
Recenzovaný článek

Využití systémů Galileo a BeiDou v AČR

Utilization of Galileo and BeiDou Systems in the Armed Forces of the Czech Republic

Josef Rada, Viktor Pecina

Abstrakt: Článek pojednává o možnosti použití globálních navigačních družicových systémů Galileo a BeiDou v armádě České republiky, analyzuje jejich přednosti, slabiny a zásadní přínosy pro armádu. Studie využívá poznatků a zkušeností Geografické služby AČR při porovnání s již zavedenými systémy GPS a GLONASS. Evropský projekt Galileo přináší především nezávislost na GPS a přímou vazbu ČR. Čínský BeiDou poskytuje samostatnou alternativu, ovšem s omezeným přístupem. Oba systémy mohou v kombinaci s multikonsteláčními přijímači výborně doplňovat aktuální strukturu, celkově zpřesňovat polohu a snížit zranitelnost vůči rušení a klamání. AČR může využít výhody systémů pomocí modernizace zařízení a účasti na rozvojových projektech globální navigace.

Abstract: The article studies possibilities of utilization of Global Navigational Satellite Systems Galileo and BeiDou in the Armed forces of the Czech Republic. It analyses its advantages, weaknesses and assets the army. The study is grounded in knowledge and experience of the Czech military geographic service and supports it with comparisons with already implemented systems GPS and GLONASS. European project Galileo brings for the most part independence on GPS and direct influence of the Czech Republic. Chinese system BeiDou provides individual alternative, although with limited access. In combination with multiconstellation receivers, they can substantially complement the current structure, make more accurate measurements and lower vulnerability to jamming and spoofing / deception. AČR may utilise benefits of the systems with modernisation of devices a by participation in development projects of global navigation.

Klíčová slova: Globální navigační družicové systémy; rušení signálů; konstelace družic; geografická podpora, Galileo a BeiDou.

Key words: Global Navigation Satellite Systems; signal jamming; constellation of satellites; geospatial support, Galileo a BeiDou.

ÚVOD

Globální navigační družicové systémy (GNSS) dnes vnímá lidská společnost jako na-prostou samozřejmost. Jejich užívání je v současnosti tak rozšířené, že existenci si bez nich již nelze představit. Přesto je potřeba zvažovat krizové scénáře, a to v podobě buď hospodářských, diplomatických či válečných konfliktů lokálního či globálního rozsahu. Vojenský i civilní sektor musí s podobnými scénáři počítat a být na ně připraven. Možnosti rušení (jamming), klamání (spoofing / deception), kybernetického útoku nebo dokonce likvidace kosmického segmentu jsou v obdobných případech více či méně pravděpodobné. Z toho důvodu je potřeba se cíleně připravovat, studovat a využívat všechny dostupné možnosti tohoto oboru, a to v době míru i krize. Mezi GNSS řadíme americký GPS, evropský systém Galileo, ruský GLONASS a čínský BeiDou. Požadavky NATO na GNSS v operacích¹ v současné době splňuje pouze služba GPS PPS², která určena výhradně pro vojenské využití a přístup k ní mají pouze autorizovaní uživatelé. Galileo bude představovat evropskou variantu k GPS včetně služby PRS³ určené pro použití v rámci státní sféry, resp. armády. Galileo je na rozdíl od GPS budováno jako prvotně civilní systém, nicméně v poslední době se ukazuje vhodnost využití PRS právě pro vojenské použití. BeiDou je, co se týče informací, spíše uzavřeným systémem, ovšem jeho družice zvyšují celkový počet družic GNSS a tím i možnosti určení polohy při použití multikonstelačních přijímačů. Jeho použití ve vojenství je stejně jako v případě GLONASS limitováno přístupováním k informacím PNT⁴ z otevřených služeb BeiDou. Použití je možné pouze u komerčně dostupných civilních multikonstelačních přijímačů GNSS, které lze v operacích NATO používat pouze jako doplněk k přijímačům vojenským s ohledem na jejich zranitelnost zejména v oblasti klamání (spoofing / deception).

Studie analyzuje dva vybrané globální navigační družicové systémy, Galileo a BeiDou, jejich vlastnosti, pozitivní a negativní stránky a zároveň jejich využitelnost na vojenské účely v podmínkách Armády České republiky.

1 POUŽITÉ METODY A ROZBOR POČÁTEČNÍHO STAVU

K rozboru byly využity dokumenty Katedry vojenské geografie a meteorologie na Univerzitě obrany v Brně. Rovněž byly připojeny podklady a směrnice spravované na Oddělení GNSS ve Vojenském geografickém a hydrometeorologickém úřadě (VGHMÚř) v Dobrušce. Znalosti těchto dvou pracovišť byly dále doplněny o veřejně dostupné zdroje na oficiálních stránkách diskutovaných systémů.

