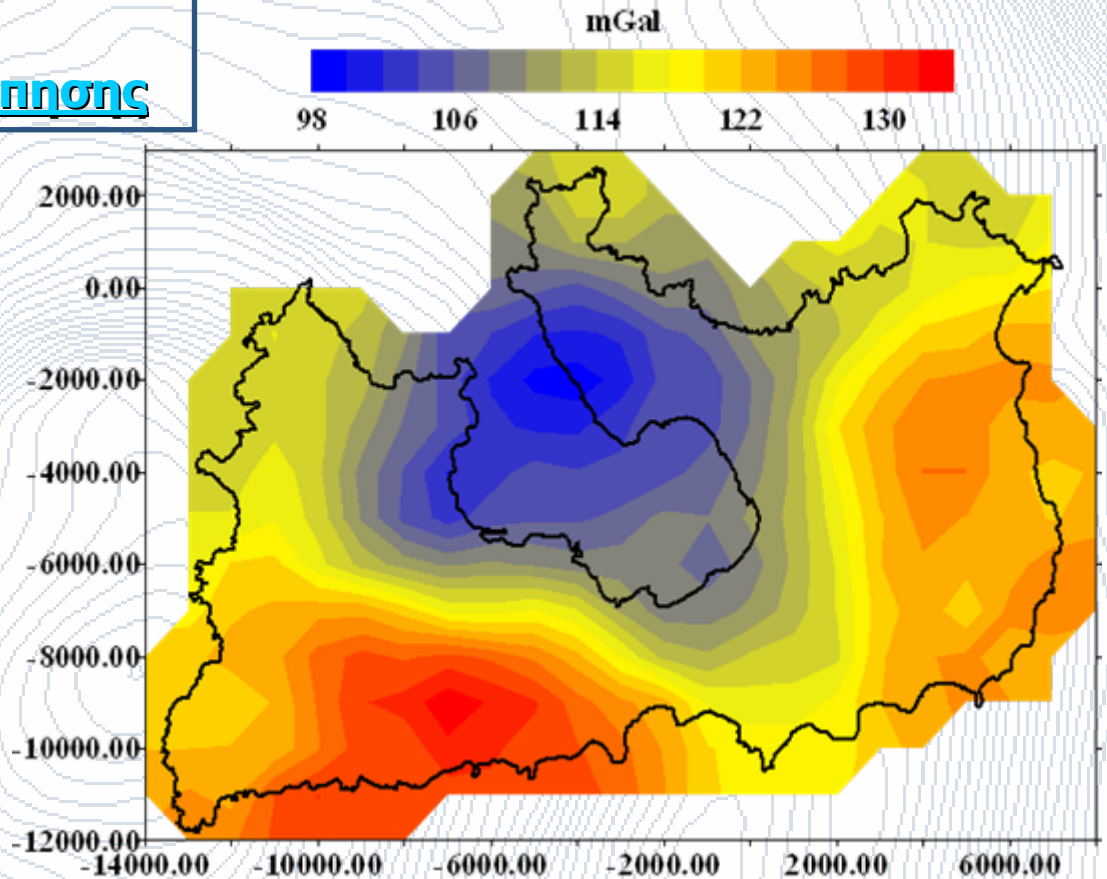


# ΜΑΘΗΜΑ 3

Βαρυτικές και Μαγνητικές

Μέθοδοι Γεωφυσικής Διασκόπησης



**ΑΝΑΓΩΓΕΣ ΤΟΥ ΜΕΤΡΗΜΕΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ  
ΑΝΩΜΑΛΙΑ ΒΟΥΓΙΕΡ**

# Υπολογισμός της ανωμαλίας Bouguer

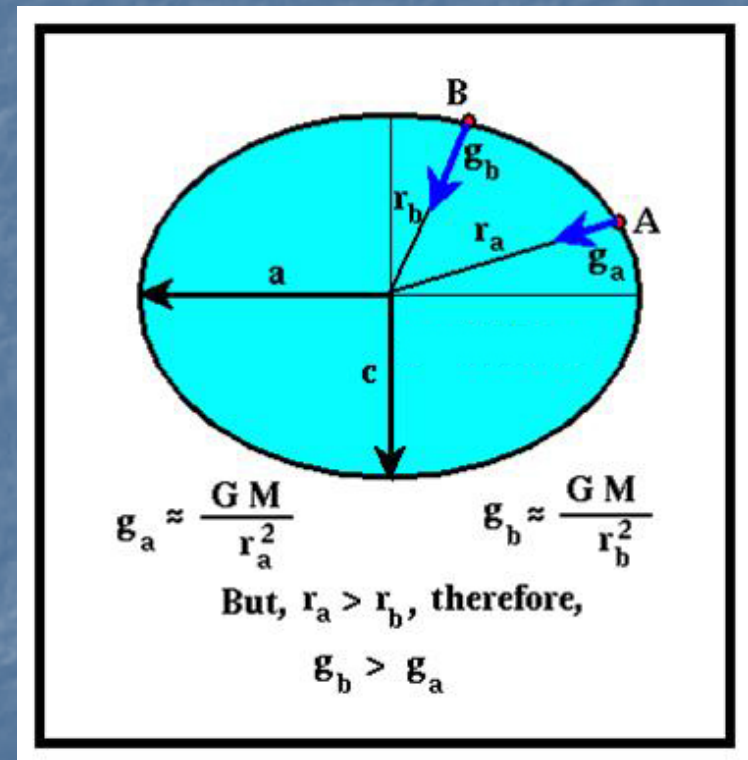
Ανωμαλία Bouguer = Μετρημένη Βαρύτητα - Μοντέλο της Γης

