

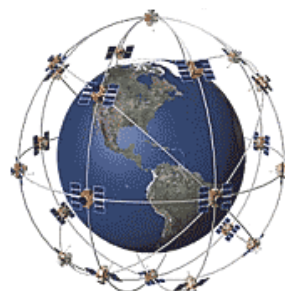
# Jak funguje satelitní navigační systém (GPS)

## Jak to vlastně začalo

Ke vzniku satelitních navigačních systémů se musíme vrátit do druhé poloviny 20. století. Za jejich zrodem byly především armádní zájmy. V roce 1960 začalo americké námořnictvo umisťovat na oběžnou dráhu družice systému TRANSIT. Jejich hlavním úkolem bylo přesné určování polohy plavidel. Systém byl v roce 1964 uvolněn i pro civilní použití a v současnosti slouží hlavně majitelům civilních jachet. Postupem času byl projekt TRANSIT následován řadou dalších systémů. Nejpoužívanějším a nejrozsáhlejším se stal globální polohový systém NAVSTAR – GPS (Global Positioning System - globální polohový systém).

Technologie GPS byla na počátku využívána jen jako přesný vojenský lokalizační a navigační prostředek sledování pozic vojenských jednotek, zaměřování cílů, apod., v 80. letech 20. století americká vláda rozhodla o jeho uvolnění i pro civilní účely. Poté následovalo mohutné rozšíření technologie GPS do nejrůznějších oblastí lidské činnosti.

Kosmický segment GPS představují družice umístěné na šesti kruhových drahách se sklonem  $55^\circ$  k rovině rovníku, vzdálené 20 190 km od povrchu Země a pohybující se rychlostí 11 300 km/h. Za jeden den uskuteční každá družice dva oběhy kolem Země (jeden oběh trvá 11 h 58 min). Každá ze šesti drah má pět pozic pro umístění družic a to znamená, že za současné konfigurace je maximální možný počet družic GPS na oběžné dráze roven třiceti. Pozice č. 5 je u každé dráhy záložní, pro dosažení plné operační způsobilosti systému stačí 24 funkčních družic.



Srdcem každé družice jsou velmi přesné atomové hodiny. Nosná vlna (1 575,42 MHz a 1 227,60 MHz) je modulována fázovou modulací. Pro modulaci nosné vlny se používá několik pseudonáhodných kódů. Tyto kódy jsou pro každou družici jedinečné a zajišťují přijímači GPS jednoznačnou identifikaci družice. Jedním z důležitých kódů vysílaných družicemi je **navigační zpráva**. Obsahuje informace o telemetrii, dráze jednotlivých družic a nejrůznější korekční data. Je vysílána frekvencí 50 Hz, její délka je 1 500 bitů a skládá se z pěti částí. Pro určení dvojrozměrné polohy (nejčastěji zeměpisná délka a šířka) postačí příjem signálu z min. tří družic, pro určení trojrozměrné polohy (navíc výška) minimálně ze čtyř družic. Příjem menšího počtu družic znemožňuje výpočet polohy, vyšší počet družic naopak určení polohy dále zpřesňuje.

Uživatelský segment je tvořen jednotlivými GPS přijímači, které umožňují přijímat signály z družic a získávat z nich informace o své poloze a čase. Uživatelský segment tvoří pasivní přijímače schopné přijímat a dekodovat signály z družic (*pasivní proto, že pouze přijímají (a nevysílají nazpět) signály a data z družic. Důvodem vzniku pasivního systému bylo především to, aby nemohly být přijímače zaměřeny nepřitelem*). Jejich provoz není spojen s žádnými poplatky za využívání služby. Díky tomu, že přijímače nemusí komunikovat s družicemi, je systém GPS schopen obsloužit neomezený počet uživatelů.

## Využití GPS

**Vojenské účely** - Zařízení pro příjem GPS jsou součástí letadel, tankerů, lodí i ponorek, tanků i pozemní vojenské techniky. Kromě navigačních aktivit je systém využíván k označování cílů a navádění raket, je součástí vzdušné podpory a montuje se i do „chytrých“ zbraní.