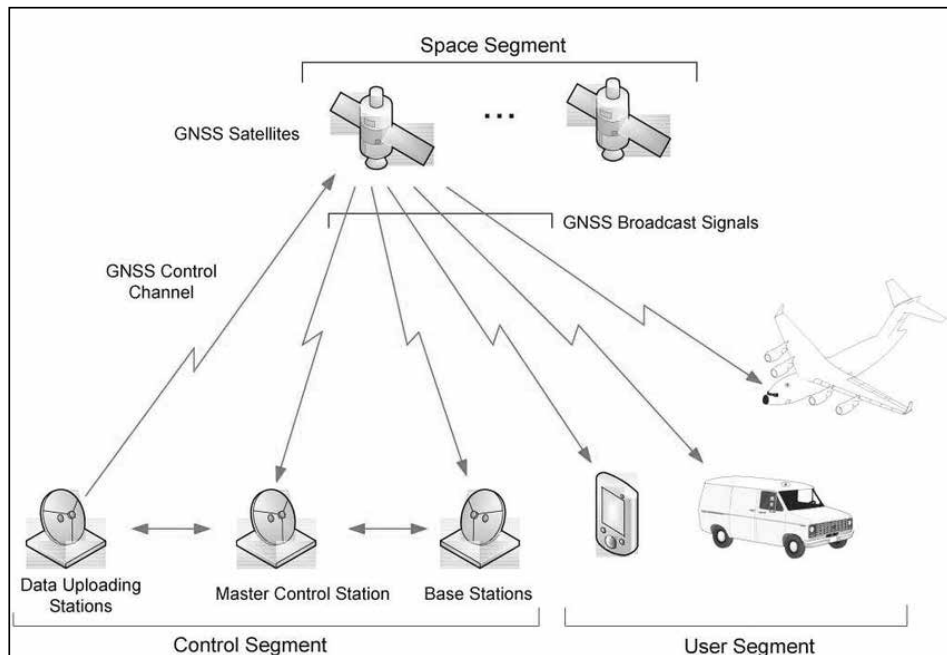
1 Definované v dokumentu MC 139/3 NATO Policy on Satellite Navigation Services for NATO Military Operations.

2 Precise Positioning Service

3 Public Regulated Service – veřejně regulovaná služba systému Galileo.

4 Positioning, Navigation, Timing.

Všechny GNSS jsou založeny na stejném principu. Systém se skládá ze tří částí. Kosmického segmentu, představovaného družicemi, řídicího segmentu, což jsou řídicí střediska a monitorovací stanice a uživatelského segmentu v podobě přijímačů jednotlivých uživatelů⁵. Pomocí signálů z družic, korigovaného přes řídicí segment, se určuje poloha přijímače. Ukázka viz obrázek č. 1.



Obrázek č. 1: Struktura globálních navigačních družicových systémů⁶

Znalost GNSS a jejich struktury je zásadní pro další rozbor. V současné době je v provozu šest družicových navigačních systémů, z toho čtyři globální. GPS (Global Positioning System) vlastněný a provozovaný americkou armádou je v současnosti nejrozšířenějším a nejvyužívanějším ze systémů. Byl zprovozněn jako první již na konci sedmdesátých let dvacátého století. Původně pouze vojenské použití se po roce 2000⁷ výrazně rozšířilo i na civilní sektor. Kosmický segment systému se skládá aktuálně z 31 družic⁸. Druhým

⁵ Hexagon, GNSS overview. [online]. <https://www.novatel.com/an-introduction-to-gnss/chapter-1-gnss-overview/section-1/>, [citace: 10. 06. 2019].

⁶ Researchgate. [online]. https://www.researchgate.net/figure/GNSS-Architecture-4_fig1_311935462, [citace: 10. 06. 2019].

⁷ V roce 2000 bylo zrušeno opatření výběrové dostupnosti SA (Selective Availability – umělé zhoršování přesnosti pro neautorizované uživatele GPS).

⁸ U.S. Department of Homeland Security. Navigation Center. [online]. <https://www.navcen.uscg.gov/?Do=constellationStatus>, [citace: 12. 06. 2019].

globálně provozovaným systémem je GLONASS s 24 družicemi URAGAN⁹. Tento systém provozovaný ruskou armádou dosáhl plné operační schopnosti v roce 2011. Je rovněž přístupný pro civilní využití. Galileo je evropský systém s globálním pokrytím, který je primárně určen pro civilní účely. Prozatím však nedosáhl plné operační schopnosti, ta je očekávána po roce 2020. Kompletní pokrytí bude zajišťovat 30 (27+3) družic, z toho je nyní nasazených 22¹⁰, počet zajišťující částečnou operační schopnost. Jedná se o přesnější systém díky použití více signálů z družic¹¹. Čínský systém BeiDou již dosáhl své plné lokální operační schopnosti a v roce 2020 se předpokládá úplné globální pokrytí. To bude zajišťovat 35 družic. Systém má poskytovat služby na dvou úrovních – otevřené (pro veřejnost) a autorizované (pro vojenské účely).

