



Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za *gradbeništvo in geodezijo*

*Katedra za matematično in fizikalno  
geodezijo ter navigacijo*

---

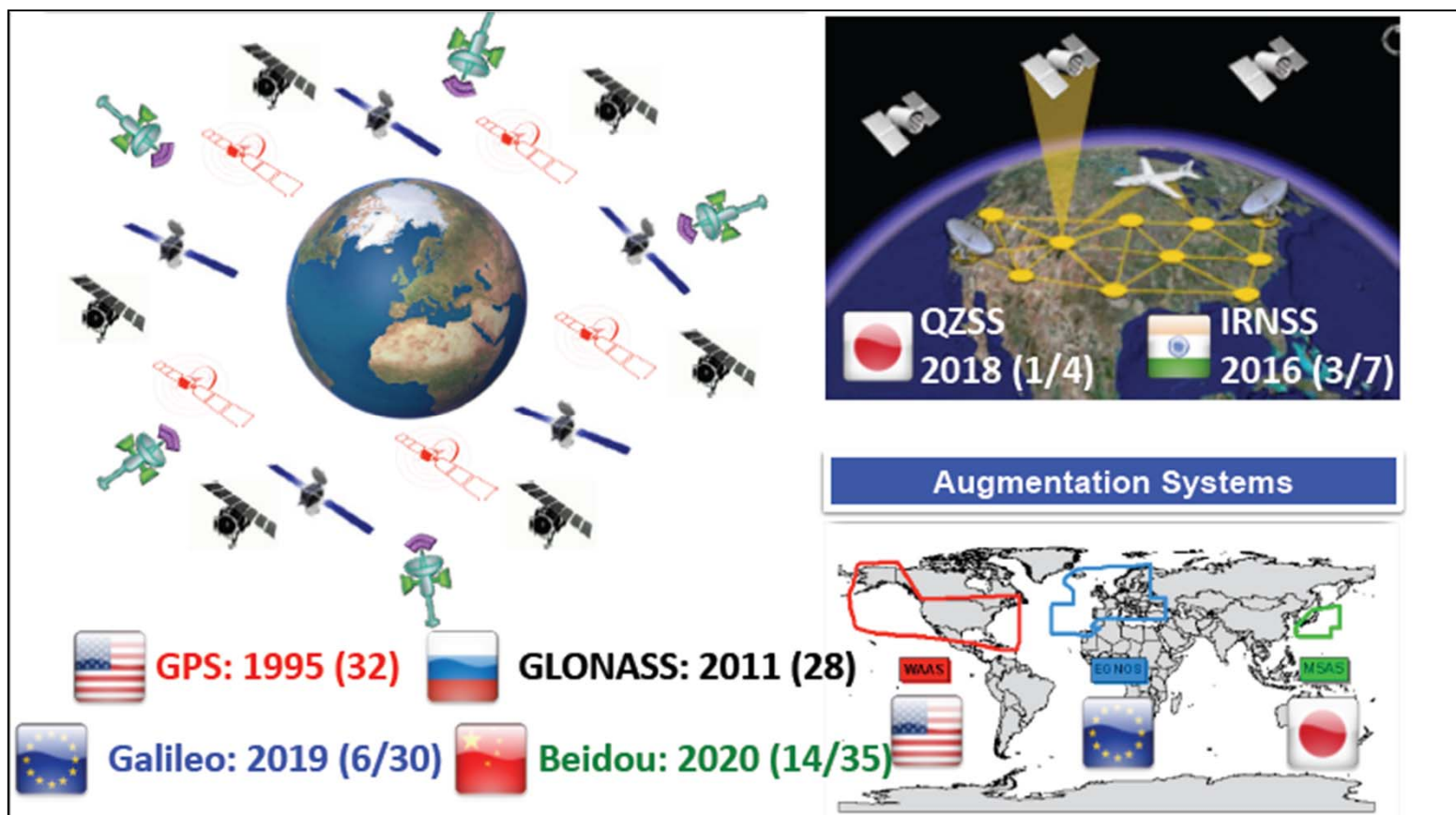
# GEODETSKI VIDIK GNSS

Polona Pavlovčič Prešeren  
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

22. Seminar radijske komunikacije  
Ljubljana, 3. -5. februar 2016

---

# GNSS – Global Navigation Satellite System



Do leta 2020 predvidevajo, da bo več kot 140 satelitov namenjeno navigaciji.

# Satelitski signal in vrste opazovanj GNSS...



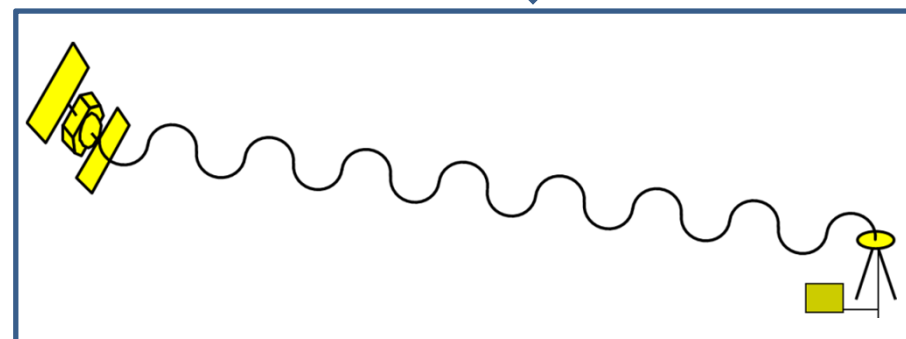
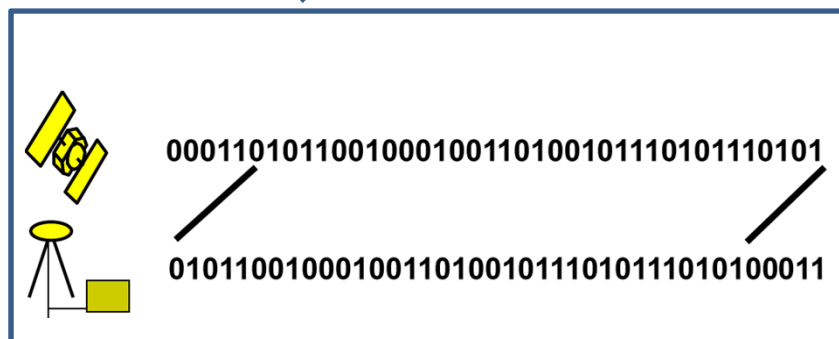
## 1. merske kode

## 2. navigacijsko sporočilo

## 3. nosilno valovanje

kodna opazovanja (C/A, P)

fazna opazovanja L1, L2, L5 (GPS)



# Kodna opazovanja



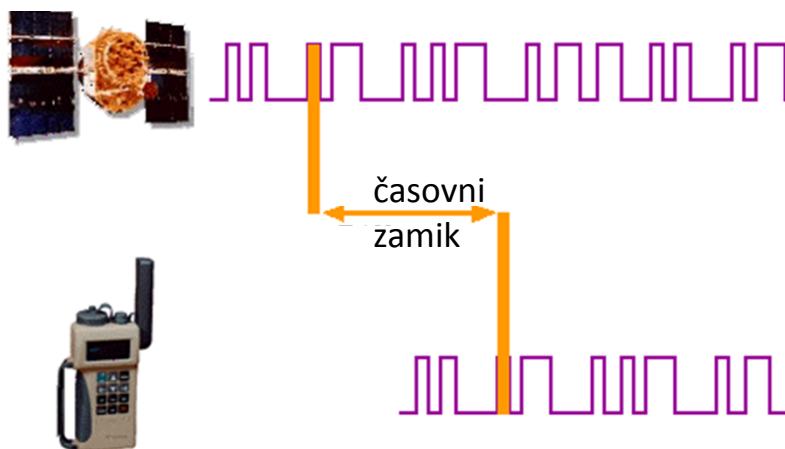
Osnovni tip opazovanj, ki omogoča pridobitev položaja

**2 kodi:**

**prvo generira in oddaja satelit**

(sprejme jo sprejemnik)

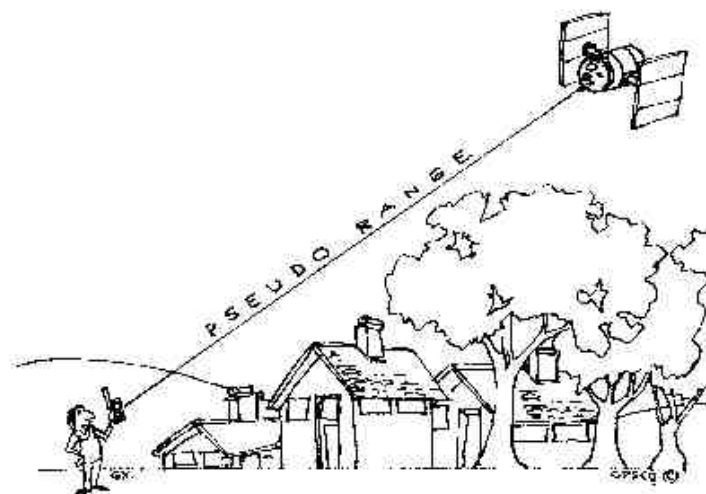
**drugo kodo generira sprejemnik**



kodi sta časovno zamaknjeni



Izračun psevdorazdalje PR



# Dostopnost do kodnih opazovanj



C/A koda je namenjena civilnim uporabnikom. Vsi instrumenti imajo dostop do kode C/A satelitskega sistema GPS.



