

Karpatský polygon

Martin Lederer, Otakar Nesvadba, Juraj Kováčik, Géza Csapó

Zeměměřický úřad, Pod sídlištěm 9,
182 11, Praha 8, Česká republika
martin.lederer@iol.cz, nesvadba@bonbox.cz

Geodetický a kartografický ústav Bratislava, Chlumeckého 4,
827 45, Bratislava, Slovenská republika
[kovacic@gku.sk](mailto:kovacik@gku.sk)

Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, XIV. ker. Kolumbusz u. 17-23,
1145, Budapešť, Maďarsko
gcsapo@qwertynet.hu

Abstrakt. V rámci mezinárodní spolupráce byl v minulém století vybudován Karpatský geodynamický polygon pro sledování neslapových variací tíhového zrychlení. Karpatský polygon prochází třemi státy Polskem, Slovenskem a Maďarskem. Tíhový rozdíl koncových bodů dosahuje hodnoty 375 mGal¹. Karpatský polygon obsahuje řádově 40 bodů na kterých probíhala relativní a absolutní tíhová měření. Do této doby již proběhly čtyři plnohodnotné měřické etapy zaměřené relativními gravimetry, kterých se zúčastnilo mnoho gravimetrů z několika zemí. Na absolutních bodech bylo provedeno zpravidla několik opakovaných absolutních tíhových měření. Časové období bezmála padesáti let nám již dovoluje posoudit případné časové změny tíhového zrychlení na bodech polygonu. Dostupný měřický materiál byl zpracován jednotnou formou a výsledky jsou názorně prezentovány a diskutovány. Dále jsou navržena nová vylepšení tohoto ojedinělého středoevropského projektu, která by měla z Karpatského polygonu vytvořit moderní geodynamický projekt využívající nové měřické techniky pro sledování geodynamických změn v Karpatském regionu.

Klíčová slova: Polygon, tíhové zrychlení, geodynamika, základna

Annotation. The Carpathian polygon for monitoring of non-tidal gravity variations was established under the terms of an international co-operation in the last century. The Carpathian polygon crosses three countries Poland, Slovakia and Hungary. The gravity difference between end points reaches the value 375 mGal. The Carpathian polygon includes about 40 stations, where absolute and relative gravity measurements were performed. Four completed phases were done till now. A lot of gravimeters from various countries participated in measurements. Usually a few repeated absolute measurements were done at absolute stations. The long time interval (almost 50 years) allows

¹ 1 mGal = 10⁻⁵ ms⁻²

us to study potential time changes in gravity accelerations at stations of the Carpathian polygon. Available data were processed uniformly and results are illustratively presented and discussed. New proposals and improvements for this unique Central European project are suggested. These changes have to transform the Carpathian polygon to the modern European geodynamic project which takes advantage of new precise geodetic technique.

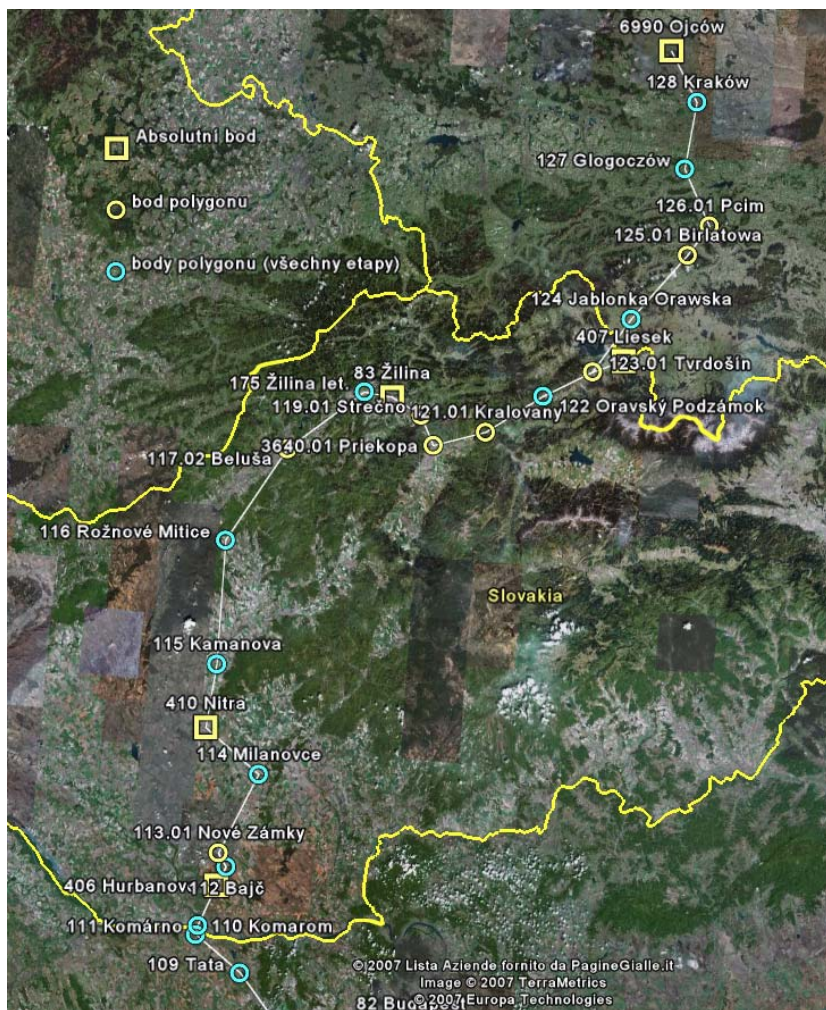
Keywords: Polygon, gravity acceleration, geodynamics, baseline

