

Střední průmyslová škola zeměměřická

GNSS

Jana Mansfeldová

GNSS – globální navigační satelitní systémy

- GPS NAVSTAR – americký
- GLONASS – ruský
- GALILEO – ESA (EU)
- další – čínský,

Co je to GPS

Global Positioning System

- družicový systém pro určení polohy, rychlosti a času v jednotném referenčním systému na kterémkoliv místě na Zemi a za jakéhokoliv počasí
- vybudován pro vojenské účely v USA v roce 1973
- později umožněno využít pro civilní účely

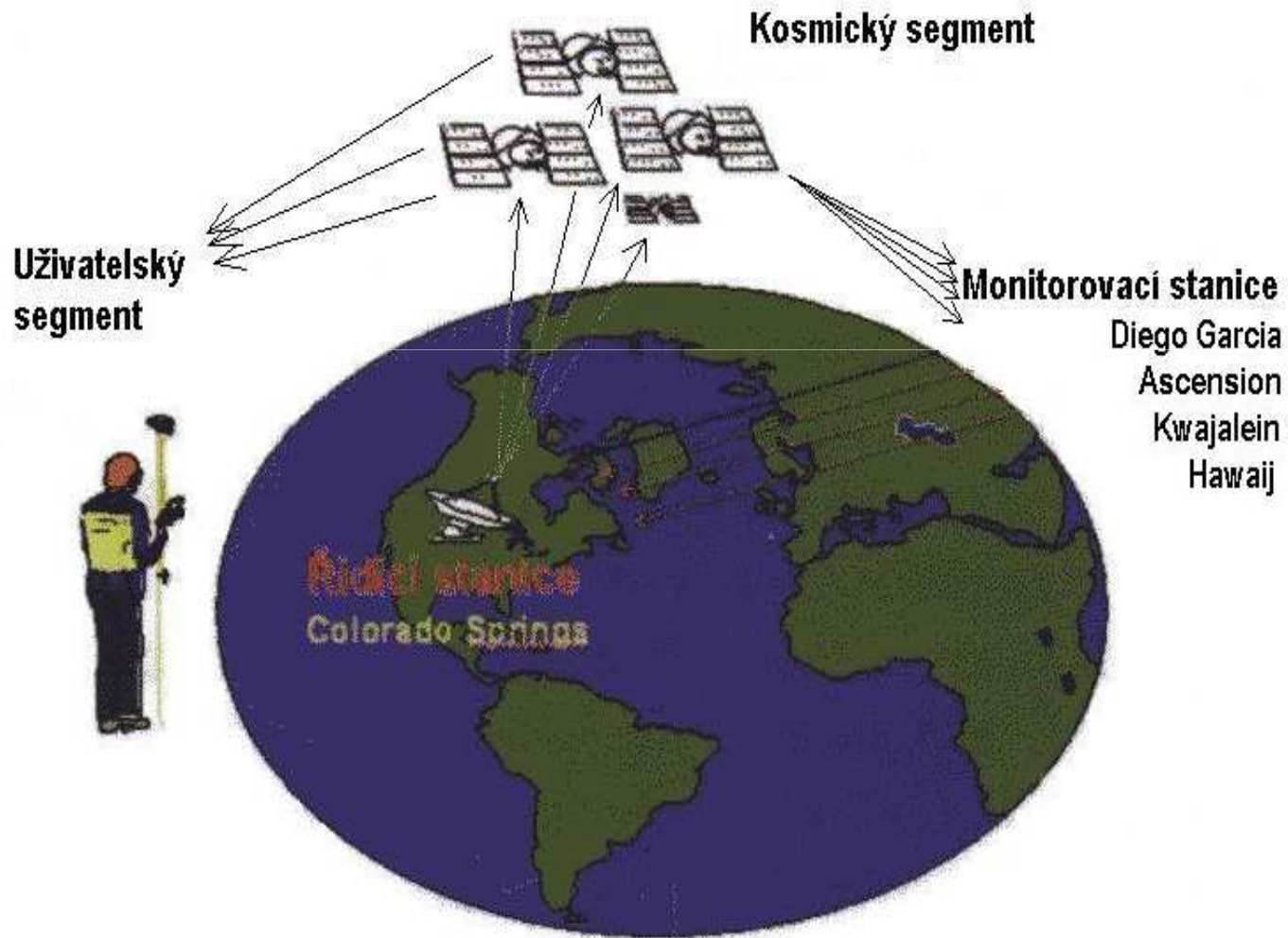
Princip měření

- pozemní stanice definují souřadnicový systém
- měří vzdálenosti k družicím a počítají jejich efemeridy (údaje o oběžných drahách)
- družice zpět vysílají radiový signál s přesně definovanou frekvencí a zakódovaným údajem
- určení pseudovzdálenosti

Struktura systému GPS

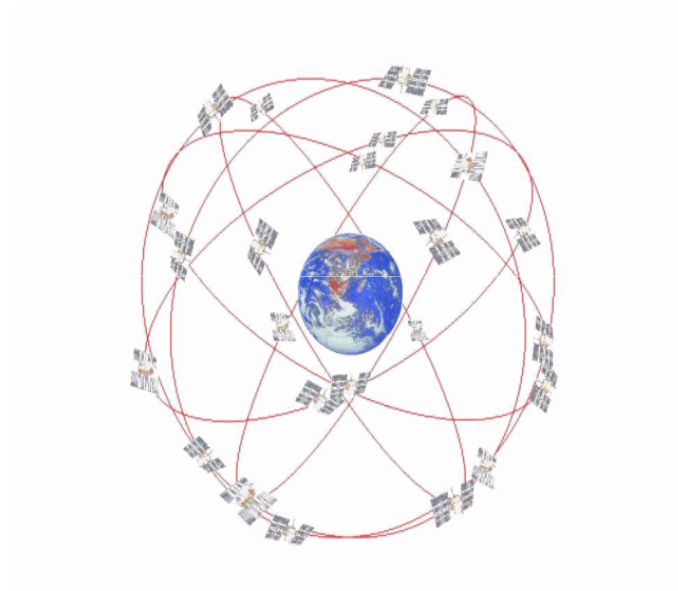
- kosmický segment
- řídicí segment
- uživatelský segment

