

Gravimetrija

- ❑ **Gravimetrija** → meritve težnega pospeška.
- ❑ "gravis" – težek in "μετρειν" – meriti.
- ❑ Enote za težni pospešek:
 - SI enota: 1 ms^{-2} ,
 - enote v praksi (CGS sistem merskih enot): $1 \text{ cms}^{-2} = 1 \text{ Gal}$.

količina	SI enote	uporabniške
težnost	10^{-2} ms^{-2}	1 Gal
(težni pospešek)	10^{-5} ms^{-2}	1 mGal
	10^{-8} ms^{-2}	1 μGal
težnostni potencial	$10 \text{ m}^2\text{s}^{-2} =$	1 kGal
	$= 1 \text{ g.p.u.}$	

9,805 928 45 ms^{-2}
980 592 8,45 μms^{-2}
9 80 592 845 μgal
9 80 592,845 mgal

- Zveza: $1 \text{ mGal} = 10 \mu\text{ms}^{-2}$; $1 \mu\text{Gal} = 0,01 \mu\text{ms}^{-2}$.

Metode določitve težnega pospeška

- ❑ Za določitev težnega pospeška se uporabljata samo dve fundamentalni količini, vezani za pospešek:
 - čas in dolžina $\Rightarrow [\text{ms}^{-2}]$.
- ❑ Metode merjenja:
 - **dinamične**,
 - **statične**.
- ❑ Dinamične metode obravnavajo gibanje telesa pod vplivom sile teže.
- ❑ Statične metode obravnavajo spremembo ravnovesja telesa, kot posledico delovanja sile teže in njej nasprotne sile. Nasprotna sila je lahko sila prožnosti vzmeti, torzija nitke, membrane ...

Gravimetri

- ❑ **Gravimetri:** instrumenti za merjenje težnega pospeška.
- ❑ Gravimetri:
 - absolutni,
 - relativni.
- ❑ Z absolutnimi gravimetri določamo vrednost težnega pospeška v absolutnem znesku na točki.
- ❑ Relativni gravimetri nam dajo relativne vrednosti težnega pospeška med dvema točkama (vrednost g -ja glede na točko z znano vrednostjo težnega pospeška).

Absolutni gravimetri

- ❑ Absolutne vrednosti težnega pospeška se izključno določajo s pomočjo dinamičnih metod. Pri tem se uporablja:
 - nihanje telesa pod vplivom sile teže,
 - prosti pad telesa.
- ❑ Konstrukcija absolutnih gravimetrov:
 - nihala,
 - balistični instrumenti.

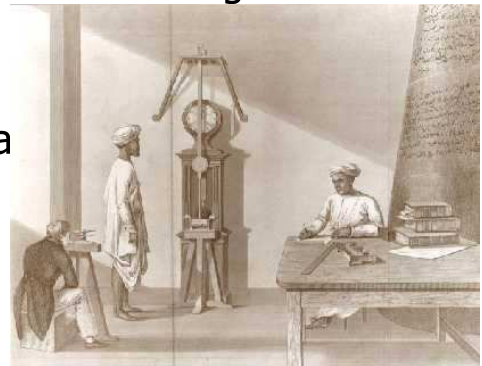
Nihala kot gravimetri

- Nihalo kot ura: C. Huygens XVII. st.



- J. Richer je leta 1672 ugotovil, da ura (kalibrirana v Parizu) v Južni Ameriki zamuja 2,5 minuti: → odvisnost sile teže od geografske širine.

- P. Bouguer (1749) je merjenjem v Andih določal odvisnost težnega pospeška od višine.
- J.C. Borda i J.D. Cassini sta ob koncu XVIII. st. dosegla natančnost $10^{-5} g$.
- V začetku XIX. st. so konstruirana prva nitna nihala (Bessel), in reverzibilna nihala (Kater).



- Koncem XIX. st. genral Robert von Sterneck (MGI Dunaj) je konstruiral nihalo, ki deluje kot relativni gravimeter. Dolžina nihala 25 cm. Z celodnevnim opazovanjem na točki so dosegli natančnost 1 mGal. Do leta 1912 je bilo izmerjenih več kot 2500 točk na območju celotne Evrope.

Sterneckov gravimeter



gravimeter s konca XIX. st. (iz zbirke arhivskih instrumentov Statens Kartverk - Državna geodetska uprava Norveške)

Nihala kot gravimetri

- ❑ Princip delovanja je zasnovan na teoriji matematičnega nihala.
- ❑ **Matematično nihalo** ne obstaja v naravi. Je teoretični predmet in ga lahko le približno realiziramo. Matematično nihalo modeliramo kot masno točko, pripeto na vrvico, katere maso zanemarimo. To je model masne točke, brez dimenzij, z zelo malo maso, ki lahko rotira okoli fiksne točke v prostoru. Gibanje matematičnega nihala lahko opišemo za majhne zasuke kot enostavno harmonično gibanje.
- ❑ Težno nihalo je utež, obešena na koncu toge ali raztegljive žice ali palice. Težno nihalo niha na osi, ki ne gre skozi njegovo težišče.
- ❑ V praksi se težno nihalo realizira kot "nitno nihalo" (pri njem je celotna masa zbrana v točkastem telesu, obešenem na neraztegljivi vrvici, katere maso lahko zanemarimo).

Določitev g-ja z nihalom

- Za male amplitude perioda (T) nihanja matematičnega nihala ni odvisno od same amplitude:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

- Težni pospešek lahko izračunamo kot:

$$g = 4\pi^2 \frac{l}{T^2}$$

Pogreški pri merjenju z nihali

- Za določitev g -ja je potrebno poznati:
 - dolžino nihala l , čas nihanja T , amplitudo.
- Določitev posameznih količin je zelo zamotano, ker se išče visoka natančnost.
 - n.pr. če želimo določiti g s natančnostjo 1 mGal →

$$dg = \frac{4\pi^2}{T^2} dl \quad dg = \pm 10 dl$$

za $T = 1$ s, $dg = 1$ mGal

→ moramo poznati dolžino nihala s natančnostjo: $dl = \pm 1\mu\text{m}$.

- Pri tem moramo izmeriti periodo s $dT = \pm 1\mu\text{s}$.
- To natančnost omogoča šele uporaba laserskih interferometrov in atomskih ur.

