

## МНОГОГОДИШНИ ГРАВИМЕТРИЧНИ ИЗМЕРВАНИЯ НА КРУПНИШКИЯ ПОЛИГОН

**Ради Радичев<sup>1</sup>, Емил Михайлов<sup>2</sup>, Димитър Димитров<sup>2</sup>, Християн Цанков<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София, [radirad@mgu.bg](mailto:radirad@mgu.bg)

<sup>2</sup> Национален институт по геофизика, геодезия и география - БАН, 1700 София, [emil\\_mih@abv.bg](mailto:emil_mih@abv.bg)

**РЕЗЮМЕ.** Дадени са резултати от многогодишни гравиметрични измервания на Крупнишкия полигон, извършени, както по еднократна методика с по-голям брой контролни точки, така и по методиката тройна стъпка (двоен възел) с различни видове гравиметри. При 4 епохи на измерване, гравиметрите са еталонирани на Софийския гравиметричен полигон и Калибровъчната линия на БАН, а при две епохи - на НЕГП (Национален еталонен гравиметричен полигон). От резултатите от еталониране на НЕГП се вижда, че същият е изменил еталонните си значения след 2003 година под въздействието на различни геодинамични процеси. Необходимо е еталонните полигонали, изцяло или частично да се преизмерват през 5 години с абсолютни гравиметри. Резултатите от извършените до сега многогодишни гравиметрични измервания в района на Крупник, също така ни показват какво е състоянието на част от гравиметричната апаратура в България, за да може същата да се използва за геофизични и геодезични цели.

**Ключови думи:** Крупнишки разлом, гравиметрия, геодезия, геодинамика, геофизика

### LONG-STANDING GRAVIMETRIC MEASUREMENTS OF THE KRUPNIK POLYGON

**Radi Radichev<sup>1</sup>, Emil Mihaylov<sup>2</sup>, Dimitar Dimitrov<sup>2</sup>, Christian Tzankov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> University of Mining and Geology „St. Ivan Rilski“, 1700 Sofia, [radirad@mgu.bg](mailto:radirad@mgu.bg)

<sup>2</sup> National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography – BAS, [emil\\_mih@abv.bg](mailto:emil_mih@abv.bg)

**ABSTRACT.** The paper presents the long term results of gravity measurements of the Krupnik polygon performed on the one hand by a single step methodic comprising larger number of control points and on the other triple step methodic (double knot) with different types of gravimeters. During four epochs the gravimeters were calibrated on Sofia's gravimetric polygon and BAS's Calibration profile. While in another two epochs they were calibrated on the National Reference Gravimetric Polygon (NRGP). The results from the NRGП calibration show that its reference values have changed after 2003, probably under the influence of influence of various geodynamic processes. Therefore, it is necessary the reference polygons to be partly or fully re-measured by using absolute gravimeters every five years. The results from the long-standing gravity measurements around Krupnik region also show us in what condition part of the available in Bulgaria gravimetric equipment is.

**Keywords:** Krupnik fault, gravimetry, geodesy, geodynamics, geophysics

### Общи положения

При профилна снимка, а също и при площна снимка, измерванията на гравиметричните точки се извършват по еднократна методика. Тя е най-производителна и най-малко надеждна по отношение на качеството. При извършване на измерванията отсъства текущ контрол и отделните точки, а може и участъци от рейса да бъдат деформирани заради изместване на нулата на гравиметъра. Затова се правят допълнителни контролни измервания по точките от около 10% от общият им брой. По тези допълнителни измервания се изчисляват средните квадратни грешки от наблюдение. По-големи разлики в гравиметричния рейс от допустимите е необходимо да се бракуват. Трябва рейсовите да се включват в опорни точки, измерени по тристъпкова (двоен възел) методика. Необходимо и обезателно е при еднократни измервания да се използват 2 гравиметъра, като по този начин се получават по 2 „Δg“ на точка, а на опорните и контролните точки по 4 и повече „Δg“. Ако се използва 1 гравиметър е необходимо гравиметричните измервания да се извършат по еднократна методика с повторения на всички точки т.е.

да имаме по 2 „Δg“ на точка, а на опорните и контролните по 3 или 4 „Δg“.

