

ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 3 ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΥ 1982

ΠΡΟΕΔΡΙΑ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ ΜΠΟΝΗ

ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ — ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ — **Μολύνει ραδιενεργῶς τὴν ἀτμόσφαιραν ἡ καύσις τοῦ λιγνίτου;** ὑπὸ Σ. Δανάλη-Κωτσάκη*, διὰ τοῦ Ἀκαδημαϊκοῦ κ. Γεωργίου Καραγκούνη.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ὁ ἄνθρωπος ἐκτίθεται στὴ φυσικὴ ραδιενέργεια ἀπὸ τὴν ἐποχὴ ποὺ πρωτοεμφανίστηκε στὴ γῆ. Παρὰ τὴν αὐξήση τῆς τεχνητῆς ραδιενέργειας στὸ περιβάλλον, ἀπὸ τὴ χρήση τῶν μηχανημάτων ποὺ παράγουν ἀκτινοβολία, ἀπὸ τὴν ἐπέκταση τῶν πυρηνικῶν δοκιμῶν καὶ τῶν ἐφαρμογῶν τῶν ραδιοϊσοτόπων, ἡ φυσικὴ ραδιενέργεια ἐξακολουθεῖ, ἀκόμη, νὰ εἶναι ὁ μεγαλύτερος συνεισφορέας ἔκθεσης στὴν ἀκτινοβολία τοῦ ἀνθρώπινου πληθυσμοῦ.

Ἡ φυσικὴ ραδιενέργεια ἔχει δύο προελεύσεις: γήινη καὶ ἐξωγήινη. Ἡ γήινη ραδιενέργεια ἐκπέμπεται ἀπὸ ραδιενεργὰ στοιχεῖα ποὺ ὑπάρχουν σὲ ποικίλες ποσότητες σὲ ὅλα τὰ ἐδάφη, βράχους, ἀτμόσφαιρα, ὑδρόσφαιρα καὶ συντελεῖ σὲ ἐξωτερικὴ καὶ ἐσωτερικὴ ἔκθεση τοῦ ἀνθρώπου. Τὰ ἄτομα ἐκτίθενται στὴ γήινη ραδιενέργεια καὶ λαμβάνουν δόσεις ποὺ διαφέρουν σημαντικὰ ἀπὸ τόπο σὲ τόπο π.χ. στὸ Τέξας τῶν ΗΠΑ ἡ γήινη ραδιενέργεια βρέθηκε ἴση πρὸς 20 mR/y, ἐνῶ στὴ Β. Καρολίνα κυμαίνεται περὶ τὰ 150 mR/y. Ἀντίστοιχες μετρήσεις στὴ Ν. Ἰνδία ἔδωσαν τιμὴ μέχρι 1300 mR/y.

Συγκεντρώσεις φυσικῶν ραδιενεργῶν στοιχείων, καὶ εἰδικὰ ^{226}Ra , παρουσιάζονται αὐξημένες στὴν ἀτμόσφαιρα σὲ περιοχὲς ποὺ γίνονται ὀρισμένες δραστηριότητες π.χ. ὀρυχεῖα Οὐρανίου, λειτουργία Ἀτμοηλεκτρικῶν Σταθμῶν κ.ἄ. Στὴν τελευταία περίπτωση ἡ αὐξήση ὀφείλεται στὴν καύση τοῦ ἀνθρακὰ ἢ γενικὰ ὀρυκτῶν γιὰ παραγωγή ἠλεκτρικῆς ἐνέργειας. Τὰ ὀρυκτὰ περιέχουν ^{226}Ra καὶ κατὰ τὴν καύση τους, ὅπως εἶναι φυσικό, ἡ συγκέντρωση τοῦ στοιχείου αὐτοῦ στὶς τέφρες τους (ἰπτάμενη καὶ ὑγρὴ) αὐξάνεται. Ἡ ἰπτάμενη τέφρα διαφεύγει στὴν ἀτμόσφαιρα σὲ ποσοστὸ περὶ τὰ 2% τῆς ὀλικῆς τέφρας ποὺ παράγεται κατὰ τὴν καύση τοῦ λιγνίτη.

Στὴν Ἑλλάδα ἔχουν ἐγκατασταθεῖ ἀπὸ τὴν ΔΕΗ σὲ 4 περιοχὲς Ἀτμοηλεκτρικοὶ Σταθμοί, (ΑΗΣ), ποὺ λειτουργοῦν μὲ καύση λιγνίτη ἀπὸ τὶς περιοχὲς αὐτές.

* S. DANALI — COTSAKI, **Does the combustion of the lignite cause radioactive contamination of the atmosphere?**

Τὸ θέμα ραδιενέργειας τῶν λιγνιτῶν ἀντιμετωπίζεται ἀπὸ δύο πλευρές: ἡ μία εἶναι ἡ πιθανὴ ραδιενεργὸς μόλυνση τοῦ περιβάλλοντος στὶς περιοχὲς λειτουργίας τῶν ΑΗΣ, καὶ ἡ ἄλλη εἶναι ἡ ἀκίνδυνη χρησιμοποίηση τῆς λιγνιτικῆς τέφρας στὰ δομικὰ ὑλικά.

Μὲ τὸ θέμα αὐτὸ ἀπασχοληθήκαμε στὸ Ἐργαστήριο Ἐλέγχου Ραδιενέργειας Περιβάλλοντος (ΕΕΡΠ) τῆς Ἑλληνικῆς Ἐπιτροπῆς Ἀτομικῆς Ἐνέργειας ἀπὸ τὸ 1979, τὰ ἀποτελέσματα δὲ τῆς προκαταρκτικῆς ἔρευνάς μας ἀναφέρονται στὶς σχετικές Ἐκθέσεις μας [1,10].

Μὲ τὴ μελέτη αὐτή, ἡ ὁποία ἀποτελεῖ ἐπέκταση τῆς προηγούμενης ἔρευνάς μας ἐπὶ τοῦ θέματος αὐτοῦ, ἐπιχειρεῖται, βάσει ἀποτελεσμάτων παλαιότερων ἀλλὰ καὶ νέων πειραματικῶν μετρήσεων καὶ θεωρητικῶν ὑπολογισμῶν, ἡ ἐκτίμηση τῆς ἐπιδράσεως στὸ περιβάλλον καὶ στὸν ἄνθρωπο τῆς χρήσεως τοῦ λιγνίτη καὶ τῆς τέφρας του, καὶ προτείνονται οἱ ἐνέργειες ποὺ πρέπει νὰ γίνονται ἀπὸ μέρους τῶν ἀρμοδίων γιὰ τὴν ἀσφαλέστερη χρησιμοποίησή τους.

2. ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΩΝ ΑΗΣ

Γιὰ τὴν ἔρευνα ραδιενεργοῦ μόλυνσης στὶς περιοχὲς λειτουργίας ΑΗΣ ὀργανώθηκε Δίκτυο Σταθμῶν συλλογῆς δειγμάτων ἀέρα καὶ κονιορτοῦ ἀτμόσφαιρας καὶ ἄρχισε ἔλεγχος, σὲ μόνιμη βάση, τῶν περιοχῶν αὐτῶν σὲ συνεργασία μὲ τὴ ΔΕΗ.

Ἐγιναν ἐπίσης πρόσθετες δειγματοληψίες στὸ ἔδαφος καὶ στὰ νερὰ ἀπὸ τὶς περιοχὲς αὐτές.

Γιὰ τὴ διερεύνηση τῶν ἀποτελεσμάτων τοῦ ἐλέγχου, ἐλήφθησαν ὑπόψη στοιχεῖα σχετικὰ μὲ τὴ λειτουργία τῶν ΑΗΣ ἀπὸ τὴν ΔΕΗ καθὼς καὶ μετεωρολογικὰ στοιχεῖα τῶν περιοχῶν ἀπὸ ΔΕΗ καὶ ΕΜΥ.

Τὸ Τοπικὸ Δίκτυο Δειγματοληψίας γιὰ κάθε περιοχὴ ἔχει ὡς ἑξῆς:

α. Πτολεμαῖδα

(1). Ἐγινε ἐγκατάσταση Σταθμοῦ Δειγματοληψίας Ἀέρα (ΣΔΑ) σὲ ἀπόσταση 800 μ. ΒΔ τοῦ ΑΗΣ καὶ στὴ θέση τῆς πλησιέστερα κατοικημένης περιοχῆς (οἰκισμὸς ΔΕΗ).

(2). Ἐγινε ἐγκατάσταση Σταθμοῦ Δειγματοληψίας Κονιορτοῦ Ἀτμόσφαιρας (ΣΔΚ) στὴν παραπάνω θέση.

(3). Ἐγινε δειγματοληψία ἐδάφους σὲ διάφορες ἀποστάσεις (μέχρι 10 km) ἀπὸ τὴ θέση ἐγκατάστασης τῶν ΑΗΣ καθὼς καὶ νεροῦ.

β. Μεγαλόπολη

(1). Έγινε έγκατάσταση ΣΔΑ σε απόσταση 500 m. (Δεξαμενή) ΒΑ του ΑΗΣ, πρὸς τὴν πλευρὰ τοῦ πλησιέστερου χωριοῦ, Πλάκα.

(2). Έγινε έγκατάσταση ΣΔΚ στὶς παρακάτω θέσεις:

— Στὴ θέση τοῦ ΣΔΑ, ἤτοι στὰ 500 m ΒΑ τοῦ ΑΗΣ.

— Στὴ θέση τοῦ χωριοῦ Πλάκα, ἤτοι στὰ 3 km ΒΑ τοῦ ΑΗΣ.

(3). Έγινε δειγματοληψία ἐδάφους σὲ διάφορες ἀποστάσεις ἀπὸ τὸν ΑΗΣ καὶ νεροῦ ἀπὸ τὸν ποταμὸ Ἴαλφειό. Ἐπίσης ἔγιναν δειγματοληψίες καὶ ἀπὸ τὸν ποταμὸ Μπαρμπουτσάνα, στὸ σημεῖο ποὺ ἀπελευθερώνονται τὰ λύματα ἀπὸ τὴ λειτουργία τοῦ ΑΗΣ, καθὼς καὶ σὲ σημεῖα πρὸ καὶ μετὰ τοῦ σημείου αὐτοῦ, κατὰ τὴ φορὰ τῆς ροῆς τοῦ ποταμοῦ.

γ. Ἰλιβέρι

(1). Έγινε έγκατάσταση ΣΔΑ σε απόσταση 1300 m. (θέση Πηγάδι) ΒΑ τοῦ ΑΗΣ καὶ πρὸς τὴ φορὰ τῶν ἐπικρατέστερων (μεγάλῃ ἔνταση καὶ συχνότητα) ἀνέμων.

(2). Έγινε έγκατάσταση ΣΔΚ σὲ 3 σημεῖα:

— Στὴ θέση έγκατάστασης τοῦ ΣΔΑ, ἤτοι στὰ 1300 m.

— Στὴν ἀπόσταση τῶν 500 m ΝΑ τοῦ ΑΗΣ, στὴ θέση οἰκισμοῦ τῆς ΔΕΗ.

— Στὴν ἀπόσταση τῶν 900 m, στὸ χωριὸ Κάραβος (Φυλάκιο) πρὸς Β τοῦ ΑΗΣ, καὶ πρὸς τὴν πλευρὰ τῆς πόλης Ἰλιβέρι.

(3). Έγινε συλλογὴ δειγμάτων ἐδάφους ἀπὸ διάφορες ἀποστάσεις ἀπὸ τὸν ΑΗΣ καθὼς θάλασσας καὶ πόσιμου νεροῦ.

Ἡ διάρκεια τῆς δειγματοληψίας ἀέρα καὶ κονιορτοῦ εἶναι συνεχῆς, ἢ συχνότητα δὲ τῆς δειγματοληψίας εἶναι μία φορὰ τὴν ἡμέρα γιὰ τὸν ἀέρα καὶ μία φορὰ τὸν μῆνα γιὰ τὸν κονιορτό. Τὰ ἀποτελέσματα ἀναφέρονται σὲ μέσες ἡμερήσιες καὶ μέσες μηνιαῖες τιμὲς ραδιενέργειας, ἀντιστοίχως.

3. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΕΣ ΛΙΓΝΙΤΩΝ, ΤΕΦΡΑΣ ΛΙΓΝΙΤΩΝ ΚΑΙ ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ

— Έγινε συλλογὴ δειγμάτων ἀπὸ τοὺς σωροὺς τῶν πρὸς καύση λιγνιτῶν καὶ ἀπὸ τὶς τέφρες τους (ξηρὰ ἢ ἱπτάμενη καὶ ὑγρὴ) ἀπὸ κάθε ΑΗΣ. Οἱ δειγματοληψίες ἐπαναλήφθηκαν γιὰ σύγκριση τῶν ἀποτελεσμάτων τοῦ ἐλέγχου.

— Έγιναν, ἐπίσης, δειγματοληψίες τσιμέντων διαφόρων τύπων ἀπὸ διάφορες ἐταιρεῖες, ὅπως διατίθενται στὴν ἐλεύθερη ἀγορά.

4. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ — ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

Οι μετρήσεις τῆς ραδιενέργειας ἔγιναν στὸ Ε.Ε.Ρ.Π., εἰδικὸ Ἔργαστήριον, κατάλληλα κατασκευασμένο καὶ ἐξοπλισμένο γιὰ μετρήσεις χαμηλῆς ραδιενέργειας.

Γιὰ τὴν ἐπεξεργασία καὶ μέτρηση τῆς ραδιενέργειας τῶν δειγμάτων ἀκολουθήθηκε ἡ μεθοδολογία ποὺ ἐφαρμόζεται στὸ ΕΕΡΠ [2, 3, 4, 5].

