

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΕΝΕΡΓΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΡΑΔΙΟΝΟΥΚΛΙΔΙΩΝ ΣΕ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΡΑΔΙΟΛΟΓΙΚΗ ΕΠΙΠΤΩΣΗ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΕΥΡΩΠΑΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

Τραμπίδου Γ., Ψωμιάδου Χρ., Φλώρου Ε., Κρητίδης Π.
ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος» / ΙΠΤΑ, Εργαστήριο Ραδιενέργειας Περιβάλλοντος,
Αγία Παρασκευή 15310, Αθήνα

*Λέξεις κλειδιά: Δομικά/Οικοδομικά Υλικά, Φυσικά ραδιονουκλίδια, Δόση έκθεσης,
Ραδιολογική επιβάρυνση, Οδηγίες και συστάσεις της Ε.Ε.*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Η σημαντικότερη συνεισφορά στη συνολική δόση έκθεσης του ανθρώπου στις διάφορες πηγές ιοντιζουσών ακτινοβολιών, προέρχεται από τα φυσικά ραδιονουκλίδια των ραδιενεργών σειρών του ^{238}U - ^{226}Ra και ^{232}Th , καθώς και το ^{40}K . Οι πηγές τους χαρακτηρίζονται ως NORM (Naturally Occurring Radioactive Materials) και TENORM (Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials). Η περίπτωση της χρήσης των δομικών/οικοδομικών υλικών εντάσσεται στην κατηγορία TENORM και καθορίζεται από την «Radiation Protection 112 (EU 2000)» οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Στην ίδια οδηγία ως οικοδομικά υλικά αντιμετωπίζονται όλα τα υλικά που χρησιμοποιούνται σε συνεχή βάση στην κατασκευή οικοδομών.

Στην παρούσα εργασία εξετάζονται οι συγκεντρώσεις ενεργότητας των ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th ($^{228}\text{Ra} + ^{228}\text{Th}$) και ^{40}K σε ένα ευρύ φάσμα συστατικών οικοδομικών υλικών, που έχουν μετρηθεί στο Εργαστήριο Ραδιενέργειας Περιβάλλοντος του ΙΠΤΑ/ΕΚΕΦΕ«Δ». Τα αποτελέσματα αξιολογούνται σε σχέση με την δόση έκθεσης ανάλογα με τη χρήση, τον χρόνο έκθεσης του ανθρώπου κ.ά παραμέτρους, προκειμένου να εκτιμηθεί η τελική ραδιολογική επιβάρυνση. Πρόσθετα, παρατίθενται συγκριτικά στοιχεία από την διεθνή βιβλιογραφία καθώς και στοιχεία από τις σχετικές οδηγίες και συστάσεις της Ε.Ε.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Βιομηχανικά παρα-προϊόντα χρησιμοποιούνται ευρέως στην παρασκευή δομικών/οικοδομικών υλικών ως πρόσθετα υλικά π.χ. τέφρες από την καύση του λιθάνθρακα στην παραγωγή και παρασκευή τσιμέντων.

Όπως έχει καταγραφεί στη διεθνή βιβλιογραφία (UNSCEAR 2000), τα υλικά αυτά λόγω της προέλευσής τους (λιθοσφαιρικά υλικά με υψηλές συγκεντρώσεις φυσικών ακτινοβολιών υποβάθρου – NORM) περιέχουν, σε ορισμένες περιπτώσεις, αυξημένες συγκεντρώσεις φυσικών ραδιονουκλιδίων, λόγω τεχνητού εμπλουτισμού κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας (περίπτωση TENORM).

Στο ΕΠΙ έχουν εκπονηθεί μελέτες σχετικές με την εκτίμηση της ραδιολογικής επιβάρυνσης από τα οικοδομικά υλικά των χώρων διαμονής και διαβίωσης του ελληνικού πληθυσμού (Ράπτης, 1998). Γενικά στο Ελλαδικό χώρο υπάρχουν περιοχές με αυξημένα επίπεδα φυσικών ακτινοβολιών υποβάθρου, που σχετίζονται με την λιθοσφαιρική σύσταση των περιοχών αυτών όπως π.χ. Μήλος, Ικαρία κ.α. (Florou and Kritidis, 1988; Florou, Trabidou, Nikolaou, 2007; Trabidou., 2004; Trabidou and Florou, 2005; Trabidou, Florou, Angelopoulos, Sakelliou, 1996; Trabidou, Stamatelatos, Kritidis, Florou, 1999).

