

Seminář GPS

*Metody určování polohy a sítě
permanentních referenčních stanic*

Irena Opatřilová, Ústav geodézie, 15.2.2012

Rozdělení metod určování polohy

- ◆ podle použitých veličin:
 - kódové
 - fázové
- ◆ podle doby potřebné k získání polohy:
 - v reálném čase
 - s následným zpracováním (postprocessing)
- ◆ podle režimu pohybu přijímače v průběhu měření:
 - statické
 - kinematické
- ◆ podle způsobu určení polohy:
 - absolutní
 - relativní
 - diferenční

Kódová měření

- ◆ založeno na základě určování tzv. pseudovzdálenosti R

$$R_R^i = c (t_R - t^i) = c \tau_i$$

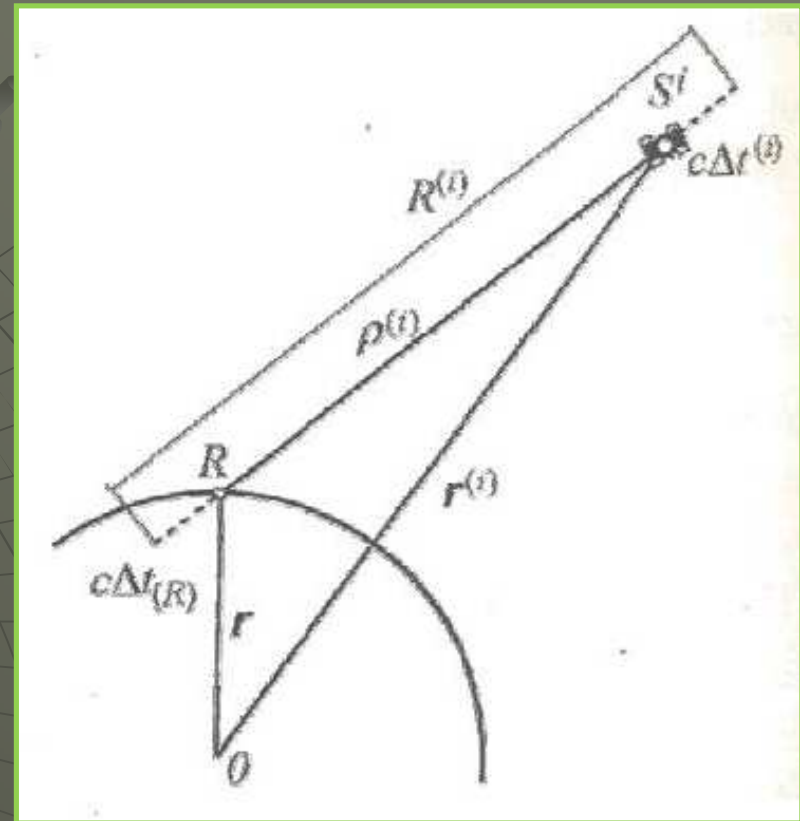
R_R^i ... pseudovzdálenost mezi přijímačem r a družicí i

τ_i ... časový rozdíl mezi přijetím signálu přijímačem r a odesláním signálu družicí i , tranzitní čas

c ... rychlost světla ve vakuu

Kódová měření

- ◆ $R^{(i)}$... měřené vzdálenost (pseudovzdálenost)
- ◆ $\rho^{(i)}$... skutečná vzdálenost
- ◆ c ... rychlost světla ve vakuu
- ◆ $c\Delta t_{(R)} = \Delta r_{(R)}$... odchylka časové základny přijímače přepočtená na délku
- ◆ $c\Delta t_{(i)} = \Delta r_{(i)}$... odchylka časové základny družice přepočtená na délku



Kódová měření

- ◆ rovnici zapíšeme ve tvaru:

$$R^{(i)} = \rho^{(i)} + \Delta r_{(R)} - \Delta r^{(i)}$$

- ◆ doplníme o ionosférické a troposférické korekce:

$$R^{(i)} = \rho^{(i)} + \Delta r_{(R)} - \Delta r^{(i)} + \Delta r_{iono}^{(i)} + \Delta r_{trop}^{(i)}$$

=> v rovnici máme dvě neznámé $\rho^{(i)}$ a $\Delta r_{(R)}$

Kódová měření

- ◆ velikost topocentrického vektoru zapíšeme v geocentrických souřadnicích:

$$\rho^{(i)} = \sqrt{(X^{(i)} - X)^2 + (Y^{(i)} - Y)^2 + (Z^{(i)} - Z)^2}$$

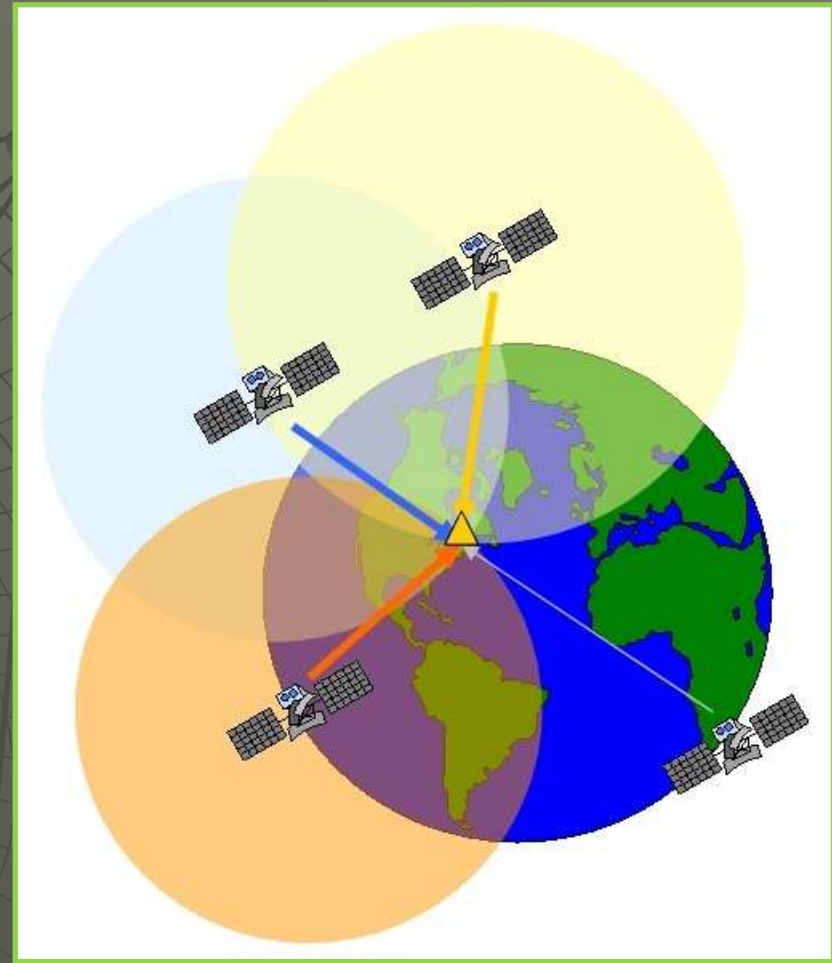
- ◆ dosazením do původní rovnice dostaneme:

$$R^{(i)} = \sqrt{(X^{(i)} - X)^2 + (Y^{(i)} - Y)^2 + (Z^{(i)} - Z)^2} + c\Delta t_{(R)} - \Delta I^{(i)} + \Delta I_{iono}^{(i)} + \Delta I_{trop}^{(i)}$$

=> 4 neznámé parametry $X, Y, Z, \Delta t_{(R)}$

Kódová měření

- ◆ => potřebujeme k určení polohy min 4 družice
- ◆ více družic vede ke zprostředkujícímu vyrovnání a lepší přesnosti v určení polohy
- ◆ většinou jednofrekvenční přijímače využívají C/A kód



Fázová měření

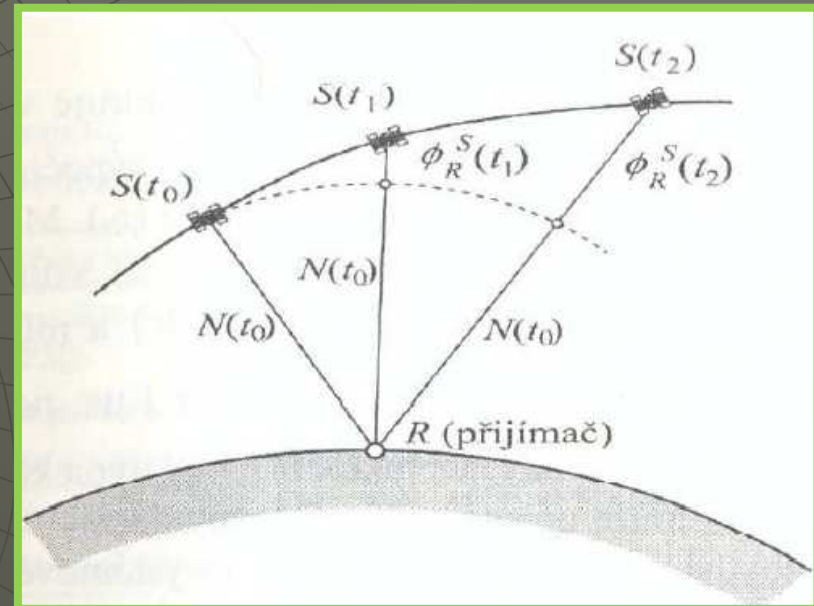
- ♦ opět určování pseudovzdáleností (pomocí měření celých vln a fázových doměrků):

$$R_R^i = N\lambda + \frac{\lambda}{2\pi} \Delta\varphi$$

N ... počet celých vlnových délek

λ ... vlnová délka nosné vlny

$\Delta\varphi$... fázový doměrek



Fázová měření

- ◆ z rovnice vyjádříme $\Delta\varphi$:

$$\Delta\varphi = (R - N\lambda) \frac{2\pi}{\lambda}$$

- ◆ dosadíme R z rovnice pro kódové měření:

$$\Delta\varphi = [\rho + c(t_R - t^i) - N\lambda] \frac{2\pi}{\lambda}$$

- ◆ dosadíme ρ (topocentický vektor):

$$\Delta\varphi = \left[\sqrt{(X^i - X)^2 + (Y^i - Y)^2 + (Z^i - Z)^2} + c(t_R - t^i) - N\lambda \right] \frac{2\pi}{\lambda}$$

Podstata řešení fázového měření

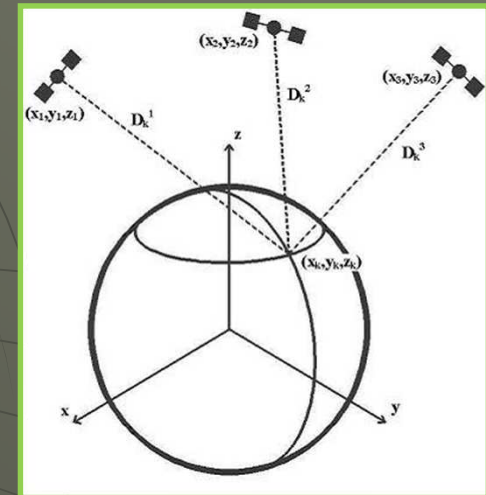
- ◆ stejné neznámé jako v případě kódových měření + pro každou družici neznámý celý počet vlnových délek obsažených v měřené pseudovzdálenosti na počátku měření
- ◆ tato veličina se nazývá počáteční celočíselná **ambiguita** – zůstává stejná po celou dobu měření (dokud nedojde k přerušení signálu)