P-koda je namenjena vojaški uporabi in je direktno dostopna tako le avtoriziranim uporabnikom.

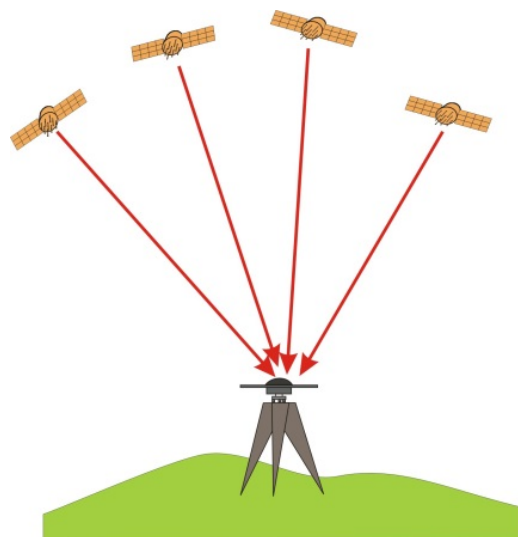


## **PROBLEM KODNIH OPAZOVANJ:**

dosegljiva točnost položaja je v najboljšem primeru nekaj metrov!



# Absolutno določanje položaja



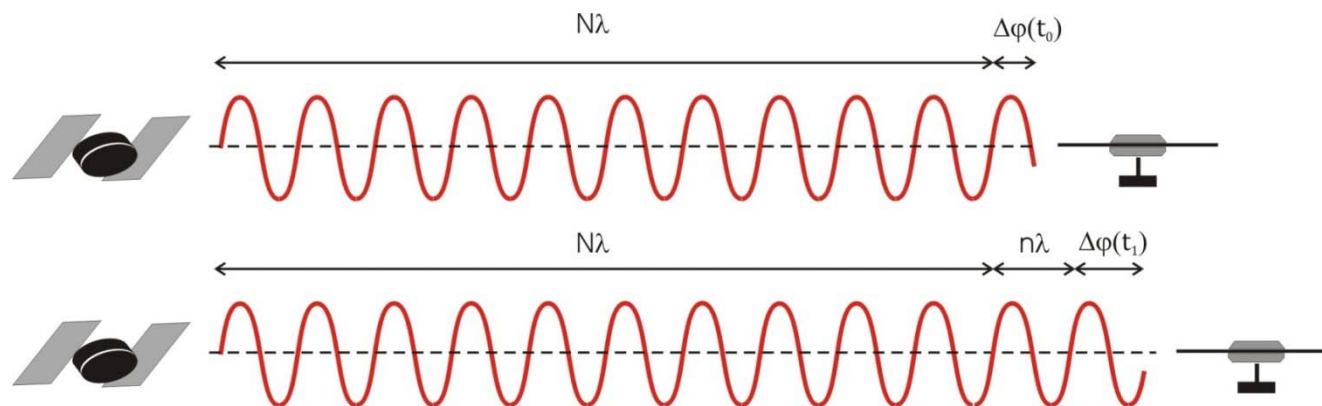
1. Absolutna določitev položaja temelji na sprejemanju opazovanj GNSS z enim sprejemnikom.
2. Poznamo absolutno določitev položaja s kodnimi instrumenti (C/A koda) -> vsesplošna uporaba, navigacija
3. Taka določitev položaja je uporabna le v navigaciji

*Cenovno dostopni instrumenti delujejo na sprejemanju kodnih opazovanj in absolutni določitvi položaja.*

## **SLABOST:**

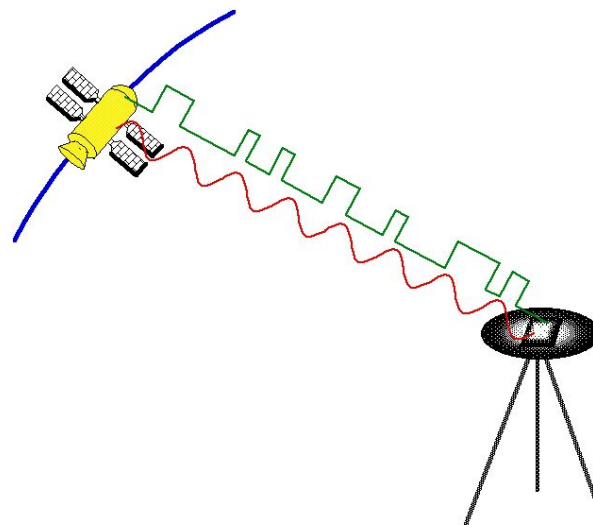
*Ni direktne navezave na referenčno koordinatno osnovo, vzpostavljeno na Zemlji.*

# Fazna opazovanja



Sprejemnik GNSS je zmožen kakovostno določiti velikost faze v definicijskem območju ene valoven dolžine.

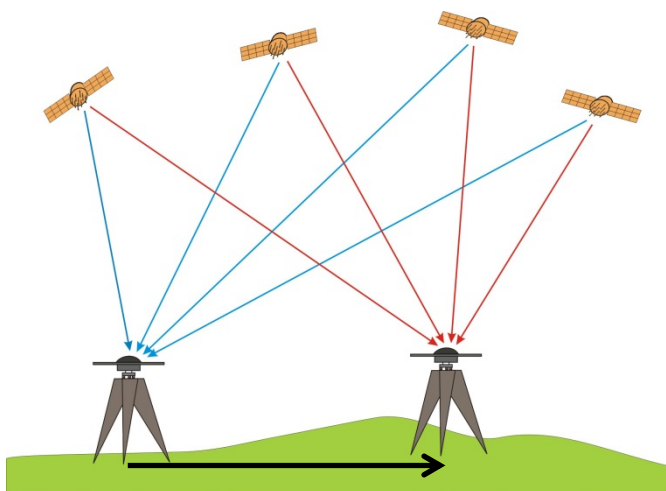
Celo število valov med satelitov in sprejemnikom je neznanka, ki jo razrešimo z različnimi algoritmi obdelave opazovanj GNSS.







# Relativno določanje položaja



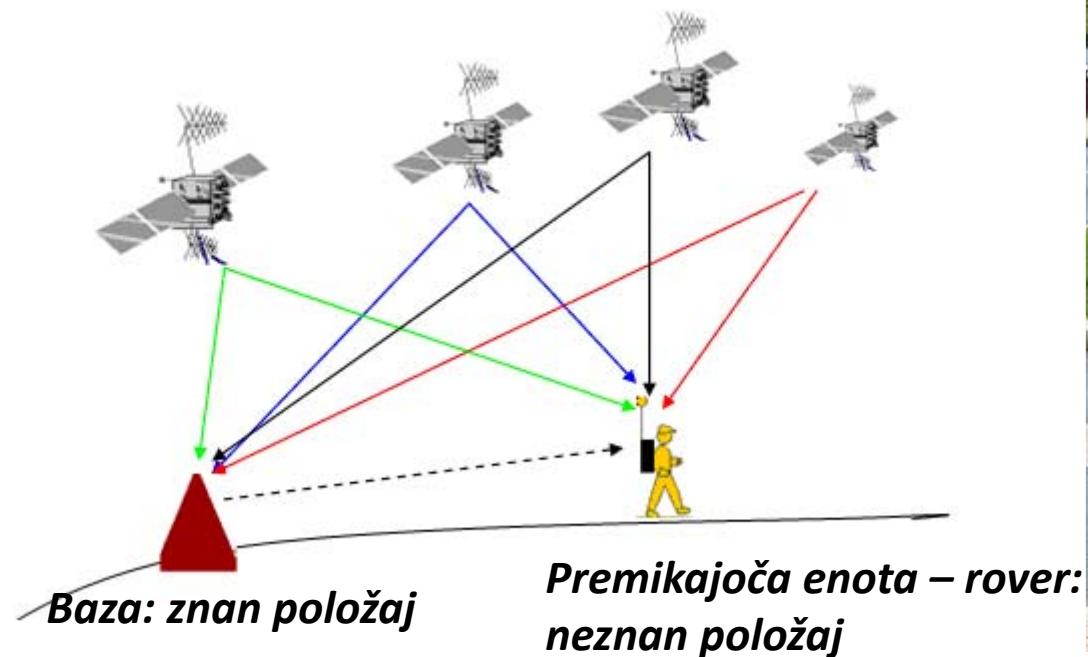
1. Enega izmed instrumentov postavimo na znano točko v referenčnem koordinatnem sistemu
2. Z obema istočasno sprejemamo opazovanja s satelitov.
3. Z obdelavo opazovanj pridobimo **vektor**.
4. Vektor prištejemo dani koordinati → koordinate nove točke.