### Civilní účely

**Čas** - Díky přesnosti atomových hodin, používaných v družicích je satelitní navigační systém využíván k synchronizaci hodin a mnoha významných událostí po celém světě. Čas atomových hodin je extrémně přesný, jeho odchylky dosahují hodnot nanosekund. Je tak přesný, že jsou na něm závislé i společnosti, pro které hraje přesné načasování událostí životně důležitou úlohu. Například světové investiční a bankovní společnosti se denně spoléhají na přesnost systému z důvodu celosvětově simultánního provádění finančních transakcí.

**Letectví** - Navigační systémy letadel pomáhají při řízení téměř všech manévřů, která jsou letadla nucena provádět. Jedná se o pomoc při vzletu i přistávání, stroje jsou pod neustálou GPS kontrolou i během svého pobytu ve vzduchu, trasy letadel jsou pevně naplánované předem nadefinovanými body. Důvodem je bezpečnost provozu i jeho ekonomika. Absolutní výhodou systému GPS je také kontrola polohy letadel nad oceánem, která by jinak nebyla z pozemních vysílačů možná. Letadla jsou pod kontrolou nejen ve vzduchu. Hustota provozu na letištích se natolik zvýšila, že bylo nutné vyvinout pozemní systémy řízení pohybu letadel, které využívají ke své činnosti soustavu GPS. Velkou výhodou je možnost využití systému během jakýchkoli povětrnostních podmínek, ve dne i v noci.



**Námořní doprava** - Satelitní navigace poskytuje výjimečnou přesnost a velký potenciál pro námořníky a manažery v námořní dopravě. Za zmínku stojí nejen využití pro navigaci při cestách oceány, ale také zmapování a označení nebezpečných míst, mělčin, a podobně. Rybářské flotily využívají satelitní systém k přesnému navedení do oblastí s optimálním výskytem ryb.



**Pozemní doprava** - Schopnosti satelitní navigace, umocněné informačními technologiemi a moderními systémy řízení pomáhají při řešení všech činností, týkajících se plánování pozemní dopravy. Jsou využívány ke sledování pohybu a polohy vozidel, k plánování nejefektivnějších tras a mohou se stát zdrojem výnosů, plynoucích z asistence při provozování integrovaného systému dopravy.

**Vesmírné projekty** - Satelitní navigace oživuje a posiluje vesmírný výzkum a operace prováděné ve vesmírném prostoru. Pomáhá také řídit a kontrolovat polohu satelitů na oběžné dráze. Využitím speciálních algoritmů budou již brzy satelity schopny navádět se automaticky, čímž se usnadní provoz pozemních řídicích středisek. Rakety a kosmické lodě budou schopny startovat, pracovat na oběžné dráze a poté se vrátit na Zemi pod neustálým řízením a kontrolou satelitním navigačním systémem.

**Volný čas** - Technologie satelitní navigace pomohla překonat mnohá rizika, která byla spojena s aktivním využíváním volného času. Přenosné přijímače umožňují absolvovat cesty v neznámých oblastech s jistotou a se znalostí polohy. Jsou využívány k určování polohy, směru, rychlosti, vzdáleností a času. Milovníci pohybu ve volné přírodě jsou schopni díky GPS ve dne i v noci dosáhnout vytčeného cíle a vrátit se na dané místo aniž by bloudili nebo se vystavovali zbytečnému nebezpečí. Stále se také zvyšuje počet uživatelů, kteří využívají GPS při hraní her, speciálně založených na satelitní navigaci (Geocaching).



**Záchranný systém** - Satelitní navigace se rychle stává standardem i v jednotkách záchranného systému. Možnost rychlého určení místa nehody, požáru nebo ztroskotání lodí nebo letadla a následná schopnost být na toto místo rychle naveden se stává novou cestou pro zlepšení a zefektivnění práce výše uvedených složek.