Η «μετρημένη βαρύτητα» περιέχει

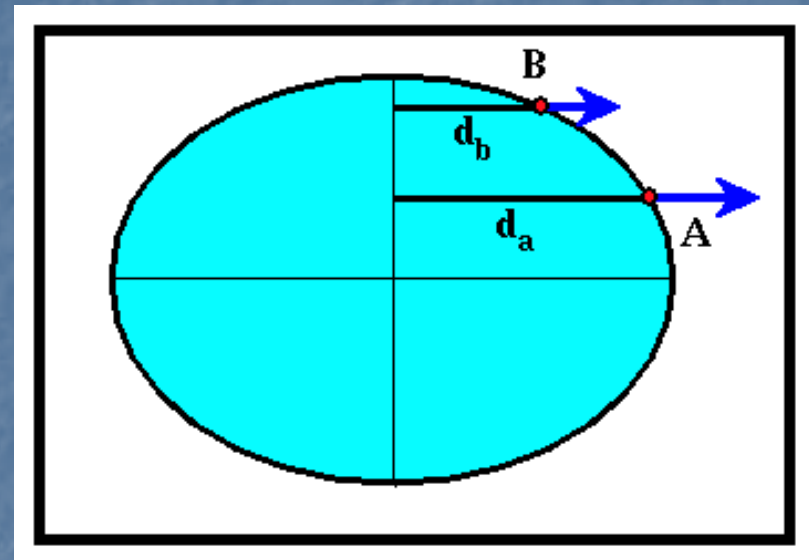
- Ένα τμήμα που εξαρτάται από το υψόμετρο. Για να συγκρίνουμε επομένως τις τιμές της έντασης σε διαφορετικούς σταθμούς πρέπει να τις ανάγουμε σε κάποια κοινή υψομετρική στάθμη.
- Θα πρέπει όμως να λάβουμε υπ' όψη και το υλικό που παρεμβάλλεται μεταξύ του υψομέτρου των μετρήσεων και της στάθμης.
- Πρέπει επίσης να πάρουμε υπ' όψη μας ότι η ακτίνα της Γης μικραίνει από τον ισημερινό προς τους πόλους.
- Μεγάλο μέρος της «μετρημένης βαρύτητας» οφείλεται στον μηχανισμό αντιστάθμισης

# Μεταβολές της μετρημένης βαρύτητας που οφείλονται στο γεωγραφικό πλάτος

- Η Γη έχει ελλειψοειδές σχήμα σε πρώτη προσέγγιση και η ακτίνα στον Ισημερινό,  $R_I$  ( $a=6378.135\text{km}$ ), είναι περίπου 22 Km μεγαλύτερη αυτής στους Πόλους,  $R_{II}$  ( $c=6356.75\text{km}$ )



- Η Γη περιστρέφεται γύρω από άξονα που διέρχεται από τους Πόλους της και επομένως το βαρυτόμετρο περιστρέφεται μαζί της.
- Επομένως το βαρυτόμετρο υφίσταται την επίδραση της φυγοκέντρου δυνάμεως.



Αυτή έχει τη διεύθυνση της καθέτου από τον τόπο στον άξονα της Γης, φορά προς το διάστημα, και μέτρο ανάλογο της ποσότητας  $\omega^2 r$ , όπου  $\omega$  η κυκλική ταχύτητα και  $r$  η απόσταση από τον άξονα

Η τρίτη κατηγορία επιδράσεων οφείλεται στο γεγονός ότι η απόκλιση από το σφαιρικό σχήμα σημαίνει περίσσεια μάζας στον Ισημερινό και έλλειμμα στους Πόλους όπως φαίνεται στο σχήμα

## Η ακτίνα της Γης

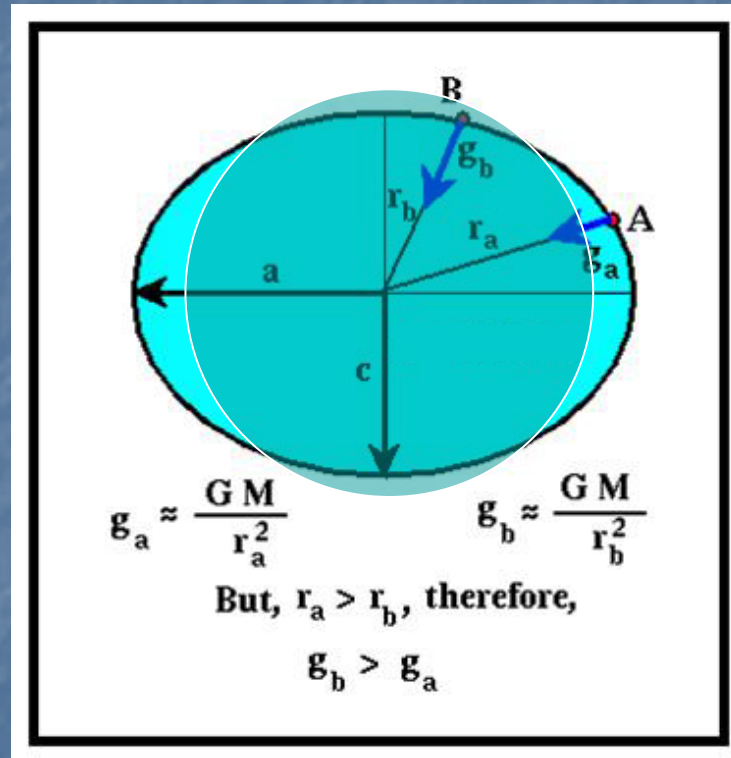
$$R_I = 6378.135 \text{ km}$$

$$R_{II} = 6356.75 \text{ km}$$

$$R_{\text{mean}} = 6371.3 \text{ km} = \sqrt{(A/4\pi)}$$

$$R_{\text{quadratic mean}} = 6372.8 \text{ km}$$

$$= \sqrt{((3R_I^2 + R_{II}^2)/4)}$$



Το συνολικό αποτέλεσμα των επιδράσεων αυτών προκαλεί μεταβολή της έντασης του Γήινου πεδίου βαρύτητας από την τιμή 978.000 mGal περίπου στον Ισημερινό στην τιμή 983.000 mGal στους Πόλους

«θεωρητική βαρύτητα» ή «κανονική βαρύτητα» ή «Γεωδαιτική Εξίσωση Αναφοράς» (Geodetic Reference Formula).