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται ένα ευρύ φάσμα δειγμάτων τέφρας, γύψου, προϊόντων απολέπισης σιδήρου και τσιμέντων εγχώριας παραγωγής και εισαγωγής. Οι συγκεντρώσεις ενεργότητας των φυσικών ραδιονουκλιδίων ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th ($^{228}\text{Ra}+^{228}\text{Th}$) και ^{40}K έχουν προσδιορισθεί με την μέθοδο γάμμα-φασματομετρικής ανάλυσης και τα αποτελέσματα αξιολογούνται ως προς τη ραδιολογική επιβάρυνση - επικινδυνότητα της ανθρώπινης υγείας. Η τελική εκτίμηση της ραδιολογικής σημαντικότητας γίνεται με βάση τις σχετικές οδηγίες και συστάσεις της ΕΕ.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για τον καθορισμό των συγκεντρώσεων των φυσικών ραδιονουκλιδίων ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th (^{228}Ra , ^{228}Th) και ^{40}K στα δείγματα της παρούσης μελέτης χρησιμοποιήθηκε σύστημα γάμμα-φασματομετρίας. Τα δείγματα μετρήθηκαν για 70000 sec σε σύστημα γάμμα – φασματομετρίας υψηλής διακριτικής ικανότητας, με ενσωματωμένο ανιχνευτή Hp Ge 20% απόδοσης και πολυκαναλικό αναλυτή 40000 καναλιών (σε συνολικό φάσμα 2000 keV) με λογισμικό ORTET για την ανάλυση του προκύπτοντος φάσματος. Το σχετικό στατιστικό σφάλμα (1σ) δεν υπερβαίνει το 10%. Η απόδοση καθορίσθηκε με πρότυπες πηγές ^{226}Ra της

γεωμετρίας της μέτρησης. Η βαθμονόμηση ενέργειας πραγματοποιήθηκε με σημειακή πηγή ^{60}Co 3.7×10^4 Bq, στις κορυφές 1173.2 keV και 1332.5 keV.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στο Σχήμα 1 δίνεται το διάγραμμα ποσοστιαίας κατανομής των δειγμάτων που αναλύθηκαν στο χρονικό διάστημα 2000 – 2007. Το μεγαλύτερο ποσοστό των μετρούμενων δειγμάτων αναφέρεται σε τέφρες, βιομηχανικό παρα-προϊόν χρησιμοποιούμενο σε οικοδομικά υλικά. Στο Σχήμα 2 δίνεται το διάγραμμα ποσοστιαίας κατανομής των χωρών προέλευσης των δειγμάτων. Το μεγαλύτερο ποσοστό δειγμάτων αποτελούν προϊόντα εισαγωγής από την Ιταλία.

Γάμμα- φασματομετρία

Τα αποτελέσματα της γάμμα – φασματομετρικής ανάλυσης σε όλα τα δείγματα και για κάθε προσδιοριζόμενο ραδιονουκλίδιο δίνονται στους Πίνακες 1-4 και στα Σχήματα 2-5. Αναλυτικότερα το εύρος των τιμών του ^{238}U κυμαίνεται από <5 Bq kg $^{-1}$ έως 799 Bq kg $^{-1}$, του ^{226}Ra από <2 Bq kg $^{-1}$ έως 956 Bq kg $^{-1}$, του ^{232}Th από <1 Bq kg $^{-1}$ έως 593 Bq kg $^{-1}$ και του ^{40}K από <1 Bq kg $^{-1}$ έως 1180 Bq kg $^{-1}$. Για λόγους σύγκρισης αναφέρεται (Πίνακας 5) ότι η τυπική και μέγιστη συγκέντρωση ενεργότητας σε τέφρες (Radiation Protection 112) για το ^{226}Ra είναι 180 Bq kg $^{-1}$ και 1100 Bq kg $^{-1}$, για το ^{232}Th είναι 100 Bq kg $^{-1}$ και 300 Bq kg $^{-1}$ και για το ^{40}K είναι 650 Bq kg $^{-1}$ και 1500 Bq kg $^{-1}$, αντίστοιχα.