Struktura systému GPS



Kosmický segment

- 24 družic (minimálně, počet se mění - kolem 30ti)
- 20 200 km nad povrchem Země
- 6 oběžných drah, na každé 4 družice
- oběžná doba 12 hodin (11h 58min)
- atomové hodiny
- radiový vysílač a přijímač



Frekvence

Základní frekvence $f_0 = 10,23$ MHz

Nosná vlna L_1 $f_1 = 154 \cdot f_0 = 1575,42$ MHz $\gg \lambda_1 = 19$ cm

Nosná vlna L_2 $f_2 = 120 \cdot f_0 = 1227,60$ MHz $\gg \lambda_2 = 24$ cm

Nosná vlna L_5

Frekvence L1

- modulována dvěma **PRN** (PseudoRandomNoise) kódy
- **P**-kód (Precision) – vojenský, může být zašifrována (pak se označuje jako **Y**-kód (10xpřesnější než C/A)
- **C/A** (Coarse/Acquisition) civilní kód

Frekvence L2

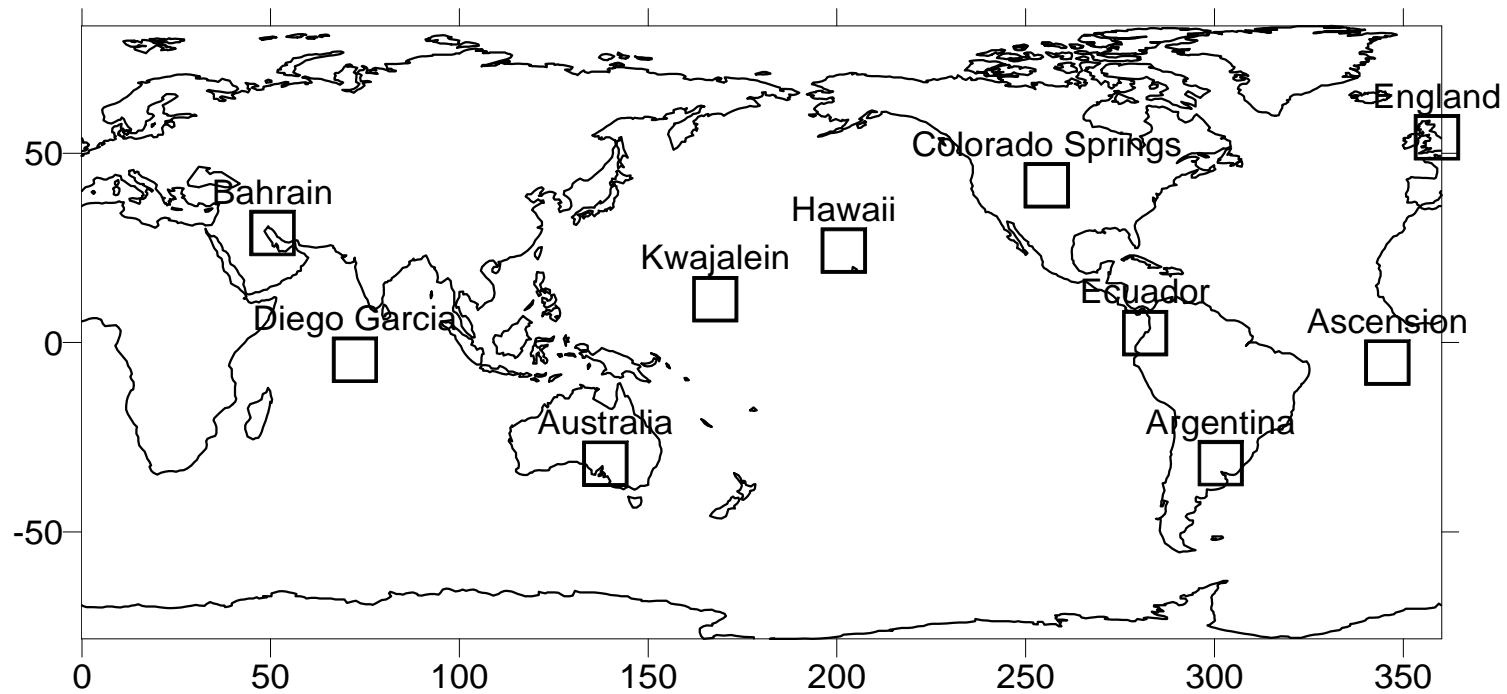
- **P**-kód (resp. **Y**-kód)
- civilní signál **L2C**
 - umožňuje spolehlivější korekce chyb (ionosféra, troposféra)

Navigační zpráva

- rozdělena do 5 „subframes“
- 1.- opravy hodin
- 2.a 3.- efemeridy (údaje o oběžných drahách)
- 4.a 5.- armádní údaje, stav ionosféry, stav družic a tzv. almanach

