

# THỬ NGHIỆM VIỆC MỞ RỘNG BÀI TOÁN NGƯỢC XÁC ĐỊNH ĐỘ SÂU ĐÁY BỀ TRẦM TÍCH ĐỂ XÁC ĐỊNH ĐỘ SÂU CỦA MÓNG CÓ CẤU TRÚC DẠNG VÒM

**Đỗ Đức Thanh**

*Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học QGHN*

Đến Tòa soạn ngày 5/11/2009

## 1. MỞ ĐẦU

Thăm dò trọng lực là một trong những phương pháp nghiên cứu cấu trúc bên trong Trái Đất, cấu tạo địa chất, tìm kiếm và thăm dò các loại khoáng sản... Đặc biệt, để xác định độ sâu tới móng kết tinh, một nhiệm vụ quan trọng trong việc xác định cấu trúc sâu của trái đất, phương pháp trọng lực cho phép thu được kết quả với độ chính xác cao và giá thành rẻ.

Để giải quyết vấn đề này, nhiều nhà địa vật lí trên thế giới đã đưa ra các phương pháp khác nhau, trong đó phương pháp cực tiểu hóa phiếm hàm có điều chỉnh quá trình hội tụ nghiệm là một phương pháp được sử dụng thông dụng hơn cả. Ưu điểm của phương pháp này là cho độ chính xác cao nhưng thuật toán của nó khá phức tạp và quá trình xử lí còn phụ thuộc quá nhiều vào việc lựa chọn thông số điều chỉnh [6, 7]. Trong bài báo này, chúng tôi tiến hành việc cải tiến một thuật toán khá đơn giản của Bott [3] áp dụng trong việc xác định độ sâu của bề trầm tích nhằm xác định độ sâu tới móng kết tinh có cấu trúc dạng vòm với hi vọng giảm thiểu được sự phức tạp trong quá trình tính toán nhưng vẫn thu được độ chính xác cao của nghiệm. Các kết quả thử nghiệm thuật toán được tiến hành trên các mô hình số

## 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

### 2.1. Mô hình hóa việc giải bài toán ngược hai chiều xác định độ sâu ranh giới phân chia mật độ có cấu trúc dạng vòm

Việc giải bài toán ngược nhằm xác định độ sâu tới ranh giới phân chia mật độ có cấu trúc dạng vòm được thực hiện như sau:

Xem hiệu ứng trọng lực gây ra bởi ranh giới phân chia mật độ như hiệu ứng được gây ra bởi đa giác  $N$  đỉnh trong đó đỉnh thứ  $1$  và  $N$  nằm trùng với mặt dưới xem là độ sâu trung bình mà trên đó có sự thay đổi cấu trúc của móng, các đỉnh còn lại có tọa độ ngang trùng với vị trí của các điểm quan sát trên tuyến và có tọa độ thẳng đứng chính là độ sâu tới mặt trên của móng, ta xác định được dị thường trọng lực của ranh giới phân chia mật độ theo công thức xác định dị thường gây ra bởi đa giác (1) và (2) [6] rồi sử dụng nó như dị thường quan sát đưa vào chương

trình thực hiện quá trình lựa chọn để xác định độ sâu tới ranh giới. Việc so sánh kết quả thu được với mô hình đã đưa ra sẽ cho ta rút ra kết luận về độ chính xác của phương pháp.

$$\begin{aligned}
 dg_i = & 2f \{ \sigma(o) . A [ \sin i_k \ln ( r_{k+1} / r_k ) - \cos i_k ( \theta_{k+1} - \theta_k ) ] \\
 & + (a/2)(z_{k+1} - z_k) \sin i_k - (a/2) A^2 [ \cos 2i_k \ln(r_{k+1}/r_k) \\
 & - \sin 2i_k ( \theta_{k+1} - \theta_k ) ] - [ \sigma(o) ( z_{k+1} \theta_{k+1} - z_k \theta_k ) - (a/2) \\
 & ( z_{k+1}^2 \theta_{k+1} - z_k^2 \theta_k ) \} \tag{1}
 \end{aligned}$$

$$\Delta g ( 0,0 ) = \sum_{i=1}^N dg_i(0,0) \tag{2}$$

trong đó  $dg_i$  và  $\Delta g ( 0,0 )$  tương ứng là hiệu ứng trọng lực của cạnh thứ  $i$  của cả đa giác, còn:

$$\begin{aligned}
 \sin i_k &= (z_{k+1}) / \sqrt{(z_{k+1} - z_k)^2 + (x_{k+1} - x_k)^2} \\
 \cos i_k &= (x_{k+1} - x_k) / \sqrt{(z_{k+1} - z_k)^2 + (x_{k+1} - x_k)^2} \\
 A &= x_k \sin i_k - z_k \cos i_k; \quad r_k^2 = x_k^2 + z_k^2 \\
 \theta_k &= \pi/2 - \arctg(x_k/z_k) \quad \text{khi } z \neq 0 \\
 &= \pi/2(1 - |x_k|/|z_k|) \quad \text{khi } z = 0
 \end{aligned}$$

với  $x_k, z_k$  là các tọa độ nằm ngang và thẳng đứng của các đỉnh đa giác.

Quá trình lựa chọn dừng lại khi sai số bình phương trung bình giữa dị thường quan sát và tính toán nhỏ hơn sai số cho phép hoặc số lần lựa chọn vượt quá số lần lựa chọn đã được định trước. Giả sử mật độ dư của lớp phủ trầm tích bên trên móng thay đổi theo độ sâu theo quy luật hàm mũ  $\sigma = \sigma_0 e^{-\lambda z}$ , đánh giá ban đầu về độ sâu tới ranh giới phân chia mật độ được biến đổi từ phương pháp xác định độ sâu tới đáy bề trầm tích của Bott [3] như sau:

$$z_i = Z - \frac{g_{qs}(i)}{2\pi f \sigma(0)} \quad \text{khi } \lambda = 0 \tag{3}$$

hoặc:

$$z_i = Z - (1/\lambda) \ln [ 1 + \lambda g_{qs}(i) / 2\pi f \sigma(0) ] \quad \text{khi } \lambda \neq 0 \tag{4}$$

trong đó:  $i = 1, 2, \dots, N$  là số thứ tự các điểm quan sát trên tuyến;  $g_{qs}(i)$  là dị thường trọng lực quan sát tại điểm thứ  $i$  trên tuyến;  $g(i)$  là dị thường trọng lực tính toán tại điểm thứ  $i$  trên tuyến;  $Z$  là độ sâu trung bình mà trên đó có sự thay đổi cấu trúc của móng.

Kí hiệu  $dg_i$  là độ lệch giữa dị thường quan sát và tính toán tại điểm thứ  $i$  trên tuyến. Độ lệch này được sử dụng để thay đổi độ sâu của ranh giới sau mỗi lần lựa chọn:

$$dz_i = \frac{dg_i}{2\pi f \sigma(0)} \quad \text{khi } \lambda = 0 \tag{5}$$

hoặc:

$$dz_i = \frac{dg_i}{2\pi f \sigma(0) \exp(-\lambda z)} \quad \text{khi } \lambda \neq 0. \tag{6}$$

Tốc độ hội tụ của phương pháp được xác định qua việc tính sai số bình phương trung bình giữa dữ thường quan sát và tính toán sau mỗi lần chọn .

## 2.2. Mô hình hóa việc giải bài toán ngược ba chiều xác định độ sâu của ranh giới phân chia mật độ có cấu trúc dạng vòm

Trong trường hợp này, việc giải bài toán ngược cũng được thực hiện theo phương pháp lựa chọn. Đánh giá tiên nghiệm về độ sâu tới ranh giới phân chia mật độ được biến đổi từ phương pháp đánh giá độ sâu trực tiếp của Bott [3]. Nếu kí hiệu  $(i, j)$  là tọa độ tâm của lăng trụ thứ  $i, j$  thì

$$Z(i, j) = Z - \frac{g_{obs}(i, j)}{2\pi f \sigma(0)}. \quad (7)$$

Sau khi tìm được  $Z(i, j)$  tiên nghiệm, xem chúng là độ sâu tới ranh giới phía trên của các lăng trụ mà móng được chia ra, bằng cách lấy tổng hiệu ứng trọng lực gây ra bởi các lăng trụ này theo công thức (8) [5], ta xác định được dữ thường trọng lực  $g(i, j)$  tại tất cả các điểm  $(i, j)$  trên mặt phẳng quan sát.