## **PREDNOST:**

Izboljšava točnost položaja, ker odpravimo vplive na opazovanja (istočasna izmera in obdelava, ki temelji na formiranju razlik opazovanj).



# Diferencialni GNSS



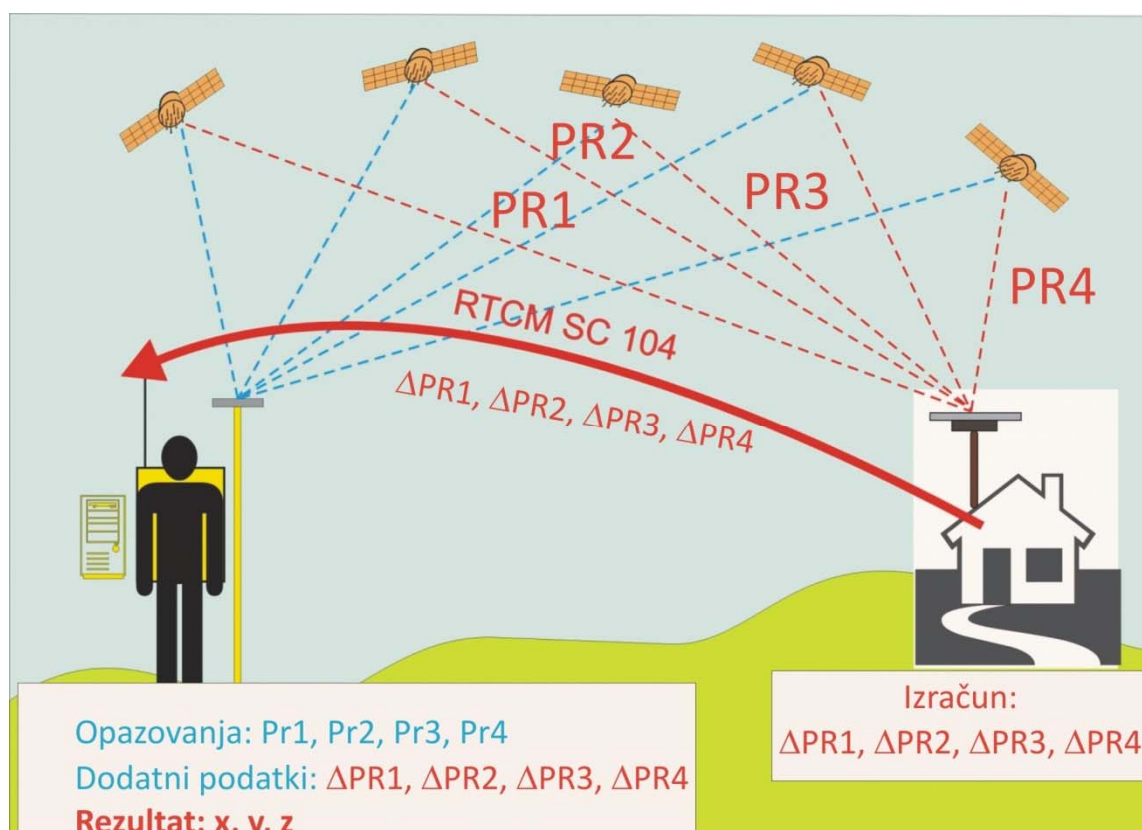
Relativno položaj določamo lahko s kodnimi oziroma faznimi opazovanji.

V prvem primeru je dosegljiva točnost določitve položaja **okoli 1 m**, v drugem pa od **nekaj cm do mm** → **geodetsko določanje položaja**



# Kako deluje diferencialni GNSS?

## KOMUNIKACIJSKA ZVEZA med dano in novo točko (standard RTCM SC 104)



Na dani točki se izračunajo popravki psevdorazdalj.

Popravki so posredovani k instrumentu na novi točki.

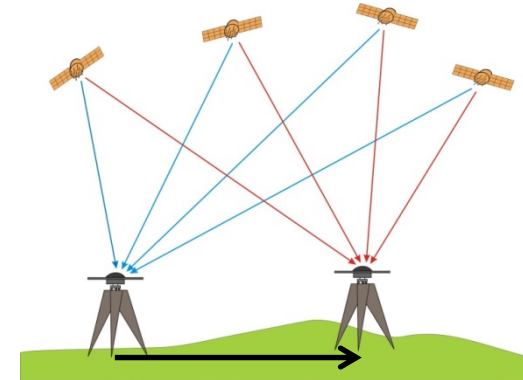
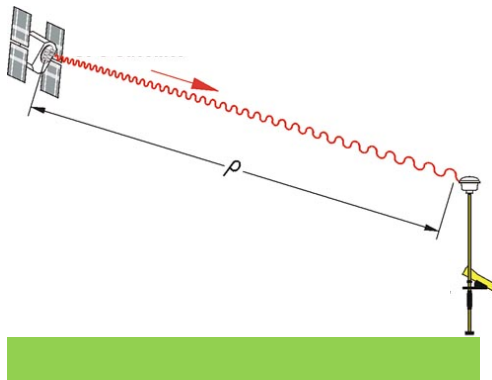
Instrument na novi točki popravke sprejme in jih upošteva pri izboljšavi določitve položaja.

Dobimo boljši položaj kot pri absolutni določitvi s **kodnimi instrumenti**.

# GEODETSKO DOLOČANJE POLOŽAJA



1. Uporabljamo fazne več-frekvenčne instrumente (vsaj L1 in L2, tudi L5 v primeru GPS)  
→ odstranitev vpliva ukrivljanja signala zaradi ionosfere
2. Uporabljamo relativno določanje položaja  
→ navezava na koordinatni sistem, ki upošteva lokalne geodinamične značilnosti



3. Obdelava temelji na visoko-natančnih podatkih in modelih vplivov na opazovanja  
→ efemeride (upoštevanje relativnostne teorije)  
→ neenakomerna rotacija Zemlje (precesija, nutacija, gibanje polov)  
→ modeli atmosfere  
→ modeli plimovanja trdne Zemlje



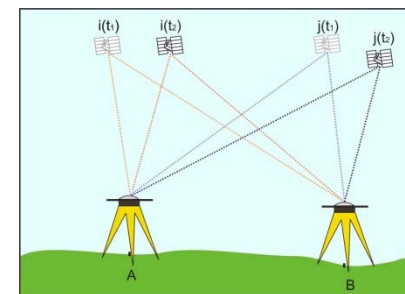
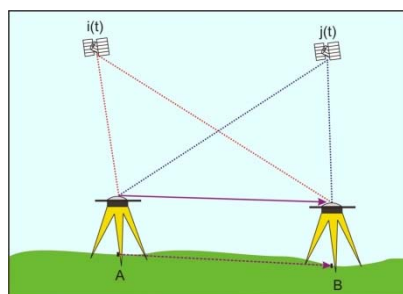
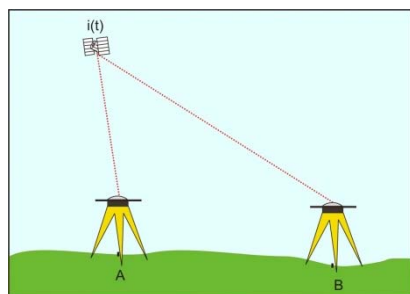
# Vplivi na opazovanja GNSS in obdelava

## V kodnih in faznih opazovanjih nastopajo neznanke/vplivi:

- napake urinih tekov satelitovih ur
- napake določitve položajev satelitov na tirnici
- napake urinih tekov ur v sprejemniku
- ionosferska refrakcija
- troposferska refrakcija
- napake odmika faznega od geometrijskega centra antene
- vpliv odboja signala od objekta
- neznano število celih valov v začetnem trenutku opazovanj  
→ samo v faznih opazovanjih

