9 MODERNÍ PŘÍSTROJE A TECHNOLOGIE V GEODEZII

9.1 Totální stanice

Geodetické totální stanice jsou přístroje, které slouží k měření a vytyčování vodorovných a svislých úhlů, délek a k registraci naměřených dat s možností matematických operací s těmito daty.

Tyto přístroje byly do praxe uvedeny v devadesátých letech dvacátého století. Pro jejich všestranné využití v geodezii byly označeny jako totální stanice. Velmi brzy se pro svoji všestrannost, přesnost, rychlost a jednoduchost měření staly nosnými výrobky předních světových výrobců geodetických přístrojů LEICA (Švýcarsko), TOPCON, NIKON, SOKKIA (Japonsko), Carl Zeiss Jena (Německo), Spectra Precision (Švédsko). Dva posledně jmenovaní výrobci se v současnosti stali součástí firmy Trimble (USA).

Totální stanice je souosé spojení elektronického teodolitu s elektrooptickým světelným dálkoměrem. Úhlové a délkové hodnoty lze odečítat přímo na displeji z tekutých krystalů a zároveň je zde možnost registrovat je ve vnitřní paměti přístroje a eventuelně provádět i matematické operace s nimi (např. převod šikmé délky na vodorovnou, převod polárních souřadnic na pravoúhlé, výpočet převýšení atd.). Pomocí totální stanice můžeme řešit i některé další geodetické úlohy, např. určování výměr z měřených lomových bodů pozemku, určení nepřístupné výšky atd. Množství geodetických úloh, které lze totální stanicí řešit, je závislé na použitém modelu přístroje a ovlivňuje jeho cenu.

Vnitřní paměť totální stanice má kapacitu až několik tisíc naměřených bodů. Po měření se přístroj propojí speciálním kabelem s počítačem a naměřená data se do počítače přenesou. Někteří výrobci řeší uložení naměřených dat na magnetické karty. Po zaplnění kapacity magnetické karty se karta vyjme z totální stanice, nahradí prázdnou a v kanceláři po zasunutí do zvláštního přehrávače se data ze zaplněné karty přenesou do počítače. Tento systém má výhodu, že není třeba přinést k počítači celou totální stanici. Nevýhodou je nebezpečí znehodnocení naměřených dat při průchodu zaplněné karty silným elektromagnetickým polem.

Totální stanice je elektronický přístroj. Při jeho využívání je třeba ho napájet elektrickou energií. V současné době slouží jako zdroj energie plynotěsný akumulátor často na bázi NiCd (nikl – kadmiové). Je nabíjecí a k totální stanici je dodávána i nabíječka ze síťového napětí 220 V. Kapacita akumulátoru stačí na několik hodin provozu totální stanice.

Pro provoz světelného elektronického dálkoměru, který je součástí totální stanice, je třeba proud střídavý. Proto je v totální stanici zabudován polovodičový měnič z proudu stejnosměrného (z akumulátoru) na proud střídavý.