Τὰ ὄργανα ποὺ χρησιμοποιήθηκαν γιὰ τὶς μετρήσεις εἶναι τὰ ἐξῆς:

- Γιὰ ὀλικὴ β χρησιμοποιήθηκε ἀνιχνευτῆς τύπου proportional, συνδεδεμένος μετὴ ἠλεκτρονικὸ σύστημα ποὺ περιλαμβάνει μονάδα ἀντισυμπτώσεως γιὰ χαμηλὸ ὑπόστρωμα, μικρότερο τοῦ 1 cpm' (low background - beta counting system).
- Γιὰ φασματοσκοπικὲς ἀναλύσεις τῆς γ-ἀκτινοβολίας χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικὰ συστήματα: ἓνα μετὴ ἀνιχνευτὴ κρύσταλλο Ge (Li) (100 cc, eff. 20%, resolution 1.81 Kev στὰ 1.33 Mev) συνδεδεμένο μετὴ ἀναλυτὴ 4096 διωρύγων, καὶ ἓνα μετὴ κρυσταλλικὸ ἀνιχνευτὴ NaI (3 × 3) συνδεδεμένο μετὴ ἀναλυτὴ 1024 διωρύγων. Οἱ ἀνιχνευτῆς βρίσκονται σὲ εἰδικῆς κατασκευῆς «πύργους» θωρακίσεως ἀποτελούμενους ἀπὸ Fe, Pb, Cd, Cu, ὑπὸ ὀρισμένη ἀναλογία καὶ διαδοχικὴ σειρὰ, συνολικοῦ πάχους περὶ τὰ 10 cm.

Γιὰ τὴ βαθμολογία τῶν ὀργάνων χρησιμοποιήθηκαν πρότυπες πηγὲς ^{40}K γιὰ ὀλικὴ β καθὼς καὶ ^{226}Ra , ^{137}Cs , κ.ἄ., γιὰ προσδιορισμὸ ἀντιστοίχων ραδιοϊσοτόπων στὰ δείγματα.

Κατὰ τὴ διεξαγωγή τῶν μετρήσεων ἐλήφθησαν ὑπόψη οἱ ὑπηρερχόμενοι παράγοντες καὶ ἔγιναν οἱ ἀναγκαῖες διορθώσεις (γιὰ Background, Backscattering, Decay, Selfabsorption, Geometry).

Οἱ συνθῆκες τόσο κατὰ τὴ δειγματοληψία ὅσο καὶ κατὰ τὴ διαδικασία ἐπεξεργασίας καὶ μετρήσεως τηρήθηκαν σταθερὲς (ὕλικὸ καὶ διαστάσεις δοχείων καὶ μέσων δειγματοληψίας, χρόνος δειγματοληψίας, εἶδος ὑποδοχέων μετρήσεων, διάρκεια μετρήσεων, πάχος δείγματος, θέση δείγματος ὡς πρὸς τὸν ἀνιχνευτὴ κ.λπ.).

Τὰ ἀποτελέσματα βασίζονται ἐπὶ τῆς μέσης τιμῆς σειρᾶς μετρήσεων τοῦ κάθε δείγματος, σὲ σταθερὸ χρόνο.

Γιὰ τὸν ὑπολογισμὸ τῆς μέσης τιμῆς \bar{A} καὶ τῆς σταθερῆς ἀποκλίσεως $\sigma_{\bar{A}}$, γιὰ περίπτωσιν τῆς β-ἀκτινοβολίας, ἐφαρμόστηκε ὁ τύπος τῆς Στατιστικῆς:

$$\bar{A} \pm \sigma_{\bar{A}} = \frac{\sum A_i t_i}{t_i} \pm \frac{1}{t_i} \sqrt{\sum (t_i \sigma_{A_i})^2} \quad (1)$$

Γιὰ, δέ, τὸν ὑπολογισμὸ μιᾶς μόνης τιμῆς A_i , ὁ τύπος (2) δίδει τὸν ἀντίστοιχο ρυθμὸ κρούσεων R_N :

$$R_N = \frac{N_T}{t_T} - \frac{N_B}{t_B} \pm \sqrt{\sigma_T^2 + \sigma_B^2} \quad (2)$$

ὅπου N_T = ὁ ὀλικὸς ἀριθμὸς κρούσεων,

N_B = ὁ ἀριθμὸς κρούσεων τοῦ ὑποστρώματος.

Ἐκ τῆς R_N καὶ τῆς efficiency (E) τοῦ ἀνιχνευτοῦ ὑπολογίζεται ἡ ραδιενέργεια τοῦ δείγματος, (A_D), βάσει τοῦ τύπου:

$$A_D = \frac{R_N}{E} \quad \text{ὅπου } E = f\left(e, \frac{\Omega}{4\pi}\right) \quad (3)$$

ἢτοι, ἡ efficiency ἐξαρτᾶται ἐκ τῆς εὐαισθησίας τοῦ ἀνιχνευτοῦ καὶ τῆς γεωμετρίας τοῦ ἀνιχνευτοῦ ὡς πρὸς τὸ δείγμα.

Γιὰ τὸν ὑπολογισμὸ τῆς ραδιενέργειας ἀπὸ μέτρηση τῆς γ -ἀκτινοβολίας τοῦ δείγματος, ($A_{D\gamma}$), μὲ χρῆση ἀνιχνευτοῦ σπινθηρισμῶν, λαμβάνεται ὑπόψη ἡ γεωμετρία (Ω), ἡ συχνότητα ἐκπομπῆς τῆς γ ὀρισμένης ἐνέργειας (BR), ὁ παράγων P/T (Peak to Total) γιὰ τὴν κάθε ἐνέργεια, ἢτοι:

$$A_{D\gamma} = \frac{R_N}{\Omega \cdot P/T \cdot BR \cdot \text{dpm}/\rho\text{Ci}} \quad (4)$$

$$\text{καὶ τέλος: } A_{D\gamma}^* = \frac{A_{D\gamma}}{m} \quad \text{ἢ} \quad \frac{A_{D\gamma}}{V} \quad (5)$$

ὅπου: $A_{D\gamma}^*$ = ἡ ραδιενέργεια ἀνὰ μονάδα μάζης (m) ἢ ὄγκου (V).

Ἐπολογισμὸς διαφεύγουσας ραδιενέργειας

Γιὰ τὸν ὑπολογισμὸ τῆς ραδιενέργειας ποῦ διαφεύγει στὸ περιβάλλον μὲ τὴν «ξηρὰ» ἢ ἱπτάμενη τέφρα ἐλήφθησαν ὑπόψη:

- Ἡ ποσότητα (μέσος ὄρος) τοῦ καιομένου, κατ' ἔτος, λιγνίτη (Π).
- Τὸ ποσοστὸ τῆς ὀλικῆς τέφρας του (ἱπτάμενη καὶ ὑγρὴ) ($T\%$).
- Τὸ ποσοστὸ τῆς ἱπτάμενης τέφρας ($\Xi I\%$).
- Τὸ ποσοστὸ τῆς διαφεύγουσας τέφρας ἀπὸ τὰ φίλτρα ($\Phi\%$).

Μὲ βάση τὴν τιμὴ ραδιενέργειας τοῦ δείγματος (ἀνηγγεμένη στὴ μονάδα μάζας) ἀπὸ τὴ μέτρηση τῆς ἀκτινοβολίας του καὶ μὲ τὰ παραπάνω στοιχεῖα σχετικὰ μὲ τὸ

καύσιμο ύλικό κάθε ΑΗΣ υπολογίστηκε ή ποσότητα τής διαφεύγουσας ραδιενέργειας κατά τή λειτουργία του ΑΗΣ, που όφείλεται στο ^{226}Ra , ανά έτος ($Q \rightarrow \text{Ci/year}$) ήτοι:

$$Q = f (A^*_{D\gamma} \cdot \Pi \cdot T\% \cdot \Xi T\% \cdot \Phi\%) \quad (6)$$

Άπο τήν τιμή του Q , με τή βοήθεια του τύπου διαχύσεως του Pasquill τροποποιημένου άπο τον Gifford [6, 7], υπολογίστηκε ή συγκέντρωση του διαφεύγοντος ραδιενεργού ύλικου X σε Ci/m^3 ήτοι:

$$X(X, \Psi, Z, H) = \frac{Q}{2\pi\sigma_{\Psi}\sigma_Z\bar{u}} \exp. \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\Psi}{\sigma_{\Psi}} \right)^2 \right] \left\{ \exp. \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{Z-H}{\sigma_Z} \right)^2 \right] + \exp. \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{Z+H}{\sigma_Z} \right)^2 \right] \right\} \quad (7)$$

Γιά τον υπολογισμό τής συγκέντρωσης X του διαφεύγοντος ύλικου έγιναν οι παραδοχές:

- Η κατανομή τής έξερχόμενης ραδιενεργού ποσότητας άκολουθεϊ τò νόμο του Gauss, τόσο κατά τήν όριζόντια όσο και κατά τήν κατακόρυφη έννοια, με Standard deviations σ_{Ψ} και σ_Z αντίστοιχα.
- Η διαφυγή του ύλικου είναι συνεχής.
- Τò μέγεθος τής διαμέτρου των σωματιδίων είναι $<20 \mu$.
- Τò ύψος τής καπνοδόχου είναι τò ένεργò ήτοι:

$$H_{\text{eff}} = h + \Delta h \quad (8)$$

όπου: h = τò πραγματικό ύψος τής καπνοδόχου

Δh = τò πρόσθετο, τής κεντρικής γραμμής του έξερχόμενου ύλικου (Central line).

Γιά τήν εύρεση του Δh εφαρμόστηκε ó τύπος του Holland:

$$\Delta h = \frac{v_s d}{\bar{u}} (1.50 + 2.68 \times 10^{-3} p \frac{T_s - T_a}{T_s} d) \quad (9)$$

όπου:

v_s = ταχύτητα έξερχόμενων αερίων

\bar{u} = ή μέση ταχύτητα του ανέμου

p = ή ατμοσφαιρική πίεση στα σημεία εξόδου τής καπνοδόχου

T_s = θερμοκρασία έξερχόμενων αερίων

T_a = θερμοκρασία περιβάλλοντος

d = ή άνω έσωτερική διάμετρος τής καπνοδόχου.

Στην παρούσα μελέτη οί ύπολογισμοί έγιναν για τήν έπιφάνεια του έδάφους ($Z=0$) και κατά μήκος τής γραμμής διαδόσεως του ραδιενεργού ύλικού ($\Psi=0$).

Έπίσης έλήφθησαν για τούς ΑΗΣ και τics περιοχές τους τά έξής στοιχεία:

α. Από ΔΕΗ

- $h = 110$ m (μέσο ύψος καπνοδόχου)

- $v_s = 15$ m/sec για $d = 2$ m

- $v_s = 25$ m/sec για $d = 4$ m

- $T_s = 150^\circ\text{C}$

β. Από ΕΜΥ και ΔΕΗ

— συχνότητες κυριότερων ανέμων κάθε περιοχής.

γ. Από ΔΕΗ

— στοιχεία για τó καύσιμο ύλικό (ΔΕΗ/ΔΕΜΠ/Φ917.2/2203/27.6.80).

δ. Από πηγές βιβλιογραφικές [8, 9]

— τιμές πιέσεως και θερμοκρασίας ανά έποχή στις θέσεις και ύψη τών καπνοδόχων τών ΑΗΣ.

Έ κάθε κατηγορία Stability έλήφθη για κάθε έποχή με τήν ίδια χαρακτηριστική μέση ταχύτητα ανέμου, ήτοι:

A (2m/sec), B (3m/sec), C(4m/sec)

D (6m/sec), E(2m/sec), F(2m/sec).

Με βάση τή Stability και τó H_{eff} ύπολογίστηκε και ή απόσταση τής μεγαλύτερης συγκέντρωσης για κάθε περίπτωση, ήτοι:

$$x_{max.} = f(\text{Stab.}, H_{eff}) \quad (10)$$

Έκτός τών τιμών X_{max} και $x_{max.}$ ύπολογίστηκαν οί συγκεντρώσεις [10] ραδιενεργού ύλικού X σε διάφορες αποστάσεις από τόν ΑΗΣ για κάθε κατηγορία Stability και ύπολογίστηκε τó μέγεθος $\frac{X\bar{u}}{Q}$ συναρτήσει τής απόστασης x για κάθε Sta-

bility (A ...F) και για καπνοδόχους δύο διαφορετικών διαμέτρων, $d = 2\text{m}$ και $d = 4\text{m}$ καθώς και για δύο διαφορετικές ταχύτητες εξερχόμενου ύλικού, $v_s = 15\text{ m/sec}$ και $v_s = 25\text{ m/sec}$ αντίστοιχα ήτοι:

$$\frac{X\dot{u}}{Q} = f(X, \text{Stab.}, v_s, d) \quad (11)$$

Ύπολογισμός του Ίσοζυγίου Ραδιενεργείας

Έξετάσθηκε ή ραδιενέργεια του λιγνίτου ξηροῦ σὲ σύγκριση με τὸ ἄθροισμα τῶν ραδιενεργειῶν τῶν ἀποβαλλομένων, μετὰ τὴν καύση, τεφρῶν του δηλ. τῆς ἵπταμένης ἢ ξηρᾶς καὶ τῆς ὑγρᾶς τέφρας του, λαμβανομένων ὑπόψη τῶν ποσοστιαίων ἀναλογιῶν τους, γιὰ τὴν ἐπαλήθευση τῆς ἐξισώσεως:

$$P_{\Lambda\Xi} = \text{O.T. \%} (P_{\Gamma\Gamma} \% + P_{\Upsilon\Gamma} \%) \quad (12)$$

ὅπου:

$P_{\Lambda\Xi}$ = ή ραδιενέργεια τοῦ λιγνίτη, ξηροῦ

O.T. % = τὸ ποσοστὸ τῆς ὀλικῆς τέφρας μετὰ τὴν καύση τοῦ λιγνίτη

$P_{\Gamma\Gamma}$ = ή ραδιενέργεια τῆς ἵπταμένης τέφρας

$P_{\Upsilon\Gamma}$ = ή ραδιενέργεια τῆς ὑγρᾶς τέφρας

Ύπολογισμός Δόσεως Ἐκθέσεως

Ἡ δόση ἐκθέσεως στὴν ἐκπεμπομένη γ-ἄκτινοβολία ὑπολογίστηκε ἀπὸ τὸν τύπο τοῦ Lamarche [7]:

$$\dot{X} = D_{\Gamma} = 0.262 X \bar{E}_{\gamma} \text{ r/sec} \quad (13)$$

ὅπου: $\dot{X} = D_{\Gamma}$ = ρυθμὸς δόσης σὲ r/sec

X = ή συγκέντρωση τοῦ ραδιενεργοῦ ἰσοτόπου στὴν ἀπόσταση x σὲ Ci/m^3

\bar{E}_{γ} = μέση Ἐνέργεια τῆς γ-ἄκτινοβολίας τοῦ ραδιοϊσοτόπου σὲ Mev.