Zbývající dva navigační systémy jsou lokální (tzv. RNSS¹²). Je to indický systém IRNSS (The Indian Regional Navigation Satellite System) skládající se ze 7 družic. Pokrývá oblast kolem Indie a od roku 2016 je plně operabilní¹³. Druhým regionálním systémem je japonský QZSS (Quasi-Zenith Satellite System). Jedná se o čtyř družicový systém pokrývající území Japonska a přilehlou oblast Tichého oceánu, jehož cílem je zvýšit počet sledovaných družic, které vysílají signály kompatibilní s veřejnou službou poskytovanou GPS. Plná operační schopnost byla dosažena v roce 2018¹⁴. Z dalších systémů lze zmínit již ukončený americký projekt Transit (předchůdce GPS) a francouzský funkční systém určování polohy Doris, sestávající z 8 družic¹⁵.

2 POPIS SYSTÉMU GALILEO

Galileo je samostatný globální navigační družicový systém, který provozuje Agentura pro evropský globální navigační družicový systém (GSA) a zaštiťuje Evropská Komise. Myšlenka na vytvoření evropského navigačního družicového systému se datuje již k polovině devadesátých let. Prvním projektem EU v oblasti GNSS byl systém Egnos, určený pro zpřesnění PNT informací získaných pomocí GPS. Kosmický segment Egnos tvoří dvě geostacionární družice Inmarsat. Systém pokrývá evropský kontinent obdobně jako

⁹ Roskosmos, Glonass. [online]. <https://www.glonass-iac.ru/en/GLONASS/index.php>, [citace: 10. 06. 2019].

¹⁰ European GNSS Agency. [online]. <https://www.gsc-europa.eu/system-status/Constellation-Information>, [citace: 12. 06. 2019].

¹¹ Nebude platit po plánované modernizaci GPS.

¹² Regional Navigation Satellite System

¹³ Indian Space Research Organization, IRNSS. [online]. <https://www.isro.gov.in/irnss-programme>, [citace: 10. 06. 2019].

¹⁴ Cabinet Office, Government of Japan, QZSS. [online]. http://qzss.go.jp/en/overview_/services/sv02_why.html, [citace: 10. 06. 2019].

¹⁵ International DORIS Service. [online]. <https://ids-doris.org/ids/organization/terms-of-reference.html>, [citace: 10. 06. 2019].

WAAS¹⁶ pokrývá oblast Severní Ameriky. Na něj postupně navázal Galileo od projektu v roce 1999, přes první vypuštěné testovací družice v roce 2005 až po dnešní částečnou operabilitu. Plná operační schopnost se předpokládá v roce 2020. Systém je nezávislý na GPS. Při vypouštění prvních družic bylo využito kosmodromu Bajkonur v Kazachstánu a raket Sojuz. Později byly družice vynášeny z Guyanského kosmického centra ve Francouzské Guyaně. Poslední série družic již byla vynesena raketou Ariane 5ES a tím se systém stal zcela nezávislým na státech mimo EU.

Původním záměrem bylo zahrnout do projektu investory ze soukromého sektoru. Cíle však nebylo dosaženo, a tak Evropská Komise přebrala kompletně celý projekt finančně pod svá křídla. Původní investiční záměry byly výrazně překročeny. Největší překážkou zavedení plné operability byla finanční stránka, nyní je to komplexnost, technologickou náročnost a zajištění bezpečnosti provozu. Finální datum celkové funkčnosti systému je neustále posouván. Kontrakt na vypouštění družic do vesmíru obdržela firma Arienspace. Pokrývá použití 5 raket Soyuz, každá nesoucí 2 družice a 3 raket Ariane 5, každá pro 4 družice¹⁷. V roce 2018 proběhl poslední start se 4 družicemi a tím se systém dále přiblížil své plné operabilitě¹⁸.

Sklon dráhy a počet družic umožní využívat systém až do 75° zeměpisné šířky. Díky většímu počtu družic bude systém spolehlivý a může překonat i svého největšího konkurenta GPS. Pokrytí signálem Galilea je větší než u GPS, zejména v oblastech severských zemí, kde je družicová navigace obecně problematictější. Rozsah pokrytí a přesnost jsou hlavními devizami Galilea. Využívání vlastního navigačního systému má také v důsledku přispět k efektivnější dopravě. Jednoznačným výsledkem konkurence na trhu GNSS je, že obecně se dále zpřístupňují a zdokonalují služby a celkově se z kvalitňuje systém.

2.1 Parametry

Základní parametry systému Galileo jsou¹⁹:

- výška oběžné dráhy družic: 23222 km;
- sklon drah družic vůči rovině rovníku je 56° ve třech rovinách, které jsou vzájemně posunuty o 120°;
- dráhy mají 9 pozic a jednu pozici jako zálohu;
- základní přesnost je 4 m;
- frekvence signálů družic 1.1–1.6 GHz;
- plná operační schopnost: 27 družic, 3 záložní.

¹⁶ Wide Area Augmentation System

¹⁷ European Commission, Galileo. [online]. http://ec.europa.eu/growth/sectors/space/galileo/history_en, [citace: 5. 06. 2019].

¹⁸ European Space Agency, Navigation. [online]. https://www.esa.int/Our_Activities/Navigation/Four_new_Galileo_join_Europe_s_largest_satellite_constellation, [citace: 10. 06. 2019].

¹⁹ Český kosmický portál, Galileo signály a přijímače. [online]. <http://www.czechspaceportal.cz/gnss-systemy/galileo/komponenty-systemu-galileo/galileo-signaly-a-prijimace/>, [citace: 10. 06. 2019].