1 Úvod

V průběhu šedesátých letch byla na Slovensku vybudována gravimetrická základna Bajč – Vrútky v rámci komplexního geofyzikálního výzkumu zemské kůry a její dynamiky. Základna spojovala dvě zájmová území, oblast s vertikálním zdvihem na severu Slovenska a oblast výrazných poklesů na jihu Slovenska a zároveň procházela tektonicky aktivní oblastí [6]. Všechny body polygonu byly jednotně stabilizovány betonovým pilířem umístěným v úrovni terénu o rozměrech 60x60 cm, zapuštěným do hloubky 1m. Nultá etapa měření proběhla v roce 1967.

V následujících letech byl na základě mezinárodní spolupráce středoevropských států (tehdejší Československo, Polsko a Maďarsko) polygon rozšířen do Polska a Maďarska. V roce 1973 proběhlo první měření v plném profilu z Krakówa (Polsko) do Péce (Maďarsko). Základna v tomto rozsahu byla nazvána Karpatský polygon (KP).

Karpatský polygon vedoucí převážně v severo-j jižním směru má nyní asi 40 bodů a přibližný tíhový rozdíl je 375 mGal na přímou vzdálenost 700 km. KP dále obsahuje pět bodů na letištích 101 Pécs, 107 Budaörs, 113 Nové Zámky, 175 Žilina a 128 Kraków, které původně tvořily kostru polygonu. Funkci leteckých měření časem převzaly absolutní body. V roce 1978 byl Karpatský polygon rozšířen o absolutní body 81 Siklós, 83 Žilina a 84 Kraków a v dalších letech potom postupně o další absolutní body 82 Budapešť, 92 Madocsa, 406 Hurbanovo, 407 Liesek a 6990 Ojców.



Obr. 1a. Karpatský polygon – severní část (4. etapa)



Obr. 1b. Karpatský polygon – jižní část (4. etapa)

Měření v Karpatském polygonu je tedy kombinací relativních a absolutních měření, kdy v první etapě byly obsaženy pouze relativní měření.

Doba trvání tohoto ojedinělého geodynamického projektu (téměř 50 let) a množství dosavadních měření nám dávají šanci provést kvalifikovaně hodnocení naměřených dat. V naší práci se zaměříme především na

- dlouhodobé regionální změny
- negravitační změny tíhového pole
- zapojení nových měřických technik

Z tektonického hlediska prochází Karpatský polygon pěti hlavními územními bloky ohraničenými hlubinnými zlomy zasahujícími až do svrchního pláště. Podrobnější geologický rozbor je uveden např. v [2,12] nebo [6].

2 Měřická data

2.1 Relativní tíhová měření

Pro relativní měření bylo použito čtyřnásobné profilové metody charakterizované schématem A – B – A – B – A [7,11].

Dodnes byly zaměřeny čtyři plnohodnotné etapy:

1. etapa 1972/73 (11 gravimetrů, 246 DÚ²),
2. etapa 1978/79 (9 gravimetrů, 384 DÚ),
3. etapa 1988/89 (11 gravimetrů, 525 DÚ)
4. etapa 1997/99 (7 gravimetrů, 136 DÚ).

Na relativním tíhovém měření se podílelo postupně několik institucí z různých států:

- Zeměměřický úřad, Praha (Land Survey Office) - ZÚ ,
- Vojenský topografický ústav Dobruška (Topographic Institute VTOPÚ) ,
- Zentralinstitut für Physik der Erde, Potsdam (Central Institute for Physics of the Earth) – ZIPE ,
- Instytut Geodezji i Kartografii, Warszawa (Institute of Geodesy and Cartography) – IGiK ,
- Geodetický a kartografický ústav Bratislava (Geodetic and Cartographic Institute) – GKÚ ,
- Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, Budapest (Eötvös Loránd Geophysical Institute) – ELGI ,
- Geofyzikální ústav ČSAV, Praha (Geophysical Institute of the Czechoslovak Academy of Sciences) – GFÚ ČSAV ,
- Geodezja i Kartografia, Warszawa (Geodesy and Cartography) – GEOKART .

