



## Ετήσια έκθεση προόδου PhD

Ευάγγελος Μπάτρης (Δ.Μ.Β.2102), Νοέμβριος 2023

Τίτλος: **Βιοσυμβατές καινοτόμες τεχνολογίες για τη μείωση των δυσμενών επιπτώσεων στην υγεία λόγω του ραδονίου και των θυγατρικών του σε εσωτερικούς χώρους (αρ. απόφασης 22/29-11-2021 )**

Επιβλέπων Καθηγητής: Ιωάννης Βαλαής

Συμβουλευτική Επιτροπή: Ιωάννης Βαλαής, Κωνσταντίνος Μουστρής, Δημήτριος Νικολόπουλος

### Αρχικοί ερευνητικοί στόχοι

1. Ανασκόπηση των συγχρόνων μεθόδων καταπολέμησης του ραδονίου και των θυγατρικών του και των ευρέως γνωστών μοντέλων αλληλεπίδρασης εσωτερικού αέρα – ραδονίου.
2. Ανασκόπηση εναλλακτικών, βιοσυμβατών υλικών και χημικών συνθέσεων που αναμένεται να δεσμεύουν ή να απορροφούν το ραδόνιο και τα θυγατρικά του σε σημαντικό βαθμό.
3. Παραγωγή νέου μοντέλου ή εξέλιξη ή χρήση κατάλληλων υφιστάμενων μοντέλων, για την πρόβλεψη της απορρόφησης ραδονίου και θυγατρικών από τέτοια υλικά.
4. Δημιουργία δεσμών μεταξύ της έρευνας και ευρύτερων ακαδημαϊκών ή κοινοτικών προγραμμάτων για τη μείωση των δυσμενών επιπτώσεων του ραδονίου και άλλων καρκινογόνων ουσιών στην υγεία. Επίσης, θα ήταν επιθυμητή η σύνδεση με μεγαλύτερα μοντέλα ποιότητας του αέρα, υγείας και ασφάλειας, ή ακόμη και τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην ανθρώπινη άνεση και εργασία.

### Περιγραφή προόδου για το έτος 2023

Συνεχίζεται η ανασκόπηση της διεθνούς βιβλιογραφίας σχετικά με τις ιδιότητες του ραδονίου και των θυγατρικών του, καθώς και του ισοτόπου του, του Θορονίου, τα οποία καθορίζουν την έκθεση των ανθρώπων σε φυσικής προέλευσης ραδιενέργεια στους εσωτερικούς χώρους [1–5]. Μελετήθηκαν οι κύριες πηγές του ραδονίου [3,6–8] και οι ιδιαίτερες ιδιότητες του Θορονίου που το καθιστούν σημαντικό κατά την εκτίμηση του κινδύνου από την έκθεση σε ραδόνιο και θυγατρικά σε εσωτερικούς χώρους [5,9–12]. Η έκθεση αυτή προκαλεί καρκίνο του πνεύμονα [4,8,13–16], αλλά πρόσφατες έρευνες δείχνουν ότι μπορεί να συνδέεται και με άλλες σοβαρές ασθένειες [6,17–19].

Το ραδόνιο και τα θυγατρικά του ισότοπα, όπως το Θορόνιο, εισέρχονται στον ανθρώπινο οργανισμό διαμέσου της αναπνοής. Έχουν σοβαρές επιπτώσεις στον πνευμονικό ιστό, οι οποίες οφείλονται κυρίως στα θυγατρικά του ραδονίου, παρά στο ίδιο το ραδόνιο, αφού ο σχετικά μεγάλος χρόνος ημιζωής του συνεπάγεται πολύ μικρή συμμετοχή στη ραδιενεργό ακτινοβολία του επιθηλίου κατά τη διάρκεια του κύκλου της αναπνοής. Αυτά τα θυγατρικά, όταν εισπνέονται μαζί με τον αέρα, επικάθονται στο πνευμονικό επιθήλιο, διασπώνται μέσα στους πνεύμονες και εκπέμπουν σωματίδια άλφα, τα οποία και μπορεί να προκαλέσουν βλάβες στις ευαίσθητες κυψελίδες του πνεύμονα. Η ακριβής επιβλαβής επίδρασή τους ορίζεται κυρίως από τη μορφή και το μέγεθος που λαμβάνουν τα προϊόντα των διασπάσεων [3,4,6,20].

