

Drahomír Dušátko

Nástup a dnešní realita technologie družicového určování polohy a navigace

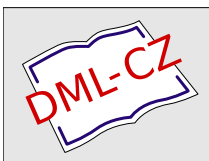
*Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, Vol. 44 (1999), No. 1, 25--36

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/140978>

## Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1999

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

# Nástup a dnešní realita technologie družicového určování polohy a navigace

*Drahomír Dušátko, Praha*

## Úvod

Druhá polovina tohoto století přinesla lidstvu mnohé originální a převratné technologie bez ohledu na motivaci jejich vzniku a na to, jaké potřeby garantovaly jejich uplatnění a další zdokonalování. Jednou z takových oblastí byl technologický i fyzický vstup člověka do vesmírného prostoru a jeho postupné zabydlování se v okolozemském prostoru. Jakkoli se naše planeta stává lidstvu postupně malou (dnes alespoň jeho expandující částí), odnepaměti zůstává trvalou a rozvíjející se potřebou řešení navigační úlohy — průběžné znalosti vlastní okamžité polohy v prostoru a schopnosti perspektivního plánování a posléze dodržování zvolené cesty k vytčenému cíli.

Veškerý důmyslný instrumentář a navigační metodiky minulosti se dnes vskutku staly archaickými hračkami. Vracíme se k nim v muzeích s nesmírným zájmem a s potěšením, neboť právě ony se staly trvalým svědectvím lidského důmyslu a cest poznání, kolébkou samostatného myšlení, odvahy a také filozofického zrání. Do kulturního dědictví lidské civilizace tak vstoupila poziční a navigační astronomie, spjatá s geografii a mapovou tvorbou určenou pro námořní cesty a s itineráři pevninských obchodních i objevných cest.

Bezprecedentní vpády nových technologií, jejich rychlé zdokonalování nám, současníkům, často ani nedopřávají rozlišovat v daném minimálním časovém odstupu jejich význam, a tak je posuzovat v celkovém kontextu vývoje dané disciplíny.

4. října 1957 byla vypuštěna první umělá družice Země; v průběhu pěti let vznikla kosmická geodézie jako samostatné odvětví výzkumu planety Země, jejích geofyzikálních polí, dynamických vlastností, geometrických a povrchových charakteristik. Samo geodetické využití družic vzniklo jako následné odvětví družicové navigace s vojenským zaměřením. První elektrotechnické družicové navigační systémy takto vzniklé, např. americký ANNA, později dopplerovský TRANSIT (v Rusku Kosmosy, GEO-IK), jsou dnes překonány. Přesto znamenaly významný pokrok — počátek definic fundamentálních geodetických parametrů, charakteristik geocentrického geodetického systému souřadnic — parametrů definujících tvar Země a její gravitační pole. Tedy charakteristik a údajů, které nezbytně vstupují do řešení jak navigačních úloh, tak i do

---

Ing. DRAHOMÍR DUŠÁTKO, CSc. (1934), Vojenský zeměpisný ústav, Rooseveltova 23, 160 01 Praha 6 - Dejvice

výstavby globálního geodetického geocentrického souřadného systému, v němž právě ono řešení navigačních úloh a využívání jeho výsledků probíhá.

Tyto veličiny významně přispěly k definování fundamentálních geometrických a fyzikálních parametrů tělesa Země, jejího náhradního — referenčního — tělesa a gravitačního pole. Umožnily vznik globálního prostorového souřadného systému, pevně spojeného s rotující Zemí a majícího svůj počátek v těžišti Země (geocentru), systému orientovaného vzhledem k ose zemské rotace. Právě v takové soustavě kartézských prostorových souřadnic  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  dnes probíhá počáteční řešení navigačních úloh.

## Družicový navigační systém GPS NAVSTAR

Dne 17. srpna 1974 byl vládou USA schválen projekt výstavby družicového navigačního systému Global Positioning System, GPS. Tento systém měl plnit v tehdejší době závodů ve zbrojení také svoji specifickou úlohu v rámci obranné strategie „hvězdných válek“ a v americké odpovědi na sovětskou kosmickou výzvu. K účasti na realizaci a rozvoji systému GPS se již v roce 1978 zavázalo dalších devět členských zemí NATO.