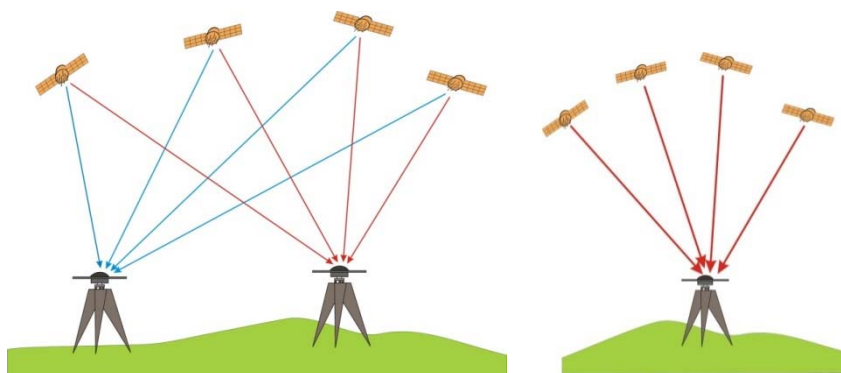
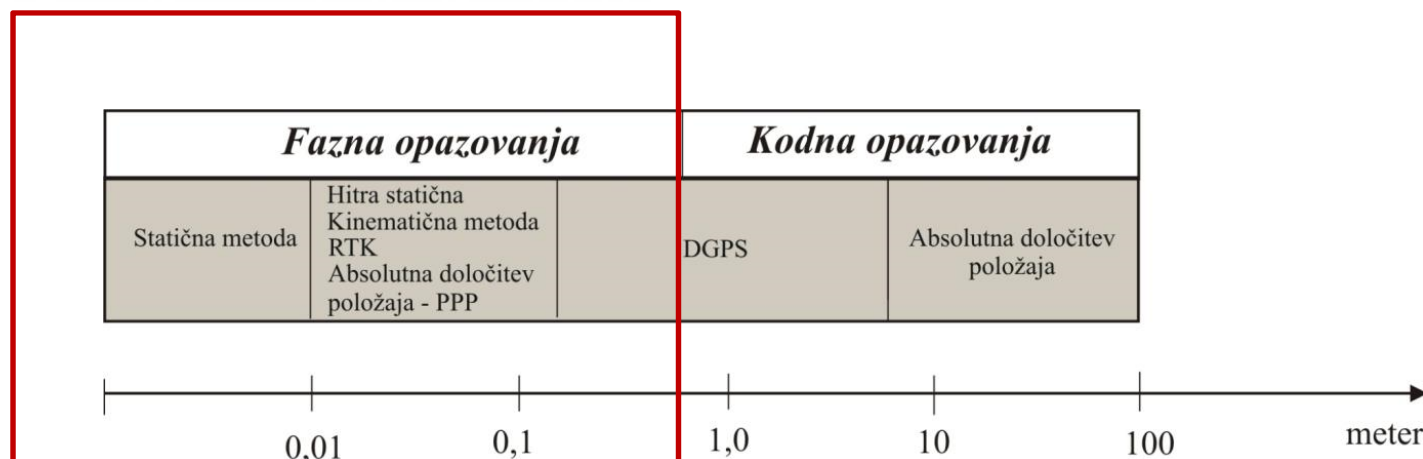
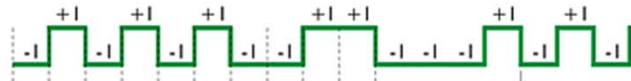
Vplive odstranimo z:

- *boljšimi podatki*  
(npr. efemeride)
- *modeli*
- *s posebnimi tehnikami*  
obdelave oz. izmere





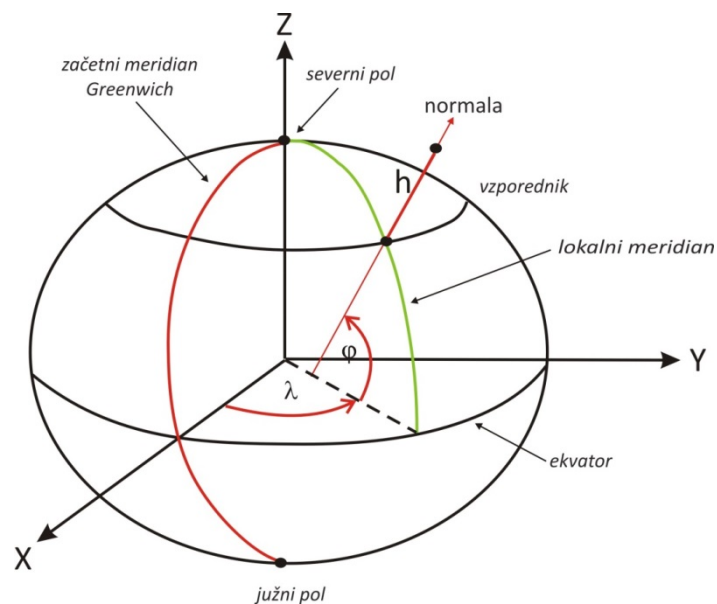
# Dosegljiva točnost metod izmere



Le z več- frekvenčnimi instrumenti in primerno metodo izmere (obdelavo) je mogoče doseči visoko točnost določitev položaja (boljšo od 1 m).



# Metode izmere in točnost koordinat

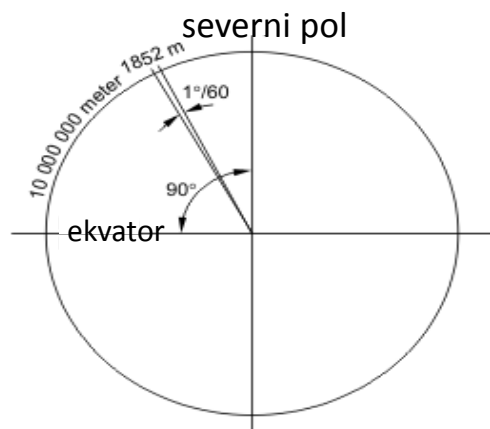


Negeodetsko/geodetsko določanje  
položaja z GNSS:

$\varphi = 46^\circ 02' 44,52692''$  S

$\lambda = 14^\circ 29' 42,16734''$  V

$h = 366,1737$  m



**1' ..... 1852 m**

**X = ?..... 1 m**

**X = 0,03''**

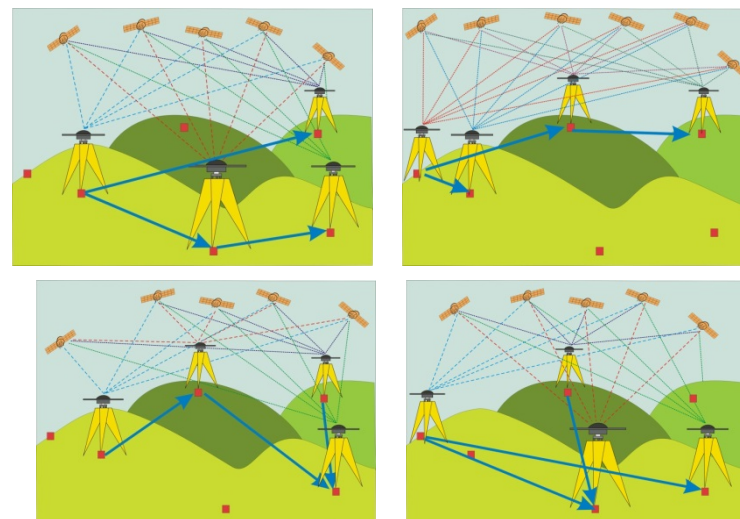
Če položaj določamo z  
DGNSS, bi morali geografski  
koordinati biti zapisani  
kvečjemu z dvema  
decimalnima mestoma  
sekunde!