Ύπολογισμός Δόσεως Ἀπορροφήσεως

Ἡ ἰσοδύναμη δόση ἀπορροφήσεως, ή ὀφειλομένη στὸ ^{226}Ra καὶ στὰ θυγατρικά του, σὲ δωμάτιο ἀπὸ μπετόν, ὑπολογίστηκε ἀπὸ τὸν τύπο [11]:

$$D_{\text{air}} = 4.11 \times 10^{-13} S_{\text{Ra}} \quad (14)$$

όπου: $D_{\text{air}} = \text{ό ρυθμός δόσεως άπορροφήσεως στόν άέρα, σέ mGy.h}^{-1}$
 $S_{\text{Ra}} = \text{ή έπιφάνεια δίσκου ραδιενεργού πηγής } ^{226}\text{Ra, σέ Bq. cm}^{-2}.$

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

α. 'Η όλική β-ραδιενέργεια του κοινορτου άτμοσφαιρας, όπως φαίνεται από τον Πίνακα 1 και Σχ. 1, παρουσιάζει μείωση τó 1982 έν σχέσει με τά έτη 1980, 1981, τόσο προκειμένου περι δείγμάτων συλλεγέντων από την 'Αθήνα (Ν. Φιλαδέλφεια), όσο και από τις περιοχές τών ΑΗΣ.

Συγκριτικά, όμως, οί τιμές κάθε έτους παρουσιάζουν αύξηση στην περιοχή του ΑΗΣ Μεγαλόπολης, ένω στις περιοχές ΑΗΣ Πτολεμαΐδας και 'Αλιβερίου είναι χαμηλότερες.

Σημειωτέον, ότι τιμές άνω τών 10 mCi/km², όπως έχει παρουσιασθει δύο φορές στην περιοχή Μεγαλόπολης, έχουν παρατηρηθει και σε δείγματα τής περιοχής 'Αθήνας επανειλημμένα στο παρελθόν, και μάλιστα αρκετές φορές τά έτη 1961-1965 σημειώθηκαν τιμές μεγαλύτερες και τών 50 mCi/km² που όφείλοντο σε πυρηνικές δοκιμές.

β. 'Από την ισοτοπική άνάλυση που έγινε στα δείγματα κοινορτου άτμοσφαιρας του έτους 1982, φαίνεται ότι ή ραδιενέργεια τών δειγμάτων αυτών όφείλεται στην παρουσία κυρίως ²²⁶Ra και ⁴⁰K, ένω ή συγκέντρωση του ¹³⁷Cs, και για τις τρεις σημειούμενες στón Πίνακα 2 περιοχές, είναι πολύ μικρότερη. 'Η τιμή τής περιοχής 'Αθήνας (Ν. Φιλαδέλφεια) σημειώνεται στón Πίνακα αυτόν, για σύγκριση.

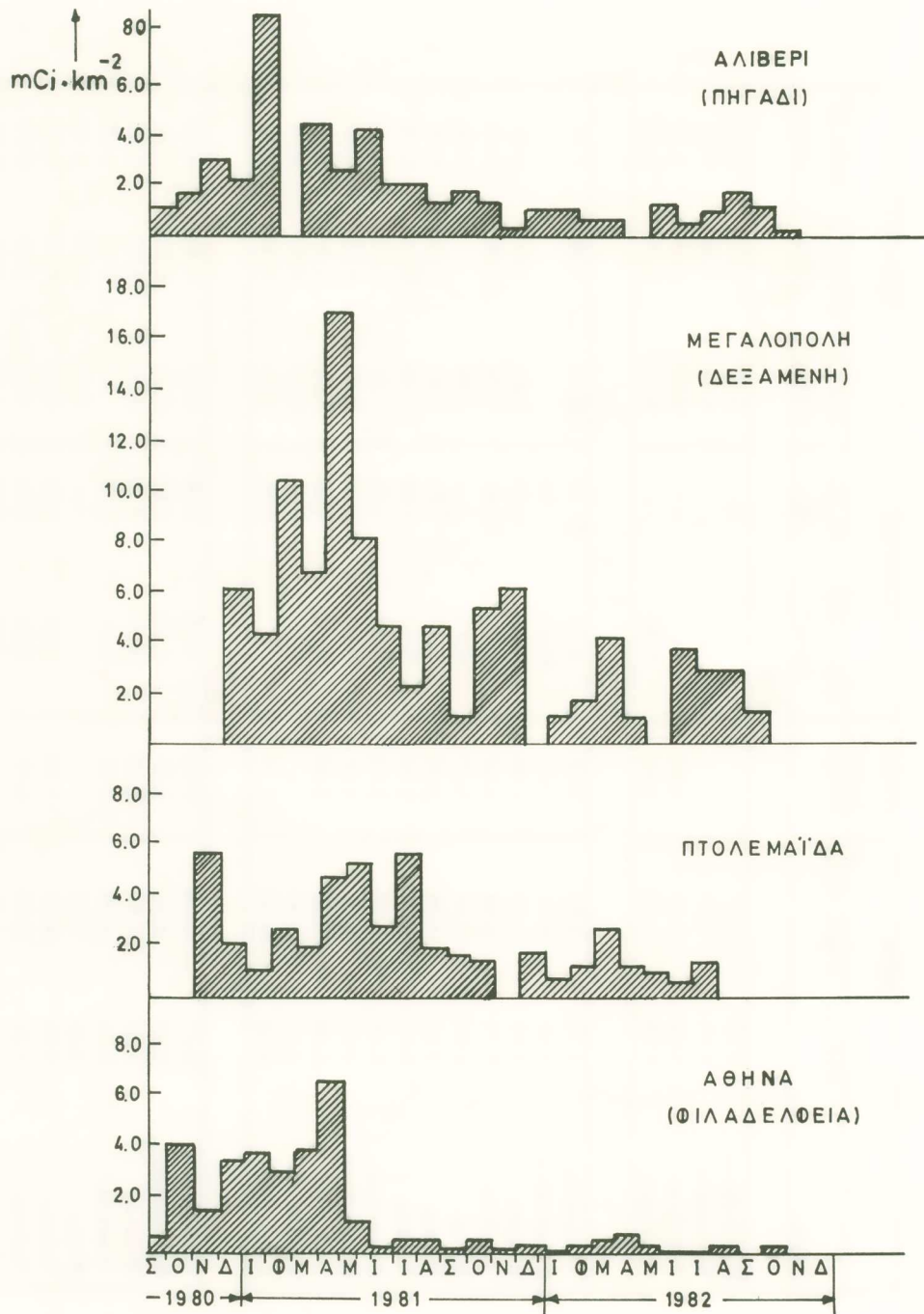
γ. Οί πειραματικές μέσες τριμηνιαίες τιμές συγκεντρώσεως ²²⁶Ra σε δείγματα άέρα συλλεγέντα από τις περιοχές τών ΑΗΣ Πτολεμαΐδας και Μεγαλόπολης αλλά και από την 'Αθήνα, οί όποίες δείχνονται στón Πίνακα 3, είναι μικρότερες τών θεωρητικώς ύπολογιζομένων. Τουτό όφείλεται στο ότι κατά τούς θεωρητικούς ύπολογισμούς δέν έλήφθη ύπόψη ή πραγματική συχνότητα τών πρòς τόν ΣΔΑ πνεόντων άνέμων, ή όποία είναι, περίπου, 25% και όχι 100% όπως έλήφθη στούς θεωρητικούς ύπολογισμούς. "Όπως φαίνεται από τόν Πίνακα αυτόν, οί θεωρητικές και πειραματικές τιμές συγκέντρωσης ²²⁶Ra στón άέρα είναι από 100 μέχρι 10.000 φορές μικρότερες άντιστοιχως τής μέγιστης έπιτρεπτής.

δ. 'Από σύγκριση τών μέσων μηνιαίων τιμών όλικής β-ραδιενέργειας στón άέρα στις περιοχές ΑΗΣ και 'Αθήνας κατά τά έτη 1980, 81, 82, που δίδονται στón Πίνακα 4 (και Σχ. 2), οί τιμές τó 1981 φαίνονται ύψηλότερες αλλά στο αυτό

ΠΙΝΑΚΑΣ 1
ΡΑΔΙΟΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΟΝΙΟΡΤΟΥ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ (Όλιζή β, mCi/Km²)

Μήνες	ΑΘΗΝΑ		ΠΤΟΛΕ-ΜΑΪΔΑ		ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗ		ΑΛΙΒΕΡΙ		
	ΚΠΕ «Δ»	Ν. ΦΙΛ/ΦΕΙΑ	850m*	500m*	ΔΕΞΑΜΕΝΗ 500m*	ΠΛΑΚΑ 3Km	ΠΗΓΑΔΙ 1300m*	ΦΥΛΑΚΙΟ 900m	ΓΗΠΕΔΟ 500m
1980									
Σεπτέμβριος	0.13	0.17	—	—	—	—	1.10	1.61	0.59
Όκτώβριος	4.11	4.30	—	—	—	—	1.64	3.26	7.85
Νοέμβριος	1.63	1.42	5.60	—	—	—	3.05	2.59	5.76
Δεκέμβριος	7.82	3.56	2.04	5.90	—	—	2.17	2.61	2.44
1981									
Ίανουάριος	4.38	3.82	1.04	4.11	23.79	—	8.55	7.08	7.51
Φεβρουάριος	3.45	2.95	2.65	10.23	7.98	—	—	—	—
Μάρτιος	3.92	4.10	1.80	6.68	4.38	—	4.32	3.07	2.54
Άπρίλιος	7.71	6.66	4.64	17.00	15.80	—	2.54	13.60	4.02
Μάιος	1.60	1.31	5.27	8.05	—	—	3.91	—	1.35
Ίούνιος	0.35	0.39	2.76	4.60	1.03	—	2.02	3.53	2.92
Ίούλιος	0.45	0.54	5.71	2.23	3.68	—	1.93	2.41	1.16
Αύγουστος	0.46	0.46	2.10	4.53	1.25	—	1.40	4.04	0.50
Σεπτέμβριος	0.13	0.17	1.71	0.97	1.25	—	1.75	1.42	0.88
Όκτώβριος	0.39	0.47	1.46	5.37	1.04	—	1.25	1.20	0.80
Νοέμβριος	0.17	0.19	—	6.08	3.01	—	0.27	0.32	0.36
Δεκέμβριος	0.56	0.40	1.77	—	3.02	—	0.91	0.50	1.44
1982									
Ίανουάριος	0.17	0.14	0.83	1.25	0.86	—	0.95	0.78	0.48
Φεβρουάριος	0.40	0.43	1.38	1.68	1.62	—	0.75	0.86	0.84
Μάρτιος	0.62	0.62	2.89	4.35	1.16	—	0.63	0.82	0.74
Άπρίλιος	0.74	0.78	1.33	1.11	2.38	—	—	1.18	1.59
Μάιος	0.45	0.42	—	—	—	—	1.30	0.49	0.36
Ίούνιος	0.14	0.17	1.06	3.86	1.95	—	0.56	0.36	0.23
Ίούλιος	0.21	0.19	0.81	2.94	1.25	—	0.91	2.63	0.75
Αύγουστος	0.12	0.26	1.44	2.98	1.26	—	1.82	0.60	0.74
Σεπτέμβριος	0.11	0.17	—	1.28	1.13	—	1.27	0.71	—

* Θέση ΣΔΑ και ΣΔΚ.



Σχ. 1. Ραδιενέργεια κοινορτού ατμόσφαιρας
(Μέσες μηνιαίες τιμές όλικής β)

ΠΙΝΑΚΑΣ 2

ΟΛΙΚΗ β, ^{226}Ra , ^{137}Cs , ΚΑΙ ^{40}K ΣΕ ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΚΟΝΙΟΡΤΟΥ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ
(mCi/Km^2)

Περιοχή	Μήνας έτος	όλική β	^{226}Ra	^{137}Cs	^{40}K
ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗ (Δεξαμενή)	3/82	4.35	1.32	0.03	2.19
ΑΘΗΝΑ (Ν. ΦΙΛ/ΦΕΙΑ)	3/82	0.62	0.05	0.009	0.23
ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ	4/82	1.33	0.52	0.002	1.43
ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗ (Δεξαμενή)	4/82	1.11	0.46	0.005	0.90
ΑΘΗΝΑ (Ν. ΦΙΛ/ΦΕΙΑ)	4/82	0.78	0.19	0.006	0.39
ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ	5/82	1.86	1.15	0.02	1.43

επίπεδο, για όλες τις περιοχές, εν σχέσει με το 1982. Η σημειούμενη αύξηση οφείλεται στο παγκόσμιο «fall out», και μόνο.