Hlavním cílem programu tehdy bylo

- zabezpečit nepřetržité, nezávisle na ročním období a počasí pro neomezený počet uživatelů kdekoli na Zemi, ve vzduchu a blízkém kosmickém prostoru maximálně přesné informace o jejich poloze, rychlosti a univerzálním čase,
- zamezit další neefektivní růst různých radionavigačních systémů,
- zvýšit účinnost vojenské techniky, zejména palubních prostředků,
- využít družic GPS k současnému aktivnímu plnění i dalších úkolů, jiných než navigačních, ve prospěch civilní (a civilizační) uživatelské sféry.

Tento program výstavby se stal společným pro všechny druhy ozbrojených sil USA a zároveň i pro ministerstvo dopravy. Tehdejší správa pro mapování ministerstva obrany (Defense Mapping Agency, DMA) zabezpečila pro GPS ve spolupráci s námořnictvem odpovídající globální souřadný systém World Geodetic System 1984 (WGS 84), který nahradil dopplerovský WGS 72 (1972 a 1984 jsou letopočty vývoje globálního souřadnicového systému).

Systém GPS je od roku 1993 plně funkční a vedle navigačního využívání vskutku poskytuje všestranné aplikační možnosti. Celosvětově probíhá nepřetržitě proces jeho adaptace a pronikání do různých oblastí soudobé civilizace. Vysokou adaptabilitu systému dokumentuje stále rostoucí počet výrobců této techniky, speciálně orientovaných (např. v lednovém čísle t. r. časopisu GPS World je uvedeno již 64 výrobců s parametry nabízených přijímačů GPS). Např. u nás již v roce 1991 na podzim proběhlo první geodetické měření GPS pro realizaci evropského geodetického geocentrického systému ETRS 89 (European Terrestrial Reference System 1989); v následujícím roce již čs. civilní a vojenští geodeti zaměřili vlastní technikou GPS souřadnice bodů tzv. sítě bodů nultého řádu, které též rok ještě nezávisle zaměřili měřiči skupin americké DMA (Defense Mapping Agency, dnes NIMA) v systému WGS 84.

Metoda triangulace, jejíž zásluhou vznikaly již v minulém století také naše polohové geodetické základy — trigonometrická síť, byla v současné době překonána moderními družicovými zeměměřickými, geodetickými technologiemi určování polohy GPS a sama se tak stala součástí dějin techniky.

## Jak pracuje GPS a jeho podsystémy

GPS je globální, dálkoměrný radiotechnický družicový systém určování polohy a navigace. Poloha (souřadnice) antény přijímače uživatele je dána dvěma složkami — vlastní polohou navigačních družic, kterou tyto družice nepřetržitě oznamují, a rozdílem souřadnic družice – anténa uživatele. Tento rozdíl souřadnic je určen přijímačem GPS uživatele na základě příjmu signálů alespoň ze čtyř družic a přičítá se ke známým souřadnicím družic, jejichž signály byly přijaty.

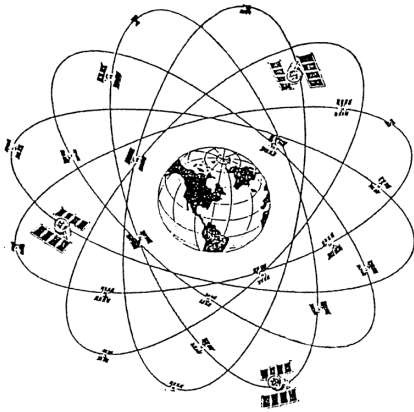
Vzhledem k tomu, že toto určení polohy antény probíhá v třírozměrném prostoru a že pro náročnost synchronizace časů (družice a přijímače) dochází k jejich chybnému přiřazení času vyslání signálu k času hodin přijímače (chyba jedné miliontiny sekundy v jejich přiřazení způsobuje chybu v délce spojnice anténa družice — anténa přijímače GPS cca 300 m!) je třeba průběžně řešit minimálně 4 rovnice o čtyřech neznámých, tj. pro souřadnice  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  a časovou korekci. Geometricky to představuje řešení prostoro-ového protínání antény přijímače prostřednictvím tzv. pseudovzdáleností (spojnic) z minimálně čtyř vhodně rozmístěných družic v jediném společném okamžiku a určení korekci hodin přijímače pro přepočet pseudovzdáleností na vzdálenosti skutečné. Vedle polohového údaje (včetně výšky) tak získává uživatel také přesný standardní čas.

