

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΘΕΡΜΩΝ ΞΗΡΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ (ΘΞΠ) ΜΕ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΠΟ  
ΒΑΘΕΙΕΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Σουσουίνης, Γ.

Δημόσια Επιχείρηση Πετρελαίου-Ερευνα Ειμετάλλευση Υδρογονανθράκων  
(ΔΕΠ-ΕΚΥ). Κηφισίας 199, 15124 Μαρούσι-ΑΘΗΝΑ

Π Ε Ρ Ι Λ Η Ψ Η

Από την ανάλυση διαγραφιών σε 117 βαθειές γεωτρήσεις, προέκυψαν 8 περιοχές με ξηρά πετρώματα γεωθερμικού ενδιαφέροντος. Στην περιοχή Επανωμής χαρτογραφήθηκε η επιφάνεια του γρανοδιορίτη, με βάσει τα επεξεργασμένα σεισμικά δεδομένα της ΔΕΠ-ΕΚΥ και υπολογίστηκε το προσιτό γεωθερμικό υπόβαθρο κάτω από αυτή την επιφάνεια. Το ελάχιστο ποσό θερμότητας που είναι δυνατόν να αξιοποιηθεί με την κυκλοφορία νερού σε δύο γειτονικές γεωτρήσεις που απέχουν απόσταση 1120 μέτρα εκτιμήθηκε σε 0,14 quad, που ισοδυναμεί με το 3-πλάσιο περίπου της ετήσιας παραγωγής πετρελαίου του Πρίνου. Η παραπάνω μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση και άλλων ΘΞΠ της χώρας μας.

ESTIMATION OF THE HOT DRY ROCKS (HDR) WITH DATA  
FROM BOREHOLES AND SEISMIC DATA

Sousounis, G.

A B S T R A C T

From the analysis of well loggings in 117 deep boreholes resulted 8 areas with dry rocks of geothermical interest. In the Epanomi area the surface of granodiorite was mapped on the basis of the elaborated seismic data of DEP-EKY and the accessible geothermical background was estimated underneath the above surface. The minimum exploitable quantity of heat with the circulation of water within two neighbouring boreholes in a distance of about 1120 m was estimated to 0.14 quad, which is equivalent almost the tripple of the annual oil production of Prinos reservoir. The above mentioned method could be used for the estimation of more HDR of Greece.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μέχρι σήμερα, για οικονομικούς λόγους έχουν αναπτυχθεί στην χώρα μας μόνον υδροθερμικά πεδία. Ομως, τα ΘΞΠ περιέχουν τεράστιες ποσότητες θερμότητας, τα οποία με την ανάπτυξη της τεχνολογίας ειμετάλλευσης τους, μπορούν να αποτελέσουν ένα σημαντικό απόθεμα ήπιας μορφής ενέργειας. Με την παρoυσα εργασία προτίνεται μια μέθοδος καταγραφής και εκτίμησης των θερμών Ξηρών Πετρωμάτων (ΘΞΠ), τα οποία εντοπίζονται με βαθειές γεωτρήσεις. Οι πλέον κατάλληλες περιοχές για αναζήτηση ΘΞΠ είναι αυτές που χαρακτηρίζονται απο πρόσφατη ηφαιστειότητα, μεγάλη θερμική ροή

ή έντονη έκλυση ραδιενέργειας. Οι προϋποθέσεις αυτές έρχονται σε αντίθεση με τις συνθήκες πετρελαιοφορίας, γιαυτό τα συμπεράσματα που θα βασιστούν μόνο στις γεωτρήσεις πετρελαίου δεν πρέπει να θεωρηθούν αντιπροσωπευτικά για την εκτίμηση του δυναμικού της χώρας μας σε ΘΞΠ. Τα στοιχεία των γεωτρήσεων που χρησιμοποιήσαμε παραχωρήθηκαν ευγενικά απο την Διοίκηση της ΔΕΠ-ΕΚΥ.

#### ΔΕΔΟΜΕΝΑ - ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΔΙΑΓΡΑΦΙΩΝ

Μέχρι το 1990 είχαν διανοιχτεί απο την ΔΕΠ-ΕΚΥ ή για λογαριασμό της 117 γεωτρήσεις μέ βάθη μεγαλύτερα απο 1000 μ. Πετρώματα με γεωθερμικό ενδιαφέρον συνάντησαν 30 γεωτρήσεις στις περιοχές Επανομή, Κασσάνδρα, Λεκάνη Θεσ/κης, Στρυμώνας, Νέστος, Λουδίας, Δέλτα Εβρου και Ορεστιάδα. Επίσης, μεταμορφωμένα ή πυριγενή πετρώματα συνάντησαν γεωτρήσεις στον Θερμαϊκό κόλπο και στους κόλπους Καβάλας και Θάσου, οι οποίες, όμως, δεν εξετάστηκαν περισσότερο, λόγω του μικρού οικονομικού ενδιαφέροντος που έχουν τα θαλάσσια ΘΞΠ.

Για να έχουμε μια πρώτη εκτίμηση της γεωθερμικής αξίας των πετρωμάτων που συνάντησαν οι γεωτρήσεις, εξετάσαμε τις στατικές θερμοκρασίες που μετρήθηκαν κατα την διάρκεια πραγματοποίησης διαφόρων διαγραφιών.