Οι κύριες πρακτικές καταπολέμησης των κινδύνων από ραδόνιο στους εσωτερικούς χώρους είναι ο εξαερισμός και η μόνωση [3,4,21]. Βάσει αυτής της μελέτης δημοσιεύτηκε ανασκόπηση των διακυμάνσεων και των επιπτώσεων του ραδονίου στο συνέδριο COMECAP23 του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής [22].

Έχουν πραγματοποιηθεί έρευνες για τη συγκέντρωση του ραδονίου διεθνώς – ενδεικτικά [23] και στη χώρα μας– ενδεικτικά [1,24–26], ενώ βρίσκεται σε εξέλιξη το εθνικό σχέδιο δράσης για την αντιμετώπιση των μακροπρόθεσμων κινδύνων από την έκθεση στο ραδόνιο [21], στο πλαίσιο του οποίου χαρτογραφείται η συγκέντρωση ραδονίου στη χώρα με παθητικές μεθόδους. Η συνεχής παρακολούθηση της συγκέντρωσης ραδονίου δεν είναι πάντα εύκολη. Αναπτύσσονται στρατηγικές για την εκτίμηση του κινδύνου από το ραδόνιο βάσει δεικτών (ενδεικτικά [27–29], των συντελεστών ισορροπίας του ραδονίου και των αντίστοιχων συντελεστών ισοδύναμης δόσης [30]. Πλήθος ερευνών δείχνει ότι για την ορθή εκτίμηση των δεικτών αυτών πρέπει να ληφθεί υπόψη η ημερήσια, εποχιακή και χωρική διακύμανση της συγκέντρωσης του ραδονίου – ενδεικτικά [31,32] και μάλιστα η διακύμανση εντός των κτηρίων – ενδεικτικά [1,33].

Με βάση τα παραπάνω και το σχεδιασμό του έτους 2022, αναπτύχθηκε ένα δίκτυο σχολείων (SINDAIR – [sindair.blogspot.com](http://sindair.blogspot.com)) για την παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα και του ραδονίου σε περιοχές ενδιαφέροντος, σύμφωνα με τον Εθνικό Χάρτη Ραδονίου. Η πιλοτική φάση της έρευνας ολοκληρώθηκε σε περιοχές προτεραιότητας του ΕΣΧΕΔΡΑ (Βόρεια και νησιωτική Ελλάδα) και τα αποτελέσματα δείχνουν ότι υπάρχει μεγάλη διακύμανση του ραδονίου όχι μόνο από περιοχή σε περιοχή, αλλά και μεταξύ αιθουσών του ίδιου σχολείου, κυρίως σε υπόγεια χωρίς καλό εξαερισμό. Μάλιστα, ένας μαθητής που φοιτά σε αυτές τις αίθουσες εκτιμάται ότι λαμβάνει ετήσια συνολική ενεργό δόση από όλες τις πηγές που τον περιβάλλουν κοντά στην τιμή αναφοράς (1 mSv), κάτι που πρέπει να αντιμετωπιστεί. Τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα της πιλοτικής φάσης δημοσιεύτηκαν στο πλαίσιο του COMECAP23 [34] ενώ μια εκδοχή τους εμπλουτισμένη με μεταγενέστερα αποτελέσματα παρουσιάστηκε (e-poster) στο 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Φυσικών Επιστημών στην Υγεία - Καινοτομίες και Προοπτικές, όπως παρουσιάζεται στην επόμενη παράγραφο.

Κατά την παρούσα περίοδο διερευνάται σε μεγαλύτερο βάθος η βιβλιογραφία και έχουν γίνει συζητήσεις με εταιρείες στο χώρο της τεχνολογίας που ενδιαφέρονται να συνεργαστούν για την ανάπτυξη του σχολικού δικτύου SINDAIR, αλλά και στο γενικότερο αντικείμενο του διδακτορικού.

