

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΝΟΣ ΜΗ-ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΥ ΠΟΛΛΑΠΛΟΥ ΑΝΙΧΝΕΥΤΗ ΠΑΛΜΙΚΩΝ ΝΕΤΡΟΝΙΩΝ ΓΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ-ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Σίδερης Γ.¹, Σωτηρόπουλος Π.¹, Αρβανιτίδης Ν.Δ.², Δημητριάδης Αλ.³, Gaal G.⁴, Rasilainen K.⁴, Buckup K.⁵, Baker J.⁶, Galunov N.⁶, De Meijer R.J.⁷, Christodoulou K.⁸

¹TerraMentor E.E.I.G., Σαρανταπόρου 8, 153 42 Αγ. Παρασκευή, terramen@otenet.gr,

²Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Περιφερειακή Μονάδα Κεντρικής Μακεδονίας, Φράγκων 1, 546 26 Θεσσαλονίκη, narvan@thes.igme.gr,

³IGME, Μεσογείων 70 115 27 Αθήνα, ademetriades@igme.gr

⁴Geological Survey of Finland, PL96, 02151 Espoo., Finland, kalevi.rasilainen@gtk.fi,

⁵DBM - Dr. Buckup, Hohenwarther Str. 2 39126 Magdeburg Germany, dbmbuckup@aol.com,

⁶Selor e.e.i.g., Saffierstraat 101c, 1074 GP Amsterdam, The Netherlands, selor@tiscali.nl,

⁷Kernfysisch Versneller Instituut, Rijksuniversiteit, Groningen Zernikelaan 25, 9747 AA Groningen, The Netherlands, demeijer@kvi.nl,

⁸Wasteman & Envirotech Ltd, 15 E, Arch.Kyprianou Street, 2059 Strovolos, Lefkosia, Cyprus, wastenv@cytanet.com.cy

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στα πλαίσια του ευρωπαϊκού προγράμματος «Promoting Competitive and Sustainable Growth» και του έργου «A non-destructive Pulse Neutron Multiple Detector Tool for use in environmental, hydrocarbon and mineral exploration work (NuPulse)» έχει αναπτυχθεί μία μη-καταστροφική ποσοτική αναλυτική συσκευή, βασισμένη στην τεχνολογία των παλμικών νετρονίων (pulse neutron), για εφαρμογές στην περιβαλλοντική παρακολούθηση και στην κοιτασματολογική έρευνα. Η συσκευή στοχεύει στον επιτόπιο (in-situ) και σε πραγματικό χρόνο ποσοτικό προσδιορισμό μετάλλων και άλλων στοιχείων σε γεωτρήσεις, στην επιφάνεια και εντός των εδαφικών σχηματισμών. Την κοινοπραξία που είναι υπεύθυνη για την υλοποίηση του έργου συνιστούν: το Γεωλογικό Ινστιτούτο της Φινλανδίας, οι ελληνικές εταιρείες TerraMentor ΕΟΟΣ και Τεχνική Προστασίας Περιβάλλοντος, η γερμανική DBM-Dr. Buckup, η ολλανδική Selor e.e.i.g., το ολλανδικό ινστιτούτο Rijksuniversiteit Groningen, το βρετανικό πανεπιστήμιο Heriot-Watt University, το Ινστιτούτο Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών (IGME) και η κυπριακή εταιρεία Waste Management & Environmental Technology Ltd. Το πρόγραμμα έχει τους ακόλουθους στόχους:

- Ανάπτυξη για πρώτη φορά ενός πολλαπλού αισθητήρα βασισμένου στην μεθοδολογία των παλμικών νετρονίων για τον ποιοτικό και ποσοτικό προσδιορισμό μετάλλων και ιχνοστοιχείων, συμπεριλαμβανομένων των στοιχείων Hg, Ni, Cd, Se, Be, B, όπως επίσης Fe, Cu κ.α.
- Χρήση του πολλαπλού αισθητήρα, τόσο για διαγραφίες γεωτρήσεων (logging), όσο και συνεχή και σε πραγματικό χρόνο περιβαλλοντική παρακολούθηση (monitoring).
- Ανάπτυξη ενός εύχρηστου, φιλικού προς τον χρήστη λειτουργικού λογισμικού, που θα διαχειρίζεται τον αισθητήρα και την μετάδοση των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, όπου αυτό κρίνεται απαραίτητο, καθώς επίσης και λογισμικού πακέτου επεξεργασίας και ερμηνείας των δεδομένων.
- Αξιολόγηση της απόδοσης του πολλαπλού αισθητήρα σε διαφορετικές εφαρμογές:
 - Ρύπανση από υδρογονάνθρακες (Ελευσίνα, Ασπρόπυργος – Λίμνη Κουμουνδούρου στην Ελλάδα)
 - Μεταλλευτική δραστηριότητα (Au – Orivesi και Zn-Cu – Pyhäsalmi, Φινλανδία; Pb-Zn-Py στο Στρατώνι Χαλκιδικής, Cu-Au στην Ποντοκερασιά Κιλκίς και Cu-Au στις Σκουριές Χαλκιδικής) και
 - Βιομηχανική ρύπανση του εδάφους (Magdeburg, Γερμανία)