Řídící segment

- sledování družic, určování jejich drah, předání informací družicím a zpět uživatelům
- monitorovací stanice - Colorado Springs, Hawaii, Ascension Island, Diego Garcia, Kwajalein, ...
některá předávají data na družice
- **Colorado Springs** je hlavní řídicí stanice



Stanice z jejichž pozorování se určující palubní efemeridy
v systému WGS84

Souřadnicové systémy

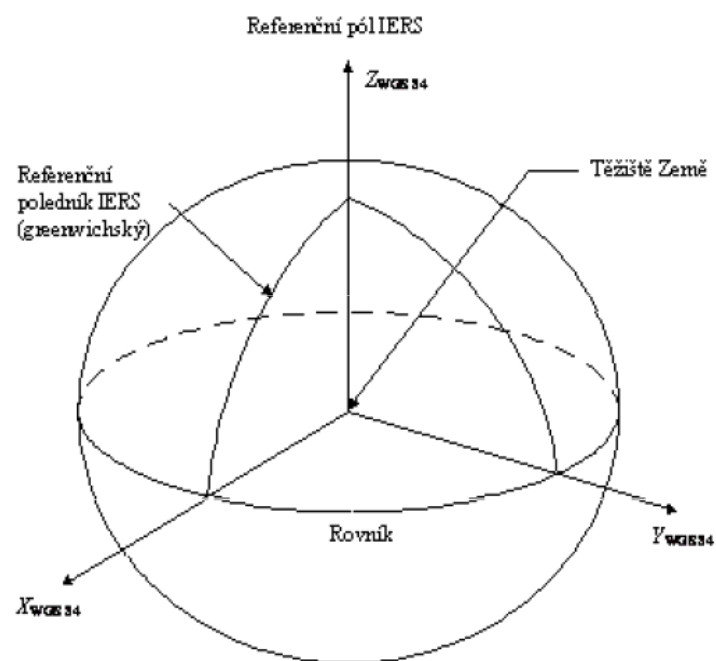
- **WGS84** je starší, realizovaný GPS a používá se hlavně na méně přesné práce (i když se v něm principiálně dá počítat přesně)
- **ITRS2000** je nejpřesnější geocentrický systém realizovaný různými metodami kosmické geodézie, od listopadu 2006 se přešlo k
- **ITRS2005**, který je dalším zpřesněním ITRS2000

- **ETRS-89** je evropský geocentrický systém (používaný při měření v KN)
- **ETRS-89** na rámci ETRF2000, od 2. 1. 2011 se změnilly všechny souřadnice bodů
- **S-JTSK/95** zpřesněný systém –nepoužívá se
- **S-JTSK/05** další zpřesněný systém – používá se jako mezistupeň při transformaci

pro zavedení zpřesněných souřadnic S-
opravit všechny souřadnice v KN

JTSK by bylo nutno

Geocentrický souřadnicový systém



počátek

v těžišti Země

osa X

průsečnice roviny rovníku
a nultého poledníku

osa Y

průsečnice roviny rovníku
a poledníku 90° v.d.

osa Z

směřuje do severního pólu

Současná realizace systému ETRS89 v České republice

- souřadnicový systém ETRS89 byl v ČR realizován v letech 1991 – 2006 v několika etapách:
- 1991 kampaň EUREF-CS/H-91
- 1992 kampaň NULRAD
- 1993-1994 kampaň DOPNUL
- 1996-2006 program výběrová údržba trigonometrických bodů
 - celkem bylo zaměřeno 3096 TB na celém území ČR
- 2008 projekt Zhuštění ETRS89 na území ČR
 - preferována metoda RTK s využitím VRS sítě CZEPOS
 - celkem změřeno dalších 789 bodů (66 TB + 723 ZhB) =
- 2009 projekt Zhuštění ETRS89 na území Hl. m. Praha
 - preferována metoda RTK s využitím VRS sítě CZEPOS
 - celkem změřeno dalších 37 bodů (TB)
- **Dnes na území ČR kolem 46 tis. bodů se souř. v ETRS89 na rámci ETRF2000**

