

# NÁRODNÉ CENTRUM DIAGNOSTIKOVANIA DEFORMÁCIÍ ZEMSKÉHO POVRCHU NA ÚZEMÍ SLOVENSKA

## NATIONAL CENTRE FOR DIAGNOSTIC OF AN EARTH SURFACE DEFORMATION ON THE AREA OF SLOVAKIA

Marcel Mojzeš<sup>1</sup>

### Abstract

The area of Slovakia consists mainly from Carpathian Mountain and two sedimentary platforms located on east and west part of Slovakia. The geodynamic movement of this area is caused by the global, regional and local motions. Global movement is generated by a horizontal movement of the African and Eurasian continents and vertical movement of Scandinavia. Local dynamics of the earth's surface is reflected local ground motion in the form uplift and subsidence. Global and local motions are integrated into a single action that is taken into account when designing and operating large buildings works. For existing activities Department of Theoretical Geodesy of Slovak University of Technology in Bratislava for monitoring of geodynamical phenomena using GNSS techniques and repeated measurements of absolute gravity formulated a project called the National Center for diagnosis deformations of the earth surface in the territory of Slovakia (Mojzes, 2010). The project is financially supported at 95% of the EU and 5% of the STU Bratislava and will be addressed during the 3 years from 12/2010 to 11/2013. The paper presents basic information about the Project.

### Kľúčové slová

*GNSS technológia, absolútne gravimetrické meranie, vizualizácia.*

## 1 ÚVOD

Zemský povrch Slovenska leží na Euroázijskej platni. Je tvorený prevažne pohorím Karpát, Podunajskou a Východoslovenskou nížinou. Dynamika zemského povrchu na území Slovenska je generovaná dynamikou pohoria Karpát, ktoré je ovplyvňované dynamikou okolitých tektonických platní, najmä horizontálnym pohybom Africkej platne a vertikálnym pohybom Škandinávie. Súčasnú globálnu, regionálnu a lokálnu pohyby zemského povrchu sa integrujú do jediného pohybu, ktorý je potrebné poznať v danej lokalite a rešpektovať ich pri navrhovaní a prevádzkovaní veľkých stavebných diel. Katedra geodetických základov na Stavebnej fakulte Slovenskej technickej univerzity v Bratislave vypracovala projekt pod názvom "Národné centrum diagnostikovania deformácie zemského povrchu na území Slovenska" (Mojzeš, 2010). Projekt je finančne podporovaný zo Štrukturálnych fondov EÚ (95%) a z prostriedkov Slovenskej technickej univerzity v Bratislave (5%). Riešenie projektu je založené na monitorovaní zmeny polohy 9 bodov pomocou GNSS prijímačov a pomocou

---

<sup>1</sup> Doc. Ing. Marcel Mojzeš, PhD., Slovenská technická univerzita v Bratislave, Stavebná fakulta, Katedra geodetických základov, Radlinského 11, 813 68 Bratislava, tel.: +421259274536, e-mail: [marcel.mojzes@stuba.sk](mailto:marcel.mojzes@stuba.sk).

opakovaného absolútneho merania tiažového zrýchlenia. Výsledky merania budú analyzované a zverejňované pre praktické potreby užívateľov vo forme vektorov reprezentujúcich rýchlosti zmien zemského povrchu.

## **2 MOTIVÁCIA**

Pohyb zemskej kôry je ovplyvňovaný mnohými javmi, ktoré integrálne pôsobia a spôsobujú zmeny v geometrii zemskej kôry a parametroch tiažového poľa Zeme. Pôsobiacie javy môžeme všeobecne rozdeliť na globálne, regionálne a lokálne. Deformačné zdroje rušivých javov môžu byť umiestnené vo vnútri Zeme (pohyb tektonických platní, zemetrasenia), na povrchu Zeme (proces zaľadnenia a odľadnenia, pohyb pevných hmôt, hydrologických hmôt a atmosférických hmôt) alebo mimo Zeme (gravitačné účinky vonkajších telies). Súčasný stav modelovania rušivých zdrojov má veľmi vysokú úroveň, ktorá sa overuje a dopĺňa o novoobjavené zákonitosti na základe výsledkov praktických experimentov.