Relativní tíhová měření byla prováděna relativními gravimetry různých typů a konstrukcí. Byly použity gravimetry Gs12, Sharpe geodetického i prospekčního typu, Worden a LaCoste&Romberg typu G i D. Přehled použitých relativních gravimetrů je v následující tabulce.

² denní úsek

Tabulka 1. Seznam použitých relativních gravimetrů

typ gravimetru	číslo gravimetru
Gs 12	129, 162, 181,194
Sharpe G	174, 226, 280
Sharpe	181, 184, 197, 228, 256
Worden	923, 961, 968, 971, 978, 999, 1225
LCR G	176, 821, 963, 1011, 1068, 1919
LCR D	180

Přesnost relativních měření je proměnlivá a některá měření bylo vzhledem k jejich velkým chybám (hrubé chyby) nutno vyloučit. Pro gravimetr Gs12 č.162, který měřil v první etapě, byla z tohoto důvodu vyloučena všechna měření. Za nejspolehlivější se dají považovat měření gravimetru LaCoste&Romberg (LCR) ve 4. etapě

2.2 Absolutní tíhová měření

První absolutní měření na KP provedl v roce 1978 Institut Fiziki Zemli (*IFZ*) z tehdejšího Sovětského svazu. Měření se provádělo nesymetrickým balistickým gravimetrem GABL, a to na bodech 81 Siklós, 83 Žilina a 84 Kraków. Stejným přístrojem bylo měřeno v letech 1980, 1983, 1986 a 1987 na bodě Budapešť. Přesnost přístroje GABL lze dnes již obtížně stanovit, pokusíme se jí tedy odhadnout hodnotou 15 μGal v efektivní výšce gravimetru. V dalších letech se na absolutním měřením podílely následující instituce

- Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (*BEV*), Wien, gravimetrem JILAG-6,
- Defense Mapping Agency (*DMA*), USA, gravimetrem Axis FG5 č.107,
- Institut für Angewandte Geodäsie, (*IfAG*), Frankfurt a. M., gravimetrem FG5 č.101 (nyní Bundesamt für Kartographie und Geodäsie – BKG),
- Università di Trieste, (*UoT*), Italy, gravimetrem IMGC.
- Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický (*VÚGTK*), gravimetrem FG5 č.215.
- Warsaw University of Technology (*WUT*), gravimetrem FG5 č.230.

Přesnost absolutních gravimetrů JILAG-6 a FG5 č.101 a č.107 v době jejich měření můžeme charakterizovat přesností 5 μGal [8] v efektivní výšce příslušného gravimetru. Přesnost měření gravimetrem FG5 č. 215 a č.230 můžeme charakterizovat přesností 2 μGal [8] v efektivní výšce gravimetru. V následující tabulce je uveden chronologický přehled provedených absolutních měření na absolutních bodech Karpatkého polygonu.

Tabulka 2. Přehled absolutních měření

Bod		1978	1980	1983	1986	1987	1991	1993	1994	1995	1996	1997	2000	2003	2004	2006	2007
410	Nitra															VÚGTK	
406	Hurbanovo								DMA						VÚGTK		
83	Žilina	IFZ						BEV							VÚGTK	VÚGTK	
407	Liesek										DMA				VÚGTK		
82	Budapešť		IFZ	IFZ	IFZ	IFZ	BEV	DMA	DMA	DMA	DMA	UoT	I/AG				VÚGTK
92	Madocsa								DMA					BEV			
81	Siklós	IFZ					BEV			BEV							VÚGTK
84	Kraków	IFZ															
6990	Ojców										I/AG					WUT	WUT

Jako přesnost výsledné hodnoty tíhového zrychlení určené z měření absolutním gravimetrem v nulové hladině (zpravidla na zemi) stanovíme s uvažováním chyby vertikálního gradientu ($2 \mu\text{Gal/m}$ [8,9]) následující hodnoty

- Gravimetr GABLa IMGC 15 μGal ,
- Gravimetry JILAG-6, FG5 č. 101 a 107 5 μGal ,
- Gravimetry FG5 č. 215 a 230 3 μGal .

Některá starší měření, uvedená v tabulce 2, která z různých příčin nespĺovala potřebné požadavky na zde uvedenou přesnost, nebyla proto pro porovnání brána do úvahy.

