

ΠΡΟΣΦΑΤΕΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΠΟΣΟΤΙΚΗΣ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ  
ΦΟΡΗΤΩΝ ΦΑΣΜΑΤΟΜΕΤΡΩΝ ΑΚΤΙΝΩΝ ΓΑΜΜΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.

Από : Δρ. Γ.Ν. ΣΙΑΔΕΡΗ\*, Dr. J. BARTOSEK\*\*, Dr. M. CHLUPACOVA\*\*\*,  
Αικ. Ν. ΠΑΠΑΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ\*\*\*\*.

RECENT POSSIBILITIES OF QUANTITATIVE CALIBRATION OF  
PORTABLE GAMMA-RAY SPECTROMETRY IN GREECE.

By : Dr. G.N. SIDERIS\*, Dr. J. BARTOSEK\*\*, Dr. M. CHLUPACOVA\*\*\*,  
Ek. N. PAPAKONSTANTINOU\*\*\*\*.

ΣΥΝΟΨΗ

Ποσοτικοί προσδιορισμοί των περιεκτικοτήτων των ραδιοστοιχείων σε δείγματα ή / και εμφανίσεις γεωλογικών σχηματισμών μπορούν να υπολογιστούν από μετρήσεις που μας δίνουν φορητά φασματόμετρα ακτίνων γάμμα όταν βαθμονομηθούν κατάλληλα. Η βαθμονόμηση αυτών των συσκευών εριλαμβάνει τη σωστή τοποθέτηση των κατάλληλων ενεργειακών παραθύρων ε συγκεκριμένες θέσεις στο φάσμα των ενεργειών καθώς και τον προσδιορισμό μιας σειράς συντελεστών για κάθε μια συσκευή ξεχωριστά.

Οι συντελεστές αυτοί (απογύμνωσης, ευαισθησίας, σταθερά διατάραξης, λ.π.), μοναδικοί για κάθε φορητό φασματόμετρο ακτίνων γάμμα, σε συνδυασμό με μετρήσεις στα φρεάτια βαθμονόμησης γεωφυσικών συσκευών που βρίσκονται στις εγκαταστάσεις του ΕΚΕΦΕ "Δημόκριτος", χρησιμοποιούνται με εξισώσεις και με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού προγράμματος μας δίνουν τη δυνατότητα να προσδιορίσουμε με ακρίβεια και ταχύτητα τις συγκεντρώσεις των ραδιοστοιχείων κύρια σε δείγματα που ενδιαφέρουν ένα μεγάλο αριθμό γεωεπιστημονικών ερευνητικών έργων.

ABSTRACT

Quantitative determinations of radioelement concentrations in samples or/and outcrops can be computed from data obtained with portable gamma-ray spectrometers when these are properly calibrated. Calibration of these instruments includes not only the energy setting of the windows over the proper peaks in the gamma-ray energy spectrum but also determination of quite a few factors for each individual apparatus.

These factors (stripping ratios, sensitivities, background, etc.), unique for each portable gamma-ray spectrometer, in combination with measurements on the calibration pads which have been recently installed at N.C.R.P.S. "Democritos" campus near Athens Greece, have been utilized in equations and with the use of proper computer software program have shown the possibility to determine, with accuracy and speed, the radioelement concentration, mainly in samples which are of great interest to many geoscientific exploration projects.

\* ΙΓΜΕ, Μεσογείων 70, 11527. ΑΘΗΝΑ, ΕΛΛΑΔΑ.

\*\* GEOFYZIKA BRNO, Jecna 29a, 61246 BRNO, P.O. BOX 62, CZECHOSLOVAKIA.

\*\*\* GEOFYZIKA BRNO, zavod PRAHA, Barrandov, 15200 PRAHA 5, CZECHOSLOVAKIA.

\*\*\*\* ΓΕΩΛΟΓΟΣ, Αράδου 36, 15771. ΑΘΗΝΑ, ΕΛΛΑΔΑ.

## Εισαγωγή.

Η ένταση της ραδιενέργειας που μετριέται στο ύπαιθρο προέρχεται κατά κανόνα από τρεις φυσικές ραδιενεργές οικογένειες, του  $^{238}\text{U}$ , του  $^{232}\text{Th}$  και του  $^{40}\text{K}$  όπως και των θυγατρικών τους ραδιενεργών στοιχείων (Doig, D., 1968).

Για τον ποσοτικό προσδιορισμό των περιεκτικοτήτων σε Κάλιο ( $^{40}\text{K}$ ), ισοδύναμο ουρανίου (eU) και ισοδύναμο θορίου (eTh), διαφόρων γεωλογικών σχηματισμών ή δειγμάτων που αντιστοιχούν σε συγκεκριμένες θέσεις ενδιαφέροντος χρησιμοποιούνται όργανα τα οποία έχουν δυνατότητα διάκρισης και καταγραφής της έντασης της ακτινοβολίας γάμμα σε διάφορες στάθμες στο ενεργειακό φάσμα (Darnley, A.G., 1977). Αυτά είναι γνωστά σαν φασματόμετρα ακτίνων γάμμα, τύπου παραθύρου (window type).

