

# Základy GPS

(Global Positioning System) = NAVSTAR (NAVigation System using Time And Ranging)

Radionavigační družicový systém pro určování polohy a času na zemském povrchu a v přílehlém prostoru.

Není to jediný družicový navigační systém, ale jako jediný je plně funkční a navíc nejužívanější; jiné systémy viz na konci

## Historie GPS

- prosinec 1973 U.S.Air Force +U.S.Army Navy+ Defence Mapping Agency(DMA)

- 1978 se k vytváření systému přidalo 9 členských států NATO

1.etapa (do r.1978)– vyvinuty prototypy družic, zaveden kontrolní systém a testovány přijímače

2.etapa – testován celý systém (družice 1. a 2. generace)

„3.etapa“ – od roku 1995 je systém plně dobudován, došlo ke změnám v kosmickém systému (viz níže)

## Složení systému GPS

- kosmický podsystém
- řídicí (kontrolní) podsystém
- uživatelský podsystém

Kosmický podsystém : 24 družic (21 navigačních + 3 rezervní) ve výšce 20 200 km; 6 oběžných drah se sklonem 55° (do r. 1995 jen 3 oběžné dráhy se sklonem 63°). Družice má přijímač, vysílač, atomové hodiny, procesory atd. (MERVART L., CIMBÁLNÍK M.,1999; str 86,87)

Řídicí podsystém : je zodpovědný za řízení celého systému; složení: 1 hlavní řídicí stanice (Colorado, letecká základna Falcon), 5 monitorovacích stanic, 3 pozemní řídicí stanice.

Monitorovací stanice nepřetržitě měří signály vysílané družicemi, získané údaje přenáší do hlavní řídicí st. Tam na jejich základě z týdenních měření vypočítány efemeridy (= přesné údaje oběžných drah jednotlivých družic). Hlavní řídicí stanice také uchovává časový systém GPS (GPST) a vypočítává korekce hodin pro jednotlivé družice. Výpočty jsou přenášeny zpět do pozemních řídicích stanic a jednou denně vysílány do procesorů jednotlivých družic. Družice pak prostřednictvím radiových signálů vysílají své efemeridy a přesný čas do GPS přijímačů.

Uživatelský podsystém = GPS přijímače + uživatelé + vyhodnocovací nástroje

Přijímač tvoří anténa, radiofrekvenční jednotka, mikroprocesor, komunikační jednotka, paměť a zdroj napětí (ŠVÁBENSKÝ O., FIXEL J., WEIGEL J., 1995; str.9)

Podle využití přijímače:

- navigační (vojenské i civilní) vyráběny pro letadla, lodě, pozemní vozidla, pro kosmická tělesa, i v ručním provedení
- měřičské, geodetické
- přijímače pro časovou synchronizaci – např pro astronomické observatoře...

## Princip GPS

Systém pracuje na principu jednosměrného dálkoměru. Měřená veličina = doba šíření signálu z družicové antény k přijímací anténě. Tento naměřený čas je pomocí rychlosti šíření signálu převáděn na vzdálenost.

Je důležitá časová synchronizace celého systému. Dokonalá synchronizace možná není, rozdílem časových stupnic na družicích a v přijímači vzniká chyba v určení vzdálenosti, proto se měřená vzdálenost označuje jako *pseudovzdálenost*. Chyba 1 ns v šíření signálu odpovídá chybě 0,3m v měřené vzdálenosti (ŠVÁBENSKÝ O., FIXEL J., WEIGEL J., 1995; str.14)

Základní způsoby odvozování času:

- z pohybu Země (astronomický čas)
- z kmity atomů (atomový čas)

Systém GPS pracuje v geocentrickém systému WGS-84, který je s rotací Země pevně spjat. Pro synchronizaci času systému se ale jak v hlavní řídicí stanici, tak na družicích používají atomové hodiny. Atomový čas není v žádném vztahu k rotaci Země. Proto byla zavedena hybridní časová škála *UTC (Universal Coordinated Time)* – přesný čas je sledován atomovými hodinami, ale je opravován tak, aby byl v souladu s astronomickým časem odvozeným od rotace Země. (RAPANT P.,1998) Opravy jsou prováděny krokově přidáním tzv. přestupné sekundy vždy když nesoulad mezi oběma časy přesáhne stanovený limit.