3 Výpočty

Data z jednotlivých etap se liší především rozdílnou přesností gravimetrických měření, kdy relativní přesnost má s časem, vzhledem k použité měřické technice, vzestupnou tendenci. Podobné to je i s odhadem přesnosti starších absolutních měření

uvedeným v předchozí kapitole. Navíc před rokem 1978 jakákoli absolutní tíhová měření chybí. Ani potom ovšem nebyla provedená absolutní měření koordinována s měřeními relativními a neprobíhala pravidelně. Na většině absolutních bodů je pouze jedno nebo dvě absolutní měření. Nejvíce absolutních měření proběhlo na bodě 82 Budapešť. Do absolutních měření dále vstupuje nezanedbatelná chyba vertikálního gradientu tíže použitého při transferu hodnoty tíže z efektivní výšky absolutního přístroje do nulové hladiny (na zem) [8].

Vzhledem ke všem výše uvedeným důvodům, se jeví společné zpracování relativních a absolutních měření jako velmi obtížné, hodláme-li zachovat velký časový potenciál, který relativní měření poskytují. Tyto poznatky nás vedou k závěru, že relativní měření bude nejlépe zpracovat bez přímého vstupu absolutních měření a zároveň tak stejným způsobem pro všechny etapy. Absolutní měření zpracujeme odděleně a použijeme jej pro nezávislé srovnání s výsledky získanými z relativních měření.

3.1 Vyhodnocení relativních měření

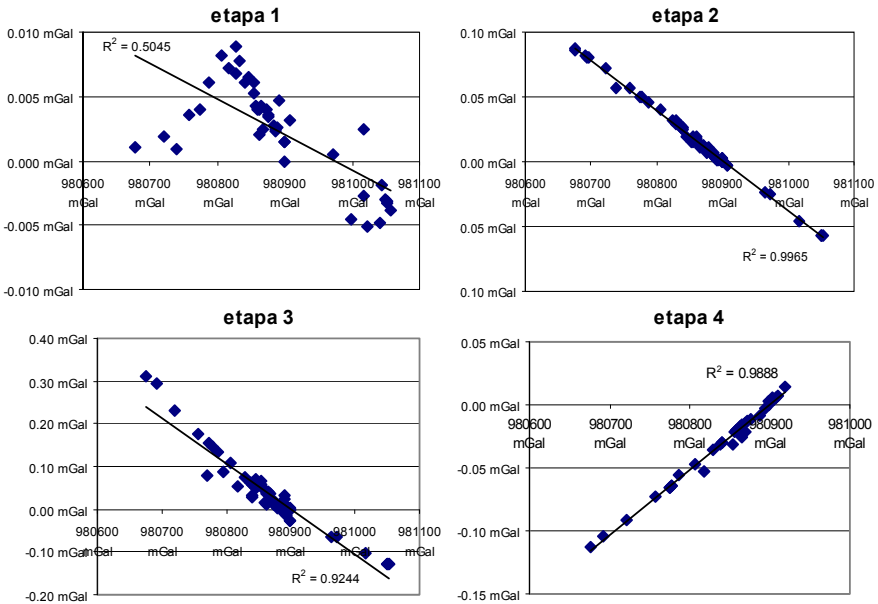
Pro zpracování jednotlivých etap použijeme všechna dostupná relativní tíhová měření dané etapy. O tíhových zrychleních na bodech KP nečiníme žádné předpoklady, jsme tedy nuceni zpracovat polygon jako tzv. volnou síť. Za těchto okolností nelze určit skutečnou hodnotu tíhového zrychlení, pouze vzájemné tíhové rozdíly bodů KP. Formálně byl pro zpracování všech etap stanoven pevný bod č. 175 Žilina letiště (zvoleno $g = 980899,440$ mGal).

Zajištění správného fyzikálního rozměru výsledků zpracování (tíhových rozdílů) zajišťují stanovené rozměrové koeficienty (RK) pro daný přístroj a rok. V našem případě, kdy nelze díky absenci pevných bodů v síti rozměr určit, byly převzaty hodnoty RK získané buď z měření přístroje na Hlavní gravimetrické základně [7] nebo, obecněji řečeno, ze zpracování dostupných měření daným přístrojem v daném roce. V případech kdy RK nebylo možno určit či dohledat, bylo stanoveno $RK=1$.

