných užívateľov, odkedy poskytuje dva druhy služieb:

službu presného určovania polohy **PPS** (Precise Position Service) a službu štandardného určovania polohy **SPS** (Standard Positioning Service).

Tabuľka 20: Prehľad vývoja GPS [Zdroj: Autor]

1973	Zahájenie výstavby systému NAVSTAR GPS
1974	Vypustenie prvých testovacích satelitov NTS-1 a NTS-2
1978	Vypustený prvý satelit GPS prvej generácie (Blok I)
1983	Nehoda letu KA007, uvažovanie o uvoľnení GPS
1984	Uvoľnenie systému GPS medzi civilných užívateľov
1985	Vypustený posledný satelit Bloku I
1989	Vypustený satelit druhej generácie (Blok II)
1991	Zavedenie služby selektívnej dostupnosti (SA)
1993	Dosiahnutie počiatočnej prevádzkovej funkčnosti (IOC)
1994	Dosiahnutie plnej operačnej funkčnosti (FOC), 24 operačných satelitov na OD
1995	Oznámenie dosiahnutia FOC a oficiálne dokončenie systému GPS

Súčasnú konšteláciu satelitov tvorí 30 operačných satelitov a dva sú vo fáze údržby alebo testovania. Satelity sú rozmiestnené na dráhach A až F po 5 alebo 6 satelitov, z ktorých je vždy jeden záložný. Takáto konštelácia umožňuje pozemnému užívateľovi viditeľnosť aspoň 6 satelitov z každého bodu na Zemi. Satelity sú umiestnené vo výške 20 190 km a ich obežná doba okolo Zeme je 11 hodín a 58 minút. Satelity GPS vysielať signály na dvoch frekvenciách L1 (1575,42 MHz) a L2 (1227,60 MHz) v L pásme rádiových vln, ktoré sú odvodené od základnej frekvencie 10,23 MHz. Frekvencie sú zvolené tak, aby signály boli ovplyvňované atmosférou (ionosférické a troposférické vplyvy) čo najmenej.

V rámci modernizácie GPS a vypustenia satelitov bloku IIF bola zavedená aj úplne nová frekvencia L5 (1176,45 MHz). Medzi výhody signálu vysielať na tejto frekvencii patrí vyhovenie prísnych požiadaviek pre službu ochrany života SoLS (Safety-of-Life Service) a pre služby civilného letectva. Signál má byť dostupný od roku 2021.

GLONASS

GLONASS je považovaný za ruskú alternatívu amerického GPS. Výstavba bola zahájená vypustením prvého satelitu Kosmos-1413 v roku 1982, s cieľom nahradiť vtedajší systém Cikada. Neskôr v roku 1993 bol GLONASS vyhlásený za funkčný a plnú konšteláciu (24 satelitov) dosiahol o dva roky neskôr. Takmer hneď po spustení systému nastala v Rusku ekonomická kríza, ktorá mala dopad aj na GLONASS. V tomto období GLONASS zaostával za GPS vo všetkých parametroch.

V období od roku 2002 až do roku 2011 sa intenzívne pracovalo na obnovení a vylepšení GLONASS, aby sa čo najviac priblížil výkonom GPS. Pozitívny výsledok sa podarilo dosiahnuť

a to zavedením satelitov novej generácie GLONASS-M a modernizáciou v rámci každého segmentu. V roku 2011 GLONASS dosahoval takmer taký výkon, ako americký konkurent.

Dnes je systém opäť v štádiu modernizácie, ktorá prebieha už od roku 2012 a prináša so sebou novú štruktúru konštelácie, prechod na satelity novej generácie GLONASS-K, vylepšenia pozemnej siete staníc, nové signály a pod.

Aktuálna konštelácia GLONASS pozostáva z 24 operačných satelitov umiestnených v troch orbitálnych rovinách vo výške 19 100 km. Obežná doba satelitov okolo Zeme je 11 hodín 15 minút a 44 sekúnd.