Časový systém GPS: Čas GPS (angl. GPS Time = GPST) je řízen hlavními kontrolními hodinami (umístěné v hlavní řídicí stanici), kterými jsou synchronizovány hodiny jednotlivých družic tak, aby odchylka nepřekročila 1ms.

Družicový čas si udržuje každá družice samostatně – je vybavena čtyřmi atomovými hodinami. Ty jsou v případě potřeby pozemní monitorovací stanicí korigovány tak, aby se udržel rozdíl oproti GPST < 1ms.

### Vysílaný a přijímaný signál :

Systém GPS je založen na velmi přesných kmitočtových a časových informacích. Ty jsou vysílány družicemi v podobě složitých pseudonáhodných šumových kódů – PRN (*Pseudo Random Noise*). PRN nejsou nositeli datových informací, zabezpečují pouze přenos časových značek (ŠVÁBENSKÝ O., FIXEL J., WEIGEL J., 1995; str.16)

Družice GPS odvozují frekvence všech svých signálů od základní frekvence  $f_0 = 10.23$  Mhz. Jejím celočíselným násobením jsou vytvořeny 3 nosné vlny:

frekvence L1 ( $154 \cdot f_0 = 1575,42$  MHz, vlnová délka cca 19 cm)

frekvence L2 ( $120 \cdot f_0 = 1227,60$  MHz, vlnová délka cca 24 cm)

frekvence L3 ( $135 \cdot f_0 = 1381,05$  MHz)

Pro vlastní měření se používají pouze nosné vlny L1 a L2 (L3 slouží pouze pro vojenské účely), které jsou modulovány PRN kódy:

Frekvence L1 je modulována dvěma PRN kódy – C/A kódem a P-kódem.

Frekvence L2 je modulovaná pouze P-kódem (resp. Y-kódem).

C/A kód (Clear/Access – volný přístup nebo Coarse Acquisition – hrubý sběr dat) má frekvenci 1,023 Mhz, není šifrovaný, je bez omezení přístupný všem uživatelům systému. Užívá se pro navigaci s nižší přesností a pro časovou synchronizaci. Je potřebný pro rychlou orientaci v P-kódu. Většina civilních přijímačů užívá pro měření pouze C/A kód.

P-kód (Protected – chráněný, Precise – přesný): je generován složitěji než C/A kód; má frekvenci 10,23 Mhz, která se opakuje každých 267 dní. Každý jednotýdenní segment kódu je unikátní pro jeden satelit a je týdně přestavován. Rovnice pro dekódování P-kódu jsou známé, pro vojenské účely se používá šifrovaná verze P-kódu – tzv. Y-kód.

Obě nosné frekvence přenáší ještě binární kód (kódovaný pomocí fázových posunů nosných vln) – tzv. *navigační zprávu*. Ta obsahuje data o zdravotním stavu družice (angl. health) a údaje o pozici a dráhových parametrech – efemeridy.

### Souřadný systém

Polohy družic systému GPS a tedy i souřadnice určovaných bodů jsou vyjádřeny v globálním geocentrickém systému WGS-84 (World Geodetic System) Počátek kartézských souřadnic je v těžišti Země.

(podrobně určování souřadnic družice viz. ŠVÁBENSKÝ O., FIXEL J., WEIGEL J., 1995; str.20-23, převod souřadnic do S-JTSK viz. HRDINA Z., PÁNEK P., VEJRAŽKA F., 1996; str 121-123)

### Způsoby měření

Měření pseudovzdáleností: pro měření vzdálenosti mezi družicí a anténou přijímače se využívá měření doby šíření el.-mag. vlnění; princip jednosměrného dálkoměru.

Z přijatého C/A kódu a navigační zprávy je možná stanovit přesný čas odeslání zprávy. Rozdíl času odeslání a času přijetí zprávy přijímačem se násobí rychlostí šíření rádiových vln, dostaneme pseudovzdálenost.