**Zemědělství** - Satelitní navigace pomáhá zemědělcům k vyšší produktivitě práce a ke zlepšování metod obdělávání půdy. Slouží k řízení speciálních postupů, zejména při aplikaci chemických a průmyslových hnojiv. Navigace také poskytuje lokální data o pozemcích a je možné z ní vyčíst například zamoření polí plevelem nebo onemocnění pěstovaných kultur.

**Zeměměřičství, mapování** - Satelitní navigace je využívána jak k zodpovězení jednoduchých otázek týkajících se plánování, tak k přesnému stanovování linií nebo komplexních záležitostí při výstavbě infrastruktury v urbanistických centrech. Za pomoci této revoluční technologie jsou dva lidé během několika hodin schopni získat velké množství kontrolních bodů, důležitých pro přesné zakládání staveb. Zakládání a mapování systému pozemních cest i železničních tratí může být také prováděno na základě této mobilní platformy a významně ušetřit čas i peníze.



**Železniční doprava** - Velké množství železničních soustav probíhá na jednokolejných tratích. Precizní znalost polohy vlaků pomáhá předcházet nehodám, zachovává plynulost dopravy a minimalizuje nákladná zpoždění, způsobená kontrolami týkajícími se možnosti vjezdu na trať. Satelitní navigace také monitoruje pohyb vlaků a zajišťuje bezpečnost provozu. Současné technologie již umožňují i plně automatizovaný železniční provoz.

## Jak přijímače GPS provádějí toto úžasné kouzlo?

Základní myšlenka její funkčnosti je ale zcela jednoduchá. Úkolem přijímače GPS je lokalizovat čtyři nebo více satelitů, zjistit vzdálenost ke každému z nich a za pomoci získaných informací spočítat svou polohu. Celá tato operace je založena na jednoduchém matematickém principu nazvaném **trilaterace**. Trilaterace v trojrozměrném prostoru je pro představu složitá a proto začneme s příkladem na jednodušší dvourozměrné trilateraci.

## 2-D Trilaterace

*Představte si, že se nacházíte někde na Zemi, jste ÚPLNĚ ztraceni a nemáte absolutně žádný klíč k nalezení své pozice. V tom okamžiku potkáte domorodce a na otázku „Kde prosím jsem?“ se dozvíte, že „jste **XXX km** od Mnichova.*

*To je sice pěkná, ale pro vás nepoužitelná informace. Nacházíte se totiž na jednom z bodů kružnice, která má střed v Mnichově a poloměr **XXX km**.*

*Potom potkáte dalšího, zeptáte se, kde jste a on odpoví „Jste **YYY km** od Brna“. V této chvíli již máte cosi v ruce. Pokud informaci zkombinujete s informací předchozí, získáte dvě kružnice, které se protínají ve dvou bodech. A v jednom z těchto bodů se nyní nalézáte.*

*Pokud vám třetí domorodec prozradí, že jste **ZZZ km** od Hannoveru, jednu z možností můžete eliminovat, jelikož třetí kružnice se protne s dvěma předchozími pouze v jediném bodě. Teď přesně víte, že **jste v Praze**.*

*Podobně funguje trilaterace i v trojrozměrném prostoru. S tím rozdílem, že namísto kružnic se v ní pracuje s plochami koulí.*

## Trilaterace ve 3D

*Prostorová trilaterace není oproti dvourozměrné rozdílná, jen je složitější ji vizualizovat. Pokuste se představit si poloměry z předchozího příkladu nejen v rovině, ale prostorově. Namísto 3 kružnic máte před sebou 3 protínající se koule.*

*Pokud tedy jste 100 km od satelitu A (to je jen příklad – pro š'touraly, kteří ví, že to není možné, když satelity létají přes 20000 km na povrchu Země), nacházíte se někde na plášti imaginární koule o poloměru 100 km. Pokud současně víte, že jste 150 km od satelitu B, můžete nechat tyto dva pláště vzájemně protnout. Výsledkem bude dokonalá kružnice. Znáte-li vzdálenost ke třetímu satelitu, získáte třetí kulovou plochu, protínající výše zmíněnou kružnici ve dvou bodech.*