Pro zpracování dat relativní gravimetrie byl použit gravimetrický software [5] umožňující komplexní zpracování gravimetrického měření od polního zápisníku až po vytvoření rovnic oprav a následného vyrovnání celé sítě. Vyrovnání jsme provedli pro každou etapu nezávisle. Jako charakteristiky přesnosti jednotlivých etap uvedeme aposteriorní střední chyby jednoho měření v jednotlivých etapách: etapa 1 $m_0=0.023$ mGal, etapa 2 $m_0=0.019$ mGal, etapa 3 $m_0=0.020$ mGal, etapa 4 $m_0=0.014$ mGal. Na vývoji m_0 lze vidět postupně se zvyšující přesnost s epochou měření, kde tyto chyby poměrně dobře korespondují s přesností použitých přístrojů. V etapě 3 se přes značný počet měření a silnou redundanci na snížení přesnosti významně podílelo měření na jihu Maďarska, které oproti zbytku sítě vykazovalo značně vyšší šum. Mohlo by se zde jednat o poruchu přístroje nebo neodstraněný neznámý systematický efekt. Střední chyby na jednotlivých bodech z vyrovnání etapy vypovídají pouze o kvalitě tíhového rozdílu vůči bodu Žilina letiště. Nelze je tedy přímo použít k hodnocení spolehlivosti při určení časového vývoje a proto je zde neuvádíme.

Vzhledem k tomu, že etapy zahrnují striktně jen relativní tíhová měření, nemůžeme předpokládat nic o vzájemném tíhovém posunu mezi etapami tak, jako to lze provést u absolutních měření. Dále víme, že ne všechny rozměrové koeficienty přístrojů se

pořádalo spolehlivě určit či dohledat. Zejména v dřívějších letech (tedy i etapách) se spolehlivost RK snižuje. Vzniklou nejistotu v určení hladiny a rozměru celé vyrovnané sítě (etapy) se pokusíme v následujícím kroku eliminovat určením zbytkových rozměrových koeficientů aplikovaných na výsledky (tíhové rozdíly) každé konkrétní etapy. K aplikaci jednoduchého lineárního modelu nás opravňuje následující úvaha. Pokud měření polygonu probíhalo shodnou technologií a všemi přístroji na všech bodech, potom vliv chybného RK libovolného přístroje na výsledky vyrovnání bude s velkou přesností přímo úměrný velikosti tíhových rozdílů. Tvzení lze doložit i experimentálně. Obrázek 2. ukazuje srovnání výsledků vyrovnání dané etapy se zavedenými RK jednotlivých přístrojů a tímž vyrovnáním ve variantě s plošně stanoveným $RK=1$. Zejména na etapách 2., 3. a 4. je možno pozorovat silnou lineární korelaci rozdílu variant s hodnotou tíhového zrychlení. Očekáváme navíc, že zbytková chyba měřítka je po zavedení dostupných skutečných RK již velmi malá, což vliv případné nelinearity ještě více oslabí.



Obr. 2. Posouzení vlivu rozměrových koeficientů na výsledky vyrovnání (jednotlivé etapy)

Pro porovnání jednotlivých etap tedy můžeme vyjít z metodiky uvedené v [7]. Výsledky prvotního zpracování každé etapy formou vyrovnání volné sítě provedené postupem popsáním v předchozím odstavci dále opravíme o vliv neznámé tíhové hladiny a vliv nejistoty měřítka. Jako výchozí zde použijeme etapu 1, další etapy se

pokusíme k této etapě na společných (identických) bodech co nejlépe přimknout ve smyslu MNČ. Rovnice oprav tedy vytvoříme ve tvaru

$$v_{ij} = a_i + b_i g_{ij} - g_{1j} \quad i = 2,3,4 \text{ (číslo etapy)}, j = 1,2,\dots,18 \text{ (číslo bodu)}$$

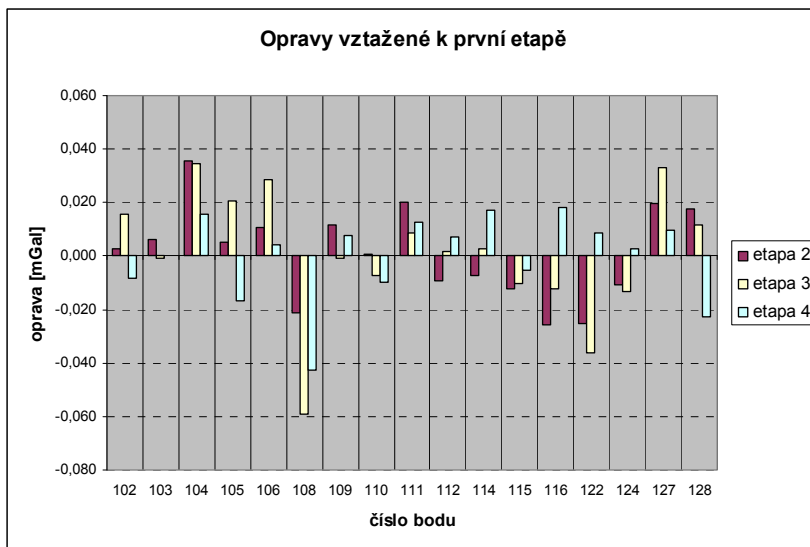
kde a_i neznámý posun i-té etapy,
 b_i neznámé měřítko i-té etapy,
 g_{1j} ...relativní tíže v 1. etapě z výsledků vyrovnání,
 g_{ij} ... relativní tíže v i-té etapě z výsledků vyrovnání.