# Statična metoda izmere GNSS

- najnatančnejša metoda izmere, dosegljiva točnost boljša od cm (mm)
- uporaba v specifičnih nalogah:
  - geodezija v inženirstvu (referenčna geodetska mreža za potrebe gradnje, zakoličb, spremljanja stabilnosti objektov)
  - geodinamične naloge (plazovi, posedanja,...)
- **SLABOST:** časovno „potratna“ (opazovanja od 1 ure do več dni)
- **PREDNOST:** zelo zanesljiva



## Pomembna dejstva:

1. opazovanja izvajamo v serijah.
2. z vektorji gradimo mrežo.
3. v mreži so nadštevilni vektorji → izravnavo po MNK
4. s statističnimi testi lahko ugotavljamo prisotnost grobih pogreškov in vplivov v mreži

Opazovanja izvajamo v serijah

$$s = \frac{m \cdot n}{r}$$

$s$  ... število serij

$n$  ... število točk v mreži

$m$  ... koeficient, ki pove, v najmanj koliko serijah mora biti točka opazovana

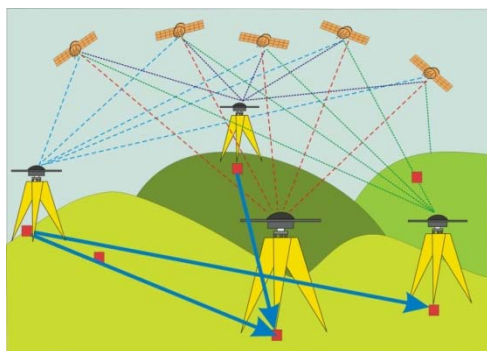
$r$  ... število sprejemnikov





# Izračun koordinat s statično metodo

na voljo imamo natanko  
toliko baznih vektorjev, kot je  
novih točk

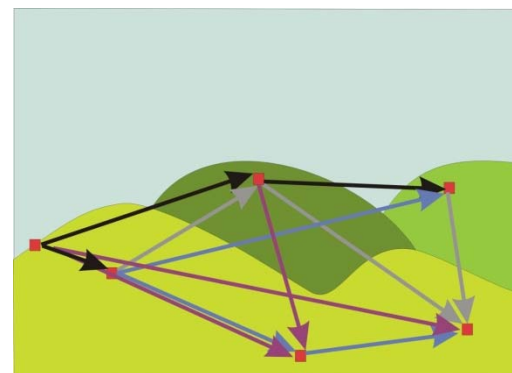


Če imajo vsi vektorji izhodišče v  
isti točki, govorimo o radialni  
izmeri



$$\begin{aligned}x_{nova} &= x_{dana} + \Delta x \\y_{nova} &= y_{dana} + \Delta y \\z_{nova} &= z_{dana} + \Delta z\end{aligned}$$

na voljo imamo VEČ baznih  
vektorjev, kot je novih točk

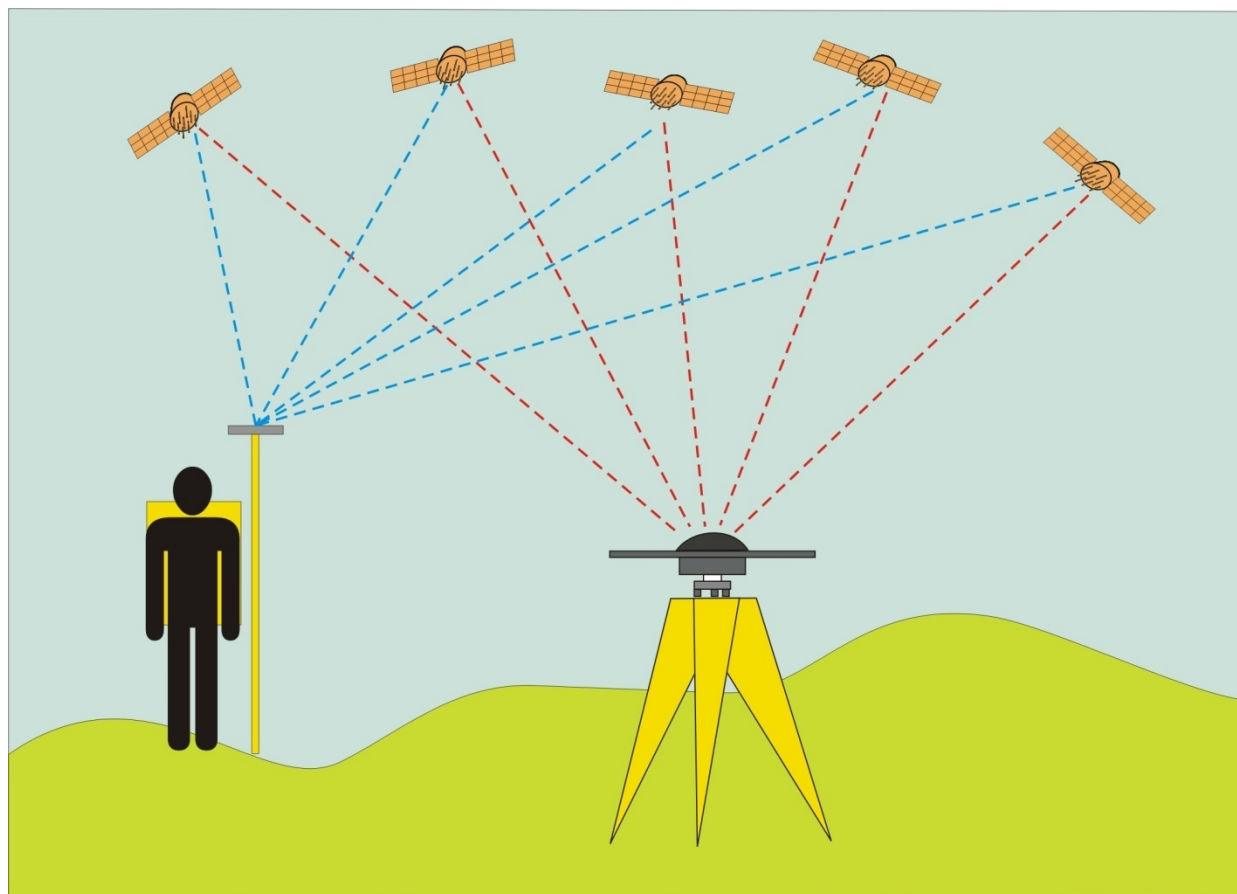


Ponavadi takrat, ko smo na točkah  
postavljeni neodvisno – izmera v več  
serijah



**izravnavna GNSS-mreže**

# Kinematična metoda izmere (naknadna obdelava)



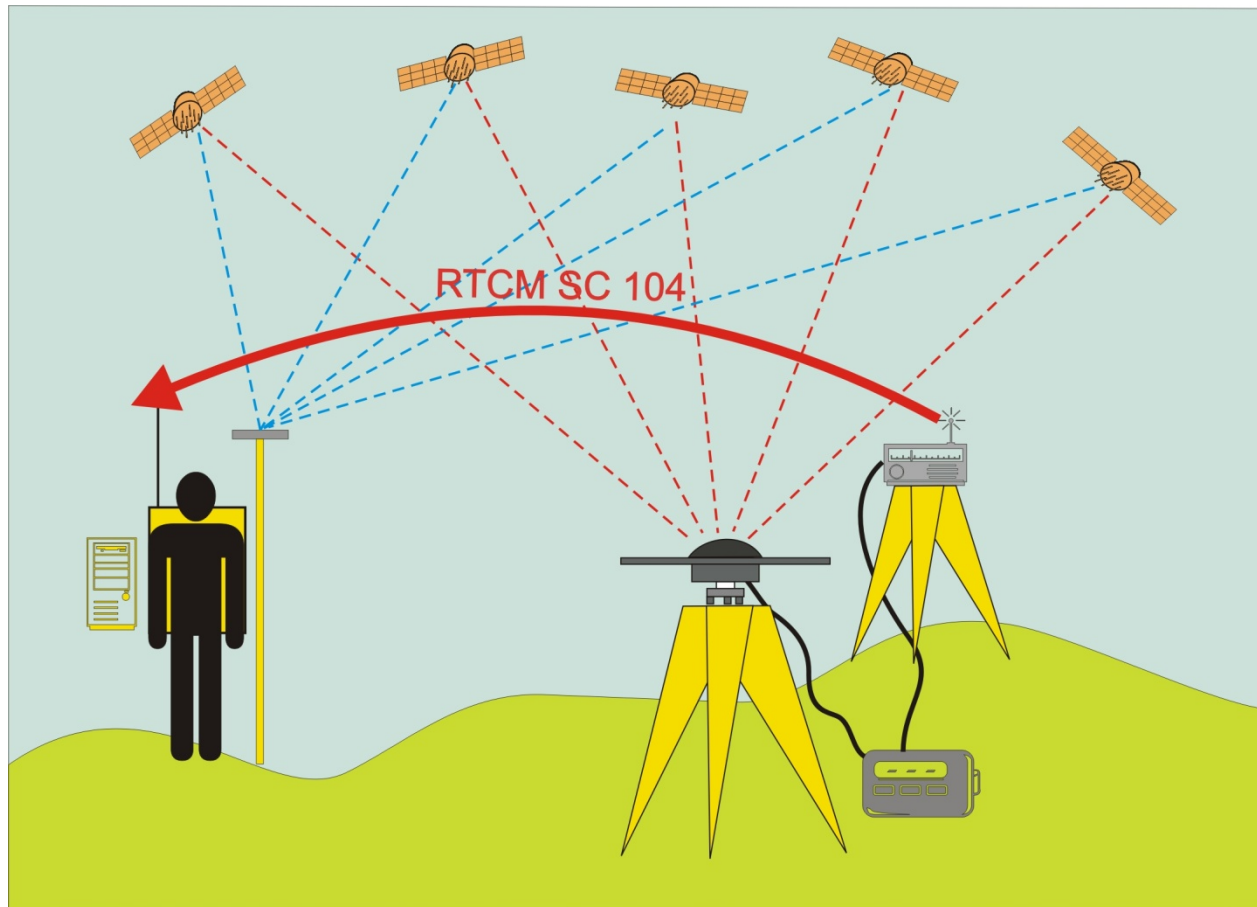
Nepremični sprejemnik shranjuje podatke za naknadno obdelavo (datoteke RINEX).