Funkci a využití systému GPS zabezpečují tři podsystémy (segmenty, základní části) — kosmický (družicový), řídicí a kontrolní (pozemský, povrchový) a uživatelský, zahrnující neomezený počet přijímačů GPS na souši, mořích, ve vzduchu a v okolozemském prostoru.

Kosmický segment je tvořen 24 družicemi, které vždy po čtyřech obíhají kolem Země ve výškách cca 20 200 km v šesti oběžných rovinách, vzájemně pootočených o  $60^\circ$  a skloněných vzhledem k rovníku na cca  $50^\circ$ . Rozmístění družic na jejich drahách je voleno tak, aby byly na libovolném místě Země současně dosažitelné signály zmíněných čtyř družic.

Družice obíhají po přibližně kruhových drahách při periodě oběhu cca 11 hodin 58 minut (polovina doby rotace Země). Každá družice vysílá na dvou nosných frekvencích označených  $L_1$  a  $L_2$  opakovaný signál s kódovanou navigační zprávou, která obsahuje:

- identifikaci družice,
- časový údaj s korekcemi,
- vlastní efemeridy (dráhové elementy, parametry drah družic) udávající její polohu na oběžné dráze,
- dálkoměrné signály družice,
- informaci o stavu vlastní provozuschopnosti (o svém „zdraví“),
- další informace (mj. také efemeridy dalších družic).

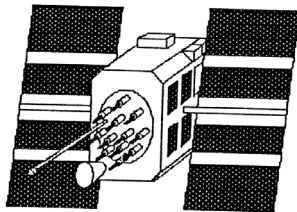


Obr. 1. Družice GPS na svých oběžných drahách.

Vysílače na družicích pracují na kmitočtech

$$L_1 = 1575,42 \text{ MHz}, \quad L_2 = 1227,60 \text{ MHz},$$

přičemž na  $L_1$  jsou vysílány dva signály označované jako C/A-kód (coarse/acquisition) a P-kód (precision). Na  $L_2$  se vysílá pouze „přesný“ P-kód, který je přístupný pouze autorizovaným armádním uživatelům. Atomové hodiny na družicích zajišťují synchronizaci vysílaných dálkoměrných signálů s jednotným systémovým časem. Tyto dálkoměrné signály mají pseudonáhodný charakter, čímž je umožněno společné využití jediného kmitočtového kanálu všemi družicemi a tím dosažení vyšší přesnosti měření, odolnosti systému proti radiovému rušení a jisté potlačení vícecestného šíření signálu včetně lomů a odrazů v členitém terénu. Celá zpráva je přenášena rychlostí 50 b/s a opakuje se každých 30 sekund. Pravidelnou aktualizaci obsahu navigační zprávy každé z družic zajišťuje řídicí a kontrolní segment. Družice se pak už „starají“ o početní



Obr. 2. Jedna z družic GPS.

extrapolaci efemerid v intervalech mezi injektovanými daty a o jejich vysílání do éteru. S ohledem na odlišnou adresnost P a C/A kódů pracují dvě systémové služby GPS, které je oba zabezpečují — služba PPS (Precise Positioning Service) a služba SPS (Standard Positioning Service). Družice jsou vybaveny atomovými hodinami, palubním počítačem, přijímačem, vysílačem, slunečními panely, stabilizátory (přídavné rakety pro obnovení orientace tělesa družice v prostoru) a bateriemi, které jsou funkční po dobu oběhu družice ve stínu Země. Hmotnost mají cca 1670 kg, životnost 7,5 roku — reálně až 10 let.

## Řídící a kontrolní podsystém

Jeho hlavní funkcí je, aby z navigačních zpráv družic systému GPS, které jsou průběžně přijímány na observačních stanicích souřadnicově určených a globálně rozmístěných, určoval efemeridy družic a injektoval je příslušným družicím na jejich paluby. Observace družic na těchto stanicích představuje kontinuální monitoring signálů všech viditelných družic, sledování zpoždění pseudonáhodných kódů a fáze nosné vlny přijímaných signálů. V současné době jsou měřená data dodávána dvanácti observačními stanicemi armádního komunikačního systému do hlavní řídicí stanice (master station) v Colorado Springs (USA), kde jsou určovány přesné parametry drah družic a časové korekce atomových hodin družic. Tyto parametry — efemeridy — jsou prostřednictvím vybraných komunikačních stanic (zároveň observačních) dodávány — injektovány na jednotlivé družice pro aktualizaci obsahu jejich navigačních zpráv. Stanice podsystému mají souřadnice v systému WGS 84 a jsou zároveň globálním rámcem tohoto systému. Tento systém je zároveň standardním geodetickým souřadnicovým systémem NATO a od 1.1.1998 je zaveden ICAO (International Civil Aviation Organization) jako závazný souřadnicový systém pro světovou leteckou dopravu.