Ακριβείς ποσοτικοί προσδιορισμοί των συγκεντρώσεων ραδιοστοιχείων σε συγκεκριμένες θέσεις στην περιοχή που ερευνάται είναι δυνατό να επιτευχθούν με την χρήση φασματομέτρων ακτίνων γάμμα αφού προηγούμενα βαθμονομηθούν με βάση πρότυπες ραδιενεργές πηγές. Η βαθμονόμηση πρέπει κάθε φορά να γίνεται με προσοχή ακολουθώντας συγκεκριμένη μεθοδολογία, η οποία και αναπτύσσεται στα πλαίσια αυτής της μελέτης. Έτσι προσδιορίζονται οι περιεκτικότητες των ραδιενεργών στοιχείων των γεωλογικών σχηματισμών στην περιοχή έρευνας με αποδεκτή ακρίβεια.

Στα πλαίσια της διαδικασίας βαθμονόμησης κάθε συγκεκριμένης ραδιομετρικής συσκευής γάμμα λαμβάνεται υπόψη ότι η περιεκτικότητα των ραδιοστοιχείων σε μία συγκεκριμένη θέση είναι ανάλογη της έντασης της ραδιενέργειας που μετριέται και ενός συντελεστή "S" που είναι σταθερός. Το πρόβλημα της βαθμονόμησης έχει σχέση με τον υπολογισμό αυτής της σταθερής (S) που είναι η σταθερή βαθμονόμησης και η οποία ποικίλλει και εξαρτάται από τον τύπο της ραδιομετρικής συσκευής που χρησιμοποιείται.

Πριν από τον προσδιορισμό της σταθερής βαθμονόμησης θα πρέπει η τιμή της έντασης της ραδιενέργειας να διορθωθεί από την επίδραση της ακτινοβολίας υποστρώματος (background), της κοσμικής ακτινοβολίας (cosmic radiation) και των ακτίνων γάμμα και άλφα που προέρχονται από ραδιοστοιχεία που δεν έχουν σχέση με αυτά που άμεσα ενδιαφέρουν στα γεωερευνητικά έργα.

## Φασματόμετρα ακτίνων γάμμα τύπου παραθύρου.

Τα φασματόμετρα ακτίνων γάμμα στα οποία εφαρμόζεται η μεθοδολογία βαθμονόμησης που αναπτύσσεται σ'αυτήν την εργασία είναι όργανα εύχρηστα τα οποία αποτελούνται από δύο μέρη: την

κονσόλα του φασματόμετρου ακτίνων γάμμα και ένα φωρατή.

Η λειτουργία τους βασίζεται στις ιδιότητες των φωρατών τους (Price, W.J., 1964) να διεγείρονται όταν προσπίπτει πάνω τους η ακτινοβολία γάμμα με σύγχρονη εκπομπή φωτονίων. Μόλις τα φωτόνια, που αντιστοιχούν σε κβάντα ενέργειας της ακτινοβολίας γάμμα, εισχωρήσουν στον κρύσταλλο του φωρατή (στην προκειμένη περίπτωση κρύσταλλος NaI), προκαλούν μία εκπομπή φωτός. Αυτό το φως που εκπέμπεται είναι ανάλογο με την ένταση των τιμών της ραδιενέργειας και όταν προσπέσει στο φωτοπολλαπλασιαστή (φωτοκάθοδος ενός πολλαπλασιαστή), που βρίσκεται σε επαφή με το φωρατή, έχει σαν αποτέλεσμα εκπομπή ηλεκτρονίων που τελικά μετατρέπονται σε οπτικές αναγραφές οι οποίες αντιστοιχούν σε κρούσεις ή κτύπους ανά δευτερόλεπτο (κ.α.δ ή cps).

Οι συσκευές αυτές στην πραγματικότητα μετρούν τις εντάσεις των ακτίνων γάμμα των ραδιοστοιχείων των  $^{40}\text{K}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  και  $^{208}\text{Tl}$  τα οποία αποτελούν θυγατρικά προϊόντα των στοιχείων που κύρια ενδιαφέρουν, δηλαδή των  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$  και  $^{232}\text{Th}$ .

### Φρεάτια βαθμονόμησης.

Οι πρότυπες πηγές που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα για να επιτευχθεί όσο το δυνατόν πιο ακριβής βαθμονόμηση των φορητών ραδιομετρικών συσκευών αντιστοιχούν σε τρία φρεάτια βαθμονόμησης τα οποία εγκαταστάθηκαν, για πρώτη φορά στην Ελλάδα, στα τέλη του 1982, στις εγκαταστάσεις του Ε.Κ.Ε.Φ.Ε. "Δημόκριτος", περιοχή όπου η σταθερή διατάραξη (background) της ολικής έντασης της ακτινοβολίας γάμμα, όπως μετρήθηκε με φορητά σπινθηρόμετρα, έχει τιμή που πλησιάζει αυτήν του υποστρώματος σε ασβεστολιθικούς σχηματισμούς στη χώρα μας. Τα φρεάτια αυτά έχουν διάμετρο 1.45m και πάχος 50cm.