Δείκτης συγκέντρωσης ενεργότητας

Για την εκτίμηση της επικινδυνότητας, από ραδιολογική άποψη, των παραπάνω υλικών, υπολογίστηκε ο δείκτης συγκέντρωσης ενεργότητας I όπως αναφέρεται στο Radiation Protection 112:

$$I = C_{\text{Ra}}/300 + C_{\text{Th}}/200 + C_{\text{K}}/3000$$

όπου:

$$C_{\text{Ra}} = \text{συγκέντρωση ενεργότητας του } ^{226}\text{Ra} \text{ (Bq kg}^{-1}\text{)}$$

$$C_{\text{Th}} = \text{συγκέντρωση ενεργότητας του } ^{232}\text{Th} \text{ (Bq kg}^{-1}\text{)}$$

$$C_{\text{K}} = \text{συγκέντρωση ενεργότητας του } ^{40}\text{K} \text{ (Bq kg}^{-1}\text{)}$$

Ο δείκτης I επιτρέπει την εκτίμηση της ενεργού δόσης οφειλόμενης σε εξωτερική έκθεση γάμμα ιοντίζουσας ακτινοβολίας από τα ^{226}Ra , ^{232}Th και ^{40}K ως δείκτης ορισμού των εξεταζομένων οικοδομικών υλικών ως ακατάλληλων μη για σχετική χρήση. Στον υπολογισμό του δείκτη συγκέντρωσης ενεργότητας έχουν ληφθεί υπόψη οι παράμετροι εκείνες που

ισχύουν σχετικά με τις ποσότητες και τους τρόπους χρήσης των εξεταζομένων υλικών από τους κατασκευαστές.

Με την εφαρμογή του δείκτη I, από τα 250 δείγματα της παρούσης μελέτης τα 5 κρίθηκαν ακατάλληλα όσον αφορά στη ραδιολογική επιβάρυνση του ανθρώπου και αναφέρονται σε δείγματα τέφρας. Σημειώνεται όμως, ότι η καταλληλότητα του τελικού προϊόντος εξαρτάται από το ποσοστό συμμετοχής της τέφρας σε αυτό.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Από τα 250 δείγματα, που εξετάσθηκαν για ραδιολογική καταλληλότητα προκύπτει ότι το 88 % αφορά σε τέφρα από την καύση λιθάνθρακα ($I=0.7 - 3.4$). Το 2% αυτών των δειγμάτων ευρέθησαν ακατάλληλα ως έχουν ($I=2.9-3.4$) με βάση την Σύσταση της ΕΕ Radiation Protection 112 .

2. Τα δείγματα των απολεπισμάτων εξέλασης σιδήρου σε ποσοστά 5% επί των εξεταζομένων δειγμάτων αντίστοιχα έδειξαν συντελεστές $I < 0.2$. Τα δείγματα γύψου σε ποσοστά 4% επί των εξεταζόμενων δειγμάτων αντίστοιχα έδειξαν συντελεστές $I < 0.04$ ενώ τα δείγματα τσιμέντων σε ποσοστό 2% επί των εξεταζόμενων δειγμάτων έδειξαν εύρος συντελεστών $I=0.2-0.8$

3. Γενικά η χρήση των παραπάνω παραπροϊόντων στα οικοδομικά υλικά αποτελεί μια περίπτωση TENORM, που πρέπει να αντιμετωπίζεται σε σχέση με τη Σύσταση της ΕΕ Radiation Protection 112 για την ραδιενέργεια των οικοδομικών υλικών.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. European Commission, 2000. *Radiological protection principles concerning the natural radioactivity of building materials (Radiation Protection 112)*. Office for Official Publications of the Ec (Geneva: EC) (2000).