WGS 84 je po roce 1993 průběžně zpřesňován; po verzi WGS 84 (G 736) je nyní již verze G 873. Přesto jsou rozdíly v jejich souřadnicích v globálním měřítku velmi malé (na území ČR je tento rozdíl do 60 cm). Pro velmi přesné geodetické práce a pro požadavky geodynamiky (sledování pohybů zemské kůry) vznikla tzv. mezinárodní služba GPS (International Service GPS-IGS), která z výsledků observací na stanicích této služby (počet jejich stanic se blíží ke stovce) poskytuje na vyžádání velmi přesné efemeridy družic GPS již se zpožděním pouze 4 hodiny.

## Podsystém uživatelů technologie GPS

Zahrnuje světovou obec neomezeného počtu uživatelů pasivních přijímačů GPS rozličných typů a poslání — vojenských i civilních, od navigačních typů leteckých, námořních, pozemních (včetně turistických) až po přijímače geodetického typu dosahující díky použité metodě vysoké přesnosti v určení prvků polohy. V roce 1992 byl uvolněn trh s těmito přijímači (zrušeno embargo), takže jsou dostupné přijímače nejrůznějšího určení, kvalit a v různých cenových relacích. Probíhá soutěž výrobců, přičemž kromě renomovaných firem, jako jsou TRIMBLE, ROCKWELL, ASHTECH, GARMIN, MAGELLAN, MOTOROLA, existují výrobci v Evropě (ZEISS, LEICA, SERCEL) a samozřejmě v Japonsku. Dokonce v České republice podnik DICOM s. s. r. o., Uherské Hradiště, vyrábí kvalitní navigační přijímače GPR 22 a GPR 32.

Přijímač je obvykle tvořen těmito bloky: přijímačem, počítačem s pamětí, řídicí a zobrazovací jednotkou, časovou základnou, anténou s příslušnou elektronikou a zaváděčem dat. Důležitým ukazatelem je počet kanálů, kterými probíhá současný příjem navigačních zpráv jednotlivých družic. Typický letecký přijímač je pěti- až dvanáctikanálový, geodetický osmi- až dvanácti, turistický šesti- až osmikanálový. Každý z kanálů tedy zabezpečuje data pro výpočet vzdáleností, které spolu s polohou

družic zpracovává počítač přijímače na souřadnice jeho antény. Proces si lze představit jako prostorové protínání z délek, kde určeným bodem je anténa přijímače uživatele. Navigační přijímač má obvykle další funkce — např. lze do jeho paměti ukládat souřadnice lomových bodů trasy přesunu (waypoints) odsunutě z mapy a během vlastního přesunu zjišťovat velikost odchyly v souřadnicích, vzdálenosti a v orientaci. Eliminací těchto odchylek se pak uživatel vrací na zvolenou trasu; lze zjišťovat rychlost, příp. zrychlení pohybu přijímače a přesný čas. Současné nasazení většího počtu přijímačů ve společném prostoru umožňuje zvýšit efektivitu při řešení mnohých dalších originálních úloh navigačního, geometrického, dopravního nebo situačního typu.

Obsluha navigačního přijímače, zvláště ručního, není složitá, avšak pro plné využití jeho funkcí je nutné si osvojit základní pravidla. Zároveň je velmi potřebné umět pracovat s mapou a mít solidní představu o používaných souřadných systémech — zeměpisných souřadnicích či souřadnicích rovinných. Jednou z funkcí takového přijímače je přesun po předem naplánované trase v naprosto neznámém terénu — uživatel si na mapě vynese průběh trasy a odsune souřadnice lomových bodů, které s předpokládanými časovými intervaly přesunu uloží do paměti přijímače. V průběhu přesunu pak přijímač kontroluje dosažení těchto bodů; při odchýlení se na displeji přijímače zobrazují údaje směru (azimutu) a vzdálenosti k lomovému (také traťovému) bodu, waypointu. Návrat na „správný“ bod potvrdí souhlas obou souřadnic tohoto bodu — plánovaných a na přijímači GPS odečtených — eliminace odchylek.

