

Ερευνητικές Δραστηριότητες του Εργαστηρίου Πυρηνικής Τεχνολογίας του ΕΜΠ

κατά το τρέχον Ακαδημαϊκό Έτος

του Σ. Ε. Σιμόπουλου

1. Εισαγωγή

Το Εργαστήριο Πυρηνικής Τεχνολογίας του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου (ΕΠΤ - ΕΜΠ) ιδρύθηκε και άρχισε να λειτουργεί αμέσως μετά την πλήρωση, το 1962, της Έδρας Πυρηνικής Τεχνολογίας, με Διευθυντή τον σήμερα Ομότιμο Καθηγητή Μ. Γ. Αγγελόπουλο. Ο εξοπλισμός του προοδευτικά και συνεχώς εμπλουτίζεται, με σκοπό όχι μόνο την εξάσκηση των σπουδαστών, αλλά και την ανάπτυξη ερευνητικών δραστηριοτήτων.

Σήμερα, ο εξοπλισμός του Εργαστηρίου, που διευθύνεται από τον Διευθυντή του ομώνυμου Τομέα Καθηγητή Δ. Ι. Λεωνίδου, περιλαμβάνει μια Υποκρίσιμη Στήλη Γραφίτη-Ουρανίου, ένα πλήρως αυτοματοποιημένο Θερμοϋδραυλικό Κύκλωμα για την μελέτη προβλημάτων κανονικής λειτουργίας και έκτακτης ανάγκης Πυρηνικών Αντιδραστήρων Νερού, αξιόλογες διατάξεις γ και α φασματοσκοπίας και ένα θάλαμο Μελέτης της Εκροής Ραδονίου*.

Κατά την 30ετή ιστορία του ΕΠΤ-ΕΜΠ έχουν διεξαχθεί άνω των 100 Διπλωματικές Εργασίες, Διδακτορικές Διατριβές και Δημοσιεύσεις σε ποικιλία γνωστικών περιοχών, όπως η φυσική αντιδραστήρων, η θερμοϋδραυλική ανάλυση αντιδραστήρων ισχύος, και οι φασματοσκοπικές αναλύσεις για την ανίχνευση ραδιενεργών ιχνοστοιχείων. Ειδικότερα γίνονται περιβαλλοντικές μετρήσεις φυσικών ραδιενεργών ιχνοστοιχείων σε ποικιλία υλικών όπως λιγνίτες, τέφρες, χώματα, οικοδομικά υλικά, υγρά, αέρας, προσδιορισμός της περιεκτικότητας διαφόρων υλικών σε ισότοπα σχάσεως, καθώς και μετρήσεις σχετικές με το ραδιενεργό αέριο ραδόνιο και τα ραδιενεργά θυγατρικά του. Επίσης, έχει αναπτυχθεί πρωτότυπο λογισμικό για πολλές από τις πιο πάνω αναλύσεις, καθώς και για τη γεωγραφική απεικόνιση πληροφοριών σχετικών με ραδιενεργές συγκεντρώσεις και επιπτώσεις. Τέλος, έχει αναπτυχθεί και λειτουργεί από δεκαετίας σύστημα για την αυτοματοποιημένη, από Η/Υ, επί 24ώρου βάσεως

συνεχή επιτήρηση της ραδιενεργείας του περιβάλλοντος στο Γήπεδο της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου, τόσο για φυσικούς ραδιενεργά ραδιοϊσότοπα, όσο και για ραδιοϊσότοπα προϊόντα των σχάσεων εξαιτίας τυχόν διαρροών από πυρηνικές εγκαταστάσεις γειτονικών χωρών.

Στο κείμενο που ακολουθεί γίνεται, αφενός μεν περιγραφή των ερευνητικών δραστηριοτήτων του ΕΠΤ-ΕΜΠ, που οδήγησαν σε ανακοινώσεις και δημοσιεύσεις σε έγκριτα Διεθνή Συνέδρια κατά το τρέχον Ακαδημαϊκό Έτος, αφετέρου δε αναφορά σε δύο διεθνείς αναγνωρίσεις του έργου του Εργαστηρίου.

2. Συνέδριο για την ποιότητα του αέρα των εσωτερικών χώρων, στην Αυστραλία

Μεταξύ 27 Νοεμβρίου και 1 Δεκεμβρίου 1994 διεξήχθη στην Αυστραλία, και συγκεκριμένα στην πόλη Gold Coast της πολιτείας Queensland, Διεθνές Συνέδριο με τίτλο «Indoor Air, An Integrated Approach». Στόχος του Συνεδρίου αυτού ήταν η καταγραφή της σημερινής κατάστασης της ποιότητας του αέρα των εσωτερικών χώρων, όσον αφορά στην περιεκτικότητά του στους κυριότερους ατμοσφαιρικούς ρύπους. Ως ατμοσφαιρικοί ρύποι χαρακτηρίζονται κυρίως τα διάφορα είδη καυσαερίων, τα διάφορα ατμοσφαιρικά αιωρήματα (π.χ. καπνός, σκόνη), οι πτητικές οργανικές ενώσεις, τα ίχνη βαρέων μετάλλων και τα φυσικά ραδιενεργά αέρια ραδόνιο και θορόνιο.