- ε. Οι τιμές συγκέντρωσης του ^{226}Ra σε δείγματα λιγνίτη συλλεγόμενα από τις περιοχές Πτολεμαΐδας, Μεγαλόπολης, Άλιβερίου από το 1979 μέχρι 1982 ποικίλλουν, όπως φαίνεται από τον Πίνακα 5, τόσο από περιοχή σε περιοχή όσο και προκειμένου για δείγματα της ίδιας περιοχής, αλλά συλλεγόμενα σε διαφορετικό χρόνο. Η συγκέντρωση του ^{226}Ra παρουσιάζεται αυξημένη στις τέσσερις εν σχέσει με τους λιγνίτες, μέχρι 8 φορές. Έξαιρέση παρουσιάζεται στην περίπτωση της Πτολεμαΐδας Ιουλίου 1979, όπου η διαφορά είναι πολύ μεγαλύτερη. Τοῦτο, προφανώς, οφείλεται στο ότι στον πρὸς καύση λιγνίτη προστέθηκε και ποσοστό λιγνίτου προερχομένου από τὰ πέριξ τῆς Πτολεμαΐδας ὄρυχεῖα (π.χ. Ἀχλάδας), ὁ ὁποῖος φαίνεται ὅτι περιέχει μεγαλύτερη ποσότητα ^{226}Ra .
- στ. Ἀπὸ τὸν Πίνακα 6 φαίνεται ὅτι ἡ ραδιενέργεια τοῦ εἰσερχομένου στὸν ΑΗΣ λιγνίτη γιὰ καύση εἶναι στατιστικῶς ἴση μετὰ τὸ ἄθροισμα τῶν ραδιενεργειῶν τῶν ἀποβαλλομένων τεφρῶν του (ἰπταμένης καὶ ὑγρᾶς), ἐφόσον ἡ διαφορά εἶναι μικρότερη ἀπὸ τὸ σφάλμα ὑπολογισμοῦ τους ($1 \leq 5\%$). Ἐπομένως τὸ ποσοστὸν

ΠΙΝΑΚΑΣ 3

ΜΕΣΕΣ ΤΡΙΜΗΝΙΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΣ ^{226}Ra ΣΤΟΝ ΑΕΡΑ ($\mu\text{Ci}/\text{M}^3$)

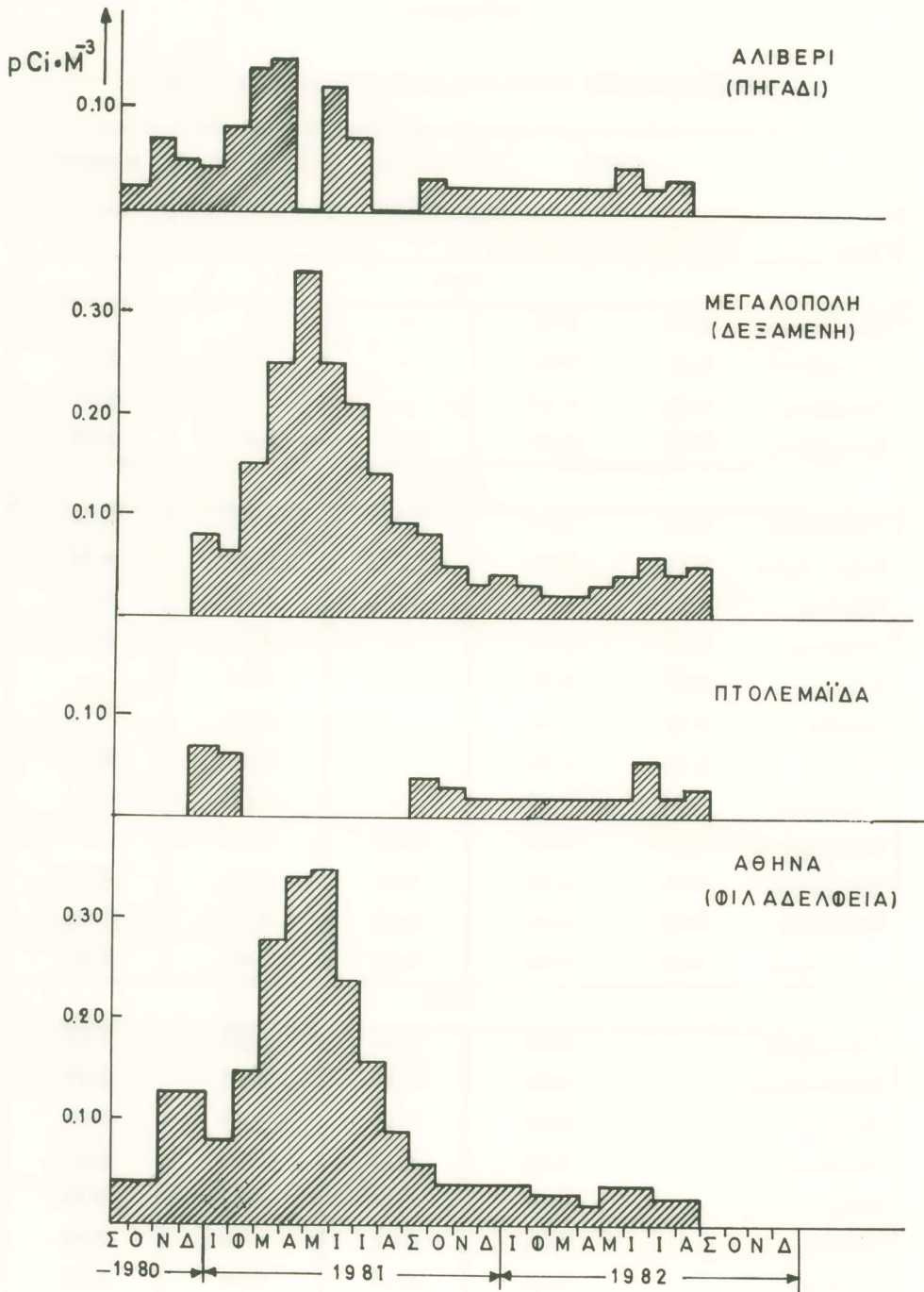
Μήνες/Έτος	ΠΤΟΛΕΜΑΙΔΑ		ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗ		ΑΘΗΝΑ (Ν. ΦΙΛ./ΦΕΙΑ)	
	Πειραματική	θεωρητική*	Πειραματική	θεωρητική	Πειραματική	θεωρητική
1, 2, 3/82	0.0026	0.02	0.0008	0.084	0.0008	—
4, 5, 6/82	0.0018	0.02	0.0032	0.084	0.0054	(δεν υπάρχει ΑΗΣ)
7, 8, 9/82	0.0008	0.02	n.d.		n.d.	
Μεγίστη επιτρεπτή συγκέντρωση ^{226}Ra στον αέρα σε συνεχή έκθεση: $10 \mu\text{Ci}/\text{M}^3$						

* Θεωρητικά υπολογισθείσα σε 800 μέτρα από τον ΑΗΣ, συχνότητα ανέμου 100% προς το δειγματολόγητη, Stability B, $u=3\text{m}/\text{sec}$, $h=110\text{m}$, $v_s=15\text{m}/\text{sec}$, $d=2\text{m}$.
n.d.: μη ανιχνεύσιμο

ΠΙΝΑΚΑΣ 4

ΜΕΣΕΣ ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ β-ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΕΡΑ (pCi/M³)

	ΑΘΗΝΑ		ΠΤΟΛΕ- ΜΑΪΔΑ	ΜΕΓΑΛΟ- ΠΟΛΗ	ΑΛΙΒΕΡΙ
Μήνας	ΚΠΕ «Δ»	Ν. ΦΙΛ/ΦΕΙΑ			
1980					
Σεπτέμβριος	0.04	0.04	—	—	—
Όκτώβριος	0.05	0.04	—	—	0.02
Νοέμβριος	0.18	0.13	—	—	0.07
Δεκέμβριος	0.13	0.13	0.07	0.08	0.05
1981					
Ίανουάριος	0.07	0.08	0.06	0.06	0.04
Φεβρουάριος	0.15	0.15	—	0.15	0.08
Μάρτιος	0.29	0.28	—	0.25	0.14
Άπρίλιος	0.48	0.34	—	0.34	0.15
Μάιος	0.33	0.35	—	0.25	—
Ίούνιος	0.28	0.24	—	0.21	0.12
Ίούλιος	0.16	0.16	—	0.14	0.07
Αύγουστος	0.09	0.09	—	0.09	—
Σεπτέμβριος	0.06	0.06	0.04	0.08	—
Όκτώβριος	0.05	0.04	0.03	0.05	0.03
Νοέμβριος	0.02	0.04	0.02	0.03	0.02
Δεκέμβριος	0.03	0.04	0.02	0.04	0.02
1982					
Ίανουάριος		0.04	0.02	0.03	0.02
Φεβρουάριος		0.03	0.02	0.02	0.02
Μάρτιος		0.03	0.02	0.02	0.02
Άπρίλιος		0.02	0.02	0.03	0.02
Μάιος		0.04	0.02	0.04	0.02
Ίούνιος		0.04	0.06	0.06	0.04
Ίούλιος		0.03	0.02	0.04	0.02
Αύγουστος		0.03	0.03	0.05	0.03



Σχ. 2. Ραδιενέργεια αέρα
(Μέσες μηνιαίες τιμές ολικής β)

ΠΙΝΑΚΑΣ 5

 ^{226}Ra ΣΕ ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΛΙΓΝΙΤΩΝ ΚΑΙ ΣΤΙΣ ΤΕΦΡΕΣ ΤΟΥΣ (pCi/g)

Περιοχή	Ήμερ. συλ.	Λιγνίτες		Ξ. Τέφρες		Υγρές Τέφρες	
		όλική β	^{226}Ra	όλική β	^{226}Ra	όλική β	^{226}Ra
ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ	10.7.79	19.50±1.05	0.33	73.26	10.58	—	—
ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗ	23.4.80	39.66	3.96	138.16	24.75	85.58	21.42
ΑΛΙΒΕΡΙ	26.6.80	21.56	1.07	46.39	5.38	57.27	6.68
ΑΛΙΒΕΡΙ	4.9.80	15.17±1.09	3.83	34.73±1.29	18.40	35.42±1.18	13.81
ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗ	7.12.80	109.42	10.95	215.17	49.43	33.66	57.99
ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ	11.11.82	9.16	2.08	45.23	15.89	41.69	15.23
ΚΑΡΔΙΑ	11.11.82	22.53	4.76	67.61	26.63	39.32	13.99

 $\sigma \approx 5\%$ για όλες τις περιπτώσεις

ΠΙΝΑΚΑΣ 6

ΙΣΟΖΥΓΙΑ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
(για κάθε 'Ατμοηλεκτρικό Σταθμό)

Γενική Έξίσωση:

$$\begin{aligned} \text{Ραδιενέργεια Λιγνίτου (ξηροῦ)} &= \\ &= \text{Ραδιενέργεια Ἰπταμένης Τέφρας \%} + \text{Ραδιενέργεια Ὑγρᾶς Τέφρας \%}. \end{aligned}$$

1. ΑΗΣ ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ

Ἡμ/νία δειγματοληψίας: 11.11.82

Ποσοστὸ ὀλικῆς τέφρας: 13%

Ποσοστὸ ἰπταμένης τέφρας: 90%

$$2.8 \text{ pCi/g} \approx 0.13 (15.89 \times 0.90 + 15.23 (1-0.90)) = 2.06 \text{ pCi/g}$$

$$\text{ἄρα: } 2.08 \pm 5\% = 2.06 \pm 5\%$$

2. ΑΗΣ ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΕΩΣ

Ἡμ/νία δειγματοληψίας: 23.4.80

Ποσοστὸ ὀλικῆς τέφρας: 16.7%

Ποσοστὸ ἰπταμένης τέφρας: 90%

$$3.96 \text{ pCi/g} \approx 0.167 (24.75 \times 0.90 + 21.42 (1-0.90)) = 4.08 \text{ pCi/g}$$

$$\text{ἄρα: } 3.96 \pm 5\% = 4.08 \pm 5\%$$

3. ΑΗΣ ΑΛΙΒΕΡΙΟΥ

Ἡμ/νία δειγματοληψίας: 26.6.80

Ποσοστὸ ὀλικῆς τέφρας: 18%

Ποσοστὸ ἰπταμένης τέφρας: 90%

$$1.07 \text{ pCi/g} \approx 0.18 (5.83 \times 0.90 + 6.68 (1-0.90)) = 0.99 \text{ pCi/g}$$

$$\text{ἄρα: } 1.07 \pm 5\% = 0.99 \pm 5\%$$

Σημείωση: Οἱ τιμὲς ραδιενεργείας τῶν λιγνιτῶν καὶ τῶν τεφρῶν τους ἐλήφθησαν ἀπὸ τὸν Πίνακα 5.

ΠΙΝΑΚΑΣ 7

ΔΙΑΦΕΥΓΟΥΣΑ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ^{226}Ra ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ
ΑΝΑ ΕΤΟΣ ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΑΗΣ*.

Περιοχή	Χαρακτηρισμός	Q (Ci/έτος)
ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ	ΔΡΙ 7/79	0.32
ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗ	ΔΡΙΙ 4/80	1.15
ΑΛΙΒΕΡΙ	ΔΡΙΙΙ 6/80	0.015
ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ	ΔΡΙ ₂ 11/82	0.48
ΚΑΡΔΙΑ	ΔΡΙV 11/82	0.86

* Απόσταση από ΑΗΣ = 0m.

της διαφεύγουσας στο περιβάλλον ραδιενέργειας (^{226}Ra) με την ιπτάμενη τέφρα κατά τη λειτουργία κάθε ενός από τους εξεταζόμενους 'Ατμοηλεκτρικούς Σταθμούς, είναι μικρότερο του 5%.

- ζ. Στόν Πίνακα 7 δίδεται ή ετήσια ποσότητα ^{226}Ra που διαφεύγει στο περιβάλλον λόγω της λειτουργίας των ΑΗΣ. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι τιμές αυτές δίδουν τη συγκέντρωση ραδιενέργειας σε απόσταση μηδενική από την καμινάδα του ΑΗΣ, δηλ. πριν επέλθει οποιαδήποτε αραίωση λόγω της διάχυσης της στην ατμόσφαιρα, και επομένως οι τιμές αυτές δεν μπορούν να θεωρηθούν ως τιμές ραδιενέργειας της ατμόσφαιρας για τον πληθυσμό των περιοχών αυτών.
- η. Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 8, οι τιμές ραδιενέργειας όλιγής β σε δείγματα εδάφους, θάλασσας και ποταμών στις περιοχές ΑΗΣ είναι στα αυτά επίπεδα με αντίστοιχες τιμές άλλων περιοχών της 'Ελλάδας.
- θ. Από τον Πίνακα 9 και το Σχ. 3 φαίνεται ότι ή απόσταση της μεγαλύτερης συγκέντρωσης (x_{max}) αυξάνεται για κατηγορίες Stability που μεταβάλλονται από την Α προς F διαδοχικά, δηλαδή από μη σταθερή καιρική κατάσταση προς σταθερότερη. Οι ύπολογισμοί έγιναν για δύο διαφορετικών διαμέτρων καπνοδόχου (2m και 4m) και δύο διαφορετικές ταχύτητες εξόδου αερίων (15 m/sec και 25 m/sec.).

Για την καπνοδόχο μεγαλύτερης διαμέτρου και για μεγαλύτερη ταχύτητα εξερχόμενων αερίων, ή μέγιστη συγκέντρωση, για κάθε Stability, εμφανίζεται

ΠΙΝΑΚΑΣ 8

ΟΛΙΚΗ β-ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΕΔΑΦΟΥΣ, ΘΑΛΑΣΣΑΣ, ΠΟΤΑΜΩΝ.