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μια κοινοπραξία, αποτελούμενη από εταιρίες εξειδικευμένες στις περιβαλλοντικές εφαρμογές, καθώς και Πανεπιστήμια και Ερευνητικά Ινστιτούτα με προσανατολισμό στην γεωεπιστημονική και πληροφορική έρευνα, συνεργάστηκε για την υλοποίηση ενός ιδιαίτερα πρωτοποριακού ερευνητικού προγράμματος, χρηματοδοτούμενου από την Ε.Ε., με στόχο την ανάπτυξη ενός πολλαπλού αισθητήρα για περιβαλλοντικές και κοιτασματολογικές έρευνες. Το πρόγραμμα συνδυάζει την έρευνα στον τομέα των περιβαλλοντικών τεχνολογιών με στόχο την κατασκευή ενός πρωτότυπου και καινοτόμου πολλαπλού αισθητήρα και την αξιολόγηση του σε διαφορετικές εφαρμογές.

2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΝΕΤΡΟΝΙΩΝ - ΑΝΙΧΝΕΥΤΕΣ

Από την βιβλιογραφική έρευνα (Gow & Pollock 1960, Klenke & Flint 1991, Mikhailenko et al. 1993, Kasubuchi & Hasegawa 1994, White et al. 1998, Demetriades & Karmis 2002), που πραγματοποιήθηκε, προέκυψε ότι ελάχιστες παρόμοιες εφαρμογές, βασισμένες στην εκπομπή (μέσω ενός neutron generator) παλμικών νετρονίων, έχουν πραγματοποιηθεί λόγω των περιορισμών που επιβάλλει η χρήση ιοντιζουσών ακτινοβολιών. Μία από τις σημαντικές καινοτομίες του προγράμματος είναι η χρήση «γεννήτριας» παλμικών νετρονίων, (Neutron Source, NS), η οποία αντικαθιστά την πηγή συνεχούς εκπομπής νετρονίων, σε συνδυασμό με τον γραμμικό επιταχυντή, ο οποίος εκπέμπει μόνο αφού ενεργοποιηθεί μηχανικά μέσω της επιφανειακής μονάδας ελέγχου και ηλεκτρονικά μέσω του λειτουργικού λογισμικού. Με τον τρόπο αυτό είναι η πρώτη φορά που η συγκεκριμένη τεχνική χρησιμοποιείται με ασφάλεια σε εργασίες πεδίου και όχι μόνο εντός εργαστηρίου (Arvanitidis 1989).

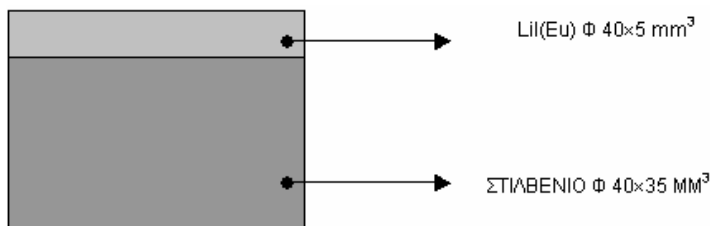
Τα συγκριτικά πλεονεκτήματα της μεθόδου συνοψίζονται παρακάτω:

- Κάλυψη μεγάλου εύρους περιβαλλοντικών και κοιτασματολογικών εφαρμογών,
- Εκπομπή ακτινοβολίας μόνο κατά την διάρκεια λειτουργίας του αισθητήρα και όχι συνεχώς,
- Ελαχιστοποίηση της επίδρασης του υποβάθρου,
- Τα δεδομένα μετά την επεξεργασία τους και την διαδικασία βαθμονόμησης δύνανται να ερμηνευθούν παρέχοντας πληροφορίες για την ποιοτική και ποσοτική σύσταση του υλικού που ενεργοποιήθηκε από την εκπομπή νετρονίων και
- Ο πολλαπλός αισθητήρας παλμικών νετρονίων δύνανται να χρησιμοποιηθεί τόσο σε γεωτρήσεις σε συνάρτηση με το βάθος, όσο και ως μονάδα συνεχούς παρακολούθησης σε συνάρτηση του χρόνου.