Řešení ambiguit

- ◆ ve třech krocích:
 - vyrovnáním MNČ se určí hodnoty ambiguit jako reálná čísla (**float** řešení)
 - vyhledání celočíselných hodnot ambiguit
 - nové vyrovnání již s celočíselnými hodnotami
- ◆ druhý a třetí krok se opakuje až do nalezení řešení s nejmenší směrodatnou odchylkou, tj. testují se charakteristiky přesnosti nejlepšího a druhého nejlepšího výsledku
- ◆ řešení se statisticky významným zmenšením variace oproti druhému nejlepšímu se označí jako **fixované (fixed)**
- ◆ pokud se testem neprokáže nejlepší řešení, použijí se původní reálné hodnoty označené jako **float**

Absolutní metoda

- ◆ určení tzv. autonomní prostorové polohy bodu
- ◆ využití jednoho přijímače, příp. využití více přijímačů nezávisle na sobě
 - SPP – single point positioning
 - PPP – precise point positioning
- ◆ zatíženo plnou hodnotou systematických vlivů
- ◆ primární účel GNSS (navigace)
- ◆ přesnost v metrech



Precise Point Positioning

- ◆ využití dlouhých observací geodetických aparatur a produktů
- ◆ eliminace systematických vlivů => přesnost cca 15 mm
- ◆ online zpracovatelská centra PPP, kam stačí poslat observační data ve formátu RINEX (např. <http://gge.unb.ca/Resources/PPP/index.htm>)

Relativní metoda

- ◆ zpracování měření z alespoň dvou aparatur, které přijímají signály ve stejný časový interval
- ◆ určování jejich vzájemné polohy, tzv. **vektor**
- ◆ základna (baseline) - přijímače jsou umístěny na koncových bodech základny
- ◆ při fázovém měření dosažení nejvyšší přesnosti (v mm)

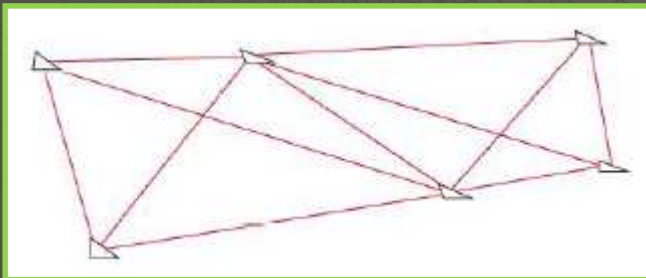


Relativní metoda

- ◆ využití v geodézii pomocí kódového a fázového měření
- ◆ referenční stanice – umístěna po celou dobu měření na jednom známém bodě
- ◆ rover – mobilní stanice, pomocí které se určuje poloha neznámých bodů
- ◆ druhy metod:
 - statická, rychlá statická
 - kinematická
 - RTK
 - DGNSS

Statická metoda

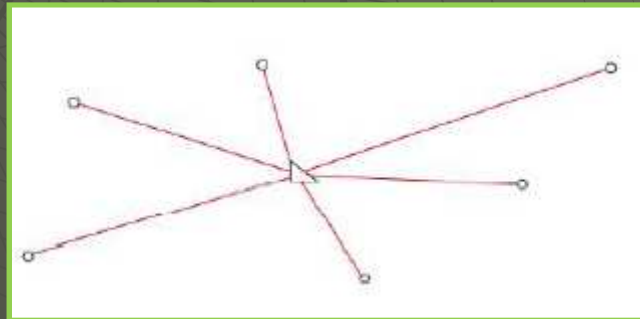
- ◆ statická = oba přijímače jsou po celou dobu měření vzhledem k zemskému povrchu v klidu
- ◆ nejstarší metoda
- ◆ dlouhé observace (od 10 min po několik hodin) => využití pro řešení dlouhých vektorů
- ◆ nejvyšší přesnost 5 mm + 1 ppm
- ◆ využití k budování základních geodetických sítí na velkém území, při národních a kontinentálních měření



délka vektoru (km)	doba observace (min)
0,1 - 1	10 - 30
1 - 5	30 - 60
5 - 10	60 - 90
10 - 30	90 - 120

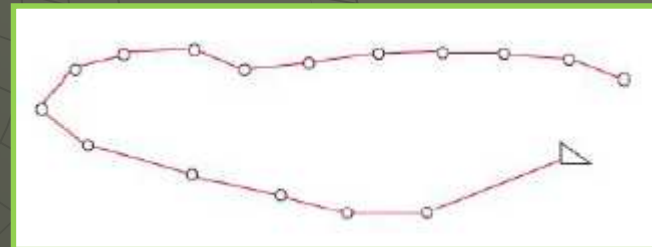
Rychlá statická metoda

- ◆ při větším počtu družic kratší doba observace (5 až 6 družic => 5-10 minut)
- ◆ ambiguity se řeší i s odhadem souřadnic
- ◆ větší vliv náhodných chyb při měření (menší soubor měření)
- ◆ přesnost 10 mm + 1 ppm



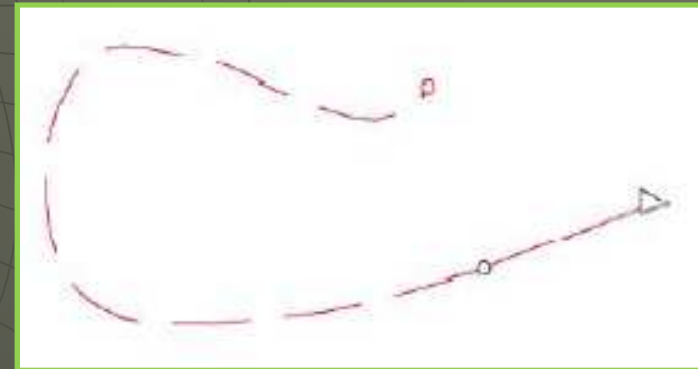
Stop & Go

- ◆ semikinematická metoda
- ◆ pro větší počet bodů
- ◆ na 1. (známém) bodě měření jako u rychlé statické metody, poté se vypne registrace a poodejde se na další (určovaný) bod
- ◆ výhoda – ambiquity se při dalším měření nemění => neztrácí se čas jejich určováním
- ◆ podmínka – při přesunu musíme mít na příjmu min 4 družice, na které probíhá fázové měření
- ◆ observace 5 – 10 min
- ◆ 10 až 20 mm + 1 ppm



