



**Nova gravimetrična mreža**

mag. Klemen MEDVED  
Ljubljana, 24.11.2010

ees grants



**PREGLED**

- TEORIJA
- INŠTRUMENTI
- GRAVIMETRIČNA MREŽA V SLOVENIJI
- POMEN GRAVIMETRIJE
- ZAKLJUČEK

ees grants

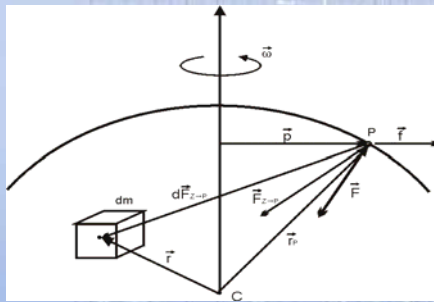
## TEORIJA GRAVIMETRIJE

- DEFINICIJA

Veda o izmeri in analizi velikosti težnega pospeška  $g$

- TEŽNOSTNO POLJE ZEMLJE

Sila teže  $\vec{F}$  je vsota gravitacijske sile  $\vec{F}_{Z \rightarrow P}$  in centrifugalne sile  $\vec{f}$



$$\vec{F} = \vec{F}_{Z \rightarrow P} + \vec{f}$$

$$\vec{F}(\vec{r}_P) = \vec{F}_{Z \rightarrow P} + \vec{f} = m \left[ G \iiint_Z \frac{\sigma(\vec{r}')}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3} (\vec{r} - \vec{r}') dZ + \vec{p} \omega^2 \right]$$

- ENOTA težnega pospeška:  $\text{ms}^{-2}$ , Gal (1Gal=0.01  $\text{ms}^{-2}$ )

## GRAVIMETRIČNE MERITVE

### Instrumenti - **gravimetri**

Ločimo :

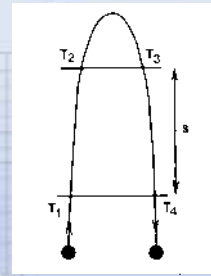
- **absolutne** gravimetre (določimo vrednost  $g$  v dani točki) in
- **relativne** gravimetre (določimo razliko vrednosti  $g$  med dvema točkama)

## ABSOLUTNI GRAVIMETRI

- Princip prostega padanja telesa v vakumu
- Metoda temelji na:

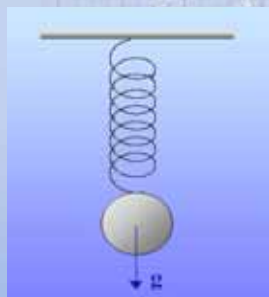
$$s = \frac{gt^2}{2}$$

- Sestavni deli: vakumska cev, laserski interferometer, atomska ura, seizmograf
- Dosežena natančnost:  
 $\pm 1 \mu\text{Gal} = \pm 10^{-8} \text{ms}^{-2}$
- Cena: ~1.000.000 \$



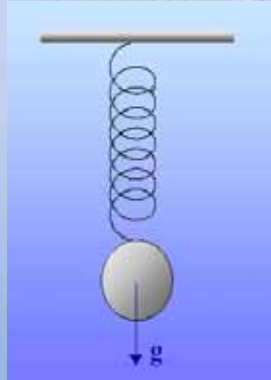
## RELATIVNI GRAVIMETRI

- Večinoma v uporabi
- Osnovni del je vzmet na katero je pritrjena utež
- Meri se sprememba položaja vzmeti



## RELATIVNI GRAVIMETRI

- Večinoma v uporabi
- Osnovni del je vzmet na katero je pritrjena utež
- Meri se sprememba položaja vzmeti