- v provozu 22 družic (částečná operační schopnost)²⁰;
- signály Galileo jsou vysílány na čtyřech nosných frekvencích E1, E5a, E5b a E6 (viz obrázek č. 2).

2.2 PNT služby

Poloha je určována stejnou metodou jako v systému GPS. K signálu se pomocí modulace přidává kód, díky němuž přijímače rozpoznají, od které družice signály přicházejí. Pomocí kódu se také určí doba, za kterou signál urazil vzdálenost mezi danou družicí a přijímačem na základě korelace vysílaného signálu z družic a jeho repliky v přijímači GNSS. Využití signálů šířených na více frekvencích umožňuje efektivně eliminovat vliv ionosféry na určení polohy. Odstranění vlivu ionosféry je tím účinnější, čím větší je rozdíl mezi hodnotami frekvencí, proto jsou Galileo služby realizovány minimálně pomocí dvou signálů. Kombinace signálů a služeb jsou ukázány na obrázku č. 2. U některých služeb je tak možné dosahovat velmi přesných výsledků, a to bez použití diferenčních metod měření.

Galileo poskytuje velké množství rozličných služeb, jejichž hlavním účelem je zajistit primárně civilní sektor. Jsou jimi neplacená základní služba, placená přesnější komerční služba, vyhledávací a záchranná služba a veřejně regulovaná služba. V případě veřejně regulované služby můžeme v posledních letech pozorovat inklinaci primárně civilního určení k využití pro vojenské účely.

Základní služba – Open Service (OS)

- volně dostupná;
- polohová přesnost 4 m, výšková přesnost 8 m;
- postavena na využití signálů na nosné vlně E1, E5a, E5b;
- signál využívá dvě pásma;
- při kombinaci všech tří signálů lze v závislosti na přijímači a metodě měření dosáhnout až centimetrové přesnosti

Přesná polohová služba – High Accuracy Service (HAS)²¹,

- kryptograficky chráněná služba, přístup pomocí kryptografického klíče nahraného ve speciálním přijímači;
- zpoplatněná;
- obdobná přesnost jako OS.

Vyhledávací a záchranná služba – Search and Rescue (SAR)

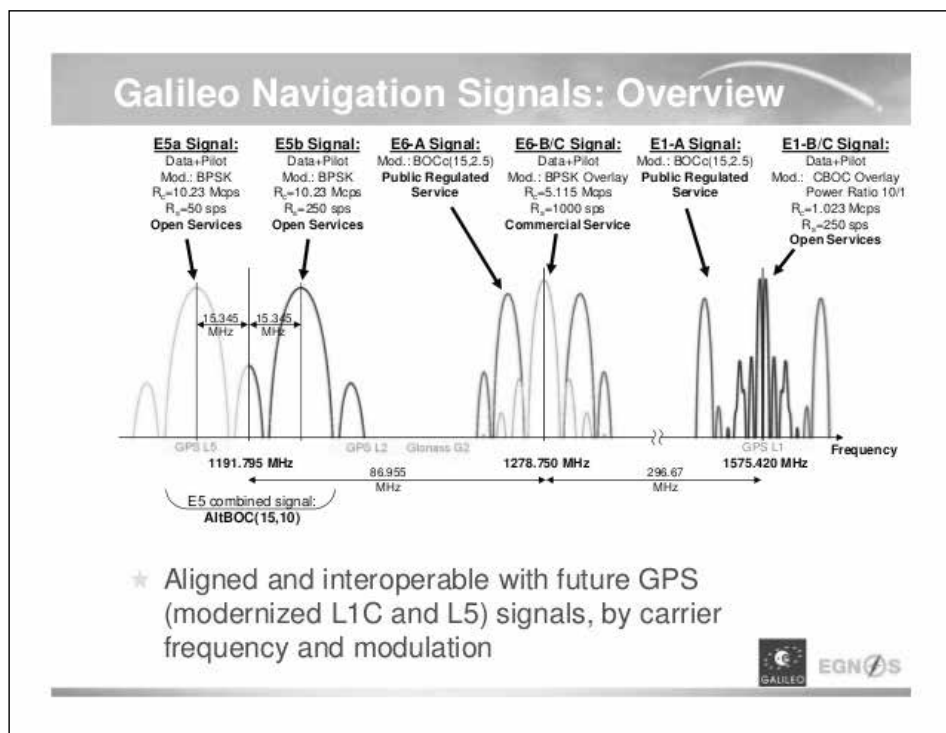
- služba nouzové lokalizace v rámci celosvětové družicové záchranné služby COSPAS/SARSAT (pouze jako příspěvek systému Galileo do celosvětové služby);
- možnost automatické lokalizace místa nehody a obousměrné komunikace s příslušným centrem.

Veřejně regulovaná služba – Public Regulated Service (PRS)

²⁰ European Space Agency, Navigation. [online]. https://www.esa.int/Our_Activities/Navigation/Four_new_Galileos_join_Europe_s_largest_satellite_constellation, [citace: 10. 06. 2019].