Izboljšane konstrukcije nihalnih gravimetrov

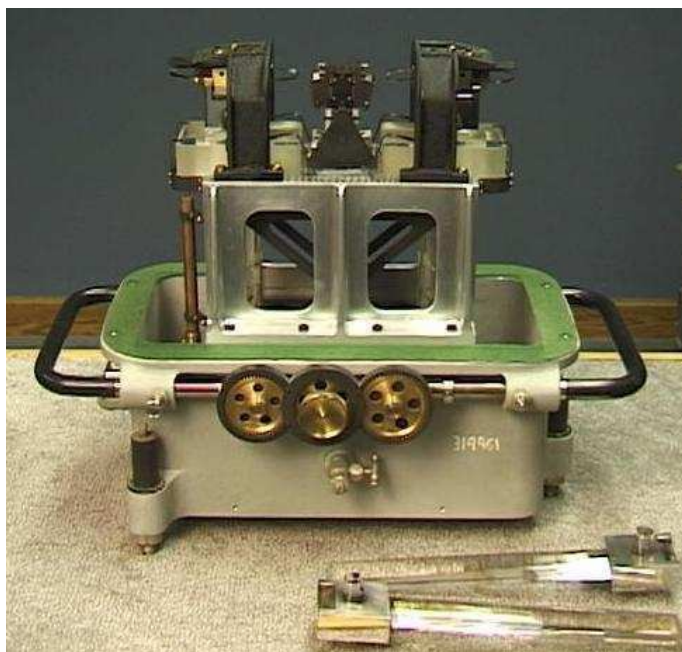
- ❑ Bessel je predlagal uporabo dve nihali različnih dolžina: l_1 i l_2 .
- ❑ Težni pospešek se lahko izračuna iz:

$$g = 4\pi^2 \frac{l_1 - l_2}{T_1^2 - T_2^2}$$

v enačbi se nastopa razlika dolžin nihal, ki se lažje določa.

- ❑ Kater in Repsold sta konstruirala "obrnljivo" nihalo. Niha lahko okrog dveh osi, po navadi simetričnih glede na masno središče. Njegova prednost je v tem da ni treba določiti njegovega masnega središča.

Obrnljivo nihalo



Gravimeter z dvema nihaloma iz leta 1936

Balistični gravimetri

- ❑ Razvoj sve bolj točnih načinov registracije časa in merjenja razdalj je pripomogel, da je metoda prostega pada v petdesetih letih prejšnjega stoletja postopno potisnila nihala iz uporabe. Danes je to edina metoda, ki se uporablja pri absolutnih meritvah.
- ❑ Sodobni balistični gravimetri uporabljajo princip prostega pada telesa oz. vertikalni met kot poseben primer prostega pada.



Prosti pad (1)

- ❑ Teorija metode sloni na enačbi gibanja telesa pri prostem padu:

$$m\ddot{z} = mg(z) \qquad \ddot{z} = \frac{d^2 z}{dt^2}$$

- ❑ m je merska masa, z je smer lokalne vertikalne osi.
- ❑ Z dvojno integracijo zgornjega izraza pridemo do enačbe prostega pada:

$$z = z_0 + \dot{z}_0 t + \frac{g}{2} t^2$$

- ❑ Enačba povezuje položaj z telesa, ki pada, v trenutku t s težnim pospeškom g .

Prosti pad (2)

- Na primer gravimeter **FG5** določa težni pospešek s pomočjo izraza:

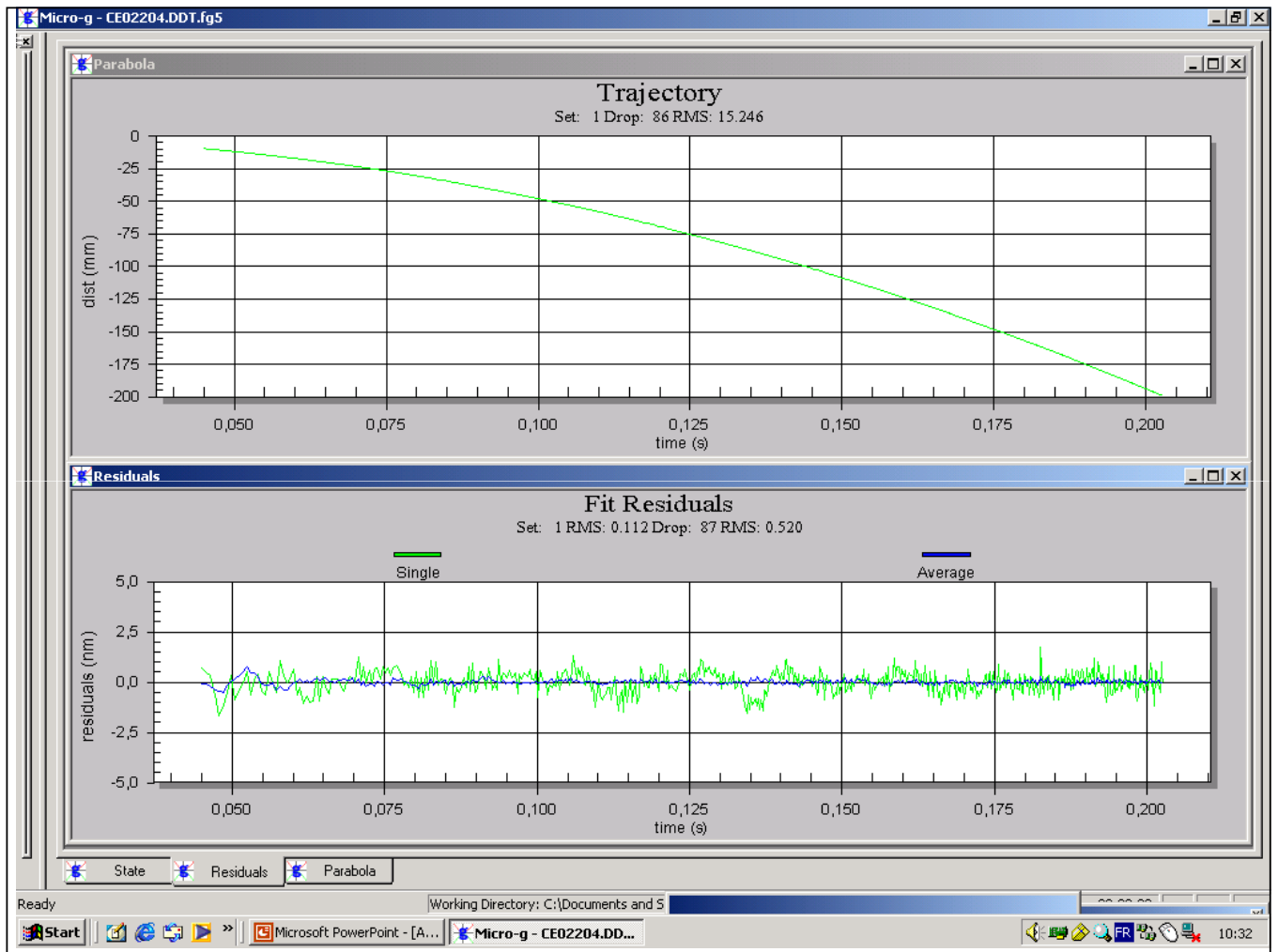
$$\left. \begin{aligned} x_i &= x_0 + v_0 \tilde{t} + \frac{g_0 \tilde{t}^2}{2} + \frac{1}{6} \gamma v_0 \tilde{t}^3 + \frac{1}{24} \gamma g_0 \tilde{t}^4 \\ \tilde{t} &= t_i - \frac{(x_i - x_0)}{c} \end{aligned} \right\} x_i, t_i, i = 1, \dots, 700$$

- γ je vertikalni gradient težnega pospeška ($\sim -3\mu\text{gal}/\text{cm}$),
- c je hitrost svetlobe,
- x_0 je začetni položaj,
- v_0 je začetna hitrost,
- g_0 je začetni težni pospešek.