Στο Συνέδριο εξετάστηκαν επίσης τρόποι αξιολόγησης της ποιότητας του αέρα των εσωτερικών χώρων, λαμβάνοντας υπόψιν όχι μόνο τη συγκέντρωση ενός ή περισσοτέρων ρύπων αλλά και τη συνέργεια εξαιτίας της παρουσίας περισσοτέρων. Έγινε ακόμα προσπάθεια να εκτιμηθούν οι κίνδυνοι για την ανθρώπινη υγεία τόσο από κάθε ρύπο χωριστά, όσο και από τις συνεργιστικές επιδράσεις των. Επιπλέον προτάθηκαν επιστημονικά τεκμηριωμένες τεχνικές για τον περιορι-

* Όπως θα αναφερθεί και στην συνέχεια, ο θάλαμος αυτός έχει κατασκευασθεί στα πλαίσια κοινού ερευνητικού προγράμματος με το Εργαστήριο Ιατρικής Φυσικής του Πανεπιστημίου Αθηνών (Διευθυντής Καθηγητής Δρ. Χ. Προυκάκης).

Ο Σ. Σιμόπουλος είναι Καθηγητής στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ

Οικοδομικό Υλικό	Δείγ-ματα	Εύρος (Min - Max)			²²⁸ Ra Εύρος Διεθνώς (Min-Max)
		²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K	
Τσιμέντο	52	29 - 147	13 - 30	172 - 331	6 - 196
Λευκό τσιμέντο	10	14 - 26	7 - 13	5 - 67	
Τούβλα	5	28 - 48	37 - 56	727 - 895	4 - 200
Άμμος Θαλάσσης	6	7 - 13	8 - 16	145 - 302	
Άμμος	9	1 - 4	- 3	1 - 37	1 - 113
Μαρμαρόκοψη	8			- 25	
Σκύρα	7	1 - 3	1 - 3	- 23	15 - 55
Γύψος	6	8 - 17	- 10	5 - 40	4 - 330
Εκσφρόπιτρα	4	50 - 874	54 - 80	1048 - 1160	
Ασβέστης	2	9 - 32			8 - 20
Περλίτης	1	46	56	1048	
Πλακάκια	1	58	46	408	63 - 91

Πίνακας 1. Ειδική ραδιενέργεια (Bg/Kg) φυσικών ραδιοϊσοτόπων στα ελληνικά οικοδομικά υλικά. (Μέγιστα σφάλματα: 10%)

σμό της συγκέντρωσης ορισμένων από τους ρύπους, ενώ συζητήθηκαν και θέματα διοικητικών μέτρων όπως συνιστώμενα όρια για τη συγκέντρωση των ρύπων, θέματα πληροφόρησης του κοινού για τον κίνδυνο που ενδεχόμενα διατρέχει κ.ά.

Το Συνέδριο οργανώθηκε από κρατικούς φορείς για την προστασία του περιβάλλοντος και της υγείας του πληθυσμού, των ΗΠΑ, της Αυστραλίας και της Νέας Ζηλανδίας, το Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο της Κουήνσλαντ, και την Επιτροπή της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Από πλευράς ΕΠΤ-ΕΜΠ, στο Συνέδριο αυτό συμμετείχαν ο Υποψήφιος Διδάκτορας του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Ν. Π. Πετρόπουλος και ο γράφων, οι οποίοι και παρουσίασαν εργασία με τίτλο:

«Natural Radioactivity Content and Radon Exhalation Rates of Greek Building Materials»,
(by A. Louizi *, C. Proukakis **, N. P. Petropoulos and S.E. Simopoulos).

Η εργασία αυτή αφορά στην συγκέντρωση του ραδιενεργού αερίου ραδονίου στον αέρα των εσωτερικών χώρων. Το ραδόνιο (²²²Rn) είναι ο κυριότερος ραδιενεργός ρύπος στους εσωτερικούς χώρους. Προέρχεται από την διάσπαση του ραδίου (²²⁶Ra), το οποίο είναι στερεό ραδιενεργό ισότοπο που περιέχεται στο έδαφος και στα οικοδομικά υλικά. Το παραγόμενο ενεργές αέριο ραδόνιο εισέρχεται στον ατμοσφαιρικό αέρα των εσωτερικών χώρων είτε από το έδαφος - κυρίως από σημεία όπου παρατηρείται λύση της συνέχειας της έδρασης ενός κτιρίου, όπως ρωγμές στην θεμελίωση, δίοδοι αποχετευτικών ή άλλων αγωγών κ.λπ. - είτε εκρέοντας απευθείας από τα οικοδομικά υλικά των δομικών κατασκευών του κτιρίου. Στην πιο πάνω εργασία εξετάζονται σχεδόν όλα τα είδη ελληνικών οικοδομικών υλικών ως προς την περιεκτικότητά τους στα φυσικά ραδιενεργά ιχνοστοιχεία ²²⁶Ra, ²³²Th και ⁴⁰K (Πίνακας 1). Ο ίδιος πίνακας περιέχει αντίστοιχες τιμές διεθνώς.

* Η Δρ. Α. Λουίζη είναι Επ. Καθηγήτρια του Εργαστηρίου Ιατρικής Φυσικής του Πανεπιστημίου Αθηνών.