Εξίσωση που ορίζεται από τη Διεθνή Ένωση Γεωδαισίας (International Association of Geodesy, IAGE 1967)

$$g_n = 978.03185 (1.0 + 0.005278895 \sin^2 \phi - 0.000023462 \sin^4 \phi) \text{ (cm/s}^2\text{)}$$

**$g_n$  = Normal Gravity: Gravitational acceleration expected for a rotating ellipsoidal earth without any geologic complications and no surface features**

**$\phi$  = Latitude**

Γεωδαιτική Εξίσωση Αναφοράς  
(Geodetic Reference Formula) 1987

$$g = 978.032 \cdot 68 \frac{(1 + 0,00193185138639 \sin^2 \phi)}{(1 - 0,0069437999013 \sin^2 \phi)^{1/2}}$$

# ΜΕ ΤΙ ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΖΕΤΑΙ Η ΑΝΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΙΔΙΟ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ

- ΣΤΟ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ ΤΩΝ  $45^\circ$  Η ΕΝΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΜΕΤΑΒΑΛΛΕΤΑΙ ΠΕΡΙΠΟΥ  $0,81 \text{ mGal/km}$ .
- ΓΙΑ ΝΑ ΕΧΟΥΜΕ ΑΚΡΙΒΕΙΑ  $0.01 \text{ mGals}$ , ΧΡΕΙΑΖΕΤΑΙ ΝΑ ΞΕΡΟΥΜΕ ΤΗ ΘΕΣΗ ΣΤΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΒΟΡΡΑ ΝΟΤΟΥ ΜΕ ΑΚΡΙΒΕΙΑ  $12 \text{ m}$ .



# ΑΝΗΓΜΕΝΗ ΤΙΜΗ ΣΤΟ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΒΑΣΗΣ

$$\Delta g_{\varphi} = 51859 \sin 2\varphi$$

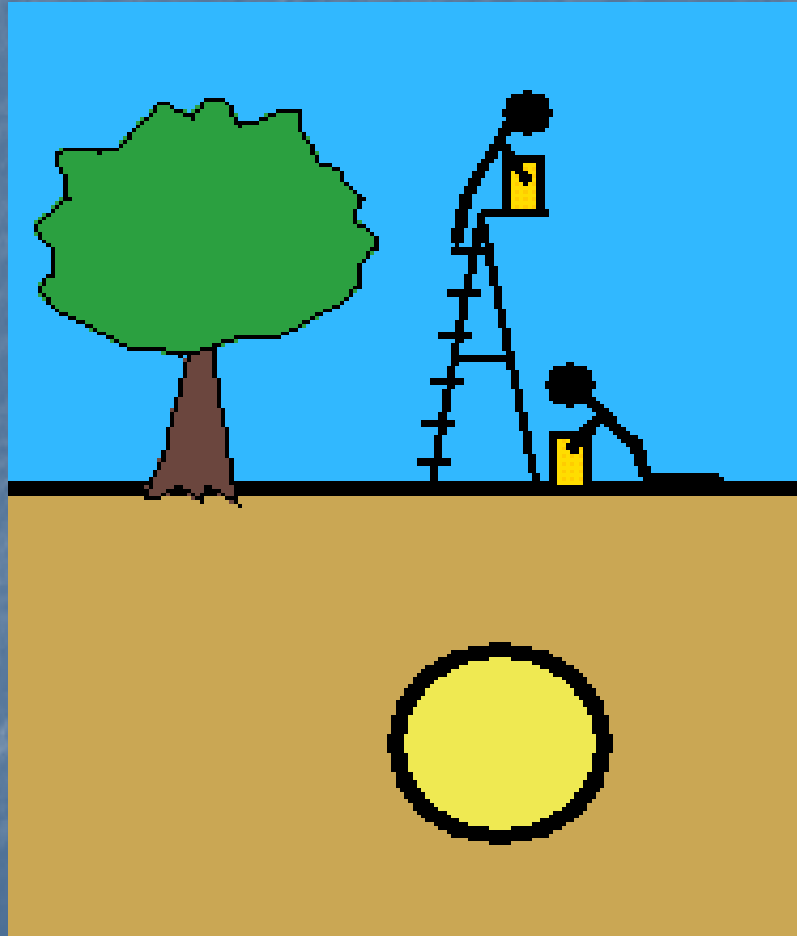
$$\Delta g_{\varphi} = 0.0081 \sin 2\varphi \Delta s$$

$\Delta s$  απόσταση σε m

$$g_{\varphi} = g_h \pm \Delta g_{\varphi}$$

+ όταν το σημείο μέτρησης είναι  
Νότια του σταθμού βάσης

# Μεταβολή της μετρημένης βαρύτητας η οποία οφείλεται στο υψόμετρο



After: Boyd, J. Lecture notes on Potential field methods . Colorado School of Mines.  
<http://www.mines.edu>, 1997

Αν θεωρήσουμε τη Γη σφαιρική τότε το μέτρο της έντασης του πεδίου βαρύτητας είναι

$$g = G \frac{M_e}{r^2}$$

όπου,  $M_e$  η μάζα και  $r$  η απόσταση του σημείου από το κέντρο της Γης.  
Παραγωγίζοντας τη σχέση αυτή βρίσκουμε

$$\frac{\partial g}{\partial r} = -2 \frac{GM_e}{r^3} = -\frac{2g}{r}$$

- Θεωρώντας ως  $r=R$  την ακτίνα της Γης και  $dr=h$  την υψομετρική διαφορά από την επιφάνεια της θάλασσας έχουμε

$$dg = -\frac{2g}{R} dh$$

- Αν θεωρήσουμε ως ελλειψοειδές το σχήμα της Γης η παραπάνω σχέση παίρνει τη μορφή (Charin 1996)

$$\frac{dg}{dh} = -\frac{2gh}{R} + \frac{3gh^2}{R^2}$$

- Στην πράξη χρησιμοποιούμε τη σχέση

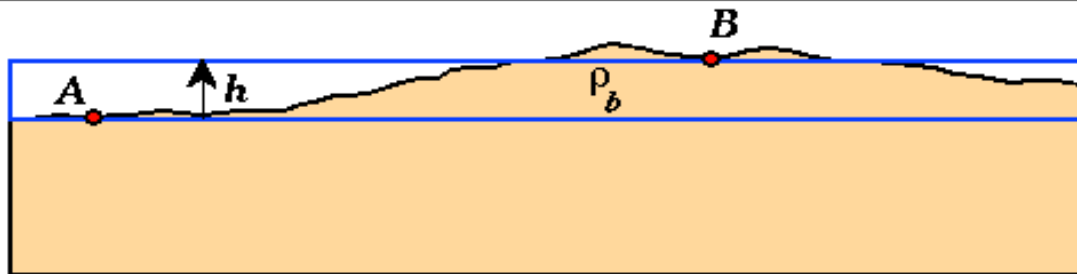
$$-0,3086 \frac{\text{mGal}}{\text{m}}$$