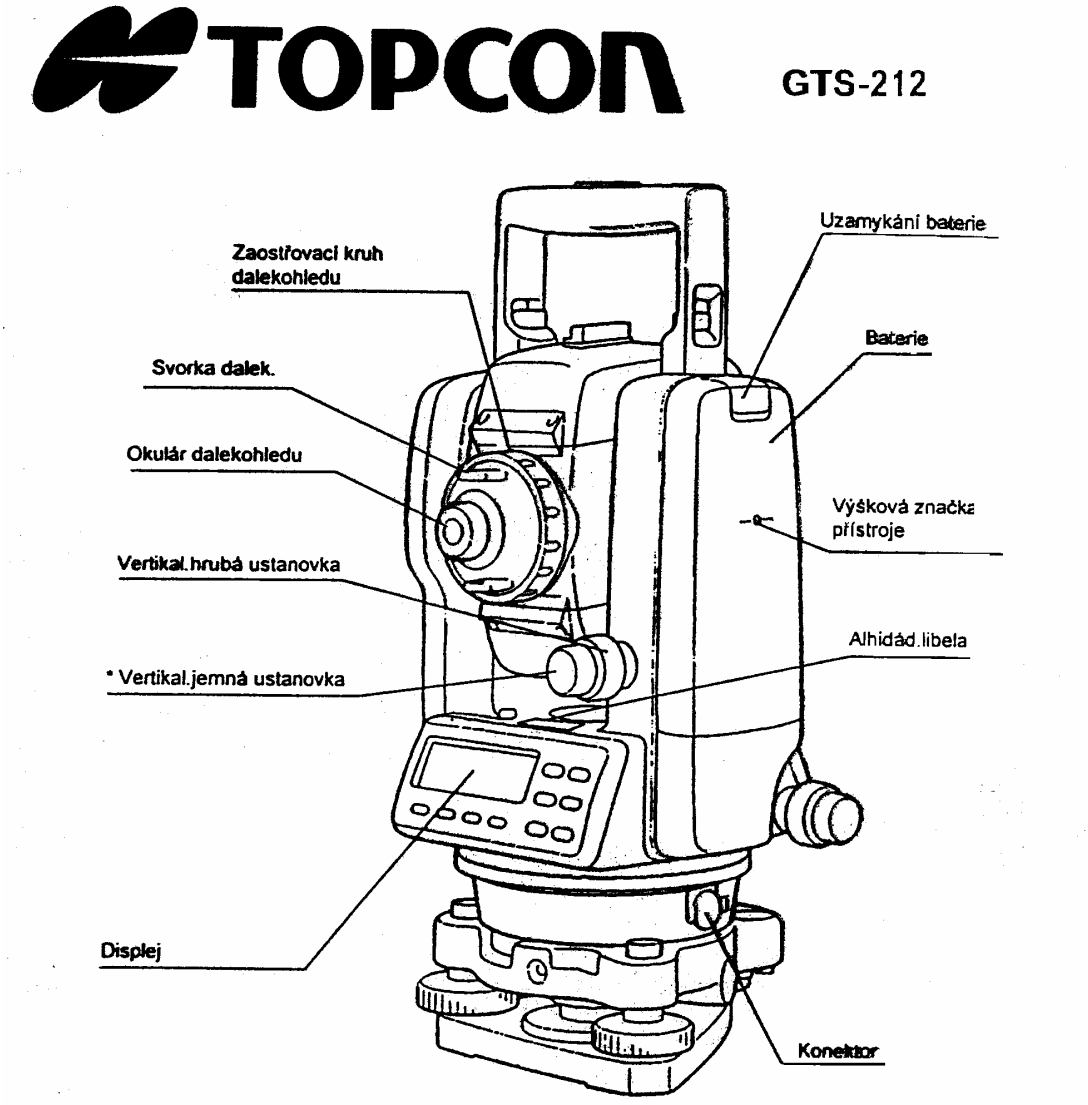
Postup měření s totální stanicí nebývá obtížný. Po krátkém zácviku a důkladném prostudování přiloženého návodu k obsluze jej může provádět každý. Vzhledem k ceně přístroje, která představuje zhruba hodnotu nového osobního automobilu, je však třeba, aby jeho obsluha věnovala převozu i práci s ním patřičnou pozornost.

Postavení přístroje na stativ nad stanoviskem měření se neliší od postupu popsaného při měření mechanickým teodolitem, stejně jako jeho centrace a horizontace. Při centraci se téměř bezvýhradně používá optický centrovač, který patří ke standardní výbavě stanice. Nedokonalou horizontaci signalizuje varování na displeji přístroje. Dražší typy totálních