Kinematická metoda

- ◆ kinematická = rover je vzhledem k zemskému povrchu v pohybu
- ◆ pro určování dráhy pohybujícího se tělesa, na kterém je umístěn přijímač (např. využití při letecké fotogrammetrii)
- ◆ přesnost 10 – 20 mm + 1 ppm
- ◆ dvě technologie:
 - kinematické měření se statickou inicializací
 - kinematické měření s inicializací za pohybu



Kinematické metody

- ◆ kinematická metoda se statickou inicializací:
 - podobná metodě Stop & Go
 - na známém bodě se na začátku vyřeší ambiguity, poté je nezbytný nepřetržitý signál alespoň 4 až 5 družic
- ◆ kinematická metoda s inicializací za pohybu (On the Fly):
 - ambiguity se řeší s využitím velmi přesného kódového měření

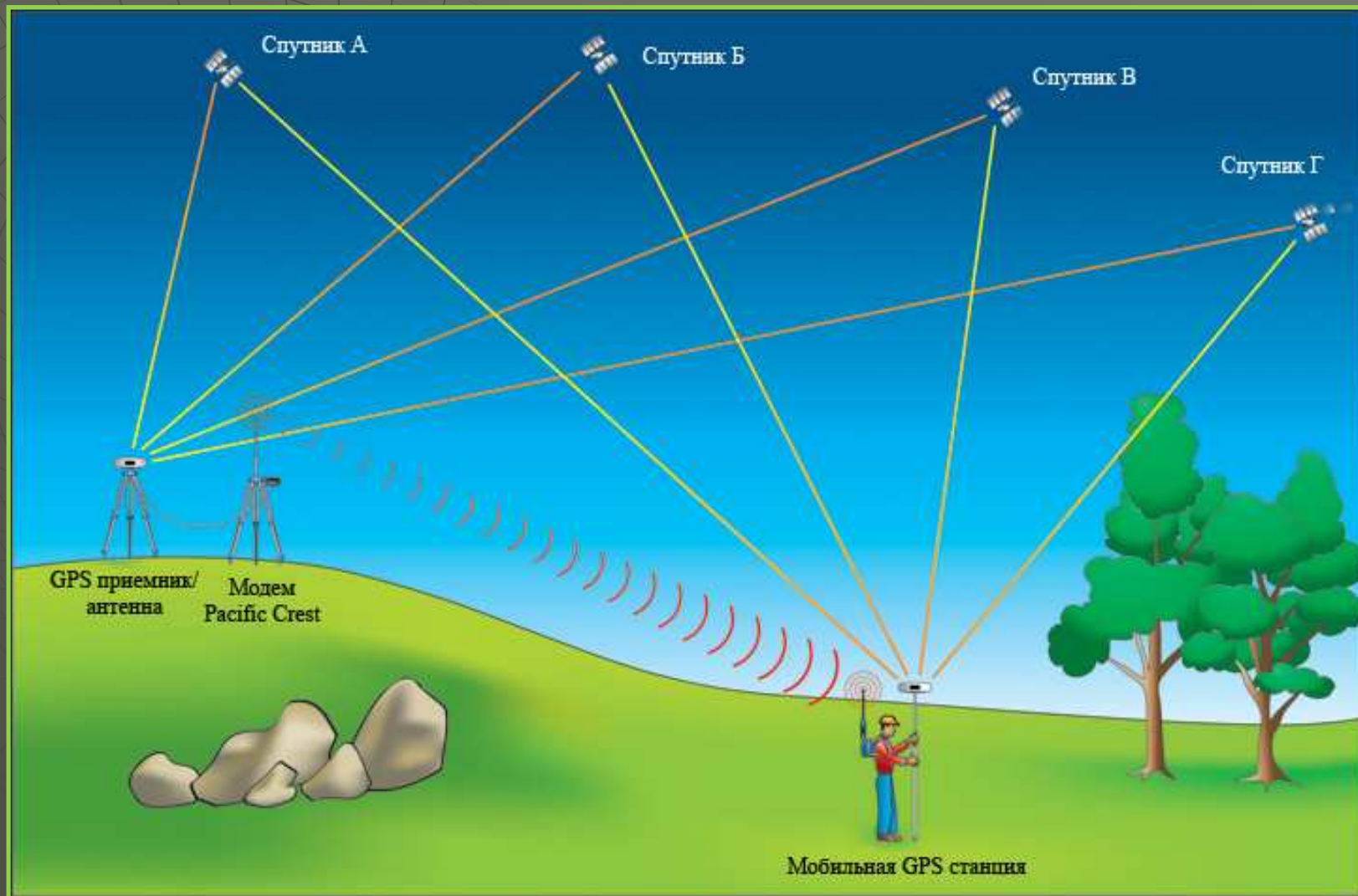
RTK

- ◆ Real Time Kinematic
- ◆ podobné jako u Stop & Go
- ◆ principy RTK:
 - fázové a přesné kódové měření
 - přenos pseudovzdáleností a fázových měření z referenční stanice do roveru v reálném čase
 - řešení ambiguit v roveru pomocí metody On the Fly
 - okamžitý výpočet parametrů měřeného vektoru

RTK

- ◆ potřeba mobilního internetového připojení pro příjem korekcí ve formátu RTCM (NTRIP)
- ◆ korekce pseudovzdáleností k jednotlivým společným družicím
- ◆ využití v jakémkoliv režimu (statický či kinematický)
- ◆ menší eliminace systematických chyb
- ◆ přesnost 10 – 20 mm + 2 ppm

RTK



RTK

♦ výhody:

- měření prostorové polohy bodů v reálném čase
=> bez postprocessingu
- využití při rychlém vytyčování
- využití pro přesné aplikace pro GIS

