

Global Positioning System

Z Wikipedie, otevřené encyklopedie

Skočit na: [Navigace](#), [Hledání](#)



Ilustrace [družice](#) GPS na oběžné dráze plánovaného bloku IIF (obrázek [NASA](#))

Tento článek pojednává o konkrétním systému provozovaném USA. O globálních polohových systémech obecně pojednává článek [Globální družicový polohový systém](#).

Global Positioning System, zkráceně **GPS**, je [vojenský globální družicový polohový systém](#) provozovaný [Ministerstvem obrany Spojených států amerických](#), s jehož pomocí je možno určit [polohu](#) a přesný čas kdekoliv na [Zemi](#) nebo nad Zemí s přesností do deseti metrů. Přesnost GPS lze s použitím dalších metod ještě zvýšit až na jednotky centimetrů. Část služeb tohoto systému s omezenou přesností je volně k dispozici i civilním uživatelům.

V současné době se systém využívá v mnoha oborech lidské činnosti. Na provoz GPS se ročně vynakládá přibližně 600 až 900 milionů (2006-2008) [amerických dolarů](#) z rozpočtu USA.^[1]

Obsah

[\[skrýt\]](#)

- [1 Historie](#)
- [2 Princip funkce](#)
- [3 Struktura systému](#)
 - [3.1 Kosmický segment](#)
 - [3.2 Řídící a kontrolní segment](#)
 - [3.3 Uživatelský segment](#)
- [4 Rádiové signály](#)
- [5 Určování polohy a času](#)
 - [5.1 Vztažné soustavy](#)
- [6 Přesnost měření](#)
 - [6.1 Efemeridy](#)
 - [6.2 Družicové hodiny a relativistické efekty](#)
 - [6.3 Ionosférická a troposférická refrakce](#)
 - [6.4 Vícecestné šíření signálu a přijímač](#)
 - [6.5 Geometrické rozmístění družic](#)
 - [6.6 Selektivní dostupnost \(Selective Availability\)](#)

- [6.7 Sagnacovo zakřivení](#)
- [7 Odkazy](#)
 - [7.1 Reference](#)
 - [7.2 Související články](#)
 - [7.3 Externí odkazy](#)

[\[editovat\]](#) Historie

Projekt navazuje na předchozí [GNSS Transit](#) (1964-1996) a rozšiřuje ho především kvalitou, dostupností, přesností a službami. Původní název systému je **NAVSTAR GPS** (*Navigation Signal Timing and Ranging Global Positioning System*), který nesou také [družice](#), které systém GPS využívá ke své činnosti. Vývoj NAVSTAR GPS byl zahájen v roce [1973](#) sloučením dvou projektů určených pro určování polohy *System 621B* (USAF) a pro přesné určování času *Timation* (US Navy). Mezi léty 1974–1979 byly prováděny testy na pozemních stanicích a byl zkonstruován experimentální přijímač. Od roku 1978–1985 začalo vypouštění 11 vývojových družic bloku I. V roce 1979 byl rozšířen původní návrh z nedostačujících 18 na 24 družic. Od roku 1980 začalo vypouštění družic se senzory pro detekci jaderných výbuchů jako výsledek dohod o zákazu jaderných testů mezi USA a USSR.

Počátkem 80. let se projekt dostává do finančních problémů. V roce [1983](#), kdy sovětská [stíhačka](#) ve vzdušném prostoru [SSSR](#) sestřelila civilní [dopravní letadlo Korean Air Flight 007](#) (KAL 007), přičemž všech 269 lidí na palubě zahynulo, oznámil americký [prezident Ronald Reagan](#), že po dokončení bude GPS k dispozici i pro civilní účely.

V roce 1990 během [války v Zálivu](#) byla dočasně deaktivována selektivní dostupnost (SA) pro neautorizované uživatele, z důvodu nedostatku armádních přijímačů. Zapojena byla opět 1. července 1991.

Počáteční operační dostupnost (IOC) byla vyhlášena 8. prosince 1993, plná operační dostupnost pak [17. ledna 1994](#), kdy byla na [orbitu](#) umístěna kompletní sestava 24 [družic](#).

Definitivní zrušení selektivní dostupnosti nastalo 1. května 2000. První družice bloku IIR-M podporující nový civilní signál označovaný L2C byla vypuštěna 25. září 2005.^[2]

[\[editovat\]](#) Princip funkce

Související informace naleznete v článku [Globální družicové polohové systémy](#).