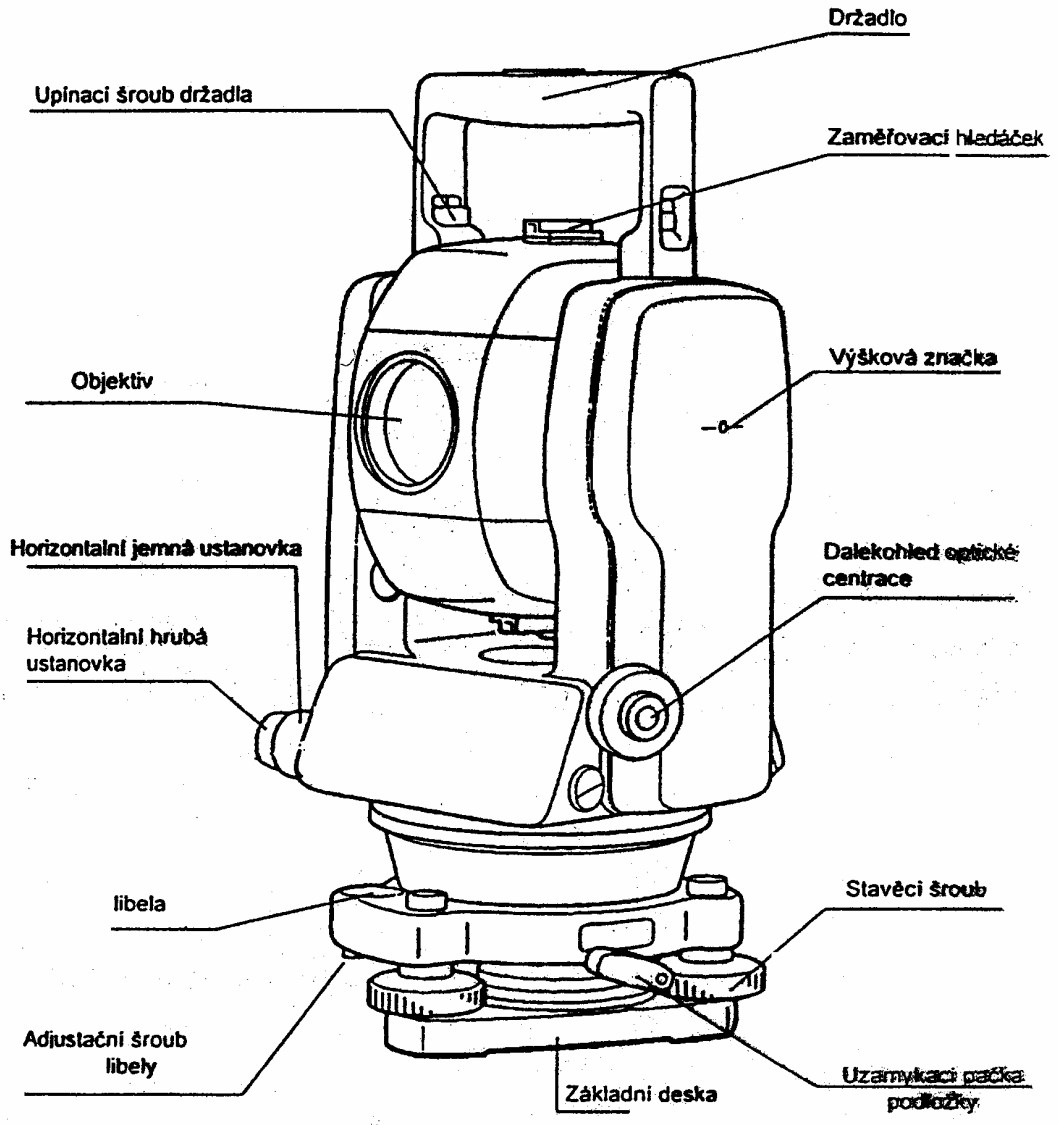
stanic mají vždy oddělitelnou třínožku s optickým centrovačem. Vlastní přístroj se ukládá do třínožky až po hrubé centraci a horizontaci třínožky, aby se zabránilo otřesům citlivých součástek přístroje.

U všech totálních stanic se k cílení používá analaktický dalekohled stálé délky. Před započetím měření je třeba, stejně jako u teodolitu, zaostřit záměrný kříž (zaostřovací prstenec záměrného kříže bývá těsně u okuláru). Při cílení na předmět je nutné používat zaostřovací prstenec umístěný na jiném místě dalekohledu. Pro hrubé zacílení je dobré používat hledáček na dalekohledu. Dva páry ustanovek se využívají při pohybu přístroje stejným způsobem jako u teodolitu. Jejich umístění je na schématu v návodu k obsluze. Nejdražší modely jsou ovládány automaticky od odrazného systému pomocí servomotorků a vytváří tak „stanici jednoho muže“.