Uživatelský segment

- přijímače GPS

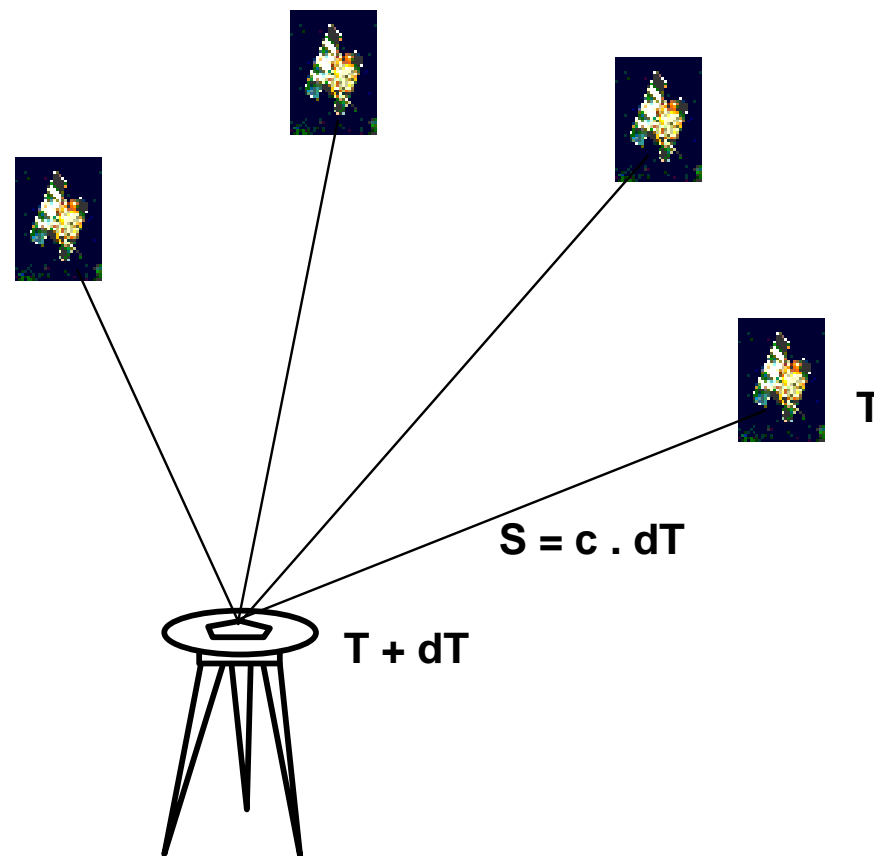


Uživatelský segment

- podle nosných frekvencí
 - jednofrekvenční (L1) - práce v bodových polích
 - dvoufrekvenční (L1+L2) - liniové stavby, vytyčování
- podle přijímaného kódu
 - přijímače používající pouze kódová měření
 - přijímače používající kódová i frekvenční měření
 - přijímače používající pouze frekvenční měření
- podle počtu kanálů
 - jednokanálové
 - vícekanálové

Moderní přijímače pro přesné geodetické práce jsou obvykle dvoufrekvenční, vícekanálové

Princip určení polohy z kódových měření



Známe čas vyslání signálu T , na stanici přijde v čase $T + dT$
Vzdálenost $S = c \cdot dT$, kde c je rychlost světla

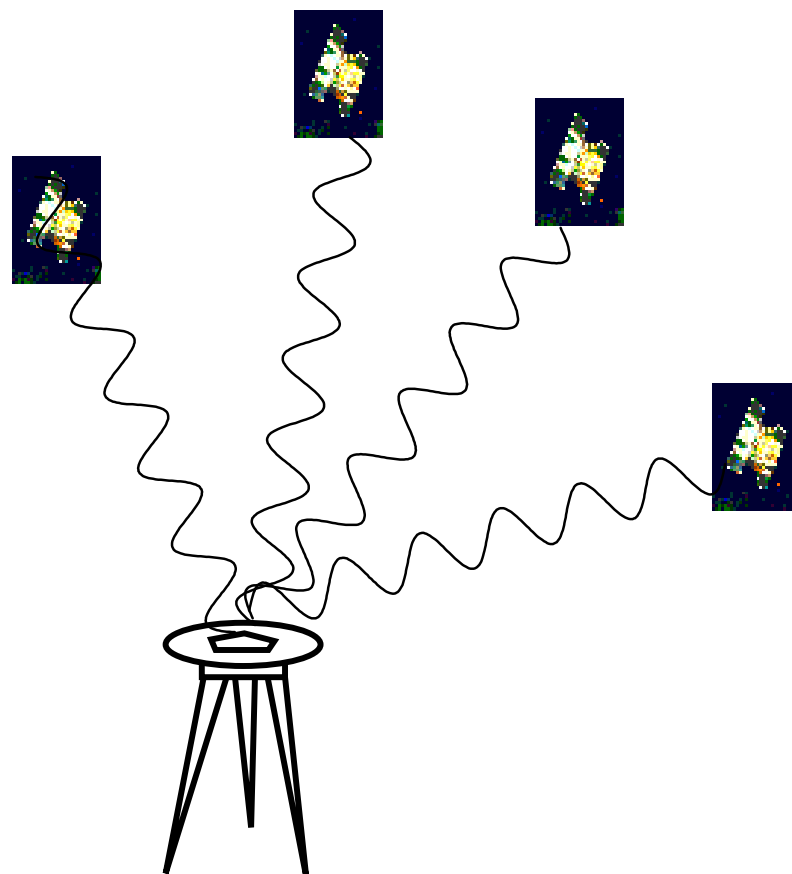
Ze tří družic se známými souřadnicemi protínáním z délek určíme prostorovou polohu. Protože hodiny na stanici nejdou dobře, pomocí čtvrté družice určíme opravu hodin.

Využití kódových měření

- navigace
- vojenství
- doprava
- GIS (diferenční GNSS) 0,5 -5m
- sledovací systémy

Kódy se využívají i při zpracování fázových měření pro rychlejší výpočet ambiguit a oprav z ionosféry.

