

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΧΑΜΗΛΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ: ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ ΡΑΔΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΟΣ

Ε. Φλώρου, Π. Κρητίδης, Ν. Ευαγγελίου, Μ. Σωτηροπούλου

ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», Ινστιτούτο Πυρηνικής Τεχνολογίας – Ακτινοπροστασίας,
Εργαστήριο Ραδιενέργειας Περιβάλλοντος, 15310, Αγία Παρασκευή, Αθήνα, Ελλάδα
E-mail: eflorou@ipta.demokritos.gr

Περίληψη

Το φαινόμενο της ραδιενέργειας είναι ως γνωστό στατιστικό και εμπεριέχει την έννοια της σταθερής διακύμανσης στην μέτρηση, που στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι το σφάλμα της μέτρησης. Αν και η στατιστική επεξεργασία είναι η ίδια, εντούτοις το σφάλμα της μέτρησης διαφοροποιείται από την σταθερή διακύμανση της μέσης τιμής, αφού μια μέτρηση με μεγάλο σφάλμα μπορεί να παρουσιάζει πολύ χαμηλή διακύμανση της μέσης τιμής, που είναι αποτέλεσμα επαναληπτικών μετρήσεων του δείγματος.

Πέρα από την στατιστική των μετρήσεων σημαντική αβεβαιότητα στην αξιοπιστία προκύπτει από αυτή καθαυτή την φύση των περιβαλλοντικών δειγμάτων και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον τρόπο δειγματοληψίας και επεξεργασίας του δείγματος για μέτρηση, ενώ η μεταβαλλόμενη φύση του μετρούμενου ρυπαντή μεταβάλλει την σύσταση του δείγματος στο μεσοδιάστημα δειγματοληψίας-μέτρησης. Η φύση των περιβαλλοντικών δειγμάτων, ιδιαίτερα των εμβίων, είναι καθοριστική για την αξιοπιστία της μέτρησης και απαιτεί όχι μόνο συστηματική δειγματοληψία και χρονοσειρές μετρήσεων ανάλογα με το ζητούμενο, αλλά και συγκεκριμένες επιλογές μεθόδων επεξεργασίας, προκειμένου το αποτέλεσμα της μέτρησης να είναι αντιπροσωπευτικό.

Για την βελτιστοποίηση της ακρίβειας των μετρήσεων στο ΕΡΠ/ΠΠΑ/ΕΚΕΦΕ“Δ” έχουν επιλεγεί/προσαρμοστεί μέθοδοι και τεχνικές για την ασφαλή εξαγωγή του αποτελέσματος κατά περίπτωση, με συνεχή έλεγχο των επιλογών μέσα από εθνικές και διεθνείς διαβαθμονομήσεις.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται το ζήτημα της βελτιστοποίησης της αξιοπιστίας των μετρήσεων χαμηλού επιπέδου ιοντιζουσών ακτινοβολιών στο περιβάλλον, όπως αυτό αντιμετωπίζεται μέσα από την 50χρονη ερευνητική πορεία του ΕΡΠ/ΠΠΑ/ΕΚΕΦΕΔ.

Λέξεις-Κλειδιά: Μετρήσεις ραδιενέργειας, Μετρήσεις ιοντιζουσών ακτινοβολιών περιβάλλοντος, Σφάλματα μέτρησης ραδιενέργειας, Αξιοπιστία μετρήσεων ραδιενέργειας

Abstract

Φλώρου Ε., Κρητίδης Π., Ευαγγελίου Ν., Σωτηροπούλου Μ., ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος»
Μετρήσεις χαμηλού επιπέδου ραδιενέργειας περιβάλλοντος: Παράγοντες αβεβαιότητας ραδιολογικού συμπεράσματος

4^ο Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας
Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου
Αθήνα, 3-4 Φεβρουαρίου 2012

In the present study, the credibility of the measurements of low level ionizing radiation in environmental components is examined in relation to the safety of the final radiological assessment. Several factors have been recorded during the experimental procedure of a sample to be examined for radioactivity either for natural or/and artificial radionuclides. Therefore, uncertainties can be arisen from the first step of sampling, following the laboratory treatment and measurement, resulted to unsecure radiological conclusion. For the optimization of the accuracy of low-level radioactivity measurements in the ERP/INT-RP/NCSR“D”, several methodologies and techniques have been selected after a 50-year research experience in the field of environmental radioactivity/radioecology.

