

Геол. ан. Балк. пол. Ann. Géol. Penins. Balk.	59	2	431-440	Београд, децембар 1995 Belgrade, Decembre 1995
--	----	---	---------	---

УДК 550.831:551.43(497.11-15)

Оригинални научни рад

КОРЕЛАЦИЈА ГРАВИМЕТРИЈСКИХ АНОМАЛИЈА СА РЕЉЕФОМ НА ТЕРЕНУ БАЈИНА БАШТА

од

Мирослава Старчевића *

У раду је приказан поступак за рачунање степена корелације између гравиметријских (Бугеових) аномалија добијених за различите густине и рељефа терена у ширем региону хидросистема Бајина Башта. Ова корелација има велики значај за одређивање око избора густине терена, што је важан параметар за правилно тумачење аномалија гравитационог поља.

Коришћен је принципијелни метод Нетлтопа за корелацију висина тачака мерења и вредности срачунатих аномалија гравитационог поља за више различитих густина, а степен корелације одређен је математичким методама.

Поступак је потпуно прилагођен за рад на персоналним рачунарима уз максимално коришћење графичких могућности (колор монитор, принтер, плотер).

Кључне речи: густина, корелација, Бугеова аномалија, рељеф, гравиметрија.

УВОД

Примењена гравиметријска испитивања изводе се у циљу проналажења лежишта минералних сировина, затим за откривање празних простора (пећина и кверни) у кречњачким теренима, као и за специјалне радове у археологији код откривања покривених старих објеката.

Приликом ових радова, обзиром да је од пресудног значаја разлика у густини између објекта који се истражује и околне средине, велику улогу има правилно одређивање густине стенског материјала јер је то параметар који великим делом дефинише облик гравиметријске аномалије. При томе, уколико се густина не одреди правилно, гравиметријска аномалија имаће облик који се корелише са рељефом терена, чиме се знатно отежава истраживање узрочника аномалије.

У досадашњој пракси, густина је одређивана на више начина: на основу узорака са терена, по методи Нетлтона (која ће бити детаљније описана у овом раду), или једноставним усвајањем података о густини на основу елемената са геолошке

* Рударско-геолошки факултет, Бушина 7, Београд.

карте увидом у литологију степске формације на којој су вршепа истраживања.

Метода Нетлтона за одређивање густине терена, заснива се на корелацији облика рељефа терена на коме се врше испитивања и облика гравиметријске аномалије на том истом терену. Ова метода користи се често у пракси, али је њена примена сведена на релативно скромне оквире обзиром на могућности које пружа. Наиме, наведена корелација изводи се обично за поједине делове терена и најчешће само визуелно, без математичких показатеља.

У овом раду, приказан је поступак утврђивања корелације између облика рељефа терена и гравиметријске аномалије, заснован на математичким принципима уз одређивање коефицијента корелације за цео испитивани простор. На основу тога, добијају се параметри за правилно одређивање густине терена са којом ће бити рачунате Бугеове аномалије.

МЕТОДА НЕТЛТОНА

Као коначни резултат гравиметријских испитивања, добија се Бугеова аномалија која се дефинише изразом:

$$\Delta g_b = g_m - g_n + (0.3086 - 0.0419\sigma)h + \Delta g_t \quad (1)$$

где је: Δg_b – Бугеова аномалија;

g_m – мерена вредност убрзања силе теже;

g_n – нормална вредност убрзања силе теже;

σ – густина терена;

h – апсолутна висина тачке посматрања и

Δg_t – поправка за околни рељеф, зависи такође од густине σ .

Као што се из израза (1) може видети, на једној тачки посматрања могуће је срачунати Бугеову аномалију за више различитих густина јер су све остале вредности константне (мерена и нормална вредност убрзања силе теже и висина).

За добро дефинисање узрочника аномалије, потребно је изабрати правилну густину површинског слоја терена јер ће у супротном облик аномалије бити у корелацији са рељефом терена, што је неповољно за добро тумачење резултата испитивања.

Метода Нетлтона управо дефинише поступак одређивања праве густине терена на основу корелације између облика рељефа и гравитационих аномалија, при чему је добра она густина за коју аномалија има најслабију корелацију са топографијом.