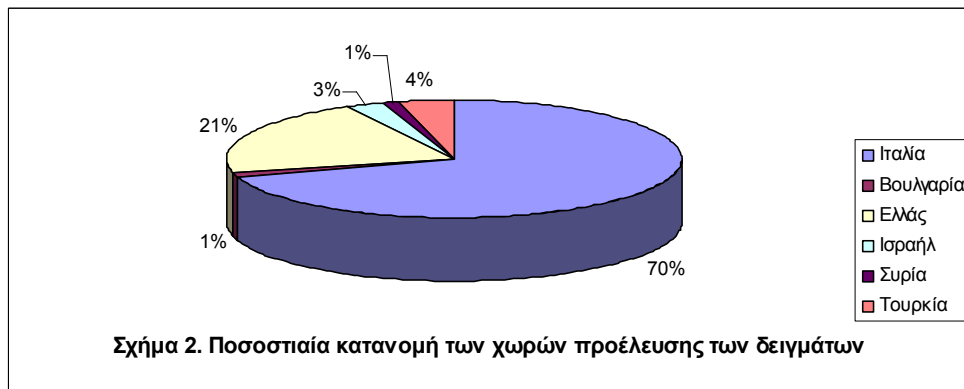
2. Florou H. and Kritidis P., 1988. *Enhanced natural radioactivity in some areas of Aegean Archipelagos*. International Conference on Environm. Radioact. in the Mediterr. Area. Barcelona 10-13 May 1988 pp: :93-99.

3. Florou H., Trabidou G., Nikolaou G., 2007. *Radiological impact assessment in some areas of elevated natural radioactivity in Greece by use of simple models*. Journal of Environmental Radioactivity 93 (2007) pp:74-83.

4. Raptis Ch., 1998. Study on the contribution of constructing materials to the radiological impact of the population of Attica wide region. Ph.D. Thesis Aristoteles University of Thessaloniki.

5. Trabidou G., 2004. *Radiological study in areas around radioactive springs*. Ph. D. Thesis, University of Athens, 2004.
6. Trabidou G. and Florou H., 2005. *Radiological impact in an area of elevated natural radioactive background: The case of Ikaria island - Aegean Sea - Greece*. Elsevier ICS 1276 (2005) pp: 390-391.
7. Trabidou G., Florou H., Angelopoulos A., Sakelliou L., 1996. *Environmental study of the radioactivity of the thermometalic spas in the Ikaria island*. Rad.Prot. Dos.Vol. 63, No 1, pp. 63-67 (1996).
8. Trabidou G., Stamatelatos J., Kritidis P., Florou H., 1999. *Evaluation of external doses from exposure to gamma sources in soil using MCNP code*. Proc.: 10th Symposium on Nuclear Physics. Nuclear Physicist Association, NCSR“Demokritos”, Athens 27 – 28/May/1999.
9. UNSCEAR, 2000. Sources and effects of ionizing radiation, United Nations Scientific Committee on effects of Atomic Radiation, Report to the General Assembly, Volume I: Sources (2000).





Πίνακας 1. Ελάχιστες και μέγιστες συγκεντρώσεις ενεργότητας του ^{238}U σε δείγματα της παρούσας μελέτης.

Ελάχιστη συγκέντρωση ενεργότητας (Bq kg^{-1})	Μέγιστη συγκέντρωση ενεργότητας (Bq kg^{-1})
<5	799

Πίνακας 2. Ελάχιστες και μέγιστες συγκεντρώσεις ενεργότητας του ^{226}Ra σε δείγματα της παρούσας μελέτης.

Ελάχιστη συγκέντρωση ενεργότητας (Bq kg^{-1})	Μέγιστη συγκέντρωση ενεργότητας (Bq kg^{-1})
<2	956

Πίνακας 3. Ελάχιστες και μέγιστες συγκεντρώσεις ενεργότητας του ^{232}Th σε δείγματα της παρούσας μελέτης.

Ελάχιστη συγκέντρωση ενεργότητας (Bq kg^{-1})	Μέγιστη συγκέντρωση ενεργότητας (Bq kg^{-1})
<1	593

Πίνακας 4. Ελάχιστες και μέγιστες συγκεντρώσεις ενεργότητας του ^{40}K σε δείγματα της παρούσας μελέτης.

Ελάχιστη συγκέντρωση ενεργότητας (Bq kg^{-1})	Μέγιστη συγκέντρωση ενεργότητας (Bq kg^{-1})
<1	1180

Πίνακας 5. Τυπικές και μέγιστες συγκεντρώσεις ενεργότητας των ^{226}Ra , ^{232}Th και ^{40}K σε δείγματα τέφρας της Ε.Ε.

Τυπική συγκέντρωση ενεργότητας (Bq kg^{-1})			Μέγιστη συγκέντρωση ενεργότητας (Bq kg^{-1})		
^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
180	100	650	1100	300	1500

