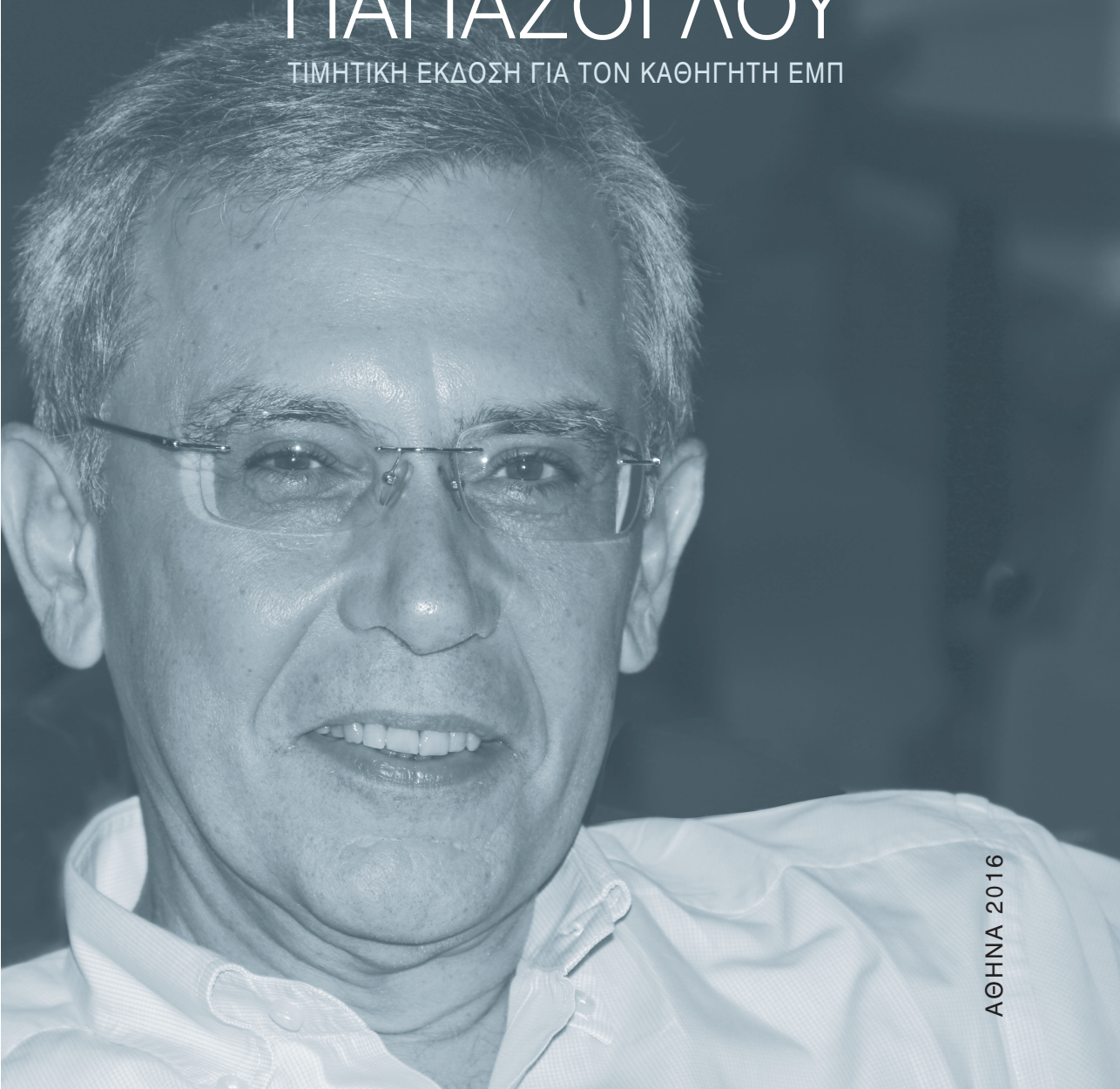




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΝΑΥΠΗΓΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΒΑΣΙΛΗΣ ΠΑΠΑΖΟΓΛΟΥ

ΤΙΜΗΤΙΚΗ ΕΚΔΟΣΗ ΓΙΑ ΤΟΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗ ΕΜΠ



ΑΘΗΝΑ 2016



**NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF NAVAL ARCHITECTURE & MARINE ENGINEERING
SHIPBUILDING TECHNOLOGY LABORATORY**

VASSILIOS
PAPAZOGLOU

A VOLUME IN HIS HONOUR

ATHENS 2016



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΝΑΥΠΗΓΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΒΑΣΙΛΗΣ
ΠΑΠΑΖΟΓΛΟΥ

ΤΙΜΗΤΙΚΗ ΕΚΔΟΣΗ ΓΙΑ ΤΟΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗ Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ 2016

Η φωτογραφία του εξωφύλλου είναι της Αντιγόνης Χατζηνικολάου

Εκτύπωση:
Εκτυπωτική Μονάδα Ε.Μ.Π.

Εξώφυλλο:
Άννα Τσαχουρίδου

Επιμέλεια Κειμένων:
Μαρία Παπαδοπούλου, Νίκος Τσούβαλης

ISBN: 978-618-80163-1-6

Copyright © 2016, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Απαγορεύεται η αναπαραγωγή του παρόντος βιβλίου ή μέρους αυτού με οποιοδήποτε μέσο, μηχανικό ή ηλεκτρονικό, χωρίς την έγγραφη εξουσιοδότηση του εκδότη.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Πρόλογος Οργανωτικής Επιτροπής	1
Foreword of the Organizing Committee	3
Βιογραφικό σημείωμα του Καθηγητή Β. Παπάζογλου	5
Curriculum Vitae of Prof. Vassilios J. Papazoglou	21
Χαρακτηριστικά φωτογραφικά στιγμιότυπα του Καθηγητή Β. Παπάζογλου	37
Ποιήματα Αλέξη Παπάζογλου αφιερωμένα στον Βασίλη Παπάζογλου	45

ΕΚΔΗΛΩΣΗ ΣΤΗ ΜΝΗΜΗ ΤΟΥ Β. ΠΑΠΑΖΟΓΛΟΥ – ΠΡΟΦΟΡΙΚΕΣ ΕΙΣΗΓΗΣΕΙΣ

Κ. Σπύρου , Καθηγητής Ε.Μ.Π., Κοσμήτορας Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών <i>Χαιρετισμός και σύντομο βιογραφικό ιστορικό του Β. Παπάζογλου</i>	49
Σ.Α. Μαυράκος , Καθηγητής Ε.Μ.Π., Διευθυντής και Πρόεδρος Ελληνικού Κέντρου Θαλασσιών Ερευνών (ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε.) <i>Η προσφορά του Β. Παπάζογλου στη Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών</i>	53
Σ. Σιμόπουλος , τ. Πρύτανης Ε.Μ.Π., ομότ. Καθηγητής Ε.Μ.Π. <i>Η προσφορά του Β. Παπάζογλου στο Ε.Μ.Π.</i>	55
Γ. Χαϊδεμενόπουλος , Καθηγητής Πανεπιστημίου Θεσσαλίας <i>Τα χρόνια του MIT</i>	59
Γ. Κοκκάλας , Διευθυντής Νέων Κατασκευών Ναυπηγείων Ελευσίνας <i>Ο Β. Παπάζογλου ως Καθηγητής της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών Ε.Μ.Π.</i>	61
Δ. Κάραλης , Επίκ. Καθηγητής Σχολής Ναυτικών Δοκίμων <i>Εκπονώντας Διδακτορική Διατριβή υπό την επίβλεψη του Β. Παπάζογλου</i>	63
Ν. Μήτρου , Καθηγητής Ε.Μ.Π., Πρόεδρος Σ.Ε.Α.Β. <i>Ο Β. Παπάζογλου, η Βιβλιοθήκη του Ε.Μ.Π. και ο Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών</i>	65
Θ. Βερέμης , ομότ. Καθηγητής Ε.Κ.Π.Α., τ. πρόεδρος Εθνικού Συμβουλίου Παιδείας (Ε.ΣΥ.Π.) <i>Η αρετή στην εκπαίδευση</i>	67
Π. Τσακλόγλου , Καθηγητής Ο.Π.Α. <i>Βήματα αξιολόγησης στην Ελληνική τριτοβάθμια εκπαίδευση</i>	69
Β. Κιντή , Αν. Καθηγήτρια Ε.Κ.Π.Α. <i>Βασίλης Παπάζογλου: Το πρόσωπο της μεταρρύθμισης των ελληνικών πανεπιστημίων</i>	73

Π. Τσανάκας , Καθηγητής Ε.Μ.Π. <i>Ηλεκτρονικές υπηρεσίες μεγάλης κλίμακας που σχεδιάστηκαν και υλοποιήθηκαν κατά τη θητεία του Καθ. Βασίλη Παπάζογλου ως Ειδικού Γραμματέα Ανώτατης Εκπαίδευσης στο Υπουργείο Παιδείας</i>	77
Α. Διαμαντοπούλου , τ. Υπουργός Παιδείας Διά Βίου Μάθησης και Θρησκευμάτων, πρόεδρος του «ΔΙΚΤΥΟΥ» για τη Μεταρρύθμιση στην Ελλάδα και την Ευρώπη <i>Βασίλης Παπάζογλου: Ήθος, αποστολή και έργο</i>	81
Αποσπάσματα αναφορών στον Βασίλη Παπάζογλου	85
Ευχαριστίες Νάντας Παπάζογλου	87
 ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΑ ΑΡΘΡΑ ΠΟΥ ΥΠΟΒΛΗΘΗΚΑΝ ΠΡΟΣ ΤΙΜΗΝ ΤΟΥ Β. ΠΑΠΑΖΟΓΛΟΥ	
Αζοράκος Σ. , <i>Σημεία Καμπής στις Θαλάσσιες Μεταφορές το Δεύτερο Ήμισυ του 20ού Αιώνα και η Επίδρασή τους στην Εξέλιξη των Πλοίων και των Λιμενικών Υποδομών</i>	91
Anassontzis E., Dimou D., Katsaounis G., Koske P., Mavrakos S.A., Papazoglou V., Resvanis L. , <i>DELTA-BERENIKE: A Semi-submersible Type Central-well, Ballasted, Self Propelled Platform</i>	99
Bernitsas M. , <i>Harnessing Marine Hydrokinetic Energy by Alternating Lift Technologies</i>	121
Βοσνιάκος Γ.-Χ., Κρέτσης Α., Σιάσος Α. , <i>Διερεύνηση της Κατασκευής Πτερυγίων Μικρού Υδροστροβίλου από Πολύστρωτα Σύνθετα Υλικά με τη Μέθοδο Vacuum Infusion</i>	151
Chatjigeorgiou I., Mavrakos S.A. , <i>Violent Slamming on Vertical Cylinder</i>	161
Chatzidouros E., Tsiourva Th., Pantelis D. , <i>Fatigue Crack Growth Performance of Laser Hybrid & Arc Welds of AH36 Naval Steels</i>	177
Chionopoulos S., Sarafoglou Ch., Pantelis D., Papazoglou V. , <i>Effect of Tool Pin & Welding Parameters on Friction Stir Welded (FSW) Marine Aluminium Alloys</i>	187
Galanis K., Papazoglou V. , <i>Effect of Stiffening Configurations on Fracture of Aluminum Structures</i>	195
Haidemenopoulos G. , <i>Alloyneering: An Integrated Computational Materials Engineering Approach to Alloy Design</i>	203
Hirdaris S. , <i>Research on Ship Wave Loads & Responses - Paving the Way Ahead</i>	215
Κακαράς Ε., Καρέλλας Σ. , <i>Συστήματα Αποθήκευσης Ενέργειας Μεγάλης Κλίμακας</i>	223