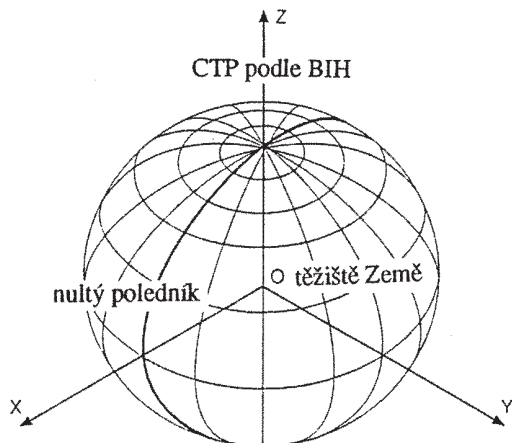
## Zeměpisné geodetické a rovinné souřadnice GPS

Lokalizační údaj, který poskytuje přijímač GPS, je typický v zeměpisných geodetických souřadnicích (šířka, délka) v systému WGS 84. Výška není vztažena ke střední hladině moře, ale k ploše rotačního elipsoidu, který geometricky nahrazuje těleso Země. Nyní téměř každý přijímač poskytuje i rovinné souřadnice (typické pro zvolený geodetický systém) a obsluhu umožňuje výběr užívaného geodetického souřadného systému. Taková nabídka je umožněna transformací souřadnic WGS 84 do zvoleného systému, kterou řeší počítač přijímače.

Stručná základní charakteristika systému WGS 84:

1. Prostorový (kartézský, 3D) systém souřadnic  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  má počátek totožný s těžištěm planety Země.
2. Osa  $Z$  je ztotožněna s časově definovanou osou rotace Země, osa  $X$  prochází průsečíkem základního (greenwichského) poledníku s rovníkem a osa  $Y$  pak je kolmá k  $X$  v rovině rovníku.
3. Náhradním, geometricky k Zemi se nejlépe přimykajícím tělesem (best fitting) je rotační elipsoid, jehož střed je totožný s počátkem systému  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ . Malé poloosy má totožné s osou  $Z$ . K osám  $X$ ,  $Z$ , rovině rovníku, hlavním kružnicím a ploše tohoto elipsoidu jsou vztaženy zeměpisné geodetické souřadnice a výška. Elipsoid má rychlost úhlové rotace společnou se Zemí (definovanou časově, parametricky vzhledem ke skutečné, zemské).

4. Systém má kromě geometrické definice vytvořen také model tíhového (gravitačního) pole Země — potenciálu tíhového pole Země (geopotenciálu) prostřednictvím jeho rozvoje do sférických harmonik (dnes od  $n, m = 180$  až 360 i více), jejichž koeficienty jsou nepřetržitě zpřesňovány.



Obr. 3. Prostorový souřadný geocentrický systém.

Dědictvím klasické éry geodézie — triangulace — jsou národní geodetické systémy. Tyto souřadné systémy se od WGS 84 i vzájemně mezi sebou liší měřítkem, použitým náhradním tělesem — elipsoidem, jeho velikostí a tvarem, orientací trigonometrické sítě daného systému vzhledem k tělesu Země. Určení souřadnic bodových polí probíhalo triangulací, astronomickým a základnovým měřením a konečně přenosem měřených veličin do výpočetní plochy elipsoidu a jejich vyrovnáním. Při porovnání těchto technologií použitých pro výstavbu souřadných systémů tak dramaticky vynikne kvalitativní skok mezi oběma epochami.

Příjimače GPS se vzájemně liší také šíří nabídky voleb těchto systémů, které udávají polohu uživatele buď v zeměpisných souřadnicích, nebo v jim odpovídajících rovinných souřadných systémech, které v podstatě představují matematicky definované zobrazení (přenos) bodových polí ze zakřivené plochy (elipsoidu) do roviny (mapy). Nejběžnějším zobrazením WGS 84 do roviny mapy je válcové, konformní (stejnouhlé) zobrazení Mercatorovo se sečným válcem v příčné poloze (Universal Transverse Mercator, UTM). Systém WGS 84 a zobrazení UTM je standardem NATO, na který nyní přechází i armáda České republiky.