GALILEO

Systémy GPS a GLONASS sú síce prístupné pre civilných užívateľov, ale sú financované a riadené armádnymi zložkami. Existuje teda obava, že armáda môže kedykoľvek civilnú zložku systému vypnúť. V dôsledku toho, sa EÚ rozhodla vybudovať vlastný SNS, ktorý je určený výhradne pre civilné a komerčné využitie. V roku 1999 EÚ odsúhlasila projekt Galileo a v roku 2001 Európska komisia nariadila výstavbu systému, s cieľom zabezpečiť vysoko presný a dostupný systém pre všetkých.

Systém mal byť pôvodne funkčný od roku 2010, čo však nebolo možné, v dôsledku zlej ekonomiky a termín bol odložený na rok 2015. Tento termín sa taktiež nepodarilo dodržať a prvé služby začal Galileo poskytovať až v decembri 2016, a to v obmedzenom režime. Uvedenie do prevádzky však neznamenalo plnú operačnú schopnosť (FOC), ktorá má byť dosiahnutá v roku 2020.

Tabuľka 21: Vývoj systému Galileo [Zdroj: Autor]

1973	Zahájenie výstavby systému NAVSTAR GPS
1974	Vypustenie prvých testovacích satelitov NTS-1 a NTS-2
1978	Vypustený prvý satelit GPS prvej generácie (Blok I)
1983	Nehoda letu KA007, uvažovanie o uvoľnení GPS
1984	Uvoľnenie systému GPS medzi civilných užívateľov
1985	Vypustený posledný satelit Bloku I
1989	Vypustený satelit druhej generácie (Blok II)
1991	Zavedenie služby selektívnej dostupnosti (SA)
1993	Dosiahnutie počiatočnej prevádzkovej funkčnosti (IOC)
1994	Dosiahnutie plnej operačnej funkčnosti (FOC), 24 operačných satelitov na OD
1995	Oznámenie dosiahnutia FOC a oficiálne dokončenie systému GPS

Aj napriek sťaženému vývoju je dnes možno systém Galileo považovať za najprepracovanejší satelitný systém určovania presnej polohy a času. Oproti systémom GPS a GLONASS poskytuje mnoho výhod a služieb: Otvorená služba (OS), Vysoko presná služba (HAS), Verejne regulovaná služba

(PRS), Služba záchran života (SoLS) a služba pátrania a záchran (SAR).

Dosiahnutie plnej operačnej schopnosti Galileo v roku 2020 bude znamenať 27 operačných satelitov a troch záložných satelitov na obežnej dráhe MEO v troch orbitálnych rovinách. V každej orbitálnej rovine bude teda umiestnených 9 operačných a 1 záložný satelit. Aktuálna konštelácia (marec 2020) pozostáva z 26 satelitov GSAT. Posledné vypustenie satelitov na obežnú dráhu bolo uskutočnené v júli 2018.

Cieľom Galileo je pri dosiahnutí FOC vysielat' až 10 rôznych navigačných signálov, ktoré budú zabezpečovať najkvalitnejšie polohové služby v rámci všetkých svojich dostupných služieb. Navigačné signály Galileo sú vysielané na štyroch rôznych frekvenčných pásmach E5a, E5b, E6 a E1. Pásmo E5a, E5b a E1 sú zaradené do spektra pre letecké rádiové navigačné služby (ARNS), ktoré slúžia civilnému letectvu, a ktoré umožňujú špecializované aplikácie.

BEIDOU (COMPASS)

Projekt čínskeho regionálneho satelitného systému bol po prvý krát predstavený už v roku 1983. Prvý satelit s názvom BeiDou-1A bol však na obežnú dráhu vypustený až v októbri 2000 a v decembri ho nasledoval aj druhý satelit BeiDou-1B. Satelity boli umiestnené na obežnej dráhe GEO a predstavovali základ pre satelitný navigačný systém BeiDou-1. Neskôr v roku 2003 bol systém doplnený o tretí satelit BeiDou-1C, ktorý slúžil ako záložný. V tom istom roku začal systém poskytovať svoje prvé navigačné služby pre svoju krajinu a Čína sa tak stala treťou krajinou, ktorá vybuďovala svoj vlastný SNS.