Key words: *Radioactivity measurements, Measurements of environmental ionizing radiation, Errors of radioactivity measurements, Credibility of radioactivity measurements*

1. Παράγοντες επίδρασης της αξιοπιστίας του ραδιολογικού συμπεράσματος

Η αξιοπιστία του αποτελέσματος της μέτρησης χαμηλού επιπέδου ιοντίζουσας ακτινοβολίας σε περιβαλλοντικά συστατικά, τρόφιμα κ.α. υλικά, και κατά συνέπεια της εξαγωγής αξιόπιστου αποτελέσματος ραδιολογικών επιπτώσεων σε πληθυσμό και περιβάλλον, εξαρτάται από ποικίλους παράγοντες, που καταγράφονται στην πορεία της διαδικασίας από την δειγματοληψία μέχρι το τελικό στάδιο αξιολόγησης της μέτρησης και της εξαγωγής του τελικού συμπεράσματος. Συνοπτικά αναφέρονται σχόλια και παρατηρήσεις από την 50χρονη ερευνητική εμπειρία του ΕΡΠ στον τομέα της ραδιενέργειας περιβάλλοντος/ραδιοικολογίας σχετικά με τις αβεβαιότητες που προκύπτουν στη διαδικασία σχεδιασμού και διεξαγωγής των εργασιών πεδίου/εργαστηρίου και αναφέρονται ενδεικτικές περιπτώσεις ανάλογα με το στάδιο της διαδικασίας και τα μετρούμενα ραδιονουκλίδια.

1.1 Δειγματοληψία – Επιτόπια καταγραφή

Η επιλογή των τρόπου, είδους και σταθερών της δειγματοληψίας σε σχέση με το τελικό ζητούμενο, π.χ. τη μέτρηση ^{137}Cs σε οργανισμούς για εκτίμηση της ραδιολογικής επιβάρυνσης του ανθρώπου-καταναλωτή, αντιμετωπίζεται διαφορετικά από την αντίστοιχη μέτρηση για την εκτίμηση των επιπτώσεων στον ίδιο τον οργανισμό αλλά και από την χρήση αυτού του οργανισμού ως βιοδείκτη αξιολόγησης της περιβαλλοντικής ποιότητας. Ο παράγοντας βιοσυσσωρεύσης, που καθορίζει την επιλεκτική συγκέντρωση του ραδιονουκλιδίου είναι καθοριστικός για τη σχέση οργανισμού-ραδιονουκλιδίου και κατά συνέπεια στην ραδιολογική εκτίμηση του περιβάλλοντος, κυρίως στις περιπτώσεις της χρήσης βιοδεικτών (πχ περίπτωση Mussel Watch). Η αβεβαιότητα στην περίπτωση αυτή έγκειται κυρίως στην επιλογή του βιολογικού μέρους (οργάνου, ιστού), που αποτελεί το κρίσιμο όργανο της βιοσυγκέντρωσης του ραδιονουκλιδίου αλλά και του σταδίου του κύκλου ζωής του οργανισμού. Στους παράγοντες επίδρασης της δειγματοληψίας των αβιοτικών στοιχείων του περιβάλλοντος και της *in situ* καταγραφής της ιοντίζουσας ακτινοβολίας, σημαντικό ρόλο παίζουν οι καιρικές συνθήκες (π.χ. η παροδική αύξηση των συγκεντρώσεων του ραδονίου στο έδαφος μετά από βροχόπτωση)

Φλώρου Ε., Κρητίδης Π., Ευαγγελίου Ν., Σωτηροπούλου Μ., ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος»

Μετρήσεις χαμηλού επιπέδου ραδιενέργειας περιβάλλοντος: Παράγοντες αβεβαιότητας ραδιολογικού συμπεράσματος

4^ο Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας

Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου

Αθήνα, 3-4 Φεβρουαρίου 2012

και η μεταφορά άλλων ραδιενεργών στοιχείων στο έδαφος (π.χ. ^7Be), που μπορεί να οδηγήσει σε false alarm των συστημάτων παρακολούθησης των επιπέδων ακτινοβολίας.