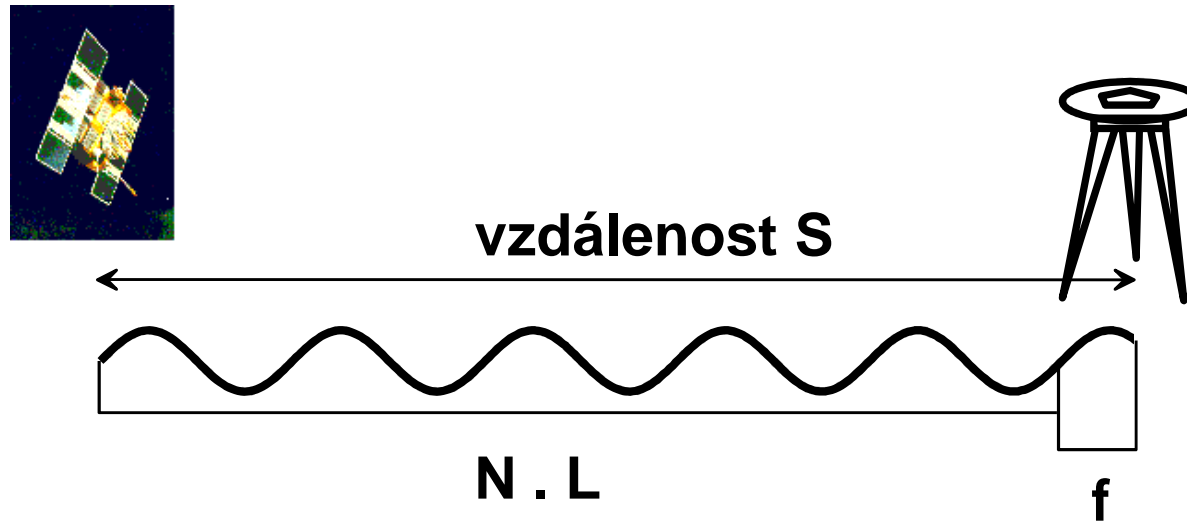
Princip určení polohy z fázových měření



Měříme fázi vysílaného záření ze čtyř nebo více družic.

Ze tří družic se známými souřadnicemi protínáním z délek určíme prostorovou polohu. Protože hodiny na stanici nejdou dobře, pomocí čtvrté družice určíme opravu hodin.

Princip určení polohy z fázových měření



L je vlnová délka

N je celý (neznámý) počet vln "ambiguity"

f je měřená fáze

$$S = N \cdot L + f$$

N se musí určit speciálním postupem při zpracování

Přesnost určení polohy GNSS závisí na:

- typu přijímače
- použité metodě měření a zpracování
- počtu a vzájemné konfiguraci satelitů

Problémy metody GNSS

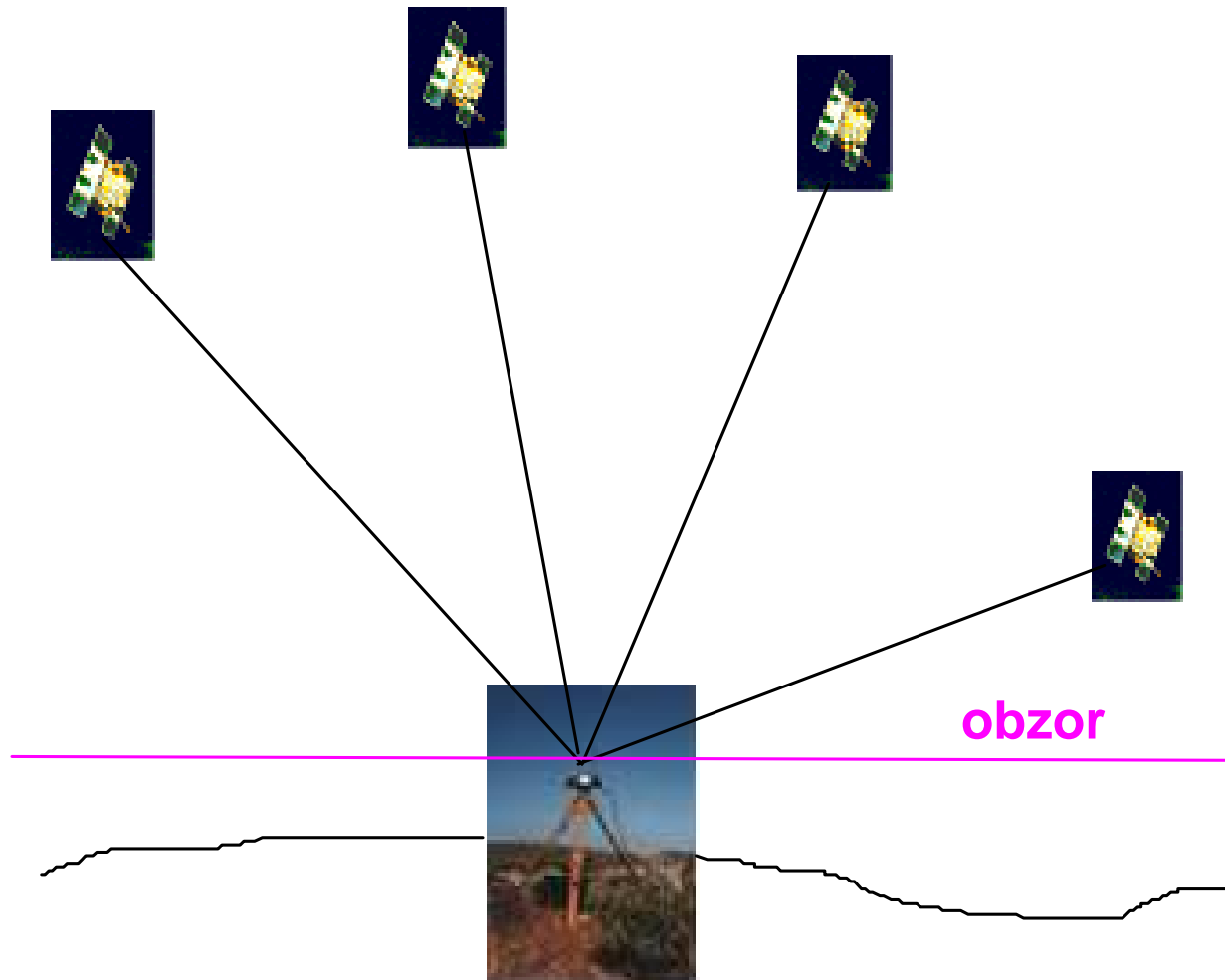
- paprsek prochází atmosférou → korekce (až desítky metrů)
 - ionosférická - počítá se z modelu
 - měřením na dvou frekvencích
 - DGNSS
 - troposférická – počítá se z modelu, nebo se určuje výpočtem

Ionosférická refrakce představuje největší přirozenou chybu systému GNSS.