Fázová měření: založená na stanovení fázového posunu nosné vlny. Fáze přijatého družicového signálu je porovnávána se signálem generovaným přijímačem. Ze zjištěného fázového posunu lze určit, která část vlny byla právě přijata přijímačem. Tak lze stanovit první část vzdálenosti mezi přijímačem a družicí (na frekvenci L1 < 19cm, na frekv. L2 < 24cm). Přesnost stanovení této části vzdálenosti cca v mm. 2. část vzdálenosti = počet celých vln. délek = *ambiguïta* (přijímač nezná). Počet se stanoví až při zpracování dat – nutné programové vybavení (podrobněji řešení ambiguit viz ŠVÁBENSKÝ O., FIXEL J., WEIGEL J., 1995; str.48-50)

Přijímače lze podle způsobu měření rozlišovat na :

- přístroje založené na sledování PRN kódů – měření pseudovzdáleností (využívané pro navigaci, mapování; tyto přijímače mají nižší přesnost, při následném zpracování v GIS je proto nutné této skutečnosti přizpůsobit výsledné měřítka mapy)
- přístroje založené na fázových měřeních (využívané pro zeměměřičské úkoly; v terénu využívají i PRN kódy, vlastní fázová měření zpracovávají až následně – při postprocessingu) tyto přístroje mohou být jednofrekvenční (pouze frekvence L1) nebo dvoufrekvenční (L1 i L2)

Podle typu přijímače lze polohu učit ve dvou režimech:

- standardní režim (Standard Positioning Service) : přijímače s C/A kódem (většina civilních)
- přesný režim (Precise Positioning Service): využívá C/A kód a P-kód;

## Určování polohy

Absolutní určování polohy: souřadnice určeny v systému WGS-84 v reál. čase, využívá se pseudovzdáleností, pro měření stačí jedna přijímací aparatura.

Relativní určování polohy: poloha bodu se určuje vzhledem k referenčnímu bodu, jehož souřadnice jsou přesně známy, měříme dvěma aparaturami současně.

## DGPS (Differential GPS)

(podle VEJRAŽKA F.,2000)

Využívá principu relativního určování polohy. Řada zdrojů chyb se uplatňuje stejně i u přijímačů značně vzdálených. Pro potřeby měření se subcentimetrovou přesností (chybou <1cm; geodetická měření) toto platí o přijímačích vzdálených do 15 km. Ale pro měření s nižší přesností (řádově v m) je dostačující vzdálenost referenční stanice do 400km (podle HRDINA Z., PÁNEK P., VEJRAŽKA F.,1996) Chyby u těchto přijímačů jsou pak závislé nebo značně korelované (především chyby družicových hodin). Měřením na *referenční stanici* (= bod o známých souřadnicích) můžeme v každém okamžiku určit chybu při měření jeho polohy. Stanoví se tak korekce, které jsou předávány druhému, mobilnímu GPS přijímači. Korekce mohou být využívány v reálném čase nebo využity až při postprocesingu.

Zpracování korekcí v reálném čase: je důležité především pro navigaci, umožňuje získat výsledky DGPS měření přímo v terénu; je nutné připojení k referenční stanici nějakým komunikačním kanálem (přenos korekcí např. pomocí mobilního telefonu s GSM modemem, pom. radiových vln KV nebo VKV atd.)

Po celém světě se vyskytují organizace provozující sítě referenčních stanic (jako první bylo pokryto pobřeží USA – navigace v lodní dopravě; později pokryto pobřeží Evropy, Číny...) Na území ČR začala budovat síť referenčních stanic firma by/S@T. Na jaře r. 2000 byl spuštěn zkušební provoz na 4 pevných referenčních stanicích (Benešov, Beroun, Kolín, Všetaty).

## Faktory ovlivňující přesnost GPS

Přesnost měření do značné míry závisí na způsobu měření, typu použitého přijímače a také na aktuální politice Ministerstva obrany USA (to je zodpovědné především za kódování družic).

- Kódování družic:

- Anti –Spoofing – průběžné šifrování P-kódu (tím je vytvářen Y-kód, který není přístupný civilním uživatelům systému)
- SA (Selective Availability – selektivní dostupnost) záměrné zavedení chyb do GPS. Většinou docházelo ke změně nastavení hodin na družicích – vliv takto zavedených chyb byl do značné míry eliminován využitím DGPS (právě díky zavedení SA v roce 1990 došlo k poměrně rychlému vývoji DGPS v následujících letech. Naopak – právě díky DGPS záměrné zavádění SA ztratilo svůj smysl a 1.5.2000 bylo Ministerstvem obrany USA zrušeno)

- Snížení přesnosti – DOP (Dilution of Precision)

Indikátor kvality polohy družic. Výpočet DOP bere v úvahu polohu každé družice vzhledem k ostatním družicím použitým k měření. Má několik parametrů – nejvýstižnějším je PDOP (polohové DOP – zahrnuje do výpočtu vertikální i horizontální směr). Optimální velikost PDOP je cca 2. Při PDOP >7 je uspořádání družic nevhodné k měření.