#### Ερευνητική δραστηριότητα με συμμετοχή σε επιστημονικά περιοδικά και συνέδρια

- 1) **E. Batris**, D. Nikolopoulos, I. Valais, K. Moustiris. Radon Assessment: An Overview of Concentration Variability and Synergies with Other Health Risk Factors in Indoor Air. *Environ. Sci. Proc.* 2023, 26, 115. <https://doi.org/10.3390/environsciproc2023026115>
- 2) **E. Batris**, D. Nikolopoulos, I. Valais, K. Moustiris. Radon Assessment: An Overview of Concentration Variability and Synergies with Other Health Risk Factors in Indoor Air. [16th International Conference on Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics \(COMECAP23\)](https://www.comecap2023.gr/wp-content/uploads/simple-file-list/Radon-Assessment_-_An-Overview-of-Concentration-Variability-and-Synergies-with-Other-Health-Risk-Factors-in-Indoor-Air.pdf), e-poster ([https://www.comecap2023.gr/wp-content/uploads/simple-file-list/Radon-Assessment -An-Overview-of-Concentration-Variability-and-Synergies-with-Other-Health-Risk-Factors-in-Indoor-Air.pdf](https://www.comecap2023.gr/wp-content/uploads/simple-file-list/Radon-Assessment_-_An-Overview-of-Concentration-Variability-and-Synergies-with-Other-Health-Risk-Factors-in-Indoor-Air.pdf) ), 25-29 Σεπτ. 2023, Πα.Δ.Α.
- 3) **E. Batris**, E. Georgaki, D. Nikolopoulos, I. Valais, K. Moustiris. S.Ind.Ai.R.—School Network for Indoor Air Quality and Radon: An Innovative Platform for the Flexible Development of Indoor Environment Research Projects in Greek Schools. *Environ. Sci. Proc.* 2023, 26, 80. <https://doi.org/10.3390/environsciproc2023026080>
- 4) **E. Batris**, E. Georgaki, D. Nikolopoulos, I. Valais, K. Moustiris. S.Ind.Ai.R.—School Network for Indoor Air Quality and Radon: An Innovative Platform for the Flexible Development of Indoor Environment Research Projects in Greek Schools. [16th International Conference on Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics \(COMECAP23\)](https://www.comecap2023.gr/wp-content/uploads/simple-file-list/Radon-Assessment_-_An-Overview-of-Concentration-Variability-and-Synergies-with-Other-Health-Risk-Factors-in-Indoor-Air.pdf), e-poster (

loads/simple-file-list/S\_Ind\_Ai\_R\_-%E2%80%93School-Network-for-Indoor-Air-Quality-and-Radon\_-An-Innovative-Platform-for-the-Flexible-Development-of-Indoor-Environment-Research-Projects-in-Gre.pdf), 25-29 Σεπτ. 2023, Πα.Δ.Α.

- 5) **Ευάγγελος Μπάτρης**, Ευαγγελία Γεωργάκη, Χρήστος Μιχαήλ, Γεώργιος Φούντος, Δημήτρης Νικολόπουλος, Ιωάννης Βαλαής και Κωνσταντίνος Μουστρής. Πιλοτικές Μετρήσεις Ραδονίου σε Σχολικές Μονάδες του Σχολικού Δικτύου S.Ind.Ai.R. για την Έρευνα της Ποιότητας του Αέρα Εσωτερικών Χώρων στα Σχολεία. 1<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο Φυσικών Επιστημών στην Υγεία: Καινοτομίες & Προοπτικές, e-poster ([https://pshi2023.medical-physics.eu/wp-content/uploads/2023/09/P\\_3\\_1.pdf](https://pshi2023.medical-physics.eu/wp-content/uploads/2023/09/P_3_1.pdf)), 22-23 Σεπτ. 2023 Πολεμικό Μουσείο Αθηνών. (<https://pshi2023.medical-physics.eu/>)