Για να μετρηθεί η θερμοκρασία σε κάποιο βάθος της γεώτρησης, πρέπει να μεσολαβήσει ένα σχετικά μεγάλο χρονικό διάστημα, μεταξύ της στιγμής της μέτρησης και του τέλους της κυκλοφορίας της λάσπης, ώστε να έχει αποκατασταθεί πλήρως η θερμική ισορροπία. Στις γεωτρήσεις πετρελαίου, λόγω κόστους αυτό το χρονικό διάστημα περιορίζεται στο ελάχιστο δυνατό, με αποτέλεσμα οι θερμοκρασίες που μετριοούνται να είναι κατα κανόνα μικρότερες απο τις πραγματικές.

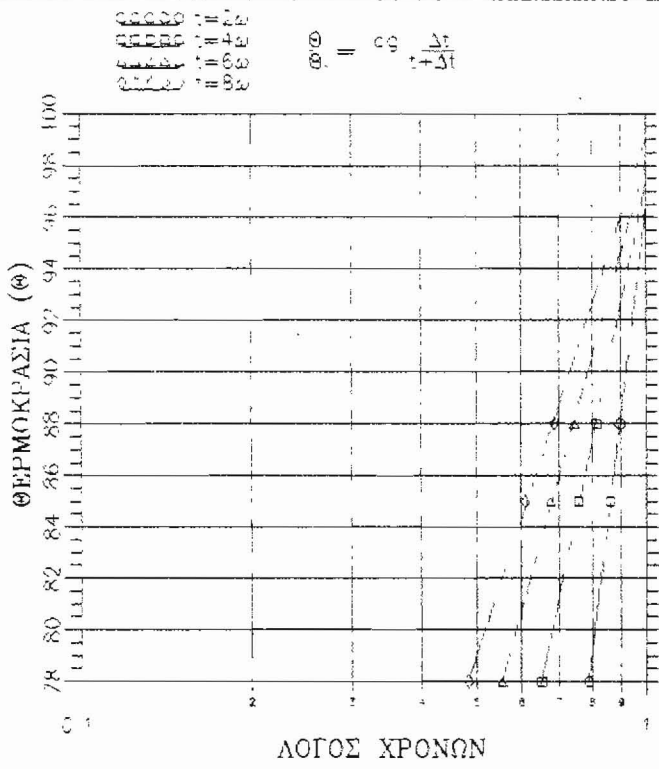
Για να υπολογιστεί η πραγματική θερμοκρασία, εφαρμόζεται η διόρθωση των Fertl,W. και Wichmann,P. (1977), η οποία βασίζεται στην υπόθεση ότι η αύξηση της θερμοκρασίας μέσα στην γεώτρηση ακολουθεί μια εκθετική εξίσωση διάχυσης με ανώτατο όριο την πραγματική θερμοκρασία του περιβάλλοντος πετρώματος. Ετσι, αν απο την στιγμή που διατρήθηκε το πέτρωμα έχει παρέλθει χρόνος  $t + \Delta t_1$ , όπου  $t$  είναι το χρονικό διάστημα που κυκλοφορούσε η λάσπη και  $\Delta t_1$  είναι το χρονικό διάστημα που μεσολάβησε απο το τέλος της κυκλοφορίας της λάσπης μέχρι την στιγμή της μέτρησης  $t_1$ , το όργανο θα καταγράφει μια θερμοκρασία  $\theta_1$  μετα απο χρόνο  $t + \Delta t_2$  θα καταγράψει μια θερμοκρασία  $\theta_2$  κ.ο.κ. Αν μετα το τέλος της κυκλοφορίας της λάσπης έχει παρέλθει μεγάλο χρονικό διάστημα, η θερμοκρασία που καταγράφεται θα είναι ίση με την πραγματική θερμοκρασία  $\theta_0$ .

Αν παραστήσουμε γραφικά την θερμοκρασία που καταγράφεται  $\theta$ , σε συνάρτηση με τον δεκαδικό λογάριθμο της παράστασης  $\Delta t / (t + \Delta t)$ , αυτή θα είναι ευθεία και η προέκτασή της μέχρι την θέση του  $\log(\Delta t / (t + \Delta t)) = 1$ , θα τέμνει τις θερμοκρασίες στην πραγματική τιμή  $\theta_0$ . Για να εκτιμήσουμε το ποσοστό λάθους, που οφείλεται στην ανακρίβεια, με την οποία πολλές φορές είναι γνωστός ο χρόνος κυκλοφορίας της λάσπης, υπολογίσαμε την διόρθωση θερμοκρασίας με τέσσερες διαφορετικές τιμές του χρόνου  $t$ . Στο διάγραμμα 1, φαίνεται ο τρόπος υπολογισμού της διόρθωσης θερμοκρασίας για την γεώτρηση ΕΠ-1, σε βάθος 2611 m και στον πίνακα I αναγράφονται οι τιμές που χρησιμοποιήσαμε γι' αυτό το

διάγραμμα. Απο τα στοιχεία του διαγράμματος 1 συμπεραίνουμε γενικά ότι: α) η πραγματική θερμοκρασία, 96° - 98° C, είναι μεγαλύτερη κατά 10° περίπου από την θερμοκρασία C που καταγράφεται 24 ώρες (t+Δt) μετά την διάτρηση του πετρώματος, 88°C. β) Αν δεν γνωρίζουμε με ακρίβεια τον χρόνο κυκλοφορίας της λάσπης, το λάθος είναι μικρό, κυμαινόμενο από 0 - 2,5°C.