²¹ dříve Komerční služba – Commercial Service (CS)

- kryptograficky chráněná služba, přístup pomocí kryptografického klíče nahraného ve speciálním přijímači;
- vyšší odolnost vůči rušení;
- odolná vůči klamání;
- určená pro autorizované uživatele, např. jednotky IZS, armády a bezpečnostní složky států.



Obrázek č. 2: Přehled využití signálů jednotlivými službami systému Galileo²²

2.3 Výhody

- systém je pod kontrolou EU (nezávislost na USA) – strategická hodnota systému;
- z vojenského hlediska se jedná o další zdroj kryptograficky chráněných signálů GNSS – případná budoucí multikonstelace s přístupem ke službám GPS PPS

²² European Space Agency. Galileo System Status. [online]. <https://www.slideshare.net/hydrographicsocietybnl/galileo-gnss-workshop-hsb-nin-gin> 201412 12, [citace: 13. 06. 2019].

- a Galileo PRS přinese robustní řešení, jehož výsledkem budou kvalitnější a dostupnější PNT informace;
- nezávislost na jiných GNSS;
 - administrativní centrum v Praze, zaměstnání, kontrakty;
 - obsahuje více signálů než konkurenční systémy²³;
 - základní přesnost pod 4 m.

2.4 Nevýhody

- velká nákladnost, počáteční náklady se doposud vyšplhaly na 10 miliard eur, roční údržba se odhaduje na 750 milionů eur²⁴;
- nemá soukromé investory, jde čistě z rozpočtu EU (zčásti i výhoda);
- v článku 3 Rozhodnutí Evropského parlamentu a Rady č. 1104/2011/EU, o podmínkách přístupu k veřejně regulované službě nabízené globálním družicovým navigačním systémem vytvořeným na základě programu Galileo je zakotveno právo členských států, Rady, Komise a ESVČ na neomezený a nepřetržitý přístup ke službě PRS po celém světě; pro ostatní služby poskytované systémem Galileo obdobná garance poskytnuta není.

2.5 Přínos

Přispěním družic Galilea vzroste celkový počet družic GNSS nad stovku. Tím se výrazně zlepší možnost měření v oblastech s výškovými překážkami, hlavně se jedná o města s výškovými budovami. Sklon dráhy družic umožní lepší výsledky měření v oblastech nad (na jižní polokouli případně pod) polárním kruhem. Budování systému Galileo má významný vliv na letecký a kosmický průmysl, výrobu přijímačů a služeb napojených na tento systém. Dalšími faktory jsou podpora technologického výzkumu a inovací, obchodní příležitosti a nové pracovní pozice. Díky vlastnímu nezávislému systému posiluje pozice EU a ESA na poli GNSS²⁵.

²³ Nicméně např. GPS postupně zavádí nové signály. V konečné fázi bude GPS poskytovat čtyři vojenské (P(Y) a M kód na L1 a L2) a čtyři civilní signály (C/A, L1C, L2C, L5) na třech frekvencích (L1, L2, L5).

²⁴ Český kosmický portál, financování programu Galileo. [online]. <http://www.czechspaceportal.cz/3-sekce/gnss-systemy/galileo/financovani-programu-galileo/>, [citace: 10. 06. 2019].

²⁵ European Space Agency, Navigation. [online]. http://web.archive.org/web/20010210235108/http://www.esa.int:80/export/esaSA/GGG0H750NDC_navigation_0.html, [citace: 5. 05. 2019].

3 POPIS SYSTÉMU BEIDOU

BeiDou je družicový navigační systém Čínské lidové republiky. Je plně pod kontrolou armády. Zpočátku byl plánován jako regionální systém, jenž se později vyvinul do úrovně globální. Nejdříve bylo záměrem spolupracovat na vývoji evropského systému Galileo, nicméně od určité doby začala Čína investovat pouze do vlastního systému. Dosavadní náklady na BeiDou se odhadují na 25 miliard dolarů. Nyní je tento v pořadí čtvrtý GNSS již v plné operační schopnosti. Čína tak může využívat tento systém pro konvenční útočné zbraně, např. v raketách dlouhého doletu.

Čína vyvíjí značnou aktivitu na poli komunikace a společných projektů se zahraničními partnery. Iniciativa "belt-and-road" se soustředí na spojení a spolupráci mezi Euroasijskými zeměmi. Jejím výsledkem je intenzivní výstavba komunikací v Asijském regionu nebo právě zavedení systému BeiDou v této oblasti²⁶. Více než 30 zemí podepsalo dohodu o zavedení BeiDou. Řada z nich umožnila Číně postavit pozemní kontrolní stanice, které vylepší přesnost a spolehlivost systému²⁷.

3.1 BeiDou-1

Jedná se o první čínský družicový navigační experimentální systém, který byl budován v letech 2000–2003. Skládá se ze čtyř družic na geostacionárních orbitech. Díky této konstelaci bylo možno systém založit na méně družicích, avšak oblast, kterou systém zabezpečoval, byla omezená. Pokrytí bylo pouze od 70° do 140° východní zeměpisné délky a od 5° do 55° severní zeměpisné šířky. Frekvence signálů byla 2491.75 MHz. Kvůli přípravě a vývoji nového systému byl BeiDou-1 vyřazen z provozu na konci roku 2012.