Η κατασκευή των φρεατίων έγινε στο Roskilde της Δανίας μέσω ενός προγράμματος συνεργασίας του Εθνικού Εργαστηρίου Riso (Riso National Laboratory) της Δανίας και της Ε.Ε.Α.Ε. (Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας). Έχουν κατασκευαστεί από τρία διαφορετικά μίγματα ραδιοστοιχείων και χημικών στοιχείων, με μεταλλοφόρο ραδιενεργό υλικό που προέρχεται από το κλίτσαμα Kvanefjeld (αλκαλικός νεφελινικός συηλίτης) της Νότιας Γροιλανδίας και είχε αρχικές συγκεντρώσεις 800ppmTh και 400ppmU.

Από τα φρεάτια αυτά το φρεάτιο "L" δεν περιέχει καθόλου ραδιενεργά στοιχεία και χρησιμοποιείται σαν πρότυπο φρεάτιο αναφοράς μηδενικής συγκέντρωσης ραδιοστοιχείων, το φρεάτιο "M" περιέχει ραδιενεργό υλικό με χαμηλή συγκέντρωση ραδιοστοιχείων ενώ το φρεάτιο "H" περιέχει 4.4 περίπου φορές μεγαλύτερη συγκέντρωση ραδιενεργών στοιχείων από αυτήν του φρεατίου "M".

Οι ραδιομετρικές περιεκτικότητες του Καλλίου, του Ουρανίου και του Θορίου που υπάρχουν στα φρεάτια δίνονται στον Πίνακα

No.1 (οί αριθμοί στις παρενθέσεις είναι οι σταθερές διατάραξης) όπου επίσης δίνονται και οι συγκεντρώσεις των ραδιοστοιχείων σε Ur (μονάδα η οποία θεσπίστηκε από τη Δ.Ο.Α.Ε. (Διεθνής Οργανισμός Ατομικής Ενέργειας 1974, 1979) και ορίζεται ως εξής: "Μία γεωλογική πηγή που έχει μία μονάδα συγκέντρωσης ραδιοστοιχείων (Ur) προκαλεί την ίδια ανταπόκριση σε μία ραδιομετρική συσκευή σα να προερχόταν από μία πρότυπη πηγή που έχει περιεκτικότητα ραδιοστοιχείων 1ppm ουρανίου"), που υπολογίστηκαν με βάση τα παρακάτω στοιχεία μετατροπής:

$$1\%K = 0.72Ur$$

$$1ppmU = 1.00Ur \text{ (από ορισμό)}$$

$$1ppmTh = 0.34Ur$$

ΡΑΔΙΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΕΣ  $^{40}K$ ,  $^{238}U$  ΚΑΙ  $^{232}Th$  ΠΟΥ ΜΕΤΡΗΘΗΚΑΝ ΣΤΑ ΦΡΕΑΤΙΑ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΕΣ ΡΑΔΙΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΕ Ur ΟΠΩΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗΚΑΝ ΜΕ ΤΙΣ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ.

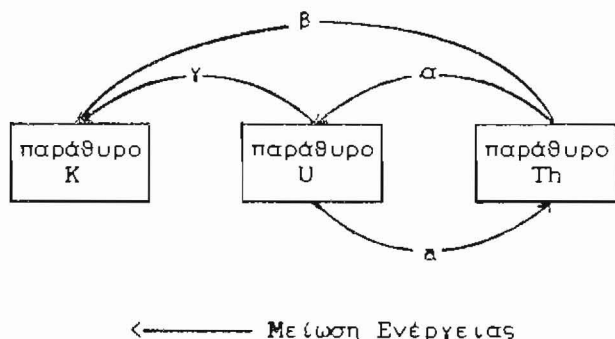
Τύπος φρεατίου	ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΩΝ			Συγκεντρώσεις ραδιοστοιχείων σε Ur
	K %	U ppm	Th ppm	
L	0.43 (0.02)	1.0 (0.08)	2.4 (0.2)	2.4 (0.2)
M	0.79 (0.04)	80.0 (1.50)	139.0 (3.0)	139.0 (4.0)
H	2.00 (0.10)	346.0 (6.00)	706.0 (11.0)	538.0 (15.0)