Η τεχνική των παλμικών νετρονίων με μία μόνο αντίδραση Δευτερίου/Τριτίου παράγει νετρόνια με ενέργεια της τάξεως των 14 MeV (Σχ. 1). Για την επίτευξη των καλύτερα δυνατών αποτελεσμάτων απαιτείται υψηλή ενέργεια (fixed energy reference and high neutron output per burst), η οποία σε περιβαλλοντικές εφαρμογές μπορεί να φτάσει τα 10^8 νετρόνια ανά δευτερόλεπτο. Με τη χρήση αυτού του είδους εκπομπής νετρονίων στην ανίχνευση, μπορούν να αναμένονται διαφόρων ειδών αντιδράσεις (high probability of neutron reaction with the environment) με το μέσο:

- ταχεία νετρόνια (fast neutrons, FL, FM)
- επιθερμικά νετρόνια (epithermal neutrons)
- θερμικά νετρόνια (thermal neutrons, TL, TM)
- ακτινοβολία γάμμα από την αντίδραση των ταχέων νετρονίων (γ-rays, PL)

Ο ημι-σημειακός ανιχνευτής (a quasi-point detector with real length of 10 cm) ενός ευαίσθητου κρυστάλλου δύο υλικών, παρέχει νέες δυνατότητες μετρήσεων, καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα από 0 έως 2 ms για τα νετρόνια και από 0,5 έως πάνω από 4 ms για την ακτινοβολία γάμμα. Η εφαρμογή του καινοτομικού ανιχνευτή διπλής λειτουργίας παρέχει νέα, ενδιαφέροντα αποτελέσματα (a full spectra approach for all kinds of reactions are presented).



Σχήμα 1. Ανιχνευτής ιοντίζουσας ακτινοβολίας.

Οι ιδιότητες των ανιχνευτών μονοκρυστάλλου (crystal of one material) LiI είναι: Ενεργειακή ανάλυση (Energy resolution) θερμικών νετρονίων ~6%; απόδοση φωτός σε NaI(Tl) κλίμακας γάμμα (relative gamma units) ~35 – 38% (light output in NaI(Tl) gammas scale) (Hendriks et al. 2001).

Πέραν του νέου σωλήνα νετρονίων (neutron tube), αναπτύχθηκαν και νέοι ανιχνευτές υψηλής ευαισθησίας. Αυτή είναι μία εντελώς νέα και καινοτομική προσέγγιση, η οποία συμπεριέλαβε την ακόλουθη βασική έρευνα:

- προσομοίωση της ακτίνας των νετρονίων μέσα στο σωλήνα επιτάχυνσης για διαφορετικά μεγέθη,
- πειράματα με το Δευτέριο/Τρίτιο για την παροχή της απαραίτητης παραγωγής νετρονίων, περίπου 10^8 νετρόνια/δευτερόλεπτο,
- ανάπτυξη μίας μονάδας υψηλής τάσης εύρους από 50 έως 120 kV DC, ανθεκτικής σε θερμοκρασία μέχρι 120°C με περίβλημα εσωτερικής διαμέτρου περίπου 30 mm,
- μελέτη της εξάρτησης της συχνότητας για την παραγωγή νετρονίων και πειράματα διάρκειας ζωής του σωλήνα επιτάχυνσης νετρονίων και
- σύνταξη του απαραίτητου λογισμικού για τη λειτουργία του σωλήνα επιτάχυνσης νετρονίων και τον έλεγχο της ενεργοποίησής τους.

Μετά το σχεδιασμό του πρωτότυπου σωλήνα, δημιουργήθηκαν οι αντίστοιχοι ανιχνευτές.

Συνολικά το σύστημα του αισθητήρα παλμικών νετρονίων συνίσταται από:

- Υπομονάδα ελέγχου του αισθητήρα (PCU),
- Υπομονάδες ανιχνευτών ταχέων νετρονίων (FL, FM),
- Υπομονάδα ανίχνευσης θερμικών νετρονίων (TL, TM),
- Υπομονάδα ανίχνευσης ακτινοβολίας γάμμα NaI(Tl) (PL1, PL2), και
- Υπομονάδα ανίχνευσης ακτινοβολίας γάμμα, gamma-ray module, BGO (Bismuth Germanium Oxide).

Η υπομονάδα ελέγχου του αισθητήρα, από τη μία πλευρά μπορεί να συνδεθεί με τον ακροδέκτη του γεωφυσικού καλωδίου και από την άλλη με οποιαδήποτε υπομονάδα ανιχνευτών. Η PCU ελέγχει τις υπομονάδες των ανιχνευτών και της πηγής νετρονίων, σύμφωνα με τις εντολές που δέχεται από την επιφανειακή μονάδα ελέγχου (SCU), συγκεντρώνει τα δεδομένα από τους ανιχνευτές και τα μεταφέρει στην SCU στο άλλο άκρο του καλωδίου.

Η υπομονάδα ανίχνευσης θερμικών νετρονίων παράγει χρονικά φάσματα θερμικών νετρονίων. Οι υπομονάδες TL1, TL2 και TM1 είναι διαμέτρου 4.3 cm. Το υλικό του κρυστάλλου σπινθηρισμού (scintillation crystal material) σε όλες τις υπομονάδες ανίχνευσης θερμικών νετρονίων είναι ιωδιούχο λίθιο με πρόσμιξη με ευρώπιο (Galunov 1998, Hendriks et al. 2002).

Οι υπομονάδες ακτινοβολίας γάμμα παράγουν ενεργειακά φάσματα ακτίνων γάμμα. Οι υπομονάδες PL1 και PL2 έχουν διάμετρο 4.3 cm, και περιέχουν έναν κρύσταλλο σπινθηρισμού ιωδιούχου νατρίου με πρόσμιξη με θάλλιο.