Δείγμα	Περιοχή	Μήνας	Ραδιενέργεια	Μονάδες
		Έτος		
έδαφος	Λαύριο	9/78	34.24	pCi/g
»	»	7/80	40.28	»
»	΄Αγ. Παρασκευή ΄Αττικής	9/79	16.50	»
»	»	4/80	15.62	»
»	Πτολεμαίδα (΄Αγία Σκέπη)	6/79	25.86	»
λάσπη	Πτολεμαίδα (΄Αγία Σκέπη)	»	25.51	»
έδαφος	΄Αλιβέρι (ΣΔΑ, ΣΔΚ)	9/80	39.85	»
»	(σιλό)	6/80	82.74	»
θάλασσα	΄Αλιβέρι (ΑΗΣ)	9/80	1.84	pCi/l
»	(έκτός ΑΗΣ)	»	2.00	»
»	Κάραβος	»	2.22	»
»	Λαύριο	»	2.20	»
»	Καβάλα	»	2.10	»
ποταμός	΄Αξιός	12/80	3.65	pCi/l
»	Νέστος	»	10.33	»
»	΄Αλφειός	»	2.60	»
»	Λάδωνας πρό	»	4.88	»
»	» μετά	»	5.55	»
λύματα	» σημείο λ	»	50.60	»

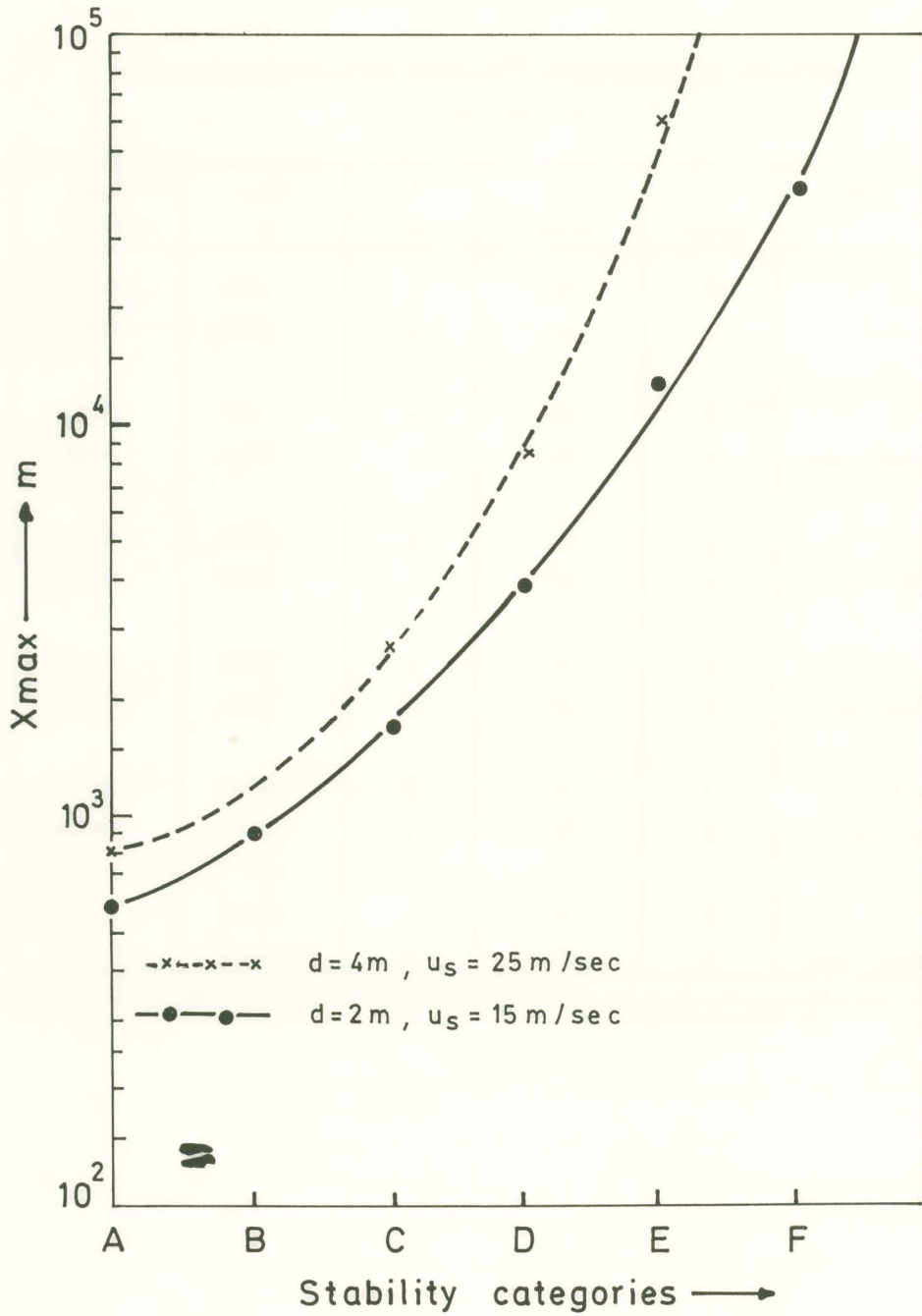
ΠΙΝΑΚΑΣ 9

ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ^{226}Ra ΣΤΟΝ ΑΕΡΑ ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ 7/79

$$Q = 1.52 \times 10^{-8} \text{ Ci/sec}$$

Stab.	u m/sec	v _s m/sec	d m	x _{max} m	X _{max} pCi/M ³
A (unst)	2	15	2	580	0.050
	2	25	4	800	0.020
B (mod. unst)	3	15	2	920	0.034
	3	25	4	1700	0.009
C (Sl. unst)	4	15	2	1700	0.019
	4	25	4	2800	0.005
D (neutral)	6	15	2	3900	0.009
	6	25	4	8500	0.002
E (sl. stab)	2	15	2	13000	0.008
	2	25	4	68000	0.0006
F (mod. stab)	2	15	2	42000	0.003
	2	25	4	>100000	<0.0005

Μεγίστη έπιτρεπτή συγκέντρωση ^{226}Ra στον άέρα, για συνεχή έκθεση: 10 pCi/M³

Σχ. 3 $X_{max} = f(\text{Stab. Heff})$

ΠΙΝΑΚΑΣ 10

ΡΥΘΜΟΣ ΔΟΣΗΣ γ -ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΟΦΕΙΛΟΜΕΝΗΣ ΣΤΟ ^{226}Ra
ΚΑΙ ΣΤΑ ΘΥΓΑΤΡΙΚΑ ΤΟΥ ΣΤΗ ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ

Χαρακτηριστικό Σταθμοῦ	ΑΗΣ	^{226}Ra r/sec	^{226}Ra r/ἔτος
I	Πτολεμαΐδα	1.36×10^{-14}	0.43×10^{-6}
II	Μεγαλόπολη	4.93×10^{-14}	1.55×10^{-6}
III	Ἀλιβέρι	0.068×10^{-14}	0.02×10^{-6}

Μέγιστη ἐπιτρεπτή δόση ραδιενέργειας (ὀλικῆς), σὲ περίπτωση ἐξωτερικῆς ἐκθε-
σης: 0.5 r/ἔτος (γιὰ γενικὸ πληθυσμὸ) [11]

σὲ μεγαλύτερη ἀπόσταση σὲ σχέση μετὰ καπνοδόχο μικρότερης διαμέτρου.

Ὅπως φαίνεται ἀπὸ τὸν Πίνακα αὐτόν, οἱ μέγιστες συγκεντρώσεις ^{226}Ra στὸν ἀέρα, γιὰ διάφορες μετεωρολογικὲς συνθῆκες, βρέθηκαν μικρότερες τῆς ἀντίστοιχης μέγιστης ἐπιτρεπτῆς συγκέντρωσης τοῦ στοιχείου αὐτοῦ, ἀπὸ 200 μέχρι 3000 φορές γιὰ τὴν περίπτωση καπνοδόχου διαμέτρου 2 m, καὶ ἀπὸ 500 μέχρι καὶ ἄνω τῶν 20.000 φορές γιὰ καπνοδόχο διαμέτρου 4 m.

- ι. Στὸν Πίνακα 10 δίδεται ὁ ρυθμὸς τῆς μέγιστης δόσης ραδιενέργειας ἀνά ἔτος, ποὺ ὀφείλεται στὸ ^{226}Ra , στὴ θέση τῆς μέγιστης συγκέντρωσης γιὰ κάθε ΑΗΣ [7, 12]. Ὁ ὑπολογισμὸς ἔγινε γιὰ Stability B, ταχύτητα ἀνέμου 3 m/sec, ἐνεργὸ ὕψος καπνοδόχου 140 m, ἐσωτερικὴ διάμετρο καπνοδόχου 2 m.
- ια. Στὸν Πίνακα 11 δίδεται ἡ ἰσοδύναμη δόση ἀπορροφήσεως ποὺ λαμβάνει ὁ ἄνθρωπος ἀπὸ τὴ συγκέντρωση ^{226}Ra καὶ τῶν θυγατρικῶν του σὲ δείγματα ραδιενεργοῦ ἐπιπτώσεως, ποὺ συλλέχθηκαν στὶς ἀποστάσεις τῶν μεγίστων συγκεντρώσεων ραδιενεργοῦ ὑλικοῦ ἀπὸ τοὺς ΑΗΣ γιὰ τὶς συνθῆκες ποὺ ἀναφέρονται στὴν ἀμέσως προηγούμενη παράγραφο (ι). Οἱ τιμὲς ποὺ ἀντιστοιχοῦν στὴν Ν. Φιλαδέλφεια (Ἀθήνα) δίδονται γιὰ λόγους συγκρίσεως, ὅπως προαναφέρθηκε, ἐφόσον στὴν Ἀθήνα, ὅπως εἶναι γνωστὸ, δὲν ἔχει ἐγκατασταθεῖ ΑΗΣ.

Γιὰ τοὺς ὑπολογισμοὺς τῶν σημειούμενων δόσεων χρησιμοποιήθηκαν οἱ ἀρμόζοντες συντελεστὲς μετατροπῆς ποὺ ἐλήφθησαν ἀπὸ τὴ Βιβλιογραφία [13].

Ὅπως φαίνεται ἀπὸ τὸν παραπάνω Πίνακα, οἱ λαμβανόμενες δόσεις εἶναι

ΠΙΝΑΚΑΣ 11

ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΔΟΣΗ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΕΩΣ ΟΦΕΙΛΟΜΕΝΗ ΣΤΟ ^{226}Ra
 ΚΑΙ ΣΤΑ ΘΥΓΑΤΡΙΚΑ ΤΟΥ ΣΕ ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΟΥ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΣ ΣΤΙΣ
 ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΤΩΝ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΑΗΣ

Περιοχή	Μήνας/Έτος	^{226}Ra Bq/cm ² (mCi/Km ²)	D _{abs., tis.} μSv/y (mrem/y)
Μεγαλόπολη	3/82	49.00 (1.32)	101.90 (10.19)
N. Φιλαδέλφεια (Αθήνα)	3/82	1.80 (0.05)	3.70 (0.37)
Πτολεμαίδα	4/82	19.00 (0.52)	39.50 (3.90)
Μεγαλόπολη	4/82	17.00 (0.46)	35.40 (3.50)
N. Φιλαδέλφεια (Αθήνα)	4/82	7.00 (0.19)	14.60 (1.46)
Πτολεμαίδα	5/82	42.00 (1.15)	87.40 (8.74)
<p>Όρια Ασφαλείας: 8000 μSv/y - 40 000 μSv/y (800 mrem/y - 4000 mrem/y)</p>			

χαμηλότερες τῶν ὁρίων ἀσφαλείας [14], καὶ μάλιστα κατὰ 80-200 φορές τῆς κατώτερης καὶ κατὰ 800-2000 φορές τῆς ἀνώτερης τιμῆς αὐτῶν.

- ιβ. Ἀπὸ τὸν Πίνακα 12 φαίνεται ὅτι ἡ ὀλικὴ β-ραδιενέργεια στὰ τσιμέντα εἶναι τῆς αὐτῆς τάξεως μεγέθους μὲ τὴ ραδιενέργεια ἐδάφους περιοχῆς Ἀττικῆς (Λαύριο, Ἀγία Παρασκευή) [10].

Ἡ συγκέντρωση τοῦ ^{40}K εἶναι χαμηλότερη στὰ τσιμέντα ἀπὸ αὐτὴν στὸ ἔδαφος Λαυρίου καὶ περίπου ἴση μὲ ἐκείνη τοῦ ἐδάφους Ἀγίας Παρασκευῆς (ἐκτὸς ΚΠΕΔ), ἐνῶ ἡ συγκέντρωση τοῦ ^{226}Ra εἶναι, σαφῶς, ἀξυμμένη στὰ τσιμέντα.

- ιγ. Ἀπὸ τὸ Σχ. 4 φαίνεται ὅτι τὸ μέγεθος $\frac{X\bar{u}}{Q}$ (σὲ m^{-2}) μεταφέρεται κατὰ μῆκος τοῦ x καθὼς οἱ κατηγορίες Stability μεταβάλλονται ἀπὸ A πρὸς F, ἡ δὲ ἔκταση ἐξαπλώσεως τοῦ ραδιενεργοῦ ὑλικοῦ εἶναι μικρότερη στὰ σημεῖα τῆς μεγαλύτερης συγκέντρωσης.

Ἦτοι, μὲ μεταβολὴ τῆς stability ἀπὸ A πρὸς F τὸ εὖρος διασκορπίσεως τοῦ ραδιενεργοῦ ὑλικοῦ ἀξάνεται, ἐνῶ ἡ συγκέντρωση ἐλαττώνεται.

Ἐπίσης, ἀπὸ τὸ σχῆμα αὐτὸ φαίνεται ὅτι στὴν περίπτωση τῆς μεγαλύτερης διαμέτρου καπνοδόχου καὶ γιὰ μεγαλύτερη ταχύτητα ἐξερχομένων ἀερίων οἱ τιμὲς τοῦ $\frac{X\bar{u}}{Q}$ γιὰ κάθε stability παρουσιάζονται ἐλαττωμένες καὶ μετατοπισμένες πρὸς τὴ φορά τῆς ἀπόστασης, x , ἀπὸ τὸν ἀντίστοιχο ΑΗΣ.