Vlastní postup měření a registrace dat se natolik liší od výrobce k výrobci a od modelu k modelu totální stanice, že je třeba konkrétní postup vyčíst z příslušného návodu k obsluze. Na obr. 9.1 a 9.2 je schéma totální stanice japonské firmy TOPCON GTS 212.



Obr. 9.1



Obr. 9.2

9.2 Digitální nivelační přístroje

Automatizace a digitalizace se nevyhnula ani nivelačním měřením. Princip nivelace, jak byl popsán v kapitole 4.3, zůstává zachován, pouze odečítání naměřených převýšení na nivelačních latích neprovádí měřič u nivelačního přístroje, ale je automaticky zaregistrováno v digitálním nivelačním přístroji. Odpadá zde častá chyba z nesprávného odečtení na nivelační lati a také chyba z nesprávného odhadu milimetrů na lati dělené na centimetry. Aby bylo umožněno neosobní automatické odečítání hodnoty na lati, bylo třeba laťovou stupnici přizpůsobit. Namísto centimetrového dělení je laťová stupnice nivelační latě pro digitální nivelační přístroj tvořena čárovým kódem (viz obr. 9.3). Digitální nivelační přístroj nejprve urovnáme pomocí hrubé krabicové libely (jemné urovnání provede již automaticky kompenzátor).

Zacílíme vzad na příslušnou nivelační lať opatřenou čárovým kódem a na přístroji zaregistrujeme automaticky odečtenou hodnotu. Tímto způsobem provedeme i čtení vpřed na druhou lať. Celý postup opakujeme v celém nivelačním pořadu.

Digitální nivelační přístroj (viz obr. 9.4) je opatřen přehledným a rozsáhlým ovládacím panelem, registrace dat je prováděna na PC kartu (obdoba magnetické karty u totálních stanic). Pro měření na lať opatřenou čárkovým kódem stačí viditelnost na 30 cm latě. V programovém vybavení přístroje je i program pro vytyčování. Digitálně lze zjistit i vzdálenost od přístroje k nivelační lati s několika centimetrovou přesností.

Přesnost určení převýšení se u digitálních nivelačních přístrojů liší podle modelu. Nejjednodušší model svou přesností bohatě dostačuje pro pořady technické nivelace.

U některých nejnovějších modelů lze digitálně odečítat i vodorovné úhly.

Obr. 9.3

Elektronické odečítání převýšení je zpravidla umožněno ve vzdálenostech 1,5 – 100 m. Čárový kód na latích může být nanesen na invarové podložce. Použitím invarových latí zvýšíme přesnost měření. Zdrojem energie jsou opět plynotěsné dobíjecí akumulátory, které vydrží bez dobíjení několik dní provozu.

Jedinou nevýhodou je značná pořizovací cena digitálního nivelačního přístroje, která několikanásobně převyšuje cenu klasického nivelačního přístroje.

Obr. 9.4

9.3 GPS (Globální polohové systémy)

GPS – globální polohové systémy z anglického Global Possitioning Systems jsou z geodetického hlediska jednou z metod kosmické geodezie. Z hlediska rozšíření v geodetické praxi patří k nejužívanějším metodám kosmické geodezie. **GPS je družicový systém, který poskytuje přesné informace o poloze, rychlosti a čase v jednotném referenčním systému na kterémkoli místě na Zemi.** Globálních polohových systémů byla vyvinuta celá řada např.:

- TRANSIT (vojenské námořnictvo USA),
- GLONASS (Rusko),
- **NAVSTAR GPS** (USA),
- GALILEO (EU)
- COMPASS (Čína).

Dva posledně jmenované se teprve budují. Systém NAVSTAR GPS (**NAV**igation **S**atellite **T**iming **A**nd **R**anging **G**lobal **P**ossitioning **S**ystem) je z uvedených systémů nejrozšířenější a dosud nejspolehlivější. Další výklad bude proto o tomto systému.