Η υπομονάδα ανίχνευσης ακτινοβολίας γάμμα BGO παράγει ενεργειακά φάσματα ακτινοβολίας γάμμα. Η υπομονάδα έχει διάμετρο 7.3 cm και περιέχει έναν κρύσταλλο σπινθηρισμού από γερμανικό βισμούθιο ($\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$).

Ο αισθητήρας με την τεχνική των παλμικών νετρονίων υποστηρίζεται από κατάλληλο λογισμικό, το οποίο συμπεριλαμβάνει τα ακόλουθα:

1. Λογισμικό ελέγχου της λειτουργίας του αισθητήρα παλμικών νετρονίων,

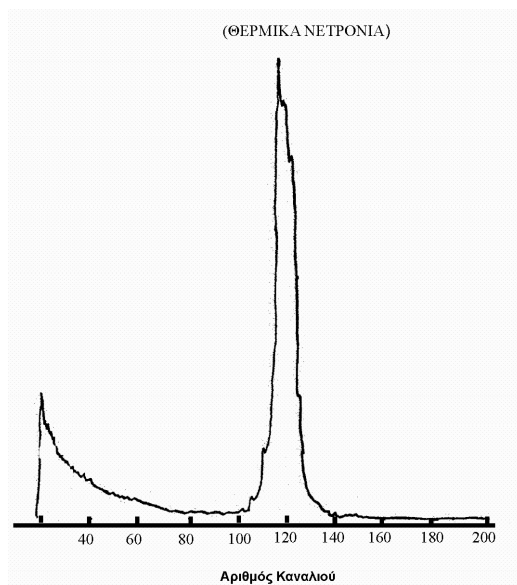
2. Λογισμικό επεξεργασίας των δεδομένων που ελήφθησαν, με ανάλυση φάσματος πλήρους κλίμακας, για πεδίο χρόνου (time domain) ανάμεσα σε 100 και 2000 μs για την εξασθένιση των νετρονίων και για περίπου 1500 μs στο ενεργειακό φάσμα,
3. Λογισμικό για τον έλεγχο της άμεσης επεξεργασίας των δεδομένων και της αποθήκευσής τους για περαιτέρω επεξεργασία και
4. Λογισμικό βασισμένο σε Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφόρησης για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων σε εύκολα κατανοητή μορφή γραφήματος.

Μία επιφανειακή μονάδα ελέγχου διαχειρίζεται τις καταγραφές που φτάνουν σε αυτήν μέσω γεωφυσικού καλωδίου. Η μονάδα ελέγχου συνδέεται με φορητό ηλεκτρονικό υπολογιστή και αυτός με μονάδα GSM για την μεταφορά των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, όπου αυτό κρίνεται απαραίτητο.

Παραδοσιακά, η καταγραφή των θερμικών νετρονίων σε γεωλογικές/περιβαλλοντικές εφαρμογές γίνεται μέσω των αναλογικών ανιχνευτών ^3He , διασφαλίζοντας την καταγραφή των καμπύλων εξασθένισης. Για την μέτρηση της ακτινοβολίας γάμμα χρησιμοποιούνται κρύσταλλοι NaI. Και οι δύο μέθοδοι χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση διαφόρων ουσιών, ενώ η μέθοδος νετρονίων είναι ευαίσθητη σε οποιοδήποτε υδρογονάνθρακα, όπως επίσης και σε βαρέα μέταλλα (Σχ. 2). Οι μετρήσεις της ακτινοβολίας γάμμα μπορεί να αντιστοιχούν σε ένα μεγάλο αριθμό μεταλλικών στοιχείων, όπως τα Cu, Ni, Cd, Mn, Mg, Au κ.ά. Λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιαίτερες ιδιότητες διαφορετικών ραδιενεργών συμβάντων, δύο προσεγγίσεις έχουν προταθεί:

- (i) η πρώτη αφορά δύο κανάλια με διαφορετικούς ανιχνευτές σε κάθε κανάλι και
- (ii) η δεύτερη, ενός καναλιού με συνδυασμένο ανιχνευτή.