Karaoglanoglou L., Koullas D., Kourakos N., Koukios E., <i>Engineering Education and Training for Dealing with Sustainability and Other New Challenges: Integration of the Project Based Cognitive Learning</i>	233
Καπράς Χ., Χίνης Ε., <i>Πυρηνοκίνηση Εμπορικών Πλοίων. Μια Πολλά Υποσχόμενη Τεχνολογία για το Μέλλον</i>	243
Katifeoglou S., Chatjigeorgiou I., Mavrakos S.A., Molin B., <i>Unsteady Wave Run-up on a Plate due to Third-Order Hydrodynamic Interactions</i>	251
Kazasidis M., Chionopoulos S., Pantelis D., <i>Experimental Investigation of FCAW-G Weldments of HSLA AH40-FCA (Fatigue Crack Arrestor) Steel, Used in Marine Applications</i>	259
Kokarakis J., Taylor R., <i>Linear Elastic Fracture Mechanics Applied on Ships</i>	269
Kostopoulos V., Kotzakolios A., Vlachos D., <i>On the Buckling Prediction of Lattice Fuselage Structures. Validation of Finite Element Models by Using Smeared Unit Cell Analytical Methodology</i>	277
Kouis D., Koutsileou S., Anastasopoulou C., Efthymiou F., Kokkinos D., Mitrou N., <i>HEAL-link - Advanced Services for Hellenic Academic Libraries</i>	287
Lampeas G., <i>Simulation of Selective Laser Melting Process for the Production of Open Lattice Cellular Materials</i>	297
Manopoulos Ch., Vrahliotis S., Angelidis E., Bitzarakis S., Pappou Th., Kakisis I., Tsangaris S., <i>Patient Specific Analysis of Blood Flow & Migration Forces Acting on Stent Grafts for Abdominal Aortic Endovascular Aneurysm Repair</i>	305
Markides C., Kourkoulis S., <i>The Cracked Brazilian-disc Test in the Light of Novel Analytic Solutions for the Stress- and Displacement-fields</i>	315
Nevsimal-Weidenhoffer V., Tsouvalis N., Papazoglou V., <i>Goliath Gantry Cranes their Steel Structure – A Neglected Element Experiences in Surveillance and Reconditioning of the Last Two Decades</i>	329
Παπαδάκος Γ., Καραγγέλος Δ., Ρούνη Π., Πετρόπουλος Ν., Αναγνωστάκης Μ., Χίνης Ε., Σιμόπουλος Σ., <i>Αποτίμηση της Παραμένουσας Απόθεσης ¹³⁷Cs στα Ελληνικά Εδάφη στην Αρχή της 3ης Δεκαετίας μετά το Ατύχημα στο Chernobyl</i>	339
Papanicolaou G., Portan D., <i>Measuring & Modeling the Dynamic Frictional Coefficient Between Ice & TiO₂ Nanotubes Grown on Pure Titanium Plates</i>	349
Papanikolaou A., Eliopoulou E., Voulgarellis M., <i>Analysis of Ship Accidents & Risk Assessment of Ship Subtypes</i>	359
Προυσαλίδης Ι., <i>Θέματα Προστασίας σε Ηλεκτρικά Δίκτυα Πλοίων</i>	369

Soares C.-G., <i>Review of Experimental and Numerical Work on Weld Induced Distortions and Residual Stresses</i>	377
Τριάντου Κ., Παντελής Α., <i>Φυσικό Μοντέλο Συναπόθεσης Σωματιδίων Cu και Al₂O₃ κατά τη Δημιουργία Επικάλυψης με την Τεχνική του Ψυχρού Ψεκασμού</i>	387
Tsamasphyros G., <i>Generalized Variational Principle & Energy Theorems in Linear Strain Gradient Elasticity</i>	395
Tsiamakis A., Giannopoulos G., Georgantzinis S., Anifantis N., <i>Computational Characterization of Nanostructured Materials</i>	403
Tsoukalas G., Papadimitriou K., Louridas P., Tsanakas P., <i>Verifiable Storage for Verifiable Election</i>	411
Tzelepis V., VanZwieten J., Xiros N., <i>Ocean Current Turbines Generator Selection: A Technology Review</i>	419
Φούφλιας Α., Χαριτόπουλος Α., Παπαδόπουλος Χ., Καϊκτσής Α., Fillon M., <i>Ανάλυση Τριβολογικής Συμπεριφοράς Ωστικών Εδράνων με Τεχνητή Επιφανειακή Τραχύτητα</i>	445
Xie F., Zheng X., Triantafyllou M., Karniadakis G.-E., <i>Instability Mechanisms in Pipe Conveying Single-phase & Two-phase Fluid</i>	457
Χριστόπουλος Α., Τσαμασφύρος Γ., <i>Επαγωγική Αναθέρμανση σε Πολυμερή με Θερμική Ικανότητα Αυτοϊάσης με την Προσθήκη Μαγνητικών Νανοσωματιδίων</i>	467
Zilakos I., Toullos M., <i>Modeling Aspects of Orthotropic Hyperelastic Material Employed in the Design of Innovative Ship Rescue Systems</i>	475

ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΟΡΓΑΝΩΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ

Πέρασαν σχεδόν δυο χρόνια από τότε που ο Βασίλης έφυγε από κοντά μας και δεν έχει πάψει στιγμή να λείπει από όλους εμάς που τον ζήσαμε ως συνάδελφο, συνεργάτη, φίλο.

Λείπει από τις αίθουσες διδασκαλίας ο δάσκαλος με τις βαθιές γνώσεις και το πάθος για τη μετάδοσή τους, την πηγαία μεταδοτικότητα, τη συνέπεια, το αδιάλειπτο ευγενικό χαμόγελο, το ευπροσήγορο ύφος, την ευγένεια.

Λείπει από το Εργαστήριο η ερευνητική του ανησυχία, η δημιουργική του φαντασία, η αποτελεσματική του παρέμβαση σε όλες τις καταστάσεις. Η συνεργασία μαζί του ήταν πάντα μια διαδρομή εμβάθυνσης και καινοτομίας.

Λείπει από τη Σχολή η πραότητα και η σωφροσύνη με την οποία χειριζόταν όλα τα θέματα, η διοικητική του εμπειρία, η νηφαλιότητα αλλά και η επιμονή με την οποία διεκδικούσε το σωστό στη διοίκηση, στην εκπαίδευση, στην έρευνα, στις διαπροσωπικές σχέσεις.

Λείπει το όραμά του για την οργάνωση των υπηρεσιών του εκπαιδευτικού και ερευνητικού συστήματος, η καθαρότητα των απόψεών του, η ανιδιοτέλειά του. Κλήθηκε και κατέλαβε σημαντικές θέσεις, τόσο στο Ίδρυμα όσο και στον Δημόσιο Τομέα, ως αναγνώριση της προσωπικότητας και των δεξιοτήτων του, και προσέφερε πάρα πολλά, επιδεικνύοντας την εργατικότητά του και τα ηγετικά του χαρακτηριστικά.

Ο Τιμητικός αυτός Τόμος περιέχει στο πρώτο του μέρος μια σειρά εισηγήσεων για τον Βασίλη, από ανθρώπους που τον γνώρισαν και συνεργάστηκαν μαζί του από διάφορες θέσεις και που αναφέρονται στις σπουδές, στην ακαδημαϊκή του εξέλιξη, στο διδακτικό, ερευνητικό και διοικητικό του έργο, καθώς και στην προσφορά του για την αναβάθμιση της ανώτατης εκπαίδευσης στην Ελλάδα. Επίσης, περιλαμβάνονται ποιήματα-καταθέσεις καρδιάς από τον αγαπημένο του γιο Αλέξη, καθώς και μια σειρά επιλεγμένων φωτογραφιών. Στο δεύτερο μέρος παρουσιάζονται επιστημονικές εργασίες που υπέβαλε πλήθος ερευνητών ειδικά για τον τόμο αυτόν και προς τιμήν του Βασίλη.

Ό,τι και να λεχθεί ή να γραφτεί για τον Βασίλη δεν είναι αρκετό για να περιγράψει την κατάρτισή του, το έργο του, το ήθος του, την ψυχή του. Για όλα αυτά, ο Βασίλης είναι και θα είναι πάντοτε παρών στο μυαλό και στις καρδιές όλων μας.

Ο Τιμητικός αυτός Τόμος αποτελεί μια ελάχιστη επιστροφή του χρέους που οφείλουμε στον Βασίλη, ο οποίος με την ύπαρξή του και τη σταδιοδρομία του τίμησε τον Άνθρωπο και την Παιδεία, σε ύψιστο βαθμό.

Σ.Α. Μαυράκος, Α. Παντελής, Ν. Τσούβαλης

Καθηγητές της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του Ε.Μ.Π.

FOREWORD OF THE ORGANIZING COMMITTEE

It has been almost two years since Vassilios left us and not a moment goes by when he is not missed greatly by those who counted him as a colleague, co-worker and friend.

He is greatly missed from the lecture halls, as a teacher with deep knowledge and the passion to communicate it. He was an exceptional communicator who was substantial and charming; always polite, always with a warm smile.

He is greatly missed from the Laboratory, especially for his commitment to research, his imagination and his effective involvement in every situation. Working with him was always a journey of discovery and innovation.

He is greatly missed from the School, not only due to his kindness and wisdom, with which he handled several matters, but also because of his administrative expertise and experience, his clear mindedness and his commitment to making and pursuing the right choice in management, education, research and interpersonal relations.

He is greatly missed for his vision for education and research, his clear views and his generosity.

He was offered important positions, both within the National Technical University of Athens and in the public sector, as an acknowledgment of his personality, knowledge and skills. He always served these positions with diligence and strong leadership.

This Memorial volume contains in the first part a number of articles written for Vassilios from academics and public officials who knew him and worked with him in several positions; they refer to his studies, his academic career, his teaching, his research activities and his administrative work; they also highlight his devotion and his persistence to the improvement of higher education in Greece. It concludes with poems written for him by his beloved son and a number of selected photographs.

The second part includes scientific papers, submitted by numerous researchers, specially written for this volume in honor of Vassilios.

Whatever is said or written about Vassilios is truly insufficient to describe his scientific knowledge, his culture, the quality of his work, his ethos and his soul. For all of this, Vassilios is and will always be present in the minds and in the hearts of all of us.

Vassilios, through his personality and career, gave greatly of himself to people and education. This Memorial publication is a labor of love honoring his life and legacy.

S.A. Mavrakos, D. Pantelis, N. Tsouvalis

Professors, School of Naval Architecture and Marine Engineering, NTUA

ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ ΤΟΥ ΒΑΣΙΛΗ Ι. ΠΑΠΑΖΟΓΛΟΥ

Ο Καθηγητής Β. Παπάζογλου αποφοίτησε από τη Βαρβάκειο Πρότυπο Σχολή το 1970 και έλαβε το Δίπλωμα του Ναυπηγού Μηχανολόγου Μηχανικού από το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο το 1975. Στη συνέχεια, από το Τεχνολογικό Ινστιτούτο της Μασαχουσέτης (MIT) έλαβε το 1978 δύο μεταπτυχιακά διπλώματα, “SM in Naval Architecture and Marine Engineering” και “SM in Mechanical Engineering” και το Διδακτορικό του Δίπλωμα “PhD in Ocean Engineering” το 1981.

Υπήρξε Βοηθός Έρευνας και Διδασκαλίας (1975-1981), Μεταδιδακτορικός Ερευνητής (1981-1982) και Μηχανικός Έρευνας (1982-1983) στο Τμήμα “Ocean Engineering” του Τεχνολογικού Ινστιτούτου της Μασαχουσέτης (MIT). Διατέλεσε Τεχνικός Σύμβουλος σε διάφορες εταιρείες και κυβερνητικούς οργανισμούς των ΗΠΑ. (1978-1983) και σε διάφορες εταιρείες και κρατικούς φορείς της Ελλάδας (1985-2014). Υπηρέτησε τη θητεία του στο πολεμικό Ναυτικό (1984-1985). Στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο και συγκεκριμένα στο τότε Τμήμα νυν Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών εξελέγη Επίκουρος Καθηγητής (1985-1989), Αναπληρωτής Καθηγητής (1989-1994) και Καθηγητής (1994-2014). Υπήρξε Πρόεδρος της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του Ε.Μ.Π. (2003-2005 και 1995-1997), Διευθυντής του Τομέα Θαλασσίων Κατασκευών της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του Ε.Μ.Π. (2001-2003), Αντιπρόεδρος της Επιτροπής Ερευνών του Ε.Μ.Π. (1998-2004), μέλος της Συγκλητικής Επιτροπής προπτυχιακών του Ε.Μ.Π. (1994-1998) και Αντιπρόεδρος της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του Ε.Μ.Π. (1991-1993). Διετέλεσε, επίσης, Διευθυντής του Εργαστηρίου Ναυπηγικής Τεχνολογίας της εν λόγω Σχολής (1989-2006).