### Изместване на „нулата“ на употребяваните в България кварцови гравиметри от вида ГАК-7Т, ГР/К2, ГНУ-КВ и ГНУ-КС

Нестабилността на хода на нулите на гравиметрите зависи от температурния хистерезис, проявяващ се в несъвпадане ходовете на температурните характеристики в прав и обратен ход на изменение на температурата, които могат да достигнат до милигали. Причини за такова съвпадане са пространствените градиенти на температурата и различие в температурните характеристики на отделните възли в кварцовите системи. Определянето на температурния хистерезис може да стане по специална програма на наблюдение с гравиметрите. Необходимо е да се знае, че при вакуумиран корпус на гравиметъра се изменя вида на температурната характеристика и температурния хистерезис. Действителното изместване нулите на гравиметрите има сложен характер и не може да

бъде прогнозирано напълно. Вълнообразното изменение на нулите на гравиметрите с време даже до 1 час е обусловено от процесите на поляризация на кварцовите системи. Замяната на вълнообразната линия на изместване на нулевата точка с права, както се практикува в гравиметрията е малко приблизително и довежда до понижаване точността на резултатите при високоточни гравиметрични измервания. Обикновено наблюденията с различни статични гравиметри са съпроводени с големи систематични разхождания на резултатите между тях (Михайлов, 1998). Понеже наблюденията с два и повече гравиметъра се провеждат по едно и също време и при едни и същи условия, разликите имат систематичен и случаен характер и са свързани с техническите особености на приборите и с микросейсмиката създавана от движещите се превозни средства в близост до гравиметричните точки. Разликите между приборите са обусловени и от криволинейното изместване на нулите им и от колебание на мащабните коефициенти на отчетните устройства от транспортиране на гравиметрите.

### **Използване на гравиметри от вида ГАК-7Т, ГР/К2, ГНУ-КВ и ГНУ-КС за гравиметрични снимки в Република България**

Тези гравиметри може да се прилагат за детайлни, регионални и маршрутни (профилни) снимки с разстояния между точките от десетки метри до 10-15 km и повече. Основни части на всеки гравиметър са: измерителна част със собствения корпус на гравиметъра и външния корпус с топлозащитния стълб за пренасяне на гравиметъра. Цялата измерителна част е поместена в съда на Дюар, обезпечаващ надеждна защита на системата от резки температурни изменения на обкръжаващата среда. В гравиметъра е монтиран температурен компенсатор, действащ ефективно в диапазон на температурите от  $-15^{\circ}$  до  $+15^{\circ}\text{C}$  от точката на пълна температурна компенсация. Средната им грешка на измерване се колебае от  $\pm 0,030$  до  $\pm 0,060$  mGal, а при гравиметър ГНУ-КВ тя е до  $\pm 0,030$  mGal. Гравиметрите на НИГаФ – ЕООД с номера 1514, 689 и 1388, както и гравиметъра на УАСГ номер 524, бяха със специално изготвени кварцови системи в Гравиметричната лаборатория гр. Бургас от С. В. Вереда. Такива системи се изготвяха за всички гравиметри в наличност на Геофизичните предприятия. Тези системи са с по-висока чувствителност и точност на отчета около 0,010 mGal. Модернизирването на тези системи се състои в свеждане до минимум величината на пълзене на нулевата точка, неутрализация (йонизация) на електростатическите заряди, съществена компенсация на температурните влияния и премахване на вредни колебания на махалото на системата. Затова при тези гравиметри, може би е по-добре, да се използват мащабните коефициенти получени на специални полигони, а не в лабораторни условия в предвид на това, че системите на тези гравиметри видимо изменят своите свойства след като бъдат изведени от състояние на покой (т.е. при транспортиране с автомобил). Най-добре е калибрирането (еталонирането) на тези гравиметри да се извършва преди започване на гравиметричните измервания и след завършването им. Калибрирането на гравиметрите до 2004 година се

извършва в Гравиметричната лаборатория на НИГаФ, както по метода на наклона (Михайлов, 2012, Радичев и др., 2013), така и на Софийския гравиметричен полигон. Извършва се сравняване на мащабните коефициенти при двата метода.