** Ο Καθηγητής Δρ. Χ. Προυκάκης είναι Διευθυντής του Εργαστηρίου Ιατρικής Φυσικής του Πανεπιστημίου Αθηνών.

Τα οικοδομικά υλικά, ανάλογα με την περιεκτικότητά τους σε ²²⁶Ra αποτελούν πηγές εκροής ραδονίου. Κατ' ακολουθίαν, η εκροή ραδονίου στους εσωτερικούς χώρους, εξαρτάται τόσο από το περιεχόμενο ²²⁶Ra των οικοδομικών υλικών, όσο και από την σύνθεση και σύσταση των δομικών κατασκευών. Έγιναν επίσης, στα πλαίσια της εργασίας αυτής, πειράματα μετρήσεως του ρυθμού εκροής ραδονίου από δομικές κατασκευές κατασκευασμένες από τα εξετασθέντα οικοδομικά υλικά (όπως π.χ. τοίχοι από τούβλα και πλάκες από οπλισμένο σκυρόδεμα) στον πρότυπο Θάλαμο Μελέτης της Εκροής Ραδονίου (Φωτογραφία 1). Ο θάλαμος κατασκευάστηκε στα πλαίσια κοινού ερευνητικού προγράμματος με το Εργαστήριο Ιατρικής Φυσικής του Πανεπιστημίου Αθηνών και χρηματοδοτήθηκε από την Επιτροπή της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Οι τιμές ρυθμού εκροής ραδονίου που μετρήθηκαν είναι εξαιρετικά χαμηλές και κυμαίνονται μεταξύ 1.5 και 3 mBqm⁻²s⁻¹. Η συνεπαγόμενη συγκέντρωση ραδονίου σε ένα τυπικό ελληνικό δωμάτιο προκύπτει ίση με 34Bqm⁻³, που είναι αρκετά χαμηλότερη του συνιστωμένου ορίου των 150Bqm⁻³.

Η εργασία αυτή έχει δημοσιευθεί σε ειδικό τεύχος με τα πρακτικά του Συνεδρίου από τον εκδοτικό οίκο Elsevier.

3. Συνέδριο για την ραδιενέργεια στο περιβάλλον, στον Καναδά

Μεταξύ 5 και 9 Ιουνίου 1995 διεξήχθη στο Montreal του Καναδά το 6ο Διεθνές Συμπόσιο με τίτλο «International Symposium on the Natural Radiation Environment (NRE VI)». Το Συνέδριο αυτό διοργανώνεται κάθε τρία με τέσσερα χρόνια και καλύπτει θέματα που αφορούν στη φυσική ραδιενέργεια του περιβάλλοντος και κυρίως στα φυσικά ραδιενεργά ισότοπα που απαντώνται στο φλοιό της γης, στην κοσμική ακτινοβολία, στο ραδιενεργό αέριο ραδόνιο και στα θυγατρικά του. Ασχολείται επίσης με τις ραδιοβιολογικές επιδράσεις στον ανθρώπινο οργανισμό από τη χρόνια έκθεση σε περιβάλλοντα αυξημένης φυσικής ραδιενέργειας. Στα πλαίσια ειδικότερων θεμάτων που επιπλέον εξετάζονται, παρουσιάζονται εργασίες που αφορούν σε μετρητικές τεχνικές και στην αυξημένη έκθεση εξαιτίας τεχνολογικών δραστηριοτήτων (π.χ. εξόρυξη και επεξεργασία Ουρανίου, λειτουργία Πυρηνικών Αντιδραστήρων κ.ά.).

Το Συνέδριο οργανώθηκε από το Πανεπιστήμιο του Clarkson, Αρμόδιες Κρατικές Αρχές των ΗΠΑ και του Καναδά, και την Επιτροπή της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Στο Συνέδριο, από το ΕΠΤ-ΕΜΠ συμμετείχαν ο Δρ. Μηχανολόγος Μηχανικός ΕΜΠ Ε.Π. Χίνης, οι Υποψήφιοι Διδάκτορες του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Μ.Ι. Αναγνωστάκης και Ν.Π. Πετρόπουλος και ο γράφων, οι οποίοι παρουσίασαν τέσσερις εργασίες, το περιεχόμενο των οποίων δίνεται συνοπτικά στην συνέχεια. Τονίζεται ότι οι εργασίες αυτές θα

συμπεριληφθούν στα πρακτικά του Συνεδρίου, τα οποία θα δημοσιευθούν σε ειδική έκδοση του περιοδικού «The Science of the Total Environment» του εκδοτικού οίκου Elsevier.

3.1 Natural Radioactivity Mapping of Greek Surface Soils, M.J. Anagnostakis, E.P. Hinis, S.E. Simopoulos and M.G. Angelopoulos.

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής συλλέχθηκαν και αναλύθηκαν σε ανιχνευτές Ge υψηλής διακριτικής ικανότητας 1440 συνολικά επιφανειακά δείγματα χώματος από την ηπειρωτική Ελλάδα, για τον προσδιορισμό της φυσικής τους ραδιενέργειας και συγκεκριμένα για τα ισότοπα ^{226}Ra , ^{232}Th και ^{40}K .