V roku 2006 Čína oznámila budovanie druhej generácie systému BeiDou, ktorý je známy aj pod názvom COMPASS (BeiDou-2). Systém využíva novú konšteláciu satelitov, ktoré sú umiestnené na obežnej dráhe MEO a okrem Číny svoje služby rozširuje aj na územie východnej Ázie a Tichého oceánu.

V súčasnosti (marec 2020) je v štádiu budovania tretia generácia systému BeiDou-3, ktorého dokončenie je naplánované na jún 2020 a plná konštelácia má pozostávať z 30 navigačných satelitov. Cieľom BeiDou-3 je rozšíriť svoje služby na globálne územie a poskytnúť svojim užívateľom čo najlepšie služby.

BeiDou ako jediný satelitný systém má svoje satelity umiestnené až na troch rôznych obežných dráhach (GEO, MEO a IGSO). V porovnaní s ostatnými satelitnými systémami má satelity umiestnené na vyšších obežných dráhach, čo zabezpečuje menšie tienenie signálov a lepší výkon v oblastiach v okolí rovníka. Satelity BeiDou vysielajú signály na troch frekvenčných pásmach (B1, B2 a B3) v pásme L rádiových vln. Civilný signál B1 vysielaný na frekvencii 1561,098 MHz prešiel na frekvenciu 1575,42 MHz, ktorú využíva aj civilný signál GPS L1 a signál Galileo E1 s cieľom dosiahnuť kompatibilitu s týmito systémami.

ROZŠÍRENÉ NAVIGAČNÉ SYSTÉMY

Rozšírenými (augmentačnými) systémami sa rozumejú systémy, ktoré využívajú satelity na obežnej dráhe Zeme, na zlepšovanie výkonnostných parametrov systémov GPS, GLONASS, Galileo a BeiDou nad určitým územím. Podnetom

pre vznik takýchto systémov, bola nedostatočná presnosť civilnej zložky systémov.

Patria sem najmä systémy so satelitným rozšírením SBAS, ktoré poskytujú nad určitým územím lepšiu presnosť, spoľahlivosť informácií, a to korekciou chýb merania signálu a poskytovaním informácií o presnosti, integrite, kontinuite a dostupnosti svojich signálov. Okrem SBAS sa v civilnom letectve využívajú aj systémy s pozemným rozšírením GBAS a palubným rozšírením ABAS.



Obrázok 5: Rozmiestnenie systémov SBAS [Zdroj: <https://www.gmv.com/en/Products/magicSBAS/Motivation/>]

VI. PRESNOSŤ A CHYBY GNSS

Vysoká presnosť určovania polohy v čo najkratšom čase je hlavným cieľom všetkých satelitných systémov. Od začiatku nového milénia došlo k výraznému zlepšeniu technológií GNSS, znížil sa čas potrebný na určenie presnej polohy, zvýšila sa citlivosť prijímačov a počet funkčných systémov prešiel z jedného na štyri, čo dnes umožňuje užívateľom dosiahnuť až milimetrovej presnosti kdekoľvek na Zemi.

Presnosť sa tiež štandardne určuje s 95% pravdepodobnosťou ako presnosť horizontálnej a vertikálnej polohy a ako presnosť určenia času.

FAKTORY OVPLYVŇUJÚCE PRESNOSŤ GLOBÁLNYCH NAVIGAČNÝCH SATELITNÝCH SYSTÉMOV

Presnosť určovania polohy satelitnými systémami sa môže pohybovať v rozmedzí od niekoľko metrov až do pár milimetrov. Táto presnosť závisí od typu a citlivosti prijímača, od spôsobu merania a spracovania údajov a od mnohých vonkajších faktorov, ktoré ovplyvňujú výslednú polohu.