### **Гравиметрични измервания в района на Крупнишкия разлом**

Измерванията в района на Крупнишкия разлом са извършени през годините 2004, 2007, 2008, 2009, 2012 и 2013. През 2004 и 2007 години измерванията са извършени с гравиметър ГАК-7Т № 524, собственост на УАСГ София. От Минно-геоложкия университет бяха използвани два гравиметъра ГР/К2 № 1319 и ГНУ-КВ № 296, с които бяха извършени измерванията през 2008 г. Всичките горепосочени гравиметри са проверени и еталонирани на Софийския еталонен гравиметричен полигон и на Калобровъчната линия на БАН.

През месец април 2009г. се извършиха измервания на Крупнишкия разлом с гравиметри от Минно-геоложкия университет ГР/К2 № 1319 и ГНУ-К2 № 138. Те също бяха проверени на Софийския еталонен полигон и на Калибровъчната линия на БАН в края на месец март 2009г. През 2012г. измерванията на полигона са извършени с 3 гравиметъра - от УАСГ 2 гравиметъра ГАК-7Т № 524 и ГАК-7Т № 71 и 1 гравиметър на фирма „Геохайд“ ГНУ-КС № 588. През 2013г. измерванията са извършени с 1 гравиметър на УАСГ, а именно ГАК-7Т № 524. Еталонирането на гравиметрите през 2012 и 2013 г. е извършено на НЕГП (Национален еталонен гравиметричен полигон) Видин-Мелник. Гравиметричните измервания на Крупнишкия полигон през 2004, 2007 и 2013г. са извършени по еднократна методика с повторения на почти всички точки и с контролни точки А-1-2-3-4-5-3-2-А-1-2-3-4-5 за реперите от първия профил и тройна стъпка А-1-А-1-2-1-2..., за реперите от втория профил. През 2008, 2009 и 2012г. измерванията са извършени по еднократна методика с контролни точки А-1-2-3-4-А-2-4 за реперите на първи профил и тройна стъпка А-1-А-1-2-1-2... за втори профил. Средната квадратна грешка при първите две епохи на измерване се колебае от  $\pm 0,031$  до  $\pm 0,120$  mGal, а за третата епоха средната квадратна грешка на измерване е в границите от  $\pm 0,019$  до  $\pm 0,138$  mGal за гравиметър № 1319 и от  $\pm 0,028$  до  $\pm 0,099$  mGal за гравиметър № 296. За четвъртата епоха средната квадратна грешка за гравиметър № 1319 е от  $\pm 0,025$  до  $\pm 0,178$  mGal, а за гравиметър № 138 се колебае в границите от  $\pm 0,024$  до  $\pm 0,264$  mGal. За епоха 2012 средната квадратна грешка за гравиметър ГАК-7Т № 524 е до  $\pm 0,299$  mGal, за гравиметър ГАК-7Т № 71 до  $\pm 0,337$  mGal и за гравиметър ГНУ-КС № 588 е до  $\pm 0,288$  mGal, от еднократни измервания с контролни точки с трите гравиметъра. Измерванията с 3 гравиметъра по методиката тройна стъпка се колебаят от  $\pm 0,020$  до  $\pm 0,250$  mGal. През епоха 2013 средните квадратни грешки на измерванията извършени с гравиметър ГАК-7Т № 524 се колебаят от  $\pm 0,040$  до  $\pm 0,310$  mGal за двете методики на измерване. От експериментални гравиметрични измервания по линии от Държавната нивелация на Република България, извършени с гравиметри собственост на Минно-геоложкия университет и

УАСГ са получени резултати, които показват, че изместването на нулевата точка на гравиметрите е линейно до 1 или 2 часа. От Таблица 1 (Радичев и др., 2013; Ценков и др., 2011) се вижда, че до около 1 час гравиметричните измервания не се повлияват съществено от приливните изменения на силата на тежестта, и същите не се включват отделно при обработка на гравиметричните измервания. Изчислява се изместването на нулевите точки

на гравиметрите от по-голям брой опорни и работни гравиметрични точки. Както се вижда от таблица 1, средните квадратни грешки на звено от 7 до 8 репера, измерено за около 1 час или 1 час и 35 минути са до  $\pm 0,100$  mGal. При времетраене над 2 – 3 часа средните грешки скачат под и над  $\pm 0,300$  mGal. До около 1 час или 2 часа изместването на нулите на гравиметрите може да се счита за линейно.