Výsledky vyrovnání ukazuje souhrnně tabulka 3.

Tabulka 3. Výsledné relativní tíže ze společného vyrovnání jednotlivých etap na identických bodech

bod	etapa 1	etapa 2	etapa 3		etapa 4
			[mGal]		
102 Mecsekadasd	980721,338	980721,341	980721,354	980721,330	
103 Tolna	980757,823	980757,829	980757,822	980757,823	
104 Madocsa	980774,266	980774,302	980774,301	980774,282	
105 Dunaujvaros	980787,418	980787,423	980787,438	980787,401	
106 Ercsi	980805,783	980805,793	980805,811	980805,787	
108 Szaar	980828,488	980828,466	980828,429	980828,445	
109 Tata	980859,379	980859,391	980859,378	980859,387	
110 Komarom	980856,384	980856,385	980856,377	980856,375	
111 Komarno	980858,665	980858,685	980858,673	980858,678	
112 Bajc	980862,924	980862,915	980862,926	980862,931	
114 Milanovce	980875,489	980875,481	980875,491	980875,506	
115 Kamanova	980899,915	980899,903	980899,905	980899,910	
116 Rozn. Mitice	980898,871	980898,845	980898,858	980898,889	
122 Or. Podzamok	980853,841	980853,816	980853,805	980853,850	
124 Jablonka O.	980854,513	980854,503	980854,500	980854,516	
127 Glogoczow	981017,119	981017,139	981017,152	981017,129	
128 Krakow	981051,254	981051,272	981051,266	981051,231	
175 Žilina let.	980899,400	980899,382	980899,382	980899,401	

Opravy v_{ij} ze společného srovnání etap na identických bodech (obr. 3) můžeme současně chápat jako variace tíhového zrychlení na jednotlivých identických bodech vůči první etapě. Vzhledem ke způsobu zpracování podotkneme, že uváděné hodnoty nejsou v jednotkách tíhového zrychlení, ale v jednotkách jim blízkým.



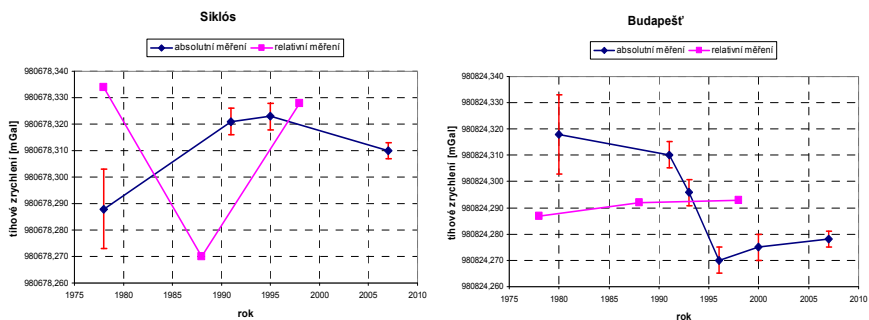
Obr. 3. Porovnání oprav z vyrovnání

Z výsledných hodnot nelze usuzovat na signifikantní trend změny tíhového zrychlení na bodech KP v průběhu posuzovaného období.

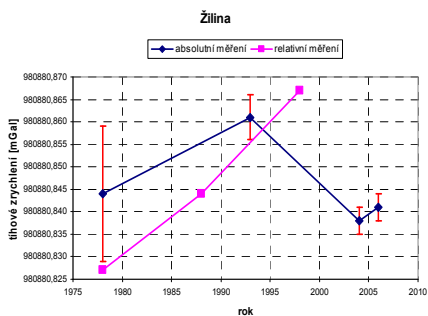
3.2 Vyhodnocení absolutních měření

Absolutní měření byla zpracována samostatně. Pro absolutní body, kde byl dostatečný počet abs. měření (alespoň dvě), bylo provedeno srovnání výsledných hodnot tíhového zrychlení. Chybové úsečky v grafech (obr. 4. až obr. 7.) představují odhad střední chyby abs. měření (kapitola 2.2).