*Budeme-li Zemi považovat za čtvrtou kouli a uvědomíme-li si, že v daném okamžiku může být pouze jeden ze dvou získaných bodů na povrchu Země, eliminací druhého budeme ve vesmíru získáme svou polohu na Zemi. Přijímače všeobecně vyhledávají čtyři a více satelitů, aby ze získaných informací zlepšily přesnost výpočtu polohy a nadmořské výšky.*

K tomu, aby GPS přijímače byly schopny provést tento jednoduchý výpočet, potřebují znát následující informace:

- Pozici nejméně tří satelitů pro znalost polohy a nejméně čtyř pro určení nadmořské výšky
- Vzdálenost mezi přijímačem a každou družicí

GPS přijímač získává tyto informace analýzou radiových signálů, vysílaných z GPS satelitů. Lepší přístroje mají více přijímačů, takže mohou zároveň přijímat signál z velkého počtu družic.

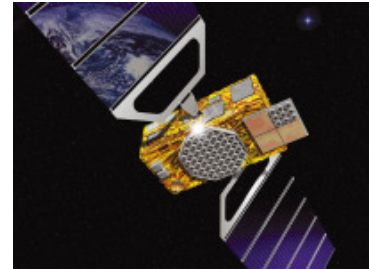
Radiové vlny jsou elektromagnetickou energií, a to znamená, že se šíří rychlostí světla (300 000 km/s ve vakuu). Přijímač dokáže určit délku cesty signálu změřením času, který signál potřeboval k dosažení cíle od jeho odeslání.

Nevýhodou GPS je potřeba přímé viditelnosti na nebe. Je potřeba mít v dosahu minimálně 4 družice. Proto nelze měřit pod vodou, v tunelu nebo ani v místnosti. Další možné omezení je ve městech s výškovými budovami, které stíní signál.

## Další vývoj

Evropské státy přistupují k systémům GPS i GLONASS (globální družicový polohový systém (GNSS) vyvinutý v SSSR a nyní provozovaný ruskou armádou) s nedůvěrou. Vadí jim jejich převážně vojenský charakter a také fakt, že je spravuje vždy jen jeden stát. Usiluje se proto o vybudování globálního družicového navigačního systému (Global Navigation Satellite System – GNSS), který by byl spravován nadnárodně a byl by zcela nevojenský.

Existuje projekt Evropské unie pod názvem **Galileo**. Tento systém by měl být plně v provozu do roku 2014. Bude tvořen 27 aktivními družicemi a několika záložními. Měl by mít vyšší přesnost než GPS a větší pokrytí signálem družic obíhajících na vyšších oběžných drahách. Z této výhody bude těžit například Skandinávie, jakožto nejsevernější evropská oblast. Systém bude opět zdarma. Bude ale navíc obsahovat šifrovaný, placený signál, s jehož pomocí se dosáhne přesnosti měření pod 1m.



## Literatura:

[1] *Svět hardware* [online]. 2006 [cit. 2010-08-11]. Jak funguje GPS. Dostupné z WWW: [http://www.svethardware.cz/art\\_doc-DDEBD99691258B70C12573EC003C1259.html](http://www.svethardware.cz/art_doc-DDEBD99691258B70C12573EC003C1259.html).

[2] *Obrázky* WWW: <http://www.google.cz/>

[3] BABČANÍK, Jan. *HW.cz* [online]. 2006 [cit. 2010-08-11]. Jak funguje GPS?. Dostupné z WWW: <http://hw.cz/Teorie-a-praxe/ART1634-Jak-funguje-GPS.html>.

[4] *Wikipedie* [online]. 25.7.2005, 14.7.2010 [cit. 2010-08-11]. Navigační systém Galileo. Dostupné z WWW: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Naviga%C4%8Dn%C3%AD\\_syst%C3%A9m\\_Galileo](http://cs.wikipedia.org/wiki/Naviga%C4%8Dn%C3%AD_syst%C3%A9m_Galileo).