Problémy metody GNSS

- u fázového měření neznámý počet celých vlnových délek (ambiguit) – měří se pouze „doměrek“ – určují se výpočtem při zpracování
- oprava staničních i družicových hodin – určuje se výpočtem nebo se odstraní diferencováním
- „multipath“ – signál se odráží od blízkých předmětů, místo aby šel přímo na anténu

Podmínky pozorování družic GNSS dobré



Podmínky pozorování družic GNSS špatné



Metody využití GNSS pro měření s přesností v m – dm

- autonomní (kódové) měření
- DGPS – kódové měření s korekcemi
 - korekce ze stacionárních satelitů – Egnos, WAAS
 - korekce z permanentních stanic

Metody využití GNSS pro měření s přesností v cm - mm

- **statická** - $\sigma_p = 3$ až 5 mm
 - rychlá statická - $\sigma_p = 5$ až 10 mm + 1 až 2 ppm
- **kinematická** - inicializace
 - stop and Go - $\sigma_p = 10$ až 20 mm + 1 až 2 ppm
 - kontinuální kinematická metoda - $\sigma_p = 10$ až 30 mm + 1 až 3 ppm
 - **RTK** – real-time-kinematik

Podle času zpracování:

- postprocesní
- v reálném čase (RTK)

Permanентní GNSS síť

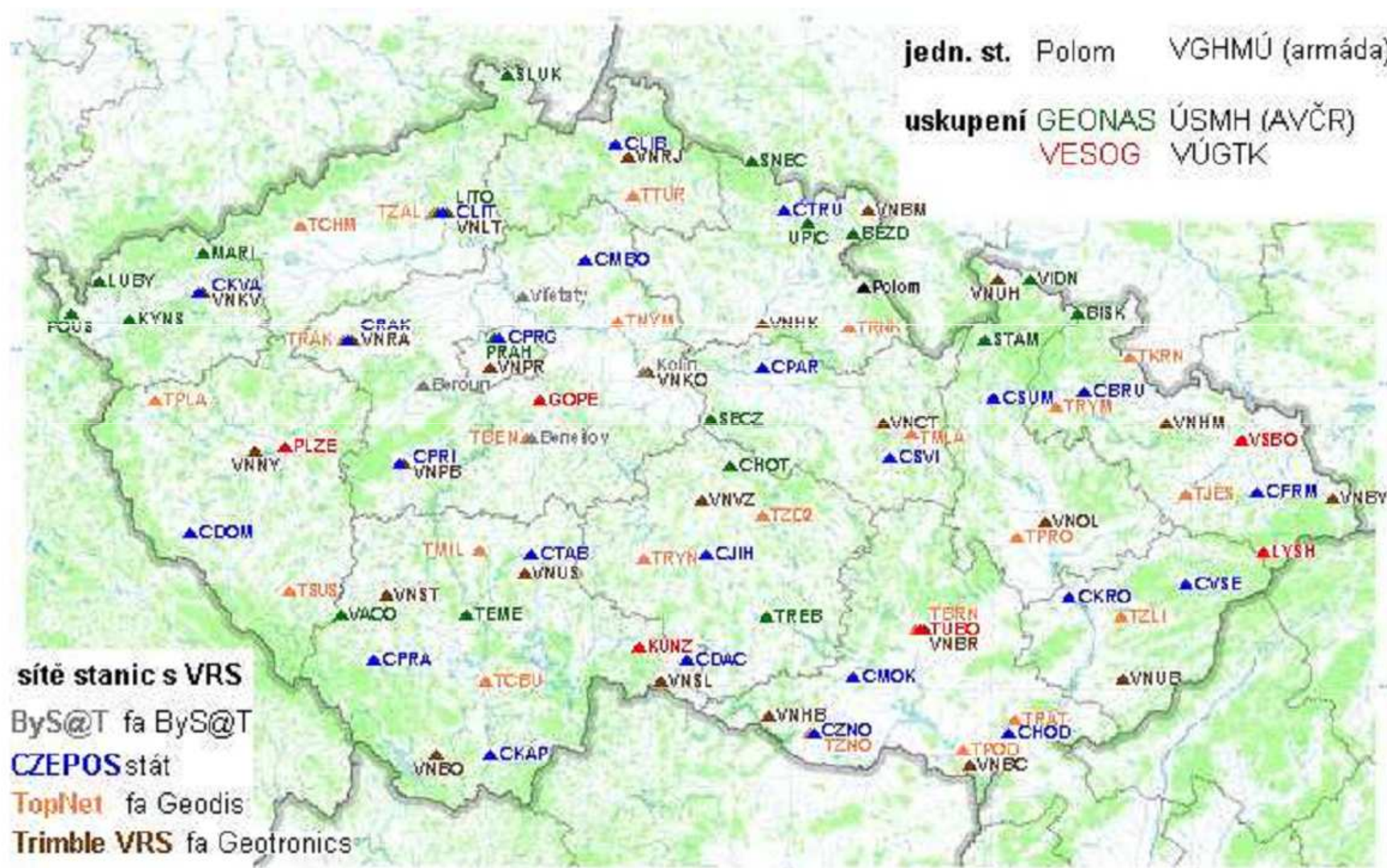
- rozmístěny na daném území
- poskytované služby závisí na jejich hustotě a vzdálenosti
- připojení probíhá zpravidla přes internet
- poskytované údaje
 - Postprocessing
 - RINEX
 - RINEX virtuální stanice
 - RTK
 - RTCM
 - VRS
 - Plošné korekce
 - DGNSS korekce