Počátky NAVSTAR GPS spadají do roku 1973, kdy Ministerstvo obrany USA rozhodlo o vybudování nového družicového navigačního systému. Systém vznikl jako ryze vojenský. Po zvážení možností a výhod při využívání tohoto systému pro civilní sektor rozhodl Kongres USA o umožnění jeho bezplatného využívání s určitými omezeními hlavně v oblasti navigace. Již počátkem devadesátých let minulého století dochází k prudkému rozvoji tohoto technického odvětví a po celém vyspělém světě vznikají postupně výrobci stále dokonalejších přijímačů využívajících tento systém. V částečném provozu je NAVSTAR GPS od prosince 1993 a v plném provozu od července 1995. Na provoz se ročně vynakládá přibližně 750 milionů amerických dolarů.

GPS se nevyužívá jen pro potřeby geodezie. Mezi oblasti, ve kterých se využívá patří:

- vojenské využití,
- vědecké geodynamické aplikace,
- geodezie,
- tvorba a údržba **G**eografických **i**nformačních **s**ystémů (GIS),
- navigační a sledovací systémy v dopravě,
- monitorovací a komunikační systémy,
- automatizované řízení těžkých stavebních strojů,
- časová služba,
- turistika, sport, osobní navigace…

Výhodou GPS je, že přesné prostorové určení polohy a času se provádí na celém světě, v reálném čase, po celých 24 hodin, za jakéhokoliv počasí. USA si však vyhrazují právo degradace přesnosti systému pro libovolnou oblast při komerčním využití v případě vojenské potřeby.

12.3.1 Prvky GPS

GPS obsahuje tři části :

- kosmický segment,
- řídící a kontrolní segment,
- uživatelský segment.

Kosmický segment se skládá z 24 umělých družic Země (UDZ), které krouží okolo Země ve vzdálenosti 20 200 km. Oběžná doba je cca 12 hodin. Minimální konfigurace je 21 funkčních a 3 záložní UDZ v současnosti 32 UDZ. Číslovány jsou průběžně od čísla 1. Vzhledem k tomu, že časem zaniknou nebo se poškodí, jsou stále doplňovány na plný stav. Nové družice dostávají nová čísla, proto jsou ve vesmíru i družice s vyšším číslem než je 24. UDZ jsou vybaveny atomovými hodinami a radiovým vysílačem signálu GPS.
Družicový signál se vysílá na základní frekvenci :
$f_0 = 10{,}23$ MHz.
Signál obsahuje 3 složky :

- nosné vlny L1 (19 cm) a L2 (24 cm),
- pseudonáhodné kódy, modulující L1 a L2
  CA kód (civil access) – pro civilní využití
  P kód (precision) – pro armádní složky, je složitější a kvalitnější,
- navigační zprávu, která obsahuje údaje o efemeridách, což jsou přesné informace o dráze satelitu, almanach se základními orbitálními daty všech družic, informace o stavu družice a data nutné pro výpočty vzdáleností.

Mezi další vybavení UDZ GPS, sloužící k jejich činnosti, patří sluneční baterie, gyroskopy, procesory, raketové motory atd.

UDZ se pohybují v šesti oběžných rovinách na téměř kruhových drahách. Sklon dráhy k rovníku je 55°. Jejich rozložení umožňuje, aby na kterémkoliv místě planety byly viditelné minimálně 4 satelity s elevací větší než 15°, což je nutná podmínka pro určení polohy uživatelských přijímačů GPS. Do vesmíru jsou UDZ vynášeny jednak pomocí raketoplánů nebo raketou Delta II. Průměrná životnost družic 10 let. Obměna kosmického segmentu cca 20 let.