Πίνακας 1. Υπολογισμός της διόρθωσης θερμοκρασίας (Διάγραμμα 1).

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΧΡΟΝΟΣ Δt (ω)	$\frac{\Delta t}{t+\Delta t}$			
		t=2ω	t=4ω	t=6ω	t=8ω
78	7 1/2	0,79	0,65	0,55	0,48
85	12 1/2	0,86	0,76	0,68	0,61
88	17 1/2	0,90	0,81	0,75	0,67



Διάγραμμα 1. Διόρθωση θερμοκρασίας ΓΤ ΕΡ-1, βάθος 2611 μ.

Σε όσες γεωτρήσεις υπήρχαν διαθέσιμα στοιχεία υπολογίσαμε την διόρθωση της θερμοκρασίας, στις υπόλοιπες επιλέξαμε την μέγιστη τιμή που μετρήθηκε.

Στον πίνακα II συνοψίζουμε τα παραπάνω στοιχεία, δηλαδή μέγιστο βάθος κάθε γεώτρησης, τελευταίο πέτρωμα που συναντήθηκε, βάθος της κορυφής αυτού του πετρώματος, αντίστοιχες θερμοκρασίες και μέση θερμοβαθμίδα.

Από τα στοιχεία του πίνακα II παρατηρούμε ότι: (1) Οι θερμοβαθμίδες είναι γενικά λίγο μεγαλύτερες από την μέση γήινη θερμοβαθμίδα, με εξαίρεση την λεκάνη Θεσσαλονίκης στην οποία είναι μικρότερη. Μπορούμε λοιπόν να υποθέσουμε ότι, τα θερμά ξηρά πετρώματα δεν προέρχονται από σχετικά πρόσφατη ηφαιστειότητα, αλλά έχουν κρυώσει και η περίσσεια θερμότητα τους οφείλεται μάλλον στα ραδιενεργά ορυκτά που περιέχουν. (2) Δεν υπάρχουν εξαιρετικά μεγάλες θερμοκρασίες, παρα μόνο στις γεωτρήσεις της Ορεστιάδας και αυτές σε μικρά βάθη.

#### ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΘΕΡΜΩΝ ΞΗΡΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ - ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Για να υπολογίσουμε το ποσό θερμότητας των ΘΞΠ και να αποφανθούμε αν αυτό είναι εκμεταλλεύσιμο, χρειαζόμαστε πολύ περισσότερα στοιχεία από αυτά που διαθέτουμε, με τα οποία δεν είναι δυνατόν να προχωρήσουμε τους υπολογισμούς μας πέρα από την εκτίμηση του ποσοτικού γεωθερμικού υποβάθρου και του ποσού θερμότητας που μπορεί να εξαχθεί θεωρητικά από έναν όγκο ΘΞΠ. Επιλέγουμε την περιοχή της Επανωμής, της οποίας διαθέτουμε τα περισσότερα στοιχεία, για να υπολογίσουμε αυτά τα ποσά θερμότητας, τα οποία πιστεύουμε ότι μπορούν να αποτελέσουν μια πρώτη βάση εκτίμησης της θερμικής αξίας των ΘΞΠ.

Στην περιοχή Επανωμής δύο γεωτρήσεις συνάντησαν γρανοδιορίτη στα 3.400 m περίπου. Η προέλευση και η έκταση του γρανοδιορίτη αυτού δεν έχουν προσδιοριστεί ακόμη με βεβαιότητα. Μπορούμε όμως να υποθέσουμε ότι επειδή ο γρανοδιορίτης είναι πλουτώνιο πέτρωμα πρέπει να προϋπήρχαν παλαιότερα πετρώματα μέσα στα οποία διείδυσε. Σύμφωνα με τις απόψεις των γεωλόγων της ΔΕΠ-ΕΚΥ (Kellogg, H.E., 1990) η διείδυση αυτή έλαβε χώρα κατά την διάρκεια του Ολιγοκαίνου-Μειοκαινού.

Για την σχέση του γρανοδιορίτη αυτού, που συνάντησαν οι γεωτρήσεις, με τον γρανοδιορίτη που εμφανίζεται στην επιφάνεια 15 Km περίπου ΒΑ, στην θέση Μονοπήγαδο, οι απόψεις των γεωλόγων της ΔΕΠ-ΕΚΥ διίστανται. Σύμφωνα με την πρώτη άποψη οι δύο γρανοδιορίτες δεν έχουν σχέση μεταξύ τους και αποτελούν ανεξάρτητες διειδύσεις μαγματικού υλικού (σχήμα 1α). Αντίθετα, σύμφωνα με την δεύτερη άποψη πρόκειται για ένα ενιαίο γρανοδιορίτη, ο οποίος εκτείνεται σε όλη την περιοχή και έχει υποστεί διαβρώσεις και τεκτονικές παραμορφώσεις (σχήμα 1β).

Δεχτήκαμε την δεύτερη άποψη και χρησιμοποιώντας τα σεισμικά δεδομένα της ΔΕΠ-ΕΚΥ χαρτογραφήσαμε κατά προσέγγιση την επιφάνεια του γρανοδιορίτη. Στο σχήμα 2 έχουμε σχεδιάσει τον όγκο του γρανοδιορίτη όπως προκύπτει από την χαρτογράφηση.