## Βιβλιογραφία

1. Clouvas, A.; Xanthos, S.; Takoudis, G. Indoor Radon Levels in Greek Schools. *Journal of Environmental Radioactivity* **2011**, *102*, 881–885, doi:10.1016/J.JENVRAD.2011.05.001.
2. Paquet, F.; Bailey, M.R.; Leggett, R.W.; Lipsztein, J.; Marsh, J.; Fell, T.P.; Smith, T.; Nosske, D.; Eckerman, K.F.; Berkovski, V.; et al. *Annals of the ICRP Occupational Intakes of Radionuclides: Part 3*;
3. Appleton, J.D. Radon in Air and Water. In *Essentials of medical geology: Revised edition*; Selinus, O., Ed.; Springer Netherlands: Dordrecht, 2013; pp. 239–277 ISBN 978-94-007-4375-5.
4. World Health Organization *WHO Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective*; World Health Organization, 2009; ISBN ISBN 978 92 4 154767 3.
5. Hosoda, M.; Kudo, H.; Iwaoka, K.; Yamada, R.; Suzuki, T.; Tamakuma, Y.; Tokonami, S. Characteristic of Thoron (220Rn) in Environment. *Applied Radiation and Isotopes* **2017**, *120*, 7–10, doi:10.1016/J.APRA-DISO.2016.11.014.
6. Nayak, T.; Basak, S.; Deb, A.; Dhal, P.K. A Systematic Review on Groundwater Radon Distribution with Human Health Consequences and Probable Mitigation Strategy. *Journal of Environmental Radioactivity* **2022**, *247*, 106852, doi:10.1016/J.JENVRAD.2022.106852.
7. Nazaroff, W.W. Radon Transport From Soil to Air. **1992**, doi:10.1029/92RG00055.
8. Nunes, L.J.R.; Curado, A.; Da Graça, L.C.C.; Soares, S.; Lopes, S.I. Impacts of Indoor Radon on Health: A Comprehensive Review on Causes, Assessment and Remediation Strategies. **2022**, doi:10.3390/ijerph19073929.
9. Bineng, G.S.; Saïdou; Tokonami, S.; Hosoda, M.; Tchuenta Siaka, Y.F.; Issa, H.; Suzuki, T.; Kudo, H.; Bouba, O. The Importance of Direct Progeny Measurements for Correct Estimation of Effective Dose Due to Radon and Thoron. *Front. Public Health* **2020**, *8*, 17, doi:10.3389/fpubh.2020.00017.
10. Steinhäusler, F.; Hofmann, W.; Lettner, H. Thoron Exposure of Man: A Negligible Issue? *Radiation protection dosimetry* **1994**, 127–131.
11. Tokonami, S. Why Is 220Rn (Thoron) Measurement Important? *Radiation Protection Dosimetry* **2010**, *141*, 335–339, doi:10.1093/RPD/NCQ246.
12. Tokonami, S. Characteristics of Thoron (220Rn) and Its Progeny in the Indoor Environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health* **2020**, *17*, doi:10.3390/ijerph17238769.
13. Field, R. Radon: An Overview of Health Effects. *Encyclopedia of environmental health* **2019**, 467–475.
14. Lee, M.E.; Lichtenstein, E.; Andrews, J.A.; Glasgow, R.E.; Hampson, S.E. Radon-Smoking Synergy: A Population-Based Behavioral Risk Reduction Approach. *Preventive medicine* **1999**, *29*, 222–227.
15. Riudavets, M.; Garcia de Herreros, M.; Besse, B.; Mezquita, L. Radon and Lung Cancer: Current Trends and Future Perspectives. *Cancers* **2022**, *14*, 3142, doi:10.3390/cancers14133142.
16. Sethi, T.K.; El-Ghamry, M.N.; Kloecker, G.H. Radon and Lung Cancer. *Clin Adv Hematol Oncol* **2012**, *10*, 157–164.
17. Auvinen, A.; Salonen, L.; Pekkanen, J.; Pukkala, E.; Ilus, T.; Kurttio, P. Radon and Other Natural Radionuclides in Drinking Water and Risk of Stomach Cancer: A Case-Cohort Study in Finland. *International Journal of Cancer* **2005**, *114*, 109–113, doi:10.1002/IJC.20680.
18. Palmer, J.D.; Prasad, R.N.; Cioffi, G.; Kruchtko, C.; Zaorsky, N.G.; Trifiletti, D.M.; Gondi, V.; Brown, P.D.; Perlow, H.K.; Mishra, M.V.; et al. Exposure to Radon and Heavy Particulate Pollution and Incidence of Brain Tumors. *Neuro-Oncology* **2023**, *25*, 407–417, doi:10.1093/neuonc/noac163.