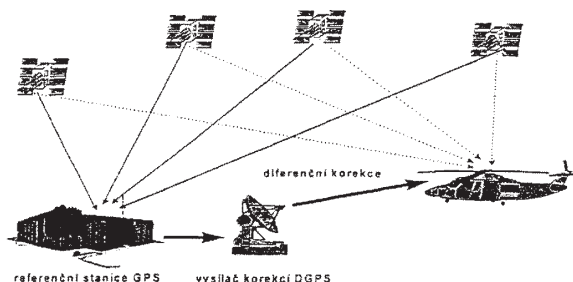
### Přesnost v určení polohy

Poloha určená technologií GPS je zatížena třemi charakteristickými typy chyb — uměle zaváděnými provozovatelem, přirozenými a technickými. Umělé „znepřesnění“ je tzv. výběrová dostupnost (selective availability, SA) postihující neautorizované uživatele kódu C/A tak, aby mohli určovat polohu s přesností řádově 100 m. Přístup neautorizovaných uživatelů ke kódu P, který poskytuje přesnost v určení polohy cca



15 až 30 m, lze zcela znemožnit opatřením „antispoofing“, AS, kterým je kód P zašifrován na tzv. Y-kód, znemožňující zároveň i nasazení rušičů signálu GPS. Přesto je problematika uvolnění P-kódu pro civilní uživatele velmi aktuální a živá, zvláště po zahájení provozu ruského navigačního systému GLONASS (Globalnaja navigacionnaja sputnikovaja sistema). Americká administrativa řeší průběžně tuto problematiku a byla již přijata jistá vstřícná opatření, která by zajistila dlouhodobý zájem o systém GPS u civilní veřejnosti. Přirozené zneřádnění je způsobeno ionosférickým a troposférickým zpožděním signálů z družic, jejichž důsledkem jsou zakřivení a lomy drah šířených signálů. Tyto chyby lze do značné míry korigovat zavedením oprav a speciální konstrukcí přijímačů — např. současným příjmem signálů na frekvencích  $L_1$ ,  $L_2$ . Významné je samozřejmě prostředí, v němž probíhá příjem signálů — složitost terénu, zástavba, kvalita atmosféry, které ovlivňují a snižují polohovou přesnost.

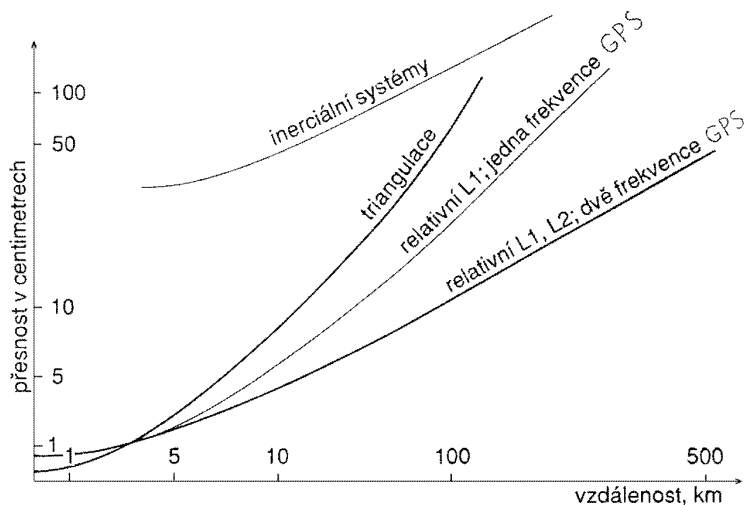
Vlivy technické nedokonalosti přijímačů nebo příslušného software lze do velké míry eliminovat.



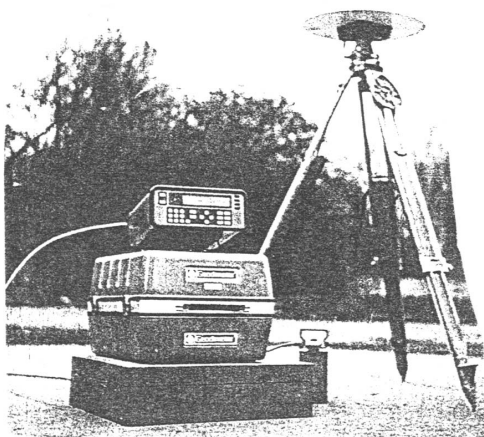
Obr. 4. Princip diferenčního GPS (DGPS).