Διετέλεσε μέλος της Συντονιστικής Επιτροπής της Πρωτοβουλίας Πανεπιστημιακών για την Αναβάθμιση του Δημοσίου Πανεπιστημίου (2007-2014), ιδρυτικό μέλος του Παρατηρητηρίου Έρευνας και Διαλόγου για τα Ελληνικά Πανεπιστήμια (2008-2014), πρόεδρος του Συνδέσμου Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών (Σ.Ε.Α.Β., 1996-2010), μέλος της Ανεξάρτητης Αρχής Διασφάλισης της Ποιότητας στην Ανώτατη Εκπαίδευση (Α.ΔΙ.Π.) (2006-2010), μέλος της Επιτροπής του Εθνικού Συμβουλίου Παιδείας για την Πανεπιστημιακή Εκπαίδευση (Ε.ΣΥ.Π., 2005-2009), μέλος της Επιτροπής του Προέδρου της Δημοκρατίας για το Μέλλον της Έρευνας στην Ελλάδα (2007-2008), Γενικός Γραμματέας του Ελληνικού Ινστιτούτου Ναυτικής Τεχνολογίας (ΕΛ.Ι.Ν.Τ., 2002-2004) και Διευθύνων Σύμβουλος της Ελληνικής Εταιρείας Ανάπτυξης Ναυτικής Τεχνολογίας (Ε.Α.Ν.Τ. Α.Ε., 1998-2001). Το 2013 τού απονεμήθηκε ο τίτλος του Εταίρου (Fellow) του Συλλόγου Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών των ΗΠΑ (S.N.A.M.E.) για τη συνολική επαγγελματική συνεισφορά του στη Ναυπηγική.

Υπηρέτησε, επίσης, ως Ειδικός Γραμματέας Ανώτατης Εκπαίδευσης στο Υπουργείο Παιδείας Διά Βίου Μάθησης και Θρησκευμάτων (Νοεμ. 2009-Ιουλ. 2012).

Ο Β. Παπάζογλου υπήρξε ένας διεθνώς αναγνωρισμένος επιστήμονας, που είχε πολλά ακόμα να προσφέρει στο Ε.Μ.Π., στη Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, στο Εργαστήριο Ναυπηγικής Τεχνολογίας και γενικότερα στην Ανώτατη Εκπαίδευση στην Ελλάδα. «Εφυγε» δυστυχώς πολύ νωρίς από κοντά μας, στις 24 Απριλίου 2014.

ΜΕΛΟΣ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΩΝ ΕΝΩΣΕΩΝ

Society of Naval Architects and Marine Engineers
American Welding Society
American Society of Mechanical Engineers
Society for Experimental Mechanics

National Association of Corrosion Engineers
British Society for Strain Measurements
Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας
Ελληνικό Ινστιτούτο Τεχνολογίας Συγκολλήσεων
Ελληνικό Ινστιτούτο Ναυτικής Τεχνολογίας
Ελληνική Εταιρεία Σύνθετων Υλικών
Ελληνική Εταιρεία Μη Καταστροφικών Ελέγχων
Ελληνική Μεταλλουργική Εταιρεία

ΔΙΔΑΚΤΙΚΟ ΕΡΓΟ

Κατά τη διάρκεια της θητείας του στο Ε.Μ.Π., ο Β. Παπάζογλου ετοίμασε Πανεπιστημιακές Σημειώσεις και δίδαξε τα προπτυχιακά μαθήματα «Ναυπηγική Τεχνολογία και Εργαστήριο», «Επιστήμη και Τεχνική των Συγκολλήσεων», «Υγιεινή και Ασφάλεια στις Ναυπηγο-επισκευαστικές Εργασίες και Αξιοπιστία Θαλασσίων Κατασκευών», καθώς και τα μεταπτυχιακά μαθήματα «Υλικά Ναυπηγικών και Θαλασσίων Κατασκευών και Μέθοδοι Κατεργασίας», «Κατασκευαστικός Σχεδιασμός», «Συγκολλήσεις» και «Τεχνολογία Συγκολλητών Κατασκευών».

Επιπρόσθετα, επέβλεψε 161 Διπλωματικές Εργασίες προπτυχιακών σπουδαστών, 12 Διπλωματικές Εργασίες μεταπτυχιακών σπουδαστών και 4 Διδακτορικές Διατριβές.

ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΕΣ

Στο πλαίσιο ερευνητικών προγραμμάτων και προγραμμάτων παροχής υπηρεσιών, ο Β. Παπάζογλου συνεργάστηκε με τους παρακάτω οργανισμούς και εταιρείες:

Αθηναϊκή Ζυθοποιία ΑΕ, Anangel Shipping Enterprises SA, Άξων Ε.Π.Ε., Γενικό Επιτελείο Ναυτικού, Γενικό Επιτελείο Στρατού, Centro per gli Studi di Tecnica Navale (CETENA), Technical Centre for the Mechanical Industry (CETIM), Chalmers University, Constructions industrielles de la Méditerranée (CNIM), Διαχειριστής Εθνικού Συστήματος Φυσικού Αερίου Α.Ε., Δικηγορικό Γραφείο Τιμαγένη, Det Norske Veritas, Technical University of Denmark (DTU), Ελληνική Αναπτυξιακή Εταιρεία Α.Ε. (ΕΛ.ΑΝ.ΕΤ.), ELCO-Βαγιωνής Α.Ε., Ελληνικά Ναυπηγεία Α.Ε., Ελληνικό Κέντρο Θαλασσίων Ερευνών (ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε.), Ελληνικό Νηογνώμονα Α.Ε., ΕΡΓΟΝ Α.Ε.Β.Ε., Swiss Federal Institute of Technology (ETH Zurich), Εφετείο Αιγαίου, Fincantieri, Gaz de France (GDF), Θάλασσα ΑΕΒΕ, Θερμαντική Α.Ε., Helsinki University of Technology (HUT), Imperial College, Instituto Superior Técnico (IST), Kappa Marine Consultants Ltd, Laura Z Ναυτιλιακή Α.Ε., Lloyds Register, Massachusetts Institute of Technology (MIT), Ναυπηγικές & Βιομηχανικές Επιχειρήσεις Ελευσίνας Α.Ε., Νεώριον Νέα Ανώνυμη Εταιρεία Ναυπηγείων Σύρου, Odense Shipyards, Ολύμπικ Μαρίν Α.Ε., Οργανισμό Σιδηροδρόμων Ελλάδος Α.Ε., Πυροσβεστική Υπηρεσία Λαυρίου, British Multinational Defence Technology Company (QinetiQ), Registro Italiano Navale (RINA), Riso Laboratories, Τζάνειο Γενικό Νοσοκομείο Πειραιά, Netherlands Organisation for Applied Scientific Research (TNO), Technical University of Hamburg, TUV Hellas, Υπολιμεναρχείο Πάρου, Υπουργείο Γεωργίας, Υπουργείο Οικονομικών.

ΑΛΛΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ Β. ΠΑΠΑΖΟΓΛΟΥ

Πρόεδρος, Επιτροπή Προπτυχιακών Σπουδών, Τμήμα Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 1987-1998.

Μέλος, Επιτροπή Προπτυχιακών Σπουδών, Τμήμα Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 1998-2000.

Μέλος, Συγκλητική Επιτροπή Βιβλιοθήκης, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 1992-1994

Αντιπρόεδρος, Συγκλητική Επιτροπή Βιβλιοθήκης, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 1995-2001.

Μέλος, Συγκλητική Επιτροπή Προπτυχιακών Σπουδών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 1994-1998.

Μέλος, Συντακτική Επιτροπή Περιοδικού ΠΥΡΦΟΡΟΣ, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 1992-1995.

Μέλος, High Level Expert Group on Measurements and Testing (HLEG on M&T), Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1999-2003.

Μέλος, Editorial Board, Journal of Marine Structures, 1993-2000.

Εθνικός Εκπρόσωπος, International Ship and Offshore Structures Congress, 1988-2003.

Μέλος, Επιτροπή III.3 - Material and Fabrication Factors, International Ship and Offshore Structures Congress, 1988-1994 και 2006-2009.

Πρόεδρος, Επιτροπή V.1 - Quality Assurance for Marine Structures, International Ship and Offshore Structures Congress, 1994-1996.

Κριτής σε Διεθνή Επιστημονικά Περιοδικά, Συνέδρια και Προτάσεις Ερευνητικών Προγραμμάτων:

Welding Journal Research Supplement, Journal of Marine Structures, Computers and Structures, Engineering Fracture Mechanics, Journal of Materials Processing, Strain, Τεχνικά Χρονικά, COMP'90 Symposium on "Developments in Advanced Composites", IMAEM'90 Congress, ISOPE'91, ISOPE'92, ISOPE'93, ISOPE'94, ISOPE'95, ISOPE'96, ISOPE'97, ISOPE'98, International Conference on "Nautical Construction with Composite Materials", ICCM-9, First Joint Belgian-Hellenic Conference on Non Destructive Testing, OMAEM'98, IMAM 2002, IMDC '03, ECCM 11, Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας, Υπουργείο Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων, MIT Sea Grant Program, NATO Collaborative Research Grants.

Μέλος Διεθνούς Επιστημονικής Επιτροπής και Διεθνούς Οργανωτικής Επιτροπής, COMP'90 Symposium on "Developments in Advanced Composites", Patras, Greece, 1989-1990.

Μέλος Επιστημονικής Επιτροπής, IMAEM'90 Congress, Athens, Greece, 1989-1990.

Μέλος Διεθνούς Επιστημονικής Επιτροπής, International Conference on "Nautical Construction with Composite Materials", Paris, December 1992.

Μέλος Διεθνούς Επιστημονικής Επιτροπής, International Conference on Composite Materials, ICCM-9, Madrid, Spain, June 1993.

Μέλος Διεθνούς Επιστημονικής Επιτροπής, International Maritime Association of Mediterranean Congresses, IMAM'95, Dubrovnic, IMAM'97, Istanbul και IMAM 2002, Ρέθυμνο.

Μέλος Διεθνούς Οργανωτικής Επιτροπής για τα Διεθνή Συνέδρια ISOPE'91, ISOPE'92, ISOPE'93, ISOPE'94, ISOPE'95, ISOPE'96, ISOPE'97 και ISOPE'98, 1990-1998.

Μέλος Οργανωτικής Επιτροπής του Συνεδρίου "Investing in Europe's Human Research Potential", Ηράκλειο Κρήτης, 4-7 Οκτωβρίου 2000.

Μέλος Επιστημονικής Επιτροπής, International Conference on Shipping: Technology and Environment, Πειραιάς, 10-12 Σεπτεμβρίου 2001.

Μέλος Διεθνούς Επιστημονικής Επιτροπής, Charpy Centenary Conference – CCC2001, Poitiers, Γαλλία, 3-5 Οκτωβρίου 2001.

Μέλος Διεθνούς Οργανωτικής Επιτροπής, European Conference "Towards an Integrated Infrastructure for Measurements", Βαρσοβία, Πολωνία, 18-19 Ιουνίου 2002.

Μέλος Διεθνούς Επιστημονικής Επιτροπής και Οργανωτικής Επιτροπής, Eighth International Marine Design Conference, IMDC'03, Αθήνα, Μάιος 2003.

Μέλος Διεθνούς Επιστημονικής Επιτροπής, 5th International Symposium on Advanced Composites, COMP'03, Κέρκυρα, Μάιος 2003.

Πρόεδρος, 3rd International Conference on Emerging Technologies in Non-Destructive Testing, Θεσσαλονίκη, Μάιος 2003.

Μέλος Οργανωτικής Επιτροπής, 11th European Conference on Composite Materials, ECCM 11, Ρόδος, Μάιος-Ιούνιος 2004.

Πρόεδρος, 2ο Πανελλήνιο Συνέδριο Μεταλλικών Υλικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα, 25-26 Νοεμβρίου 2004.

Μέλος Διεθνούς Επιστημονικής Επιτροπής, COMP'07, Κέρκυρα, Μάιος 2007.