Πίνακας Νο.1

#### Ανάπτυξη της μεθοδολογίας βαθμονόμησης και εφαρμογής.

Όσον αφορά στη μεθοδολογία που ακολουθείται για να επιτευχθεί η ακριβής "ποσοτική" βαθμονόμηση για κάθε συγκεκριμένη συσκευή / φασματομέτρο ακτίνων γάμμα, αυτή βασίζεται αρχικά σε μετρήσεις οι οποίες λαμβάνονται από πρότυπα δείγματα [υποβάθρου (background), KCl, "καθαρού" ουρανίου (canadian ore) και "καθαρού" θορίου (monazite)] τα οποία έχουν τοποθετηθεί σε ειδικό χώρο με τοιχώματα από πλάκες μολύβδου πάχους 10cm, ώστε να είναι απομονωμένο το κάθε δείγμα από οποιαδήποτε εξωτερική επίδραση της ακτινοβολίας γάμμα. Από την αξιολόγηση των τιμών των μετρήσεων σ'αυτά τα δείγματα υπολογίζονται οι συντελεστές απογύμνωσης (stripping ratios) α (ALFA), β (BETA), γ (GAMA) και α (alfa) οι οποίοι χρησιμοποιούνται για να αφαιρείται κάθε φορά η επίδραση της ακτινοβολίας γάμμα του ενός ενεργειακού "παραθύρου" πάνω σε κάθε ένα από τα άλλα (Σχήμα Νο.1).

ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ (KILLEN, P.G., 1979) ΤΗΣ ΑΛΛΗΛΟΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΑΡΑΘΥΡΩΝ ΤΟΥ Κ, U, ΚΑΙ Th.



Σχήμα Νο.1

Στη συνέχεια χρησιμοποιούνται μετρήσεις που πάρθηκαν στα φρεάτια βαθμονόμησης και με τη βοήθεια κατάλληλων εξισώσεων (εξισώσεις απογύμνωσης - stripping equations και εξισώσεις μετατροπής - conversion equations) υπολογίζονται για κάθε φρεάτιο τρεις συντελεστές ευαισθησίας (sensitivity factors) που αντιστοιχούν ένας σε κάθε ενεργειακό παράθυρο ( $S_K, S_U, S_{Th}$ ). Σαν τελικοί συντελεστές ευαισθησίας για κάθε συγκεκριμένο όργανο λαμβάνονται οι μέσοι όροι των επιμέρους (κάθε φρεατίου) συντελεστών ευαισθησίας.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι μετρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν είχαν μετατραπεί σε κτύπους ανά δευτερόλεπτο (cps) ενώ η γεωμετρία των δειγμάτων ήταν 2π. Για κάθε άλλης γεωμετρίας δείγμα ή θέση μέτρησης οι συντελεστές ευαισθησίας διορθώνονται βάση του συντελεστή  $\Omega/2\pi$  ( $=0.89$  για τα συγκεκριμένα φρεάτια βαθμονόμησης και τη συγκεκριμένη συσκευή).

Τόσο τα φρεάτια βαθμονόμησης όσο και τα πρότυπα δείγματα που προαναφέρθηκαν κατασκευάστηκαν από ραδιενεργό υλικό που βρίσκεται σε κατάσταση ραδιενεργού ισορροπίας (secular equilibrium - Tanner, A.B., et al, 1977). Έτσι τα μέσα που χρησιμοποιούνται με σκοπό την ακριβή βαθμονόμηση των φασματομέτρων ακτίνων γάμμα θεωρούνται αξιόπιστα και αντιπροσωπευτικά, από την κατασκευή τους.

Για να εμπεδωθεί η παραπάνω μεθοδολογία και να δίνονται όσο το δυνατόν πιο αξιόπιστα αποτελέσματα προσδιορισμού συγκεντρώσεων των ραδιενεργών στοιχείων χρησιμοποιήθηκαν, το φασματομέτρο ακτίνων γάμμα (κατασκευής 1988) του Γεωφυσικού Ινστιτούτου της Τσεχοσλοβακίας (Geofysika Brno), παράλληλα με την αντίστοιχη συσκευή ("Exploranium" GR-410 s/n 3042 με φωρατή τύπου GPX - 21 s/n 3342 - Κατασκευής 1980) της Διεύθυνσης Γεωφυσικών Ερευνών του Ι.Γ.Μ.Ε.

Ο υπολογισμός των συντελεστών ευαισθησίας και απογύμνωσης επιβραδύνεται λόγω χρησιμοποίησης σχετικά σύνθετων εξισώσεων στο υπολογιστικό τμήμα της διαδικασίας βαθμονόμησης. Η αδυναμία αυτή της μεθόδου αναιρείται με τη χρησιμοποίηση φορητών ηλεκτρονικών υπολογιστών του μεγέθους ενός XT/IBM compatible και οι μετρήσεις που λαμβάνονται στο ύπαιθρο είναι δυνατό να αξιολογηθούν άμεσα.