Invence uživatelů GPS a výrobců techniky nemá mezí — dokladem je vyvinutí systému tzv. diferenčního GPS (DGPS). Princip je založen na skutečnosti, že chyby systému — snížení přesnosti v určování polohy — se projevují na určitém území shodně u všech v něm nasazených přijímačů. Proto je do těžiště tohoto „společného“ území umístěn na souřadnicově předem určeném bodě tzv. referenční přijímač (stanice), který je navíc vybaven vysílacím kanálem. Modem referenčního přijímače DGPS porovnává přijímaný polohový údaj z družic GPS se svými, předem určenými souřadnicemi a určuje korekci údajů GPS, kterou v reálném čase předává na uvedeném kanále přijímačům GPS zapojených uživatelů. Uživatelé jsou vybaveni přijímači těchto korekcí, které jsou automaticky zaváděny do výpočtu výsledné, zpřesněné polohy.

Diferenční GPS běžně zabezpečuje navigační přesnost řádově jednotek metrů, stacionárně 1 až 2 m, a to do okruhu až několika set kilometrů vzhledem k referenční stanici DGPS. V České republice tento systém vyvinula a zkušebně zavedla elektrotechnická fakulta ČVUT (prof. Vejražka, korekce jsou vysílány na dlouhých vlnách stanicí Českého rozhlasu). Výsledky plně potvrzují možnosti takového systému i v našich podmínkách.



Obr. 5. Porovnání přesnosti technologií určování polohy v závislosti na rostoucí vzdálenosti od výchozího bodu.



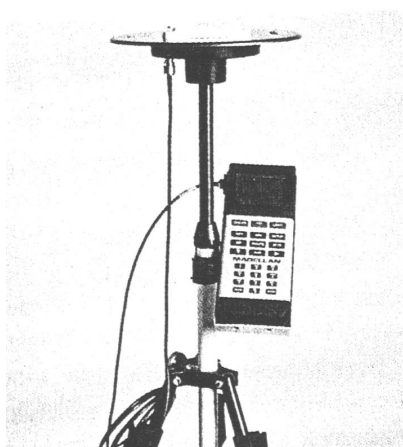
Obr. 6. Geodetický přijímač GEO-TRACER 100, první používaný přijímač GPS u nás.

## Využití technologie GPS a DGPS

Popularizace technologie GPS a její civilní aplikace začaly nejprve v dopravě — letecké, námořní, železniční, silniční a terénní.

Zvláštní význam má dnes GPS v zeměměřictví — při výstavbě geocentrických souřadných systémů, aktualizaci mapových děl a lokalizaci prvků geografických informačních systémů.

Při leteckém měřickém snímkování jsou určovány souřadnice objektu komory v okamžiku expozice.



a)



c)

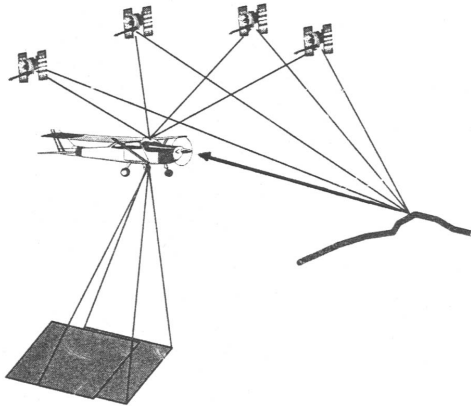


b)

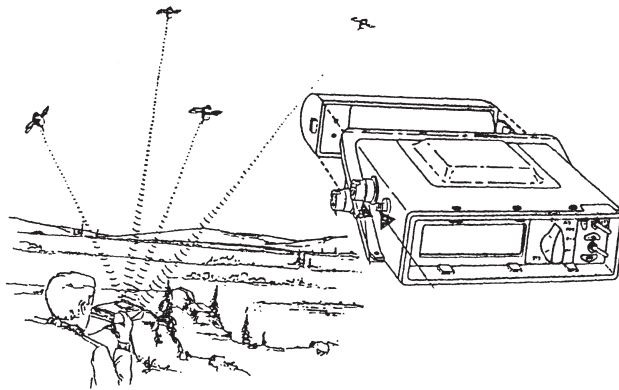
Obr. 7. Přenosné přijímače pro lokalizaci prvků geografických informačních systémů, pro aktualizaci obsahu map a pod. pracující v režimu DGPS (a – MAGELLAN, b – RACAL, c – měřické práce v terénu).