Μέλος Διεθνούς Οργανωτικής Επιτροπής, The International Conference on Structural Analysis of Advanced Materials (ICSAM 2007), Πάτρα, Σεπτέμβριος 2007.

Πρόεδρος, Ελληνικό Ινστιτούτο Τεχνολογίας Συγκολλήσεων, 1990-2000.

Εθνικός Εκπρόσωπος, Διεθνές Ινστιτούτο Συγκολλήσεων (I.I.W.), 1991-2000.

Πρόεδρος, Τεχνική Επιτροπή 71 “Συγκολλήσεις”, Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης (ΕΛ.Ο.Τ.), 1993-2000.

Μέλος, Ελληνική Επιτροπή του Registro Italiano Navale, 1991-2002.

Μέλος, Επιστημονική Επιτροπή Ελληνικού Νηογνώμονα, 2001-

Μέλος, Επιστημονική Επιτροπή Ειδικότητας Ναυπηγού Μηχανικού, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, 1997-2006.

ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΕΡΕΣ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ

- (1) Masubuchi, K., Papazoglou, V.J. and Nishida, M., “Prediction of Distortion and Residual Stresses in Welded Structures in Aluminum Alloys”, *Jn of the Light Metal Welding and Construction*, Vol. 15 (4), 1977, pp. 167-181.
- (2) Papazoglou, V.J. and Masubuchi, K., “Analysis and Control of Distortion in Welded Aluminum Structures”, *Welding Journal*, Vol. 57 (9), 1978, pp. 251s-262s.
- (3) Masubuchi, K. and Papazoglou, V.J., “Analysis and Control of Distortion in Welded Aluminum Structures”, *Transactions S.N.A.M.E.*, Vol. 86, 1978, pp. 77-100.
- (4) Masubuchi, K. and Papazoglou, V.J., “Current Trends in Welding Technology”, in *Proceedings, 1st Cairo Univ. Conference on Mechanical Design and Production*, Cairo, Egypt, Dec. 1979, Vol. 1, pp. N11.1-N11.10.
- (5) Papazoglou, V.J., “New Directions in Welding Research and Developments”, Closing Summary of an International Conference, MIT, Oct. 1979.
- (6) Masubuchi, K. and Papazoglou, V.J., “Thermal Strains and Residual Stresses in Heavy HY-130 Butt Welds”, in *Proceedings, 1980 Fall Meeting of the SESA*, Ft. Lauderdale, Florida, Oct. 1980, pp. 19-23.
- (7) Imakita, A., Papazoglou, V.J. and Masubuchi, K., “Annotated Bibliography on Numerical Analysis of Stresses, Strains and Other Effects due to Welding”, in *Proceedings, Annual Conference of the International Institute of Welding*, Document I.I.W. X-996-81, July 1981.
- (8) Masubuchi, K. and Papazoglou, V.J., “Automation in Underwater Welding”, in *Proceedings, BOSS'82 Conference*, Hemisphere Publishing Co., New York, 1982, Vol. 2, pp. 756-766.

Αποτίμηση της παραμένουσας απόθεσης ^{137}Cs στα Ελληνικά εδάφη στην αρχή της 3^{ης} δεκαετίας μετά το ατύχημα στο Chernobyl

Γ.Ν. Παπαδάκος, Δ.Ι. Καραγγελος, Π.Κ. Ρούνη, Ν.Π. Πετρόπουλος, Μ.Ι. Αναγνωστάκης, Ε.Π. Χίνης, Σ.Ε. Σιμόπουλος

Εργαστήριο Πυρηνικής Τεχνολογίας, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ

Το Εργαστήριο Πυρηνικής Τεχνολογίας του ΕΜΠ (ΕΠΤ-ΕΜΠ), αμέσως μετά το ατύχημα στο Chernobyl μέχρι σήμερα, παρακολουθεί και καταγράφει συστηματικά την παρουσία του ^{137}Cs , αλλά και άλλων ισοτόπων του ραδιενεργού νέφους, στο Ελληνικό έδαφος, όπως εξελίσσεται χρονικά εξαιτίας της αρχικής επιφανειακής απόθεσης τον Μάιο του 1986. Στο πλαίσιο αυτό διενεργούνται ανά χρονικά διαστήματα μετρήσεις πεδίου και δειγματοληψίες εδάφους, για τη διαπίστωση της παραμένουσας συγκέντρωσης του ^{137}Cs . Όπως αποτιμάται από μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν τις δύο δεκαετίες μετά το ατύχημα και των οποίων η επεξεργασία ολοκληρώθηκε πρόσφατα (2013), το ισότοπο αυτό, δεν προκύπτει ότι αποτελεί αξιόλογο παράγοντα κινδύνου λόγω εξωτερικής ακτινοβόλησης. Αυτό οφείλεται τόσο στην απομείωσή του, εξαιτίας διάσπασης, όσο και στην κατακόρυφη μετανάστευσή του στο βάθος. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των μετρήσεων, περίπου το 10% της συγκέντρωσης του ^{137}Cs εντοπίζεται πλέον στο πρώτο επιφανειακό εκατοστόμετρο εδάφους, με το σημαντικότερο ποσοστό να έχει μεταναστεύσει στα 3^ο-4^ο cm. Επιπλέον, το εκτιμώμενο μέγιστο βάθος διείσδυσής του δείχνει πως δεν υπάρχει πλέον κανένας κίνδυνος ραδιορύπανσης υπόγειων υδάτων. Γενικά, η έκθεση του μέσου Έλληνα σε εξωτερική ακτινοβόληση λόγω του ^{137}Cs στο έδαφος, κατά το διάστημα μετά το ατύχημα μέχρι σήμερα, μπορεί να χαρακτηριστεί χωρικά τοπική, χρονικά σημειακή και ποσοτικά πολύ χαμηλή, καθώς εκτιμάται ότι η συγκέντρωση του ^{137}Cs δεν παρέμεινε σε σημαντικά επίπεδα στο επιφανειακό έδαφος περισσότερο από δύο έτη μετά το ατύχημα.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

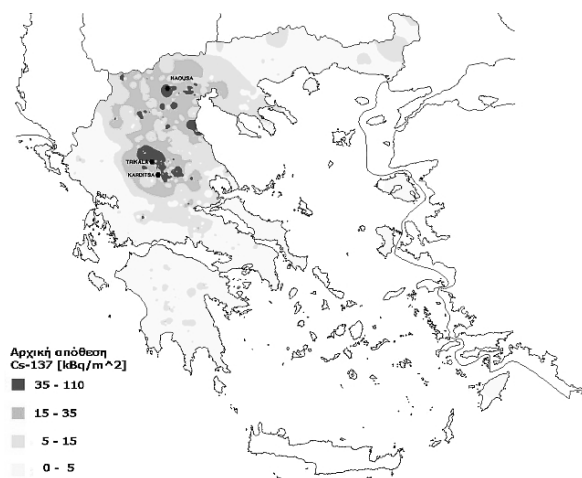
Ο σκοπός αυτής της εργασίας είναι η ποσοτική αποτίμηση της παραμένουσας απόθεσης ^{137}Cs στα Ελληνικά εδάφη στην αρχή της 3ης δεκαετίας μετά το ατύχημα στο Chernobyl και η κατ' αρχήν ποιοτική αξιολόγηση της συμβολής της στην εξωτερική ακτινοβόληση του Ελληνικού πληθυσμού. Υπενθυμίζεται ότι το ^{137}Cs είναι ισότοπο προϊόν σχάσεως του ^{235}U που ήταν η κυριότερη σχάσιμη συνιστώσα του πυρηνικού καυσίμου στον πυρηνικό αντιδραστήρα του Chernobyl, έχει χρόνο ημιζωής 30.2 έτη και από τη διάσπασή του παράγονται φωτόνια ενέργειας 662 keV. Η διαχρονική παρακολούθηση της παρουσίας του ^{137}Cs στο Ελληνικό έδαφος, εξαιτίας αυτού του ατυχήματος, πραγματοποιείται συστηματικά από το ΕΠΤ-ΕΜΠ με τακτικές δειγματοληψίες εδάφους και άλλες μετρήσεις πεδίου. Τα μέχρι σήμερα δεδομένα που έχουν συγκεντρωθεί συλλέχθηκαν σε τέσσερις διακριτές χρονικές περιόδους: (α) το 1986 άμεσα μετά το ατύχημα μέσω εκτεταμένης δειγματοληψίας περί των 1000 δειγμάτων επιφανειακού εδάφους, (β) το 1987 με σκοπό τη διεύρυνση και πύκνωση των δειγματοληψιών του έτους 1986 σε συγκεκριμένα σημεία ενδιαφέροντος με υψηλότερη αρχική επιφανειακή απόθεση, (γ) μεταξύ 1990 και 2000 με σκοπό τη διεύρυνση και πύκνωση των δειγματοληψιών των ετών 1986 και 1987 με κέντρο βάρους στην περιοχή της κεντρικής Μακεδονίας, όπως ορίζεται από τα σύνορα της χώρας και περίπου τον παράλληλο του βορείου πλάτους 40^ο και τον μεσημβρινό του ανατολικού μήκους 24^ο, και (δ) μεταξύ 2001 και 2007 με σκοπό την αποτύπωση των χαρακτηριστικών της κατακόρυφης μετανάστευσης του ^{137}Cs κατά βάθος. Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων των μετρήσεων των περιόδων (α)-(β) συμπεριλαμβανομένων χαρτογραφικών απεικονίσεων έχει δημοσιευθεί προοδευτικά από το ΕΠΤ-ΕΜΠ (Simopoulos 1989, Petropoulos et al 1996a, Petropoulos et al 1996b, Petropoulos et al 2001). Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων των περιόδων (γ) και (δ) αποτέλεσε μέρος της εργασίας που παρουσιάστηκε από τον Παπαδάκο (2012). Στα πλαίσια της επεξεργασίας αυτής έχουν εκτιμηθεί (1) η μορφή της κατακόρυφης κατανομής της απόθεσης του ^{137}Cs στο έδαφος, (2) το ενεργό βάθος διείσδυσης, (3) η αθροιστική απόθεση ^{137}Cs σε κατακόρυφη στήλη εδάφους απείρου βάθους - μοναδιαίας διατομής και (4) οι αβεβαιότητες των εκτιμήσεων αυτών (βλ. και Παπαδάκος et al 2014). Σε ευρωπαϊκή κλίμακα,

αντίστοιχα μεγέθη για την κατακόρυφη μετανάστευση του ^{137}Cs στο έδαφος έχουν διερευνηθεί και προσομοιωθεί σε αντίστοιχες εργασίες. Οι πρώτες σχετικές δημοσιεύσεις εμφανίστηκαν την περίοδο πέντε με δέκα έτη μετά το ατύχημα, ένα χρονικό διάστημα ικανό ώστε η κατακόρυφη μετανάστευση από την επιφάνεια να έχει αναπτυχθεί και να είναι δυνατόν να ανιχνευθεί (π.χ. Rühm et al 1996, Arapis et al 1997, Rühm et al 1997, Ivanov et al 1997 και πολλές άλλες). Σε δεύτερη φάση δημοσιεύθηκαν εργασίες που παρουσιάζουν δεδομένα και μοντέλα προσομοίωσης για το φαινόμενο όπως εξελίσσεται μετά από τα δέκα έτη (βλ. και Szerbin et al 1999, Krstić et al 2004, Bossew et al 2004a και 2004b και αλλού).

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται δεδομένα από δειγματοληψίες επιφανειακού εδάφους που απεικονίζουν την χρονική εξέλιξη της απομείωσης της παρουσίας του ^{137}Cs , τα οποία ανέδειξαν την ανάγκη λεπτομερούς διερεύνησης της κατακόρυφης μετανάστευσης του ισοτόπου αυτού σε αδιατάρακτα εδάφη της Ελληνικής Επικράτειας. Επιπλέον, αποτιμώνται τα χαρακτηριστικά της μετανάστευσης αυτής όπως προσδιορίστηκαν από τον Παπαδάκο (2012). Οι πληροφορίες αυτές συναξιολογούνται με παράλληλες μετρήσεις έντασης του πεδίου φωτονιακής ακτινοβολίας πάνω από το επιφανειακό έδαφος, ώστε να διερευνηθεί η συνεισφορά της παρουσίας του ^{137}Cs -όπως έχει κατακόρυφα κατανεμηθεί στην αρχή της 3ης δεκαετίας μετά το ατύχημα στο Chernobyl, στη διαμόρφωση των επιπέδων εξωτερικής ακτινοβολίας ατόμων, τα οποία στέκονται σε αυτό το έδαφος. Η συνεισφορά του ^{137}Cs στην εξωτερική ακτινοβολία είναι συνάρτηση της κατά βάθος κατανομής του ^{137}Cs στο έδαφος.

ΧΡΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΘΕΣΗΣ ^{137}Cs

Με δεδομένο ότι το ^{137}Cs έχει χρόνο ημιζωής της τάξης των 30 ετών, η απεικόνιση της επιφανειακής του απόθεσης διαχρονικά επιλέχθηκε με ημερομηνία αναφοράς την 1η Μαΐου 1986 για να εξασφαλίζεται η συγκρισιμότητα.



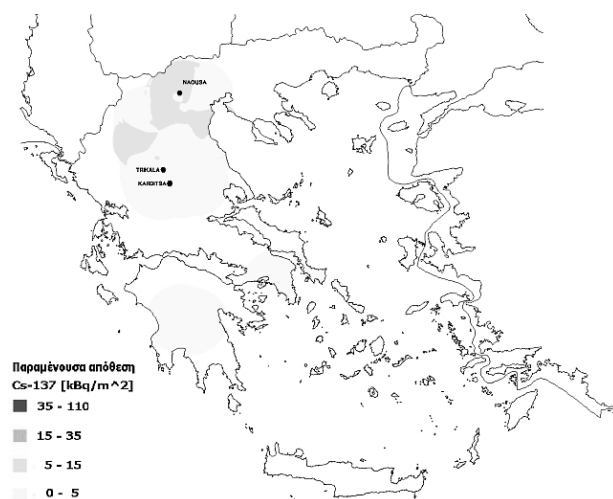
Σχ. 1: Χαρτογράφηση της επιφανειακής απόθεσης του ^{137}Cs στο Ελληνικό έδαφος κατά το έτος 1986

Στο Σχ. 1 δίνεται η χαρτογραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων της επιφανειακής απόθεσης του ^{137}Cs (δηλ. στο πρώτο εκατοστό βάθους) στο Ελληνικό έδαφος κατά την διακριτή χρονική περίοδο (α): 1986. Αυτή η χαρτογραφική απεικόνιση όπως παρουσιάστηκε από τον Petropoulos et al (2001) είναι όμοια με την αντίστοιχη που υπολογίστηκε με βάση τις ίδιες μετρήσεις από τον DeCort et al (1998). Η χαρτογράφηση της παραμένουσας απόθεσης του ^{137}Cs , σύμφωνα με τις δειγματοληψίες επιφανειακού εδάφους που διενεργήθηκαν τη διακριτή χρονική περίοδο (β): 1987, έδειξε παρόμοια επίπεδα απόθεσης με αυτά που αποτυπώθηκαν το έτος 1986 (Παπαδάκος 2012). Οι χαρτογραφήσεις των περιόδων (α) και (β) έδειξαν ότι η επιφανειακή απόθεση του ^{137}Cs είχε υψηλότερες τιμές στη Δυτική Θεσσαλία και στη Δυτική Μακεδονία. Η χαρτογράφηση της παραμένουσας απόθεσης του ^{137}Cs σύμφωνα με τις δειγματοληψίες επιφανειακού εδάφους που

διενεργήθηκαν με έμφαση στη Μακεδονία τη διακριτή χρονική περίοδο (γ): 1990-2000, δείχνει μια σημαντική μείωση των ποσοτήτων που ανιχνεύθηκαν στο επιφανειακό έδαφος κατά τις περιόδους (α) και (β) (Παπαδάκος 2012).

Στο Σχ. 2 δίνεται η χαρτογραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων της επιφανειακής απόθεσης του ^{137}Cs στο Ελληνικό έδαφος κατά την διακριτή χρονική περίοδο (δ): 2001-2007 (Παπαδάκος 2012) με έμφαση στις περιοχές της Δυτικής Θεσσαλίας και Δυτικής Μακεδονίας. Σε συνέχεια αυτού που είχε ήδη διαπιστωθεί από τις δειγματοληψίες της περιόδου (γ), σε αυτήν την απεικόνιση και συγκρίνοντας με την απεικόνιση της περιόδου (α) επιβεβαιώνεται η μεγάλη μείωση των ποσοτήτων ^{137}Cs που ανιχνεύθηκαν στο επιφανειακό έδαφος κατά τις περιόδους (α) και (β).

Οι μειώσεις της επιφανειακής απόθεσης του ^{137}Cs όπως διαπιστώθηκαν, είναι αναμενόμενες και σύμφωνες τόσο με την διεθνή έρευνα, όπως συνοψίστηκε στην εισαγωγή, όσο και με την παράλληλη αντίστοιχη προκαταρκτική έρευνα από άλλα Ελληνικά εργαστήρια (βλ. π.χ. και Antonopoulos-Domis et al 1995) και οφείλονται κατά κύριο λόγο στην κατακόρυφη μετανάστευση του ^{137}Cs σε βάθος μέσα στο έδαφος. Τα χαρακτηριστικά αυτής της κατακόρυφης μετανάστευσης, όπως δηλαδή η μορφή της κατακόρυφης κατανομής της απόθεσης του ^{137}Cs στο έδαφος, το ενεργό βάθος διείσδυσης, η αθροιστική απόθεση ^{137}Cs σε κατακόρυφη στήλη εδάφους απείρου βάθους - μοναδιαίας διατομής, διερευνήθηκαν το έτος 2007 με τη διοργάνωση δειγματοληψιών κυρίως στη Δ. Θεσσαλία και τη Δ. Μακεδονία, όπου οι παραμένουσες συγκεντρώσεις του ^{137}Cs ακόμη το επέτρεπαν, με έμφαση σε μία κατάλληλα σχεδιασμένη πολλαπλή επιφανειακή και κατά βάθος δειγματοληψία σε περιοχή της Δυτικής Θεσσαλίας.



Σχ. 2: Χαρτογράφηση της επιφανειακής απόθεσης του ^{137}Cs στο Ελληνικό έδαφος κατά τα έτη 2001-2007

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗΣ ΜΕΤΑΝΑΣΤΕΥΣΗΣ ^{137}Cs

Προκειμένου να διερευνηθούν τα χαρακτηριστικά της κατακόρυφης μετανάστευσης του ^{137}Cs στο Ελληνικό έδαφος, στο πλαίσιο των δειγματοληψιών εδάφους της περιόδου (δ), διενεργήθηκαν το 2007 δειγματοληψίες χώματος κυρίως από αδιατάρακτο έδαφος, επιφανειακά στο 1cm και σε βάθος έως 26cm σε βήματα βάθους 5cm, σε 14 διαφορετικές τοποθεσίες της Ελληνικής επικράτειας. Σε συγκεκριμένη τοποθεσία υψηλής αρχικής απόθεσης ^{137}Cs στη Δυτική Θεσσαλία (Μαυρομάτι, Καρδίτσα) οι δειγματοληψίες στην επιφάνεια του εδάφους και κατά βάθος έγιναν ακολουθώντας σχηματισμό κανάβου με πλευρές 60m και κόμβους ανά 20m -δηλ. συνολικά 16 τοπικά σημεία δειγματοληψίας, ενώ στις υπόλοιπες 13 τοποθεσίες, πραγματοποιήθηκαν επιφανειακές και κατά βάθος δειγματοληψίες σε μοναδικά σημεία. Σημειώνεται ότι η δειγματοληψία σε σχηματισμό κανάβου πραγματοποιήθηκε σε τοποθεσία υψηλής απόθεσης ώστε να παρατηρηθούν με στατιστική αξιοπιστία τα χαρακτηριστικά της μελετώμενης μετανάστευσης. Η επεξεργασία

των αποτελεσμάτων έδειξε ότι, όπως αναμένεται και από την βιβλιογραφία (βλ. π.χ. Dahm et al 2002) η απόθεση $I(x)$ του ^{137}Cs από το βάθος 0cm μέχρι και το βάθος x σε kBq m^{-2} είναι δυνατόν να ακολουθεί κατανομή μορφής Weibull κατά βάθος x , με παραμέτρους μορφής I_∞ , d και p , σύμφωνα με την εξίσωση:

$$I(x)/I_\infty = 1 - \exp(-d \cdot x^p) \quad (1)$$

όπου

I_∞ αποτελεί εκτίμηση της συνολικής απόθεσης του ^{137}Cs στην εξεταζόμενη στήλη εδάφους για θεωρητικά άπειρο βάθος, σε kBq m^{-2} .

Η αντίστοιχη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της κατανομής αυτής δίνεται από την παράγωγο της (1) ως προς x :

$$f(x) = d \left[I(x)/I_\infty \right] / dx = d \cdot p \cdot x^{(p-1)} \cdot e^{-dx^p} \quad (2)$$

Συνακόλουθα από την κατανομή αυτή μπορούν να προκύψουν και επιπλέον συμπεράσματα όπως: (α) το ενεργό βάθος διείσδυσης x_{eff} του ^{137}Cs , δηλαδή το βάθος έως το οποίο βρίσκεται το 99% της ραδιενέργειας του ^{137}Cs , και που σύμφωνα με τον Dahm et al (2002) μπορεί να υπολογίζεται ως:

$$x_{eff} = \left[-(1/d) \ln(0.01) \right]^{1/p} \quad (3)$$

και (β) το βάθος $x_{@max}$ στο οποίο προσδιορίζεται η μέγιστη τιμή της (2) δηλαδή η μέγιστη κατ' όγκο συγκέντρωση του ^{137}Cs . Η αντίστοιχη σχέση υπολογισμού προφανώς είναι η:

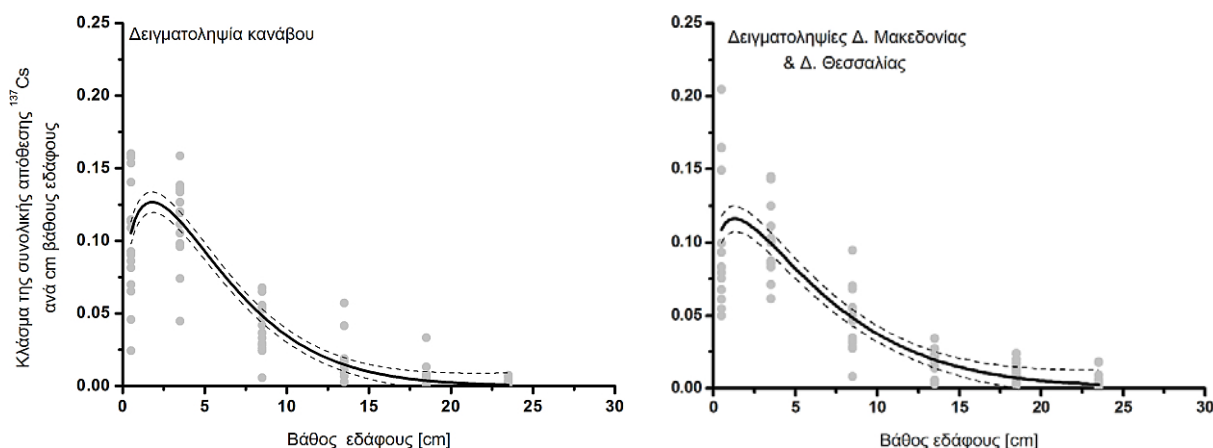
$$x \left| \frac{df(x)}{dx} \right|_{=0} = x_{@max} = \left[(p-1)/(d \cdot p) \right]^{1/p} \quad (4)$$

Ο Πίνακας 1 που ακολουθεί συνοψίζει τους αντίστοιχους υπολογισμούς.