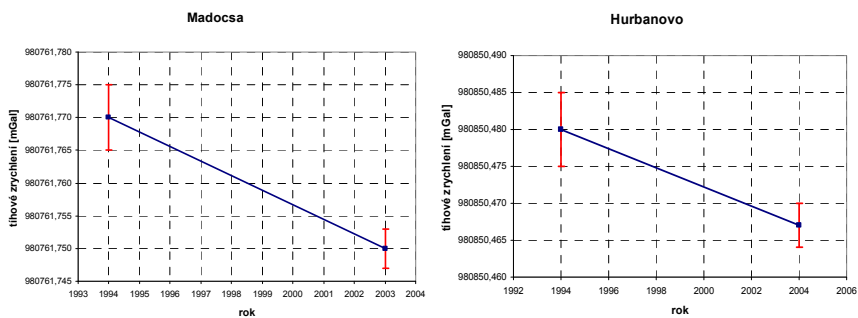
Časový průběh změn (nebo alespoň trend) na těchto bodech můžeme dále porovnat s výsledky získanými z relativních měření. Hodnoty tíhového zrychlení určené pro absolutní body z relativních měření jsou určeny společným vyrovnáním všech etap (kapitola 3.1). Pro každou etapu byl vypočten posun a měřítko, které minimalizují opravy oproti první etapě. Výsledky tedy nejsou v jednotkách tíhového zrychlení, ale v jednotkách jim blízkým. Pro porovnání s hodnotami absolutních měření (pouze body 81 Siklós, 82 Budapešť a 83 Žilina) jsou tyto výsledky přibližně převedeny do absolutní hladiny a jednotek tíhového zrychlení. Výsledky relativních měření zakomponované do časových řad absolutních měření potom slouží k vizualizaci a srovnání případného trendu.



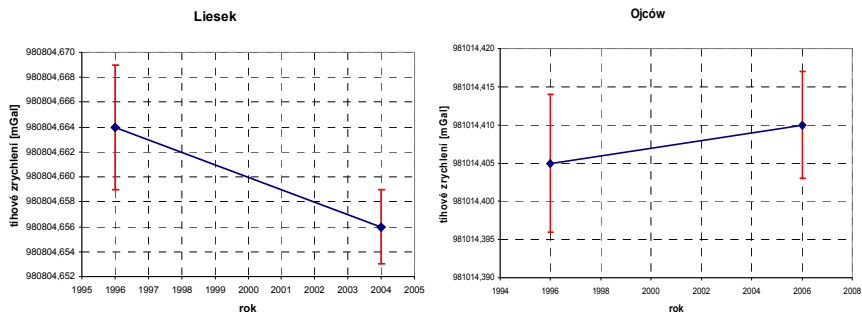
Obr. 4. Absolutní body 81 Siklós a 82 Budapešť



Obr. 5. Absolutní bod 83 Žilina



Obr. 6. Absolutní body 92 Madocsa a 406 Hurbanovo



Obr. 7. Absolutní body 407 Liesek a 6990 Ojców

4 Závěry

Při hodnocení výsledků měření jsme se museli nejprve vypořádat s problémem nekonzistence dat. Při vyrovnání gravimetrické sítě je nutné definovat její hladinu a rozměr. V prvních etapách Karpatského polygonu měla tuto funkci plnit alespoň částečně letecká měření. Dnes se měřítka a rozměry sítě řeší využitím absolutních bodů. První měřická etapa ovšem není na žádné absolutní body napojena. Druhá a třetí etapa může využít absolutních měření provedených abs. gravimetrem GABL [1], kde je ovšem velice těžké posoudit relevantnost tehdejších výsledků. Navíc absolutní měření na bodech Karpatského polygonu neprobíhala pravidelně, často je k dispozici pouze jedna nebo dvě hodnoty, které se časově nekryjí s průběhem relativních měření. Tím se zapojení absolutních bodů do celkového vyrovnání, za účelem geodynamického výzkumu, ukazuje jako nepříliš vhodné. Došlo by tím ke zpracování dat z nestejných časových období a tím bychom ztratili výhodu právě velkého časového intervalu relativního měření. Jestliže jsme tedy chtěli přistupovat ke každé etapě stejně, museli jsme jednotlivé etapy vyrovnat jako volnou síť, kde přibližné měřítka sítě je dáno nařízenými rozměrovými koeficienty gravimetrů a hladina sítě je relativně vztažena k bodu 175 Žilina let.