## Διόρθωση ελεύθερου αέρα

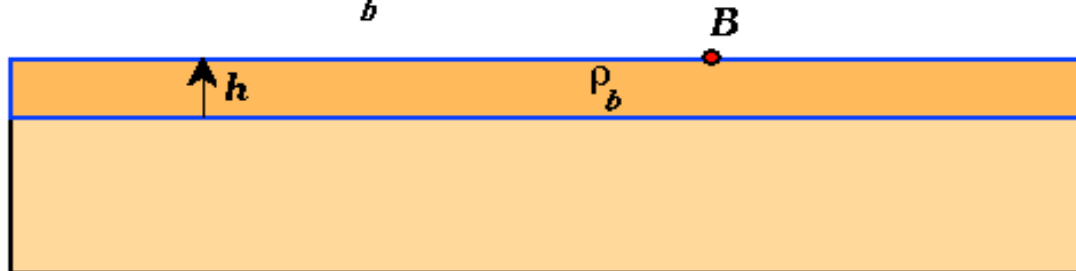
$$g_{fa} = 0,3086 \cdot h$$

Η διόρθωση αυτή προστίθεται στη μετρημένη τιμή αν ο σταθμός μέτρησης ευρίσκεται υψηλότερα της στάθμης της θάλασσας και αφαιρείται αν είναι χαμηλότερα (μετρήσεις στον ωκεάνιο πυθμένα).

# Διόρθωση Bouguer



*Approximate the gravity anomaly observed at B due to the difference in topography between A and B,  $h$ , and the excess mass under B by assuming the excess mass can be approximated as a slab of material with thickness  $h$  and density  $\rho_b$ .*

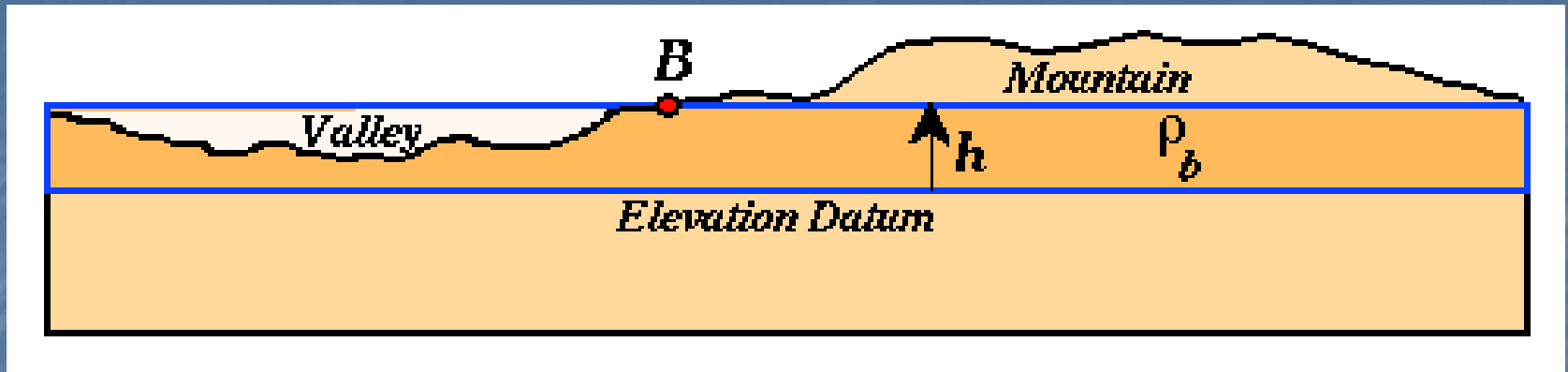


$$g_b = 0,04193 \rho h$$

$\rho$ =πυκνότητα (gr/cm<sup>3</sup>)  
 $h$ =υψόμετρο (m)