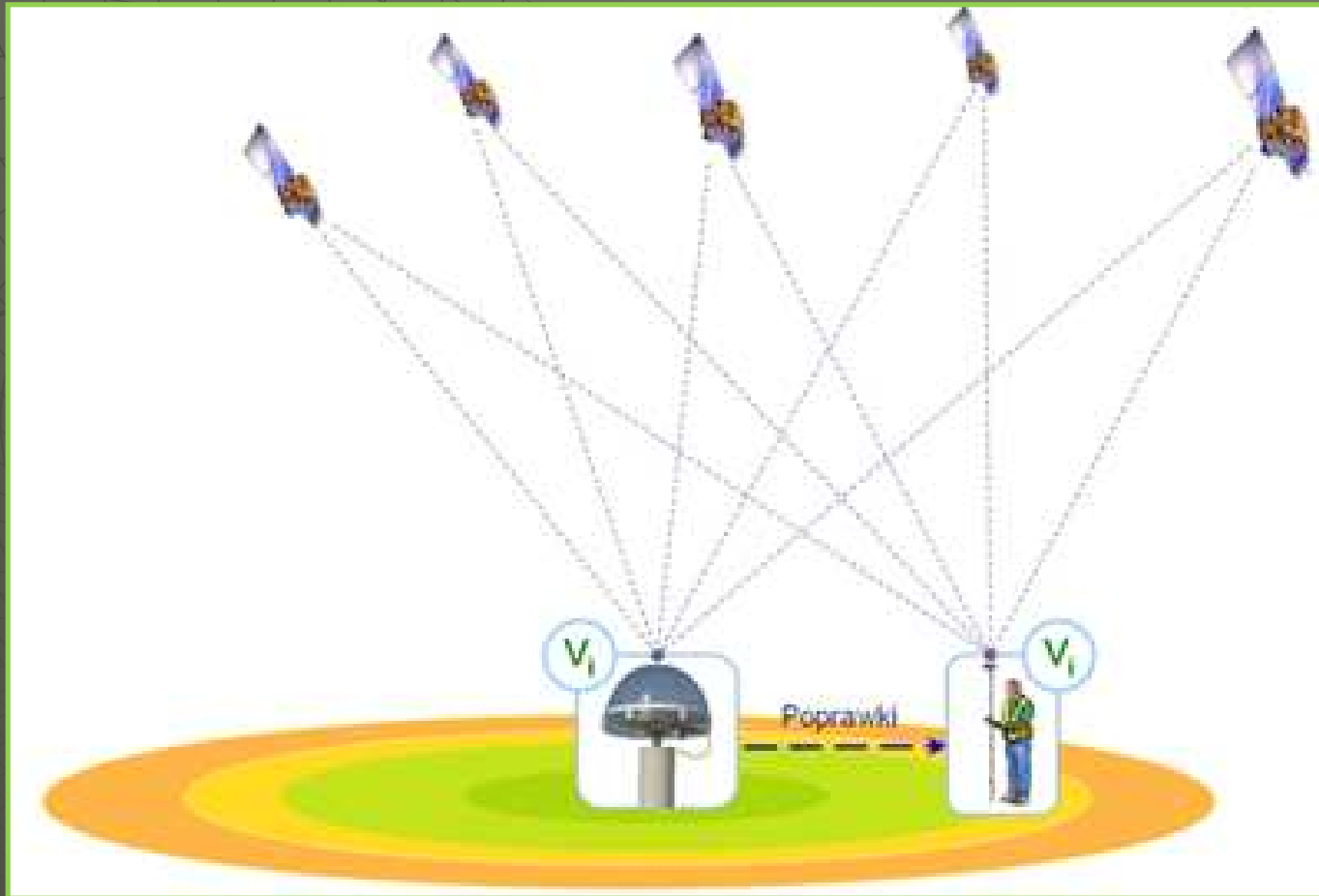
♦ nevýhoda:

- závislost na signálu mobilního operátora
(problém např. v příhraničních oblastech nebo při přetížení datových služeb ve městech)
- minimum 5 viditelných družic po celou dobu měření

DGNSS (DGPS)

- ◆ diferenční DGNSS
- ◆ kódové měření
- ◆ absolutní určování polohy + korekce z referenční stanice => zvýšení přesnosti z několika metrů na cca 0,5 metru
- ◆ při využití korekcí z SBAS přesnost cca 2 metry

DGNSS

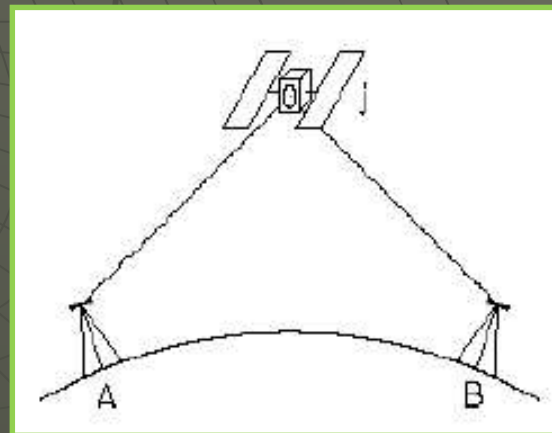


Diferenční měření

- ◆ vysoká přesnost určení relativní polohy dosažena pomocí speciálních technik zpracování obou signálů => eliminace systematické vlivů, tj.:
 - nepřesnost palubních efemerid
 - chyby v určení korekce časových základů
 - částečně chyby modelu ionosférického a troposférického zpoždění
- ◆ tyto vlivy lze účinně eliminovat vytvářením diferencí simultánních měření dvojic přijímačů