На основу овакве поставке методе, јасно је да се она може применити само у теренима са израженим рељефом јер у равничарским теренима не постоје промене у висини, па самим тим било које промене аномалије неће имати никакву корелацију са висином. Са друге стране, у равничарским теренима облик аномалије неће се мењати са променом густине са којом су те аномалије рачунате, тако да и по том основу нема смисла применити методу Нетлтона (Старчевић, 1991).

На терену Бајина Башта, рељеф терена је изузетно изражен, при чему су висинске разлике на релативно малим растојањима врло велике, што је врло неповољно за гравиметријски премер.

РАЧУНАЊЕ КОЕФИЦИЈЕНТА КОРЕЛАЦИЈЕ

Две физичке величине могу бити математички корелисане без обзира на њихову природу и бројну вредност. Тако, на пример, две појаве p и q дате у низу дискретних вредности од 1 до n , имаће коефицијент корелације:

$$R_{p,q} = \frac{\sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})(q_i - \bar{q})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (q_i - \bar{q})^2}} \quad (2)$$

где \bar{p} и \bar{q} означавају средње вредности величина p и q респективно.

Вредност коефицијента R креће се у распону од -1 до $+1$ при чему негативна вредност представља обрнуту, а позитивна директну корелацију. Корелација је утолико боља уколико је коефицијент R ближи јединици.

За потребе примене израза (2) на рачунарима, погодније је користити трансформисану формулу у облику:

$$R_{p,q} = \frac{\sum_{i=1}^n p_i q_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i \sum_{i=1}^n q_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n p_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n p_i)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n q_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n q_i)^2}} \quad (3)$$

У овом изразу не појављују се средње вредности што значи да се иззови p_i и q_i директно читају и врши се одмах рачунање.

РЕЗУЛТАТИ ПРИМЕНЕ

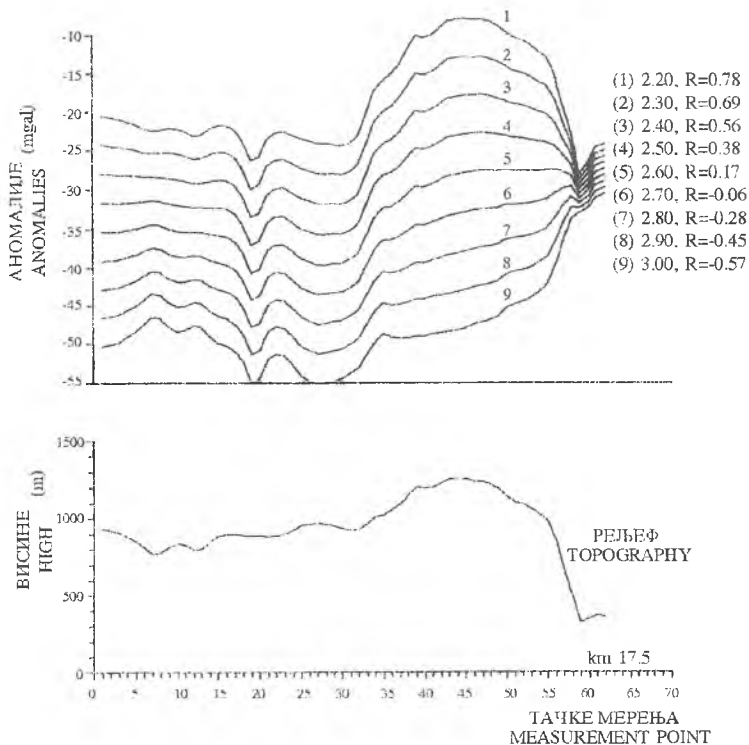
Рачунање коефицијента корелације између облика рељефа терена и гравиметријске (Бугеове) аномалије биће приказано на примеру истраживања на ширем простору хидросистема Бајина Башта у западној Србији.

Гравиметријска мерења на терену Бајина Башта изведена су у циљу корелације са резултатима геодетског премера, а ради дефинисања померања тектонских блокова у том подручју.