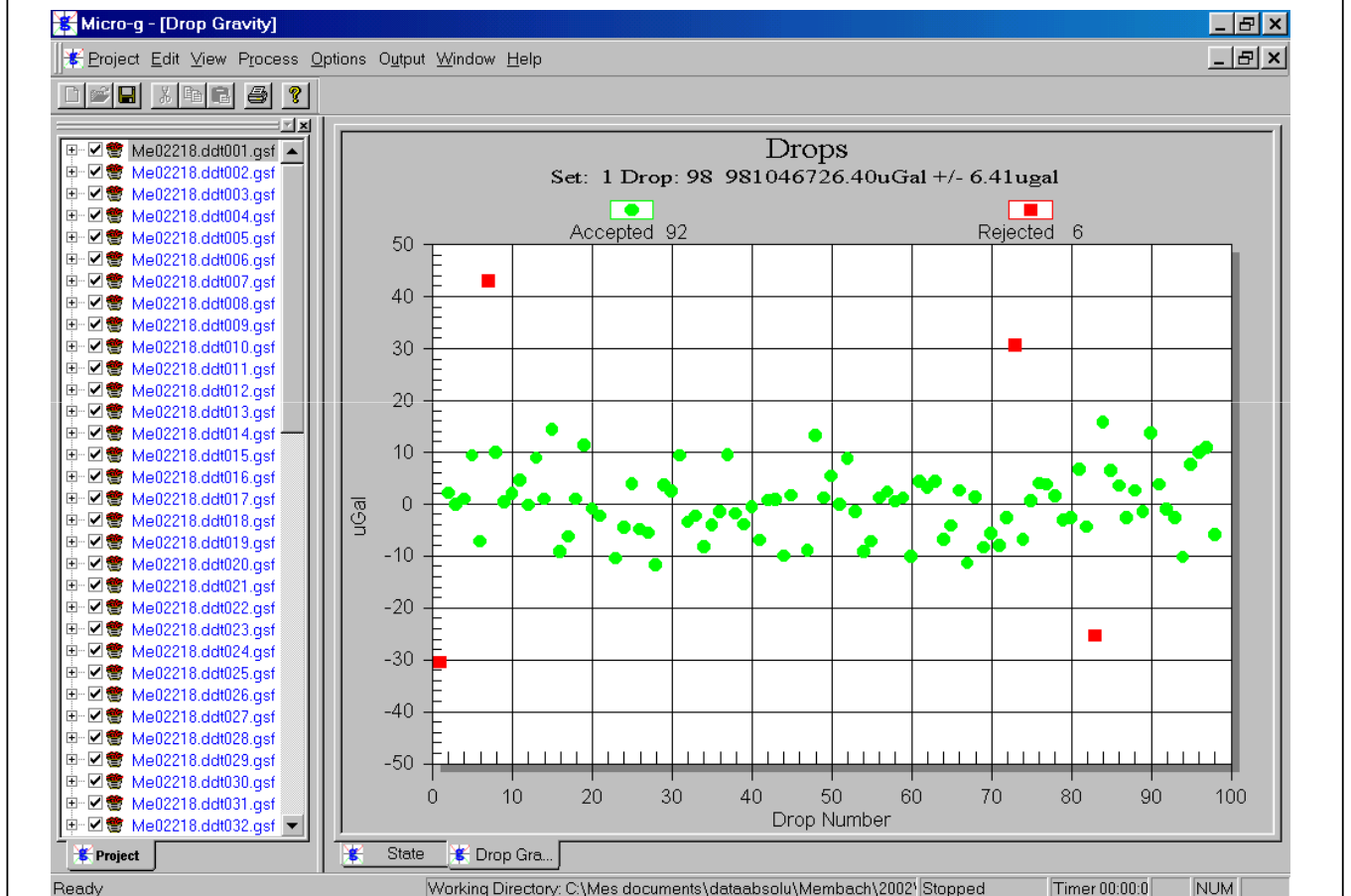
Balistični gravimeter FG5



Točnost : $10^{-9} g$ ($g \cong 10, xxx \text{ xxx } xX \text{ m/s}^2$)
 $\Leftrightarrow 1 \mu\text{gal}$
 $\Leftrightarrow$ Vertikalni odmik 3 mm (popravek prostega zraka)



FG5 : Drop Gravity (100 to 200 drops = 1 « set »)



Tipi balističnih gravimetrov

❑ Predhodnik FG5 → JILAg (1987).

❑ Prvi komercialni FG5 leta 1993.

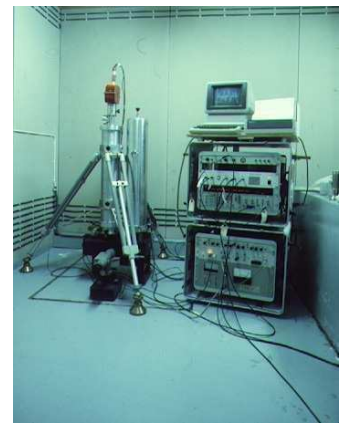
- točnost 2 μgal (skladnost med instrumenti).
- natančnost: 10 μgal,
- ponovljivost 1 μgal,
- cena: ~ 350.000 \$

❑ A10 - prenosni abs. gravimeter:

- natančnost 10 μgal,
- točnost 10 μgal;
- ponovljivost 10 μgal;
- ~ 300.000 \$.

❑ FGL - pomanjšani FG5:

- natančnost 10 μgal,
- točnost 10 μgal,
- ponovljivost 10 μgal,
- ~ 200.000 \$



Relativne meritve s pomočjo nihala

❑ Določamo vrednost težnega pospeška na eni točki glede na drugo, kjer nam je vrednost g znana.

❑ Merimo nihajne čase T_1 i T_2 (nihal) konstantne dolžine.

❑ Izhajamo iz enačbe:
$$\frac{g_2}{g_1} = \frac{T_1^2}{T_2^2}$$

izračunamo razliko težnih pospeškov kot:

$$\Delta g_{1,2} = g_2 - g_1 = -2g_1 \frac{T_2 - T_1}{T_2} + g_1 \frac{(T_2 - T_1)^2}{T_2^2}$$

❑ Sistematični pogreški, ki so neodvisni od položaja in časa se izničijo v razliki težnih pospeškov g .