Ο υπολογισμός των συντελεστών ευαισθησίας και απογύμνωσης γίνεται μέσω του λογισμικού προγράμματος STR88R.BAS (Lomborg, L., 1983) που χρησιμοποιήθηκε σε μικρο-υπολογιστή τύπου XT/IBM compatible της Διεύθυνσης Γεωφυσικών Ερευνών του Ι.Γ.Μ.Ε. (Πίνακας Νο.2). Αφού υπολογιστούν οι συντελεστές ευαισθησίας ( $S_K$ ,  $S_U$ ,  $S_T$ ), για κάθε συγκεκριμένο όργανο, είναι δυνατό στη συνέχεια, εύκολα και γρήγορα, να λαμβάνονται μετρήσεις στο ύπαιθρο, να μετατρέπονται σε τιμές που αντιστοιχούν σε κτύπους ανά δευτερόλεπτο ( $\eta_K$ ,  $\eta_U$ ,  $\eta_T$  σε cps) και να υπολογίζονται οι περιεκτικότητες σε %K, ppmU και ppmTh κάθε δείγματος με βάση τις εξισώσεις μετατροπής (conversion equations):

$$\begin{aligned} \%K &= \eta_K' / S_K \\ \text{ppmU} &= \eta_U' / S_U \\ \text{ppmTh} &= \eta_T' / S_T \quad \text{όπου:} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \eta_K' &= \eta_K - \beta \eta_T' - \gamma \eta_U' \\ \eta_U' &= (\eta_U - \alpha \eta_T) / (1 - \alpha \alpha) \\ \eta_T' &= (\eta_T - \alpha \eta_U) / (1 - \alpha \alpha) \end{aligned}$$

Με τη μέθοδο αυτή πραγματοποιήθηκαν ποσοτικοί προσδιορισμοί των περιεκτικότητων ουρανίου, θορίου και καλλίου σε πρότυπα δείγματα γνωστών περιεκτικότητων (standards), που διαθέτει το Εργαστήριο της Διεύθυνσης Γεωφυσικών Ερευνών του Ι.Γ.Μ.Ε. (Πίνακας Νο.3). Οι προσδιορισμοί αυτοί βασίζονται στις μετρήσεις της έντασης της ακτινοβολίας γάμμα των θυγατρικών στοιχείων  $^{214}\text{Bi}$  (της σειράς διάσπασης του  $^{238}\text{U}$ ),  $^{208}\text{Tl}$  (της σειράς διάσπασης  $^{232}\text{Th}$ ) και προϋποθέτουν ότι το θυγατρικό νουκλίδιο (π.χ.  $^{214}\text{Bi}$ ), βρίσκεται σε ισορροπία με το μητρικό νουκλίδιο (π.χ.  $^{238}\text{U}$ ), που σημαίνει ότι δεν έχουμε απώλεια ραδονίου ή απομάκρυνση ραδίου. Συνεπώς αυτό που προσδιορίζεται είναι η ποσότητα του ισοδύναμου ουρανίου (eU) ή θορίου (eTh), με αυτό που θα μπορούσε να ήταν σε ισορροπία με την ένταση της ακτινοβολίας γάμμα που μετρήθηκε, δηλαδή του ισοτόπου του βισμούθιου ή του θαλλίου. Στην περίπτωση του  $^{40}\text{K}$  αυτό που μετριέται είναι η ένταση της ακτινοβολίας γάμμα του ίδιου του  $^{40}\text{K}$  (της σειράς διάσπασης  $^{40}\text{K}$ ) οπότε προσδιορίζεται η επί τοις εκατό περιεκτικότητα του Καλλίου.

\*\*\* CALIBRATION OF SPECTROMETER - PROGRAM STR88R.BAS \*\*\*  
 WINDOW SENSITIVITIES ARE NOT CORRECTED TO DIA OF PADS

STRIPPING RATIOS

BACKGROUND - T [SEC], N <sub>1</sub> , N <sub>2</sub> , N <sub>3</sub>	600	249	68	33
POTASSIUM - T [SEC], N <sub>1</sub> , N <sub>2</sub> , N <sub>3</sub>	600	2311	82	35
URANIUM - T [SEC], N <sub>1</sub> , N <sub>2</sub> , N <sub>3</sub>	100	33690	42880	1324
THORIUM - T [SEC], N <sub>1</sub> , N <sub>2</sub> , N <sub>3</sub>	100	5933	5391	8048

ALFA = 0.669  
 BETA = 0.733  
 GAMA = 0.785  
 α = 0.031

WINDOW SENSITIVITIES

ZERO PAD CONCENTRATIONS - K[%], U, Th[ppm]	0.43	1.00	2.40
ZERO PAD - T [SEC], N <sub>1</sub> , N <sub>2</sub> , N <sub>3</sub>	300	909	268

PAD CONCENTRATIONS - K[%], U, Th[ppm]	0.79	80.00	164.00
PAD - T [SEC], N <sub>1</sub> , N <sub>2</sub> , N <sub>3</sub>	300	11466	11664