- Izmera na referenčni grav. točki  
→ gravimetrična mreža



La Coste Romberg



Scintrex CG-3M



## Natančnosti inštrumentov:

•  $g$  na ekvatorju :  $9,78 \text{ ms}^{-2}$

na polu :  $9,83 \text{ ms}^{-2}$

- FG5:  $\pm 1 \mu\text{Gal}$  t.j.  $9,80\ 000\ 001 \text{ ms}^{-2}$
- A10 :  $\pm 10 \mu\text{Gal}$  t.j.  $9,80\ 000\ 010 \text{ ms}^{-2}$
- CG-3M:  $\pm 10 - 20 \mu\text{Gal}$  t.j.  $9,80\ 000\ 020 \text{ ms}^{-2}$
- Worden:  $\pm 20 - 40 \mu\text{Gal}$  t.j.  $9,80\ 000\ 040 \text{ ms}^{-2}$



## STANJE V SLOVENIJI

- jugoslovanska *OSNOVNA GRAVIMETRIČNA MREŽA*
- izmerjena 1964-67
- Potsdamski datum !!!
- brez absolutnih meritev



ees grants

## PROJEKT NOVE GRAVIMETRIČNE MREŽE

- Mreža 0. reda (6 absolutnih točk)
- Mreža I. reda (29 relativnih točk)



ees grants



## MREŽA 0. REDA

- 1990-2000 stabiliziranih in izmerjenih 6 absolutnih gravimetričnih točk (10 abs. meritev)



JILA-g6 na gradu Bogenšperk, leta 2000

- Mednarodna gravimetrična standardna mreža IGSN71
- Gravimetrični datum Slovenije

## MREŽA 1. REDA, stabilizacija točk

betonski stebri



kovinski čepi v spomenikih / stopnicah



## Izmera mreže 1. reda v Sloveniji

Izmera s sodelovanjem več inštitucij :GURS, HGI, FGG

- 44 delovnih dni
- kalibracija na hrvaški kalibracijski bazi: Zagreb (~151 mGal)
- V izmero vključene tudi 4 hrvaške točke in 1 avstrijska točka
- Iz nekdanje jugoslovanske OGM se prevzame 18 točk
- Izdelana geološka ocena stabilnosti tal
- transport instrumentov (~17.000 km)



## Postopek na točki



senca



grobo horizontiranje



merjenje višine



fino horizontiranje



tlak in temperatura



zapisnik

## Obdelava podatkov

Reduciranje na skupen, primerljiv nivo:

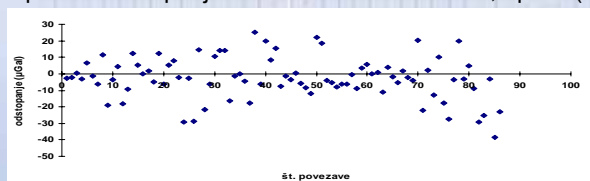
- Plimovanje trdne Zemlje (model Berger)
- Vpliv gibanja polov
- Popravek zaradi vpliva tlaka
- Redukcija za višino instrumenta
- Popravek hoda instrumenta
- Popravek kalibracije instrumenta



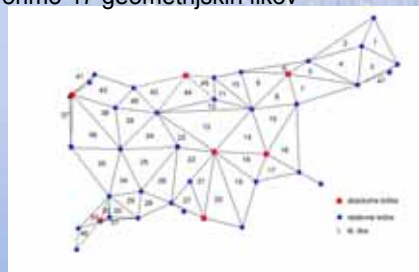
ees grants

## Izračun osnovne gravimetrične mreže Slovenije – mreža 1. reda

Povprečno odstopanje med instrumentoma =  $-2,6 \mu\text{Gal}$  (razpon  $\pm 30 \mu\text{Gal}$ )