Πίνακας 2. Στοιχεία γεωτρήσεων και θερμοκρασιών.

ΠΕΡΙΟΧΗ	ΓΕΩΤΡΗΣΗ (ΕΤΟΣ)	ΜΕΓΙΣΤΟ ΒΑΘΟΣ (Μ)	ΤΕΛΕΥΤΑΙΟ ΠΕΤΡΩΜΑ (ΒΑΘΟΣ ΚΟΡΥΦ.)	ΒΑΘΟΣ (Μ)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΜΕΤΡ/ΝΗ ΘΕΡΜ/ΣΙΑ °C	ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΗ ΘΕΡΜ/ΣΙΑ °C	ΘΕΡΜΟ- ΒΑΘΜΙΑΔΑ °C/100	
ΕΥΑΝΟΜΗ	EP-1(1989)	3450	ΓΡΑΝΟΔΙΟΡΙΤΗΣ (3429)	1380	-	58	3,0	
				2610	-	96	3,0	
				2825	-	100	3,0	
				3290	-	108	2,8	
				3450	-	111	2,7	
ΕΥΑΝΟΜΗ	EP-2(1988)	3415	ΓΡΑΝΟΔΙΟΡΙΤΗΣ (3395)	1479	-	61	3,0	
				1622	-	65	3,0	
				2677	-	100	3,1	
				2886	-	103	3,0	
				3415	-	116	2,9	
ΟΡΕΣΤΙΑΔΑ	OR-3(1982)	3830	ΜΕΛΑ-ΓΑΒΒΡΟΙ (3742)	190	47	-	66,0 (i)	
				1480	72	81	4,4	
				2670	106	111	3,5	
				3720	139	143	3,4	
					3825	138	-	3,2 (i)
	OR-4(1983)	1817	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ (1680)	314	40	-	7,6	
				1602	64	-	3,0	
				1816	68	-	2,8	
OR-5(1983)	1548	ΠΡΑΣΙΝΟΛΙΘΟΣ (1538)	214	59	-	20,0 (i)		
			1548	67	-	3,3		
OR-9(1987)	2548	ΤΟΦΦΙΤΕΣ (2250)	1178	48	-	2,7		
			2550	92	-	3,0		
ΔΕΛΤΑ ΕΒΡΟΥ	DEV-1(1981)	4229	ΜΕΛΑΔΙΑΒΑΣΗΣ (3270)	1601	68	-	3,2	
				2742	96	-	2,9	
				3977	136	-	3,0	
				4231	147	-	3,1	
DEV-3(1982)	2860	ΔΙΑΒΑΣΗΣ (2800)	1520	61	63	3,1		
			2666	95	104	3,3		
			2860	103	108	3,2		
ΣΤΡΥΜΩΝΑΣ	STR-1(1980)	3650	ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΙ ΜΑΡΜΑΡΑ (3502)	1750	-	84	3,9	
				3500	-	122	3,0	
				3650	-	128	3,1	
				3650	135	-	3,3	
STR-3(1984)	3144	ΓΝΕΥΣΙΟΙ (2995)	504	35	-	3,8		
			1910	64	-	2,5		
			3144	96	-	2,5		
ΛΕΚΑΝΗ ΘΕΣ/ΚΗΣ	GI-2(1967)	2091	ΑΜΦΙΒΟΛΙΤΕΣ (2089)	1530	51	-	2,3	
				1935	59	-	2,2	
				2091	60	-	2,1	
	AS-1(1967)	1524	ΜΟΣΧΟΒΙΤΙΚΟΣ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ (1500)	805	45	-	3,6 (i)	
			1050	45	-	2,8		
			1520	50	-	2,2		

Πίνακας 2 (συνέχεια)