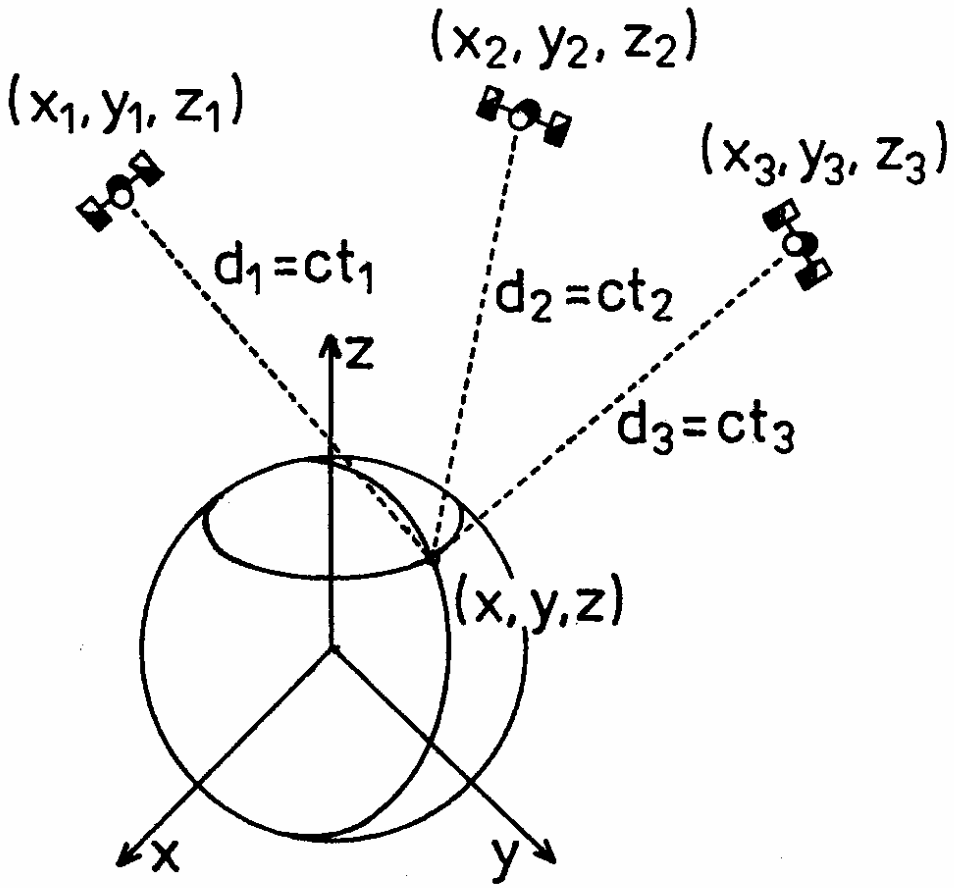
Řídící a kontrolní segment obsahoval pět monitorovacích stanic (Diego Garcia, Ascension, Kwajalein, Hawaii, Colorado Springs), zachycujících signály z družic. Jejich rozložení je zhruba pravidelné podél rovníku. Nyní je těchto monitorovacích stanic osmnáct. Dále tento segment obsahuje tři pozemní řídící stanice, které předávají data družicím a jednu hlavní řídící stanici pro celý systém v Colorado Springs, kde se shromažďují data z monitorovacích stanic, počítají efemeridy (přesné polohy družic) a parametry družicových hodin.

Uživatelský segment je složen z uživatelských přijímačů GPS, které jsou pasivní (nevysílají žádný signál). Tento segment zahrnuje i organizace distribuující informace o GPS.

Pozn. Přijímače GPS musí být umístěny tak, aby měly volný horizont (výhled na oblohu). Družicový signál neprochází kovovými a pevnými předměty s velkou hustotou a vodní vrstvou. Průchod signálu je možný sklem, plasty a lehkou střešní krytinou. Lesní porosty a hluboká údolí jsou často překážkou pro kvalitní měření.

12.3.2 Princip určení polohy a času GPS

Základním principem určení polohy GPS je měření vzdálenosti (viz obr. 12.5). Na obrázku jsou patrny tři družice a poloha bodu na zeměkouli se určí protínáním z délek tzv. trilaterací.