- Počet viditelných družic

Kvalita hodin GPS přijímače je o několik řádů nižší než kvalita hodin na družicích . Proto se s časem přijímače ve výpočetních rovnicích pracuje jako s další neznámou. Pro určení polohy měřeného bodu v 3D (x, y, z, t) jsou tak nezbytné signály minimálně ze 4 družic. Pokud měříme polohu pouze ve 2D (x, y, t), stačí signály ze 3 družic.

Samozřejmě platí – čím více družic, tím přesnější měření. Záleží také na tom, kolik kanálů pro příjem signálů z družic náš GPS přijímač má.

- Vliv atmosféry

- ionosférická refrakce: závisí na počtu volných elektronů v atmosféře (ve vertikálním směru může vnášet chybu až 30m). Při větší vlnové délce signálu (nosná frekvence L2) je vliv ionosféry alespoň částečně eliminován

- troposférická refrakce: závisí na hustotě prostředí atmosféře (ve vertikálním směru může vnášet chybu až 2,3 m).

V obou případech je chyba vnášená do měření výrazně větší v případě přijímání signálů z družic těsně nad horizontem. Proto se na začátku měření nastavuje *angel mask* – úhel nad obzorem pod kterým nejsou družice zahrnuty do měření (většinou nastavení *angel mask* <15°)

- Poměr užitečných informací v signálu / šum  
Signál z družic je poměrně slabý, při průchodu např. hustými korunami stromů nebo vysokou zástavbou vzrůstá podíl šumu v signálu.
- Multipath – mnohacestné šíření signálu  
Odras signálu z družic např. od vodních ploch, skleněných budov atd. způsobuje, že anténa přijímače přijímá místo jednoho dva signály. Tím pak dochází k chybnému určení pseudovzdálenosti. Tento problém lze z části odstranit jednak výběrem vhodné lokality k měření nebo použitím „ochranného talíře“ kolem antény přijímače.

### Výhody a nevýhody využití GPS

- + mezi jednotlivými měřenými body nemusí být přímá viditelnost jako u klasických měřičských metod
- + je rychlejší a levnější než klasické měřičské metody
- + poskytuje 3D souřadnice
- + pracuje v kteroukoliv denní nebo noční dobu a bez ohledu na počasí
- je nemožné měřit v podzemí
- horší výsledky při měření v hustém porostu, husté a vysoké zástavbě nebo v úzkých údolích
- nezbytná přímá viditelnost na družice (z měřeného bodu viditelná obloha 15° nad obzorem všemi směry)

## Jiné družicové navigační systémy

### GLONASS

Ruský družicový navigační systém, začal být budován v r.1982. Jeho princip je velmi podobný GPS (podrobněji RAPANT P.,1998)

V současné době se tento systém potýká se značnými finančními problémy, je označován jako nespolehlivý s velmi nejistou budoucností (VEJRAŽKA F.,2000)

### DALŠÍ PROJEKTY (podle VEJRAŽKA F.,2000):

Egnos (European Global Navigation Overlay System) = GNSS (Global Navigation Satellite System), projekt nových, sloučených nebo spolupracujících družicových systémů. Budou využívat družice evropské kosmické agentury ESA, budou přenášet diferenční korekce.

Galileo: po vzniku ruských potíží se systémem GLONASS chtěly některé země tento systém podporovat (Německo, Francie). Postupem času se Galileo stal samostatným evropským projektem. Systém by měl být spuštěn kolem roku 2010 jako konkurent GPS.

### LITERATURA:

- ŠVÁBENSKÝ O., FIXEL J., WEIGEL J. (1995): Základy GPS a jeho praktické aplikace, Cerm s r.o., Brno  
 HRDINA Z., PÁNEK P., VEJRAŽKA F. (1996): Rádiové určování polohy, Vydavatelství ČVUT, Praha  
 MERVART L., CIMBÁLNÍK M. (1999): Vyšší geodézie 2, Vydavatelství ČVUT, Praha  
 RAPANT P. (1998): Úvod do družicových polohových systémů 1. a 2. část, GEOinfo V/2, V/3  
 VEJRAŽKA F.(2000): Současnost a budoucnost diferenčních metod určování polohy, GEOinfo VII/4