### **2.1 Pretváranie zemského povrchu v procese zaľadnenia a odľadnenia**

Pretváranie zemského povrchu po odľadnení (Post-glacial rebound) je možné považovať za základný zdroj sekulárnych pohybov zemskej kôry, ktorý je spracovaný v (Paulson a kol., 2007).

#### **2.1.1 Proces zaľadnenia**

Významný vplyv na formovaní pokrytia zemského povrchu ľadovcami v poslednej dobe mala voda pochádzajúca z vyparovania oceánov, kondenzovaná v podobe snehu a ukladaná vo vysokých výškach a na plochách s nízkymi teplotami. Z tohto dôvodu globálna hladina mora klesala v období zaľadnenia. Pokrytie zemského povrchu ľadovcami v poslednom maximálnom zaľadnení bolo tak veľké, že globálna hladina mora klesla o 120 metrov. Preto kontinentálne pobrežia a mnohé ostrovy boli obnažené a spojené suchým zemským povrchom. Toto sa stalo medzi Britskými ostrovmi a Európou alebo medzi Taiwanskými a Indonézskymi ostrovmi a Áziou. Veľmi zaujímavou bola extenzia polostrovov medzi Sibírou a Aljaškou, ktorá umožnila migráciu ľudí a zvierat medzi posledným maximom zaľadnenia.

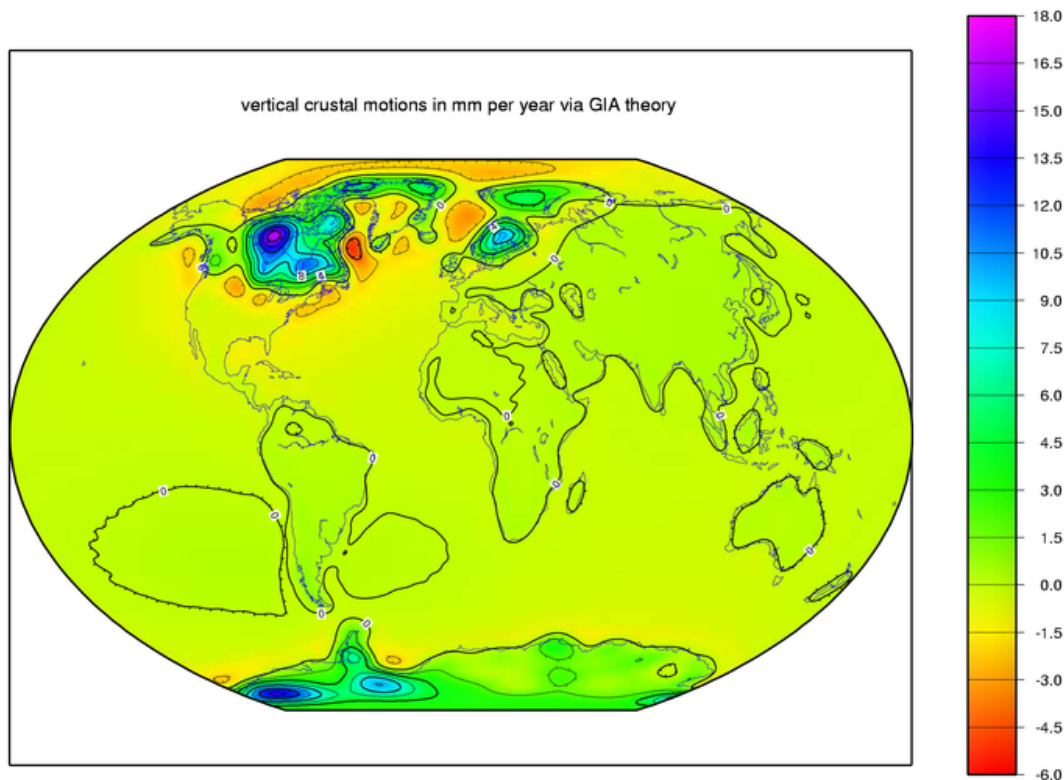
Pokles hladiny mora vyvolal nové morské prúdy, ktoré zaujímavo ovplyvňovali klimatické podmienky počas doby ľadovej. Je potrebné poznamenať, že počas zaľadnenia sa uložila len časť morskej vody na kontinentoch v podobe ľadu a snehu.