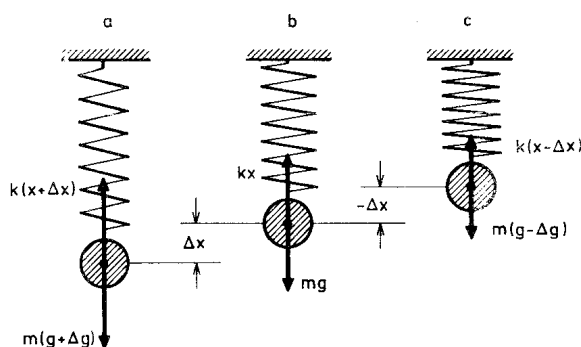
❑ Natančnost določitve max. 0,1 mgal.

❑ Tipi gravimetrov: Sterneck (XIX v.), Askania (4 nihala)...

❑ V uporabi do 50-tih let XX. st. za vzpostavitev kalibracijskih baz.

Mehanski gravimetri (gravimetri z vzmetjo)

- Princip delovanja mehanskih relativnih gravimetrov (danas izključno v rabi) sloni na podaljšanju vzmeti, ki je obtežena z probno maso. Pri spremembi težnega pospeška, se spreminja tudi slija, ki deluje na probno maso, ter vzmet podaljšuje oz. krajša, odvisno od tega ali se g povečuje ali zmanjšuje. Masa se potem vrača v prvobiten položaj učinkovanjem sile, ki jo uravnavamo prek merskega sistema samega instrumenta. Vrednost te sile je merilo spremembe težnega pospeška.



Princip delovanja mehanskih gravimetrov

- Statični princip delovanja gravimetara.
- Položaj ravnovesja je privzet kot osnova za meritev; instrumenti delujejo kot izredno občutljive tehtnice. Konstrukcijsko se ravnovesje vzpostavi s pomočjo sile elastične vzmeti.
- Sprememba težnega pospeška, ki je posledica spremembe mesta ali časa meritev, povzroča spremembo povratne sile, ki sistem ohranja v ravnovesju. Povratno silo je možno s pomočjo kalibracijske funkcije preračunati v enote težnega pospeška.
- Dva tipa konstrukcije gravimetrov:
 - Vertikalna tehtnica z vzmetjo → translacijski sistem.
 - Tehtnica z vzmetjo in vzvodom → rotacijski sistem.

Konstrukcija ravnovesja

- ❑ Dva osnovna načina konstrukcije ravnovesja:
 - astatizirani ali nestabilni gravimetri,
 - stabilni gravimetri.
- ❑ Astatiziranje je povečanje občutljivosti sistema, ki se lahko ustvari z istočasnim zmanjšanjem stabilnosti.
- ❑ Pri astatiziranih gravimetrih, zaradi stanja podobnem nestabilnem ravnovesju, se doseže velika mehanska občutljivost. Astatiziranje se doseže z vgradnjo naprave za stabilizacijo: elastične vzmeti ali torzijske žice.
- ❑ Stabilni gravimetri so enostavnejši glede mehanske izvedbe, vendar terjajo točnejšo določitev položaja probne mase.

Translacijski sistem

- ❑ Najenostavnejša konstrukcija. Neobremenjena vzmet dolžine l_0 . Če se vzmet obremeni z maso m , se ta podaljša pod vplivom delovanja sile teže; sistem se vrne v ravnovesni položaj ob delovanju nasprotnne sile vzmeti. Pogoji ravnovesja:

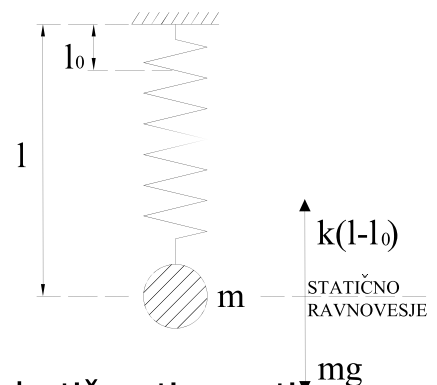
$$mg = k(l - l_0)$$

k konstanta vzmeti, ki je odvisna od dimenzij in elastičnosti vzmeti.

- ❑ Uporaba izraza za ravnovesje na razliko težnih pospeškov $g\Delta$, dobimo linearno vezo med razliko in izmerjene razliko dolžine vzmeti Δl :

$$\Delta g = \frac{k}{m} \Delta l = \frac{g}{l - l_0} \Delta l$$

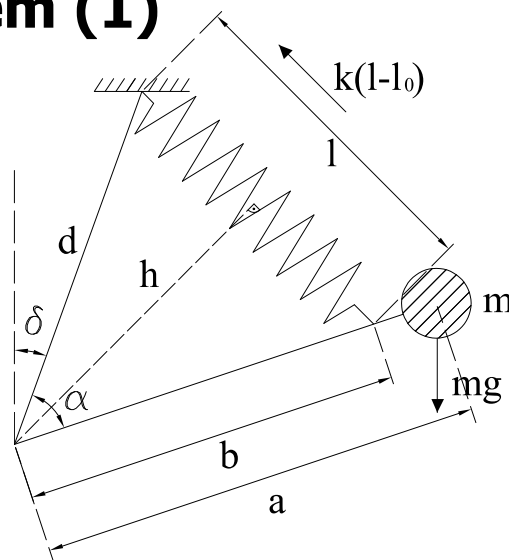
- ❑ Za vzmet dolžine 10 cm, je potrebna natančnost določitve spremembe dolžine ± 1 nm, da bi dosegli relativno natančnost določitve $g\Delta 10^{-8}$.



Rotacijski sistem (1)

- Tehtnica na vzmet z vzvodom je rotacijski sistem, ki je v statičnem ravnovesju kadar so navori sil, ki delujejo na sistem enaki. Vzvod podpira maso m in rotira okoli osi O. Enačba ravnovesja v primeru sistema s poševnim vzvodom:

$$mg a \sin(\alpha + \delta) - kbd \frac{l - l_0}{l} \sin \alpha = 0$$



- Pri rot. sistemu s poševno elastično vzmetjo, povratna sila deluje pod kotom na vzvod določene mase. Veznica med rotacijsko osjo O in vrhom vzvoda oklepa z vertikalo kot δ ; a je dolžina vzmeti, α je kot uklona vzmeti.

Rotacijski sistem (2)

- Visoka občutljivost (astatiziranje) se doseže kadar sta kota $\alpha \approx 90^\circ$ in $\delta \approx 0^\circ$.
- Na primer:
 - dolžina vzmeti 10 cm, $\alpha + \delta = 90^\circ$ in $\delta = 100''$;
 - potrebna natančnost registracije premika mase $\pm 2 \mu\text{m}$;
 - da bi dosegli relativno natančnost določitve $g \Delta 10^{-8}$.
- V primerjavi s translacijskim sistemom je občutljivost povečana 2000 krat.

Sistem za čitanje (odčitki)

- ▶ optičen ali elektronski.