Бугеове аномалије рачунате су са 9 различитих густина од 2.20 g/cm^3 до 3.00 g/cm^3 са интервалом од 0.10 g/cm^3 . На слици 1 приказана је топографска терена дуж профила 1 и Бугеове аномалије дуж истог профила са 9 наведених густина. Коефицијенти корелације аномалија са рељефом, рачунати су по формули (3) и означени су на слици 1 поред одговарајуће криве Бугеових аномалија.

Крива Бугеових аномалија са густином 2.20 g/cm^3 има велики коефицијент корелације (0.78), док крива аномалија са густином 3.00 g/cm^3 има такође велики коефицијент корелације, али са обрнутим знаком (-0.57). Најмању корелацију

аномалија са рељефом има крива са густином 2.70 g/cm^3 (-0.06), што значи да је за тај део терена наведена густина најпогоднија.



Сл. 1. Рељеф терена и Бугеове аномалије на профилу 1.

Fig. 1. Topography and Bouguer anomalies in profile 1.

У табелн 1 приказани су коефицијенти корелације за 8 профила за густине 2.20 g/cm^3 , 2.40 g/cm^3 , 2.70 g/cm^3 и 3.00 g/cm^3 .

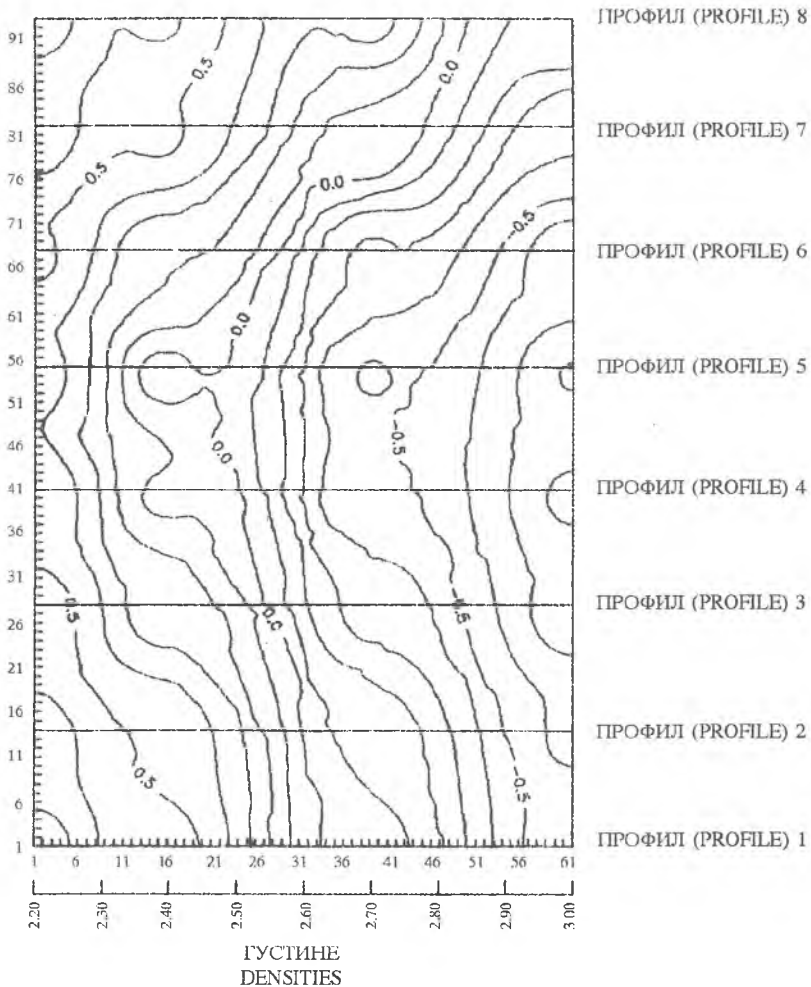
Табела 1. Коефицијенти корелације

Table 1. Correlation coefficient

Профил (Profile)	Густине (Densities) (g/cm^3)			
	2.20	2.40	2.70	3.00
8	0.77	0.62	0.34	-0.10
7	0.68	0.52	0.10	-0.40
6	0.52	0.20	-0.32	-0.70
5	0.45	0.49	-0.51	-0.81
4	0.50	0.08	-0.50	-0.83
3	0.58	0.25	-0.32	-0.77
2	0.68	0.50	-0.10	-0.62
1	0.78	0.56	-0.06	-0.57

На слици 2 приказана је карта расподеле коефицијената корелације на основу интерполације између наведених осам профила чији је положај приказан па истој

слици. Може се уочити да за јужни (доњи) део терена одговара густина од око 2.70 g/cm^3 , за средшњи део терена најпогоднија је густина 2.40 g/cm^3 , док је за северни (горњи) део терена одговарајућа густина од близу 3.00 g/cm^3 . Разлог овоме је различита геолошка ситуација на појединим деловима терена, што има велики значај код интерпретације резултата гравиметријских испитивања.