#### **2.1.2 Proces odľadnenia**

Počas odľadnenia roztopená voda sa vracia do oceánov a preto morská hladina v oceánoch sa zdvíha. Avšak geologické záznamy zmien morských hladín ukazujú, že rozloženie roztopenej vody nie je rovnaké vo všetkých oceánoch. Inými slovami, závislosť zdvihu morskej hladiny na lokalite v určitých oblastiach môže byť väčšia než v iných oblastiach. To je spôsobené gravitačnou silou medzi hmotou roztopenej vody a inými hmotami, ako chýbajúce ľadovce, existujúce ľadovce, vodné hmoty, horniny plášťa a zmeny v odstredivom potenciály vyvolané zmenou uhlovej rýchlosti rotácie Zeme.

Globálne izostatické vyrovnanie (Global Isostatic Adjustment-GIA), niekedy nazývané aj ľadovcové izostatické vyrovnanie alebo kontinentálny zdvih, je zdvih povrchu Zeme, ktorý bol stlačený veľkou váhou ľadovcov počas poslednej ľadovej doby. Tento proces sa nazýva izostáza. Proces izostázy ovplyvňuje severnú Európu (špeciálne Škótsko, Škandináviu, severné Dánsko), Sibír, Kanadu, Veľké jazero Kanady a Spojených štátov amerických,

pobrežné oblasti Spojených štátov amerických, štát Maine, časti Patagónie a Antarktídy. Táto skutočnosť ako výsledok súčasných geodetických meraní je znázornená na obr.1.



**Obr. 1** Proces globálneho izostatického vyrovnania v podobe vertikálnych zmien zemského povrchu v mm/rok prevzaté z (Paulson a kol., 2007)

Sprievodným javom vertikálnych pohybov je horizontálny pohyb zemskej kôry. GPS/GNSS siete ukázali, že horizontálny pohyb diverguje z centra vertikálneho zdvihu. Avšak najväčšia horizontálna rýchlosť je blízko okraja ľadovca. Situácia v severnej Amerike v tomto smere nie je taká jednoznačná. To je spôsobené pravdepodobne riedkym rozložením GPS/GNSS staníc v Kanade, ktorá je trochu nedostupná.

Ľad voda a horniny plášťa majú hmotnosť a môžu sa pohybovať čím vyvolávajú gravitačné pôsobenie na iné hmotnosti voči nim. Preto tiažové pole, ktoré je citlivé na všetky hmoty, na povrchu a vo vnútri Zeme, je ovplyvnené rozložením ľadovcov, roztopenou vodou na povrchu Zeme a jej tečením.

Dnes, viac ako 6 000 rokov po poslednej bobe zaľadnenia tečenie plášťa naspäť do zaľadnených oblastí spôsobuje návrat tvaru Zeme do tvaru s menším sploštením. Táto zmena v topografii zemského povrchu ovplyvňuje dlhovlnnú zložku v tiažovom poli Zeme. Zmena tiažového poľa môže byť indikovaná opakovaným meraním absolútnej hodnoty tiažového zrýchlenia s absolútnymi gravimetrami a družicovou misiou GRACE. Zmena dlhých vln tiažového poľa Zeme spôsobuje rušenie pohybu družíc a bola indikovaná družicou LAGEOS.

Vertikálna referenčná sieť je referenčná sieť na meranie fyzikálnych výšok a predstavuje významnú úlohu v mnohých ľudských aktivitách zahrňujúcich meranie povrchu Zeme, pri konštrukcii budov, stavbe ciest a mostov a pod. Pretože odľadnenie spojitě deformuje zemský