Για την ανάλυση και την επεξεργασία των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε λογισμικό, όπως Βάσεις Δεδομένων, Κώδικες Στατιστικής, Κώδικες Fractal Αναλύσεων και τέλος Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών, το οποίο έχει εξ ολοκλήρου αναπτυχθεί στο ΕΠΤ. Η ανάλυση αυτή οδήγησε σε χαρτογράφηση της συγκέντρωσης στο έδαφος των παραπάνω ισότοπων, υπό την μορφή εγχρωμών ιστογραμμάτων όπως αυτό στο Σχήμα 1 για το ^{226}Ra .

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων των επιφανειακών εδαφών χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του ρυθμού έκθεσης του ελληνικού πληθυσμού εξαιτίας της φυσικής ραδιενέργειας του εδάφους. Ο μέσος ρυθμός έκθεσης υπολογίστηκε στα 40 nGy h^{-1} που είναι εξαιρετικά χαμηλός συγκρινόμενος με τιμές για άλλες περιοχές του πλανήτη μας. Ο δυσμενέστερος ρυθμός έκθεσης που υπολογίστηκε (295 nGy h^{-1}) είναι μέσα στα παρατηρούμενα όρια άλλων ευρωπαϊκών χωρών.

3.2 ^{137}Cs Chernobyl Fallout in Greece and its Associated Radiological Impact, N.P. Petropoulos, E.P. Hinis, and S.E. Simopoulos.

Το ατύχημα στον Πυρηνικό Σταθμό του Chernobyl τον Απρίλιο του 1986, είχε ως αποτέλεσμα την διασπορά ραδιενεργών ιχνοστοιχείων και την απόθεσή τους στο έδαφος σε μία ευρύτατη γεωγραφική περιοχή, μέσα στην οποία περιλαμβάνεται και η Ελλάδα. Η βασικότερη μέθοδος για την επισκόπηση της ραδιενεργού ρύπανσης του εδάφους είναι η δειγματοληψία χώματος και η ανάλυσή του για τον εντοπισμό και τον ποσοτικό προσδιορισμό των μακρόβιων ραδιοϊσοτόπων. Κατά την χρονική περίοδο Μαΐου-Νοεμβρίου 1986, συνελέγησαν 1242 δείγματα επιφανειακού χώματος από όλη την Ελλάδα. Ακολούθησε ανάλυση των δειγμάτων για 10 σχετικά μακρόβια προϊόντα σχάσης με ανιχνευτές Ge υψηλής διακριτικής ικανότητας.

Από τα ισότοπα-προϊόντα σχάσης που ανιχνεύθηκαν, αυτό που παρουσιάζει την μεγαλύτερη σημασία από ραδιοβιολογική άποψη, λόγω και του μεγάλου χρόνου ημιζωής του, είναι το ^{137}Cs . Για το ισότοπο αυτό εκτιμήθηκε ότι η απόθεσή του σε όλη την Ελλάδα κυμαίνεται από $0-150 \text{ kBq/m}^2$. Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων και η χαρτογράφηση της απόθεσης



Φωτογραφία 1. Θάλαμος μελέτης της εκπομπής του Ραδονίου

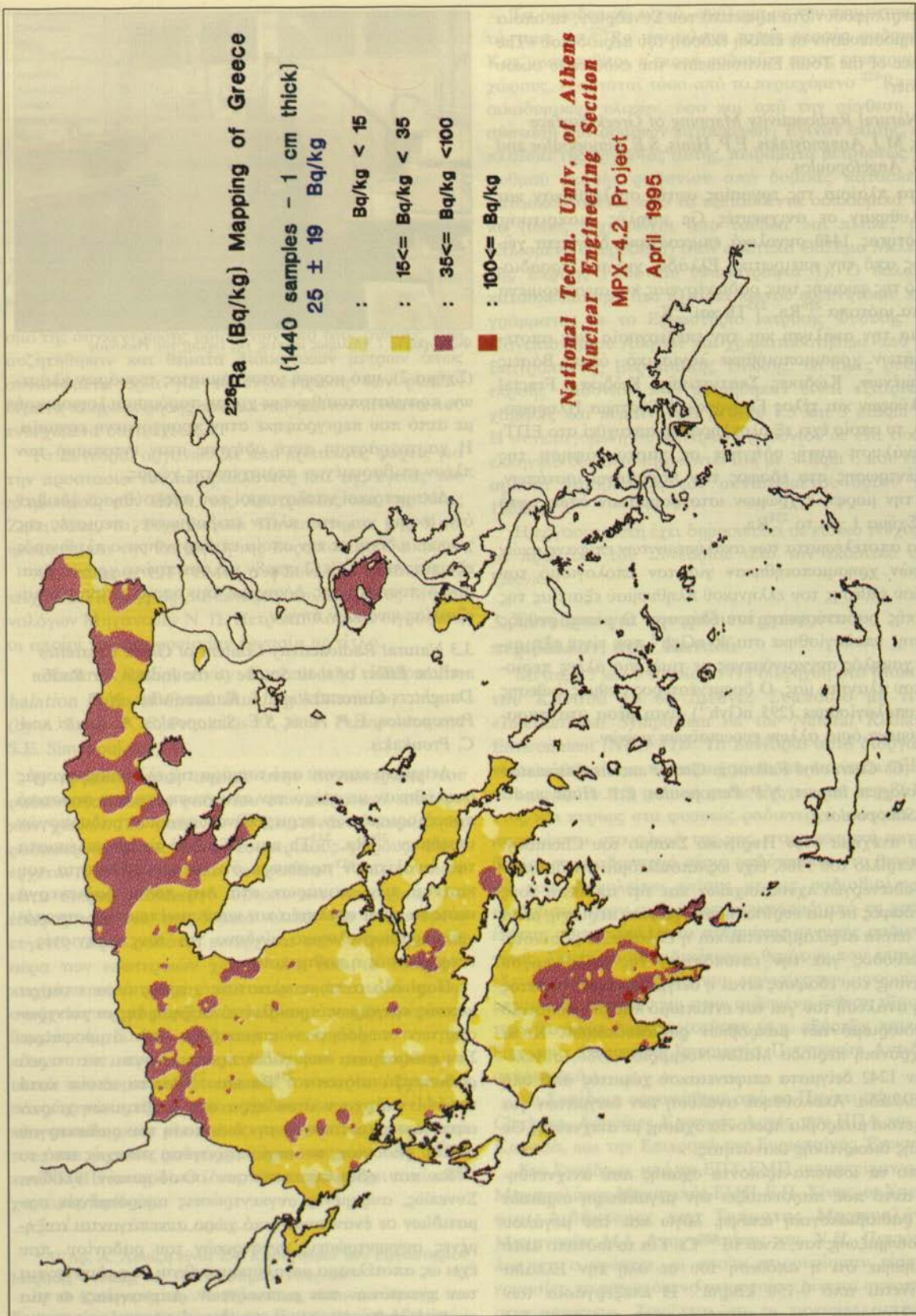
(Σχήμα 2), υπό μορφή ιστογραμματος τεσσάρων κλάσεων, πραγματοποιήθηκε με χρήση παρόμοιου λογισμικού με αυτό που περιγράφηκε στην προηγούμενη εργασία. Η χαρτογράφηση αυτή οδήγησε στον εντοπισμό των πλέον επιβαρυνμένων περιοχών της χώρας.