Πίνακας. 1: Τιμές των χαρακτηριστικών κατακόρυφης μετανάστευσης του ^{137}Cs στο Ελληνικό έδαφος [(*) πιθανότερη τιμή 2cm, (**) πιθανότερη τιμή 1.5cm]

Χαρακτηριστικό μετανάστευσης ^{137}Cs	Δείγματα κανάβου	Δείγματα Δυτικής Θεσσαλίας & Δυτικής Μακεδονίας	Μονάδες
d	0.10±0.01	0.11±0.01	cm^{-p}
p	1.28±0.08	1.2±0.1	-
x_{eff}	19±3	24±5	cm
$x_{@max}$	<6*	<4**	cm

Στο Σχ. 3 αποδίδονται οι αντίστοιχες συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας των κατανομών του ^{137}Cs κατά βάθος στα Ελληνικά εδάφη που εξετάστηκαν, με βάση τα χαρακτηριστικά της κατακόρυφης μετανάστευσης που παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.



Σχ. 3: Κατανομή του ^{137}Cs κατά βάθος σε αδιατάρακτα Ελληνικά εδάφη που εξετάστηκαν (βλ. Πίνακα 1)

4. ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΗΣΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΠΟΘΕΣΗ ^{137}Cs

Η ποιοτική και ποσοτική διαπίστωση της εξωτερικής ακτινοβολήσης που οφείλεται στην παραμένουσα απόθεση του ^{137}Cs σε Ελληνικά εδάφη δεν είναι εύκολο να γίνει πειραματικά ούτε καν για εκείνα τα εδάφη όπως αυτά που εξετάστηκαν, τα οποία παρουσιάζουν ακόμα και σήμερα (2015) σχετικά σημαντική και εύκολα μετρήσιμη ραδιορρύπανση. Στα πλαίσια αυτής της εργασίας δοκιμάστηκαν για το σκοπό αυτό μετρήσεις του πεδίου φωτονίων που καταγράφεται σε απόσταση 1m πάνω από το επιφανειακό έδαφος της δειγματοληψίας κανάβου με τη χρήση φορητού ανιχνευτή Ιωδιούχου Νατρίου μέτρησης ολικής -γ ακτινοβολίας, διαστάσεων 2x2", τύπου 190-SI της εταιρείας κατασκευής VICTOREEN. Οι μετρήσεις έγιναν το 2007. Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων σε μονάδες δόσης nSv h^{-1} , σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα των δειγματοληψιών έδειξε ότι αυτού του είδους οι μετρήσεις για τα εδάφη που εξετάστηκαν, συσχετίζονται περισσότερο με τη συγκέντρωση του φυσικώς ραδιενεργού ισοτόπου ^{40}K στο έδαφος παρά με οτιδήποτε άλλο. Υπενθυμίζεται ότι το ^{40}K εκπέμπει φωτόνια ενέργειας 1461 keV, έναντι των 662 keV του ^{137}Cs και η μέση συγκέντρωσή του στο Ελληνικό έδαφος έχει εκτιμηθεί στα 355 Bq kg^{-1} (Anagnostakis et al 1996), έναντι μέσης συγκέντρωσης ^{137}Cs (το 1986) στο Ελληνικό επιφανειακό έδαφος ίσης με 1000 Bq kg^{-1} ^a. Η συγκέντρωση του ^{137}Cs που αναφέρεται έχει πλέον (το 2007) απομειωθεί κατά περίπου 40% λόγω ραδιενεργού διασπάσεως και, όπως γίνεται κατανοητό από την προηγούμενη 3^η ενότητα, έχει μεταναστεύσει ανομοιόμορφα κατά βάθος. Αντίθετα η κατανομή του ^{40}K κατά βάθος είναι στατιστικά σταθερή και δεν διαφέρει από την καταμετρούμενη συγκέντρωσή του στο επιφανειακό έδαφος.

Οι μετρήσεις του πεδίου φωτονίων επαναλήφθηκαν στην ίδια γεωμετρία, σε απόσταση 1m πάνω από το επιφανειακό έδαφος της δειγματοληψίας κανάβου, με τη χρήση φορητού ανιχνευτή γερμανίου τύπου Broad Energy Germanium (ή BEGe) της εταιρείας κατασκευής CANBERRA με παράθυρο από ανθρακονήματα και ημιαγωγό ενεργής διαμέτρου 70mm και πάχους 25mm. Με τη χρήση αυτής της "επί τόπου" (in-situ) τεχνικής απομονώθηκε η συνιστώσα της εξωτερικής ακτινοβολήσης που οφείλεται αποκλειστικά στο ^{137}Cs και μετρήθηκε σε μονάδες cps (counts per second ή γεγονότα λόγω διάσπασης ^{137}Cs που καταγράφονται ανά δευτερόλεπτο). Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων, σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα των δειγματοληψιών, έδειξε κατ' αρχήν ότι αυτού του είδους οι μετρήσεις για τα εδάφη που εξετάστηκαν, μπορούν να συσχετίζονται με την παραμένουσα απόθεση του ^{137}Cs στο έδαφος και ιδιαίτερα με εκείνη από το βάθος 0cm έως το βάθος x_{max} , η οποία είναι και η μεγαλύτερη. Οποσδήποτε υπάρχει συμβολή και από τα άλλα βάθη αλλά για τον ακριβή ολοκληρωτικό υπολογισμό της και τη λεπτομερή διερεύνηση της συσχέτισης πρέπει να

^a υπολογιζόμενης από τη μέση επιφανειακή απόθεση 10.0 kBq m^{-2} του ^{137}Cs το 1986 (Petrooulos et al 1996a) στο 1^ο εκατοστό του επιφανειακού εδάφους, με χρήση τυπικής πυκνότητας επιφανειακού εδάφους 1.0 g cm^{-3} .

ληφθούν υπόψη και: (α) η παραμένουσα απόθεση του ^{137}Cs σε συνάρτηση με το βάθος $A(x)$ σε Bq m^{-2} , (β) η πυκνότητα του εδάφους σε συνάρτηση με το βάθος $\rho(x)$ σε g cm^{-3} , (γ) ο μαζικός συντελεστής εξασθένησης φωτονίων ενέργειας 662 keV στο έδαφος όπως έχει εκτιμηθεί από τον Al Masri et al (2013) σε $\mu_p = 0.077 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$, και τέλος (δ) ο γραμμικός συντελεστής εξασθένησης φωτονίων ενέργειας 662 keV στο έδαφος σε συνάρτηση με το βάθος υπολογιζόμενος ως $\mu(x) = \mu_p \rho(x)$ σε cm^{-1} . Ποιοτικά μπορεί να αναφερθεί ότι, δεδομένου ότι η πυκνότητα του εδάφους είναι συνήθως μικρή στην επιφάνεια ($\sim 0.7 \text{ g cm}^{-3}$) και μπορεί να γίνει σταδιακά αρκετά μεγαλύτερη και σταθερή κάτω από το βάθος των 16 cm, με εύρος τιμών για τα Ελληνικά εδάφη από περίπου 1.5 έως περίπου 2.5 g cm^{-3} , η συμβολή στην εξωτερική ακτινοβολία εκείνου του ^{137}Cs που βρίσκεται σε βάθος μεγαλύτερο από 16 cm είναι μάλλον αμελητέα τόσο εξαιτίας του μεγαλύτερου πάχους υποδιπλασιασμού των φωτονίων ενέργειας 662 keV στο έδαφος σε αυτό το βάθος όσο και λόγω των χαμηλών συγκεντρώσεων που μετρώνται. Πάντως η λεπτομερής αυτή διερεύνηση όπως παρουσιάστηκε είναι αντικείμενο επόμενης αναλυτικής εργασίας.

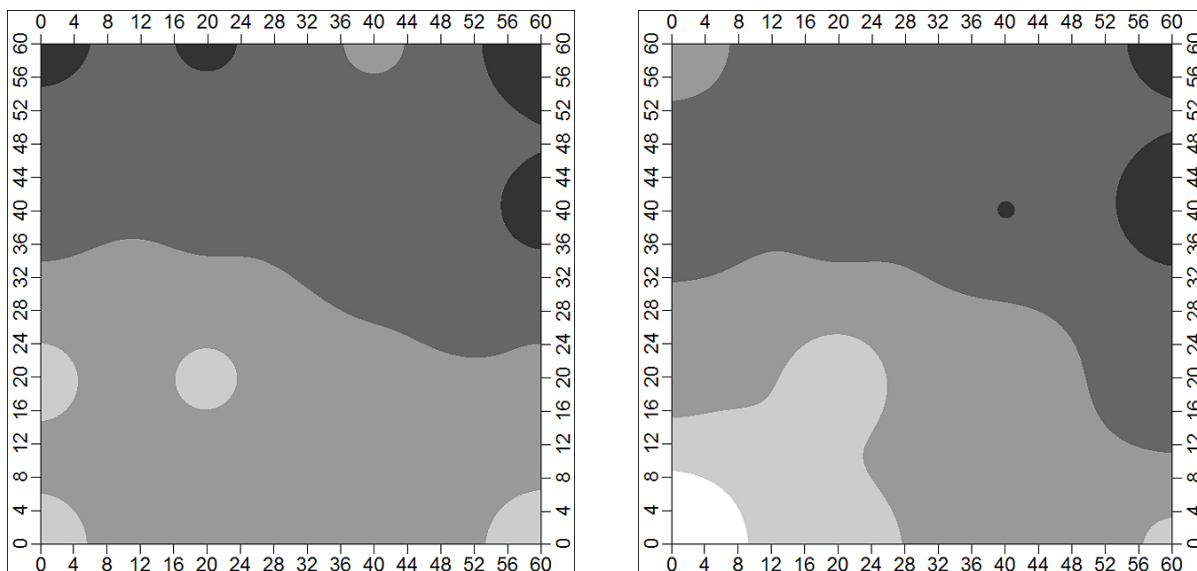
Οι δύο χαρτογραφικές απεικονίσεις στο Σχ. 4 αποδίδουν ποιοτικά τη συσχέτιση μετρούμενης δόσεως από το όργανο VICTOREEN (σε nSv h^{-1}) με την συγκέντρωση ^{40}K στο επιφανειακό έδαφος (σε Bq kg^{-1}), όπως προκύπτει για τη δειγματοληψία κανάβου. Οι χαρτογραφήσεις αυτές υπολογίστηκαν με το ελεύθερο λογισμικό SAGA v.2.1 και πραγματοποιήθηκαν με την ίδια μέθοδο παρεμβολής που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή των χαρτογραφικών απεικονίσεων του Σχ. 1 και του Σχ. 2, οι οποίες υπολογίστηκαν με λογισμικό που αναπτύχθηκε εξ' ολοκλήρου στο ΕΠΤ-ΕΜΠ. Δοκιμές έχουν δείξει ότι τόσο το λογισμικό SAGA, όσο και το λογισμικό του ΕΠΤ-ΕΜΠ αποδίδουν με τον ίδιο τρόπο τις χαρτογραφήσεις των Σχ. 1 και 2.

Οι δύο χαρτογραφικές απεικονίσεις στο Σχ. 5 αποδίδουν ποιοτικά τη συσχέτιση μετρούμενης εξωτερικής ακτινοβολίας από τον ανιχνευτή BEGe (σε cps) με την συγκέντρωση ^{137}Cs στο επιφανειακό έδαφος (σε kBq m^{-2}), όπως προκύπτει για τη δειγματοληψία κανάβου. Ομοίως, οι χαρτογραφήσεις αυτές υπολογίστηκαν με το ελεύθερο λογισμικό SAGA και πραγματοποιήθηκαν με την ίδια μέθοδο παρεμβολής που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή των χαρτογραφικών απεικονίσεων του Σχ. 1 και του Σχ. 2, οι οποίες υπολογίστηκαν με λογισμικό που αναπτύχθηκε εξ' ολοκλήρου στο ΕΠΤ-ΕΜΠ.