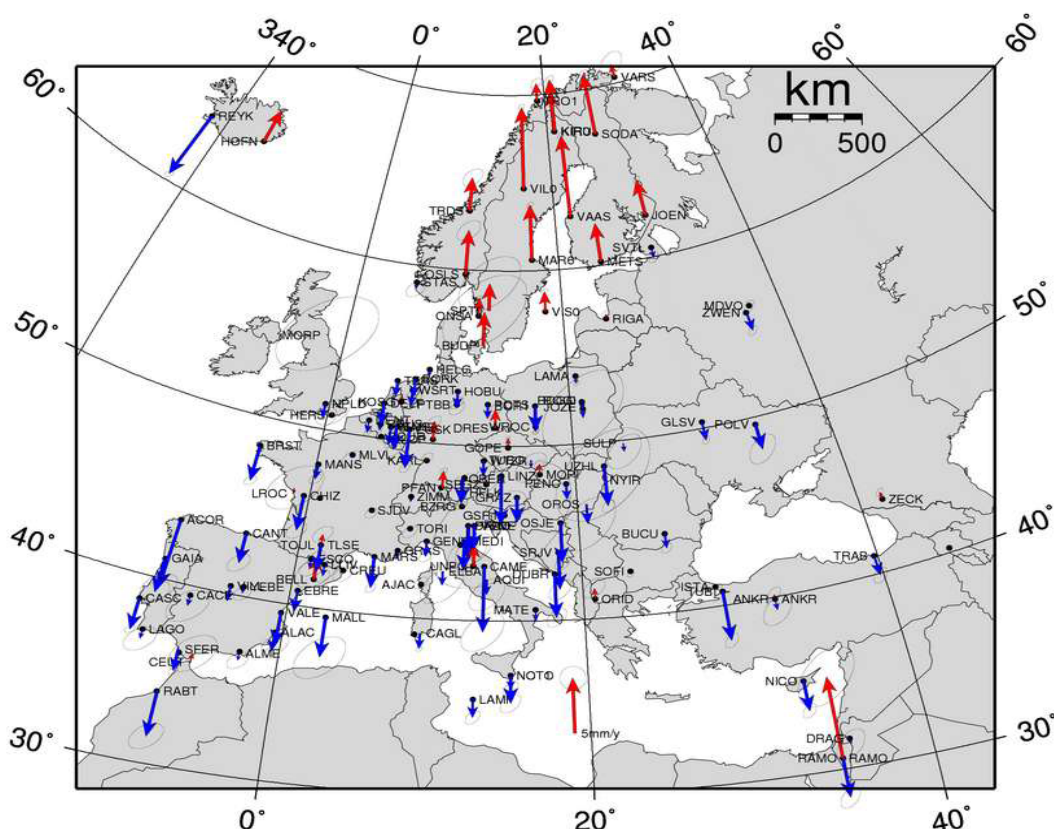
povrch a tiažové pole Zeme, vertikálny referenčný systém potrebuje redefiníciu opakovanú v čase.

## 2.2 Zat'azenie a odt'azenie zemského povrchu periodickými a neperiodickými javmi

Periodické a neperiodické javy významne deformujú zemský povrch, ktorý je jasne prezentovaný v časových radoch. Medzi tieto javy patrí variácia hydrologických hmôt a atmosférických hmôt, ktoré majú ročnú periódu. Neperiodické javy sú pôsobené pohybom hmotností v okolí meraných bodov, ktoré majú prevažne lokálny charakter, pôsobia jednorázovo alebo sa aj opakujú s nepravidelnou periódou. Ukazuje sa to v časových radoch ako GPS/GNSS, tak aj gravimetrických meraní. Modelovanie neperiodických javov vyžaduje zložitú prístrojovú techniku náročnú na finančné prostriedky.