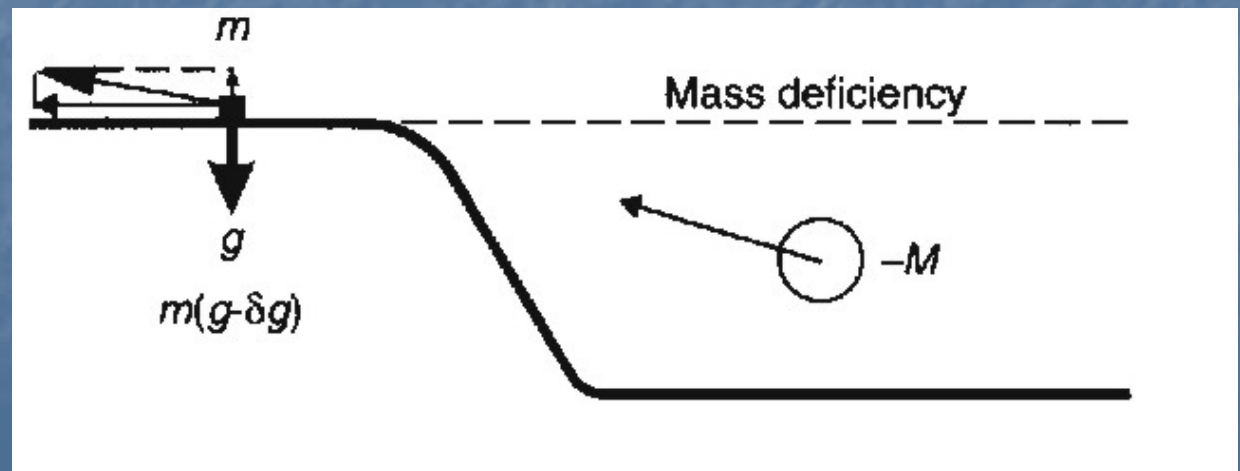
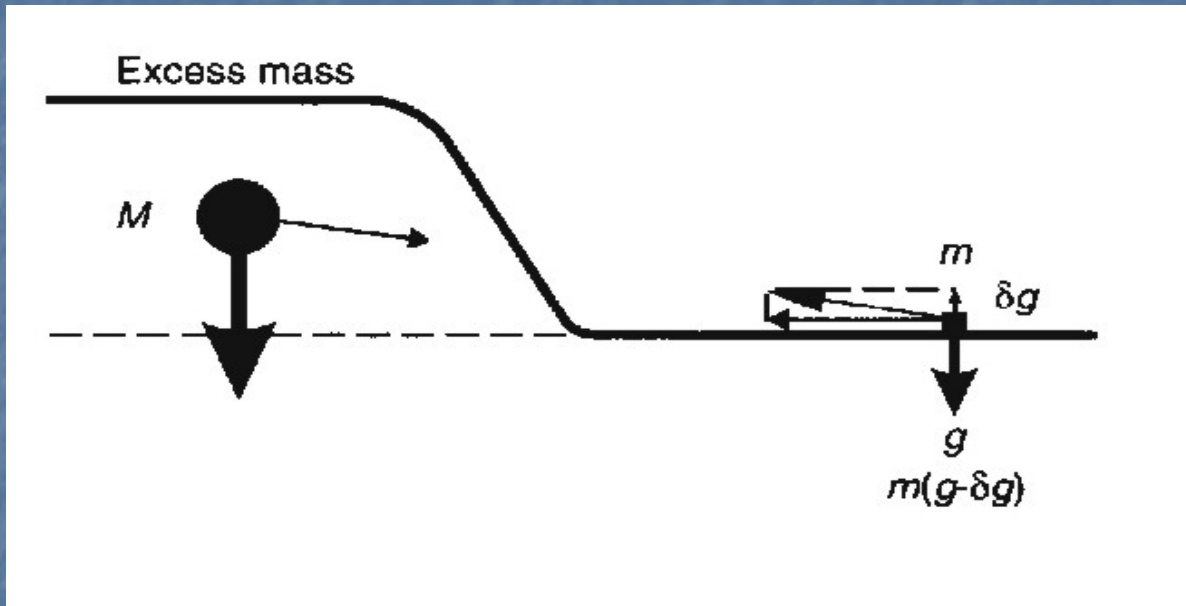
Η Διόρθωση  
Bouguer  
Αφαιρείται  
πάντα

# Τοπογραφική Αναγωγή



- Η διόρθωση Bouguer αποτελεί πρώτη προσέγγιση της έλξης που ασκεί το υλικό μεταξύ σταθμού μέτρησης και στάθμης αναφοράς.
- Αν δίπλα στο σταθμό μέτρησης υπάρχει κάποιο ύψωμα τότε θα έχουμε συνιστώσα προς τα επάνω, πράγμα που σημαίνει ότι η διόρθωση Bouguer υπερεκτίμησε την έλξη του υλικού μεταξύ του σταθμού μέτρησης και στάθμης αναφοράς.
- Το ίδιο ακριβώς αποτέλεσμα έχουμε όταν υπάρχει κοιλάδα γιατί τότε έχουμε έλλειμμα μάζας, άρα μικρότερη έλξη απ' ότι εκτίμησε η διόρθωση Bouguer.

# Τοπογραφική Αναγωγή





# Τοπογραφική Αναγωγή

Hammer (1939)

Με κέντρο το σημείο μέτρησης χώρισε την περιοχή που το περιβάλλει μ' έναν αριθμό ομόκεντρων κύκλων και ένα σύστημα ακτινών.

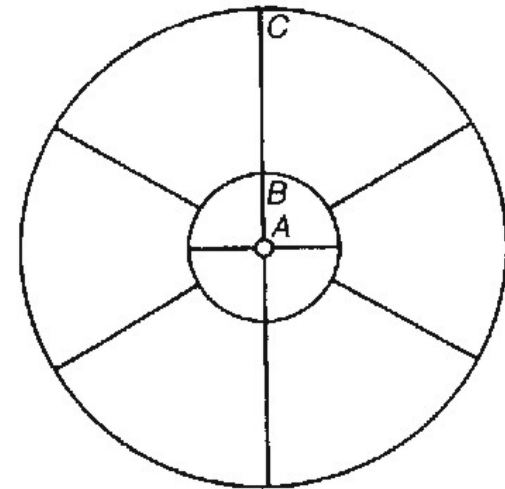
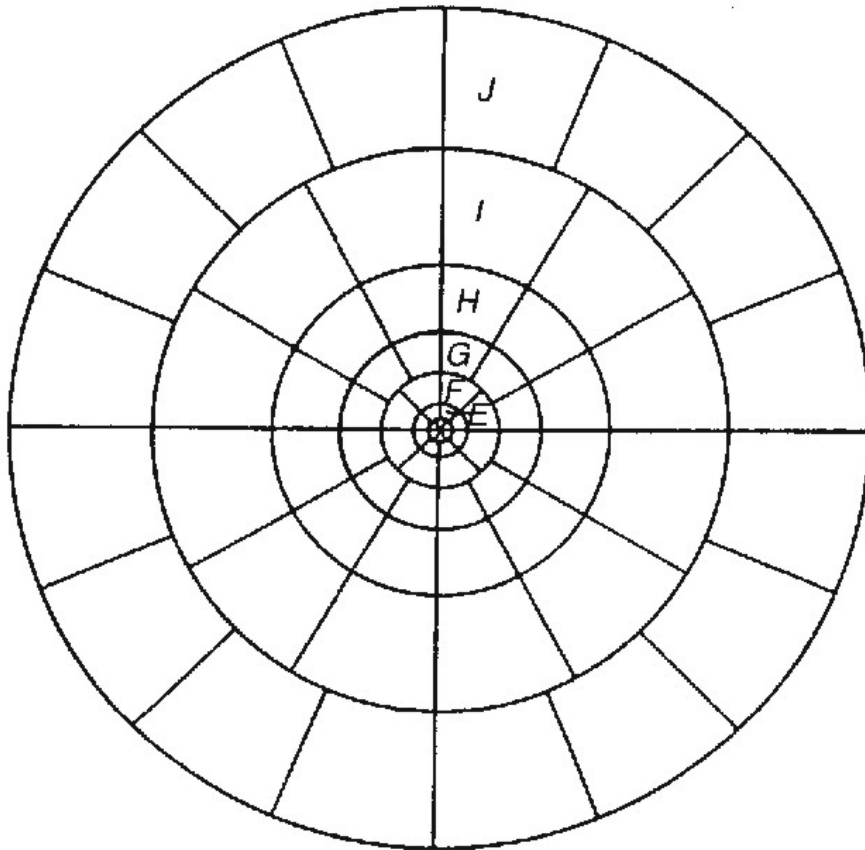
Σχηματίζεται έτσι ένα σύνολο κυκλικών τομέων που μπορούν να θεωρηθούν ως βάσεις πρισμάτων.