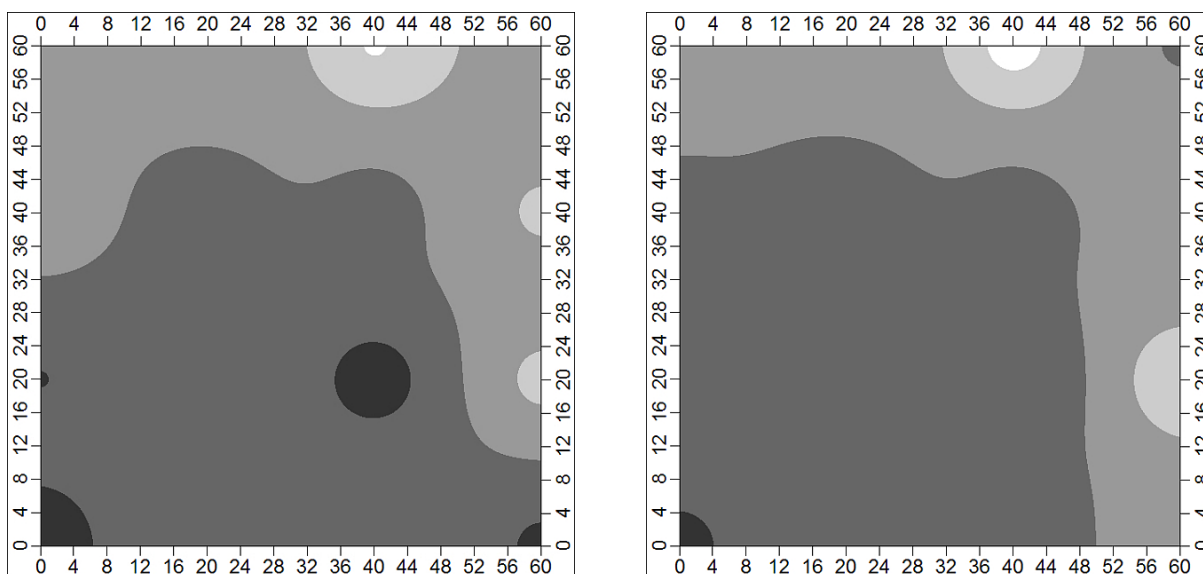
Για την κατανόηση των Σχημάτων 4 και 5 πρέπει να χρησιμοποιείται το υπόμνημα του Πίνακα 2.

Πίνακας. 2: Υπόμνημα κλάσεων για την εξήγηση των χαρτογραφικών απεικονίσεων των Σχ. 4 και 5

Χρωματικός κώδικας κλάσεων	Άνω όριο κλάσης	Σχ. 4	Σχ. 4	Σχ. 5	Σχ. 5
		(δόση σε nSv h^{-1}) Μέση τιμή 140 $\sigma = 5$	(^{40}K σε Bq kg^{-1}) Μέση τιμή 494 $\sigma = 94$	(cps ^{137}Cs) Μέση τιμή 3.2 $\sigma = 0.6$	(^{137}Cs σε kBq m^{-2}) Μέση τιμή 2.7 $\sigma = 0.6$
	Μέση τιμή + 3σ	150 - 155	682 - 776	4.4 - 5.0	3.9 - 4.5
	Μέση τιμή + 2σ	145 - 150	588 - 682	3.8 - 4.4	3.3 - 3.9
	Μέση τιμή + 1σ	140 - 145	494 - 588	3.2 - 3.8	2.7 - 3.3
	Μέση τιμή	135 - 140	400 - 494	2.6 - 3.2	2.1 - 2.7
	Μέση τιμή - 1σ	130 - 135	306 - 399	2.0 - 2.6	1.5 - 2.1
	Μέση τιμή - 2σ	< 130	< 306	< 2.0	< 1.5



Σχ. 4: Κατ' αρχήν ποιοτική συσχέτιση των μετρήσεων δόσης (nSv h^{-1}) με ανιχνευτή μέτρησης ολικής γ ακτινοβολίας (χάρτης αριστερά) με την συγκέντρωση του ^{40}K (Bq kg^{-1}) στο επιφανειακό έδαφος κανάβου διαστάσεων 60x60m (χάρτης δεξιά), σύμφωνα και με το υπόμνημα του Πίνακα 2.



Σχ. 5: Κατ' αρχήν ποιοτική συσχέτιση των μετρήσεων εξωτερικής ακτινοβολίας λόγω ^{137}Cs (cps) in-situ με ανιχνευτή τύπου BEGe (χάρτης αριστερά) με την παραμένουσα απόθεση του ^{137}Cs (kBq m^{-2}) στο επιφανειακό έδαφος κανάβου διαστάσεων 60x60m (χάρτης δεξιά), σύμφωνα και με το υπόμνημα του Πίνακα 2.

ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στην 3^η ενότητα δείχνουν ότι πράγματι το ^{137}Cs των Ελληνικών εδαφών στην αρχή της τρίτης δεκαετίας μετά το ατύχημα στο Chernobyl έχει πλέον αρχίσει να μεταναστεύει συστηματικά κατακόρυφα. Ειδικότερα, όπως διακρίνεται και στο Σχ. 3, το μεγαλύτερο ποσοστό, δηλ. έως 40-50% φαίνεται να παραμένει στα πρώτα 5cm βάθους εδάφους, μολονότι την στιγμή της δειγματοληψίας είχαν ήδη περάσει είκοσι έτη από την αρχική απόθεση. Τα χαρακτηριστικά μεγέθη της μετανάστευσης αυτής αποδίδουν το στιγμιότυπο της κατανομής του ^{137}Cs κατά βάθος κατ' αρχήν για τα αδιάτάρακτα Ελληνικά εδάφη που εξετάστηκαν κατά το έτος 2007. Οι τιμές των χαρακτηριστικών της μετανάστευσης (d , p , x_{eff} και x_{max}) και ιδιαίτερα της παραμέτρου d , αναμένεται να είναι διαφορετικές από αυτές που υπολογίστηκαν, αν οι δειγματοληψίες επαναληφθούν σε επόμενο χρονικό διάστημα, π.χ. σε δέκα έτη μετά το 2007. Με άλλα λόγια μπορεί να θεωρηθεί ότι $d =$

$d(t)$, $x_{eff} = x_{eff}(t)$ και $x_{@max} = x_{@max}(t)$. Η εξάρτηση από το χρόνο είναι φυσική και αναμενόμενη διότι το ενεργό βάθος διείσδυσης x_{eff} του ^{137}Cs αλλά και το βάθος $x_{@max}$ αυξάνονται με το χρόνο με πρακτικό αποτέλεσμα η τιμή της παραμέτρου d να μειώνεται αντίστοιχα (βλ. και τις σχέσεις 3 και 4). Ποιοτικά μπορεί να αναφερθεί ότι (βλ. και Μπιλάλη 2007), η ανάλυση δεδομένων δειγματοληψιών κατά βάθος, που πραγματοποιήθηκαν από τον Ivanov et al (1997) σε εδάφη της ζώνης αποκλεισμού στο Chernobyl, σε εκείνη την περιοχή κατά μέσο όρο η παράμετρος d στα πρώτα επτά έτη μετά το ατύχημα είχε την τιμή 0.9 ± 0.5 , που ισοδυναμεί με διείσδυση σαφώς μικρότερη από εκείνη που παρατηρείται στα Ελληνικά εδάφη που ερευνήθηκαν, είκοσι και πλέον έτη μετά το ατύχημα ($d = 0.10 \pm 0.01$). Στην ίδια ποιοτική ανάλυση της Μπιλάλη (2007) διαπιστώθηκε ότι κατά μέσο όρο η παράμετρος p στα πρώτα επτά έτη μετά το ατύχημα στην ζώνη αποκλεισμού στο Chernobyl είχε την τιμή 1.1 ± 0.5 , που είναι στατιστικά ίση με αυτή που παρατηρείται στα Ελληνικά εδάφη που ερευνήθηκαν, είκοσι και πλέον έτη μετά το ατύχημα. Το Σχ. 3, τουλάχιστον σε ό,τι αφορά το μέγεθος $x_{@max}$, βρίσκεται σε καλή συμφωνία με τις προβλέψεις που έδωσε ο Ivanov et al (1997) για εδάφη της ζώνης αποκλεισμού στο Chernobyl για το έτος 2010, αξιοποιώντας τις δειγματοληψίες του των ετών 1987 έως και 1993. Αντίθετα, το Σχ. 3 δεν συμφωνεί καλά με τις ίδιες προβλέψεις σε ό,τι αφορά στο μέγεθος x_{eff} στην ουρά της κατανομής για το ίδιο χρονικό σημείο αναφοράς. Πιο συγκεκριμένα, στον Ivanov et al (1997) υποεκτιμάται το μέγεθος x_{eff} περίπου στο μισό, παρόλο που τα εδάφη στο Chernobyl σε σχέση με τα Ελληνικά, προσβάλλονται πολύ περισσότερο από νετό που αναμένεται να ενισχύει τα φαινόμενα κατακόρυφης μετανάστευσης του ^{137}Cs . Η αιτία για την πρώτη συμφωνία για το $x_{@max}$ και την απόκλιση για το x_{eff} μάλλον βρίσκεται στο ότι η μοντελοποίηση που χρησιμοποιείται συνήθως εκτιμά τη "φαινόμενη" ταχύτητα κατακόρυφης μετανάστευσης ή αλλιώς τον φαινόμενο συντελεστή Darcy ν σε cm ανά έτος, η οποία αποδίδει κυρίως την αργή ταχύτητα μετακίνησης εδαφοχημικά αδιάλυτων ενώσεων του ^{137}Cs κατακόρυφα μέσω διήθησης (percolation), που αποτελούν και το μεγαλύτερο ποσοστό των ενώσεων του ^{137}Cs , και δευτερευόντως τη μεγαλύτερη ταχύτητα μετακίνησης των εδαφοχημικά διαλυτών ενώσεων του ^{137}Cs κατακόρυφα μέσω διάχυσης (diffusion). Σημειώνεται ότι στις εδαφοχημικά αδιάλυτες ενώσεις του ^{137}Cs συμπεριλαμβάνονται και μεγάλου διαμερισμού σωματίδια της απόθεσης με ^{137}Cs , τα λεγόμενα "hot particles". Η φαινόμενη ταχύτητα μετανάστευσης επομένως είναι στην ουσία η ταχύτητα του ^{137}Cs που διηθείται και αποδίδει την ταχύτητα βύθισης του μεγέθους $x_{@max}$. Σύμφωνα με επεξεργασία δεδομένων από διάφορα εδάφη που έγινε προκαταρκτικά από την Μπιλάλη (2007) αλλά και συμπληρωματικά στην παρούσα εργασία με βάση δειγματοληψίες των Ivanov et al (1997), Szerbin et al (1999), Krstić et al (2004) και Bossew et al (2004a, 2004b), η ταχύτητα βύθισης του $x_{@max}$ είναι έντονη αμέσως μετά την απόθεση στην περιοχή του $0.5 \pm 0.05 \text{ cm a}^{-1}$, ενώ με την πάροδο του χρόνου απομειώνεται εκθετικά μέχρι και περίπου $0.10 \pm 0.03 \text{ cm a}^{-1}$ ακολουθώντας το μοντέλο:

$$\nu(t) = a \cdot e^{-t/b} + c \quad (5)$$

όπου t ο χρόνος σε έτη (a), $a = 1.1 \pm 0.3 \text{ cm a}^{-1}$, $b = 1.9 \pm 0.6 \text{ a}$ και $c = 0.10 \pm 0.03 \text{ cm a}^{-1}$ και ο συντελεστής συσχέτισης εκτιμάται σε 0.92.

Στην παρούσα εργασία η μέση ταχύτητα βύθισης του $x_{@max}$ μεταξύ του 1986 και του 2007 εκτιμάται σε καλή συμφωνία με τα παραπάνω καθώς, όπως σημειώθηκε, και με τον Ivanov et al (1997), ως:

$$\bar{\nu}_{1986}^{2007} \approx \frac{\Delta x_{@max}}{\Delta t} \Big|_{1986}^{2007} \approx \frac{x_{@max}|_{2007} - x_{@max}|_{1986}}{\sim 2007 - 1986} = \frac{1.5 \text{ cm} - 0 \text{ cm}}{21} = 0.07 \text{ cm a}^{-1}$$

όπου το μέγεθος $x_{@max}|_{2007}$ εκτιμήθηκε χονδρικά με βάση τον Πίνακα 1.