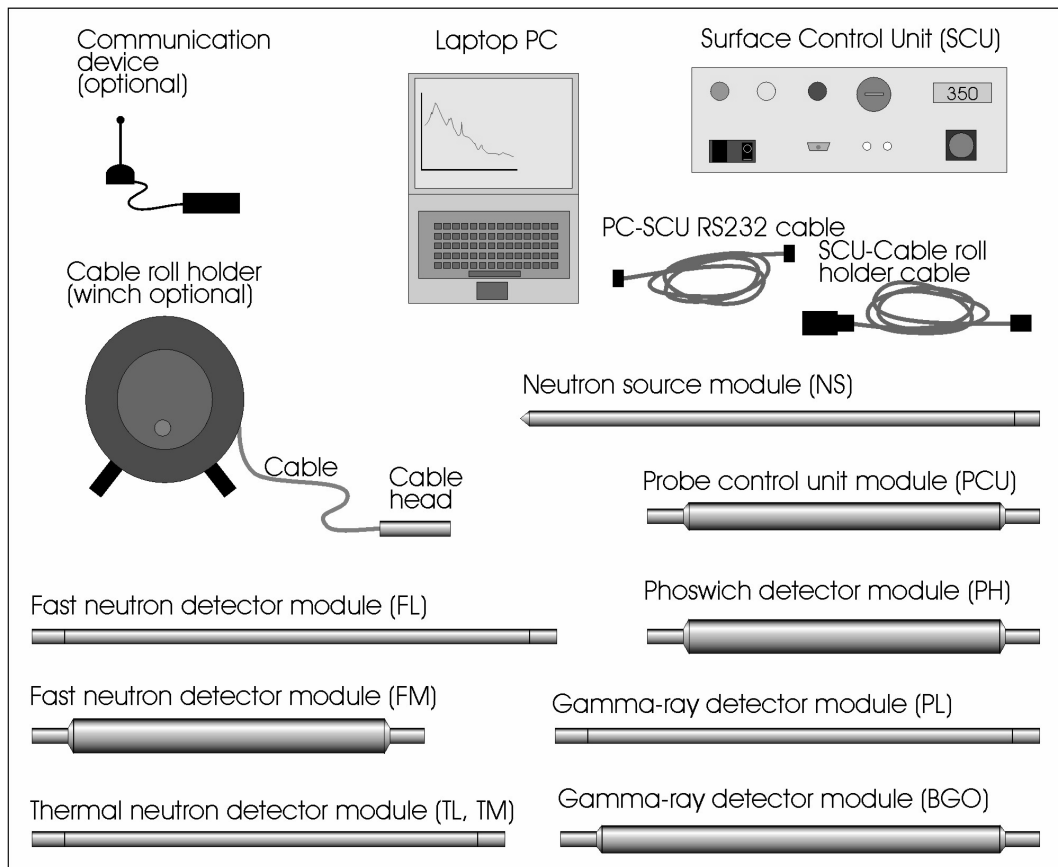
Η πρώτη λύση διευρύνει τις τεχνολογικές δυνατότητες, συμπεριλαμβάνοντας μία πηγή που βρίσκεται ανάμεσα σε δύο ανιχνευτές. Ο αρθρωτός σχεδιασμός διασφαλίζει την ευελιξία. Ο δεύτερος τρόπος είναι πιο απαιτητικός και αποτελεί μια εντελώς νέα προσέγγιση στις τεχνικές και μεθόδους περιβαλλοντικής παρακολούθησης.



Σχήμα 2. Ενεργειακό φάσμα στην έξοδο του συνδυασμένου ανιχνευτή υπό ακτινοβολία με Pu-Be σε σφαίρα παραφίνης (θερμικά νετρόνια).

Ο αισθητήρας αποτελείται από επιμέρους μονάδες. Ο αρθρωτός σχεδιασμός του επιτρέπει τη χρήση διαφόρων συνδυασμών των ανιχνευτών, την ευκολότερη συντήρηση και επισκευή, και τον ανετότερο χειρισμό και μεταφορά. Το σύστημα παρακολούθησης αποτελείται από τη μονάδα επιφάνειας και τον αισθητήρα, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με ένα καλώδιο (Σχ. 3). Η μονάδα επιφάνειας αποτελείται από τη μονάδα ελέγχου επιφάνειας (Surface Control Unit - SCU) και έναν

φορητό υπολογιστή (laptop). Ένα από τα πρωτότυπα επίσης συμπεριλαμβάνει μία συσκευή επικοινωνίας Siemens TC-35 για την αυτόματη μεταφορά των δεδομένων μέσω δικτύου GSM. Ο αισθητήρας αποτελείται από τη μονάδα ελέγχου του αισθητήρα (Probe Control Unit - PCU), από ένα συνδυασμό ανιχνευτών και μία υπομονάδα πηγής νετρονίων (NS). Κάθε πρωτότυπο σύστημα διαθέτει έναν ακροδέκτη υποδοχής του γεωφυσικού καλωδίου (cable head), η οποία συνδέεται με την υπομονάδα PCU. Όλες οι υπομονάδες, εκτός από το SCU, έχουν αδιάβροχες και ανθεκτικές στην πίεση προστατευτικές θήκες από ανοξείδωτο ασάλι.



Σχήμα 3. Επιμέρους τμήματα της διάταξης παρακολούθησης με την μέθοδο εκπομπής παλμικών νετρονίων.