Své místo má GPS/DGPS ve velkoplošném zemědělství, vodním hospodářství a mapování obtížně přístupných prostor. Dochází k pronikání do takových oblastí, jako je turistika, sportovní létání, kde roste jeho obliba; dokonce se osvědčuje i v archeologii.

Výhody GPS oceňují i policisté při vyhledávání zcizených vozidel. Geofyzikální průzkum získal velmi efektivní prostředek lokalizace výsledků terénních geofyzikálních měření; obdobně disciplíny geodynamiky, sledování změny poloh pólů a rychlostí zemské rotace dnes běžně využívají služeb systému GPS. Prostřednictvím GPS byla určena s přesností  $\pm 0,3$  m nadmořská výška Čomolungmy (Mont Everest) vzhledem k vodočtu čínského Žlutého moře (8 846,27 m) — tento výsledek byl dále doplněn a kontrolován dalšími měřickými technikami, neboť bylo nutné zároveň určit odlehlost geoidu. Pro zajímavost připomenu africkou automobilní dakarskou odyseu, kdy je pro



Obr. 8. Letecké měřické snímkování s DGPS, kdy jsou určovány souřadnice objektivu fotokomory v okamžiku expozice.



a)



b)



c)



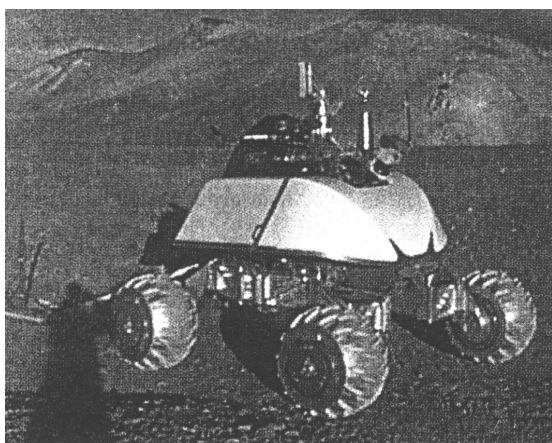
d)

Obr. 9. Ruční přenosné přijímače GPS [a) PATHFINDER fy TRIMBLE, b) přijímač fy MAGELLAN, c) SCOUT fy TRIMBLE, d) TURBO GI fy TOPCON].

sledování a navigaci rovněž použita technika GPS. Kuriózní je použití přijímače GPS pro ovládání pohybu průzkumného transportéru v poušti Atacama, v podmínkách obdobných na Měsíci.

V našich podmínkách je dnes široká nabídka přijímačů GPS různorodého určení — od navigačních, sledovacích, geodetických až po turistické, k nimž jsou nabízeny turistické mapy s dotiskem zeměpisné sítě systému WGS 84.

Ve vojenských aplikacích již existují kombinace GPS s inerciálním navigačním systémem (INS), které zajišťují kontinuálnost navigační informace v různorodých přírodních podmínkách.



Obr. 10. Průzkumný transportér s přijímačem GPS ovládaným programem — zkouška v poušti Atacama (Chile).

V době internetu lze aktuální a podrobné informace o technologii a technice GPS získat od redakce měsíčníku „GPS World“ (<http://www.gpsworld.com>), o technice GPS pak např. [www.trimble.com/gis](http://www.trimble.com/gis), [www.ashtech.com](http://www.ashtech.com), [www.leica.com](http://www.leica.com), [www.topcon.com](http://www.topcon.com) a samozřejmě domácí [gopher://biegler.feld.cvut.cz/11/satellit](http://biegler.feld.cvut.cz/11/satellit) a mnohé další. Testováním a ověřováním kvality přijímačů GPS se zabývala také elektrotechnická fakulta ČVUT.

O kombinaci GPS/GLONASS pak poskytne informace [www.spiritcorp.com](http://www.spiritcorp.com), o integraci systémů GPS/INS pak [www.applanix.com](http://www.applanix.com).