Διαπιστώνεται στην παρούσα εργασία ότι η ταχύτητα βύθισης του x_{eff} είναι πολύ μεγαλύτερη από εκείνη του $x_{@max}$, πράγμα που συνήθως αγνοείται από την βιβλιογραφία (βλ. και την σύγκριση με τον Ivanov et al 1997, που ήδη αναφέρθηκε). Η αιτία βρίσκεται στο ότι η ταχύτητα βύθισης του μεγέθους x_{eff} είναι στην ουσία η ταχύτητα του χημικά διαλυτού ^{137}Cs και του ^{137}Cs που είναι σε λεπτό διαμερισμό και τα οποία διαχέονται προς το βάθος ευκολότερα από το χημικά αδιάλυτο και τα hot particles. Η μέση ταχύτητα βύθισης του x_{eff} μεταξύ του 1986 και του 2007 εκτιμάται ως:

$$\Delta x_{eff} / \Delta t \Big|_{1986}^{2007} \approx \frac{x_{eff} \Big|_{2007} - x_{eff} \Big|_{1986}}{\sim 2007 - 1986} = \frac{24(\pm 5)\text{cm} - 0\text{cm}}{21} \approx 1.1 \pm 0.2 \text{cm a}^{-1}$$

Φυσικά, τόσο η μέση ταχύτητα βύθισης του $x_{@max}$ όσο και εκείνη του x_{eff} εξεταζόμενες σε άλλες προγενέστερες ή μεταγενέστερες χρονικές στιγμές δυνατόν να είναι διαφορετικές. Κύρια αιτία για αυτό είναι η σταδιακή μετατροπή του αδιάλυτου ^{137}Cs σε διαλυτό και η ενίσχυση του φαινομένου της διάχυσης. Σημειώνεται επιπλέον ότι, οι τιμές των χαρακτηριστικών της μετανάστευσης που διαπιστώθηκαν στην δειγματοληψία κανάβου και στη δειγματοληψία της Δυτικής Θεσσαλίας & Δυτικής Μακεδονίας συνολικότερα, δεν διαφέρουν στατιστικά σημαντικά και δείχνουν ότι τουλάχιστον για αυτές τις περιοχές οι τοπικές και διαφορετικές ιδιότητες του εδάφους καθώς και τυχόν διαφορές στη μέση βροχόπτωσης δεν φαίνεται να επηρεάζουν το φαινόμενο της κατά βάθος μετανάστευσης του ^{137}Cs στο έδαφος.

Τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στην 4^η ενότητα δείχνουν ότι, τουλάχιστον για τα εδάφη που εξετάστηκαν, η δόση που συνεπάγεται η εξωτερική ακτινοβολήση οφείλεται περισσότερο στο υπάρχον στο έδαφος φυσικό ραδιενεργό ισότοπο του ^{40}K , παρά στο παραμένον ^{137}Cs . Ενδεικτικές αλλά όχι τόσο συστηματικές δειγματοληψίες που πραγματοποιήθηκαν και σε άλλα εδάφη από τον Παπαδάκο (2012) επιβεβαιώνουν ότι αυτό το συμπέρασμα είναι ευρύτερο και ισχύει γενικότερα στην Ελληνική επικράτεια και πρέπει να αποδοθεί σε δύο αιτίες: (α) στην απομείωση του ^{137}Cs λόγω ραδιενεργού διάσπασης και (β) στην κατά βάθος μετανάστευσή του, τα χαρακτηριστικά της οποίας παρουσιάστηκαν στην 3^η ενότητα και αναλύθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους. Η κατ' αρχήν αποτίμηση της δόσης από το ^{137}Cs που αποτέθηκε επιφανειακά στα Ελληνικά εδάφη το 1986 λόγω του ατυχήματος στο Chernobyl εκτιμήθηκε σε περίπου 9mSv για 40 έτη έκθεσης, με βάση το χειρότερο σενάριο έκθεσης (Petrooulos et al 1996a). Η εκτίμηση αυτή έγινε με τον κώδικα υπολογισμών PABLM (Napier et al 1980) και τα βασικά στοιχεία του χειρότερου σεναρίου αφορούν άτομο που κατοικεί επί 40 έτη σε περιοχή με μεσαία (median) επιφανειακή απόθεση ^{137}Cs ίση με 110 kBq m⁻², εργάζεται σε ανοιχτό χώρο στην ίδια περιοχή και τρέφεται με τρόφιμα που παράγονται στην ίδια περιοχή. Το εξεταζόμενο άτομο επομένως ακτινοβολείται εξωτερικά από το περιβάλλον και εσωτερικά από τις μολυσμένες τροφές και το μολυσμένο νερό. Η δόση που υπολογίζεται είναι πολύ μικρότερη από τη δόση των 80mSv που κατά μέσο όρο λαμβάνει σε 40 έτη ένα άτομο του πλανήτη από όλες τις πηγές ραδιενέργειας σε αυτόν (δηλ. 2mSv ανά έτος). Παρόλα αυτά ακόμα και αυτή η μικρή δόση των 9 mSv, όπως υπολογίστηκε από τον κώδικα PABLM είναι ήδη υπερτιμημένη διότι για το σενάριο αυτό και τον τρόπο που εκτελείται ο κώδικας, οι τροφές και το νερό θεωρούνται πάντοτε μολυσμένες με ^{137}Cs , πράγμα που δεν ισχύει, ενώ το έδαφος θεωρείται πάντοτε επιφανειακά ρυπασμένο με ^{137}Cs και αγνοείται εντελώς η κατακόρυφη μετανάστευσή του. Αυτό φυσικά που λαμβάνεται κανονικά υπόψη είναι ότι το ^{137}Cs απομειώνεται λόγω ραδιενεργών διασπάσεων. Συμπερασματικά, η έκθεση του μέσου Έλληνα σε εξωτερική ακτινοβολήση λόγω του ^{137}Cs στο έδαφος, κατά το διάστημα μετά το ατύχημα μέχρι σήμερα, μπορεί να χαρακτηριστεί: (α) χωρικά τοπική και αφορά μόνο τις ελάχιστες περιοχές του χάρτη στο Σχ. 1 όπου η αρχική απόθεση ήταν υψηλότερη, (β) χρονικά σημειακή διότι η κατακόρυφη μετανάστευση του ^{137}Cs που αποτέθηκε επιφανειακά ξεκίνησε άμεσα και συνακόλουθα συνέβαλε στην ελάττωση της έκθεσης, και (γ) ποσοτικά πολύ χαμηλή, καθώς εκτιμάται ότι η συγκέντρωση του ^{137}Cs δεν

παρέμεινε σε σημαντικά επίπεδα στις τροφές περισσότερο από ένα έτος μετά το ατύχημα και στο επιφανειακό έδαφος περισσότερο από δύο έτη μετά το ατύχημα.

Αναφορές

- Al-Masri, M.S., Hasan, M., Al-Hamwi A., Amin, Y., Doubal A.W. (2013). 'Mass attenuation coefficients of soil and sediment samples using gamma energies from 46.5 to 1332 keV'. *Journal of Environmental Radioactivity* 116, pp. 28-33.
- Anagnostakis, M.J., Hiniš, E.P., Simopoulos, S.E., Angelopoulos, M.G. (1996). 'Natural radioactivity mapping of Greek surface soils'. *Environment International*, 22, Suppl.1, pp. S3-S8.
- Antonopoulos-Domis, M., Clouvas, A., Hiladakis, A., Kadi, S. (1995). 'Radiocesium distribution in undisturbed soil: measurements and diffusion – advection model'. *Health Physics* 69(6), pp. 949-953.
- Arapis, G.D., Karandinos, M.G. (2004). 'Migration of ^{137}Cs in the soil of sloping semi-natural ecosystems in Northern Greece'. *Journal of Environmental Radioactivity* 77, pp. 133-142.
- Bossey, P., Gastberger, M., Gohla, H., Hofer, P., Hubner A. (2004a), 'Vertical distribution of radionuclides in soil of the grassland site in Chernobyl exclusion zone'. *Journal of Environmental Radioactivity* 73: pp. 87-99.
- Bossey, P., Kirchner, G. (2004b) 'Modelling the vertical distribution of radionuclides in soil. Part 1: the convection – dispersion equation revisited'. *Journal of Environmental Radioactivity* 73, pp. 127-150.
- Dahm, H., Niemeyer, J., Schröder, D. (2002). 'Application of the Weibull distribution to describe the vertical distribution of cesium-137 on a slope under permanent pasture in Luxembourg'. *Journal of Environmental Radioactivity* 63(3), pp. 207-219.
- De Cort, M., Dubois, G., Fridman, S., Germenchuk, M., Izrael, Y., Janssens, A., Jones, A., Kelly, G., Kvasnikova, E., Matveenko, I., Nazarov, I., Pokumeiko, Y., Sitak, V., Stukin, E., Tabachny, L., Tsaturov, Y., Avdyushin, S. (1998). 'Atlas of Caesium deposition on Europe after the Chernobyl accident'. EC/CIS collaborative programme of research on the consequences of the Chernobyl NPP accident'. Luxembourg, Office for official publications of the European Communities. ISBN: 92-828-3140-X.
- Ivanov, Y.A., Lewyckij, N., Levchuk, S.E., Prister, B.S., Firsakova, S.K., Arkhipov, N.P., Arkhipov, A.N., Kruglov, S.V., Alexakxin, R.M., Sandalls, J., Askbrant, S. (1997). 'Migration of ^{137}Cs and ^{90}Sr from Chernobyl fallout in Ukrainian, Belarussian and Russian soils'. *Journal of Environmental Radioactivity* 35, pp. 1-21.
- Krstić, D., Nikezić, D., Stevanović, N., Jelić, M. (2004). 'Vertical profile of ^{137}Cs in soil'. *Applied Radiation and Isotopes* 61, pp. 1487-1492.
- Μπιλάλη, Γ. (2007). 'Κριτική ανασκόπηση μοντέλων κατακόρυφης μετανάστευσης του Cs-137 στο έδαφος'. Διπλωματική Εργασία, Τομέας Πυρηνικής Τεχνολογίας, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα.
- Napier, B.A., Kennedy, W.E. Jr., Soldat, J.K. (1980). PABLM - A computer program to calculate accumulated radiation doses from radionuclides in the environment'. PNL-3209 UC-70 Report. Richland, WA: Pacific Northwest Laboratories.
- Παπαδάκος, Γ. (2012). 'Στοχαστικές διαδικασίες και συνακόλουθες ποσοτικές και ποιοτικές εκτιμήσεις ραδιοπεριβαλλοντικών επιπτώσεων σε πληθυσμιακές ομάδες στον Ελληνικό χώρο', Διδακτορική Διατριβή, Τομέας Πυρηνικής Τεχνολογίας, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα.
- Παπαδάκος, Γ.Ν., Καραγγελο, Δ.Ι., Πετρόπουλος, Ν.Π., Χίνης, Ε.Π., Αναγνωστάκης, Μ.Ι., Σιμόπουλος, Σ.Ε. (2014). 'Αβεβαιότητα στην εκτίμηση της παραμένουσας ραδιενέργειας ^{137}Cs στο έδαφος μετά την απόθεση λόγω πυρηνικού ατυχήματος'. 5^ο Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας, Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών, Αθήνα.
- Petropoulos, N., Hiniš, E., Simopoulos, S. (1996a). ' ^{137}Cs Chernobyl fallout in Greece and its associated radiological impact'. *Environment International*, 22, Suppl.1, pp. S369-S373.
- Petropoulos, N.P., Anagnostakis, M.J., Hiniš, E.P., Simopoulos, S.E. (1996b). 'Geographical mapping and associated fractal analysis of the long-lived Chernobyl fallout isotopes in Greece'. *Proceedings of the 1st Yugoslav Nuclear Society Conference*, Belgrade, Serbia.
- Petropoulos, N., Anagnostakis, M., Hiniš, E., Simopoulos, S. (2001). 'Geographical mapping and associated fractal analysis of the long-lived Chernobyl fallout radionuclides in Greece'. *Journal of Environmental Radioactivity* 53, pp. 59-66.
- Rühm, W., Kammerer, L., Hiersche, L., Wirth, E. (1996). 'Migration of ^{137}Cs and ^{134}Cs in different forest soil layers'. *Journal of Environmental Radioactivity* 33, pp. 63-75.
- Simopoulos, S.E. (1989). 'Soil sampling and ^{137}Cs Analysis of the Chernobyl Fallout in Greece'. *Applied Radiation and Isotopes* 40(7), pp. 607-613.
- Szerbin, P., Koblinger-Bokori, E., Koblinger, L., Vegvari, I., Urgon, A. (1999). 'Caesium-137 migration in Hungarian soils'. *The Science of the Total Environment* 227, pp. 215-227.