LaCoste & Romberg gravimeter (čitanje)



Kalibracijska funkcija gravimetra

- ❑ Rezultati meritev gravimetra se izražajo v različnih enotah njegove merilne naprave (čutila). Da bi te enote lahko pretvorili v enote težnega pospeška je potrebno opraviti kalibracijo gravimetra. **Kalibracija** je torej postopek določevanja t.i. **kalibracijske funkcije**, ki omogoča pretvorbo merskih enot.
- ❑ Kalibracijo lahko izvedemo na dva načina:
 - z meritvami zunaj → merjenjem na točkah z znanimi vrednostmi težnega pospeška;
 - z laboratorijskimi meritvami → merjenjem majhnih sprememb težnega pospeška pri odklonu čutila gravimetra iz horizontale.
- ❑ Splošna oblika kalibracijske funkcije: $g = F(z)$

$$F(z) = F_{pol}(z) + F_{per}(z)$$

z je vrednost odčitka v merskih enotah gravimetra.

- ❑ Tendanca je doseči linearno obliko kalibracijske f-je.

Hod ("drift") gravimetra

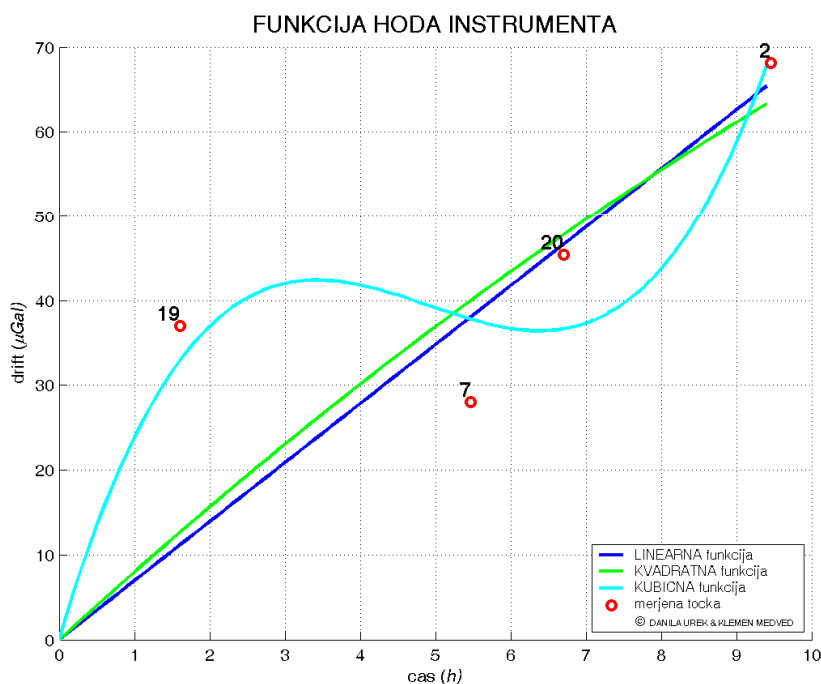
- ❑ Zaradi elastičnega popuščanja vzmeti se spreminja ničelni položaj čutila gravimetra. Ta pojav je znan kot **hod (drift)** gravimetra. Kadar gravimeter meri na enem mestu skozi daljše časovno obdobje, se odčitki povečujejo (zmanjšujejo), namesto da bi bili enaki.
- ❑ Hod opisuje spremembe fizikalnih lastnosti merilnega čutila in nekompenziranih vplivov na opazovanja, ki so prisotni pri merjenju z gravimetrom.
- ❑ Hod:
 - Stacionarni hod → določamo pred odhodom na teren.
 - Transportni hod: vpliv transporta gravimetra na rezultate meritev.
 - Dnevni hod: rezultat predhodna dva. Modelira se pri obdelavi grav. opazovanj.

Minimiziranje transportnega hoda



Modeliranje dnevnega hoda

- Dnevni hod se običajno modelira s pomočjo polinomske funkcije. Pogoji za to so ponovljene meritve na istih točkah tekom enega delovnega dneva.



Sodobni relativni gravimetri

	LaCoste & Romberg		Scintrex Autograv		
	Model G	Model D	CG-3	CG-3M	CG-5
Resolucija	$\sim 0,1 \mu\text{ms}^{-2}$	$\sim 0,01 \mu\text{ms}^{-2}$	$0,05 \mu\text{ms}^{-2}$	$0,01 \mu\text{ms}^{-2}$	$0,01 \mu\text{ms}^{-2}$
Natančnost	$0,15 \mu\text{ms}^{-2}$	$0,05 \mu\text{ms}^{-2}$	$0,1 \mu\text{ms}^{-2}$	$0,05 \mu\text{ms}^{-2}$	$0,05 \mu\text{ms}^{-2}$
Merski razpon	$700 \mu\text{ms}^{-2}$	$20 \mu\text{ms}^{-2}$	$700 \mu\text{ms}^{-2}$	$700 \mu\text{ms}^{-2}$	$800 \mu\text{ms}^{-2}$
Stacionarni hod	$< 0,33 \mu\text{ms}^{-2}/\text{dan}$		$< 0,2 \mu\text{ms}^{-2}/\text{dan}$ (z uporabo popravka)		
Dimenzije	$18 \times 20 \times 25 \text{ cm}$		$24 \times 31 \times 32 \text{ cm}$		$21 \times 20 \times 34 \text{ cm}$
Dim. baterije	$7 \times 15 \times 12 \text{ cm}$		baterija je integrirana v instrumentu		
Masa	$3,2 + 2,3 \text{ kg}$ (baterija)		11 kg z baterijo		9 kg z bat.

LaCoste & Romberg in Scintrex CG-3



Scintrex CG-5



Vplivi na opazovanja

- ❑ Celotni vplivi:
 - instrumentalni pogreški;
 - vplivi okolice.
- ❑ Instrumentalni pogreški:
 - vzrok v sami konstrukciji gravimetra:
 - ❑ greške čitanja, nepravilno horizontiranje, vpliv spremembe temperature, elastična histereza (hod), nestabilna napetost v instrumentu, kalibracijska funkcija...
 - pogreški zaradi zunanjih dejavnikov:
 - ❑ sprememba zunanje temperature in tlaka, vpliv magnetnega polja, tresljaji gravimetra zaradi transporta in naravna ter umetna mikro seizmičnost okolice.
- ❑ Vplive zmanjšamo z načinom dela oz. z uvedbo redukcij (popravkov).

Spremljanje delovanja gravimetra

- ❑ Redno spremljanje delovanja gravimetra obsega:
 - temperaturno kompenzacijo,
 - določitev stacionarnega hoda,
 - določitev nule senzorja nagiba,
 - določitev občutljivosti senzorja nagiba,
 - odprava mešanja medsebojnega vpliva senzorja nagiba (cross-coupling effect),
 - določitev kalibracijske konstante.

Gravimetrična izmera in gravim. mreže

- ❑ Gravimetrična izmera v geodeziji:
 - Izmera v gravimetričnih mrežah.
 - Izmera za potebe določevanja geopotencialnih kot.
- ❑ Gravimetrična izmera v geofiziki:
 - Izmera kot metoda uporabne geofizike ("applied geophysics").
 - Mikrogravimetrična izmera (najnatančnejša), podobna detajlnemu nivelmanu (linijsko oz. po površini).