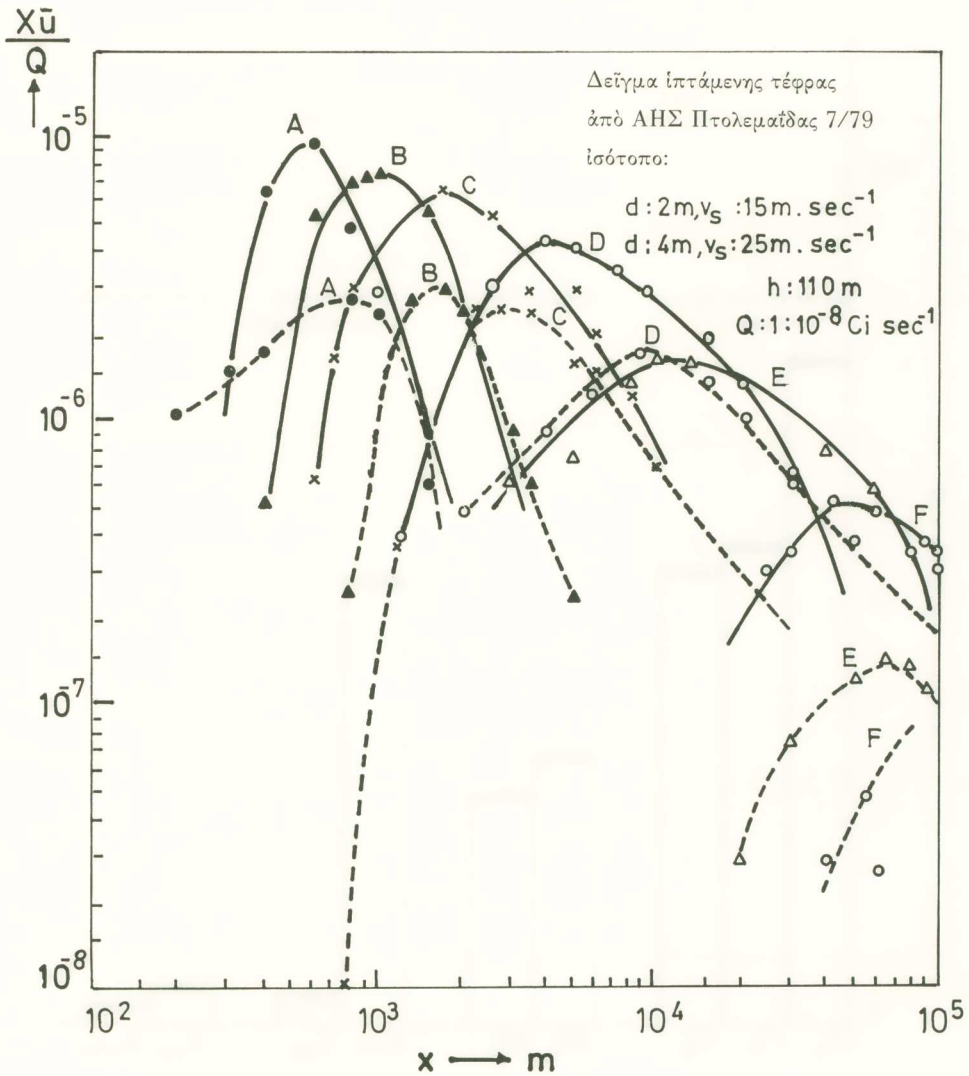
- ιδ. Ἐξετάσθηκε ἡ ὀλικὴ β ραδιενέργεια καθὼς καὶ ἡ συγκέντρωση τοῦ ^{226}Ra σὲ διάφορα ὑλικά πού χρησιμοποιοῦνται ὡς «προσθετικά» ὑλικά στὰ τσιμέντα γιὰ τὴ βελτίωση τῶν ιδιοτήτων τους, ὅπως στὴν ἰπτάμενη (ἢ ξηρὰ λιγνιτικὴ) τέφρα, στὴ θηραϊκὴ γῆ, στὴ σκωρία τῶν ὑψικαμίνων χαλυβουργείων καθὼς καὶ σὲ δείγματα ἄνθρακα. Τὰ ἀποτελέσματα τῶν μετρήσεων, πού δίδονται στὸν Πίνακα 13 καὶ στὸ Σχῆμα 5, δείχνουν ὅτι σὲ ὅλα τὰ ὑλικά αὐτὰ ἡ συγκέντρωση τῆς ραδιενεργείας, καὶ μάλιστα τοῦ ^{226}Ra , παρουσιάζεται ἀξυμμένη ἀπὸ 5 μέχρι 100 φορές σὲ σχέση μὲ δείγματα ἐδάφους (βλ. Πίνακα 12). Τὴν μεγαλύτερη συγκέντρωση ^{226}Ra , μεταξὺ τῶν δειγμάτων αὐτῶν, παρουσιάζουν τὰ δείγματα ἰπτάμενης τέφρας καὶ ἀπὸ αὐτὰ ἐκεῖνα πού προέρχονται ἀπὸ τὸν ΑΗΣ Μεγαλοπόλεως. Ἐπίσης σὲ δείγμα σκωρίας ὑψικαμίνων Ἑλλάδος παρουσιάζεται, συγκριτικά, ὑψηλὴ τιμὴ καὶ ἀκολουθεῖ, μὲ χαμηλότερη τιμὴ, τὸ δείγμα ξηρᾶς καὶ ὑγρᾶς θηραϊκῆς γῆς. Τῶν ἄλλων δειγμάτων οἱ τιμὲς εἶναι ἀρκετὰ χαμηλότερες.

- ιε. Στὸν Πίνακα 14 δίδονται τὰ ἀποτελέσματα τῶν μετρήσεων ὀλικῆς β, ^{226}Ra

ΠΙΝΑΚΑΣ 12

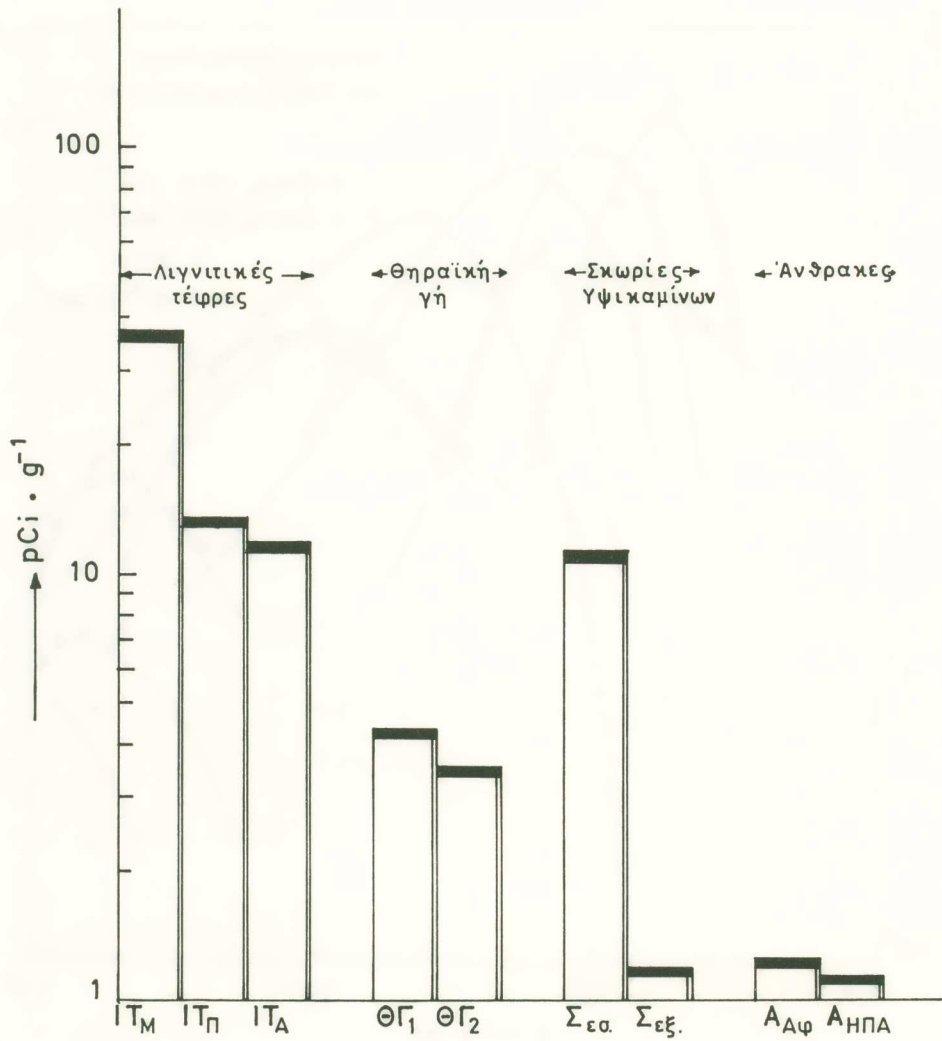
ΟΛΙΚΗ β, ^{40}K , ^{226}Ra ΣΕ ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ ΚΑΙ ΕΔΑΦΟΥΣ

Δείγμα	Χαρακ/ σμός	Όλική β pCi/g	^{226}Ra pCi/g	^{40}K pCi/g
Τσιμέντο ΗΡΑΚΛΗΣ λευκό	H1*	9.63	0.83	6.84
» ΧΑΛΚΙΔΑΣ	X1	20.66	5.23	5.84
» ΤΙΤΑΝ	T1	25.04	5.02	7.74
» ΗΡΑΚΛΗΣ	H2	12.67	1.58	6.38
» ΧΑΛΚΙΔΑΣ	X2	21.03	4.94	6.39
Τσιμέντο ΤΙΤΑΝ	T2	30.06	7.69	8.84
» ΤΙΤΑΝ	T3*	17.56	5.69	7.33
» ΤΙΤΑΝ	T5	30.46	9.35	8.50
» ΤΙΤΑΝ	T6	35.77	11.56	9.96
» ΤΙΤΑΝ	T7	19.45	4.46	7.67
» ΗΡΑΚΛΗΣ	H4	38.86	12.95	8.70
» ΤΙΤΑΝ	T8*	16.38	2.70	9.26
» ΤΙΤΑΝ	T9	24.65	7.14	10.79
Έδαφος Λαυρίου	2/80	33.76	0.28	19.45
»	3/80	35.29	0.65	14.28
»	4/80	35.81	0.74	13.28
»	7/80	40.28	0.44	13.00
Έδαφ. 'Αγ. Παρασκευής 'Αττικής	2/80	24.51	0.40	5.82
('Εκτός ΚΠΕΔ)	4/80	15.62	0.70	8.36
»				
* 'Υπάρχουν πληροφορίες ότι δέν έχει προστεθεί λιγνιτική τέφρα.				



Σχ. 4

$$\frac{\bar{X}u}{Q} = f(x)$$



Σχ. 5. Μέσες τιμές Ραδίου -226 σε «προσθετικά» υλικά τσιμέντων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 13

ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑ «ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΩΝ» ΥΛΙΚΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΩΝ ΣΤΑ ΤΣΙΜΕΝΤΑ
(pCi/g)

Χαρακτ.	Δείγμα	ολική β	^{226}Ra
ΙΤΜ	Ίπτάμενη Τέφρα Μεγαλοπόλεως	138.16-215.17	24.75-49.43
ΙΤΠ	» » Πτολεμαΐδας	45.23- 73.26	10.58-15.89
ΙΤΑ	» » Άλιβερίου	34.73- 46.39	5.38-18.40
ΘΓ ₁	Θηραϊκή γῆ (ύγρὰ)	32.74	4.13
ΘΓ ₂	Θηραϊκή γῆ (ξηρὰ)	28.49	≈3.50
Σ _{εσ}	Σκωρία ύψικαμίνων Έλλάδος	27.24	11.23
Σ _{εξ}	Σκωρία ύψικαμίνων έξωτερικοῦ	10.00	1.82
Α _{Αφ}	Άνθραξ Άφρικῆς	8.27	2.22
Α _{ΗΠΑ}	Άνθραξ Άμερικῆς	5.80	1.12
1σ≈±10%			

καὶ ^{40}K σὲ δείγματα τσιμέντων ποὺ περιέχουν ἰπτάμενη τέφρα καὶ ἄλλα προσθετικά ὑλικά, ἐπίσης σὲ δείγματα ποὺ περιέχουν προσθετικά ὑλικά ἀλλὰ ὄχι ἰπτάμενη τέφρα καθὼς καὶ σὲ δείγματα ποὺ δὲν περιέχουν οὔτε ἰπτάμενη τέφρα οὔτε ἄλλα προσθετικά ὑλικά. Ὅπως φαίνεται ἀπὸ τὰ ἀποτελέσματα αὐτά, καὶ κυρίως τοῦ ^{226}Ra , στὰ τσιμέντα στὰ ὁποῖα δὲν ἔχει γίνει χρῆση οὔτε ἰπτάμενης τέφρας οὔτε ἄλλων προσθετικῶν ὑλικῶν (καὶ κυρίως στὰ λευκά τσιμέντα), ἡ συγκέντρωση τοῦ ^{226}Ra ἔχει τὴν χαμηλότερη τιμὴ, σὲ μερικὰ μάλιστα ἡ τιμὴ αὐτὴ εἶναι μικρότερη τῆς μονάδας, ἐνῶ σὲ ἐκεῖνα ποὺ ἔχει γίνει χρῆση ἰπτάμενης τέφρας καὶ ἄλλων προσθετικῶν ὑλικῶν ἡ συγκέντρωση τοῦ ἰσοτόπου αὐτοῦ ἀνέρχεται ἀρκετὰ ὑψηλά, μέχρι καὶ 15 φορές, ἀνάλογα μὲ τὰ ποσοστὰ προσθήκης τῶν ὑλικῶν αὐτῶν.