[\[editovat\]](#) Struktura systému

Celý systém GPS lze rozdělit do 3 segmentů:

- kosmický
- řídicí
- uživatelský

[\[editovat\]](#) Kosmický segment

Počet družic^{[3][4][5][6]}

| Blok | Období | Vypuštěno | Aktivní | Životnost plán/skutečná |
|---------------|-----------|-------------------------------------------|-----------|----------------------------|
| I | 1978–1985 | 10+1 ¹ | 0 | -/? |
| II | 1989–1990 | 9 | 0 | 7,5/12,1 |
| IIA | 1990–1996 | 19 | 9 | 7,5/13,1+ |
| IIR | 1997–2004 | 12+1 ¹ | 12 | 10,0/14,2+ |
| IIR-M | 2005–2009 | 8 | 7 | 8,5/8,6+ |
| IIF | 2010–2012 | 2+10 ² | 2 | 15,0/- |
| IIIA | 2014–2019 | 0+12 ³ (+4) ⁴ | 0 | -/- |
| IIIB | | 0+8 ³ | 0 | -/- |
| IIIC | | 0+16 ³ | 0 | -/- |
| Celkem | | 61 +11² +36³ | 31 | |

¹ztracena při startu nebo selhalo oživení

²v přípravě

³plán

⁴vývojové/testovací

(Poslední změna: 20. října 2011)



Příprava startu rakety Delta II s [družicí](#) bloku IIA nesoucí označení "NAVSTAR 33" v roce 1993. (fotografie [NASA](#))

Kosmický segment byl projektován na 24 [družic](#), ale nyní je využíván až na mezní počet 32, pro další navyšování počtu bude třeba změna vysílaného signálu. Družice obíhají ve výšce 20 200 [km](#) nad povrchem Země na 6 kruhových drahách se sklonem 55°. Dráhy jsou vzájemně posunuty o 60° a na každé dráze jsou původně 4 pravidelně nyní 5-6 nepravidelně rozmístěné pozice pro družice. Družice váží asi 1,8 tuny a na střední oběžné dráze (MEO, Medium Earth Orbit) se pohybuje rychlostí 3,8 km/s, s dobou oběhu kolem Země 11h 58min (polovina [siderického dne](#)).

Klíčové části družic NAVSTAR jsou:

- 3 až 4 velmi přesné (10^{-13} s) [atomové hodiny](#) s [rubidiovým](#) dříve také s [cesiovým oscilátorem](#)
- 12 antén [RHCP](#) pro vysílání rádiových kódů v pásmu L (2000-1000 MHz)^[7]
- antény pro komunikaci s pozemními kontrolními stanicemi v pásmu S (2204,4 MHz)
- antény pro vzájemnou komunikaci družic v pásmu [UHF](#)
- optické, rentgenové a pulzní-elektromagnetické [detektory](#) senzory pro detekci startů balistických raket a jaderných výbuchů
- solární panely a baterie jako zdroj energie

Na dvou exemplářích družic PRN 35, 36 bloku IIR vypuštěných v letech 1993 a 1994 byla testována [odrazová pole](#) pro měření polohy družice laserovými měřidly ([SLR](#)) projektu [NASA](#) ILRS (International Laser Ranging Service).^[8] Konstrukce zrcadla vážila asi 10kg o úhlopříčce půdorysného obdélníku 20 cm a byla tvořena 32 dílčími buňkami.^[9]

V České republice je nejčtenější viditelnost 8 družic (medián), minimum pak 6, maximum 12 družic, při elevační masce 10° v roce 2008.^[10]

Družice jsou několikrát do roka, obvykle plánovaně, odstaveny pro údržbu atomových hodin a korekci dráhy družice. Údržba trvá přibližně 12-24 hodin. Průměrná životnost družice je asi 10 let, obměna kosmického segmentu trvá přibližně 20 let.

Pro popis stavu kosmického segmentu jsou definovány dva stavy implementace:

- **plná operační schopnost** (FOC, Full Operational Capability) - označení stavu, kdy je nejméně 24 družic plně funkčních, podporující novou technologii. Poprvé byl vyhlášen 17. července 1995 po vypuštění a zprovoznění 24 družic Bloku II a IIA.
- **částečná operační schopnost** (IOC, Initial Operational Capability) - označení stavu, kdy je nejméně 18 družic plně funkčních, podporující novou technologii. Poprvé byl vyhlášen 8. prosince 1993 po vypuštění a zprovoznění 18 družic Bloku I, II a IIA.

V roce 2008 byly uzavřeny kontrakty mezi US Air Force a firmou Lockheed Martin na vývoj a výrobu 16 družic bloku IIIA v ceně 1,5 miliard USD^[11] na roky 2014-2019 a v roce 2010 na 12 družic bloku IIIB v ceně 3,0 miliard USD^[12].