Δοσιμετρικοί υπολογισμοί που ακολούθησαν έδειξαν ότι, ακόμη και στις πλέον επιβαρυνμένες περιοχές της χώρας, η δόση με την οποία επιβαρύνθηκε ο πληθυσμός εξαιτίας του ^{137}Cs (2 manSv για τον πρώτο χρόνο) είναι μικρό ποσοστό της δόσης με την οποία επιβαρύνεται εξαιτίας φυσικών πηγών.

3.3 Natural Radioactivity Content of Greek Cigarettes and the Effect of their Smoke to the Indoor Air Radon Daughters Concentration, S. Katsanevakis, N.P. Petropoulos, E.P. Hinis, S.E. Simopoulos, A. Louizi and C. Proukakis.

Δείγματα καπνού από τσιγάρα της ελληνικής αγοράς αναλύθηκαν με στόχο την ανίχνευση και τον ποσοτικό προσδιορισμό των περιεχομένων φυσικών ραδιενεργών ισότοπων ^{226}Ra , ^{232}Th και ^{40}K . Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων προέκυψε ότι, η περιεκτικότητα του καπνού των τσιγάρων στα πιο πάνω ραδιενεργά ισότοπα είναι αμελητέα και κατά συνέπεια δεν συνεπάγεται ραδιοβιολογικό κίνδυνο για τους καπνιστές - ενεργητικούς ή παθητικούς.

Παρ' όλα αυτά σε κλειστούς χώρους όπου υπάρχει καπνός τσιγάρων, προκαλείται αύξηση της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα. Στα αιωρούμενα σωματίδια προσκολλώνται τα στερεά ραδιενεργά ισότοπα ^{218}Po και ^{214}Po , τα οποία κατά κλίμακα υπάρχουν στον αέρα των εσωτερικών χώρων αφού προέρχονται από την διάσπαση του ραδιενεργού αερίου ραδονίου, το οποίο παράγεται συνεχώς από το ^{226}Ra του εδάφους και των οικοδομικών υλικών. Συνεπώς, αυξημένες συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων σε έναν εσωτερικό χώρο συνεπάγονται αυξημένες συγκεντρώσεις θυγατρικών του ραδονίου, που έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη έκθεση σε ραδιενέργεια των πνευμόνων των εισπνεόντων. Αλεξαντίας, σε μία σχετικά καθαρή από σωματίδια ατμόσφαιρα, τα θυ-