Το ύψος κάθε πρίσματος ορίζεται από τη μέση υψομετρική διαφορά του τομέα με το σταθμό βάσης.

Υπολογίζουμε την επίδραση κάθε τέτοιου πρίσματος (κυλινδρικού τομέα) στο σταθμό μέτρησης και η τοπογραφική διόρθωση είναι το άθροισμα αυτών των επιδράσεων.

$$g_t = T\rho = G\rho\vartheta\left(r_2 - r_1 + \sqrt{r_1^2 - z^2} - \sqrt{r_2^2 - z^2}\right)$$

# Τοπογραφική Αναγωγή



# Πίνακας τοπογραφικών διορθώσεων

**Table 2.8** Terrain corrections for Hammer zones B to M. From Milsom (1989), by permission

Zone	B	C	D	E	F	G
No. of compartments:	4	6	6	8	8	12
Correction (g.u.):	Heights (meters)					
0.01	0.5	1.9	3.3	7.6	11.5	24.9
0.02	0.7	2.6	4.7	10.7	16.3	35.1
0.03	0.8	3.2	5.8	13.1	19.9	43.1
0.04	1.0	3.8	6.7	15.2	23.0	49.8
0.05	1.1	4.2	7.5	17.0	25.7	55.6
0.06	1.2	4.6	8.2	18.6	28.2	60.9
0.07	1.3	5.0	8.9	20.1	30.4	65.8
0.08	1.4	5.4	9.5	21.5	32.6	70.4
0.09	1.5	5.7	10.1	22.9	34.5	74.7
0.10	1.6	6.0	10.6	24.1	36.4	78.7
0.20	2.4	8.7	15.1	34.2	51.6	111.6
0.30	3.2	10.9	18.6	42.1	63.3	136.9
0.40	3.9	12.9	21.7	48.8	73.2	158.3
0.50	4.6	14.7	24.4	54.8	82.0	177.4
0.60	5.3	16.5	26.9	60.2	90.0	194.7
0.70	6.1	18.2	29.3	65.3	97.3	210.7
0.80	6.9	19.9	31.5	70.1	104.2	225.6
0.90	7.8	21.6	33.7	74.7	110.8	239.8
1.00	8.7	23.4	35.7	79.1	117.0	253.2
	H	I	J	K	L	M
	12	12	16	16	16	16
0.01	32	42	72	88	101	125
0.02	46	60	101	124	148	182
0.03	56	74	125	153	186	225
0.04	65	85	144	176	213	262
0.05	73	95	161	197	239	291
0.06	80	104	176	216	261	319
0.07	86	112	191	233	282	346
0.08	92	120	204	249	303	370
0.09	96	127	216	264	322	391
0.10	103	134	228	278	338	413
0.20	146	190	322	394	479	586
0.30	179	233	396	483	587	717
0.40	206	269	457	557	679	828
0.50	231	301	511	624	759	926
0.60	253	330	561	683	832	1015
0.70	274	357	606	738	899	1097
0.80	293	382	648	790	962	1173
0.90	311	405	688	838	1020	1244
1.00	328	427	726	884	1076	1312

Note: These tables list the exact height differences which, assuming a density of 2000 kg/m<sup>3</sup> will produce the tabulated terrain effects. Thus, a height difference of 32 m between gravity station and average topographic level in one compartment of zone E would be associated with a terrain effect of 0.20, or possibly 0.19, g.u. Almost all commercial gravity meters have sensitivities of 0.1 g.u. but an additional decimal place is necessary if large 'rounding off' errors are to be avoided in summing the contributions from all the compartments. The inner radius of zone B is 2 m. Zone outer radii are: B: 16.6 m, C: 53.3 m, D: 170 m, E: 390 m, F: 895 m, G: 1530 m, H: 2.61 km, I: 4.47 km, J: 6.65 km, K: 9.9 km, L: 14.7 km, M: 21.9 km

# Ανωμαλία Bouguer

$$\delta g = g_h \pm \Delta g_\varphi + 0.3086h - 0.04191\rho h + T\rho - \gamma$$

$\delta g$	Ανωμαλία Bouguer
$\Delta g_\varphi$	αναγωγή γεωγραφικού πλάτους
$0.3086h$	διόρθωση ελεύθερου αέρα
$0.04191\rho h$	διόρθωση Bouguer
$T\rho$	Τοπογραφική αναγωγή
$\gamma$	Προβλεπόμενη τιμή για το σταθμό βάσης από το διεθνές ελλειψοειδές

## ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ

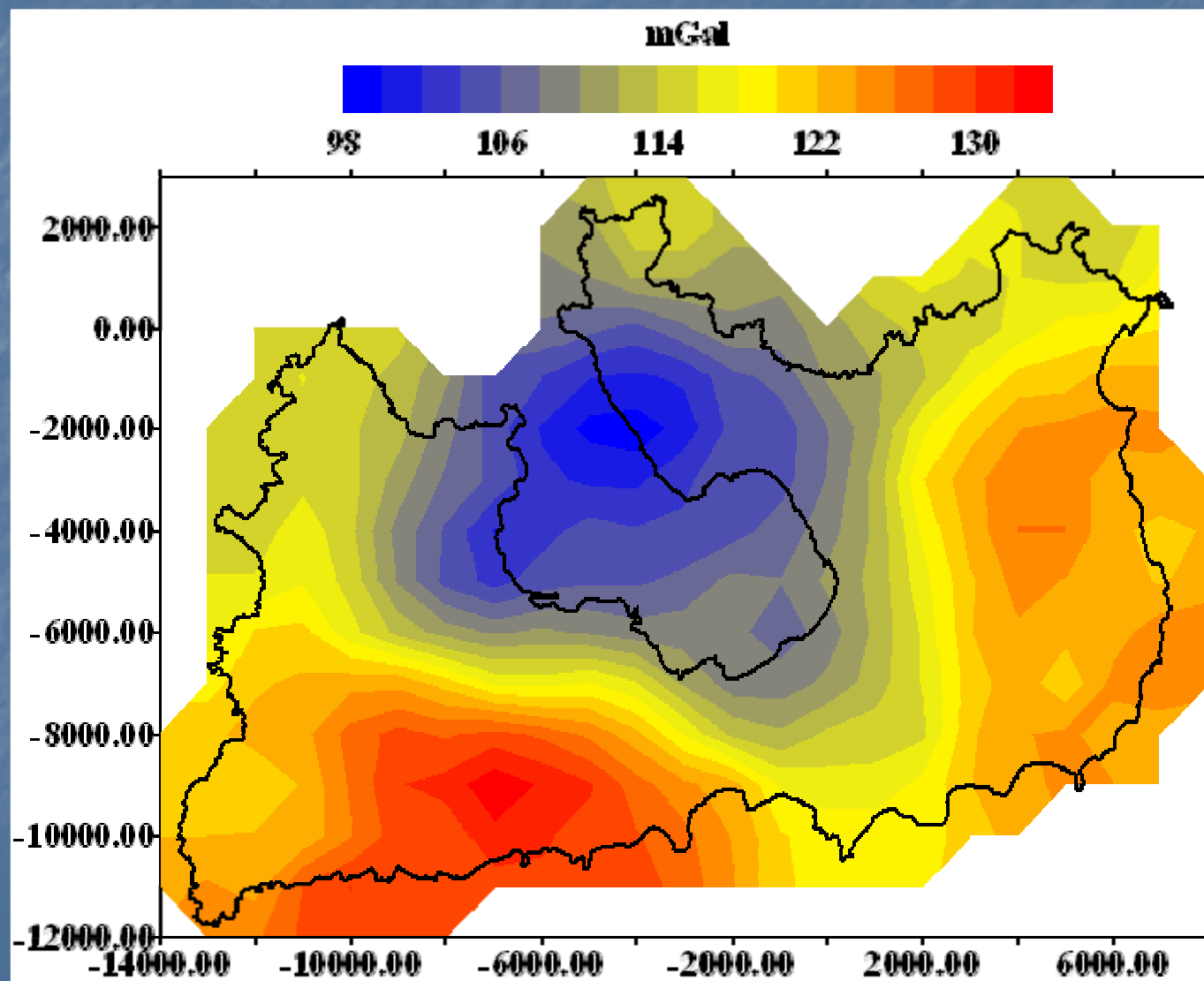
- ΜΑΖΑ ΤΗΣ ΓΗΣ  $5.97 \times 10^{24}$  kg
  - ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΓΗΣ  $5.527 \times 10^3$  kg/m<sup>3</sup>
  - ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΥΔΑΤΟΣ  $10^3$  kg/m<sup>3</sup>
  - ΑΚΤΙΝΑ ΓΗΣ  $6.376 \times 10^6$  m
  - ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΣΤΑΘΕΡΑ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ  $6.67259 \times 10^{-11}$  m<sup>3</sup>/kg sec<sup>2</sup>
  - ΜΕΣΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΗΣ ΓΗΣ  
 $9.8$  m/sec<sup>2</sup>
  - ΜΕΣΗ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΚΛΙΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΤΗΣ  
ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΗΣ ΓΗΣ  
 $-3080$  eötvos
  - ΜΕΣΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΚΛΙΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΤΗΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ  
ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΗΣ ΓΗΣ  
 $1540$  eötvos
- ΓΩΝΙΑΚΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΤΗΣ ΓΗΣ  $7.27 \times 10^{-5}$  rad/sec