$$\begin{aligned} dg(x, y) = f a_0 & \left| \left| \left| z \cdot \arctg \frac{XY}{zR} + \frac{X}{2} \ln \frac{R-Y}{R+y} + \frac{Y}{2} \ln \frac{R-X}{R+X} \right| \right|_{X=X_1}^{X_2} \left| \right|_{Y=Y_1}^{Y_2} \left| \right|_{z=Z_1}^{Z_2} \\ & + f a_1 \left| \left| \left| \frac{z^2}{2} \arctg \frac{XY}{zR} - \frac{X^2}{2} \arctg \frac{Y \cdot z}{XR} \right. \right. \\ & \quad \left. \left. - \frac{Y^2}{2} \arctg \frac{X \cdot z}{YR} + XY \ln(2R + 2z) \right| \right|_{X=X_1}^{X_2} \left| \right|_{Y=Y_1}^{Y_2} \left| \right|_{z=Z_1}^{Z_2} \\ & + f a_2 \left| \left| \left| \frac{z^3}{3} \arctg \frac{XY}{zR} - \frac{X^3}{3} \ln \frac{R-Y}{R+Y} - \frac{Y^3}{6} \ln \frac{R-X}{R+X} + \frac{2}{3} XYR \right. \right. \\ & \quad \left. \left. \left| \right|_{X=X_1}^{X_2} \left| \right|_{Y=Y_1}^{Y_2} \left| \right|_{z=Z_1}^{Z_2} \right. \end{aligned}, \quad (8)$$

trong đó:  $X_1 = x + T$ ;  $X_2 = x - T$ ;  $Y_1 = y + W$ ;  $Y_2 = y - W$ ;  $R = \sqrt{X^2 + Y^2 + z^2}$ ;  $f$  là hằng số hấp dẫn;  $Z_1, Z_2$  tương ứng là độ sâu đến đỉnh và đáy lăng trụ,  $T$  và  $W$  tương ứng là nửa bề rộng của lăng trụ theo các trục  $x$  và  $y$ .

Chênh lệch giữa dữ thường quan sát và dữ thường tính toán được sử dụng để điều chỉnh độ sâu của các lăng trụ, tức là điều chỉnh độ sâu tới ranh giới phân chia mật độ sau mỗi lần lựa chọn

$$\Delta Z(i, j) = \frac{g_{obs}(i, j) - g(i, j)}{2\pi f \sigma(z)} \quad (9)$$

với  $\sigma(z) = a_0 + a_1 z + a_2 z^2$  là quy luật thay đổi của mật độ dư của lớp phủ trầm tích bên trên móng.

Quá trình lựa chọn cũng được dừng lại khi sai số bình phương trung bình giữa dữ thường quan sát và tính toán nhỏ hơn sai số cho phép hoặc số lần lựa chọn vượt quá số lần lựa chọn cho trước

### 3. MÔ HÌNH HÓA VÀ CÁC KẾT QUẢ TÍNH TOÁN

Trên cơ sở thuật toán giải bài toán ngược của Bott xác định độ sâu tới ranh giới phân chia mật độ, chúng tôi tiến hành việc giải các bài toán ngược hai và ba chiều nhằm xác định độ sâu của ranh giới trên các mô hình hai và ba chiều cụ thể, trong đó, dị thường trọng lực của ranh giới được xấp xỉ bởi dị thường trọng lực của một đa giác N cạnh. Tuy nhiên, khác với trường hợp xác định dị thường của ranh giới, đa giác được xấp xỉ ở đây là đa giác có đáy phẳng.