S<sub>K</sub> = 4.197 COUNTS/S PER % K  
 S<sub>U</sub> = 0.323 COUNTS/S PER ppm eU  
 S<sub>Th</sub> = 0.115 COUNTS/S PER ppm Th

NORMED INTENSITIES [1/MIN]

251.80	15.22	5.06
0.00	19.39	4.62
0.00	0.60	6.91

CALIBRATION CONSTANTS

397	-309	-84
0	5265	-3522
0	-454	14773

PAD CONCENTRATIONS - K[%], U, Th[ppm]	2.00	346.00	706.00
PAD - T [SEC], N <sub>1</sub> , N <sub>2</sub> , N <sub>3</sub>	300	45589	47654

S<sub>K</sub> = 6.297 COUNTS/S PER % K  
 S<sub>U</sub> = 0.317 COUNTS/S PER ppm eU  
 S<sub>Th</sub> = 0.103 COUNTS/S PER ppm Th

NORMED INTENSITIES [1/MIN]

377.82	14.93	4.54
0.00	19.02	4.14
0.00	0.59	6.19

CALIBRATION CONSTANTS

265	-206	-56
0	5367	-3590
0	-507	16490

Πίνακας Νο. 2

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΝΑΛΥΤΙΚΩΝ/ΧΗΜΙΚΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΕΝΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑΣ ΑΚΤΙΝΩΝ ΓΑΜΜΑ, ΤΥΠΟΥ ΠΑΡΑΘΥΡΟΥ, ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΩΝ ΣΕ Κ, U ΚΑΙ Th, ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ.

α/α	ΚΩΔΙΚΟΣ ΠΡΟΤΥΠΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΤΙΜΕΣ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΩΝ ΡΑΔΙΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ					
		ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ			ΟΠΩΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗΚΑΝ		
		%K	ppmU	ppmTh	%K	ppmU	ppmTh
1	T-1	--	---	150	1.2±0.1	5± 2	152± 3
2	UT-2	--	19	50	1.6±0.1	23± 1	43± 2
3	UT	--	420	809	0.2±0.2	476± 5	820± 7
4	UT	--	420	809	0.1±0.2	488± 5	832± 7
5	KCl	50	---	---	52.4±0.2	0± 1	2± 2
6	Monasite sand	--	---	50000	0.1±4.0	2400±65	35500±200

Πίνακας Νο.3

Από τη σύγκριση των περιεκτικοτήτων των ραδιενεργών στοιχείων στα πρότυπα δείγματα (Πίνακας Νο.3) με τη μέθοδο της ολικής έντασης της ακτινοβολίας γάμμα και με αναλυτική / χημική μέθοδο παρατηρείται ότι δεν υπάρχουν ουσιαστικές διαφορές σε περιεκτικότητες ραδιοστοιχείων μέχρι 10000ppm (1%). Για μεγαλύτερες περιεκτικότητες παρατηρείται απόκλιση η οποία οφείλεται στην αδυναμία μιας φορητής συσκευής με σχετικά μικρό όγκο κρυστάλλου να καταγράφει το σύνολο της δέσμης (flux) των ακτίνων γάμμα που εκπέμπεται από ένα ραδιενεργό δείγμα με συγκέντρωση πάνω από 1%. Παρ'όλα αυτά μετρήσεις αυτής της τάξης μεγέθους είναι ενδεικτικές μεγάλων συγκεντρώσεων και μία γρήγορη μέθοδος σαν κι αυτή περιγράφει ικανοποιητικά το ενδιαφέρον μιας περιοχής με πάρα πολύ γρήγορο και συγχρόνως οικονομικό τρόπο, πράγμα που επιδιώκεται σε κάθε γεωεπιστημονικό έργο.

Στον πίνακα Νο.4 δίνονται συγκριτικά στοιχεία προσδιορισμού των περιεκτικοτήτων σε ραδιοστοιχεία από μετρήσεις που πάρθηκαν το 1985 με φασματόμετρο ακτίνων γάμμα ("Exploranium" GR-410 s/n 3042) σε σχέση με τα αποτελέσματα προσδιορισμού αυτών των περιεκτικοτήτων με δύο άλλες μεθόδους: των καθυστερημένων νετρονίων και της φασματοσκοπίας γάμμα υψηλής διακριτικής ικανότητας, σε δείγματα λιγνίτη και τέφρας από το λιγνιτικό πεδίο Μεγαλόπολης (Σίδερης, Γ.Ν., και άλλοι, 1985).