[\[editovat\]](#) Řídící a kontrolní segment



Operátorka řídicího střediska na letecké základně Schriever, monitorující stav kosmického segmentu. (fotografie [USAF](#))

Segment se skládá z několika částí:

- **velitelství** - Navstar Headquarters na [letecké základně Los Angeles](#) v [Californii](#) v [USA](#).
- **řídící středisko** (MSC, Master Control Station), na [Schrieverově letecké základně USAF](#) v [Colorado Springs](#), 2nd Space Operations Sq. Záložní řídící středisko (BMCS, Backup Master Control Station) umístěné v Gaithersburg (Maryland, USA) přebírá cvičně 4× do roka řízení systému, v nouzi je připravena do 24hodin.
- 3 **povelové stanice** (Ground Antenna), které jsou umístěny na základnách [USAF](#): Kwajalein, Diego Garcia, Ascension Island případně i [Cape Canaveral](#).
- 18 **monitorovacích stanic** (Monitor Stations), které jsou umístěny na základnách [USAF](#): Havaj, Colorado Springs, Cape Canaveral, Ascension Island, Diego Garcia, Kwajalein a dále stanice spravující [NGA](#): Fairbanks (Aljaška), Papeete (Tahiti), Washington DC (USA), Quito (Ekvádor), Buenos Aires (Argentina), Hermitage (Anglie), Pretoria (Jižní Afrika), Manama (Bahrain), Osan (Jižní Korea), Adelaide (Austrálie) a Wellington (Nový Zéland).^[13]

Řídící a kontrolní segment monitoruje kosmický segment, zasílá povely družicím, provádí jejich manévry a údržbu atomových hodin. Výsledek jejich monitoringu je zveřejňován v navigační zprávě každé družice a jejich platnost je řádově několik hodin ^[14]:

- data pro model ionosférické refrakce
- predikce dráhy družice, tzv. efemerid
- korekce atomových hodin
- přibližné pozice ostatních družic a jejich zdravotní stav

Řídící a kontrolní segment komunikuje s uživateli také prostřednictvím zpráv [GPS NANU](#) (*Notice Advisory to NAVSTAR Users*), kde zveřejňuje plánované odstávky družic, jejich stažení a uvedení do provozu nebo i zpětně informace o nezdravé družici.

Pokud by došlo k zničení pozemních vojenských stanic řídícího a kontrolního segmentu, přechází družice do režimu *AUTONAV* (Autonomous Navigation Mode), ve kterém jsou schopny dále pracovat až 6 měsíců. V tomto režimu spolu družice komunikují a porovnávají vzájemně mezi sebou své efemeridy a stav palubních hodin. Výsledky poskytují uživatelskému segmentu v navigační zprávě. Tento režim však nikdy nenastal, nejsou ani známy výsledky jeho případných testů.^{[15][16]}

[\[editovat\]](#) Uživatelský segment



Jednoduchý přijímač GPS využívající metod kódového měření (C/A kód) s integrovanou anténou, konektorem pro napájení a komunikaci



Navigační turistické počítače s integrovaným přijímačem GPS využívající metod kódového měření (C/A kód)



Vojenská zbraň - podzvuková střela s plochou dráhou letu BGM-109 Tomahawk využívající ke své orientaci v prostoru a navádění na cíl mimo inerciálních systémů také systém GPS (P(Y) kód) (fotografie [Navy US](#))

Uživatelé pomocí GPS přijímače přijímají signály z jednotlivých družic, které jsou v danou chvíli nad obzorem. Na základě přijatých dat (časových značek z jednotlivých družic a znalosti jejich polohy) a předem definovaných parametrů přijímač vypočítá polohu antény, nadmořskou výšku a zobrazí přesné datum a čas. Komunikace probíhá pouze od družic k uživateli, GPS přijímač je tedy pasivní.

Rozdělení přijímačů podle přijímaných pásem:

- jednofrekvenční
- dvoufrekvenční
- vícefrekvenční (připravují se pro pásmo L5)

Rozdělení přijímačů podle kanálů:

- jednokanálové (používané v raných fázích projektu GPS)
- vícekanálové

Rozdělení přijímačů podle principu výpočtů:

- kódová
- fázová a kódová

Běžně dostupné přijímače k amatérskému (tj. negeodetickému a nevojenskému) vyžití se vyrábí jako jednofrekvenční, vícekanálové a kódové. Jednoduchý přijímač signálu GPS pro se skládá z:

- antény
- předzesilovače
- procesoru
- časové základny (často křemíkový krystal o přesnosti $<10^{-6}$ s)
- komunikačního rozhraní