Obr. 9.5

Vzdálenosti d_1, d_2 a d_3 pro prostorové délkové protínání nám určí prostorovou polohu bodu (x,y,z) správně pouze tehdy, známe-li dostatečně přesně okamžitou polohu zmíněných tří družic.

Pro praktické určení 3D polohy (x, y, z) je však počet tří družic nedostatečný. Je třeba mít k dispozici měření na alespoň 4 satelity, neboť tento zdánlivě nadbytečný počet družic umožní eliminovat chyby ovlivňující výsledek měření, především přesnou synchronizaci hodin přijímače.

Družice GPS i přijímače GPS generují tutéž posloupnost pseudonáhodných kódů. Jejich porovnáním (synchronizací přijímače) zjistíme čas průchodu signálu mezi družicí a přijímačem a následně pseudovzdálenosti mezi přijímačem a družicemi.

9.3.3 Zdroje chyb GPS

Vzhledem ke složitosti celého systému je zdrojů chyb celá řada a různou měrou ovlivňují přesnost v určení polohy bodu. Chyba družicových hodin způsobí chybu cca 1,5 m, chyba vysílaných efemerid se projeví hodnotou cca 2,5 m, chyba způsobená atmosférickou refrakcí činí cca 6 m, šum přijímače je chyba závislá na kvalitě přijímače a zhruba představuje 0,3m, falešné odrazy (tzv. multipath) jsou zaviněny vícecestným šířením signálu v blízkosti vysokých budov či v lese a dosahují až několika metrů.

Největší velikosti dosahuje chyba úmyslné degradace přesnosti Selective Availability (S/A), která je způsobena vědomým zásahem do nastavení družicových hodin a zavedením nepřesností do vysílaných efemerid. Od 1.5. 2000 byla tato degradace přesnosti ukončena, což představovalo zvýšení přesnosti určení polohy bodů asi o 30 m. Stále však působí na měření pro civilní sektor Anti Spoofing (A-S), který způsobuje zašifrování vojenského kvalitnějšího P-kódu do podoby Y-kódu nedostupného pro nevojenské uživatele systému.

Systém NAVSTAR GPS poskytuje dvě služby o rozdílné přesnosti. **PPS – (Precise Positioning Service)** umožňuje autorizovaným uživatelům (armádě USA a armádám NATO) získávat maximálně kvalitní údaje o poloze určovaného bodu, používá se P-kód. V reálném čase může být bod určen s přesností až 1 m. **SPS – (Standard Positioning Service)** je služba poskytovaná všem ostatním uživatelům, je ovlivněna Anti Spoofingem (nelze při měření použít P-kód), přesnost určení bodu v reálném čase je i při použití stejně kvalitních přijímačů GPS nižší a dosahuje cca 10 m.

9.3.4 Přesnost určení polohy bodu GPS

Přesnost určení polohy bodu při využívání služby SPS závisí na metodě měření a zpracování naměřených dat.

Máme-li k dispozici autonomní měření s jedním přijímačem, bude přesnost určení polohy zhruba 10 m. Tato přesnost je vhodná např. pro turistickou navigaci či sledovací dopravní systémy.

Chceme-li přesnost zvýšit, je třeba využít dvou přijímačů GPS. Jeden, základnový, umístíme na bod o známých souřadnicích, vytvoříme tím tzv. referenční stanici. Druhý přijímač GPS představuje pracovní stanici a s ním obcházíme určované body. Tato metoda měření se nazývá diferenční GPS (DGPS). Jestli postačuje přesnost 0,5 - 5 m, použijeme pro zpracování kódovou složku signálu (tato kvalita postačuje např. pro sběr dat do GIS či mapování). Při zpracování fázové složky signálu a metodě DGPS lze při použití nejkvalitnějších přijímačů GPS dosáhnout až centimetrové přesnosti, což plně vyhovuje pro potřeby geodezie např. pro budování geodynamických sítí.

Princip DGPS spočívá v tom, že na referenční stanici přijímáme data z družic GPS a určujeme nepřetržitě polohu této stanice. Porovnáváme ji s předem známou přesnou polohou referenční stanice. Rozdíl obou hodnot určuje opravy (korekce DGPS), které posíláme buď okamžitě (v reálném čase - Real-time metoda), nebo dodatečně (postprocesní zpracování) na pracovní stanici. Tyto korekce nám zpřesní určení polohy pracovní stanice.