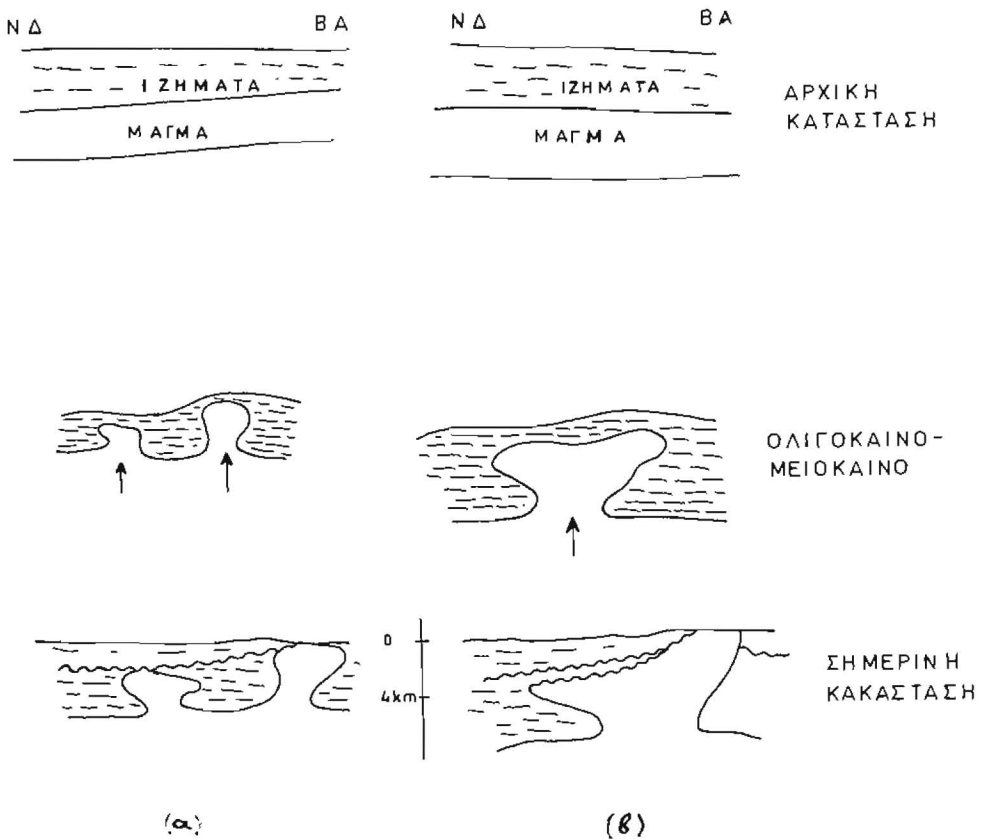
ΛΕΚΑΝΗ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ	ΓΕΩΤΡΗΣΗ (ΕΤΟΣ)	ΜΕΓΙΣΤΟ ΒΑΘΟΣ (Μ)	ΤΕΛΕΥΤΑΙΟ ΠΕΤΡΩΜΑ (ΒΑΘΟΣ ΚΟΡΥΦ)	ΒΑΘΟΣ (Μ)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΜΕΤΡ/ΝΗ ΘΕΡΜ/ΣΙΑ °C	ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΗ ΘΕΡΜ/ΣΙΑ		ΘΕΡΜΟ- ΒΑΘΜΙΑ/ °C/100
						°C	°C	
ΛΕΚΑΝΗ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ	LO-1(1980)	3092	ΧΑΩΡΙΤΙΚΟΣ ΧΑ- ΛΑΖΙΤΗΣ (ΣΧΙΣΤΟ ΛΙΘΟΣ(3047)	1522 3092	70 83	- 86		3,5 2,3
	AL-1(1980)	1706	ΟΨΙΟΛΙΘΟΙ (ΠΕΡΙΔΟΤΙΤΗΣ- ΓΑΒΡΟΙ)1600	1706	52	58		2,5
ΚΑΣΣΑΝΔΡΑ	KAS-1(1988)	1904	ΓΑΒΡΟΙ (1558)	365	40	-	6,6 3,5 2,6 (;	
				1550	64	70		
				1800	63	-		
KAS-2(1988)	1785	ΜΟΝΖΟΝΙΤΗΣ (1720)	1300 1720	- 53	56 -	3,1 2,1 (;		
KAS-3(1988)	1974	ΜΟΝΖΟΝΙΤΗΣ (1964)	1650 1966	- -	68 70	3,1 2,7		
ΠΟΣΕΙΔΙ	POS-1(1987)	4120	ΦΥΛΛΙΤΗΣ (3610)	1179	-	55	3,3 3,6 3,4 3,4	
				2394	-	103		
				3468	-	136		
				4120	-	156		
ΝΕΣΤΟΣ	NE-1(1976)	3159	ΑΜΦΙΒΟΛΙΤΙΚΟΙ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΙ ΧΑΛΑΖΙΤΕΣ (3120)	1103	55	-	3,5 2,6 2,9 3,4 2,8 (;	
				2372	79	-		
				2404	85	-		
				2963	116	-		
				3156	104	-		
	NE-2(1977)	3970	ΑΜΦΙΒΟΛΙΤΙΚΟΙ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΙ ΧΑΛΑΖΙΤΕΣ (3959)	2774	102	-	3,1 2,9 3,5 4,3 (;	
				3091	105	-		
				3107	125	-		
				3440	165	-		
				3940	160	-		
	3962	164	-					
	NE-3(1978)	3851	ΧΑΩΡΙΤΙΚΟΣ ΧΑΛΑΖΙΤΗΣ (3838)	1048	60	-	4,2 3,3 3,1 3,7	
				2480	99	-		
3601				129	-			
3847				158	-			

Παρατήρηση: Τιμές με ερωτηματικά είναι αβέβαιες.