3.2 BeiDou-2 (Compass), BeiDou-3

Projekt, jenž vznikl na požadavku vytvořit nezávislý systém na ostatních GNSS. Do roku 2020 půjde o regionální navigační systém (BeiDou-2), od roku 2020 plně globální navigační družicový systém (BeiDou-3). Družice BeiDou se zapojují do společného globálního navigačního družicového systému, jelikož dnes už mají přijímače možnost příjmu signálů

²⁶ *China-Britain business council, Belt and Road Reports. [online].* [http://www.cbcc.org/resources/belt-and-road-reports-\(1\)/](http://www.cbcc.org/resources/belt-and-road-reports-(1)/), [citace: 11. 06. 2019].

²⁷ *The World in 2019. [online].* <http://www.theworldin.com/article/14433/edition2019digital-silk-road>, [citace: 6. 05. 2019].

ze všech 4 GNSS. V únoru 2018 byly vypuštěny dvě další družice, takže nyní má systém 29 operabilních družic²⁸.

Celkově bude mít systém 35 družic. Z toho:

- 27 družic je situováno na středním zemském orbitu;
- 5 na geostacionární dráze;
- 3 na geosynchronní dráze.

Družice jsou vynášeny na orbitu ze družicového startovacího střediska Xichang pomocí raket Long March 3. Od roku 2012 je pokrytí systému od 55° do 180° východní zeměpisné délky a od 55° jižní zeměpisné šířky do 55° severní zeměpisné šířky. Rozsah pokrytí BeiDou-1 a BeiDou-2 zobrazen na obrázku č. 3.



Obrázek č. 3: Porovnání pokrytí systémů BeiDou-1 a BeiDou-2 (Compass)²⁹

Přesnost určení polohy je pod 10 m u veřejné služby, pod 10 cm u licencované služby. Frekvence signálů je 1575.42 MHz (shodné s GPS a Galileo). Signály jsou digitálně multiplexovány metodou CDMA (Code Division Multiple Access). Ta používá 4 frekvenční pásma (B1, B2, B3, L5), na kterých má být vysíláno 5 volných a 5 autorizovaných signálů. Některé z nich budou po plné modernizaci z BeiDou-1 na BeiDou-2 opuštěny³⁰. Některá pásma a signály včetně kódování (např. B1-BOC a L5) jsou totožné s ostatními systémy,

²⁸ Inside GNSS. [online]. <http://insidegnss.com/china-launches-2-more-beidou-satellites-into-space/>, [citace: 6. 05. 2019].

²⁹ China Nation Space Administration. BeiDou. [online]. www.beidou.gov.cn, [citace: 13. 06. 2019].

³⁰ Xiaochun, L. et col. Interoperability Feasibility Analysis Between BeiDou and GPS. Springer. 2012, XVII, 610 p. ISBN 978-3-642-29174-6.

protože Čína bilaterálně spolupracuje na interoperabilitě s USA (GPS), Ruskem (GLO-NASS) a EU (Galileo)³¹.

3.3 Výhody

- deklarovaná přesnost pod 10 m v oblasti střední a jižní Asie;
- s rozvojem systému se bude dále určení polohy zpřesňovat;
- více GNSS = robustní řešení = kvalitnější a dostupnější PNT informace.

3.4 Nevýhody

- nespĺňuje požadavky NATO na použití v operacích;
- využití pouze v případě civilních multikonstelačních přijímačů;
- utajení systému, včetně jeho problémů;
- Čína má možnost kdykoliv omezit přístup ke službám systému;
- v Africe, případně jiných regionech je přesnost horší, pod 30 m;
- nevyvážený odhad finanční bilance systému, což se může negativně v budoucnu projevit na jeho funkčnosti.

3.5 Přínos a Služby

Služby mají dvě úrovně: otevřená (veřejná) a vyhrazená (vojenská). Otevřená služba bude dostupná všem uživatelům, má přesnost 10 metrů, synchronizaci hodin do 10 nanosekund a měří rychlosti s přesností na 0.2 m/s. Licenční vyhrazená služba je určena Čínským vládním úřadům a armádě. Může být využita pro komunikaci a poskytuje uživateli informace o statusu systému. Kromě Čínské armády byla zprostředkována také pro vojsko Pákistánu.

BeiDou se prosazuje také v civilním sektoru. Vlastní GNSS umožnilo čínské ekonomice rozvoj dalších průmyslových odvětví, v oblasti navigačních čipů, antén a dalších podpůrných produktů³². V tomto smyslu představují mobilní telefony v Číně nejprogresivněji se

³¹ United Nations Office for Outer Space Affairs, COMPASS/BeiDou Navigation Satellite system, červenec 2008. Dostupné z: <http://www.unoosa.org/documents/pdf/icg/activities/2008/expert/2-1a.pdf>.

³² *The World in 2019*. [online]. <http://www.theworldin.com/article/14433/edition2019digital-silk-road>, [citace: 6. 05. 2019].

rozdávající trh. Jde o zařízení, jejichž většina již nyní umožňuje určování polohy s využitím PNT služby BeiDou. Aktuální hodnota tohoto projektu činí přes 25 miliard a v roce 2020 se ještě zdvojnásobí.