Při zpracování DGPS v reálném čase musíme mít k dispozici komunikační pojítko, které zprostředkuje okamžité získání korekcí DGPS z referenční stanice. Může to být radiový přijímač, mobilní telefon. Lze také využít satelitních DGPS korekcí (komunikační satelity systémů Land Star, Omni STAR, EGNOS).

Pro DGPS lze využívat veřejných referenčních stanic, které za úplatu poskytují korekce DGPS v reálném čase nebo pro postprocesní zpracování. Jednou takovou referenční stanicí je stanice spravovaná elektrofakultou ČVUT, která je umístěna na střeše její budovy v Praze Dejvicích.

Nevýhodou jednotlivých referenčních stanic je poměrně malý okruh pro působení pracovních stanic. Dobrých výsledků dosáhneme, nepřekročí-li vzdálenost referenční stanice od pracovní 30 km. Z tohoto důvodu je v České republice po vzoru Německa vybudována síť homogenních permanentních referenčních stanic CZEPOS. Tato služba je zpoplatněna a plně funkční od počátku roku 2007. CZEPOS obsahuje 27 stanic GPS rovnoměrně rozmístěných po území ČR, 23 stanic je na střechách budov katastrálních úřadů, 4 stanice jsou externí. Síť CZEPOS spravuje Zeměměřický úřad.

CZEPOS umožní nejpřesnější geodetické aplikace DGPS založené na zpracování fázových měření v reálném čase. Kvalita síťových korekcí je vyšší, než při využití pouze jednotlivých referenčních stanic (dochází k vyrovnání hodnot korekcí).

Významný vliv na výslednou přesnost určení bodu může mít nevhodná konfigurace (rozložení) dostupných družic GPS na obloze. Přijímač GPS v takovém případě oznamuje špatnou geometrii družic. Vzhledem k tomu, že se polohy družic GPS v průběhu měření neustále mění, mnohdy stačí vyčkat na bodu, dokud se konfigurace družic nezlepší.

Kvalitu určení polohy bodu ovlivní i zvolený geodetický přijímač GPS. Lacinější, méně přesný, **jednofrekvenční** přijímá méně dat a vyžaduje delší observaci na jednom bodu. V případě, že použijeme jednofrekvenční přijímač i pro referenční stanici, je omezena vzdálenost mezi pracovní stanicí a referenční stanicí, protože tyto přijímače neeliminují vliv ionosférické refrakce. **Dvoufrekvenční** přijímač je rychlejší a umožňuje tedy kratší observace. Měření na dvou frekvencích eliminují vliv ionosférické refrakce. Pořízení dvoufrekvenčního přijímače je však nákladnější.

Přijímačů GPS existuje obrovské množství. Na ČZU máme dva přijímače, jeden jednoduší s interní (vnitřní) přijímací anténou GeoExplorer 3 (viz obr.9.6) od firmy Trimble z USA a GPS Pathfinder Power s externí (vnější) přijímací anténou (viz obr. 9.7) od téže firmy. Oba přístroje jsou určeny především pro sběr výchozích dat pro GIS.

Obr. 9.6

Obr. 9.7

9.3.5 Nejnovější trendy GPS

GPS se stává nejprogresivnější technologií současnosti. Ve světě jsou dvě firmy, jejichž přijímače GPS jsou na vrcholu v kvalitě a přesnosti pro geodetické aplikace. V USA je to firma Trimble a ve Švýcarsku firma Leica.

Trendem současnosti je „integrovaná geodezie“, kombinace GPS a terestrických přístrojů, které umožňují použití všech geodetických metod. Komplexy totálních stanic GPS a klasických totálních stanic jsou řízeny univerzálními ovládacími jednotkami. Softwarově jsou ošetřeny tak, aby byla možná „bezešvá“ kombinace terestrických (pozemních) metod s metodami GPS, čímž se takový přístroj stává univerzálním.