Η αδυναμία προσδιορισμού της περιεκτικότητας του <sup>40</sup>K προέρχεται από το γεγονός ότι δεν υπάρχει στην Ελλάδα κατάλληλο φρεάτιο βαθμονόμησης ραδιομετρικών συσκευών με συγκεντρώσεις καθαρού ορυκτού καλίου.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΟΥΡΑΝΙΟ ΚΑΙ ΘΟΡΙΟ, ΣΕ ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΛΙΓΝΙΤΟΦΟΡΟ ΛΕΚΑΝΗ ΤΗΣ ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗΣ ΜΕ ΤΡΕΙΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ: ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑΣ ΓΑΜΜΑ ΥΨΗΛΗΣ ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ (ΜΕΘ.1), ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΜΕΝΩΝ ΝΕΤΡΟΝΙΩΝ (ΜΕΘ.2) ΚΑΙ ΤΗ ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑ ΓΑΜΜΑ, ΤΥΠΟΥ ΠΑΡΑΘΥΡΟΥ (ΜΕΘ.3).

α/α	Κωδικός Δείγματος	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ U, Tη ΣΕ ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗΣ (1985)				
		ΟΥΡΑΝΙΟ			ΘΟΡΙΟ	
		Μεθ.1 ppmeU	Μεθ.2 ppmeU	Μεθ.3 ppmeU	Μεθ.1 ppmeTh	Μεθ.3 ppmeTh
1	Δ 5	33.5(2.6)	32	29.5(1.5)	6.2(0.6)	5.9(2.5)
2	Δ 8	52.8(3.0)	58	37.4(1.7)	7.8(0.5)	6.6(2.5)
3	Δ 9	27.5(1.7)	28	24.4(1.5)	6.6(0.4)	6.8(2.5)
4	Δ20	4.2(0.8)	4	3.8(1.1)	3.8(0.3)	4.0(2.3)
5	Δ24	19.0(1.6)	20	17.0(1.4)	5.2(0.4)	4.2(2.4)

Πίνακας Νο.4

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΕ ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΩΝ ΣΕΡΡΩΝ ΠΟΥ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΤΗΚΑΝ ΜΕ ΤΙΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ: ΦΑΣΜΑΤΟΜΕΤΡΙΑ ΑΚΤΙΝΩΝ ΓΑΜΜΑ, ΤΥΠΟΥ ΠΑΡΑΘΥΡΟΥ (ΜΕΘ.1), ΦΘΟΡΙΣΜΟΜΕΤΡΙΚΗ (ΜΕΘ.2) ΚΑΙ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΜΕΝΩΝ ΝΕΤΡΟΝΙΩΝ (ΜΕΘ.3).

α/α Δείγματος	Γεωλογικός Σχηματισμός	ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΕΣ ΟΥΡΑΝΙΟΥ		
		Μεθ.1 ppmeU	Μεθ.2 ppm U	Μεθ.3 ppmeU
2023-80008	Λιγνίτης	135	149	151
2023-80004	Ανθρακομιγής Αργίλλος	69	69	78
2023-80051	Ανθρακομιγής Αργίλλος	930	810	910
2023-80084	Ψαμμίτης	16	13	13

Πίνακας Νο.5

Στον Πίνακα Νο.5 προσδιορίζονται οι περιεκτικότητες ουρανίου με τρεις διαφορετικές μεθόδους: τη φασματομετρία ακτίνων γάμμα, τύπου παραθύρου (μεθ.1), τη φθορισμομετρική μέθοδο ( μεθ.2 - Κοπούλη, Ε., 1979 ) και τη μέθοδο καθυστερημένων νετρονίων (μεθ.3) σε δείγματα από τη λεκάνη των Σερρών (Σίδερης, Γ.Ν., 1985).

## Συμπεράσματα.

Η χρήση φορητών ραδιομετρικών συσκευών, φασματομέτρων ακτίνων γάμμα για προσδιορισμούς στο ύπαιθρο κυρίως των  $^{235}\text{U}$  και  $^{232}\text{Th}$  βασίζονται αποκλειστικά στη δυνατότητα ύπαρξης κατάλληλων μέσων βαθμονόμησης. Η ανυπαρξία φρεατίου περιεκτικότητας "καθαρού" καλλίου καθιστά προβληματικό τον ακριβή προσδιορισμό του Καλλίου. Οι αδυναμίες που αναφέρθηκαν παραπάνω μπορούν να εκλείψουν με τη διάθεση μεγαλύτερων οικονομικών πόρων ώστε να γίνει δυνατή η εγκατάσταση περισσότερων φρεατίων βαθμονόμησης που θα καλύπτουν μεγαλύτερη "ποικιλία" γεωφυσικών παραμέτρων.