tvorimo 47 geometrijskih likov



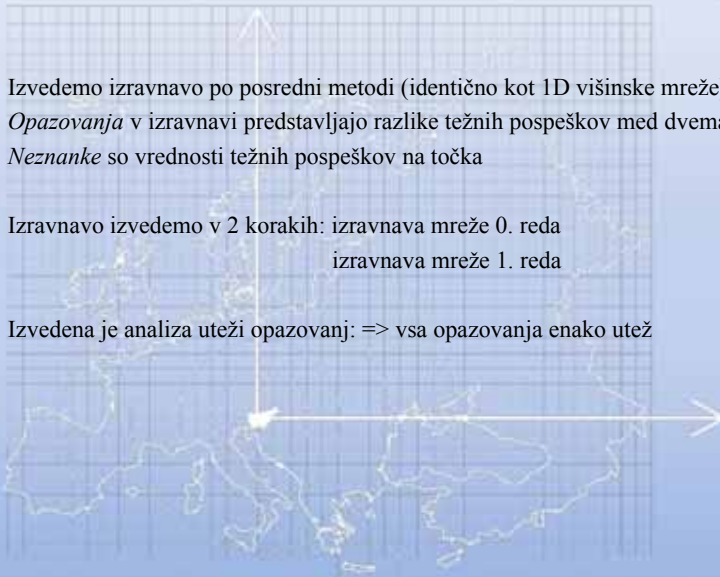
Kontrola zapiranja likov: povprečno odstopanje\_slo =  $-1,1 \mu\text{Gal}$   
povprečno odstopanje\_hr =  $-0,3 \mu\text{Gal}$   
maksimalno odstopanje\_slo =  $28,0 \mu\text{Gal}$   
maksimalno odstopanje\_hr =  $-50,7 \mu\text{Gal}$

ees grants



## Izračun osnovne gravimetrične mreže Slovenije – izravnava

- Izvedemo izravnavo po posredni metodi (identično kot 1D višinske mreže)
- *Opazovanja* v izravnavi predstavljajo razlike težnih pospeškov med dvema točkama
- *Neznanke* so vrednosti težnih pospeškov na točka
- Izravnavo izvedemo v 2 korakih: izravnava mreže 0. reda  
izravnava mreže 1. reda
- Izvedena je analiza uteži opazovanj: => vsa opazovanja enako utež



## Izravnane vrednosti $g$ na grav. točkah 1. reda

Točka	$g$ [ $\mu\text{Gal}$ ]	$\sigma$ [ $\mu\text{Gal}$ ]
GT 1	980592041.9	3.3
GT 2	980593070.2	3.7
GT 3	980532983.9	3.8
GT 4	980535512.4	3.9
GT 5	980573175.3	3.4
GT 6	980630947.7	4.1
GT 7	980594108.2	3.3
GT 8	980567041.4	5.4
GT 9	980355043.5	5.6
GT 10	980515974.8	4.8
GT 11	980560125.2	4.5
GT 12	980554333.4	3.8
GT 13	980566860.7	4.1
GT 14	980625540.3	3.0
GT 15	980614196.0	4.6
GT 16	980588023.2	4.6
GT 17	980629788.8	4.1
GT 18	980670802.7	4.4
GT 19	980661903.8	5.3
GT 20	980547740.3	4.6
GT 21	980551034.7	4.3
GT 22	980716218.7	5.6
GT 23	980545389.6	4.3
GT 24	980716163.0	6.2
GT 25	980695159.1	4.4
GT 26	980658581.2	3.5
GT 27	980662145.0	4.5
GT 28	980647775.8	3.9
GT 29	980711506.8	6.2
1-212-10	980514966.4	4.7

- Standardni odkloni (ocenjena natančnost točk po izravnavi): od 3,0 do 6,2  $\mu\text{Gal}$
- Najslabše določene točke na robovih
- Primerjava avstrijske točke 1-212-10 (3,4  $\mu\text{Gal}$ )