Postopek pri gravimetrični izmeri

- ❑ Postavitev gravimetra na točko.
- ❑ Horizontiranje instrumenta.
- ❑ Merjenje višine instrumenta.
- ❑ Vnos parametrov meritve.
- ❑ Gravimetrični merski proces.
- ❑ Prenos in shranjevanje podatkov (na koncu delovnega dne).



merjenje višine instrumenta



analogne libele

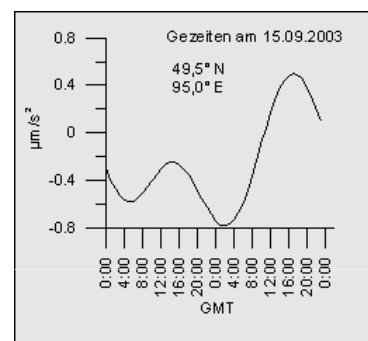
Obdelava gravimetričnih meritev (1)

- Izračun redukcij (popravkov):
 - popravek za plimovanje čvrste Zemlje;
 - popravek zaradi gibanja Zemljinih polov;
 - popravek zaradi spremembe atmosferskega tlaka;
 - popravek za dnevni hod instrumenta.
- Vpliv privlačni sili Sonca in Lune lahko doseže tudi $3 \mu\text{ms}^{-2}$.
Obstajajo teoretični modeli, ki omogočajo računanje popravka kot funkcije geografske širine območja in časa. Gravimeter Scintrex CG-3 ima vgrajen model Longman → natančnost $0,03 - 0,05 \mu\text{ms}^{-2}$ (zadošča zahtevam grav. izmere za potrebe računanja geopotencialnih kot → grav. izmera vzdolž nivelmanskih linij).
- Za natančnejše meritve moramo uporabiti bolj popolne modele.

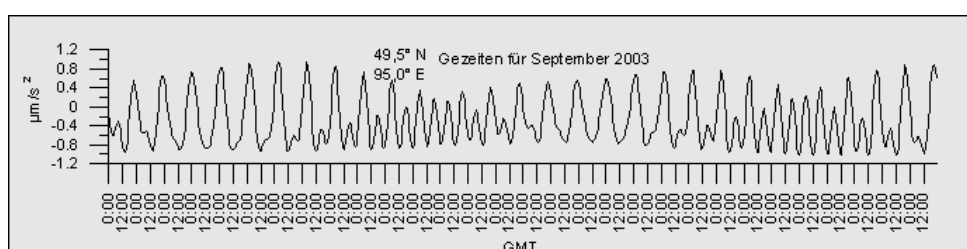
Obdelava gravimetričnih meritev (2)

- Popravek za plimovanje čvrste Zemlje

Plimovanje čvrste Zemlje tekom 1 dneva



Plimovanje čvrste Zemlje tekom 1 meseca



Obdelava gravimetričnih meritev (3)

- Popravek za vpliv gibanja Zemljinih polov se računa kot:

$$dg_{pol}(t) = -1,164 \omega^2 R \sin 2\phi (x(t) \cos \lambda - y(t) \sin \lambda)$$

- ω kotna hitrost Zemljine rotacije,
- $x(t), y(t)$ položaj Zemljinih polov v trenutku t .
- ϕ, λ geodetske koordinate točke.

- Popravek zaradi spremembe atmosferskega tlaka zraka:

$$dg_P = 0,30 (P_i - P_{in}) \quad P_n = 1013,25 \left(1 - \frac{0,0065 H}{288,15} \right)^{5,2559}$$

- P_i je izmerjena vrednost tlaka na točki,
- P_n normalna vrednost tlaka, izračunana po gornjem izrazu.

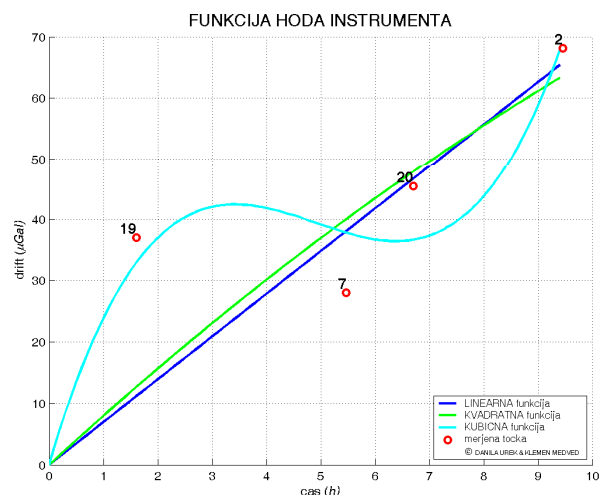
Obdelava gravimetričnih meritev (4)

- Izračun dnevnega hoda:

$$z(t) = z(t_0) + d_1(t - t_0) + d_2(t - t_0)^2 + \dots + d_n(t - t_0)^n$$

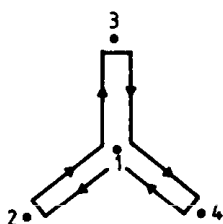
- $z(t)$ grav.odčitek v trenutku t ;
- $z(t_0)$ grav. odčitek v trenutku t_0
(prvi odčitek v delovnem dnevu);
- $d_1, d_2, \dots, d_n$ koeficienti polinoma dnevnega hoda

- Stopnja polinoma je odvisna od števila ponovljenih meritev na isti točki tekom dneva (najbolj pogosto se vzame linearni oz. kvadratni polinom).

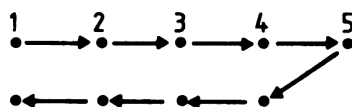


Metode merjenja

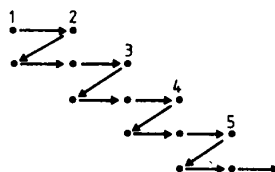
- Različne metode merjenja, da bi dobili možnost določitve dnevnega hoda.



metoda zvezde



metoda profila



step metoda

Izravnava meritev v grav. mrežahS

- Izravnava po metodi posrednih opazovanj:
 - izravnava direktnih gravimetričnih odčitkov (po izračunu in uvedbi redukcij); v enačbi popravkov nastopajo tudi koeficienti polinoma hoda.
 - Izravnava razlik težnega pospeška (na enak način kot 1D opazovanja npr. geometrični nivelman); odčitki so običajno predhodno popravljeni za vpliv dnevnega hoda.

$$l + v = A^T x$$

$$\Sigma_u = \sigma_0^2 Q_u$$

$$P = Q_u^{-1}$$

- neznanke su vrednosti g -a na točkah.
- Poseben poudarek je na utežih meritev!
- Datum mreže definirajo točke z absolutno vrednostjo težnega pospeška.