Položaja ne dobimo v času izmere, problematična je tudi kakovost izvedbe inicializacije.

Opazovanja moramo obdelati v pisarni.



## Koncept izmere v realnem času



Bazno stojišče  
hkrati skladišči  
opazovanja za  
naknadno obdelavo  
in jih pošilja  
premikajoči enoti  
(RTCM SC 104).

**Prednost:**  
opazovanja se  
obdelajo že na  
terenu.

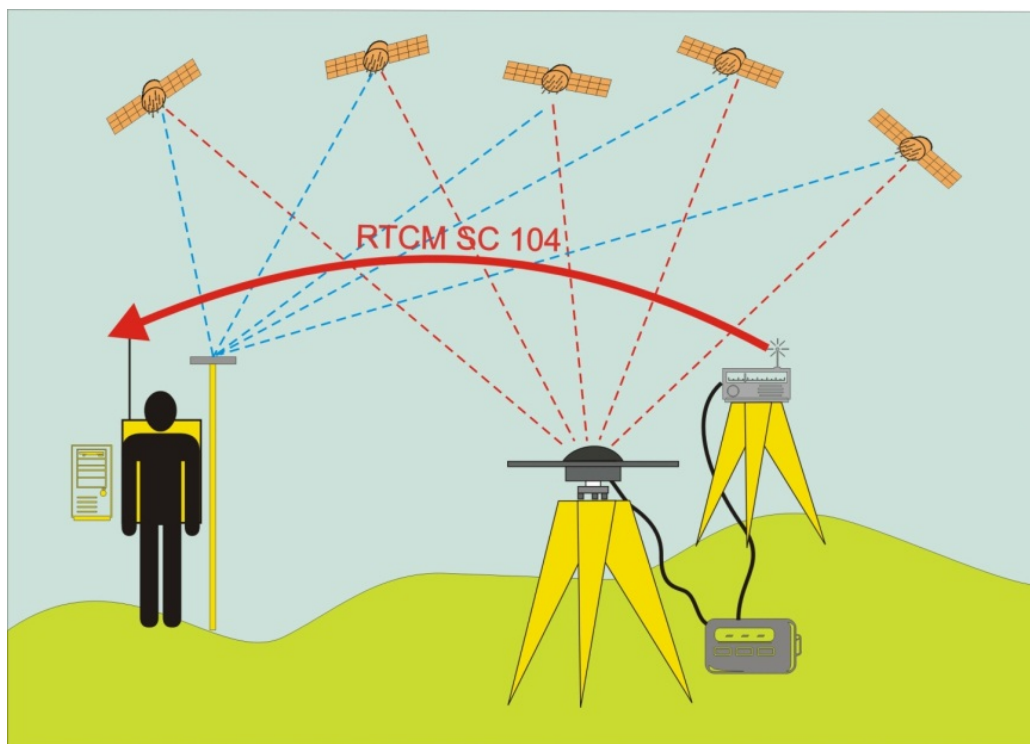
Dobimo koordinate  
z natančnostjo cm.

Angleški izraz: single base solution



# RTK metoda izmere – 1. različica

**Bao (instrument na dani točki) postavimo sami**



## Zahteve za izvedbo:

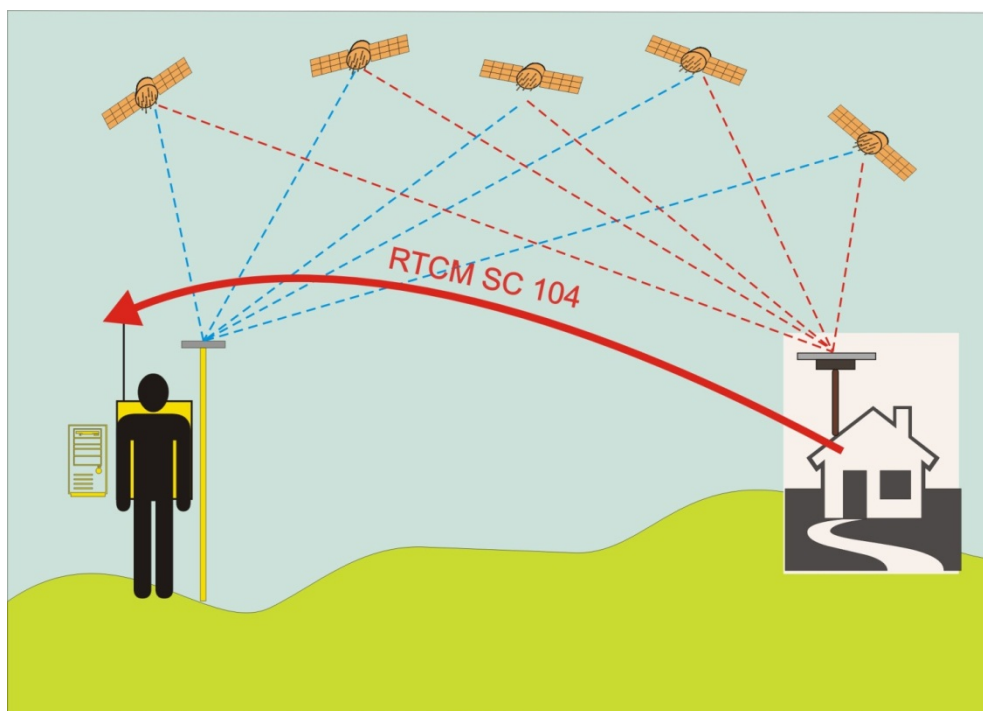
- na voljo moramo imeti 2 instrumenta
- poznati **moramo položaj dane točke** (baznega stojišča)
- oddaljenost med dano in novo točko ne sme biti prevelika

Zagotovljen mora biti pretok podatkov opazovanj (radio-modem, GSM-modem).



## RTK metoda izmere – 2. različica

**Nadgradnja: bazno stojišče je stalna postaja**



### **Prednost:**

- ni nam več potrebno imeti na voljo dveh sprejemnikov (prihranek stroškov)
- ni na potrebno predhodno zagotavljati dobrega položaja baznega stojišča