Sítě na území ČR

- CZEPOS
- Trimble VRS Now Czech
- by/S@t
- GEONAS
- TopNet
- VESOG

Permanentní stanice GPS/GNSS na území České republiky

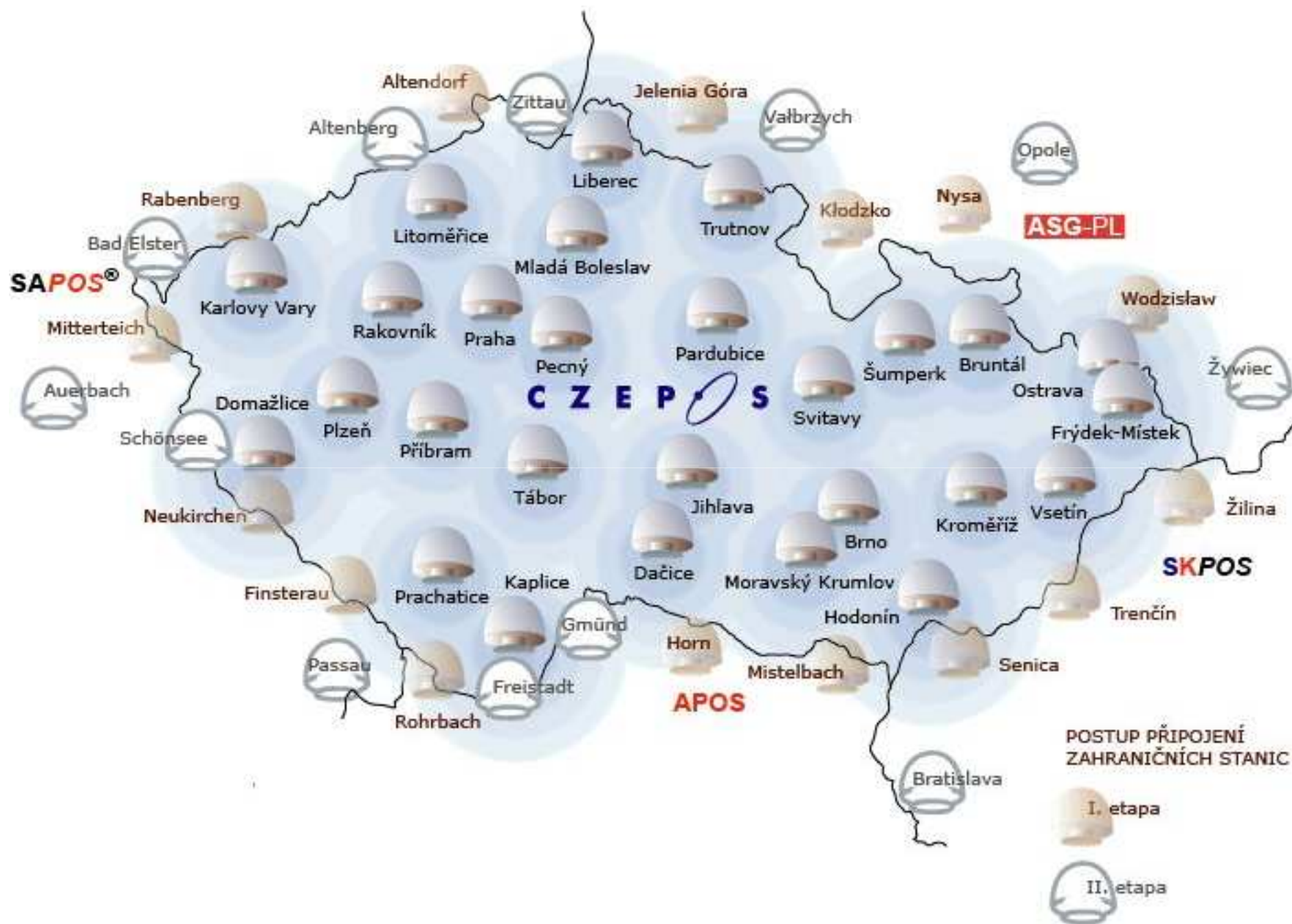
(k 31.5.2010)



CZEPOS

(Czech Positioning System)

- první celoplošná referenční síť na území ČR
- 2004-2006 budování sítě (Leica Geosystems – GEFOS)
- spravuje a provozuje ZÚ
- celkem 28 stanic
 - 23 stanic vlastních + 5 externí (TUBO, GOPE, PLZE, VSBO, POL1)
- od 2008 rozšiřování o zahraniční stanice
- data pro post-processing, RTK, DGNSS



VESOG

- výzkumná a experimentální síť provozovaná výzkumnými a akademickými pracovišti
- VÚGTK
 - GOPE –Pecný
 - KUNZ – Kunžak
 - TUBO –VUT Brno – částečně
 - ZDIB – VÚGTK Zdiby
- VGHMÚŘ
 - POL1 - Polom
- VUT
 - TUBO – VUT Brno
- ZČU
 - PLZE – ZČU Plzeň
- Vysoká škola Báňská Ostrava
 - VSBO –VSB Ostrava
 - LYSH – Lysá hora

Trimble VRS NOW Czech

- firma Trimble (ČR -Geotronicz)
- síť v několika státech
- v ČR – 24 stanic + zapojeno 8 stanic z Německa
- celoplošná síť prověřena VÚGTK – není třeba provádět ověřovací měření

By/S@t

- společnost by/S@t
- 4 stanice – Beroun, Benešov Kolín, Všetaty
- provozuje Geodézie Krkonoše s.r.o. a Viageos s.r.o.