Τα φρεάτια βαθμονόμησης ραδιομετρικών συσκευών που βρίσκονται στο Ε.Κ.Ε.Φ.Ε. "Δημόκριτος" έχουν βοηθήσει αποτελεσματικά στη γνώση της κατάστασης (λειτουργίας) κάθε φορητής ραδιομετρικής συσκευής που χρησιμοποιείται σε γεωερευνητικά προγράμματα, με αποτέλεσμα να γίνεται σωστή τοποθέτηση των ενεργειακών παραθύρων σε συγκεκριμένες θέσεις στο φάσμα των ενεργειών αλλά και προσδιορισμός των συντελεστών και παραμέτρων που υπεσιέρονται στις μετρήσεις υπαίθρου. Έτσι επιτυγχάνεται πολύ καλή προσέγγιση των συγκεντρώσεων των ραδιοστοιχείων που ερευνώνται και μπορούν να ερμηνευθούν ασφαλέστερα οι ραδιομετρικές μετρήσεις. Στα φρεάτια αυτά μπορούν να έχουν πρόσβαση ερευνητές Α.Ε.Ι., γεωεπιστημονικοί φορείς κ.α. που θα ήθελαν να βαθμονομήσουν τις ραδιομετρικές συσκευές που διαθέτουν.

Η τεχνική του υπολογισμού των παραμέτρων και σταθερών που αναπτύχθηκε επιτρέπει εύκολα την εκτίμηση των περιεκτικοτήτων των ραδιοστοιχείων που ενδιαφέρουν κάθε ερευνητή, με έμφαση τους υπολογισμούς των  $^{235}\text{U}$  και  $^{232}\text{Th}$  που προσδιορίστηκαν με φωρατή  $\text{NaI}(\text{Tl})$  διαστάσεων  $3'' \times 3''$  και που βρίσκονται σε πολύ καλή συμφωνία με τους αναλυτικούς προσδιορισμούς.

Από όσα παραπάνω αναφέρθηκαν, και παρά τις αδυναμίες που έχουν εντοπιστεί, γίνεται φανερό ότι σήμερα υπάρχει δυνατότητα βαθμονόμησης των φορητών ραδιομετρικών συσκευών που χρησιμοποιούνται, με τέτοια ακρίβεια, ώστε να προσδιοριστούν ποσοτικά και με ταχύτητα οι συγκεντρώσεις των ραδιοστοιχείων που συναντώνται στους γεωλογικούς σχηματισμούς. Με τον τρόπο αυτό προσφέρεται μια γρήγορη και οικονομική γεωφυσική μέθοδος σ' ένα μεγάλο αριθμό γεωεπιστημονικών έργων.

## Βιβλιογραφία.

- DARNLEY, A.G., 1977: The advantages of standardizing radiometric exploration measurements and how to do it. CIM Bulletin, v.71, February 1977, 5p.
- DOIG, D., 1968: The natural gamma-ray flux; in situ analysis; Geophysics, v. 33, no. 2, pp. 311-328.
- I.A.E.A., 1974: Recommended Instrumentation for Uranium and Thorium Exploration. Tech. Rep. No. 158, Vienna.
- I.A.E.A., 1979: Gamma-ray Surveys in Uranium Exploration. Tech. Rep. No. 186, Vienna.
- KILLEN, P.G., 1979: Gamma-ray spectrometric methods in uranium exploration-application and interpretation; in Geophysics and Geochemistry in the Search for Metallic Ores; Peter J. Hood, editor, Geological Survey of Canada, Economic Geology, Report 31.
- ΚΟΤΟΠΟΥΛΗ, Ε., 1979: Χημικές αναλύσεις ουρανιούχων δειγμάτων. Πρακτικά Α' Συνεδρ. ΕΕΠΕ, Αθήνα.
- LOVBORG, L., 1983: Total-Count Calibration Blocks for Use in Uranium Exploration, Riso-R-490. Roskilde.
- PRICE, W.J., 1964: Nuclear Radiation Detectors. McGraw-Hill, New York, N.Y., 430p.
- ΣΙΑΔΕΡΗΣ, Γ.Ν., 1985: Αξιολόγηση του δυναμικού ουρανίου της λεκάνης των Σερρών με ραδιομετρικές μεθόδους Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.
- ΣΙΑΔΕΡΗΣ, Γ. Ν., ΜΠΑΣΙΑΚΟΣ, Ι., ΠΙΠΠΟΣ, Χ., ΚΟΤΟΠΟΥΛΗ - ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΥ, Ε., ΔΑΝΑΛΗ - ΚΩΤΣΑΚΗ, Σ., ΚΡΗΤΙΑΗΣ, Π., ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ, Ν., 1985: Ραδιομετρική Έρευνα στην Περιοχή Μεγαλόπολης και Μελέτη της Περιεκτικότητας σε Φυσικά Ραδιενεργά Στοιχεία στο Λιγνιτικό πεδίο και στις Αποθέσεις Τύφρας από τη Λειτουργία του "Α.Η.Σ.". Ανακοίνωση που έχει γίνει αποδεκτή για δημοσίευση στα "ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΡΟΝΙΚΑ", περιοδική έκδοση της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας.
- TANNER, A.B., MOXHAM, R.M., SENFTZE, F.E., 1977: Assay of Uranium and determination of disequilibrium by means of in situ high resolution gamma-ray spectrometry. U.S. Geol. Survey, Open File Report 77 - 751.