Сл. 2. Карта расподеле коефицијената корелације
 Fig. 2. Correlation coefficient distribution map.

Сва рачунања приказана у овом раду, вршена су на персоналном рачунару РС-386 са математичким копроцесором. Програми су писани у FORTRAN-у, а графика је рађена у програмима GRAPHER и SURPHER.

ЗАКЉУЧАК

У раду је приказан метод за рачунање степена корелације између облика рељефа терена на коме се врше гравиметријска мерења и гравитационих (Бугеових) аномалија добијених у процесу обраде резултата мерења. Примењен је принципно јелни метод Нетлтона за одређивање ове корелације, при чему се на основу слабије корелације добија податак за одређивање око избора густине са којом ће бити рачунате Бугеове аномалије.

Методологија је примењена на терену Бајина Башта. Резултати показују да овакав приступ даје врло корисне податке за одређивање густине терена на коме се врше гравиметријска мерења, за разлику од ранијих приступа када је то рађено углавном визуелно и према искуственој процени.

Рачунања су изведена на персоналном рачунару уз коришћење програмских пакета за графичку презентацију резултата.

Геол. ан. Балк. пол. Ann. Géol. Penins. Balk.	59	2	431-440	Београд, децембар 1995 Belgrade, Decembre 1995
--	----	---	---------	---

UDC 550.831:551.43(497.11-15)

Original scientific paper

GRAVITY ANOMALIES AND TOPOGRAPHY CORRELATION FOR BAJINA BAŠTA REGION

by

Miroslav Starčević*

A method is presented for calculation of correlation stage between gravity (Bouguer) anomalies, obtained for different densities, and topography in the general area of Bajina Bašta Hydrosystem. This correlation is very important for selecting the density – an important parameter for correct interpretation of gravity field anomalies.

The Nettleton method is used to correlate heights of the measuring points and calculated gravity anomalies for different densities, and mathematical methods for the correlation stage.

The method is adapted for use of personal computers and maximum graphical presentation (colour monitor, printer, plotter).

Key words: density, correlation, Bouguer anomaly, topography, gravimetry.

INTRODUCTION

The applied gravimetric survey was used in search of mineral deposits, location of empty spaces (caves, caverns) in limestones, and in archeology for detection of covered antiquities.

Because there is a difference in densities between the explored body land the environmental rocks, it is very important to establish correctly the density of rocks as it is a parameter generally defining the form of the gravity anomaly. If not correctly established, the gravity anomaly will have the shape conformable with the local topography and thus render difficult the identification of the source of the anomaly.

The methods used so far to determine densities have been either the Nettleton method based on field samples (described below) or the mere use of density data from geological map which shows the lithology of the explored formation.

* University of Belgrade, Faculty of Mining and Geology, Džušina 7, Belgrade.

The Netleton method is based on correlation of the topography and the form of gravity anomaly for the same area. The method is frequently used, but its effects are modest, because it is applicable to some areas only and mostly visually, without mathematical support.

Correlation between land configuration and gravity anomaly, based on mathematical principles, and derivation of correlation coefficient for the entire study area, presented in this paper, are used to correctly establish the densities for calculation of Bouguer anomaly.

NETLETON METHOD

Bouguer anomaly, as a final result of gravity measurements, is defined by the relation:

$$\Delta g_b = g_m - g_n + (0.3086 - 0.0419\sigma)h + \Delta g_t \quad (1)$$

where, Δg_b is Bouguer anomaly,

g_m is measured value of gravity,

g_n is normal value of gravity,

σ is ground density,

h is altitude of observation point, and

Δg_t is correction for surrounding topography, also depending on density σ .