Gravimetrični datumi

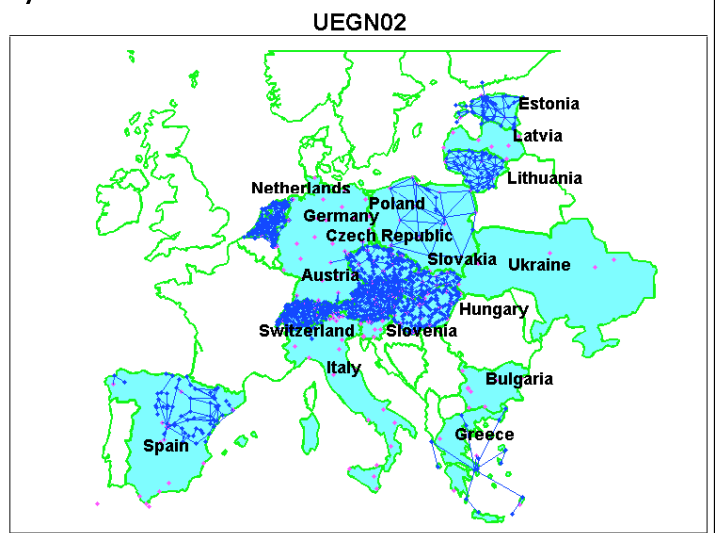
- ❑ Hierarhija vzpostavitve gravimetričnih mrež je podobna razvijanju klasičnih geodetskih mrež: od večjega k manjšemu. Gravimetrične mreže določajo :
 - enotno referenčno raven z vrednostmi težnega pospeška določenih na točkah gravimetričnih mrež;
 - definirano merilo težnosti z določenimi vrednostmi razlik težnosti med točkami gravimetričnih mrež.
- ❑ Enotno referenčno raven in merilo težnosti lahko označimo kot težnostni datum – gravimetrični datum.

Gravimetrični datumi skozi zgodovino

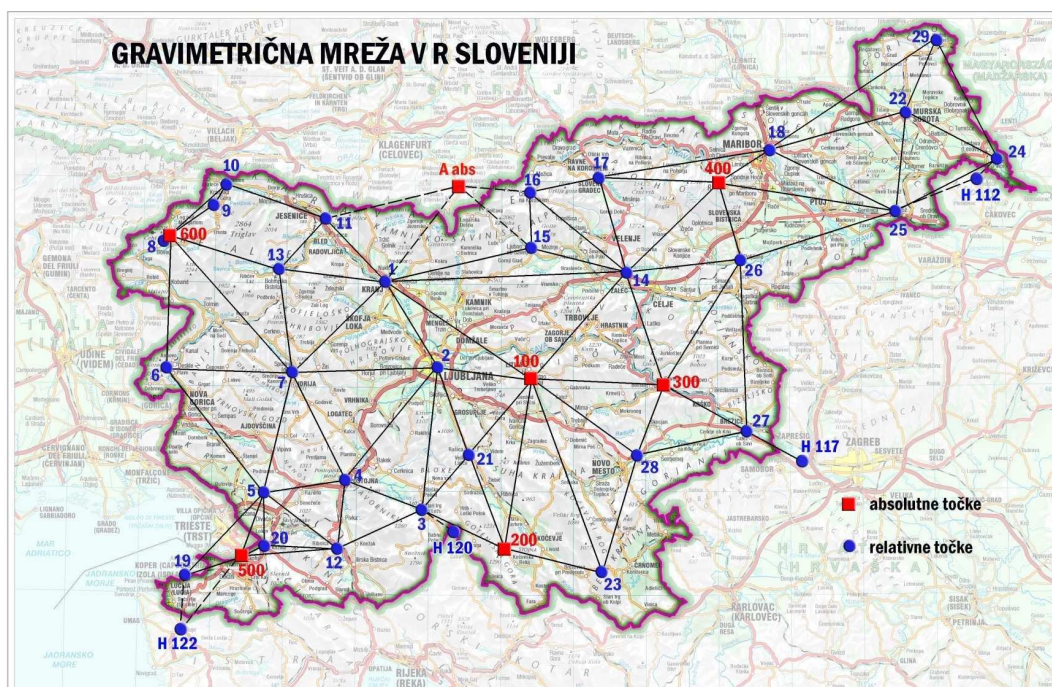
- ❑ Dunajski sistem, 1900 – 1909. Vrednost g -ja določena na točki v Dunaju. Natančnost (preoptimistično) ocenjena na 10 mGal.
- ❑ Potsdamski sistem težnosti, sloni na določitvi težnega pospeška v Potsdamu leta 1909, natančnost določitve 3 mGal.
- ❑ Oba sistema sta dejansko samo nivo težnosti, saj slonita na eni točki.
- ❑ IGSN71 – "International Gravity Standardization Net 1971" globalni datum težnega pospeška, ki sloni na:
 - 10 absolutnih meritvah na 8 točkah,
 - 1200 relativnih meritvah z nihalnimi instrumenti,
 - 12 000 relativnih meritvah z LCR gravimetri,
 - 11700 relativnih meritvah z drugimi relativnimi gravimetri.
- ❑ IUGG je IGSN71 sprejela kot uradni globalni datum težnega pospeška.

Globalne in regionalne gravimetričn mreže

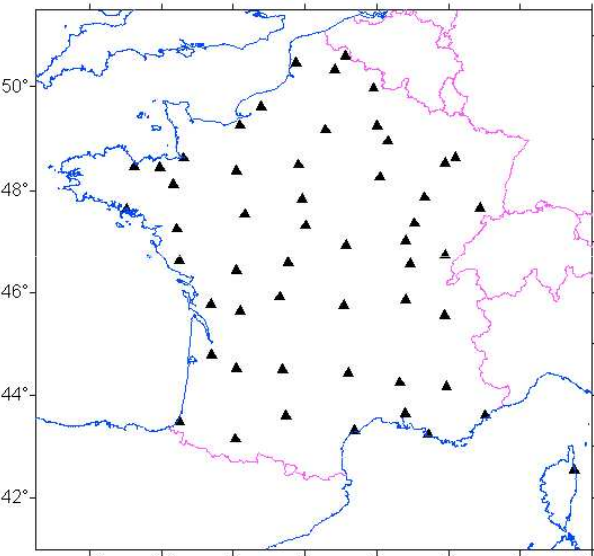
- ❑ Danes absolutne meritve na točkah določajo datum (saj dve absolutne meritve na dveh točkah na nekem območju).
- ❑ **IAGBN** "International Absolute Gravity Basestation Network", globalna gravimetrična mreža 0. reda.
- ❑ **UEGN02** "Unified European Gravity Network 2002"
– je evropska nadgradnja sistema IGSN71.