ιστ. Ἐπιχειρήθηκε ὁ ὑπολογισμὸς τῶν ἰσοδυνάμων ἐτησίων δόσεων ἀπορροφήσεως ἀπὸ τὸν ἄνθρωπο λόγω τῶν συγκεντρώσεων ^{226}Ra σὲ τσιμέντα τοῦ μπετόν καὶ δίδονται ἐνδεικτικὰ ἀποτελέσματα στὸν Πίνακα 15. Τὰ ἀποτελέσματα τοῦ Πίνακα αὐτοῦ βασίζονται στὶς τιμὲς τὶς διδόμενες στὸν Πίνακα 14 γιὰ τὸ ^{226}Ra καὶ τὰ θυγατρικά του, οἱ ὁποῖες, σὲ συνδυασμὸ καὶ μὲ τὶς πληροφορίες τῶν

ΠΙΝΑΚΑΣ 14

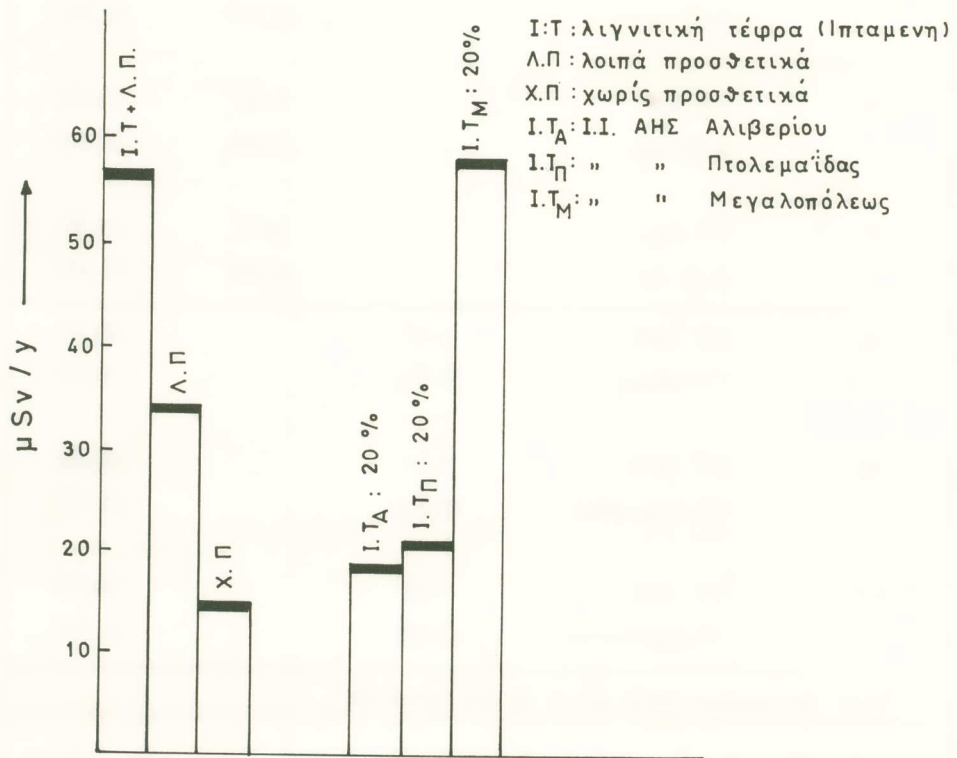
ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑ ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ ΜΕ Ή ΧΩΡΙΣ ΧΡΗΣΗ «ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΩΝ» ΥΛΙΚΩΝ ($\mu\text{Ci.g}^{-1}$)

Χαρακτ. δείγματος	Προέλευση	όλικη β	^{226}Ra	^{40}K	είδος
H ₁	ΗΡΑΚΛΗΣ	9.63	0.83	6.84	λευκόν
H ₃ (+) (*)	»	23.27	5.66	3.54	
H ₄ (+) (*)	»	38.86	12.95	8.70	
H ₅	»	10.46	0.89	5.60	λευκόν
H ₆ (+) (*)	»	31.48	11.42	7.85	
H ₇ (+) (*)	»	(δέν μετρήθηκε)	9.72	10.08	
H ₈ (+) (*)	»		6.48	10.14	
H ₉	»	10.49	0.85	8.50	λευκόν
H ₁₀ (+) (*)	»	(δέν μετρήθηκε)	9.24	8.93	
H ₁₁ (*)	»	»	2.05	7.04	
T ₃ (*)	ΤΙΤΑΝ	17.56	5.69	7.33	
T ₄ (+) (*)	»	31.28	9.28	8.61	
T ₈	»	16.38	2.70	9.26	
T ₉ (+) (*)	»	24.65	7.14	10.79	
T ₁₀	»	14.56	2.01	4.47	
T ₁₂	»	(δέν μετρήθηκε)	2.80	1.92	λευκόν
T ₁₃ (+) (*)	»	»	5.38	7.93	
T ₁₄ (+) (*)	»	21.04	5.41	9.29	
T ₁₅ (*)	»	(δέν μετρήθηκε)	4.33	8.62	
T ₁₆ (*)	»	»	4.35	8.34	
T ₁₈ (+) (*)	»	22.05	6.30	8.85	
T ₁₉	»	6.50	2.62	3.27	λευκόν
T ₂₂ (*)	»	(δέν μετρήθηκε)	3.51	9.65	
T ₂₃	»	»	2.10	1.19	λευκόν
T ₂₄	»	»	2.46	6.96	λευκόν
T ₂₅ (+) (*)	»	»	6.19	11.47	
X ₃ (+) (*)	ΧΑΛΚΙΔΟΣ	17.84	4.18	6.43	
X ₄ (+) (*)	»	17.74	4.75	6.45	
$1\sigma \approx \pm 10\%$	(+) (*): χρήση ιπτάμενης τέφρας και λοιπών προσθετικών (*): χρήση προσθετικών εκτός τεφρών (βλ. Σχ. 5)				

ΠΙΝΑΚΑΣ 15

ΙΣΟΔΥΝΑΜΕΣ ΕΤΗΣΙΕΣ ΔΟΣΕΙΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΕΩΣ
ΟΦΕΙΛΟΜΕΝΕΣ ΣΕ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ^{226}Ra ΣΕ ΤΣΙΜΕΝΤΑ ΤΟΥ ΜΠΕΤΟΝ*

Κατηγορία Τσιμέντων	Προσθετικά υλικά **	^{226}Ra Bq/g (pCi/g) ***	^{226}Ra Bq/g (pCi/g) ****	$D_{\text{tis.}}$ $\mu\text{Sv/y}$ (mrem/y)
A.	I.T. ναί Λ.Π. ναί		0.27 (7.44)	57.26 (5.73)
B.	I.T. όχι Λ.Π. ναί		0.14 (3.98)	33.96 (3.40)
Γ.	I.T. όχι Λ.Π. όχι		0.07 (1.93)	14.80 (1.48)
Δ.	I.T. 20% (Άλιβέρι)	0.09 (2.35)		18.72 (1.87)
Ε.	I.T. 20% (Πτολεμαΐδα)	0.10 (2.65)		20.68 (2.07)
ΣΤ.	I.T. 20% (Μεγαλόπολη)	0.27 (7.42)		58.30 (5.83)
Όριο Ασφαλείας: 1000 $\mu\text{Sv/y}$ (\approx 100 mrem/y)				
* Ύπευκτη χῶρος κατασκευασμένος ἐξ ὀλοκλήρου ἀπὸ μπετόν, πάχους 30 cm, πυκνότητος 2.5 g/cm ³ , ποσοστὸ τσιμέντου στὸ μπετόν 13%.				
** I.T.: ἰπτάμενη τέφρα, Λ.Π.: λοιπὰ προσθετικὰ ἐκτὸς ἀπὸ τέφρες (Βλ. Σχ. 5).				
*** Μέσες τιμές τῶν ἀναγραφομένων στὸν Πίνακα 5 γιὰ κάθε ΑΗΣ.				
**** Μέσες τιμές τῶν ἀναγραφομένων στὸν Πίνακα 14 γιὰ κάθε κατηγορία τσιμέντου.				



Σχ. 6. Ίσοδύναμες ετήσιες Δόσεις από ^{226}Ra σε τσιμέντα με ή χωρίς «προσθετικά» υλικά
 (ένδεικτικές τιμές)
 (όριο άσφ. - 1000 $\mu\text{Sv/y}$)

άρμοδιών για τὸ εἶδος τοῦ προστιθεμένου ὑλικοῦ στὰ ἐξεταζόμενα στὴ μελέτη αὐτὴ τσιμέντα, διακρίθηκαν σὲ 3 ὁμάδες σὰν χαρακτηριστικὲς ἀντιστοίχου ἀριθμοῦ κατηγοριῶν τσιμέντων, ὅπως φαίνεται στὸν Πίνακα 15, καὶ ὑπολογίσθηκε ἡ ἰσοδύναμη ἐτήσια δόση ἀπορροφήσεως γιὰ κάθε μία ἀπὸ τὶς κατηγορίες αὐτές. Γιὰ τὸν ὑπολογισμό τῶν δόσεων αὐτῶν χρησιμοποιήθηκε ἡ ἐξίσωση 14 καὶ ἐλήφθη: ὁ μὲν συντελεστὴς μετατροπῆς τῆς δόσεως στὸν ἀέρα σὲ δόση στοὺς ἰστούς ἴσος πρὸς 0.7, ὁ δὲ συντελεστὴς ποιότητας (quality factor) ἴσος πρὸς τὴ μονάδα [11, 15, 16]. Ἐπίσης ἔγιναν ὑποθέσεις ὅτι ὁ ἄνθρωπος παραμένει κατὰ τὰ 90% τοῦ χρόνου του σὲ χῶρο κατασκευασμένο ἀπὸ μπετόν στὸ ὁποῖον ἔχει προστεθεῖ τσιμέντο σὲ ποσοστὸ 13% κατὰ βάρους, τὸ πάχος τοῦ τοίχου ἐλήφθη ἴσον πρὸς 30 cm, ἡ δὲ πυκνότητα τοῦ μπετόν ἴση πρὸς 2.5 g/cm^3 . Στὸν ἴδιο Πίνακα (15) σημειώνονται καὶ τιμὲς ἰσοδυνάμων δόσεων ἀπορροφήσεως ποὺ προέκυψαν ἀπὸ τὶς μέσες τιμὲς τῶν μετρήσεων ^{226}Ra καὶ τῶν θυγατρικῶν του στὰ ἐξετασθέντα δείγματα ἰπτάμενης τέφρας ἀπὸ κάθε ΑΗΣ (βλ. Πίνακα 5) καὶ χαρακτηρίζουν ὑποτιθέμενες κατηγορίες τσιμέντων ποὺ ἀντιστοιχοῦν στοὺς ΑΗΣ προελεύσεως των δειγμάτων τῆς ἰπτάμενης τέφρας δηλ. Ἀλιβερίου (Δ), Πτολεμαῖδος (Ε) καὶ Μεγαλοπόλεως (ΣΤ). Ἐπομένως, οἱ τελευταῖες αὐτὲς κατηγορίες θεωροῦνται σὰν χαρακτηριστικὲς τσιμέντων, στὰ ὁποῖα ὑπετέθη ὅτι ἔχει προστεθεῖ μόνο ἰπτάμενη τέφρα σὲ ποσοστὸ 20% καὶ ὑπολογίζονται οἱ δόσεις ποὺ θὰ ἔδιναν τὰ τσιμέντα αὐτὰ προστιθέμενα στὸ μπετόν σὲ ἀναλογία 13% κατὰ βάρους γιὰ τὶς ἴδιες συνθῆκες ποὺ ἐλήφθησαν ὑπόψη καὶ γιὰ τὸν ὑπολογισμό τῶν δόσεων ἀπὸ τσιμέντα τῶν κατηγοριῶν Α, Β καὶ Γ.

6. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στὸ κεφάλαιο αὐτὸ δίδονται τὰ γενικὰ συμπεράσματα, τὰ ὁποῖα ἐξάγονται ἀπὸ τὴν μέχρι τώρα μελέτη μας, καὶ ἀπὸ τὰ ὁποῖα φαίνεται ἡ ἀνάγκη συνεχίσεως καὶ ἐπεκτάσεως τῆς ἔρευνας αὐτῆς, ἡ ὁποία ἰδιαίτερα τὰ τελευταῖα χρόνια ἀπασχολεῖ τοὺς ἐπιστήμονες, διεθνῶς:

- α. Ἡ ὀλικὴ β-ραδιενέργεια καὶ ἡ συγκέντρωση ^{226}Ra στὸν ἀέρα τῶν περιοχῶν λειτουργίας Ἀτμοηλεκτρικῶν Σταθμῶν παραγωγῆς ἠλεκτρικῆς ἐνεργείας, εἶναι τοῦ αὐτοῦ ἐπιπέδου μὲ τὶς ἀντίστοιχες τιμὲς περιοχῆς Ἀθηνῶν. Προφανῶς τὰ σωματίδια τῆς διαφεύγουσας στὸ περιβάλλον ἰπτάμενης τέφρας εἶναι κατὰ τὸ πλεῖστον μεγέθους $>4 \mu.$, καὶ ἐπομένως δὲν συλλαμβάνονται σὲ ἀνιχνεύσιμες ποσότητες ἀπὸ τὰ φίλτρα τοῦ δειγματολήπτη ἀέρα, τῶν ὁποίων ἡ διάμετρος

των πόρων είναι <4 μ. Άρα η ποσότητα σωματιδίων ιπτάμενης τέφρας που εισέρχεται στον ανθρώπινο οργανισμό, μέσω του αναπνευστικού συστήματος, είναι άμελητά.