3 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ – ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΕΔΙΟΥ

Η αξιολόγηση της απόδοσης του πολλαπλού αισθητήρα έγινε σε διαφορετικά γεωλογικά περιβάλλοντα ώστε να καλυφθούν οι περισσότερες δυνατές περιβαλλοντικές (Daniels et al. 1995) και κοιτασματολογικές εφαρμογές (Nargolwalla et al. 1977). Πιο συγκεκριμένα:

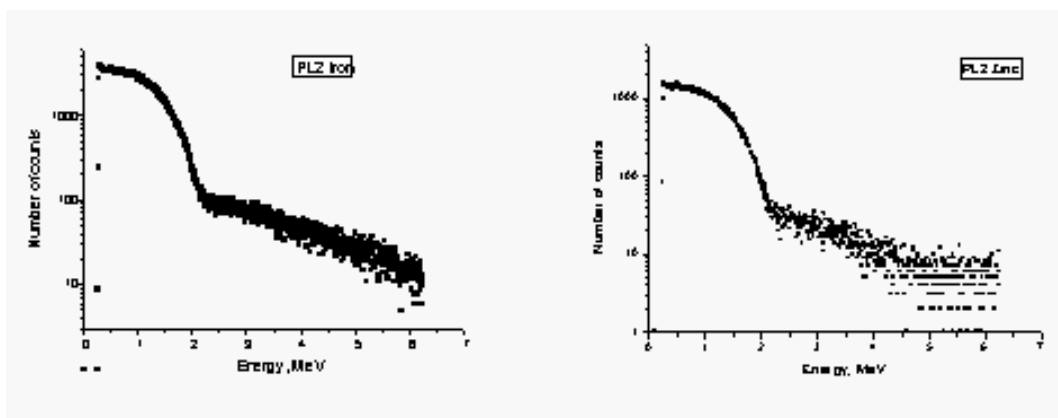
- Ρύπανσης από υδρογονάνθρακες (Ελευσίνα, Ασπρόπυργος – Λίμνη Κουμουνδούρου στην Ελλάδα),
- Κοιτασματολογική δραστηριότητα (Au – Orivesi και Zn-Cu – Pyhäsalmi, Φινλανδία; Zn-Pb Στρατώνι Χαλκιδικής, Cu-Au στην Ποντοκερασιά Κιλκίς και Σκουριές Χαλκιδικής) (Rasilainen & Nurmi 1999, Arvanitidis 2003) και
- Βιομηχανική ρύπανση εδάφους (Magdeburg, Γερμανία).

Παράλληλα με τις μετρήσεις πεδίου έγιναν και μετρήσεις βαθμονόμησης των ανιχνευτών σε υψηλής καθαρότητας χημικά στοιχεία και ανόργανες χημικές ενώσεις, όπως ψευδαργύρου, χαλκού,

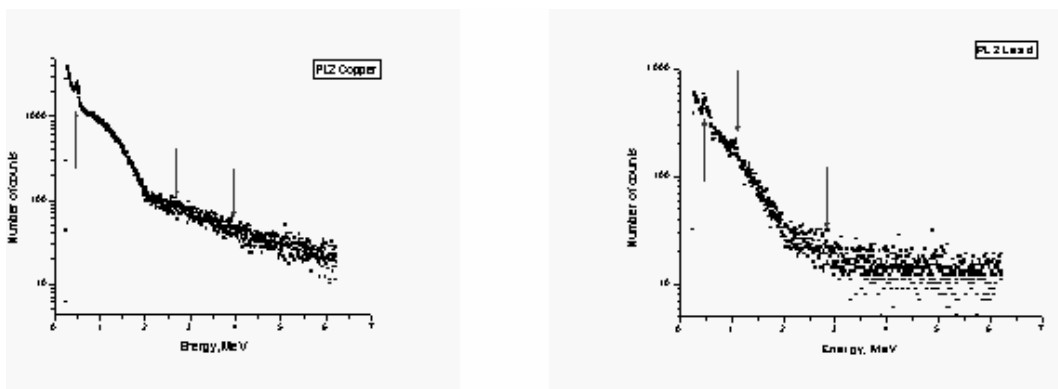
μόλυβδου, θείου, αλουμινίου και πυριτίου (Σχ. 5, 6 και 7) στις εγκαταστάσεις των εταιρειών Χαλκώρ Α.Ε., Σιδενώρ Α.Ε., ΜΕΒΙΟΡ, Ελληνική Βιομηχανία Χημικών Λιπασμάτων και Ελληνικός Χρυσός.