1.2 Επεξεργασία δείγματος

Οι καθορισμένες γεωμετρίες μέτρησης επιβάλλουν μετατροπή/μεταποίηση του δείγματος με φυσικές ή/και χημικές (ραδιοχημικές αναλύσεις) μεθόδους επεξεργασίας για τον διαχωρισμό του ραδιονουκλιδίου από την αδρανή μάζα, που επηρεάζουν την αρχική συγκέντρωση του ραδιονουκλιδίου στο δείγμα (απόδοση μεθόδου επεξεργασίας). Η πορεία της επεξεργασίας μεταποίησης του δείγματος δημιουργεί τις δικές της αβεβαιότητες (π.χ. απώλεια μάζας δείγματος, σφάλμα ζύγισης, σφάλμα υπολογισμού υγρασίας, στατιστικό σφάλμα ραδιενεργού ιχνηθέτη, επιμολύνσεις δείγματος κα).

1.3 Μέτρηση δείγματος

Κατά την ανίχνευση φυσικών ραδιενεργών στοιχείων, συχνά το υπόβαθρο (αποτέλεσμα των ακτινοβολιών του χώρου που περιβάλλει το μετρητικό σύστημα) έχει μεγάλη ομοιότητα με την ακτινοβολία του δείγματος, με αποτέλεσμα την παραγωγή νέας ενεργότητας στο δείγμα, αλλά και μεταβολή της σύστασης του δείγματος από την δειγματοληψία μέχρι την μέτρηση, π.χ. παραγωγή ραδονίου και θυγατρικών από το ράδιο του δείγματος. Στην περίπτωση της τεχνητής ραδιενέργειας, οι χαμηλές συγκεντρώσεις στο δείγμα αυξάνουν το σφάλμα της μέτρησης παρά την χαμηλή τιμή της σταθερής διακύμανσης της μέσης τιμής από την επαναληψιμότητα της μέτρησης. Στην περίπτωση αυτή, η προσυγκέντρωση του ραδιονουκλιδίου και η χρήση reference materials και εξομοιωμένων ραδιενεργών αναβαθμίζει την αξιοπιστία του αποτελέσματος.

1.4 Τεχνολογικά αυξημένη ραδιενέργεια (TENORM)

Στην περίπτωση της τεχνολογικά αυξημένης ραδιενέργειας, η αβεβαιότητα στην πιστότητα της καταγραφής έγκειται στην έντονη χρονική μεταβολή της συγκέντρωσης του ραδιονουκλιδίου (π.χ. η περίπτωση μέτρησης ραδονίου σε κλειστό χώρο και οι συγκεντρώσεις ραδίου σε υγρά απόβλητα βιομηχανικών εγκαταστάσεων). Στις περιπτώσεις αυτές απαιτείται συνεχής παρακολούθηση των επιπέδων για την διαμόρφωση μιας ρεαλιστικής εικόνας. Σε κάποιες περιπτώσεις η «ρύπανση» προστίθεται στο φυσικό υπόβαθρο με αποτέλεσμα να καθίσταται προβληματική η ανίχνευση, δεδομένης της ευρείας διακύμανσης των τιμών του υποβάθρου, όπως η περίπτωση του απεμπλουτισμένου ουρανίου. Στην περίπτωση αυτή απαιτούνται πρόσθετες διαδικασίες και μέθοδοι για την εκτίμηση της παρουσίας των ρυπαντών.