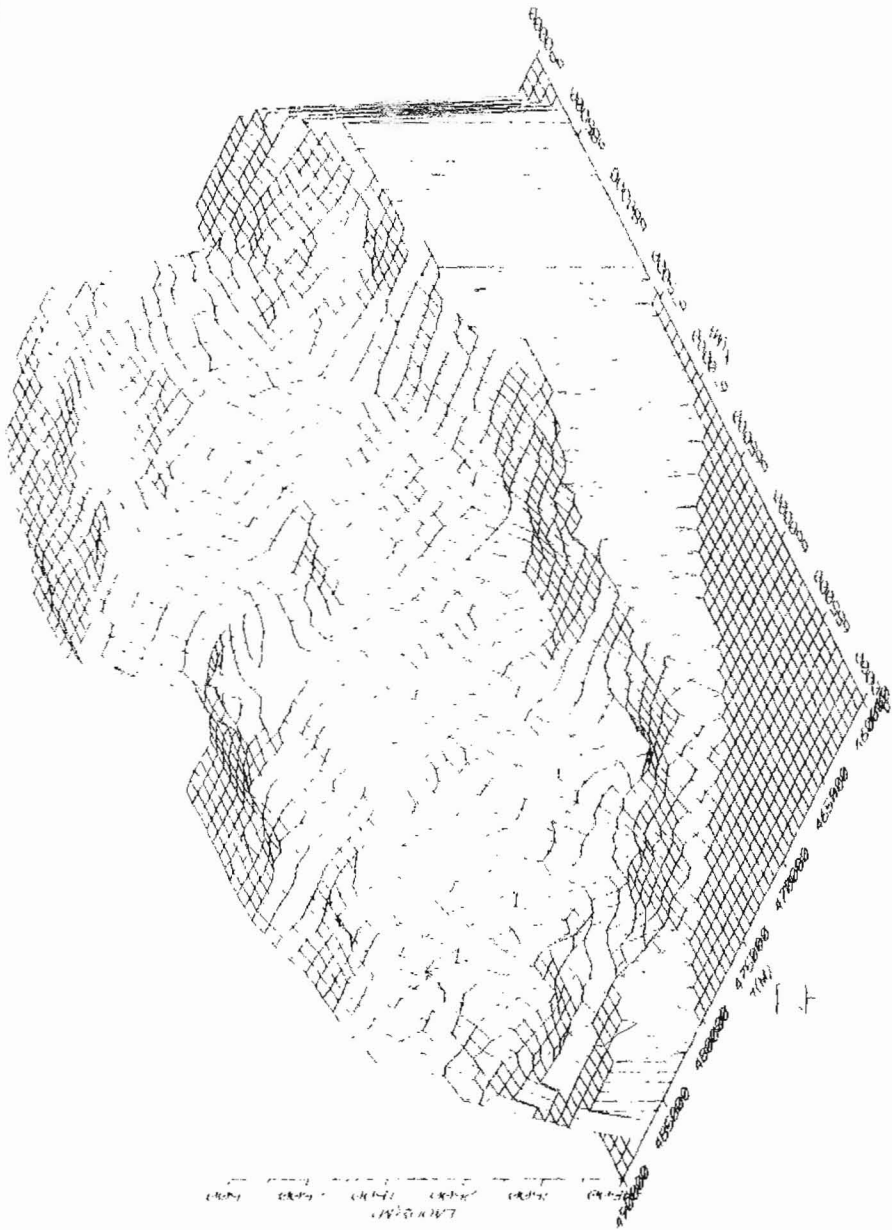
Για να υπολογίσουμε το προσιτό Γεωθερμικό Υπόβαθρο απο την επιφάνεια του γρανοδιορίτη μέχρι 7km βάθος χρησιμοποιούμε την σχέση (1) (Buntebarth, 1976):

$$Q = \sum_{i=1}^{i=N} \rho_i c_i V_i \Delta \theta_i \quad (1)$$

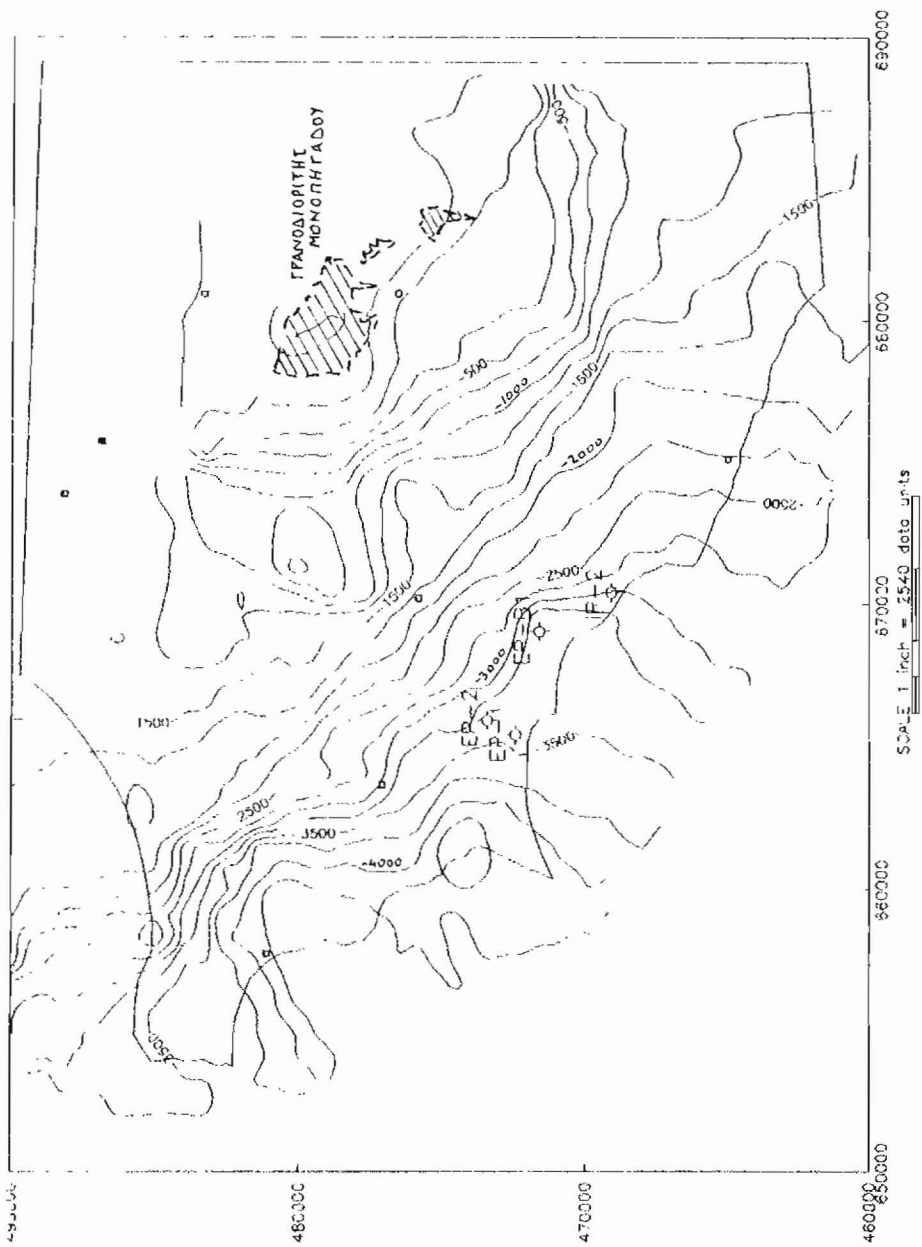
όπου: Q παριστάνει την θερμότητα που μπορούμε να πάρουμε απο το πέτρωμα αν η θερμοκρασία του ελαττωθεί στους 16°C (μέση ετήσια θερμοκρασία),  $\rho_i, c_i, V_i$  και  $\Delta \theta_i$  συμβολίζουν αντίστοιχα την πυκνότητα, την ειδική θερμότητα, τον όγκο και την διαφορά θερμοκρασίας ενός στοιχειώδους τμήματος  $i$  του πετρώματος, και N είναι ο συνολικός αριθμός των στοιχειωδών τμημάτων.