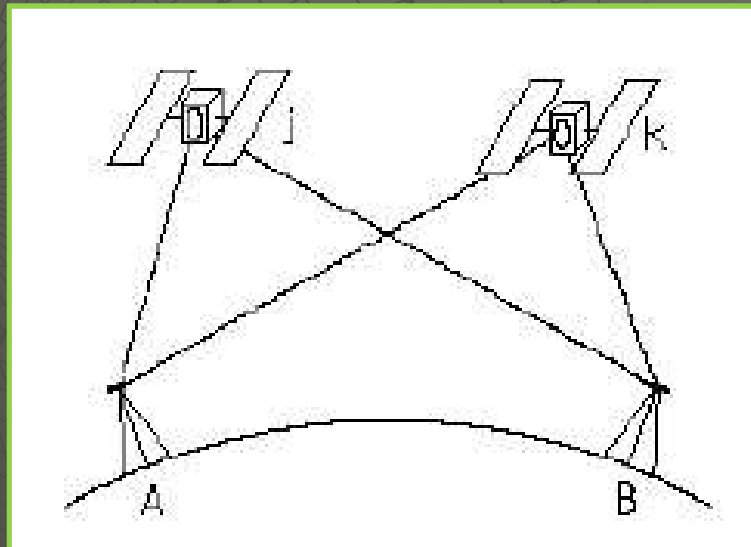
Jednoduché difference

- ◆ na dvou různých bodech (A, B) je v čase t přijímán signál od jedné družice j
- ◆ umožňují eliminovat ofset časové základny družice
- ◆ zmenšen vliv ionosférické a troposférické korekce (projeví se rozdíl jejich hodnot na obou bodech)



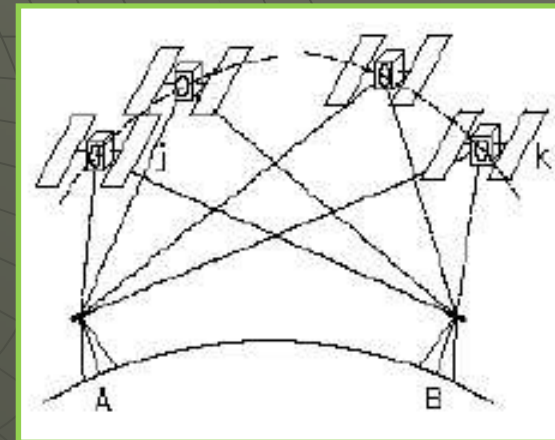
Dvojité difference

- ◆ signály dvou družic j, k jsou v čase t vyhodnocovány přijímači A a B
- ◆ účinně eliminují ofset časových základen přijímačů



Trojité diference

- ◆ definovány jako rozdíl dvojitých diferencí určených ve dvou epochách
- ◆ nelze je použít pro přesné určení relativní polohy (díky menší přesnosti a velmi špatné podmíněnosti polohové úlohy)
- ◆ používají se pro odhalování fázových skoků (cycle slips)



Systematické chyby

- ◆ umělé ovlivňování kvality signálu (SA, A-S)
- ◆ chyby související s družicemi
- ◆ chyby při šíření signálu atmosférou
- ◆ chyby související s přijímačem
- ◆ chyby související s místem měření

Umělé ovlivňování kvality signálu

◆ **Selective Availability**

- umělá degradace dráhových údajů a ovlivňování palubních hodin
- od r. 2000 neaktivní

◆ **Anti-Spoofing**

- přepis P-kódu dalším W-kódem => výsledkem tajný Y-kód
- moderní geodetické aparatury jsou schopny pomocí určitých technik získat P(Y) kód na L1 i L2
- doposud aktivní

Chyby související s družicemi

- ◆ chyby družicových hodin a zpoždění signálu v obvodech družice => problém s určením tranzitního času
- ◆ přesnost určení parametrů drah družic (efemerid) ovlivňuje zejména autonomní určení polohy
- ◆ poloha fázového centra antény družice není totožná s jejím těžištěm => zavádí se do výpočtu

Chyby při šíření signálu atmosférou

◆ **ionosférická refrakce**

- ionosféra ve výšce 50 až 1000 km
- závisí na počtu volných elektronů v ionosféře
- disperzní prostředí - index lomu závisí na frekvenci nosných vln
- model Klobuchar

◆ **troposférická refrakce**

- závisí na hustotě nižších vrstev atmosféry (do výšky cca 10 km)
- je stejná pro obě frekvence, i pro kódová a fázová měření
- model Saastamoinen a Hopfieldové

Chyby související s přijímačem

- ◆ ofsety fázových center => prostorová poloha fázových center není totožná pro L1 a L2 a mění se v závislosti na elevačním úhlu a azimutu družice
- ◆ potřeba kalibrace antén

Chyby související s místem měření

- ◆ vícecestné šíření signálu => přijímač zpracovává i signál odražený od blízkých ploch
- ◆ kódová měření mohou mít chyby až 50 m, fázová až 5 cm
- ◆ lze eliminovat pomocí:
 - konstrukce antény
 - výběr stanoviška
 - delší observace



Sítě permanentních referenčních stanic

- ◆ permanentní stanice kontinuálně přijímají signály z družic GNSS
- ◆ stanice obvykle vybaveny anténou a přijímačem od stejného výrobce
- ◆ pomocí ethernet rozhraní a připojení k internetu jsou data přenášena do řídicího centra
- ◆ důležité jsou nastavené parametry antén, určení prostorových souřadnic stanic a sledování jejich stability
- ◆ mohou se vyskytnou lineární pohyby, periodické pohyby nebo skoky

Sítě permanentních referenčních stanic

- ◆ výpočet korekčních údajů pro viditelné družice
- ◆ zpoplatněná korekční data zprostředkovávána uživatelům pomocí internetu
- ◆ pro RTK ideální rozmístění stanic po 20 km => cca 200 stanic pro území ČR => nemožné => řeší se to pomocí síťového řešení
- ◆ v ČR tři sítě:
 - CZEPOS
 - TopNET
 - Trimble VRS Now Czech

Sít'ové řešení

- ◆ v rámci sítě je poskytováno kromě individuálního řešení z konkrétní referenční stanice i tzv. sít'ové řešení
- ◆ do výpočtu současně zapojeno více než jedna referenční stanice
- ◆ klesá závislost na vzdálenosti od fyzické referenční stanice a poloze uživatele v síti (vně sítě v okrajových územích)