## 2.3 Výsledky praktických experimentov

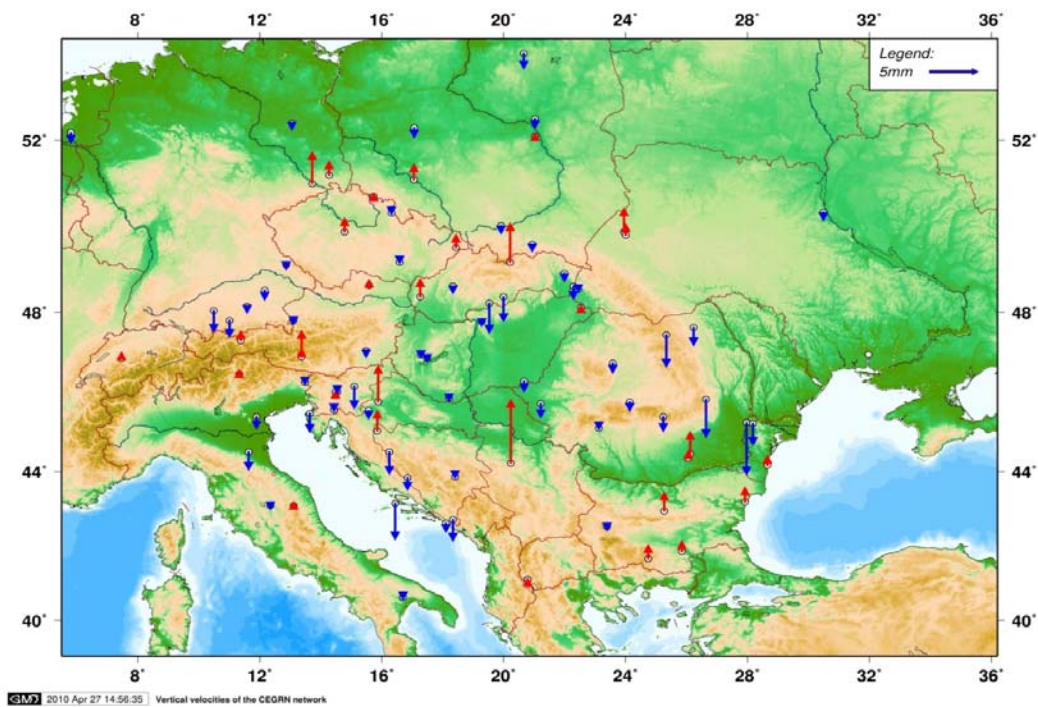
Proces odľadnenia zemského povrchu je dnes monitorovaný pomocou permanentných GPS/GNSS meraní na mnohých miestach zemského povrchu. Na obr. 2 sú prezentované výsledky rýchlosti vertikálnych pohybov zemskej kôry v Európe určené na základe permanentných meraní GPS/GNSS, kde šípky smerujúce na sever (červené) predstavujú rýchlosť zdvihu v mm/rok a šípky smerujúce na juh (modré) predstavujú rýchlosť poklesu v mm/rok prevzaté z (Bruyninx a kol., 2009).



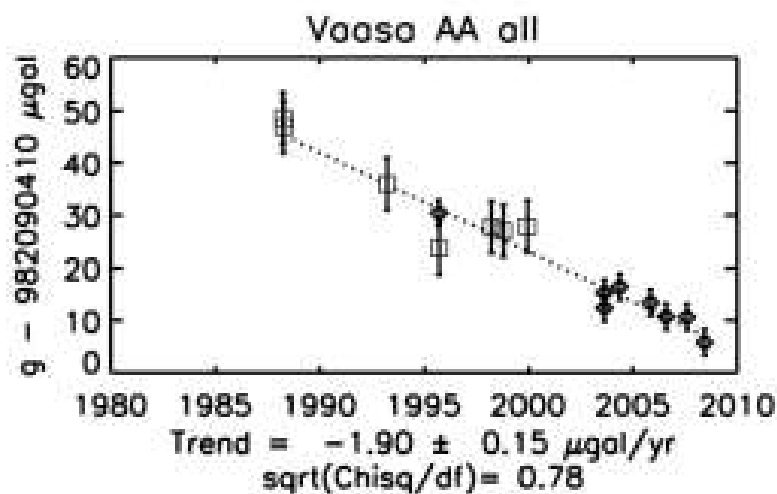
**Obr. 2** Vertikálne pohyby v Európe zistené GPS/GNSS meraním (Bruyninx a kol., 2009)

Podobné výsledky boli dosiahnuté v strednej Európe v rámci konzorcia CEGRN, ktoré vykonáva meranie aj po skončení projektu CERGOP/2 Environment. Posledné výsledky získané reprocessingom obsahujúcim GPS/GNSS permanentné aj nepermanentné merania od roku 1994 po súčasnosť sú znázornené na obr. 3 (Caporali et al. 2009).

Veľmi cennú a spoľahlivú informáciu o vertikálnom pohybe zemskej kôry je možné získať aj opakovaným absolútnym gravimetrickým meraním. V oblasti Škandinávského zdvihu bol vykonaný experiment opakovaného absolútného gravimetrického merania a výsledky merania potvrdili zdvih indikovaný GPS/GNSS meraním (Timmen et al. 2011).