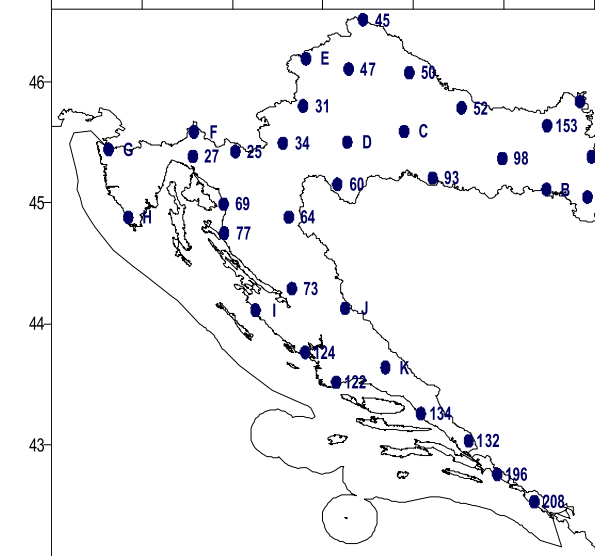
Slovenija



Nacionalne gravimetrične mreže (1)

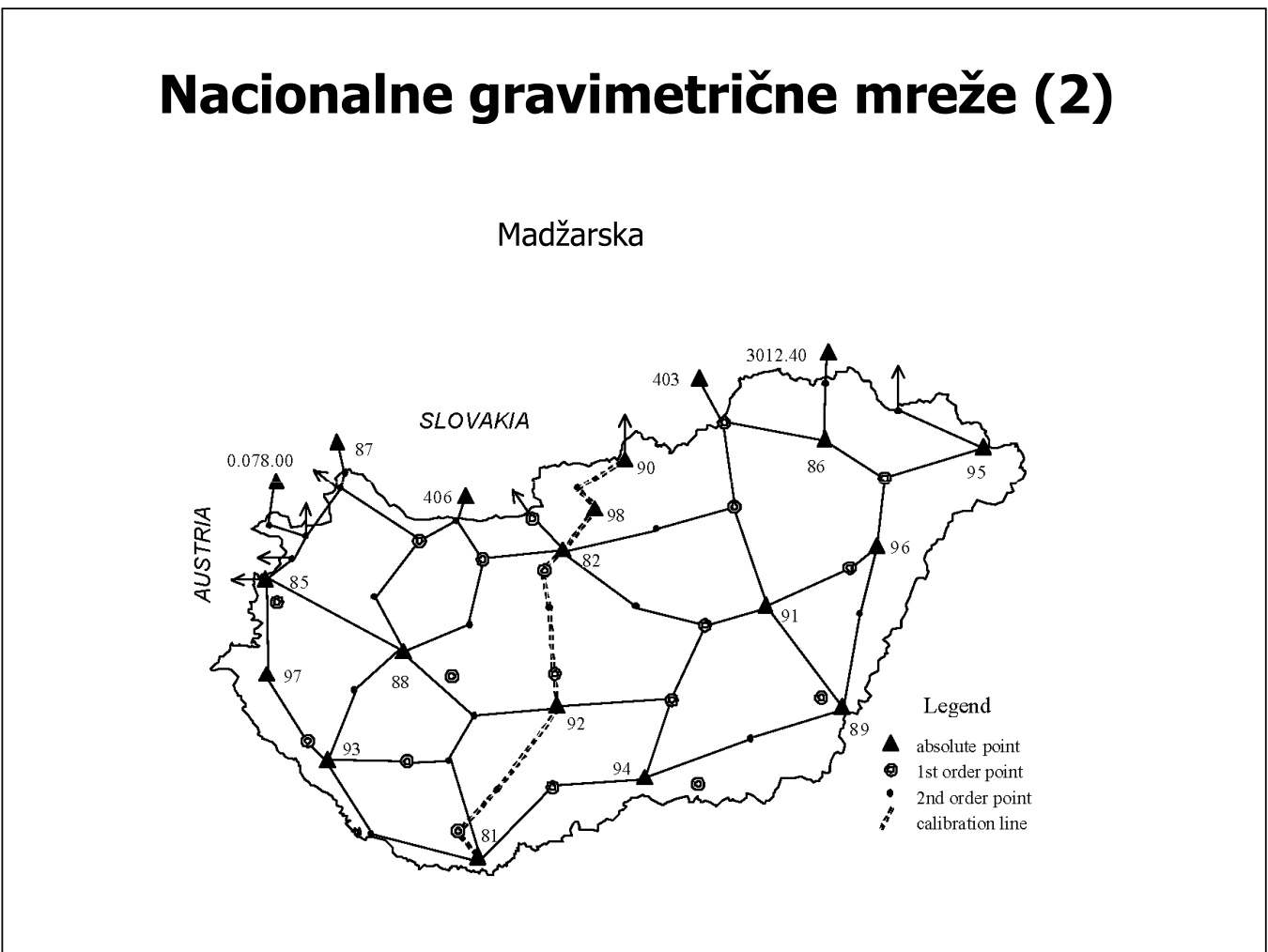


Francija



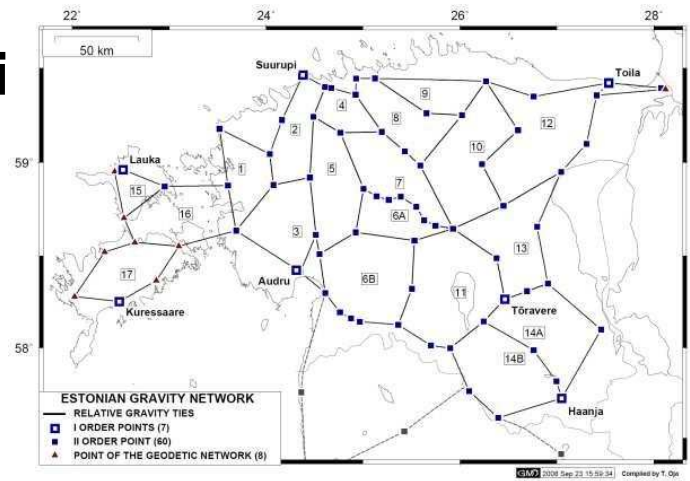
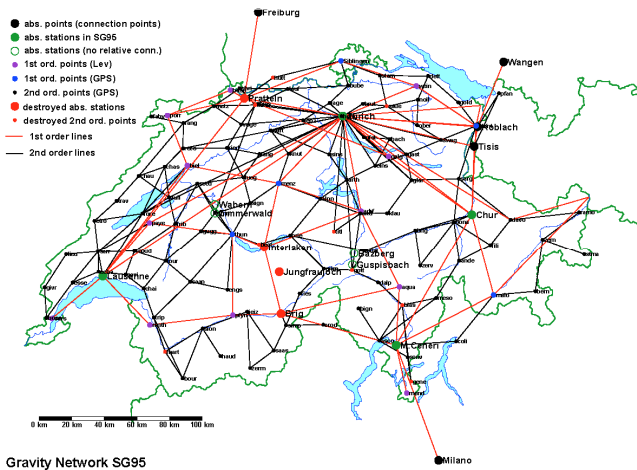
GRAVIMETRIJSKA MREŽA I. REDA

Hrvatska



Nacionalne gravi

Švica



Estonija