4 VYUŽITÍ SYSTÉMŮ GALILEO A BEIDOU V AČR

Při rozboru využitelnosti systémů Galileo a BeiDou hraje velkou roli geopolitická situace. Přístup ke Galileo PRS má pouze členský stát EU, který zřídí pracoviště Competent PRS Authority, tj. včetně ČR. Čína uvolní vyhrazenou službu jen pro úzký okruh spřátelených států. Z globálního pohledu jsou nově nastupující GNSS velkým přínosem jak pro civilní a v případě Galileo i pro vojenské účely. Armáda České republiky může čerpat z výhod těchto systémů, zefektivnit přístupy, modernizovat zařízení a účastnit se na rozvojových projektech vyplývajících z tohoto komplexního globálního navigačního systému. Konkurence na poli technologického vývoje v tomto oboru, poskytování rychlejších, dostupnějších a přesnějších služeb a samotný boj o uživatele bude mít jednoznačně pozitivní dopad na celkovou kvalitu GNSS. Multikonsteláční přijímače zajistí kvalitní a zejména robustní řešení zdroje PNT informací z GNSS.

4.1 Přesnost

Úroveň přesnosti autonomních měření jednotlivých systémů je poměrně dobrá, nicméně není dostačující pro současné potřeby přesného zaměřování a navigace. Přesnost 4 m u Galilea, respektive 10 m u BeiDou nepřináší pro AČR výraznější zlepšení aktuálního stavu. Výhodou však je, že tyto systémy se budou dále vyvíjet a zpřesňovat a v případě Galilea je také možnost získat přístup i k přesnějším službám i pod 1 m. Při využití kombinace všech dostupných systémů (multikonstelace), případně použitím sofistikovanějších metod měření, výsledná přesnost určených PNT informací zásadně narůstá.

4.2 Globální pokrytí

Galileo přichází s výrazným rozšířením oblasti pokrytí. Díky většímu sklonu orbit vzhledem k rovině rovníku, než má např. GPS, dosahuje Galileo lepšího pokrytí a přesnosti ve vyšších zeměpisných šířkách. K výraznému zlepšení dojde v Severní Evropě, která je v současné době zájmovou oblastí světových velmocí. Zkvalitnění služeb umožní zlepšení podmínek pro vedení bojové a podpůrné činnosti v této oblasti.

Po uvedení všech plánovaných družic všech GNSS do plné operační schopnosti, umožní velké množství družic, přesahující počet 100, příjem kvalitního signálu (minimální počet družic pro přesnou polohu) i z malé části oblohy. To zpřístupní či zkvalitní měření

v oblastech dříve nevhodných pro měření GNSS. Zalesněné oblasti a zejména městská centra³³ či přímo vnitřky budov tak budou nově přístupné pro přesná měření.

4.3 Rušení signálů

Dnešní zkušenosti hovoří o důležitosti sledování odolnosti proti rušení a klamání GNSS.³⁴ Může např. docházet k výpadkům signálu a tím i ohrožení vlastních vojáků z důvodu nepřesné navigace či střelby v případě nedostatečného záložního řešení zdroje PNT informací. Tento problém se například v rámci mise ISAF nevyskytoval, ale dnes se již objevují indicie o možných výpadcích v některých krizových oblastech. Je proto důležité proškolit vojáky v operacích o těchto problémech a jak je zvládat³⁵. Současné vojenské přijímače zajišťují přístup k GPS PPS³⁶ pomocí P(Y)-kódu (v budoucnu M-kódu). Služba GPS PPS je odolnější vůči rušení, a hlavně odolná vůči klamání. Naproti tomu civilní přijímače využívají pouze otevřené signály GNSS bez kryptografické ochrany. Odolnost vůči rušení se pak pro vojenské tak civilní účely zvyšuje dalším hardwarem a softwarem. Mezi tyto opatření patří zejména používání tzv. chytrých antén (CRPA³⁷).

4.4 Kolize signálů

U BeiDou a Galileo vzniká problém kolize signálů. Frekvence pro BeiDou jsou rozděleny ve čtyřech pásmech: B1I, B1C, B2a, a B3 a překrývají se s frekvencemi Galileo. Pro vlastní přijímače to má sice pozitivní dopad, nicméně mohou vznikat interference v systému, zejména v pásmech E1 a E6 systému Galileo, která jsou přidělena veřejně regulované službě Galileo.

4.5 Bezpečnostní stránka

Nasazení kontingentů AČR je dnes možné téměř po celé planetě, a tak připravenost na mise v různých prostředích je klíčová. Armáda se musí připravovat na scénáře pro období krizí. Již u lokálních konfliktů jsou často znemožněny GNSS služby určování polohy

³³ Tzv. městské kaňony, angl. „Urban canyons“.

³⁴ Matthews, Mary. Jammers and Spammers: *Vulnerabilities of Global Navigation System*. Academic Press. 2015.