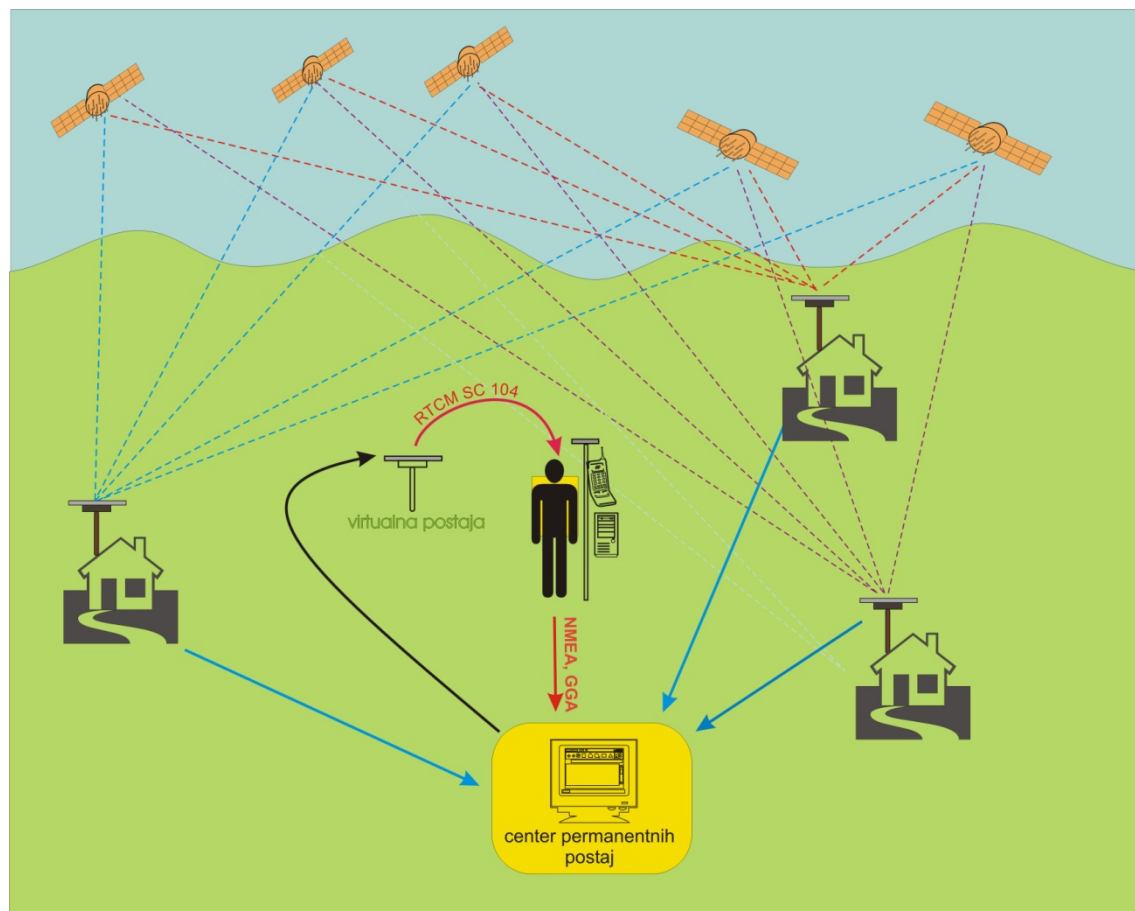
### **Omejitve:**

- še vedno smo vezani na izmero blizu baznega stojišča



## RTK metoda izmere – 3. različica

**Nadgradnja: ni omejitev glede oddaljenosti od stalnih postaj**



### **Prednost:**

- ni nam več potrebno imeti na voljo dveh sprejemnikov
- ni na potrebno predhodno zagotavljati dobrega položaja baznega stojišča
- ni potrebno ugotavljati razdaljo od stalne postaje

**Problematicni so stroški pretoka podatkov oziroma območja, kjer nimamo dobre povezave z mobilnim omrežjem.**



# Omrežje SIGNAL



## Slovenija-Geodezija-Navigacija-Lokacija

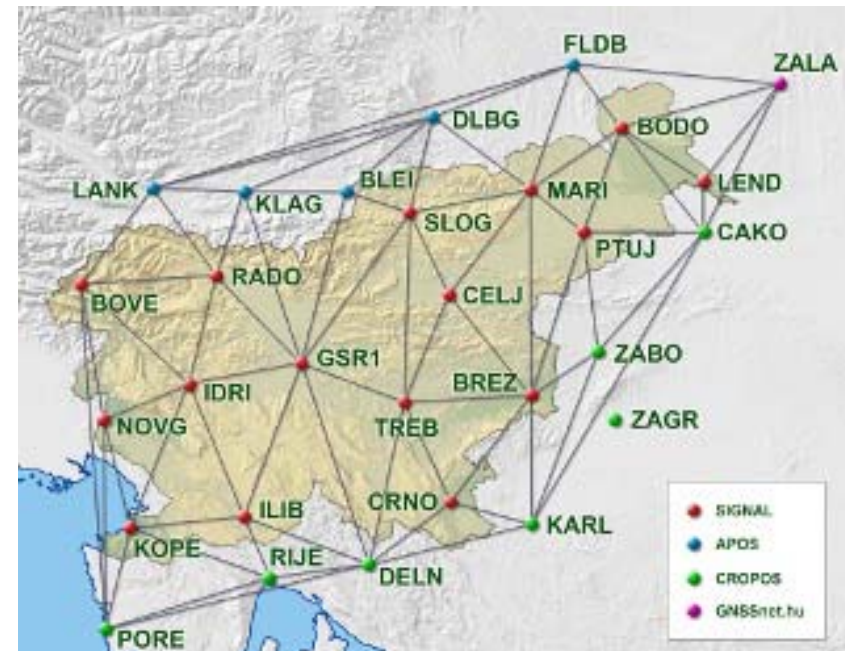
Postaje omrežja:

- 16 v SLO
- 5 v Avstriji
- 1 na Madžarskem
- 7 na Hrvaškem

Koordinate postaj določene v ETRS89:

- ETRF96 (1995.55)
- D96/TM

Centralno umeščena ljubljanska postaja je vključena tudi v evropsko mrežo stalnih postaj EPN (angl. European Permanent Network), ki je fizična osnova evropskega terestričnega referenčnega sistema.



### NOVOST:

Od novembra 2014 imamo v omrežju novo stalno postajo v IDRIJI





# Omrežja stalnih postaj GNSS

## Topologija omrežja:

- omrežje GNSS sestavlja množica stalno delujočih postaj, ki so opremljene z infrastrukturo za pretok podatkov v realnem času
- v centru je nameščena programska oprema za:
  - a) upravljanje omrežja
  - b) mrežno analizo
  - c) distribucijo podatkov



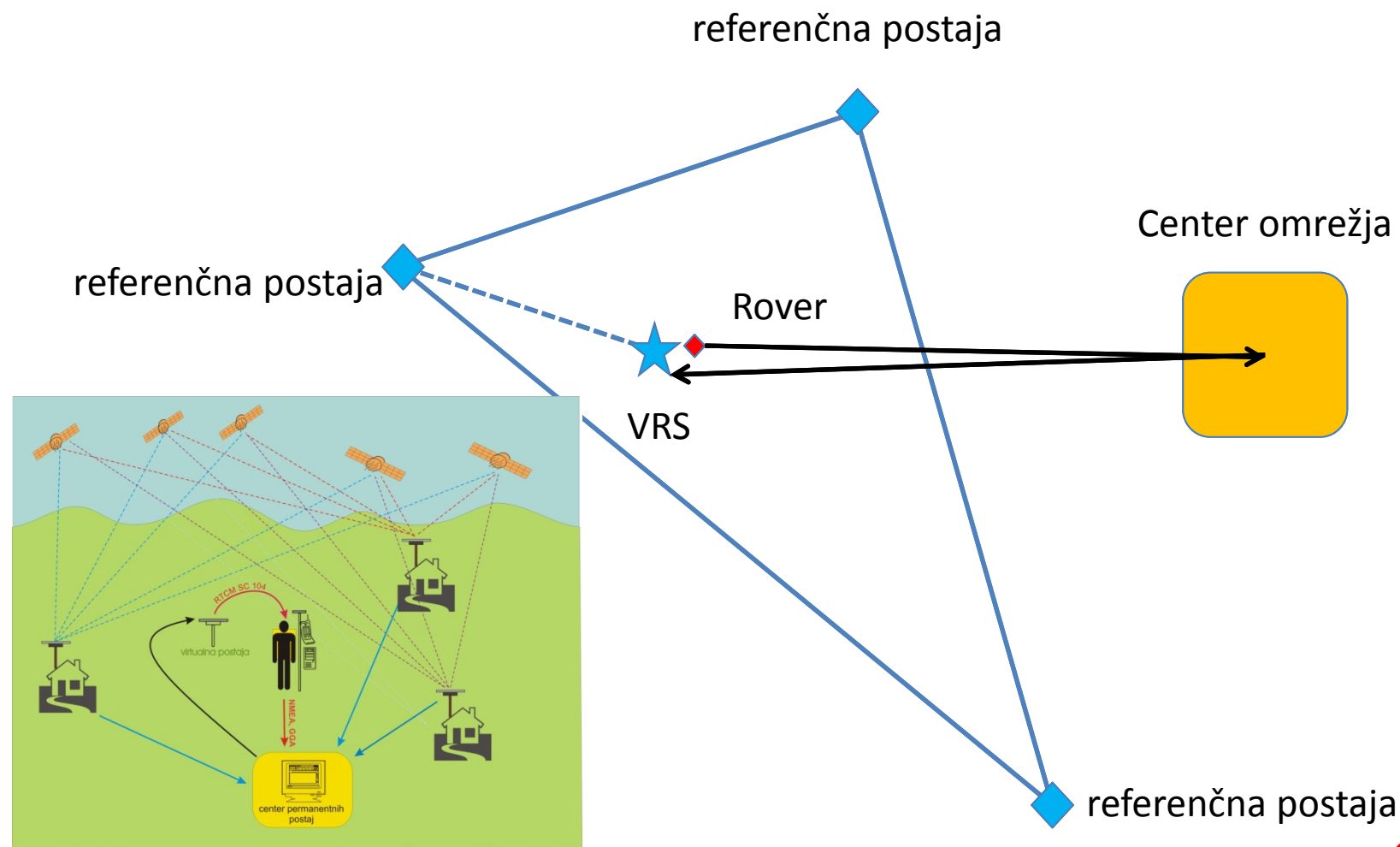
Vir: geoservis.si (2014)

Omrežja so lahko v državni ali v privatni lasti.