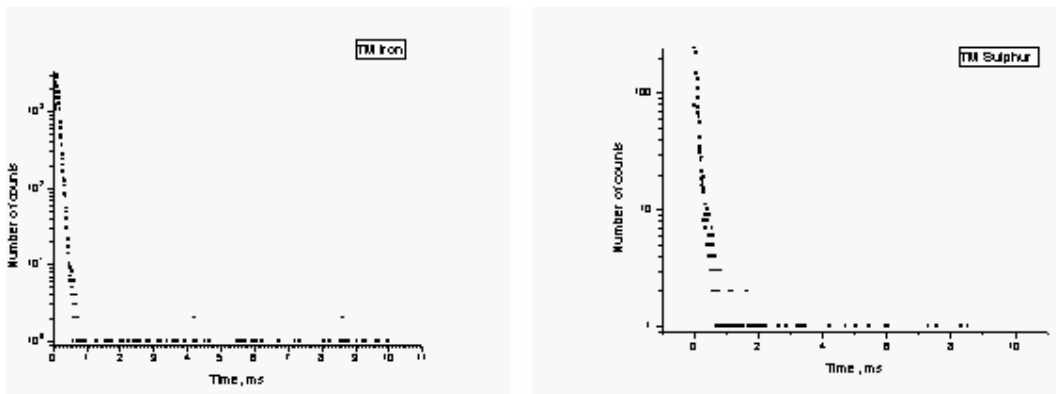
Σχήμα 4. Φωτογραφίες από τη διαδικασία βαθμονόμησης του θείου στις εγκαταστάσεις Βιομηχανίας Χημικών Λιπασμάτων (αριστερά) και μολύβδου στις εγκαταστάσεις Χαλκώρ (δεξιά).



Σχήμα 5. Διάγραμμα του ενεργειακού φάσματος για τον ανιχνευτή γάμμα ακτινοβολίας του σιδήρου (αριστερά) και του ψευδάργυρου (δεξιά).



Σχήμα 6. Διάγραμμα του ενεργειακού φάσματος για τον ανιχνευτή γάμμα ακτινοβολίας του χαλκού (πάνω αριστερά) και του μολύβδου (πάνω-δεξιά).



Σχήμα 7. Διάγραμμα του ενεργειακού φάσματος για τον ανιχνευτή θερμικών νετρονίων ακτινοβολίας του σιδήρου (αριστερά) και του θείου (δεξιά).

4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την επεξεργασία και αξιολόγηση των μετρήσεων πεδίου και της βαθμονόμησης προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Είναι εφικτή η ποιοτική αναγνώριση των μετάλλων και άλλων στοιχείων, γεγονός που καθιστά το σύστημα του αισθητήρα παλμικών νετρονίων και των ανιχνευτών πολύτιμο εργαλείο για την κοιτασματολογική και την περιβαλλοντική έρευνα.
- Η ποσοτικοποίηση της πληροφορίας μετά την επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων απαιτεί τη συνέχιση της διαδικασίας βαθμονόμησης με «καθαρά» προϊόντα και εμπλουτίσματα διαφορετικών συγκεντρώσεων.
- Μία πιο αποτελεσματική διάταξη των ανιχνευτών, με αντίστοιχη μείωση του μεγέθους της όλης διάταξης, είναι υπό διερεύνηση και πιθανός στόχος επόμενου προγράμματος.
- Για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας του αισθητήρα παλμικών νετρονίων σε περιβαλλοντικές εφαρμογές κρίνεται απαραίτητη η εγκατάσταση του για μεγάλο χρονικό διάστημα σε επιβαρυμένες περιοχές και σε λειτουργία συνεχούς καταγραφής.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Το έργο *NuPulse* συγχρηματοδοτείται από το 5^ο Πρόγραμμα Πλαίσιο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης της Ευρωπαϊκής Ένωσης (1998-2002) και λήγει το φθινόπωρο του 2005. Ευχαριστούμε τις ελληνικές εταιρείες Βιομηχανία Χημικών Λιπασμάτων, Ελληνικός Χρυσός, ΜΕΒΙΟΡ, ΣΙΔΕΝΩΡ και ΧΑΛΚΩΡ για την πολύτιμη συμπαράσταση και συνεργασία τους.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Arvanitidis N.D. 1989. Methodological notes on multielement (REE) determination by INAA. *Mineral Wealth*, 11-19.
- Arvanitidis N.D. 2003. Gold deposits in Greece: Genetic types and economic perspectives. *Proceed., 7th Biennial SGA meeting on "Mineral Exploration and Sustainable Development"*, Athens, Millpress Rotterdam, 941-943.
- Daniels J.J., Roberts R. & Vendl M. 1995. Ground penetrating radar for the detection of liquid contaminants. *J. of Appl. Geophys.*, 33 (33), 195-207.
- Demetriades A. & Karmis P. 2002. Technologies for the detection of metallic & non-metallic elements and hydrocarbons. *NuPulse WP1 Evaluation of Technologies project. IGME Open File Report*, Athens, 25 pp.
- Galunov N.Z. 1998. New generation of high effective organic scintillators and their process technology. *Trans. of International Technology Transfer Conf. Iowa State Univ. (U.S.A.)*, 124-126.
- Gow J. D. & Pollock H.D. 1960. Development of Compact Evacuated Pulse Neutron Source, *Rew. Sci. Instr.* 31, 312-315.