19. Zoran, M.A.; Savastru, R.S.; Savastru, D.M.; Tautan, M.N. Impacts of Exposure to Air Pollution, Radon and Climate Drivers on the COVID-19 Pandemic in Bucharest, Romania: A Time Series Study. *Environmental Research* **2022**, *212*, 113437, doi:10.1016/J.ENVRES.2022.113437.
20. Hinrichs, A.; Fournier, C.; Kraft, G.; Maier, A. Radon Progeny Adsorption on Facial Masks. *International Journal of Environmental Research and Public Health* **2022**, *19*, doi:10.3390/ijerph191811337.
21. ΕΕΑΕ Υ.Α. 43374/2020 (ΦΕΚ 1881 Β 18/05/2020) - ΕΣΧΕΔΡΑ: Εθνικό σχέδιο δράσης για την αντιμετώπιση των μακροπρόθεσμων κινδύνων από την έκθεση στο ραδόνιο.;
22. Batris, E.; Nikolopoulos, D.; Valais, I.; Moustris, K. Radon Assessment: An Overview of Concentration Variability and Synergies with Other Health Risk Factors in Indoor Air. *Environmental Sciences Proceedings* **2023**, *26*, 115.
23. Charles, M. UNSCEAR Report 2000: Sources and Effects of Ionizing Radiation. **2001**.
24. Clouvas, A.; Xanthos, S.; Antonopoulos-Domis, M. Pilot Study of Indoor Radon in Greek Workplaces. *Radiation protection dosimetry* **2007**, *124*, 68–74.
25. Geranios, A.; Nikolopoulos, D.; Louizi, A.; Karatzi, A. Multiple Radon Survey in Spa of Loutra Edipsou (Greece). *Radiation protection dosimetry* **2004**, *112*, 251–258.
26. Nikolopoulos, D.; Louizi, A.; Koukouliou, V.; Serefoglou, A.; Georgiou, E.; Ntalles, K.; Proukakis, C. Radon Survey in Greece—Risk Assessment. *Journal of Environmental Radioactivity* **2002**, *63*, 173–186, doi:10.1016/S0265-931X(02)00026-7.
27. Lopes, S.I.; Nunes, L.J.R.; Curado, A. Designing an Indoor Radon Risk Exposure Indicator (IRREI): An Evaluation Tool for Risk Management and Communication in the IoT Age. *International Journal of Environmental Research and Public Health* **2021**, *18*, doi:10.3390/ijerph18157907.
28. Mancini, S.; Vilnitis, M.; Guida, M. A Novel Strategy for the Assessment of Radon Risk Based on Indicators. *International Journal of Environmental Research and Public Health* **2021**, *18*, 8089, doi:https://doi.org/10.3390/ijerph18158089.
29. Petermann, E.; Bossew, P. Mapping Indoor Radon Hazard in Germany: The Geogenic Component. *Science of The Total Environment* **2021**, *780*, 146601, doi:10.1016/J.SCITOTENV.2021.146601.
30. Chen, J.; Harley, N.H. A Review of Indoor and Outdoor Radon Equilibrium Factors—Part I: 222Rn. *Health physics* **2018**, *115*, 490–499, doi:10.1097/HP.0000000000000909.
31. Madas, B.G.; Boei, J.; Fenske, N.; Hofmann, W.; Mezquita, L. Effects of Spatial Variation in Dose Delivery: What Can We Learn from Radon-Related Lung Cancer Studies? *Radiat Environ Biophys* **2022**, doi:10.1007/s00411-022-00998-y.
32. Seftelis, I.; Nicolaou, G.; Trassanidis, S.; Tsagas, F.N. Diurnal Variation of Radon Progeny. *Journal of Environmental Radioactivity* **2007**, *97*, 116–123, doi:10.1016/j.jenvrad.2007.03.007.
33. Kubiak, J.A.; Basińska, M. Analysis of the Radon Concentration in Selected Rooms of Buildings in Poznan County. *Atmosphere* **2022**, *13*, 1664, doi:https://doi.org/10.3390/atmos13101664.
34. Batris, E.; Georgaki, E.; Nikolopoulos, D.; Valais, I.; Moustris, K. S. Ind. Ai. R. — School Network for Indoor Air Quality and Radon: An Innovative Platform for the Flexible Development of Indoor Environment Research Projects in Greek Schools. *Environmental Sciences Proceedings* **2023**, *26*, 80.

## ΤΑ ΜΕΛΗ ΤΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ

Ιωάννης Βαλαής

Κωνσταντίνος Μουστρής

Δημήτριος Νικολόπουλος