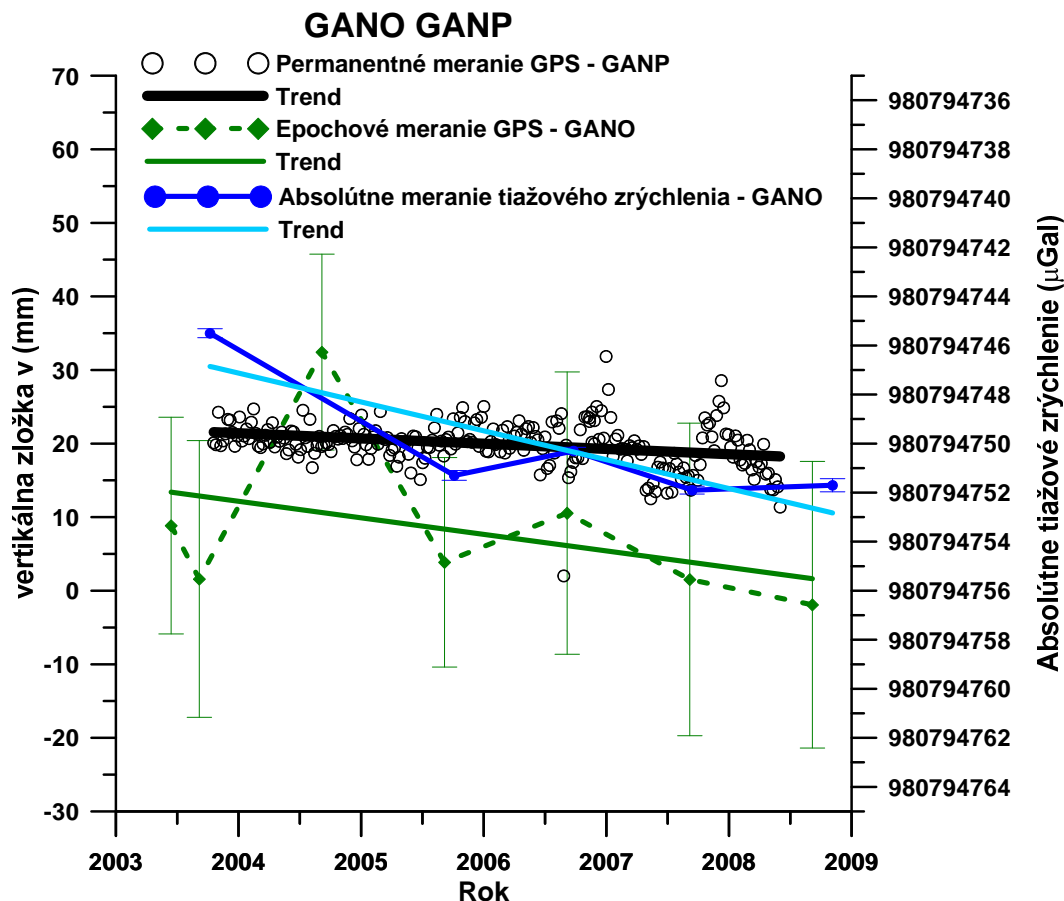


**Obr. 3** Rýchlosti vertikálnych pohybov zemskej kôry v strednej Európe určené GPS/GNSS meraním (Caporali et al, 2009)



**Obr. 4** Meranie zdvihu zemskej kôry v Škandinávii pomocou absolútnych gravimetrov na bode Vaasa vo Fínsku (Timmen et al. 2011).

Experiment permanentných a opakovaných meraní GPS/GNSS a opakovaných absolútnych gravimetrických meraní v lokalite Gánovce ukázal konzistenciu meracích techník pri monitorovaní zmien zemského povrchu, ktoré boli publikované (Mojzeš et al., 2009) a sú znázornené na obr. 5.



Obr. 5 Experimentálne overenie monitorovacích techník na bode Gánovce

### 3 NÁVRH PROJEKTU

Monitorovanie procesu deformácie zemského povrchu na území Slovenska dali podnet na vypracovanie projektu s názvom „Národné centrum diagnostikovania deformácií zemského povrchu na území Slovenska“. Projekt bol schválený Agentúrou Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR pre štrukturálne fondy EÚ a je finančne podporovaný zo Štrukturálnych fondov EÚ (95%) a z prostriedkov Slovenskej technickej univerzity v Bratislave (5%).