## Izračun osnovne gravimetrične mreže Slovenije – ocena rezultatov izravnave

- A-priori in a-posteriori ocene natančnosti

	Slovenski Instrument [μGal]	Hrvaški Instrument [μGal]	Oba Instrumenta [μGal]	opomba
a-priori			$\sigma_3 = 9,2$	iz razlik dvojnih meritev
	$\sigma_{f(SLO)} = 7,4$	$\sigma_{f(HR)} = 7,7$		iz zapiranja trikotnikov
a-posteriori	$\hat{\sigma}_{0(SLO)} = 7,7$	$\hat{\sigma}_{0(HR)} = 7,2$	$\hat{\sigma}_{0(SLO+HR)} = 9,5$	prosta izravnava
	$\hat{\sigma}_{p(SLO)} = 10,5$	$\hat{\sigma}_{p(HR)} = 9,2$	$\hat{\sigma}_{p(SLO+HR)} = 10,3$	izravnava s fiksnimi danimi točkami

- Transformacijska enačba za področje Slovenije:

$$g_{IGSN71} = g_{Potsdam} - 15,0180 + 0,0024 \cdot (g_{Potsdam} - 980586,9425)$$

## POMEN GRAVIMETRIJE V GEODEZIJI

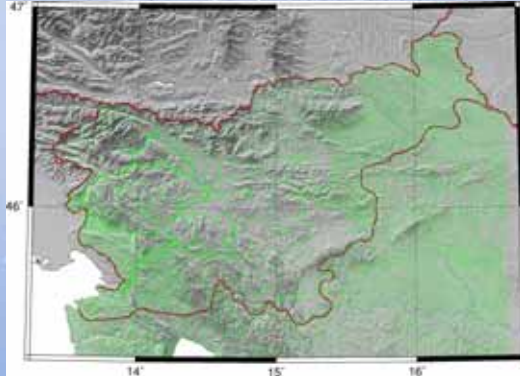
Poznavanje vrednosti  $g$  ima dve ključni vlogi v osnovnem geodetskem sistemu:

- kakovost všinske komponente državnega k.s. (geopotencialna kota)
- omogočanje določitve višin z uporabo satelitske izmere (določanje geoida) →

## GRAVIMETRIČNI PODATKI

- Regionalne meritve  $g$  (1960-70, Potsdam datum)

Navezava na staro jugoslovansko gravimetrično mrežo  
Več kot 4000 točk

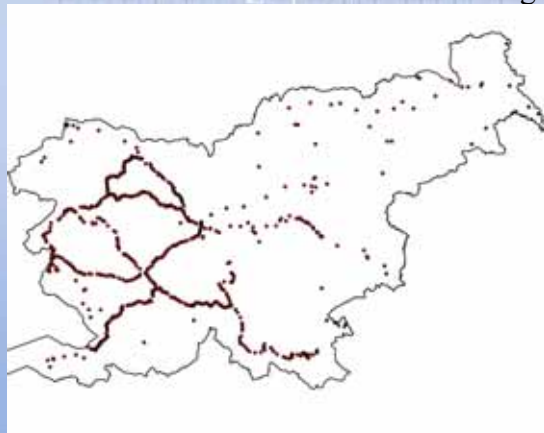


## GRAVIMETRIČNI PODATKI

- Meritve vzdolž nivelmana 1. reda (po letu 2007)

Navezava na novo osnovno gravimetrično mrežo  
Izmerjenih več kot 700 reperjev

Nov gravimeter Scintrex CG-5



## ZAKLJUČEK

- Osnovno gravimetrično mrežo tvori 35 točk (6 abs. točk mreže 0. reda in 29 rel. točk mreže 1 reda)
- Opazovanja opravljena z ustrežno natančnostjo
- Ocenjena natančnost določitve posameznih točk med  $3,0\mu\text{Gal}$  in  $6,2\mu\text{Gal}$
- Prve relativne gravimetrične meritve v Slovenijipo več desetletjih
- Priporočljivo ponoviti opazovanja po nekaj letih (predvsem absolutne meritve)
- Nova mreža je osnova za določitev novega kvalitetnega geoida in ena ključnih nalog za prehod na nov višinski sistem

**Hvala za pozornost**