Таблица 1.

Ср. квадр. грешка	Време на измерване	Брой репера	Гравиметри номера	Собственост на приборите
$\pm 0,002$	0 часа 40 мин.	4	ГР/К2 № 138	МГУ
$\pm 0,016$	0 часа 42 мин.	4	ГAK-7T № 524	УАСГ
$\pm 0,055$	0 часа 53 мин.	5	ГР/К2 № 138	МГУ
$\pm 0,024$	0 часа 50 мин.	5	ГНУ-КВ № 296	МГУ
$\pm 0,097$	0 часа 47 мин.	5	ГР/К2 № 138	МГУ
$\pm 0,072$	0 часа 45 мин.	5	ГAK-7T № 524	УАСГ
$\pm 0,016$	1 час 10 мин.	7	ГAK-7T № 524	УАСГ
$\pm 0,088$	1 час 12 мин.	7	ГР/К2 № 138	МГУ
$\pm 0,074$	1 час 12 мин.	7	ГAK-7T № 524	УАСГ
$\pm 0,055$	1 час 10 мин.	7	ГAK-7T № 71	УАСГ
$\pm 0,077$	1 час 20 мин.	8	ГAK-7T № 524	УАСГ
$\pm 0,055$	1 час 22 мин.	8	ГAK-7T № 71	УАСГ
$\pm 0,086$	1 час 30 мин.	8	ГAK-7T № 524	УАСГ
$\pm 0,097$	1 час 35 мин.	8	ГAK-7T № 71	УАСГ
$\pm 0,099$	2 часа 40 мин.	13	ГНУ-КВ № 296	МГУ
$\pm 0,285$	2 часа 45 мин.	13	ГР-К2 № 138	МГУ
$\pm 0,295$	2 часа 45 мин.	15	ГAK-7T № 524	УАСГ
$\pm 0,289$	2 часа 47 мин.	15	ГAK-7T № 71	УАСГ
$\pm 0,237$	2 часа 56 мин.	17	ГAK-7T № 524	УАСГ
$\pm 0,376$	3 часа 00 мин.	17	ГAK-7T № 71	УАСГ
$\pm 0,337$	3 часа 50 мин.	21	ГAK-7T № 524	УАСГ
$\pm 0,312$	3 часа 50 мин.	21	ГР/К2 № 138	МГУ

### Систематични и инструментални грешки от измерванията на Крупнишкия полигон

Грешките от измерване, произхождащи от определен източник и имащи закономерен характер, се наричат систематични грешки. Грешките, обусловени от неточността на инструмента, се наричат инструментални грешки. От Таблица 2 се вижда, че разликите в „g“ на реперите между различните години на измерване, с различни инструменти се колебаят различно при измерванията, както по еднократната методика с контролни точки, така и при тристъпковата методика на Крупнишкия полигон. По големите разлики в „g“ от над  $\pm 0,40$  mGal при измерванията, през различните години са на брой 10. Останалите 163 репера са под тази точност. Гравиметричната снимка за карта аномалия Буге в мащаб 1:200 000 трябва да е с точност на измерване до  $\pm 0,40$

mGal (Юзефович, Огородова, 1980). Тази снимка, задачата, на която е откриването на геологически обекти в райони, перспективни на полезни изкопаеми, се нарича търсеща снимка. И от нея се съставят карти на аномалии Буге в мащаби 1:200 000 – 1:100 000 със сечение 1-2 mGal. Следователно данните от Таблица 2 свидетелстват за наличието на определени инструментални грешки за различните гравиметри, с които е измерван полигонът през различните години. Към инструменталните грешки спадат:

- изместване на нулевата точка;
- температурни влияния;
- нелинейност на скалата на гравиметъра;
- ексцентрицитет на микрометъра;
- пренастройване на диапазона;
- грешки, зависещи от оператора.