Princip síťového řešení

- ◆ řešení vektorů mezi stanicemi v rámci celé sítě => vyřešení ambiguit a vyčíslení chybových vlivů
- ◆ měření vzdálenosti opravené o vyčíslené chybové vlivy
- ◆ výpočet reziduí, tj. rozdíly mezi opravenými vzdálenostmi a vzdálenostmi z vyrovnání
 - rezidua ionosférická a geometrická (dráhová a troposférická)

Princip síťového řešení

- ◆ rezidua poté interpolována mezi referenčními stanicemi
- ◆ reziduum = korekce měřené délky družice-přijímač
- ◆ základní typy koncepcí:
 - plošné korekční parametry (FKP)
 - virtuální referenční stanice (VRS)
 - pseudoreferenční stanice (PRS)

Plošné korekční parametry

- ◆ residua (opravy) jsou známa pouze pro permanentní stanice => interpolační rovina (trojúhelník ze spojnic mezi referenčními stanicemi, uvnitř rover) => residua se vyinterpolují lineárně v rámci trojúhelníku
- ◆ korekce posílány uživateli pomocí RTCM zprávy
- ◆ asi do vzdálenosti 50 km mezi referenčními stanicemi
- ◆ výpočet polohy na straně roveru

Virtuální referenční stanice

- ◆ rover odešle svoji přibližnou pozici řídicímu centru, standardním formátem pro tuto informaci je zpráva NMEA
- ◆ řídicí centrum na základě této informace odešle roveru korekce DGNSS => zpřesnění jeho navigační polohy
- ◆ rover poté odešle svou novou DGNSS polohu řídicímu centru
- ◆ na základě této zprávy dojde k vytvoření surových dat referenční stanice, která se nachází v DGNSS poloze roveru
- ◆ data z této virtuální stanice jsou roverem interpretována jako by se jednalo o skutečnou stanici
- ◆ veškerý výpočet probíhá na straně serveru
- ◆ výhoda v použití detailnějších modelů atmosféry

Master-Auxiliary Concept

- ◆ aparatura zašle do řídicího centra NMEA zprávu, na základě které obdrží korekce virtuální referenční stanice
- ◆ výpočet probíhá v rámci výpočetní buňky, skládající se z několika stanic (zpravidla 6 stanic) umístěných v okolí uživatele
- ◆ v buňce je jedna ze stanic zvolena jako hlavní (Master), ostatní stanice pak jako vedlejší (Auxiliary)
- ◆ v rámci VRS3-MAX (u CZEPOS) uživatel přijímá korekční data z hlavní stanice a současně s nimi difference korekcí z vedlejších stanic

Pseudoreferenční stanice

- ◆ alternativou k virtuální referenční stanici
- ◆ nevytváří se v DGNSS poloze roveru, ale 5 km od pozice uživatele směrem k nejbližší stanici
- ◆ důvodem je malá (nulová) délka vektoru v blízkosti roveru v případě VRS