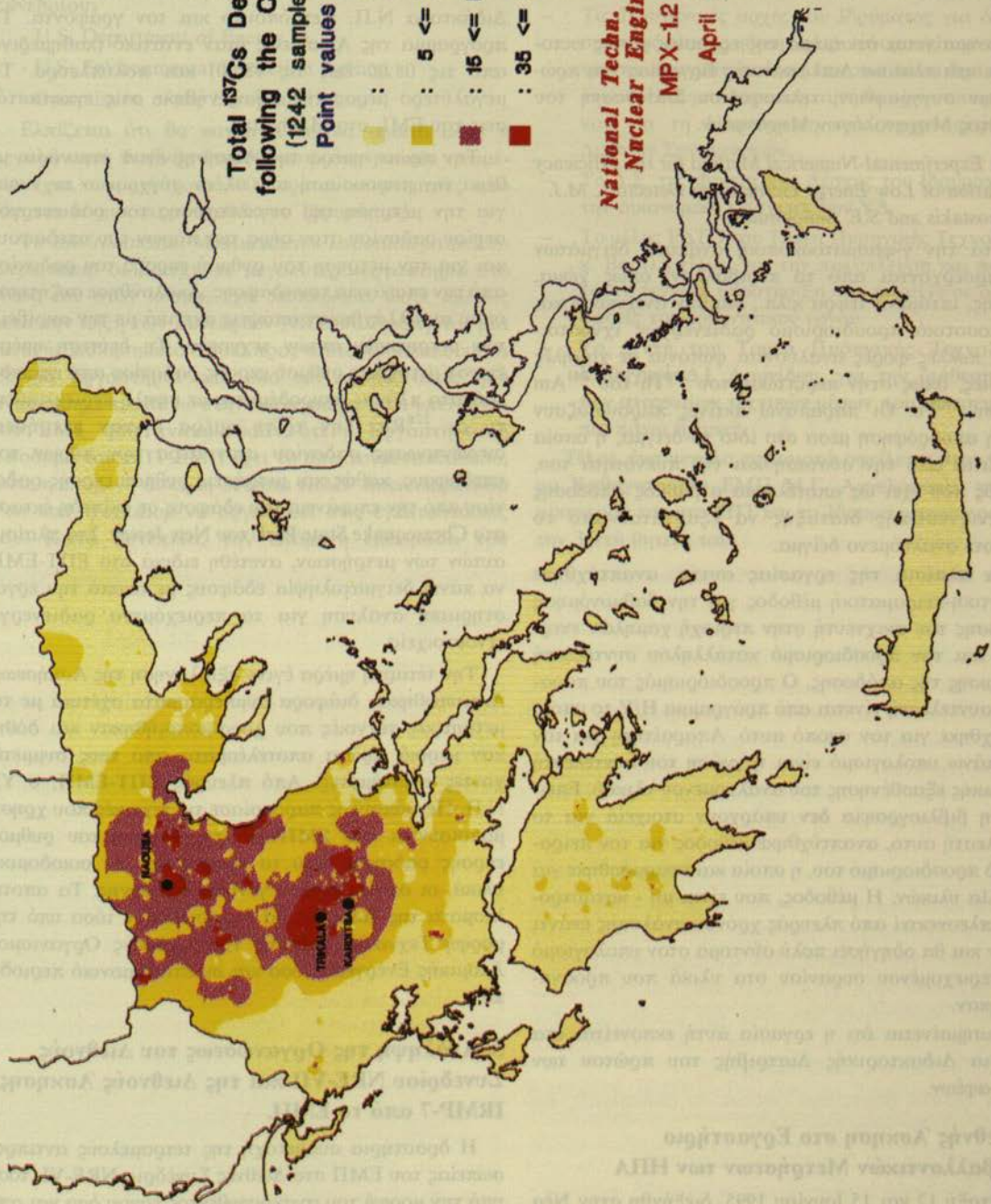


Σχ. 1. Ραδιενέργεια ^{226}Ra των ελληνικών επιφανειακών εδαφών

**Total ^{137}Cs Deposition (kBq/m^2)
following the Chernobyl Accident
(1242 samples - 1 cm thick)
Point values 0.1 - 150 kBq/m^2**

- : $\text{kBq}/\text{m}^2 < 5$
- : $5 \leq \text{kBq}/\text{m}^2 < 15$
- : $15 \leq \text{kBq}/\text{m}^2 < 35$
- : $35 \leq \text{kBq}/\text{m}^2 < 65$

**National Techn. Univ. of Athens
Nuclear Engineering Section
MPX-12 Project
April 1995**



Σχ. 2. Ραδιενεργός επίπτωση ^{137}Cs στα ελληνικά εδάφη από το ατύχημα στο Chernobyl

γατρικά του ραδονίου επικάθονται ως επί το πλείστον στις επιφάνειες του χώρου, με αποτέλεσμα την μικρότερη έκθεση των εισπνευόντων.

Προκειμένου να γίνει ποσοτική εκτίμηση της επίδρασης του καπνίσματος στην συγκέντρωση των θυγατρικών του ραδονίου στην ατμόσφαιρα των εσωτερικών χώρων, χρησιμοποιήθηκε ο πρότυπος Θάλαμος Μελέτης της Εκροής Ραδονίου (Φωτογραφία 1). Τα πειράματα έδειξαν ότι ο καπνός, από την καύση ενός και μόνο τσιγάρου, αυξάνει την συγκέντρωση του ^{214}Po κατά 18 φορές.

Επισημαίνεται ότι τμήμα της εργασίας αυτής εκπονήθηκε στα πλαίσια Διπλωματικής Εργασίας του πρώτου των συγγραφέων, τελειοφοίτου Σπουδαστή του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών.

3.4 An Experimental-Numerical Method for the Efficiency Calibration of Low Energy Germanium Detectors, M.J. Anagnostakis and S.E. Simopoulos.