- β. Η επιβάρυνση του περιβάλλοντος με πρόσθετη ραδιενέργεια, από τη διαφεύγουσα ιπτάμενη τέφρα, γίνεται «άντιληπτή» μόνο με τον δειγματοληπτή κονιορτού ατμοσφαιράρας, λόγω προφανώς του μεγέθους των σωματιδίων. Η ραδιενέργεια αυτή οφείλεται κυρίως στο ^{226}Ra . Η ισοδύναμη δόση απορροφήσεως που λαμβάνει ο άνθρωπος στην περίπτωση αυτή είναι δύο με τρεις τάξεις μεγέθους μικρότερη των αντιστοίχων ορίων ασφαλείας.
- γ. Οι σημειούμενες, στην παρούσα μελέτη, συγκεντρώσεις ^{226}Ra , πειραματικές και θεωρητικές, θα μπορούσαν να ληφθούν υπόψη για περιορισμένες αποστάσεις από τους ΑΗΣ. Ήτοι μέχρι 2.000 m για τη δυσμενέστερη περίπτωση, που η συγκέντρωση παρουσιάζεται σχετικά αύξημένη (διάμετρος καπνοδόχου, d: 2 m και ταχύτητα εξερχομένων αερίων, v_s : 15 m/sec) και μέχρι 800 m για άραιη συγκέντρωση (διάμετρος καπνοδόχου, d: 4 m και ταχύτητα εξερχομένων αερίων, v_s : 25m/sec). Για μεγαλύτερες αποστάσεις με τις παρούσες συνθήκες λειτουργίας των ΑΗΣ, η συγκέντρωση εμφανίζεται άσήμαντη.
- δ. Η μεγίστη δόση ανά έτος, που οφείλεται στη συγκέντρωση ^{226}Ra για συνήθεις μετεωρολογικές συνθήκες, βρέθηκε ίση προς το ένα εκατομμυριοστό της όλικης μεγίστης επιτρεπτής δόσεως εκθέσεως ανά έτος.
- ε. Από τον έλεγχο ραδιενεργείας στις τέφρες όλων των ΑΗΣ, που έγινε μέχρι σήμερα στην Ελλάδα και σύμφωνα με τη διεθνή Βιβλιογραφία [11, 17-24], φαίνεται ότι η ιπτάμενη τέφρα του ΑΗΣ Άλιβερίου και Πτολεμαΐδας, της οποίας η συγκέντρωση ^{226}Ra βρέθηκε μικρότερη των 20 pCi/g, μπορεί να υποκαθιστά το τσιμέντο σε ποσοστό εξαρτώμενο από τη ραδιενέργεια των λοιπών συστατικών του μπετόν.
- στ. Οι εύρεθεϊσες τιμές συγκεντρώσεως ^{226}Ra στα έλληνικά τσιμέντα είναι από 1.5-13.0 pCi/g. Εάν ληφθεί υπόψη ότι το ποσοστό τσιμέντου στο μπετόν είναι 13%, τότε προκύπτει ότι η συγκέντρωση του ισοτόπου αυτού στο μπετόν θα είναι από 0.2 μέχρι 1.7 pCi/g λόγω ιπτάμενης τέφρας. Οι τιμές αυτές είναι μέσα στα όρια διακυμάνσεων των τυπικών ευρωπαϊκών μπετόν, τὰ όποια είναι 1.2 μέχρι 2.2 pCi/g όπως επιβεβαιώνουν μελέτες στο μπετόν από το National Radiological Protection Board [11, 15, 23-30], αν θεωρηθεί άμελητά η συγκέντρωση του ^{226}Ra στα λοιπά συστατικά του μπετόν.

- ζ. Ἡ ἐξέταση τῶν ὑλικῶν ποὺ χρησιμοποιοῦνται ὡς «προσθετικά» ὑλικά στὰ τσιμέντα, μεταξύ τῶν ὁποίων καὶ ἡ ἱπτάμενη τέφρα, ἔδειξε ὅτι ὅλα περιέχουν ^{226}Ra σὲ συγκεντρώσεις, στὰ περισσότερα ἀπὸ αὐτά, ὅχι ἀμελητέες σὲ σχέση μὲ τὶς συγκεντρώσεις τοῦ ἰσοτόπου αὐτοῦ στὶς ἱπτάμενες τέφρες.
- η. Ἀπὸ τὰ ἀποτελέσματα ὑπολογισμοῦ τῶν ἰσοδυνάμων δόσεων (ἐνδεικτικὰ) στὸν ἄνθρωπο, λόγω συγκεντρώσεως ^{226}Ra στὰ τσιμέντα τοῦ μπετόν, τὰ ὁποῖα προέκυψαν ἀπὸ πειραματικὲς μετρήσεις δειγμάτων τσιμέντων καὶ ἱπτάμενης τέφρας καὶ ἀπὸ θεωρητικὸς ὑπολογισμοὺς (γιὰ τὶς δυσμενέστερες συνθηκες: χῶρος ἐιδικῆς κατασκευῆς κ.α.) φαίνεται ὅτι οἱ δόσεις αὐτὲς εἶναι χαμηλότερες τοῦ ὁρίου ἀσφαλείας κατὰ 15-70 φορές γιὰ τὰ δείγματα ποὺ περιέχουν ἱπτάμενη τέφρα μαζί μὲ ἄλλα προσθετικά ὑλικά (θηραϊκὴ γῆ, σκωρία) ἢ μόνον ἱπτάμενη τέφρα καὶ κατὰ 600 φορές γιὰ ἐκεῖνα ποὺ δὲν περιέχουν ἱπτάμενη τέφρα οὔτε ἄλλα προσθετικά ὑλικά.

Ἐκεῖνο, ὅμως, ποὺ παρουσιάζει ἰδιαίτερο ἐνδιαφέρον, καὶ διαπιστώνεται στὴ μελέτη αὐτή, εἶναι ὅτι ἡ δόση ἀπὸ τσιμέντα ποὺ δὲν περιέχουν ἱπτάμενη τέφρα ἀλλὰ μόνον τὰ ἄλλα προσθετικά ὑλικά μπορεῖ νὰ ὑπερβαίνει καὶ ἐκεῖνες τῶν τσιμέντων, τὰ ὁποῖα περιέχουν μόνον ἱπτάμενη τέφρα σὰν προσθετικὸ ὑλικό. Ἀπὸ αὐτὸ φαίνεται ἡ σημαντικὴ συνεισφορά στὴν ὀλικὴ δόση ἀπὸ τσιμέντα καὶ τῶν λοιπῶν χρησιμοποιουμένων προσθετικῶν ὑλικῶν ἐκτὸς τῆς ἱπτάμενης τέφρας.

- θ. Ἡ παρουσιάζομενη διακύμανση συγκεντρώσεως ^{226}Ra στὰ τσιμέντα, ποὺ δὲν περιέχουν κανενὸς εἴδους προσθετικὸ ὑλικό, προφανῶς ὀφείλεται στὴν διαφορετικὴ συγκέντρωση τοῦ ἰσοτόπου αὐτοῦ στὰ βασικά συστατικὰ τοῦ τσιμέντου (ἔδαφος κ.α.). Ἄρα ἡ ραδιενέργεια καὶ τοῦ ἐδάφους πρέπει νὰ λαμβάνεται ὑπόψη στὴ σύνθεση τοῦ τσιμέντου καθὼς καὶ τῶν ἄλλων βασικῶν συστατικῶν του.

7. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Ἀπὸ τὰ γενικὰ συμπεράσματα προκύπτουν οἱ πάρα κάτω προτάσεις μας, γιὰ τὴν ὅσο τὸ δυνατόν περισσότερη ἀκίνδυνη χρῆση τοῦ λιγνίτη καὶ τῆς τέφρας του:

- α. Νὰ παρακολουθεῖται συνεχῶς τὸ ἐπίπεδο ραδιενέργειας τῶν περιοχῶν λειτουργίας Ἀτμοηλεκτρικῶν Σταθμῶν, τόσο σὲ δείγματα ἀτμοσφαίρας ὅσο καὶ σὲ δείγματα γλωρίδος καὶ πανίδος.
- β. Νὰ γίνεται ἔλεγχος τῆς ραδιενέργειας τῆς ἱπτάμενης τέφρας ἀλλὰ καὶ ὅλων τῶν προσθετικῶν ὑλικῶν ποὺ χρησιμοποιοῦνται στὰ τσιμέντα, γιὰ τὴν ἐπιλογή

τοῦ κατάλληλου ποσοστοῦ προσθήκης τοῦ κάθε ἑνὸς ἀπὸ αὐτά. Ἐπίσης, γιὰ τὴν ἐπιλογή τοῦ ποσοστοῦ αὐτοῦ πρέπει νὰ λαμβάνεται ὑπόψη ἡ ραδιενέργεια καὶ τῶν βασικῶν συστατικῶν συνθέσεως τοῦ μπετόν καὶ ἰδιαίτερα τοῦ ἐδάφους.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ἐπιθυμῶ καὶ ἀπὸ τὴ θέση αὐτὴ νὰ ἐκφράσω τὶς εὐχαριστίες μου πρὸς τὸν Ἀκαδημαϊκὸ καὶ σεβαστὸ Καθηγητὴ κ. Γεώργιο Καραγκούνη, ὁ ὁποῖος εἶχε τὴν καλωσύνη νὰ ἀναλάβει τὴν ἀνακοίνωση τῆς μελέτης μου αὐτῆς στὴν Ἀκαδημία Ἀθηνῶν, κατόπιν προτάσεως τοῦ ἰδίου, καὶ αὐτὸ ἀποτελεῖ ἰδιαίτερη τιμὴ γιὰ μένα.

SUMMARY

Does the combustion of the lignite cause radioactive contamination of the atmosphere?

Local sampling networks have been installed in the vicinity of coal fired power plants in order to study the radioactive contamination of the environment due to escaped fly ash.

Experimental measurements and theoretical calculations have been done taking into account different meteorological conditions (atmospheric setability, air velocity, etc.) and different characteristics of the power stations (stack diameter, gases velocity etc.) in order to examine the magnitude $\frac{X}{Q}$ in relation to the distance from the power station.

Qualitative and quantitative determinations of the radioactivity of lignites and of their ashes have been done for different areas, to see the differences due to sampling areas.

The radioactivity of different types of cements containing pulverized fly ash and/or other additives as well as the radioactivity of the additives is also examined.

Estimations of the effective doses to man from the escaped fly ash to the atmosphere and from its use in building materials are attempted.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Σ. Δανάλη - Κωτσάκη, «Αποτελέσματα τῆς προκαταρκτικῆς Ἐρεύνης Ραδιενεργοῦ Μολύσσεως Περιβάλλοντος στὶς περιοχὲς λειτουργίας ΑΗΣ τῆς ΔΕΗ» — 105/227.1/04/12.8.80.
2. Σ. Δανάλη, «Μετρήσεις Πυρηνικῆς Φυσικῆς», ΕΕΑΕ 1963 (Β' ἔκδοση).
3. S. Danali, «Functional Arrangement and Organizational Problems of a Laboratory for Monitoring the Radioactivity in the Biosphere», University of California/LRL/Transl. 1356, July 1967.
4. S. Danali, «Data on the Environmental Radioactivity in Greece during the years 1961-1972» USAEC - HASL, 1975.
5. «Manual of Standard Procedures» USAEC - HASL - NYO 4700, USA, 1972.
6. «Meteorology and Atomic Energy» - USAEC - DTI - 1968.
7. J. Lamarche, «Introduction to Nuclear Engineering», Addison Wesley, London, 1975.
8. Στ. Παπαγιαννάκης, «Μαθήματα Δυναμικῆς Μετεωρολογίας», Ἀθήνα 1954.
9. Η. Μαριολοπούλου, «Κλιματολογικὸς Ἀτλας τῆς Ἑλλάδος», Ἀθήνα 1937.
10. Σ. Δανάλη-Κωτσάκη, «Ἐρευνα ραδιενεργοῦ μόλυνσης περιβάλλοντος περιοχῶν λειτουργίας ΑΗΣ καὶ ραδιενεργείας λιγνιτῶν καὶ τσιμέντων», ΕΕΑΕ/ΚΠΕ Δημόκριτος DEMO 83/21, 1983.
11. A. Wrixon, «Appraisal of the radiological consequences of the use of pulverise fly ash in Greece», National Raological Protection Board, England, Sept. 1982.
12. ICRP Recommendations.
13. D. C. Kocher, «Dose rate conversion factors for external exposure to photon and electrons», Health Physics, 45, No 3, 1983.
14. «Derived emergency levels for introduction countermeasures in the early to intermediate phases of emergencies involving the release of radioactive materials to atmosphere», Nat. Rad. Protection Board-DL, March 1986.
15. Erling Stranden. «Assessment of the radiological impact of using fly ash in cements». State Institute of Radiation Hygiene, Norway, March 1983.
16. O'Brien K and Sanna R. «The distribution of absorbed dose rates in humans from exposure to environmental gamma rays». Health Physics, 30, No 71, 1976.
17. Στ. Χαράλαμπος - Κ. Παπαστεφάνου, «Κίνδυνοι ἀπὸ τὴ χρήση τῆς πτητικῆς τέφρας σὰν ὑποκατάστατο τοῦ τσιμέντου». Τεχνικὰ Χρονικά, Ὀκτ. Δεκ. 1979.
18. Papastefanou C. - Charalambous S.: «On the Radioactivity on fly ashes from coal power plants». Z. Naturforsch, 34a, 1979.
19. Ι. Σιώτης, «Ἡ ραδιενέργεια κοινῶν οἰκοδομικῶν ὑλικῶν σὲ σχέση μετὴ χρήση πτητικῆς τέφρας σὰν ὑποκατάστατο τοῦ τσιμέντου», Imperial College/Blackett Laboratory, England.

20. J. Siotis, «The Impact of Accession to the Community on Greek Environmental Policy», Seminar of the ECC - Athens, 9-11/12/82.
21. UNSCEAR, 1958.
22. UNSCEAR, 1972.
23. Z. Zaworowski, J. Bilkiewicz, E. Zylicz, « ^{226}Ra in Contemporary and Fossil Snow», Health Physics, V. 20, 1971.
24. W. Anderson, R. Turner, «Radon Content of the Atmosphere», Nature, July 28, 1956.
25. M. Culot, H. Olson, K. Schiager, «Effective Diffusion Coefficient of Radon in Concrete, Theory and Method for Field Measurements», Health Physics, Vol. 30, 1976.
26. «Sources and Effects of ionizing Radiations» - UNSC, 1977.
27. E. Stranden and L. Berteig, «Radon in Dwellings and Influencing Factors», Health Physics, V. 39, Pg. 275, 1980.
28. H. Rossi, «What are the limits of ALARA», Health Physics, V. 39, Pg. 370, 1980.
29. J. Rundo, F. Markun, N. Plondke, «Observation of High Concentrations of Radon in Certain Houses», Health. Physics. V. 36, Pg. 729, 1979.
30. K. Blaton-Albicka, J. Pensko, «Assessment of Radon exhalation Rates in Dwellings in Poland», Health Physics, V. 41, Pg. 548, 1981.