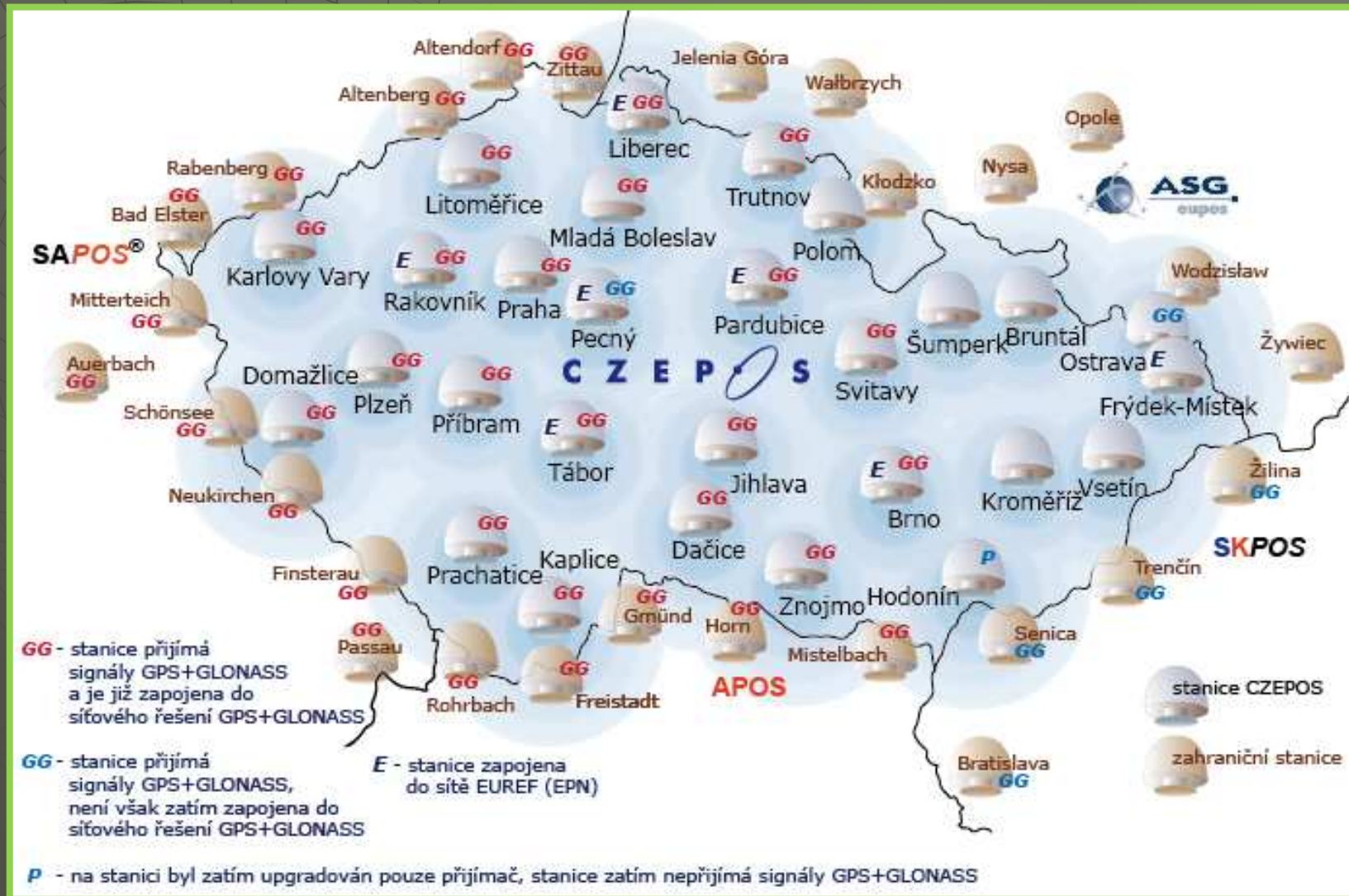
Data pro postprocessing

- ◆ data pro následné zpracování
- ◆ pro konkrétní fyzickou permanentní referenční stanici nebo pro virtuální referenční stanici
- ◆ ve formátu RINEX a virtuální RINEX

CZEPOS

- ◆ vzniká postupně od roku 2004
- ◆ provozuje jej Zeměměřický úřad
- ◆ v současnosti 28 stanic na území ČR
- ◆ do síťového řešení jsou zapojeny i příhraniční stanice okolních států
- ◆ v roce 2011 spuštěn upgrade stanic i pro příjem signálů z GLONASS (dříve pouze GPS)

CZEPOS



Vybavení stanic

- ◆ v rámci upgradu přechod z antén Leica AT504 Choke Ring na Leica AR 25
- ◆ přechod z přijímače Leica GRX 1200 Pro na Leica GRX 1200+ GNSS



=>

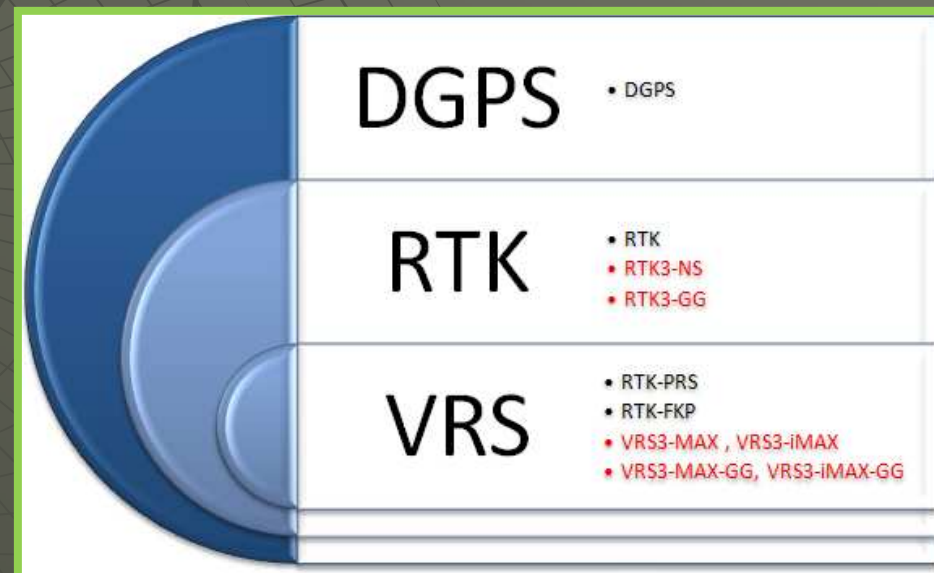


;



Produkty a služby CZEPOS

- ◆ produkty – statická měření fyzických nebo virtuálních referenčních stanic (ve formátu RINEX, virtuální RINEX) pro postprocessing
- ◆ služby – korekce v reálném čase pro měření DGPS nebo RTK



Trimble VRS Now Czech

- ◆ vybudována v roce 2009
- ◆ 24 referenčních stanic
- ◆ spravuje ji společnost Geotronics Praha



Vybavení stanic TVNC

- ◆ datové a řídicí centrum mimo ČR
- ◆ anténa Trimble Zephyr Geodetic Model 2
- ◆ přijímač Trimble NetR5



Produkty a služby TVNC

- ◆ produkty – RINEX z fyzické referenční stanice pro postprocessing
- ◆ služby
 - pro geodézii (cm přesnost)
 - ◆ Czech Unlimited
 - ◆ Czech 100
 - pro GIS (dm přesnost)
 - ◆ H-Star Unlimited
 - ◆ H-Star 100
 - pro oba obory
 - ◆ VRS iScope™
 - ◆ DGNS Unlimited

TopNET

- ◆ vzniká v roce 2004
- ◆ obsahuje 32 stanic
- ◆ spravuje ji společnost Geodis Brno



Vybavení stanic TopNET

- ◆ anténa TopconTPS CR3GGD CONE a TPS CR.G3 TPSH



- ◆ přijímač Topcon GB-1000 a Net G3A



Produkty a služby TopNET

- ◆ produkty - data pro postprocessing ve formátu RINEX
- ◆ služby
 - RTK korekce – poskytované z jednotlivých konkrétních nebo virtuálních stanic
 - DGNSS korekce

Program č. 1

- ◆ najděte v okolí svého bydliště nejbližší permanentní referenční stanici pro všechny sítě v ČR
- ◆ vypište k ní základní údaje (označení, souřadnice, typ antény apod.)
- ◆ odevzdejte na příští hodině (i se složkou na programy)
- ◆ odkazy:
 - <http://czepos.cuzk.cz/> (vhodné nejprve vyhledat přes grafickou přehledku bodových polí)
 - <http://topnet.geodis.cz>
 - www.vrsnow.cz (bližší info o síti na <http://www.geotronics.cz/trimble-vrs-now-czech>)



Děkuji za pozornost