³⁵ Rada, J. Analýza kvality geografické podpory v zahraničních misích. *Vojenské rozhledy*. 2018, č. 3. ISSN 1210-3292.

³⁶ GPS Precise Positioning Service

³⁷ Controlled Reception Pattern Antennas

a synchronizovaného času pro určité regiony. Řešením, jak se vyhnout výpadku systému, je mít k dispozici robustní řešení zdrojů PNT informací (primární, sekundární, záložní). Služby GNSS jsou zranitelné a mohou být rušeny, v případě otevřených civilních služeb může být přijímači podsunuta chybná (klamná) poloha. Dostatečně robustní řešení zásadně sníží riziko kompletního výpadku PNT služby. Další hrozby se nachází v doménách „Space“ a „Cyber“. Zatímco útok v kyberprostoru na řídicí, kosmický nebo uživatelský segment GNSS se stává stále pravděpodobnější, vlastní ničení družic GNSS je díky náročnosti provedení a blízkosti oběžných drah jednotlivých GNSS spíše nepravděpodobné. Pro tyto scénáře je potřeba mít k dispozici analýzy dopadů.

Vzhledem k politické situaci nejsou podrobné a důvěryhodné informace o systémech GLONASS a BeiDou k dispozici. Čína jako strategický GNSS hráč podněcuje zájem ostatních stran vznášející otázky ve čtyřech oblastech, které nejsou prozatím plně zodpovězeny³⁸:

- jako poskytovatel služeb – bude kompatibilní, částečně kompatibilní či nekompatibilní;
- jako výrobce vybavení – konkurent nebo partner;
- vývoj produktů a technologií – přináší inovace nebo zkopírované koncepty;
- ohromné tržní prostředí a nevyužitý ekonomický potenciál – prostředí otevřené nebo uzavřené světu.

ZÁVĚR

V souladu s politikou NATO definovanou v dokumentu MC 139/3 NATO Policy on Satellite Navigation Services for NATO Military Operations lze použít pro vedení operací a zabezpečení bojové činnosti pouze službu GPS pro autorizované uživatele (GPS PPS). Tato politika výrazně omezuje využití dalších systémů a jejich služeb pro vojenské účely, a to i v případě, že může přinášet některé výhody (zvýšení přesnosti, lepší pokrytí, větší počet viditelných družic apod.). Nicméně pro specifickou oblast vojenského využití služeb GNSS jsou důležitější charakteristiky jako autentičnost získaných informací, dostupnost a integrita poskytovaných služeb. Z výše uvedených důvodů, pro vojenské účely, připadá v úvahu pouze veřejně regulovaná služba systému Galileo, která má stejné vlastnosti a kontrolovaný přístup k jejímu využití jako GPS PPS.

Pro využití v mírových podmínkách může být přínosné i použití ostatních GNSS (GLONASS a BeiDou), nicméně jejich využití musí být striktně limitováno a jejich uživatelé musí být předem seznámeni s potenciálními hrozbami, které vyplývají z použití těchto systémů.

Globální navigační družicové systémy hrají v dnešní době technologický prim. Po GPS a GLONASS přichází nová doba, nové příležitosti a rozšíření stávajícího systému GNSS. Pro AČR bude důležité držet technologický a informační krok se zbytkem světa. Galileo a BeiDou přinášejí řadu pozitiv do současného komplexního systému. Největší výhodou je rozsáhlejší a hustší pokrytí signály a také znatelné vylepšení přesnosti. Multikonstelatační

³⁸ Gibbons, G., China GNSS 101: Compass in the rearview mirror. *GNSS World*, leden 2008. Dostupné z: <http://insidegnss.com/auto/janfeb08-china.pdf>.

příjímače čerpají z výhod jednotlivých GNSS a v případě civilních verzí jsou jednoduše dostupné pro všechny uživatele. Od minulých dob se změnil účel těchto systémů a tím je zabezpečení civilního sektoru, nicméně v konečném důsledku může vojenská stránka kdykoliv převážit a je potřeba se na takové případy intenzivně připravovat.

Autoři: ***Mjr. Ing. Josef Rada**, narozen 1981, studium Univerzita obrany 2000 - 2005. Specializuje se obor sběru informací o území a řízení výrobních procesů. Účastnil se na různých geografických pozicích misí ISAF a KFOR a je představitelem mezinárodní skupiny MN-GSG. Publikáční činnost zaměřuje na sběr a analýzy geografických dat a rozborů geografické podpory v zahraničních misích.*

***Mjr. Ing. Viktor Pecina**, narozen v roce 1982. Je absolventem Univerzity obrany v Brně (2005). V minulosti zastával funkce v oblasti geodetického zabezpečení AČR. Nyní je specialistou v oboru globálních navigačních satelitních systémů. V roce 2020 bude nasazen v misi KFOR, kde již jednou dříve působil. V oblasti geodézie a GNSS publikuje odborné články v domácích časopisech.*

Jak citovat: RADA, Josef and Viktor PECINA. Využití systémů Galileo a BeiDou v AČR. *Vojenské rozhledy*. 2020, 29 (1), 036-050. ISSN 1210-3292 (print), 2336-2995 (on-line). Available at: www.vojenskerozhledy.cz