Základné charakteristiky projektu:

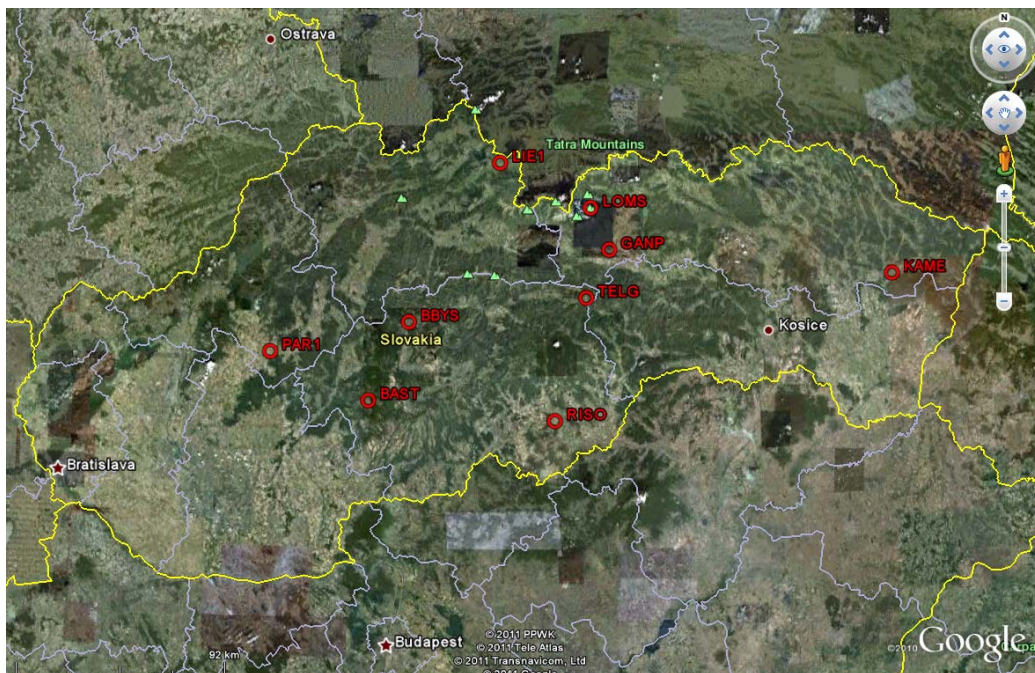
Projekt bude realizovaný 12/2010 – 11/2013 v rámci operačného programu Výskum a vývoj. Financovaný bude z Európskeho fondu regionálneho rozvoja (95%) a zo Slovenskej technickej univerzity v Bratislave (5%) v rámci prioritnej osi 2 „Podpora výskumu a rozvoja“ a opatrenia 2.2 „Prenos poznatkov a technológií získaných výskumom a vývojom do praxe“. Miesta realizácie projektu sú: Trnava - riešiteľské centrum a meranie sa bude vykonávať v lokalitách Partizánske, Banská Bystrica, Banská Štiavnica, Rimavská Sobota, Telgárt, Gánovce, Liesek, Lomnický štít, Kamenica nad Cirochou. Body Partizánske, Gánovce a Liesek sú zapojené do siete SKPOS, ktorú v súčasnosti prevádzkuje a Geodetický a

kartografický ústav v Bratislave a bod Banská Bystrica prevádzkuje Topografický ústav v Banskej Bystrici. Merania GNSS z týchto bodov budú poskytnuté Slovenskej technickej univerzite v Bratislave na spracovanie pre účely projektu v zmysle pripravovanej Dohody o spolupráci.

Ciele projektu sú nasledovné:

- Vybudovať permanentnú sieť GNSS na monitorovanie geometrických zmien zemského povrchu v oblasti Slovenska.
- Vybudovať absolútne gravimetrické body v blízkosti GNSS bodov na overenie vertikálnych pohybov.
- Realizovať permanentné GNSS meranie, opakované absolútne gravimetrické meranie, kontrolovať relatívnu vertikálnu stabilitu bodov pomocou presnej nivelácie a monitorovať hydrologické pomery v blízkom okolí bodov.
- Spracovať, zhodnotiť a vizualizovať dosiahnuté výsledky pre praktické potreby výstavby veľkých stavebných diel, prenos energií, pre ochranu životného prostredia a na realizáciu geodetických referenčných sietí.