- Hendriks P.H.G.M., Limburg J. & De Mejer R.J. 2001. Full spectrum analysis of natural γ -ray spectra, *Journal of Environmental Radioactivity*, 53, 365-380.
- Hendriks P.H.G.M., Maucec M. & De Mejer R.J. 2002. MCNP modelling of scintillation – detector γ -ray spectra for natural radionuclides. *App. Radiat. Isot.*, 57, 449-457.
- Kasubuchi T. & Hasegawa S. 1994. Measurement of Spatial Average of field soil water content by the long heat probe method. *Soil science and plant nutrition*, 40 (4), 565.
- Mikhailenko B.V., Gulko V.M. & Yakovlyev K.J. 1993. Compact Neutron Generators for Applied Research. In: International Conference "Physic in Ukraine", Kiev. Proceed., Nuclear Physics, 58-61.
- Nargolwalla S.S., Kung A., Legrady O.J., Strever J., Csillag A. & Seigel H.O. 1977. Nuclear metalog grade logging in mineral deposits. *Nuclear techniques and mineral resources*, IAEA, Vienna.
- Rasilainen K. & Nurmi P.A. 1999. Application of rock geochemistry in exploration at the Kutemajarvi gold deposit, southern Finland. In: C.J. Stanly *et al.* (eds), *Mineral Deposits: Processes to Processing*. Proceedings of the 5th Biennial SGA Meeting and IAGOD Quadrennial Symposium, London, 1431-1434.
- White A.J., Blamire M.G., Corlett C.A., Griffiths B.W., Martin D.M., Spencer S.B. & Mullock S.T. 1998. Development of a portable time – of- flight membrane inlet mass spectrometer for environmental analysis. *Review of Scientific instruments*, 69 (2), 565-571.

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF A NON-DESTRUCTIVE PULSE NEUTRON MULTIPLE DETECTOR TOOL FRO USE IN ENVIRONMENTAL, HYDROCARBON AND MINERAL EXPLORATION WORK-PRELIMINARY RESULTS

Sideris G.¹, Sotiropoulos P.¹, Arvanitidis N. D.², Demetriades A.³ and Gaal G.⁴, Rasilainen K.⁴, Buckup K.⁵, Baker J.⁶, Galunov N.⁶, De Meijer R. J.⁷, Christodoulou K.⁸

¹*TerraMentor E.E.I.G., 8 Sarantaporou & Str. Tompra, Ag. Paraskevi 153 42, Greece, terramen@otenet.gr,*

²*Institute of Geology and Mineral Exploration, Regional Division of Central Macedonia, 1 Fragon, 546 26 Thessaloniki, Greece, narvan@thes.igme.gr,*

³*Institute of Geology and Mineral Exploration, 70 Messoghion, 115 27 Athens, Greece, ademetriades@igme.gr,*

⁴*Geological Survey of Finland, PL96, 02151 Espoo, Finland, kalevi.rasilainen@gtk.fi,*

⁵*DBM - Dr. Backup Hohenwarther Str. 2, 39126 Magdeburg, Germany, dbmbuckup@aol.com,*

⁶*Selor e.e.i.g., Saffierstraat 101c, 1074 GP Amsterdam, The Netherlands, selor@tiscali.nl,*

⁷*Kernfysisch Versneller Insituut, Rijksuniversiteit, Groningen Zernikelaan 25, 9747 AA Groningen, The Netherlands, demeijer@kvi.nl, ,*

⁸*Wasteman & Envirotech Ltd, 15 E, Arch.Kyprianou Street,2059 Strovolos, Lefkosia, Cyprus, wastenv@cytanet.com.cy*

This project conforms to Key action 1, innovative products, processes and organisation, in particular to the Targeted Research Action (TRA) 1.5 "products - services": evolutionary value-added and resource-saving products-services, including miniaturised systems, contributing to the concept of a "product-service", an advanced tool, which through its enhanced universal detection system is able to provide an added value service beyond standard devices. The project has developed a non-destructive analytical device based on neutron technology for use in continuous environmental monitoring and assessment, as well as in hydrocarbon and mineral exploration and processing. Such a device is currently not available on the market. The new device aims at the fast and quantitative detection of elements and compounds in bore holes and on surface and will be a significant contribution to the technology of real time monitoring of environmental pollution and its changes. Existing data on analytical and monitoring techniques, as well as scientific and socio-economic data for the proposed test sites have been collected, compiled and reported. Pulsed neutron sources have been developed and dose rates produced by the neutron sources have been both calculated

and measured. Requirements for appropriate shielding have been calculated and tested and testing and calibration constructions have been prepared. NaI(Tl) and BGO gamma-ray detectors, LiI(Eu) thermal neutron detectors, Stilbene fast neutron detectors and NaI(Tl)+LiI(Eu) Phoswich detectors have been developed and packed into water- and pressure-proof steel housings. The control system for the tool has been designed constructed. The five PNDT prototypes have been completed. Monte Carlo simulations have been carried out to optimize the design of the device, and standard gamma-ray spectra have been produced for a set of elements. Software modules have been developed for the analysis and display of thermal neutron data, for creating log track displays of the obtained data in real time, for controlling the measurements and obtaining the data for the detectors, for storing and transmitting the data. A database has been created for the storage of data received from the tool. Software has been acquired for the analysis of gamma-ray data. Field measurements using two pulsed neutron sources coupled with thermal neutron detectors have been conducted to produce data for both software and method development.