1.5 Τεχνητής προέλευσης ραδιενέργεια

Κατά την περίοδο αύξησης των συγκεντρώσεων της τεχνητής ραδιενέργειας στον αέρα, όπως στην περίπτωση του πυρηνικού ατυχήματος του Chernobyl, η ραδιενεργός

Φλώρου Ε., Κρητίδης Π., Ευαγγελίου Ν., Σωτηροπούλου Μ., ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος»
Μετρήσεις χαμηλού επιπέδου ραδιενέργειας περιβάλλοντος: Παράγοντες αβεβαιότητας ραδιολογικού συμπεράσματος

4^ο Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας
Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου
Αθήνα, 3-4 Φεβρουαρίου 2012

ρύπανση των μετρητικών συστημάτων οδηγεί σε σταδιακή αύξηση του υποβάθρου και την ανάγκη συχνού επαναπροσδιορισμού του.

Στο περιβάλλον η εναπομένουσες συγκεντρώσεις ^{137}Cs στα εδάφη και τα ύδατα μπορούν να αποβούν παραπλανητικές σε ορισμένες περιπτώσεις. Παράδειγμα η ανίχνευση ρύπανσης από πυρηνοκίνητο πλοίο, που απαιτεί την διεξαγωγή μετρήσεων πριν το ελεγχόμενο συμβάν, προκειμένου να καταγραφεί αξιόπιστα το τοπικό υπόβαθρο σε πραγματικό χρόνο.

Ειδικότερα στο θαλάσσιο περιβάλλον, οι χαμηλές συγκεντρώσεις του ^{137}Cs απαιτούν την προσυγκέντρωση του ρυπαντή από μεγάλο όγκου δείγμα στο πεδίο με πολύπλοκα συστήματα, προκειμένου να εξασφαλισθεί η αξιοπιστία της μέτρησης (αποδεκτό σφάλμα). Εναλλακτικά, ο μεγάλος όγκος του δείγματος μεταφέρεται στο εργαστήριο, όπου απαιτούνται αντίστοιχες διαδικασίες. Επεξηγηματικά: α) Όριο ανίχνευσης συστήματος γ-φασματομετρίας 0.1 Bq (25% στατ. σφάλμα), επίπεδα ^{137}Cs στο θαλασσινό νερό του ελλαδικού χώρου: 2 – 10 Bq m⁻³, ελάχιστος όγκος δείγματος για σφάλμα 10% 300 L. β) Όριο ανίχνευσης συστήματος γ-φασματομετρίας 0.1 Bq (25% στατ. σφάλμα), επίπεδα ^{137}Cs στον θαλάσσιο βιοδείκτη *Mytilus galloprovincialis* 0.03–0.1 Bq kg⁻¹ ελάχιστος όγκος δείγματος για σφάλμα 10% 60 kg, συνήθης μάζα δείγματος 10 kg και μέγιστα σφάλματα της τάξης των 35%.

Οι ειδικές μεθοδολογίες αντιμετώπισης της κατά περίπτωση διεγνωσμένης αβεβαιότητας στην εξαγωγή συνεπούς ραδιολογικού συμπεράσματος συμπληρώνονται με την συμμετοχή του ΕΡΠ σε εθνικές και διεθνείς διαβαθμονομήσεις.

2. Σύνοψη μεθόδων και τεχνικών για τη βελτιστοποίηση της ακρίβειας των μετρήσεων

- Συνεπής προσδιορισμός υποβάθρου
- Χρονοσειρές μετρήσεων
- Επιλεκτική προσυγκέντρωση δείγματος
- Επιλογή κρίσιμου οργάνου και σταδίου ζωής οργανισμού
- Έλεγχος εργαστηριακών συνθηκών - επεξεργασιών, ραδιοχημικών αναλύσεων (απόδοση επεξεργασίας ραδιοχημικής ανάλυσης)
- Εθνικές και διεθνείς διαβαθμονομήσεις
- Χρήση reference materials και εξομοιωμένων πηγών

Φλώρου Ε., Κρητίδης Π., Ευαγγελίου Ν., Σωτηροπούλου Μ., ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος»
Μετρήσεις χαμηλού επιπέδου ραδιενέργειας περιβάλλοντος: Παράγοντες αβεβαιότητας ραδιολογικού συμπεράσματος

4^ο Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας
Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου
Αθήνα, 3-4 Φεβρουαρίου 2012