*Za zanesljivo delovanje omrežja GNSS so lahko referenčne postaje med seboj oddaljene od 50 do 70 km.*



# Virtualno referenčno stojišče - VRS



# Formati in standardi pretoka opazovanj GNSS

---



## **RINEX (angl. *Receiver Independent Exchange format*)**

Je samo format zapisa (arhiviranja) opazovanj GNSS v neodvisni obliki zapisa (ASCII).

## **NMEA (angl. *National Marine Electronic Association*)**

Industrijski standard, ki služi za komunikacijo v realnem času. Navezuje se na podatkovno komunikacijo med GNSS in drugimi napravami, kjer kot oddajnik služi instrument GNSS, druge naprave so sprejemniki.

## **RTCM SC-104 (angl. *Radio Technical Commission for Maritime Services*)**

Standard, namenjen prenosu podatkov ali opazovanj GNSS od ene referenčne točke GNSS proti enemu ali več premikajočim sprejemnikom. Služi za določitev koordinat v realnem času (DGNSS in RTK).

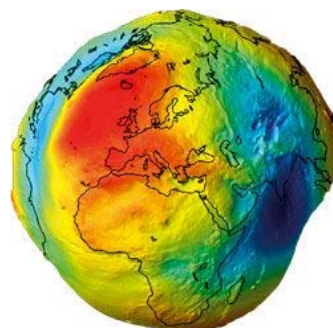


# Referenčna ploskev pri GNSS

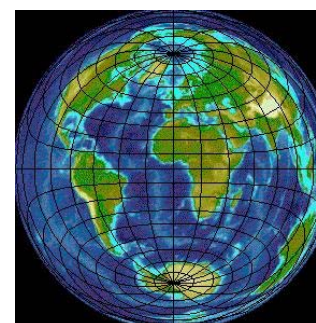
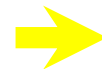
Referenčna ploskev pri določanju položaja je **rotacijski elipsoid**. Kateri?



Zemlja



geoid



rotacijski elipsoid

**GPS** – tu poznamo dva elipsoida:

WGS-84 (angl. World Geodetic System 1984)

GRS-80 (angl. Geodetic Reference System 1980)

Majhna razlika < 0,1 mm v mali polosi  $b_{\text{WGS84}} = 6356752.31425$

$b_{\text{GRS80}} = 6356752.31414$

**GLONASS** – določa položaj na elipsoidu

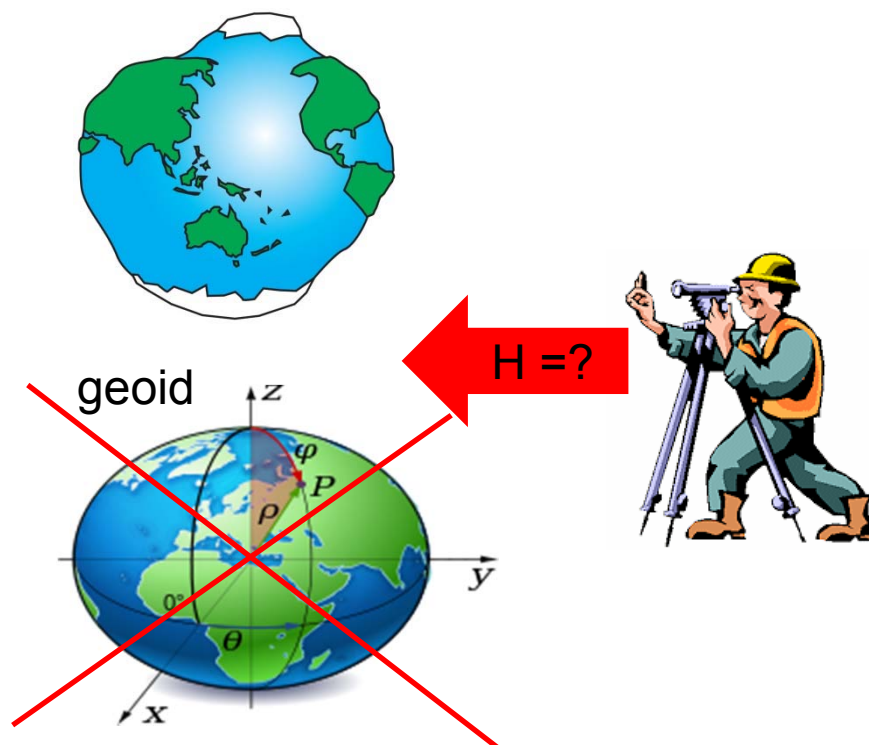
PZ-90 (rus. Parametry Zemli 1990)

elipsoid	velika polos a	sploščenost 1/f
WGS-84	6.378.137,000 m	298,257223563
GRS-80	6.378.137,000 m	298,257222101
PZ-90	6.378.136,000 m	298,2578393

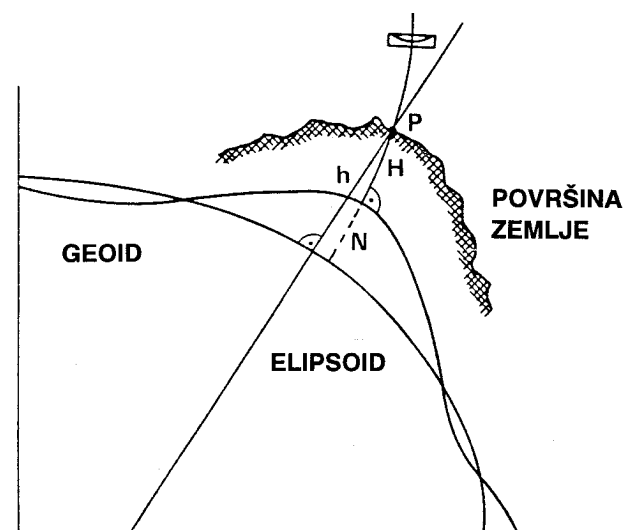


# Problem višin, določenih z GNSS

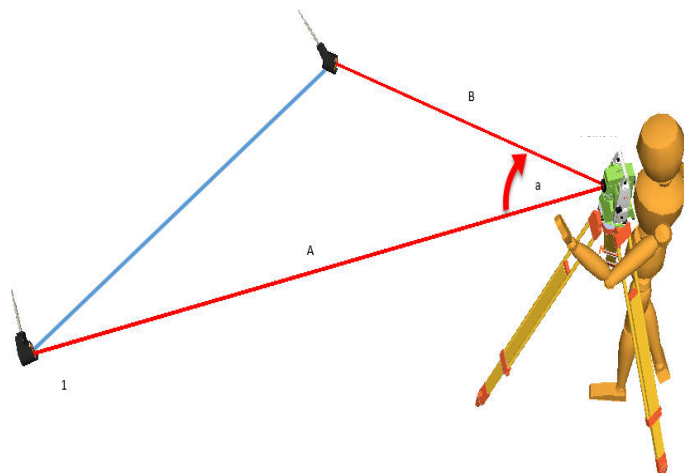
Izhodišče za določanje višin je Zemljina referenčna ploskev – geoid.



Z GNSS določene elipsoidne višine se od nadmorskih v Sloveniji razlikujejo  
**od 44 do 48 m!**



# Geodetsko določanje položaja danes...



1. Navezujemo se na moderne referenčne koordinatne sistem
2. Koordinatno osnovo vzpostavimo z najboljšimi GNSS-metodami izmere
3. Določitev položaja poteka z navezavo na omrežje SIGNAL
4. Nadaljnje meritve potekajo s kinematičnimi metodami izmere
5. V kolikor je onemogočen sprejem satelitskega signala, uporabimo klasične metode izmere (merjenje kotov, dolžin...)
6. Klasična opazovanja reduciramo za vplive (meteorološke, ukrivljenost Zemlje, težnost...)



GNSS-instrument, GSM povezava z omrežje SIGNAL

elektronski tahimeter,  
radijska povezava z GNSS



**HVALA ZA POZORNOST!**

---