Κατά την γ-φασματοσκοπική ανάλυση δειγμάτων που προέρχονται από το περιβάλλον, όπως χώμα, λιγνίτης, ιπτάμενη τέφρα κ.λπ., για την ανίχνευση και τον ποσοτικό προσδιορισμό ραδιενεργών ιχνοστοιχείων, πολλές φορές αναλύονται φωτόνια σε χαμηλές ενέργειες, όπως στην περίπτωση του ^{234}Th του ^{241}Am και του ^{210}Pb . Οι παραπάνω ακτίνες παρουσιάζουν έντονη απορρόφηση μέσα στο ίδιο το δείγμα, η οποία εξαρτάται από την σύσταση και την πυκνότητά του, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα ο βαθμός απόδοσης της ανιχνευτικής διάταξης να εξαρτάται από το εκάστοτε αναλυόμενο δείγμα.

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής, αναπτύχθηκε αναλυτική-πειραματική μέθοδος για την βαθμονόμηση απόδοσης του ανιχνευτή στην περιοχή χαμηλών ενεργειών και τον προσδιορισμό κατάλληλου συντελεστή διόρθωσης της απόδοσης. Ο προσδιορισμός του παραπάνω συντελεστή γίνεται από πρόγραμμα H/Y το οποίο συντάχθηκε για τον σκοπό αυτό. Απαραίτητη για τον παραπάνω υπολογισμό είναι η γνώση του συντελεστή γραμμικής εξασθένησης του αναλυομένου υλικού. Επειδή στη βιβλιογραφία δεν υπάρχουν στοιχεία για το συντελεστή αυτό, αναπτύχθηκε μέθοδος για τον πειραματικό προσδιορισμό του, η οποία και εφαρμόστηκε για ποικιλία υλικών. Η μέθοδος, που είναι μη - καταστροφική, πλεονεκτεί από πλευράς χρόνου ανάλυσης έναντι άλλων και θα οδηγήσει πολύ σύντομα στον υπολογισμό του περιεχομένου ουρανίου στα υλικά που προαναφέρθηκαν.

Επισημαίνεται ότι η εργασία αυτή εκπονείται στα πλαίσια Διδακτορικής Διατριβής του πρώτου των συγγραφέων.

4. Διεθνής Άσκηση στο Εργαστήριο Περιβαλλοντικών Μετρήσεων των ΗΠΑ

Μεταξύ 12 και 15 Ιουνίου 1995, διεξήχθη στην Νέα Υόρκη με Οργανωτή το Environmental Measurements

Laboratory (EML) - U.S. Department of Energy, το 6th International Radon Metrology Programme με αντικείμενο: «Workshop on the State of the Art in Measuring Soil Gas Radon and Radon Exhalation from Soil». Είχαν προσκληθεί 23 σχετικά Εργαστήρια από όλο τον κόσμο, μεταξύ των οποίων και το ΕΠΤ-ΕΜΠ. Το ερευνητικό αυτό πρόγραμμα χρηματοδοτείται από το Διεθνή Οργανισμό Ατομικής Ενέργειας και την Επιτροπή της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Το ΕΠΤ-ΕΜΠ εκπροσωπήθηκε από τον Υποψήφιο Διδάκτορα Ν.Π. Πετρόπουλο και τον γράφοντα. Το πρόγραμμα της Άσκησης ήταν εντατικό (καθημερινά από τις 08:00 έως τις 18:00) και πολύπλευρο. Το μεγαλύτερο μέρος της φιλοξενήθηκε στις εγκαταστάσεις του EML στο Manhattan.

Την πρώτη ημέρα της Άσκησης έγινε σεμινάριο με θέμα την παρουσίαση των πλέον σύγχρονων τεχνικών για την μέτρηση της συγκέντρωσης του ραδιενεργού αερίου ραδονίου στον αέρα των πόρων του υπεδάφους και για την μέτρηση του ρυθμού εκροής του ραδονίου από την επιφάνεια του εδάφους. Ακολούθησε συζήτηση, όπου ανταλλάχθηκαν απόψεις σχετικά με την ακρίβεια των μετρητικών αυτών τεχνικών. Τη δεύτερη ημέρα έγιναν μετρήσεις ρυθμού εκροής ραδονίου από επίπεδα τμήματα πλάκας σκυροδέματος με υψηλή περιεκτικότητα σε ^{226}Ra . Την τρίτη ημέρα έγιναν μετρήσεις συγκέντρωσης ραδονίου στον αέρα των πόρων του υπεδάφους, καθώς και μετρήσεις ρυθμού εκροής ραδονίου από την επιφάνεια του εδάφους σε επίπεδη έκταση στο Cheesequake State Park του New Jersey. Στο πλαίσιο αυτών των μετρήσεων, ανετέθη ειδικά στο ΕΠΤ-ΕΜΠ να κάνει δειγματοληψία εδάφους με σκοπό την εργαστηριακή ανάλυση για τα περιεχόμενα ραδιενεργά ιχνοστοιχεία.