Z výsledků není možno vysledovat jednoznačný trend, který by nás opravňoval vyvodit jednoznačné závěry o případných posunech. Zpracování relativních měření ukázalo poměrně velké změny tíhového zrychlení na některých bodech polygonu (např. Madocsa, Szaar). V těchto změnách však není možno vidět statisticky věrohodný trend, opravy se spíše zdají náhodného charakteru a budou způsobeny pravděpodobně chybami měření. Je vidět, že přesnost relativních měření dosavadních etap a absence relevantních abs. měření nedostačuje k podchycení vertikálních změn v řádu centimetrů ($1 \text{ cm} \approx 3 \mu\text{Gal}$), které je možné v dané lokalitě očekávat.

Proto, abychom dostali kvalitativně lepší výsledky (tíhové zrychlení v abs. systému) a zároveň je mohli zasadit do časového rámce, je nutné koordinovat absolutní a relativní měření pro danou etapu. Z tohoto hlediska bude přínosné zpracování 5.

etapy, jejíž zaměření právě probíhá a kde jsou výše uvedené požadavky téměř splněny. Chceme-li ovšem dosáhnout co nejlepší přesnosti, potřebné pro geodynamické účely, je nutné ke Karpatskému polygonu přistupovat z hlediska požadavků na moderní geodynamickou síť.

Abychom dosáhli nejlepší možné přesnosti absolutních bodů (3 μGal v nulové hladině [8]) je nutné využívat absolutních přístrojů, které se zúčastňují pravidelných mezinárodních srovnávacích měření a je u nich zaručená minimální systematická chyba. Rovněž je na absolutních bodech nutné znát vertikální gradient s přesností alespoň 2 $\mu\text{Gal}/\text{m}$. Neméně důležité je sledovat hydrologické podmínky v okolí abs. bodu, kdy tyto změny mohou dosahovat hodnot významně přesahujících samotnou přesnost měření [4]. Poté je možné dosáhnout absolutní přesnosti tíhových měření (v daném čase) vyjádřené ve vertikální složce hodnotou 1-2cm. Pro ověření dosažených výsledků by bylo vhodné využít dalších přesných geodetických metod, jako např. GNSS, nebo přesné nivelace.

Reference

- [1] Arnautov, G.P. - Boulanger, Yu. D. - Kalish, E.N. - Koronkevitch, V. P. - Stus, Yu. F. - Tarasyuk, V. G. : *GABL - an Absolute Free-fall Laser Gravimeter. Metrologia*, 19, 1983, s. 49 - 55.
- [2] Diviš, K. - Csapó, G. - Kováčik, J.: *Gravity Measurements at Carpathian Gravity Line 1967-1999, Vojenský topografický obzor*, Praha 2002.
- [3] Francis, O. - van Dam, T. et al.: *Results of the International Comparison of Absolute Gravimeters in Walferdange (Luxembourg) of November 2003. Gravity, Geoid and Space Missions, GGSM 2004 Porto*, International Association of Geodesy Symposia, Volume 129, pp. 272-275.
- [4] Harnisch, M. - Harnisch, G.: *Seasonal Variations of Hydrological Influences on Gravity measurements at Wettzell. Mares Terrestres d'Informations. No. 137*, pp. 10849-10861.
- [5] Kostelecký, J.: *Zpracování gravimetrických měření, vyrovnání denního úseku a vyrovnání gravimetrické sítě středního rozsahu v prostředí IBM-PC (verze 1.3)*. Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, Zdíby. Výzkumná zpráva č.995/99.
- [6] Kvitkovič, J. - Vanko, J.: *Recentní vertikální pohyby Západných Karpát pre epochu 1951-1976. Geografický časopis*, 42, 1990, No.4, pp.345-356.
- [7] Lederer, M.: *Hlavní gravimetrická základna, Geodetický a kartografický obzor*, 48 (90), 2002, č. 3, s. 45-52.
- [8] Lederer, M. – Pálinskáš, V. – Kostelecký, J.: *Opakovaná absolutní měření v České gravimetrické síti, Geodetický a kartografický obzor*, 52 (94), 2006, č. 6, s. 101-109.
- [9] Lederer, M. – Pálinskáš, V.: *Precise determination of vertical gravity gradients in the Czech Gravity Network, XXIV IUGG General Assembly, Perugia 2007*, Poster.

- [10] Olejník, S.: *Vývoj gravimetrických základů na území České republiky*. Zeměměřický úřad, Praha 1997.
- [11] Olejník, S. - Diviš, K.: *Tíhový systém 1995 na území České Republiky*. *GaKO*, 48(90), 2002, č. 8, s. 145-161.
- [12] Šimon, Z. - Träger, L.: *Polygons for Studying the Secular Variations of the Acceleration of Gravity on the Territory of Czechoslovakia*. *Upper Mantle Project Programme in Czechoslovakia 1962-1970*. Academia, NČSAV 1971, pp. 51-53.