Σχ.1. Πιθανές κινήσεις γρανοδιορίτη Επανωμής.



Σχ.2. Ογκος γρανοδιορίτη Επανομής όπως προκύπτει από την ερμηνεία δεδομένων σεισμικών ανάκλασης.



Σχ.3. Χάρτης Ισοβαθών καμπυλών όγκου γρανοδιορίτιη.

Υποθέτουμε ότι η πυκνότητα του πετρώματος είναι σταθερή σε όλη του την έκταση και ίση με  $2,61 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ . Η τιμή αυτή έχει υπολογιστεί χρησιμοποιώντας δείγματα γρανοδιορίτη των περιοχών Σιθωνίας, Αρνέας και Μονοπήγαδου (Κυριακίδης 1984).

Η ειδική θερμότητα του γρανοδιορίτη μεταβάλλεται με την θερμοκρασία σύμφωνα με την σχέση (2) (Buntebarth, 1976):

$$\sigma = 0.75 + 0.0004605\theta - 14460.0 \theta^{-2} \text{ (Kj/Kg}^\circ\text{C)} \quad (2)$$

Χρησιμοποιήσαμε την σχέση αυτή για να υπολογίσουμε την  $\sigma_i$  για κάθε στρώμα  $i$ . Τον όγκο των στρωμάτων υπολογίζουμε γραφικά χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα SURFER της GOLDEN SOFTWARE INC. Διαιρούμε τον όγκο του γρανοδιορίτη σε 14 (N=14) παράλληλα στρώματα πάχους 500m. αρχίζοντας από την ισοψή των 0 μ. Στο σχήμα 3 φαίνονται οι ισοβαθείς που αποτελούν τα όρια αυτών των στρωμάτων μέχρι τα 4km βάθος. Από τα 4 έως τα 7km ο όγκος των στρωμάτων θεωρείται σταθερός.

Πίνακας 3. Υπολογισμός του προσιτού γεωθερμικού υπόβαθρου του γρανοδιορίτη.

ΣΤΡΩΜΑ	ΒΑΘΟΣ	ΟΓΚΟΣ $\times 10^9 \text{ m}^3$	ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡ/ΤΑ J/KG $^\circ\text{C}$	ΜΕΣΗ Θ/ΣΙΑ $^\circ\text{C}$	ΔΙΑΦΟΡΑ Θ/ΣΙΩΝ $^\circ\text{C}$	ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ $\times 10^{18} \text{ J}$	ΑΘΡΟΙΣΜΑ Θ/ΤΩΝ $\times 10^{18} \text{ J}$
1	0-500	55	720	23	7	0,7	0,7
2	500-1000	79	740	37	21	3,2	3,9
3	1000-1500	119	760	51	35	8,3	12,2
4	1500-2000	177	780	65	49	17,6	29,8
5	2000-2500	215	795	79	63	28,1	57,9
6	2500-3000	246	820	94	77	40,5	98,4
7	3000-3500	277	825	108	91	54,3	153,7
8	3500-4000	355	840	122	106	82,5	235,2
9	4000-4500	362	850	136	120	96,4	331,6
10	4500-5000	362	865	150	134	111,3	442,9
11	5000-5500	362	875	164	148	122,3	565,2
12	5500-6000	362	880	178	162	134,8	700,0
13	6000-6500	362	890	192	176	148,0	848,0
14	6500-7000	362	905	206	190	164,0	1012,0
ΣΥΝΟΛΟ	0-7000	3695	824,6	-	-	-	1012

Την μέση θερμοκρασία κάθε στρώματος υπολογίζουμε με παρεμβολή χρησιμοποιώντας την μέση θερμοβαθμίδα της περιοχής ίση με  $28,20^{\circ}\text{C}/\text{km}$  όπως αυτή προκύπτει από τα δεδομένα των γεωτρήσεων.