Rozloženie bodov v monitorovacej sieti je znázornená na obr.6.



**Obr. 6** Monitorovacia sieť permanentných GNSS staníc v rámci projektu

Výsledky družicových meraní budú použité na určenie zmien polohy bodov a na stanovenie obsahu vodných pár nad územím Slovenska. V blízkosti GNSS bodov budú zriadené absolútne gravimetrické body na sledovanie zmien v tiažovom poli Zeme, ktoré umožnia určiť trendy vertikálnych zmien zemského povrchu. Výškový rozdiel medzi anténou GNSS. a značkou absolútneho gravimetrického bodu bude kontrolovaný pomocou presnej nivelácie. Namerané údaje budú spracované pomocou špeciálnych softvérov. Určené rýchlosti pohybov meraných bodov a ich zmeny budú analyzované za účelom objavenia ich príčin. Na základe

analýzy rýchlostných pohybov budú stanovené rizikové oblasti a ich charakteristiky, ktoré sa využijú pri projektovaní veľkých stavebných diel, zariadení na výrobu energie, pri transporte energií, v doprave pri výstavbe diaľnic, tunelov a pod.

## 4 ZÁVER

Vybudovanie národného centra na monitorovanie deformácií zemského povrchu vytvorí referenčný základ pre monitorovanie dynamiky zemského povrchu pre rôzne praktické účely. Výsledky získané v rámci projektu bude možné využiť aj pri realizácii trojrozmerných referenčných sietí, výškových referenčných sietí a gravimetrických referenčných sietí. Okrem toho referenčná geodynamická sieť slúžiť aj na monitorovanie zosuvov, stability technických diel ako sú vodné a atómové elektrárne, stabilita diaľničných úsekov, tunelov a pod. Objavovanie poznatkov o deformácii zemského povrchu nie ešte ukončené. Je potrebné sledovať vývoj v zahraničí a získané poznatky postupne dopĺňať do projektu, aby sa zachytili všetky javy ovplyvňujúce stabilitu zemského povrchu. Monitorovaním zmien zemského povrchu sa vytvorí priestor na objavenie špecifických súvislostí, ktoré budú zdrojom nového výskumu. Cieľom projektu je zachytiť a unifikovať poznatky na monitorovanie dynamiky zemského povrchu a poskytovať reálne výsledky o pohyboch zemskej kôry pre praktické aktivity ľudskej činnosti s minimálnymi finančnými nárokmi.

## PodĎakovanie

Autor ďakuje Agentúre Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR pre štrukturálne fondy EÚ a Slovenskej technickej univerzite v Bratislave za finančnú podporu Projektu ITMS 26220220108.

## LITERATÚRA

- Bruyninx, C., Altamimi, Z., Caporali, A., Kenyertes, A., Lidberg, M., Stangl, G., Terres, J.A. (2009): Guidelines for EURTEF Densifications. IAG sub-commission for the European Reference Frame-EUREF.
- Caporali A., et al. (2009): Surface kinematics in the Alpine-Carpathian-Dinaric and Balkan region inferred from a new multi-network GPS combination solution. *Tectonophysics*, volume 474, issue 1-2, year 2009, pp.295-321.
- Mojzeš M. (2010): Žiadosť o nenávratný finančný príspevok na projekt „Národné centrum diagnostikovania deformácií zemského povrchu na území Slovenska. Programovacie obdobie 2007-2013. Bratislava 2010.
- Mojzes M., Papco J., Valko M. (2009): Repeated Geodetic Measurements in the Tatra Mountain. N. Sneew et al. (eds.), VII Hotine Marussi Symposium on Mathematical Geodesy. IAG Sympopsia 137. Springer-Verlag Berlin Hheidelberg 2012 (v tlači).
- Paulson, A., Zhong, S., and Wahr, J.: Interference of mantle viscosity from GRACE and relative sea level data. *Geophys. J. Int.* (2007) 171, 497-508.
- Timmen L., et al. (2011): Observing Gravity Change in the Fennoscandian Uplift Arera with the Hanover Absolute Gravimeter. *Pure Appl. Geophys.* Springer Based AG.