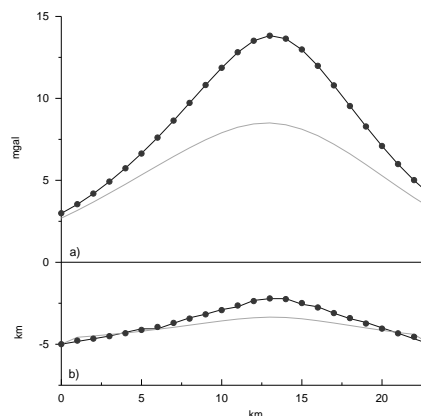
#### 3.1. Mô hình bài toán hai chiều

##### 3.1.1. Các thông số của mô hình

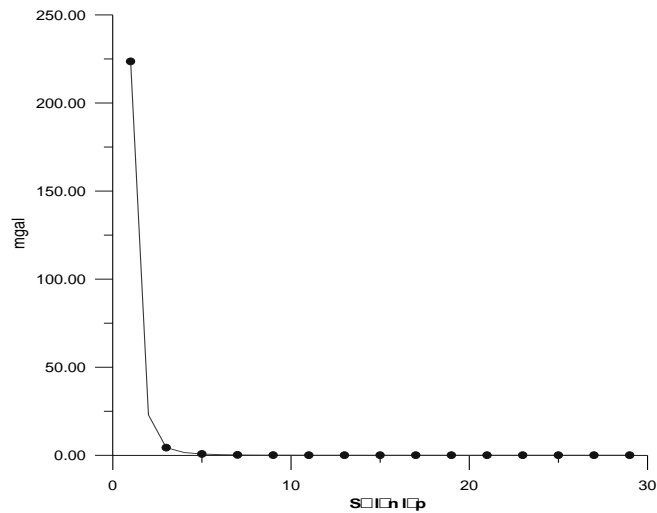
- Số điểm quan sát trên tuyến: 24 điểm;
- Khoảng cách giữa các điểm quan sát:  $dx = 1\text{km}$ ;
- Mật độ dư:  $0,2\text{ g/cm}^3$ ;
- Độ sâu móng tại các điểm quan sát được đưa ra trong hình 3.1;
- Độ sâu trung bình mà trên đó có sự thay đổi cấu trúc của móng: 5 km.

##### 3.1.2. Kết quả tính toán

Kết quả tính toán trên mô hình 1 có các thông số kể trên bao gồm: dị thường quan sát, dị thường tính toán ở lần lặp đầu, dị thường tính toán ở lần lặp cuối, độ sâu lần lặp đầu, độ sâu ở lần lặp cuối được đưa ra trong hình 1 còn độ hội tụ của phương pháp được biểu thị bởi sự suy giảm của sai số bình phương trung bình ở mỗi lần lặp được đưa ra trong hình 1.



Hình 1. Kết quả giải bài toán ngược hai chiều xác định ranh giới phân chia mật độ (km): a) Dị thường; b) Độ sâu ranh giới  
 — Mô hình; — Lần lặp đầu; • Lần lặp cuối



Hình 2. Tốc độ hội tụ

### 3.2. Mô hình bài toán ba chiều

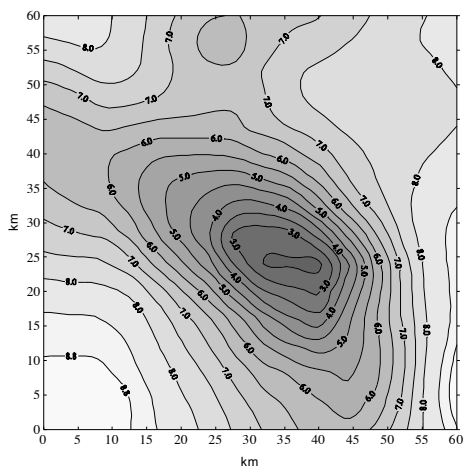
Mô hình bài toán ba chiều do chúng tôi lựa chọn là mô hình móng kết tinh có dạng một nếp lồi mà các thông số của nó được đưa ra như sau :

#### 3.2.1. Các thông số của mô hình

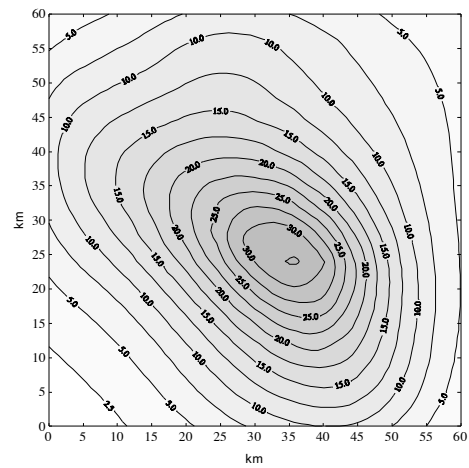
- Số điểm quan sát theo trục x: 64 điểm.
- Số điểm quan sát theo trục y: 64 điểm.
- Khoảng cách giữa các điểm quan sát theo trục x: 1 km.
- Khoảng cách giữa các điểm quan sát theo trục y: 1 km.
- Mật độ dư:  $0,2 \text{ g/cm}^3$
- Độ sâu tới móng kết tinh tại các điểm quan sát: đưa ra trong hình 3.
- Độ sâu trung bình mà trên đó có sự thay đổi cấu trúc của móng: 8 km.