Με τα παραπάνω στοιχεία υπολογίζουμε το ποσό θερμότητας που θα απελευθέρωνε όλος ο όγκος του γρανοδιορίτη, από την επιφάνεια του μέχρι τα 7km βάθος, αν η θερμοκρασία του γίνονταν ίση με την μέση ετήσια θερμοκρασία  $16^{\circ}\text{C}$ . Τα αποτελέσματα των υπολογισμών φαίνονται στον πίνακα III. Το ποσοστό Γεωθερμικό υπόβαθρο που υπολογίζεται με την περιγραφείσα μέθοδο είναι περίπου 10 quad,  $1 \text{ quad} = 10^{18} \text{ Joules} = 23,9 \times 10^6 \text{ TII}$  (τόννοι ισοδυναμίου πετρελαίου). Αυτό το ποσό θερμότητας δεν έχει πρακτική σημασία, διότι δεν είναι δυνατόν με τεχνικά μέσα να εξαχθεί από την γή.

Πρακτική αξία έχει το ποσό θερμότητας που μπορούμε να πάρουμε αν, για παράδειγμα, διοχετεύσουμε νερό από την επιφάνεια μέσα στην μάζα του γρανοδιορίτη, μέσω της γεώτρησης EP-2 και πάρουμε, μετά πάροδο αρκετού χρόνου, νερό θερμοκρασίας  $122^{\circ}\text{C}$  από την γεώτρηση EP-2. Αυτό το ποσό θερμότητας εξαρτάται από τον όγκο του πετρώματος που θα λάβει χώρα στην ανταλλαγή θερμότητας και από την ισχύ της εγκατάστασης εκμετάλλευσης. Θεωρητικά θα μπορούσε να αποληφθεί η θερμότητα που περιέχεται π.χ. σε έναν σφαιρικό όγκο γρανοδιορίτη με διάμετρο 1120m, δηλαδή την απόσταση μεταξύ των γεωτρήσεων EP-1 και EP-2. Το αντίστοιχο ποσό θερμότητας ανέρχεται σε 0,14 quad το οποίο ισοδυναμεί με 3.3 εκατομμύρια TII.

Από τους παραπάνω θεωρητικούς υπολογισμούς διαπιστώνουμε ότι, αν έστω και ένα μικρό ποσοστό από τη γεωθερμική πηγή του γρανοδιορίτη Επανομής καταστεί εκμεταλλεύσιμο στο μέλλον, αυτό θα είναι σημαντικό.

## ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Για την πληρέστερη γνώση των ενεργειακών αποθεμάτων της χώρας μας, είναι δυνατόν, με τα στοιχεία που διαθέτει η ΔΕΠ-ΕΚΥ, να πραγματοποιηθούν ανάλογοι υπολογισμοί και σε άλλα ΘΕΠ που εντοπίζονται με βαθειές γεωτρήσεις.

Τα ποσά θερμότητας που υπολογίζονται με την περιγραφείσα μέθοδο είναι μόνον ενδεικτικά και προσεγγιστικά, διάφοροι παράγοντες όπως, η παροχή της γεώτρησης εξόδου, η τελική θερμοκρασία του νερού, η διαπερατότητα της επιφάνειας ανταλλαγής και φυσικά το κόστος, είναι καθοριστικοί για την εξαγωγή συμπερασμάτων ως προς την δυνατότητα αξιοποίησης αυτών των ποσών θερμότητας.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Buntebarth, G., (1976). "Geothermics" An Introduction, Springer-Verlag, Ed, P. 9-63.
- Edwards, I. M. et al., (1982). Handbook of Geothermal Energy, Gulf Publishing Co.
- Fertl, W.H., Wichmann, P.A., (1977). How to determine static bht from well log data, world oil, JAN. 1977, P. 105-106.
- Fytikas, M.D., Koliou, N.P., (1979). "Preliminary heat flow map of Greece, terrestrial heat flow in Europe, Inter-Union

- Commission OF Geodynamics, SC. Report No. 58, V. Cermak and L. Rybach, Springer-Verlag.
- Gupta, H.K., (1980). Geothermal Resources: An Energy Alternative, Elsevier Scientific Publishing Co.
- Hutchins, J.S., Kading, H. (1969). How to Interpret Temperature Surveys, Oil and Gas Journal, Aug.11 1969, P. 137-141.
- Kellogg, H.E., (1990). "Reflection Seismic Interpretation, Epanomi Area, Northern Greece", Final Report, ΔΕΠ-ΕΚΥ, ΟΣΤ.
- Kyriakidis, L.G., (1984). "Geophysical Studies of the Eastern Margin of the Vardar Zone in Central Macedonia", Thesis.
- Συρακόπουλος, Δ., Κολοβός, Α., (1990). Γεωλογική Έκθεση Γεώτρησης Επανομής-1, ΔΕΠ-ΕΚΥ.
- Γεωλογικός Χάρτης ΙΓΜΕ - Φύλλο Βασιλικά ΚΛ. 1:50.000  
Έκδοση 1978.