GEONAS

- stanice Ústavu struktury a mechaniky hornin Akademie věd ČR
- sledování geodynamických procesů v zemské kůře
- 20 stanic – některé připojeny do sítě TopNET

TopNET

- firma Geodis Brno s.r.o.
- zapojeno 32 stanic
 - 21 stanic vlastních

Výhody sítě referenčních stanic

- nepřetržitý provoz referenčních stanic
- jejich jednorázové přesné připojení na bodové pole
- tvorba a distribuce síťových DGNSS a RTK korelací oprávněným uživatelům
- přístup k souborům pro post-processing pro oprávněné uživatele
- značné úspory za druhou stanici

Převod ETRS-89→S-JTSK

- od 2.1.2011 přechod z ETRS-89 na rámci ETRF-89 na ETRS-89 na rámci ETRF-89
- pro transformaci postačuje pouze globální transformační klíč schválený VÚGTK

Převod ETRS-89→S-JTSK

dle dřívějších předpisů

- pro umístění musíme vybrat alespoň jeden (nebo více) **připojovacích bodů**
- po provedení vyrovnání/výpočtu s připojením na připojovací bod(y) získáme souřadnice určených bodů v geocentrickém systému ETRS-89
- **transformace souřadnic** z ETRS-89 do S-JTSK (Bpv)
- k transformaci je nutno znát/vypočítat **transformační klíč**

Transformační klíč

- vypočte se z **připojovacích bodů** (min. 4), které mají známé souřadnice v obou soustavách (ETRF-89 i S-JTSK včetně h Bpv)
- dvě možnosti transformací:
 - **sedmiprvková transformace** (3 posuny, 3 rotace, 1 měřítko)
 - rovinná transformace (2 posuny, 2 rotace, 1 měřítko) s oddělenou transformací výšek (souřadnice musí být přibližně převedeny pomocí globálního klíče)

Metody pro určování PPBP

- možno použít kteroukoliv výše zmíněnou metodu
- měření, výpočet a transformaci je nutno použít schválený software

Metody pro určování podrobných bodů

- možno použít kteroukoliv výše zmíněnou metodu, ale přednost bude dána RTK
- měření, výpočet a transformaci je nutno použít schválený software

Hodnocení vnitřní přesnosti měření a vlivu konfigurace družic při měření na přesnost výsledku

- pomocí středních chyb ze zpracování
 - střední chyby jsou někdy nadhodnocené, liší se podle použitého software – není ustálená definice pro jejich výpočet – pro hodnocení nepoužitelné
- pomocí hodnoty DOP (Dilution of Precision)

DOP je jednoznačně definován, některou z jeho podob dává každá aparatura GPS

Co je to DOP

- DOP – Dilution of Precision

(„zředění/zhoršení“ přesnosti) – charakteristika přesnosti určení některého parametru (polohy, výšky, času, ...) vyjadřuje zejména vliv konfigurace družic

- DOP je bezrozměrné číslo
- čím větší DOP, tím nižší přesnost

Typy DOP

- GDOP – Geometric DOP – geometrický DOP (vliv prostorové polohy a času)
- PDOP – Position DOP – polohový DOP
- TDOP – Time DOP – DOP v čase
- HDOP – Horizontal DOP – DOP ve vodorovných souřadnicích
- VDOP – Vertical DOP – DOP ve výšce

- Platí: $HDOP < PDOP < GDOP$

Možnost použití výsledků

Dle vyhlášky 31/1995 Sb. je nutno body bodových polí měřit 2x a to s časovým odstupem (jiná konfigurace)

Dle dřívějších předpisů (je vhodné dodržovat)

- při určování PPBP:
 - je-li DOP menší nebo roven 4: OK
 - je-li DOP mezi 4 a 7: ověřit jinou technologií
 - je-li DOP větší jak 7: nelze výsledky GPS použít (vždy nutnost dvojího nezávislého měření)
- při určování podrobných bodů:
 - je-li DOP menší nebo roven 7: OK
 - je-li DOP větší jak 7: nelze výsledky GPS použít

Výhody GPS systému pro geodetické účely

- rychlost
- spolehlivost
- přesnost
- nezávislost na počasí a denní době
- délka základen při měření v bodových polích



Geodetické práce s GNSS

- alespoň 2 geodetické přijímače GNSS
 - druhý přijímač dnes řeší permanentní stanice
- alespoň 4 společné družice s dobrou geometrií
- společné observační intervaly
- fázová měření (nikoli pouze kódová)
- správný software

Použitá literatura

- <<http://czepos.cuzk.cz/>>
- KOSTELECKÝ, Jan *Technologie GPS NAVSTAR*. VÚGTK & ČVUT
- *Zeměměřič*. Praha : SPRINGWINTER,s.r.o.. ISSN 1211-488X
- Vyhláška č. 31/1995 Sb. v platném znění, příloha č. 9
- Přednášky Ing. Taraba