#### 3.2.2. Kết quả tính toán

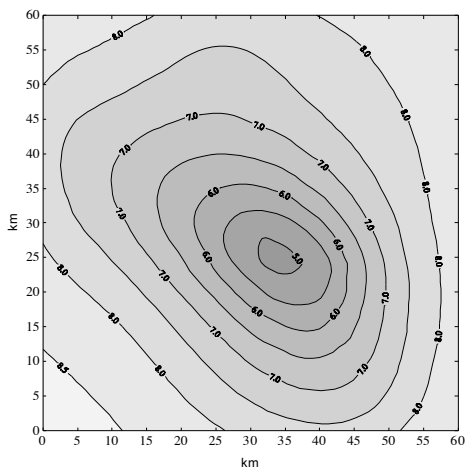
Kết quả tính toán trên mô hình 2 có các thông số kể trên bao gồm dị thường quan sát, dị thường tính toán ở lần lặp đầu, dị thường tính toán lần lặp cuối, độ sâu lần lặp đầu, độ sâu ở lần lặp cuối cũng như sai lệch giữa dị thường quan sát và dị thường tính toán ở lần lặp cuối, sai lệch về độ sâu của mô hình móng với độ sâu tính toán ở lần lặp cuối, được đưa ra trong các hình vẽ: hình 3 ÷ 10.



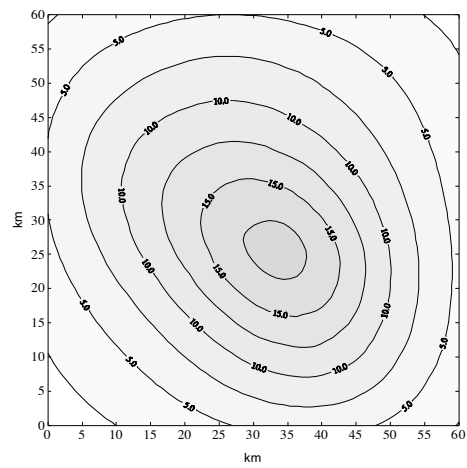
Hình 3. Mô hình móng có cấu trúc dạng vòm (km)



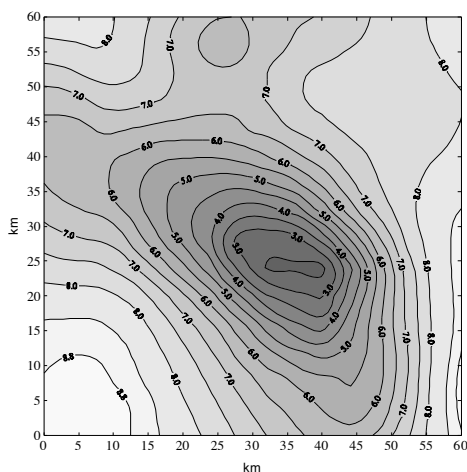
Hình 4. Dị thường trọng lực của móng (mgal)



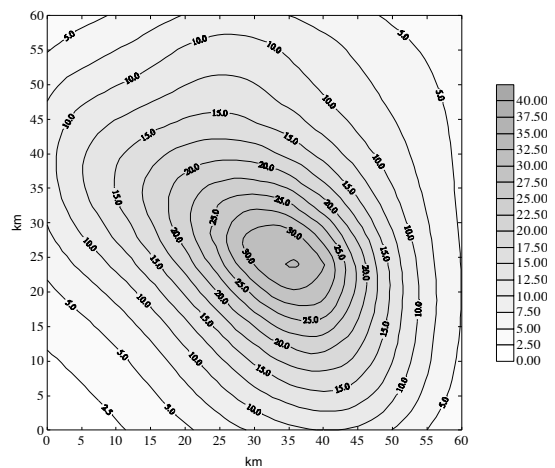
Hình 5. Mô hình móng ở lần lặp đầu (km)



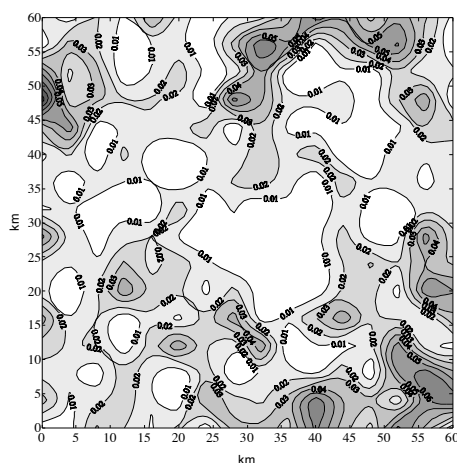
Hình 6. Dị thường trọng lực ở lần lặp đầu (mgal)