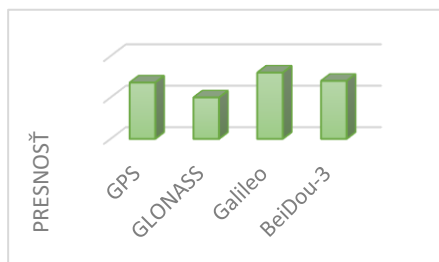
Tabuľka 22: Faktory ovplyvňujúce presnosť [Zdroj: Autor]

Príčina chyby	Približná chyba
Obežná dráha	± 2,5 m
Hodiny satelitu	± 2 m
Ionosféra	± 5 m
Troposféra	± 0,5 m
Šum prijímača	± 0,3 m
Viaccestné rušenie	± 1 m

POROVNANIE PRESNOSTI ZÁKLADNÝCH GNSS

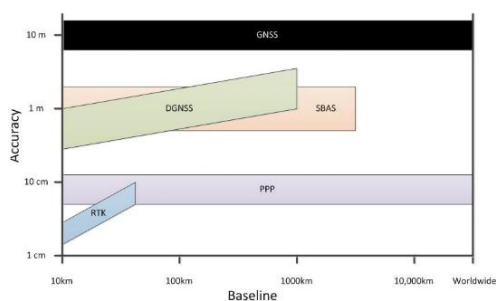
Na základe analýzy parametrov presnosti jednotlivých základných systémov GNSS (GPS, GLONASS, Galileo

a BeiDou) bol vytvorený graf, na porovnanie presnosti a výkonu týchto systémov.



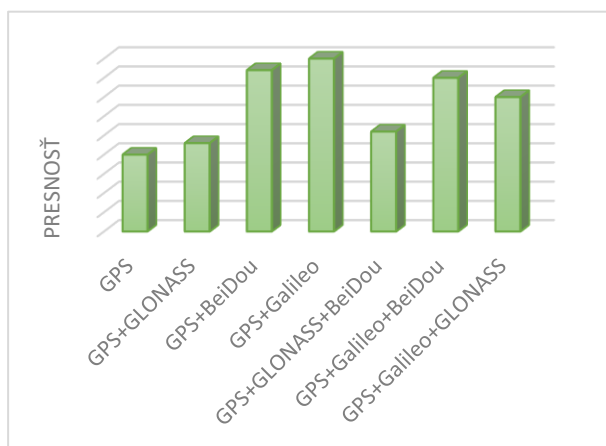
Graf 5: Porovnanie presnosti základných GNSS [Zdroj: Autor]

Výkon a presnosť jednotlivých systémov je však často nevyhovujúca, preto sa na odstránenie chýb určenia polohy a dosiahnutie čo najvyššej presnosti využívajú rôzne metódy. najčastejšie sú to diferenciálne metódy, využitie SBAS alebo využitie multi-konštelácie a multi-frekvencie.



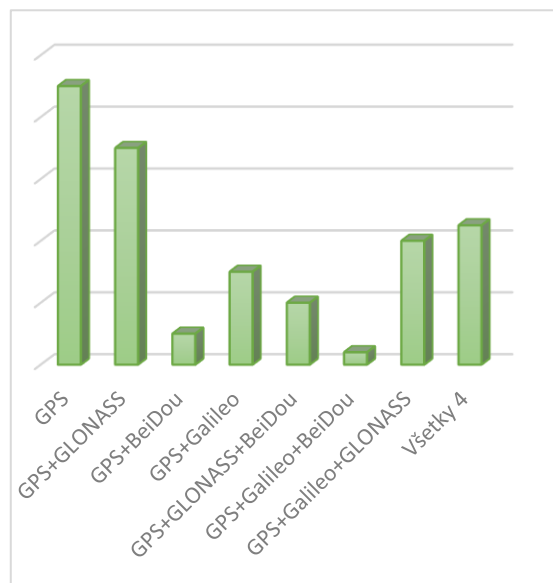
Obrázok 6: Porovnanie metód zvyšovania presnosti [Zdroj: https://nptel.ac.in/content/storage2/nptel_data3/html/mhrd/ict/text/105107194/lec15.pdf]

Na základe analýzy jednotlivých metód, sa zdá metóda PPP (Precise Point Positioning) najviac vyhovujúca. Avšak čoraz populárnejšou sa stáva využitie multi-konštelácie alebo multi-frekvencie. Spájanie systémov GNSS prináša mnoho výhod. Zvyšuje sa dostupnosť, počet viditeľných satelitov, znižuje sa čas prijatia signálu, zvyšuje sa presnosť a pod. V súčasnosti je najlepšou možnosťou multi-konštelácie kombinácia systémov GPS a Galileo, ako možno vidieť na grafe 2.