## Изводи

Мащабните коефициенти на гравиметрите, с които са извършени измерванията през 2012 и 2013г., са получени от еталониране на НЕГП (Национален еталонен гравиметричен полигон) Видин – Мелник. След 1986г. НЕГП не е преизмерван и е възможно, макар и минимално изменение на еталонните отсечки от геодинамичните процеси в този район. Това се вижда от Таблица 3, където имаме по 5 стойности на  $\delta g$  по-големи от  $\pm 0,200$  mGal от разликите SR.g-2012 и SR.g-2013, т.е. от средната

стойност на „g” от измерванията на всички епохи, минус „g” за всяка епоха. Тъй като точността на Еталонната гравиметрична мрежа е под  $\pm 0,200$  mGal за „g” (Михайлов, 1998) е приета тази точност, защото и двата хода са привързани към точките от Еталонната мрежа в Благоевград, Кресна и Разлог. Гравиметрична точка 1042 /Гара Пирин/ е унищожена и затова в Таблица 3 е записано „не”. Необходимо е, при следващи измервания на полигона, гравиметрите да се калибрират (еталонират) на Софийския полигон или на Калибровъчната линия на БАН. Еталонните отсечки на част от Софийския полигон и на

Таблица 2.

g.t.	$\delta g$ [mGal]										
	2007-2004	2008-2004	2009-2004	2012-2004	2013-2004	2013-2007	2013-2012	2012-2009	2009-2008	2008-2007	2007-2004
1001	-0,02	0,09	-0,02	-0,17	-0,03	-0,01	0,14	-0,15	-0,11	0,11	-0,02
VNR83	-0,12	-0,08	-0,21	0,36	<b>0,58</b>	<b>0,70</b>	0,22	<b>0,57</b>	-0,13	0,04	-0,12
VNR371	0,26	0,25	0,25	-0,01	0,30	0,04	0,31	-0,26	0,00	-0,01	0,26
1004	0,32	<b>0,46</b>	-0,05	-0,39	0,31	-0,01	<b>0,70</b>	-0,34	<b>-0,51</b>	0,14	0,32
1005	0,15	0,21	-0,13	<b>-0,43</b>	0,10	-0,05	<b>0,53</b>	-0,30	-0,34	0,06	0,15
R0	-0,10	0,00	-0,19	0,02	0,15	0,25	0,13	0,21	-0,19	0,10	-0,10
1047	-0,05	0,04	-0,10	0,05	0,29	0,34	0,24	0,15	-0,14	0,09	-0,05
NR114	-0,20	-0,18	-0,06	-0,28	-0,09	0,11	0,19	-0,22	0,12	0,02	-0,20
R7	-0,17	0,05	-0,17	-0,05	-0,01	0,16	0,04	0,12	-0,22	0,22	-0,17
R8	-0,26	-0,21	-0,20	-0,12	-0,11	0,15	0,01	0,08	0,01	0,05	-0,26
R10	0,13	0,09	0,08	0,11	-0,25	-0,38	-0,36	0,03	-0,01	-0,04	0,13
1040	0,24	0,01	0,17	0,10	-0,03	-0,27	-0,13	-0,07	0,16	-0,23	0,24
1042	-0,03	0,11	0,02	0,03	унищожен	унищожен	унищожен	0,01	-0,09	0,14	-0,03
2008	0,08	-0,01	-0,22	-0,40	-0,06	-0,14	0,34	-0,18	-0,21	-0,09	0,08
2014	-0,27	-0,18	0,03	-0,38	0,13	0,40	<b>0,51</b>	<b>-0,41</b>	0,21	0,09	-0,27
2020	-0,07	0,04	-0,02	-0,20	-0,21	-0,14	-0,01	-0,18	-0,06	0,11	-0,07

Таблица 3.

SR.g-2004 [mGal]	SR.g-2007 [mGal]	SR.g-2008 [mGal]	SR.g-2009 [mGal]	SR.g-2012 [mGal]	SR.g-2013 [mGal]
-0,025	-0,005	-0,115	-0,005	0,145	0,005
0,088	0,208	0,168	<b>0,298</b>	<b>-0,272</b>	<b>-0,492</b>
0,175	-0,085	-0,075	-0,075	0,185	-0,125
0,108	<b>-0,212</b>	<b>-0,352</b>	0,158	<b>0,498</b>	<b>-0,202</b>
-0,017	-0,167	<b>-0,227</b>	0,113	<b>0,413</b>	-0,117
-0,020	0,080	-0,020	0,170	-0,040	-0,170
0,038	0,088	-0,002	0,138	-0,012	<b>-0,252</b>
-0,135	0,065	0,045	-0,075	0,145	-0,045
-0,058	0,112	-0,108	0,112	-0,008	-0,048
-0,150	0,110	0,060	0,050	-0,030	-0,040
0,027	-0,103	-0,063	-0,053	-0,083	<b>0,277</b>
0,082	-0,158	0,072	-0,088	-0,018	0,112
не	не	не	не	не	не
-0,102	-0,182	-0,092	0,118	<b>0,298</b>	-0,042
-0,112	0,158	0,068	-0,142	<b>0,268</b>	<b>-0,242</b>
-0,077	-0,007	-0,117	-0,057	0,123	0,133