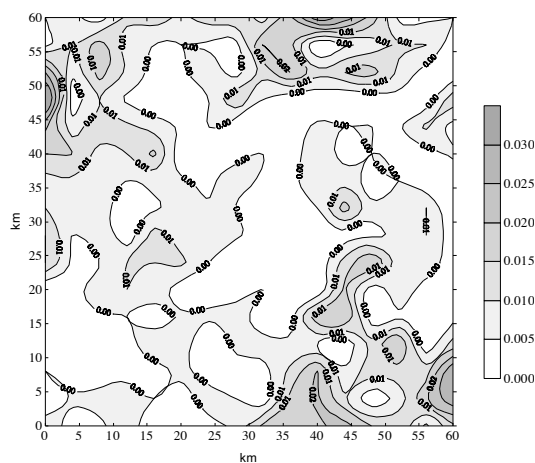
Hình 5. Mô hình móng ở lần lặp cuối (km)



Hình 8. Dị thường trọng lực ở lần lặp cuối (mgal)



Hình 9. Sai số về độ sâu ở lần lặp cuối (km)



Hình 10. Sai số về dị thường ở lần lặp cuối (mgal)

#### 4. KẾT LUẬN

Qua việc thử nghiệm mở rộng phương pháp giải các bài toán ngược hai và ba chiều nhằm xác định độ sâu của móng có các cấu trúc dạng vòm ta có một số nhận xét sau:

- Phương pháp này đơn giản hơn về mặt thuật toán nhưng vẫn cho độ chính xác cao khi xác định độ sâu của móng.

- Tốc độ hội tụ tới nghiệm vẫn rất nhanh và ổn định. Chỉ sau 29 lần lặp, sai số giữa dị thường quan sát và tính toán đã giảm rất nhanh từ 223,600 mgal<sup>2</sup> xuống chỉ còn 0,0025 mgal<sup>2</sup>.

- Để nghiên cứu chi tiết hơn, phương pháp cần được áp dụng trên các số liệu đo đạc thực tiễn.

*Lời cảm ơn.* Công trình này là kết quả của đề tài QG 08 – 03 do Đại học Quốc gia Hà Nội tài trợ.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Đỗ Đức Thanh - Các phương pháp phân tích, xử lý tài liệu từ và trọng lực, Nhà xuất bản ĐHQG Hà Nội, 2006.
2. Đỗ Đức Thanh - Modelling of the North – Northwest Part of Song Hong sedimentary basin from gravity anomalies with exponential density contrast, *Advances in Natural Sciences* **5** (3) (2004) 313-325.
3. Bott M. H. P. - The use of rapid digital computing methods for direct gravity interpretation of sedimentary basin, *Geophys. J., Roy. Astr. Soc.* **3** (1960) 63-67.
4. Bhaskara Rao D. - Modelling of sedimentary basins from gravity anomalies with variable density contrast, *Geophys J. Roy. Astr. Soc.* **84** (1986) 207-212.

5. Bhaskara Rao D. and Ramesh Babu N. A Fortran – 77 computer program for three dimensional analysis of gravity anomalies with variable density contrast, *Computers & Geosciences* **17** (5) (1991) 655-667.
6. Murthy I. V. R., and Rao P. - Two subprograms to calculate gravity anomalies of bodies of finite and infinite strike length with the density contrast differing with depth, *Computers & Geosciences* **15** (8) (1989) 1265-1277.
7. Radhakrishna Murthy I. V., and Rama Rao P. - Inversion of gravity and magnetic anomalies of two dimensional polygonal cross sections, *Computer & Geosciences* **19** (1993) 1228-1993.
8. Richard J., Blakely - Potential theory in gravity and magnetic application, Cambridge University Press, 1996.
9. Telford W. M., Geldart L. P., Sheriff R. E., and Keys D. A. - Applied geophysics, Cambridge University Press, 1982.
10. William H. Press, Brian P. Flannery - Numerical Recipes, Cambridge University Press, 1990.

## SUMMARY

### ATEMPT THE IMPROVEMENT OF GRAVITY INVERSION OF SEDIMENTARY BASIN DEPTH TO DETERMINE THE DEPTH TO BASEMENT OF DOM STRUCTURES

In this paper the improvement of gravity inversion of sedimentary basin depth is presented to determine the depth to basement of dom structures. Based on this method, a computer programme is made a code to attempt in bouth two and three dimensional models. Received results of the modelling shows highly exact and stable of the the methods.