Graf 6: Porovnanie presnosti rôznych kombinácií GNSS [Zdroj: Autor]

Napriek výborným výsledkom a vlastnostiam multi-konštelácií je v súčasnosti podpora prijímačmi GNSS značne nízka, ako je uvedené v grafe 3. Nárast prijímačov podporujúcich multi-konštelácie je však očakávaný v najbližších rokoch.



Graf 7: Prijímačmi podporované multi-konštelácie GNSS [Zdroj: Autor]

VII. ZÁVER

Cieľom tohto článku bolo vytvoriť ucelený prehľad o fungovaní najvyužívanejších leteckých navigačných systémov, ktoré boli využívané v minulosti, v súčasnosti, ale najmä o systémoch budúcnosti leteckej dopravy a navigácie, GNSS.

Na základe analýzy jednotlivých systémov o ich technických a výkonnostných parametroch a princípoch činnosti som dospela k záveru o využití týchto systémov v letectve. Pre zabezpečenie bezpečnej, spoľahlivej a pravidelnej leteckej prevádzky je potreba využitia takých navigačných systémov, ktoré zabezpečujú vysokú presnosť, spoľahlivosť, dostupnosť a kontinuitu. Medzi takéto systémy sa radia bezprostredne GNSS, ktoré v blízkej dobe majú nahradiť konvenčné rádionavigačné zariadenia na väčších letiskách.

Pri jednotlivých systémoch GNSS som sa venovala aj výkonnostným parametrom, špeciálne presnosti systémov. Po analýze každého systému som dospela k záveru, že na zaistenie čo najvyššej presnosti a spoľahlivosti satelitného systému je potreba využiť metódy na zvyšovanie presnosti, pretože samotný satelitný systém pri nepriaznivých podmienkach nevyhovuje tak vysokým požiadavkám, aké sú kladené pre súčasnú navigáciu lietadiel. Avšak uvedenie do plnej operačnej schopnosti najnovších systémov Galileo a BeiDou-3 výrazne zvýši presnosť v určovaní polohy užívateľa.

REFERENCIE

- [1] ORČÍK, L. 2012. *Metody pozemní radiolokace*: Bakalárska práca. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2012. 63 s. Dostupné na internete:

- [2] https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/93231/ORCO009_FEI_B2647_2601R013_2012.pdf?sequence=1
- [3] KULČÁK, L. a kol. 1999. *Zabezpečovacia letecká technika*. 1. vyd. Žilina : EDIS, 1999. 423 s. ISBN 80-7100-584-3
- [4] A brief history of Aeronautical charting [online]. Dostupné na internete:
- [5] <https://www.esri.com/news/arcnews/summer07/articles/a-brief-history.html>
- [6] NOVÁK, A. 2015. *Komunikačné, navigačné a sledovacie zariadenia v letectve*. 1. vyd. Bratislava : DOLIS s.r.o., 2015. 212 s. ISBN 978-80-8181-014-5
- [7] GANCARČÍKOVÁ, P. 2012. *Rádionavigačné systémy letectva* : Diplomová práca. Košice : Technická univerzita v Košiciach, 2012. 170 s.
- [8] KEVICKÝ, D. – NOVÁKOVÁ, J. 2007. *Integrácia GPS s ďalšími navigačnými systémami. Od konšpřežné železnice k vysokorychlostným dopravným systémom* [online]. 2007. Dostupné na internete:
- [9] <http://www.railway2007.fd.cvut.cz/proceedings/Kevicky+Novakova.pdf>
- [10] KEVICKÝ, D. – KALAŠOVÁ, A. 2004. *Satelitné navigačné systémy*. 1. vyd. Žilina: EDIS, 2004. 197 s. ISBN 80-8070-295-0
- [11] SEDLÁK, V. 2017. *Globálne navigačné satelitné systémy*. 1. vyd. Košice : Univerzita Pavla Jozefa Šafarika v Košiciach, 2017. 157 s. ISBN 978-80-8152-554-4
- [12] GPS [online]. Dostupné na internete:
- [13] <https://www.gps.gov/systems/gps/>
- [14] GLONASS HISTORY [online]. Dostupné na internete:
- [15] <https://www.glonass-iac.ru/en/guide/index.php>
- [16] GERHÁTOVÁ, L. – HEFTY, J. 2006. *Pripravovaný navigačný systém Galileo*. [online]. Dostupné na internete :
- [17] <https://gis.fns.uniba.sk/kartografickelisty/archiv/KL14/4.pdf>
- [18] Galileo [online]. Dostupné na internete:
- [19] <https://novatel.com/an-introduction-to-gnss/chapter-3-satellite-systems/galileo/>
- [20] BeiDou Global Navigation Satellite System [online]. Dostupné na internete:
- [21] <https://www.glonass-iac.ru/en/guide/beidou.php>
- [22] GPS 3 is the future of navigation and it is set to roll out in 2023. Article. [online]. Dostupné na internete:
- [23] <https://www.digitaltrends.com/cool-tech/what-is-gps-3/>
- [24] The results are in: Galileo increases the accuracy of location Based services [online]. Dostupné na internete:
- [25] <https://www.gsc-europa.eu/news/the-results-are-in-galileo-increases-the-accuracy-of-location-based-services-3>
- [26] Europe anwear to GPS [online]. Dostupné na internete:
- [27] <https://www.technologist.eu/europes-answer-to-gps/>
- [28] Multi-constellation GNSS receivers becoming a standars [online]. Dostupné na internete:
- [29] <https://www.geospatialworld.net/blogs/multi-constellation-gnss-receivers-norm/amp/?fbclid=IwAR0IR1EwPgeuCjSX4rUyINM86vj8MBT3sDsRWZt5kkN6vf7gaHuES0qQhK8>
- [30] BURCH, T. 2018. GPS world report: *Survey sector favors multi-GNSS*. In Magazine, Survey [online]. 2018. Dostupné na internete:
- [31] <https://www.gpsworld.com/gps-world-report-survey-sector-favors-multi-gnss/>
- [32] BENEDICTO, J. 2019. Directions 2020: *Galileo moves ahead*. In GNSS magazine [online]. Dostupné na internete:
- [33] <https://www.gpsworld.com/directions-2020-galileo-moves-ahead/>
- [34] GALLAY, M. 2017. *GNSS pre život* [online]. Dostupné na internete:
- [35] https://geografia.science.upjs.sk/images/Klub_ucitelov/2017_Gallay_klub_ucitelov_GNSS.pdf
- [36] NOVÁK, A. 2011. *Komunikačné, navigačné a sledovacie zariadenia v letectve*. Bratislava : DOLIS, 2015. - 212 s. ISBN 978-80-8181-014-5.
- [37] NOVÁK, A., ŠKULTÉTY, F., KANDERA, B. & LUSIAK, T. 2018. Measuring and Testing Area Navigation Procedures with GNSS. MATEC Web of Conferences 236,01004.
- [38] NOVÁK, A., HAVEL, K., & JANOVEC, M. 2017. Measuring and testing the instrument landing system at the airport zilina. Transportation Research Procedia 28, pages 117-126. doi:10.1016/j.trpro.2017.12.176
- [39] ŠKULTÉTY, F. 2018. Pre-flight inspections of aircraft emergency equipment via RFID technology. Transportation Research Procedia 35, pages 279-286. DOI: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146518303508>
- [40] JANCIK, M., HOLODA, S., DZUNDA, M. & KANDERA, B. 2018. Current Status of Cyber Security in the Surveillance Data Processing Systems in Europe. NTAD 2018 - 13th International Scientific Conference - New Trends in Aviation Development Proceedings 8551678, pages 59-63

Michaela Mikulášiková – narodená dňa 28.04.1998 v Bánovciach nad Bebravou absolvovala v roku 2016 Osemročné gymnázium Janka Jesenského v Bánovciach nad Bebravou, následne od roku 2017 študuje na Žilinskej Univerzite v Žiline, odbor letecká doprava.