Калибровъчната линия на БАН са измерени през 2007г. с компютризиран гравиметър Scinygex CG-5 и затова тези данни са по-меродавни от еталонните отсечки от НЕГП измервани до 1986 г. Мащабните коефициенти, определени на Софийския еталонен гравиметричен полигон и на Калибровъчната линия на БАН, са еднакви в рамките на точността за останалите епохи на измерване на Крупнишкия полигон, а те са 2004, 2007, 2008 и 2009. Тези коефициенти, определени както на НЕГП, така и на Софийския полигон и Калибровъчната линия са с относителна грешка до  $1 \times 10^{-4}$ , спрямо еталонните отсечки. Както се вижда, сложен е въпросът с еталонните полигони, доколко те задават с най-високо достижима точност мащабните коефициенти на гравиметрите. Без да се знаят параметрите на нестабилност на гравитационното поле в районите на НЕГП, на Софийския полигон и на Калибровъчната линия на БАН, е много трудно да се оцени фактическа им точност. Необходимо е преизмерването на еталонните полигони или част от тях да става за период по-малък от 10 години, например през 5 години чрез абсолютни гравиметри. Абсолютните гравиметри засега осигуряват точност  $\pm 2-3 \mu\text{Gal}$  на „g“, която е напълно достатъчна за определяне на мащабните коефициенти на гравиметрите с относителна грешка от порядъка на  $1 \times 10^{-4}$ . От резултатите от измерванията, извършени през различните епохи се вижда, че инструменталните грешки през различните години на измерване на VNR83 са по-големи, понеже измерванията се извършват направо върху земната повърхност, тъй като няма бетонна площадка и шосето Видин-Кулата е на около 10 m от репера, при което се усеща сеизмиката от движещите се превозни средства. Реперите 1004 и 1005 са на гарите Симитли и Черниче (Крупник), около които има голямо движение на превозни средства и хора. Също по-големи разлики през годините има и на репер 2014 (голям мост над река Еловица) от натовареното движение на превозни средства по пътя

Симитли-Предела-Банско. Тези по-големи разлики през различните епохи на измерване ясно се виждат от Таблица 2. Резултатите от извършените до сега многогодишни гравиметрични измервания в района на Крупник, показват какво е състоянието на част от гравиметричната апаратура в България, за да може същата да се използва за геофизични и геодезични цели.

## Литература

- Михайлов, Е. Анализ на еталонната гравиметрична мрежа на Република България. – *Год. на УАСГ – София*, т. XXXIX, св. III, 1998. - 233–240.
- Михайлов, Е. Резултати от промяна мащабните коефициенти във времето на статичните кварцови гравиметри използвани в Република България. – *Геодезия, картография, земеустройство*, 5-6, 2012. - 21-23.
- Радичев, Р., Е. Михайлов, Н. Кирилов. Методика на наблюденията при профилни гравиметрични снимки по линии от Държавната нивелация на Република България. – *Год. МГУ „Св. Ив. Рилски“*, т. 56, св. I, Геол. геоф. 2013. - 112-117.
- Ценков, Ц., Т. Беляшки, Е. Михайлов. Получаване на гравиметричните поправки по линии от държавната нивелация на Р. България. – *Докл. на XI международна научна конф. ВСУ „Любен Каравелов“ от 2 до 3 юни 2011, София*, т. II, VI-13 – VI-18. 2011.
- Юзефович, А. П., Л. В. Огородова. *Гравиметрия*. М., Недра, 1980. - 320 с.

Статията е рецензирана от проф. д-р Стефан Димовски и е препоръчана за публикуване от кат. "Приложна геофизика".