$$1 \text{ eötvos} = 10^{-9} \text{ sec}^{-2}$$

$$1 \text{ mGal/km} = 10 \text{ eötvos}$$

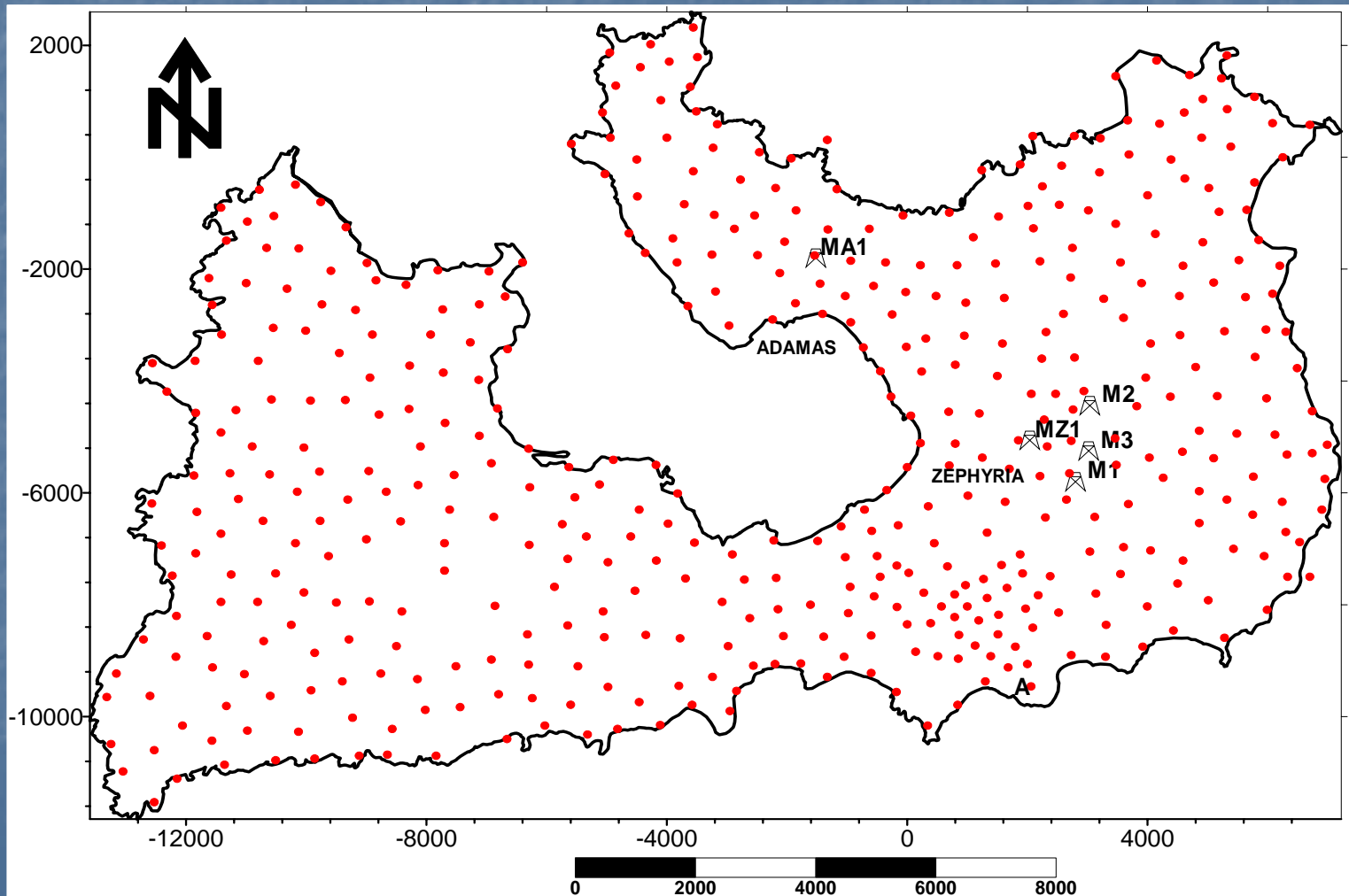
# ΑΝΩΜΑΛΙΑ ΒΟΥΓΙΕΡ ΜΗΛΟΥ

Τσόκας, 1985



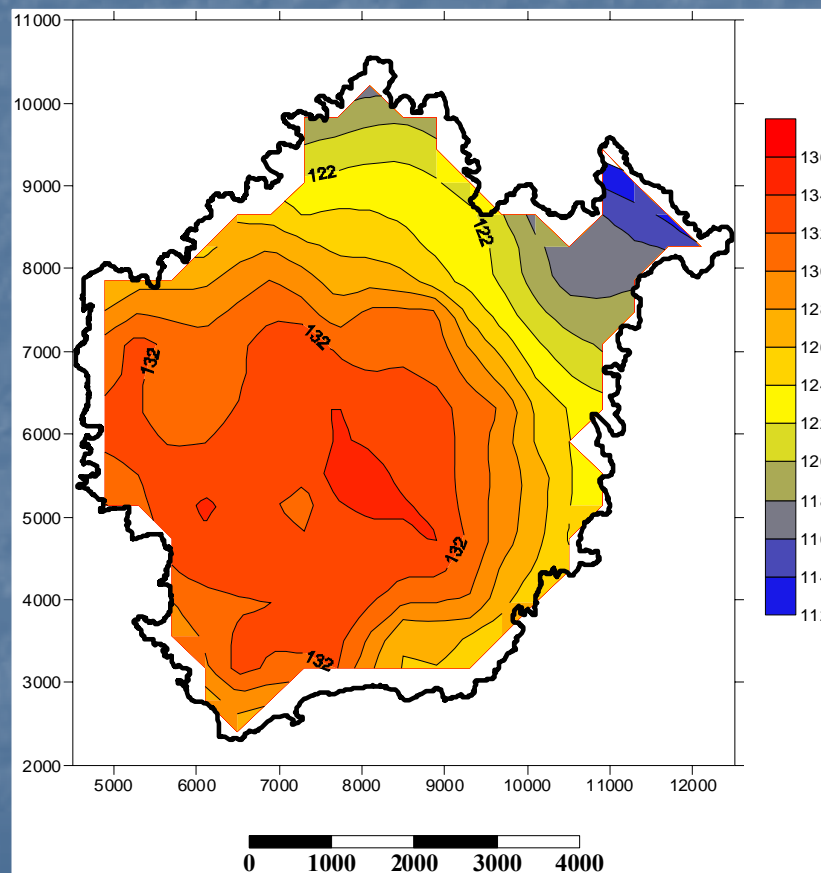
# ΣΤΑΘΜΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΠΕΔΙΟΥ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΜΗΛΟΥ

Τσόκας, 1985



# ΑΝΩΜΑΛΙΑ ΒΟΥΓΙΕΡ ΚΙΜΩΛΟΥ

## Τσόκας, 1985





# ΣΤΑΘΜΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΠΕΔΙΟΥ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΚΙΜΩΛΟΥ

Τσόκας, 1985