As shown in relation (1), in one observation point, Bouguer anomaly can be calculated for a number of different densities, because other quantities are constant (measured and normal gravities and height).

For a proper definition of the source of anomaly, the right density of the surface layer should be selected. Otherwise, the shape of the anomaly will be correlative with the topography and thus unsuitable for interpretation of the resulting data.

The Netleton method defines the procedure for establishing the right ground density based on the correlation between land configuration and gravity anomalies. The right density is one for which the anomaly is least correlative with the topography.

Thus defined method can be used only in regions of high relief, because differences in levels are negligent in plains and, consequently, any change in anomaly will not be correlative with the height. On the other hand, the shape of an anomaly in a plain will not vary with the density used to calculate the anomaly, which makes Netleton method inapplicable (Starčević, 1991).

CALCULATION OF CORRELATION COEFFICIENT

Two physical quantities can be mathematically correlated irrespective of their nature or numerical value. Thus, for example, two occurrences, p and q , given in a sequence of discrete values from 1 to n , will have the following correlations:

$$R_{p,q} = \frac{\sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})(q_i - \bar{q})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (q_i - \bar{q})^2}} \quad (2)$$

where, \bar{p} and \bar{q} are mean values of the quantities p and q , respectively.

Coefficient R varies in value from -1 to $+1$, the negative value representing the reciprocal, and positive the direct correlation. A correlation is as good as the coefficient R is close to the unit.

For use of relation (2) in computerized calculations, its transformed formula is more suitable:

$$R_{p,q} = \frac{\sum_{i=1}^n p_i q_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i \sum_{i=1}^n q_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n p_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n p_i)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n q_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n q_i)^2}} \quad (3)$$

The above relation includes mean values, which means that series p_i and q_i are directly read for calculation.

APPLICATION RESULTS

A calculation of the correlation coefficient of land configuration and gravity (Bouguer) anomaly will be presented on the example of the general Bajina Bašta Hydro-sytem area, western Serbia.

Gravities were measured in Bajina Bašta for correlation with geodetic survey data to be used in estimates of the tectonic block displacements.

Bouguer anomalies were calculated with nine different densities, from 2.20 g/cm^3 to 3.00 g/cm^3 at an interval of 0.10 g/cm^3 . Figure 1 shows the topography along profile 1 and Bouguer anomalies along the same profile with nine densities. Coefficients of the anomaly and the topography correlations were calculated using formula (3) and are given for respective Bouguer anomalies in Fig. 1.

The curve of Bouguer anomaly with density 2.20 g/cm^3 has a high correlation coefficient (0.78), whereas the curve of anomaly with density 3.00 g/cm^3 also has a high correlation coefficient but negative sign (-0.57). The lowest correlation of anomaly and topography (-0.06) is shown by the curve with density 2.70 g/cm^3 , which means that this density was the best for the given area.

Correlation coefficients for eight profiles and densities 2.20 g/cm^3 , 2.4 g/cm^3 , 2.70 g/cm^3 , and 3.00 g/cm^3 are given in Tab. 1.

Figure 2 shows the correlation coefficient distribution map, based on interpolation between the mentioned eight profiles, also shown in the figure. The respective densities

corresponding to the southern (lower), middle, and northern (upper) part of the study area are about 2.70 g/cm^3 , 2.40 g/cm^3 and 3.00 g/cm^3 , depending on the geological situation, which is important for interpretation of the gravity measurement results.

All calculation in this paper were performed on PC-386 and the attached mathematical coprocessor. The programs used are written in FORTRAN language, and the graphics are in GRAPHER and SURPHER programs.

CONCLUSION

A method is described how to calculate the correlation stage between the topography of the area where gravity has been measured and the gravity (Bouguer) anomalies obtained by measurements. The principal method applied is Nettleton method of correlation, which uses a weak correlation in selecting the density for calculation of Bouguer anomaly.

The method was used for Bajina Bašta area, and the results show that this approach provides very useful data for establishing the densities in the area of gravity measurements, unlike the earlier visual and subjective assessment.

Calculations were performed on a personal computer using program for graphical representation of results.

ЛИТЕРАТУРА – REFERENCES

Старчевић М. (=Starčević), 1991: Гравиметријске методе истраживања – Наука, 237 стр., Београд.