Την τέταρτη ημέρα έγινε αξιολόγηση της Άσκησης. Διατυπώθηκαν διάφορα συμπεράσματα σχετικά με τις μετρητικές τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν και δόθηκαν μερικά πρώτα αποτελέσματα από τους συμμετέχοντες επιστήμονες. Από πλευράς ΕΠΤ-ΕΜΠ, ο ΥΔ Ν.Π. Πετρόπουλος παρουσίασε τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται στο ΕΜΠ για τη μέτρηση του ρυθμού εκροής ραδονίου από το έδαφος και τα οικοδομικά υλικά, οι οποίες έτυχαν γενικής αποδοχής. Τα αποτελέσματα της Άσκησης θα δημοσιευθούν τόσο υπό την μορφή Τεχνικής Έκθεσης του Διεθνούς Οργανισμού Ατομικής Ενέργειας, όσο και σε επιστημονικό περιοδικό.

5. Ανάλυση της Οργανώσεως του Διεθνούς Συνεδρίου NRE-VII και της Διεθνούς Άσκησης IRMP-7 από το ΕΜΠ.

Η δραστήρια συμμετοχή της τετραμελούς αντιπροσωπείας του ΕΜΠ στο Διεθνές Συνέδριο NRE-VI, τόσο υπό την μορφή του ανακοινωθέντος έργου όσο και από τις ζωντανές παρεμβάσεις, αλλά και η γενικότερη

ερευνητική προσφορά του ΕΠΤ στο χώρο της μελέτης και διερεύνησης της ραδιενεργείας του περιβάλλοντος, φαίνεται ότι ώθησε τον εκπρόσωπο της Επιτροπής της Ευρωπαϊκής Ένωσης, Jaak Sinnaeve της DG XII, να προτείνει την ανάληψη της οργάνωσης του επόμενου Συνεδρίου *Natural Radiation Environment VII (NRE-VII)* τον Ιούνιο 1998, από το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο στην Αθήνα. Ήδη, έχουν ενημερωθεί οι Πρωτανικές Αρχές του Ιδρύματος και βρίσκονται σε εξέλιξη οι σχετικές συζητήσεις με τους βασικούς Οργανωτές του Συνεδρίου:

- U.S. Department of Energy,
- U.S. Environmental Protection Agency,
- Commission of the European Union.

Ελπίζεται ότι θα καταστεί τελικά εφικτό ώστε η μεγάλη αυτή διεθνής διοργάνωση, στην οποία αναμένεται να συμμετάσχουν 400 περίπου επιστήμονες από όλο τον κόσμο, να ανατεθεί στο Ίδρυμά μας.

Το *Environmental Measurements Laboratory* του *US-Department of Energy*, το μεγαλύτερο εργαστήριο στο είδος του στον κόσμο, έχει καθιερώσει ώστε αμέσως μετά την λήξη των Συνεδρίων NRE, να διεξάγεται μία Διεθνής Άσκηση από ειδικά προς τούτο προσκαλούμενα Εθνικά Εργαστήρια από όλο τον κόσμο, όπως ήδη αναφέρθηκε πιο πάνω στην παράγραφο 4. Οι υπεύθυνοι του EML ήδη ανακοίνωσαν ότι η Εργαστηριακή Υποδομή του ΕΠΤ-ΕΜΠ έχει το απαιτούμενο επίπεδο, ώστε η επόμενη άσκηση *Seventh IRMP Intercomparison Test and Workshop* να οργανωθεί στις εγκαταστάσεις του. Κατά συνέπεια, την επόμενη εβδομάδα του

Συνεδρίου NRE-VII, προβλέπεται να διεξαχθεί στις εγκαταστάσεις του ΕΠΤ-ΕΜΠ η Διεθνής Άσκηση 7th IRMP. Ένα τμήμα της Άσκησης θα διεξαχθεί σε πεδίο με πλούσιο σε φυσική ραδιενέργεια υπέδαφος, όπως π.χ. αυτό των Θερμοπυλών ή της Σαντορίνης.

6. Ευχαριστίες

Οι ερευνητές του ΕΠΤ-ΕΜΠ που συμμετείχαν στις πιο πάνω ερευνητικές δραστηριότητες θεωρούν υποχρεωσή τους να ευχαριστήσουν:

- Τις Πρωτανικές αρχές του Ιδρύματος για όλη την συμπαράσταση, ηθική και οικονομική, που επέτρεψε την πραγματοποίηση των πιο πάνω δραστηριοτήτων. Η συμπαράσταση αυτή θα είναι απαραίτητη και για τη διοργάνωση των προαναφερθεισών Διεθνών Συναντήσεων.
- Το Δ.Σ. της Φοιτητικής Λέσχης του Ιδρύματος για την οικονομική ενίσχυση των ΥΔ.
- Το μέλος ΕΔΤΠ του Τομέα Πυρηνικής Τεχνολογίας κ. Βασίλη Ηλία, για την πολύπλευρη και πολυτάλαντη τεχνική υποστήριξη που παρείχε σε όλες τις φάσεις του ερευνητικού έργου.
- Το Δ/ντή του Τομέα Πυρηνικής Τεχνολογίας Καθηγητή Δ.Ι. Λεωνίδου, για την διάθεση όλων των αναγκαίων τεχνικών μέσων που επέτρεψαν τις πιο πάνω έρευνες.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλεται στον Ομότιμο Καθηγητή του ΕΜΠ Μ.Γ. Αγγελόπουλο για την προσφορά του στο ΕΠΤ και το Ίδρυμα γενικότερα κατά την 35ετή θητεία του.