

Ε.Μ.ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Τομέας Πυρηνικής Τεχνολογίας

**ΓΕΩΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ
ΡΑΔΟΝΙΟΥ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΚΑΤΟΙΚΙΩΝ ΣΤΗΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ
ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΥ Θ. ΜΟΙΡΑ

Σπουδαστού της σχολής
Μηχανολόγων Μηχανικών Ε.Μ.Π.

Επίβλεψη: Ε.Π. Χίνης, Επίκ. Καθηγητής ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ 2008

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος	5
1. Εισαγωγή	6
1.1 Σκοπός της Δ.Ε.	6
1.2 Κεφάλαιο 2	6
1.3 Κεφάλαιο 3	7
1.4 Κεφάλαιο 4	7
1.5 Κεφάλαιο 5	7
1.6 Κεφάλαιο 6	8
1.7 Κεφάλαιο 7	8
1.8 Παραρτήματα.....	8
2. Το αέριο ραδόνιο	9
2.1 Το αέριο ραδόνιο και τα προϊόντα διάσπασης.....	9
2.2 Ιστορική αναδρομή	11
2.2.1 Παλαιότερη ιστορία (1470-1945)	11
2.2.2 Περίοδος 1946-1969	12
2.2.3 Δεκαετία 1970.....	14
2.2.4 Δεκαετία του 1980	15
2.2.5 Δεκαετία του 1990	17
2.3 Οι επιπτώσεις του ραδονίου στην υγεία – Καρκίνος του πνεύμονα.....	19
2.4 Τρόποι μείωσης ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους.....	22
2.5 Πηγές ραδονίου.....	25
2.5.1 Είσοδος ραδονίου στην ατμόσφαιρα.....	25
2.5.2 Είσοδος ραδονίου μέσα στα κτίρια.....	30
2.6 Συγκεντρώσεις ραδονίου στον αέρα.....	38
2.6.1 Συγκεντρώσεις ραδονίου σε εξωτερικούς χώρους.....	38
2.6.2 Συγκεντρώσεις ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους	40
2.7 Συστάσεις από Διεθνείς Οργανισμούς για το ραδόνιο	44
2.7.1 Ελληνικοί κανονισμοί ακτινοπροστασίας για τα επίπεδα ραδονίου στους χώρους εργασίας	44
2.8 Μετρολογία ραδονίου	45
2.8.1 Τεχνικές ανίχνευσης ραδονίου.....	46

2.8.2	Παθητικοί ανιχνευτές ιχνών α – σωματιδίων (ATDs: Alpha Track Detectors).....	47
2.8.3	Διαδικασία μέτρησης με παθητικούς ανιχνευτές ιχνών.....	47
2.8.4	Μετρήσεις βαθμονόμησης	49
3.	Προετοιμασία των δεδομένων	67
3.1	Εισαγωγή	67
3.2	Συλλογή των απαραίτητων δεδομένων.....	68
3.2.1	Αριθμητικός μέσος συγκεντρώσεων ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους.....	68
3.2.2	Γεωγραφικές συντεταγμένες και υψόμετρα.....	69
3.3	Εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την συλλογή των γεωγραφικών δεδομένων	70
3.3.1	Χάρτες σε ψηφιακή μορφή	70
3.3.2	Χάρτες σε έντυπη μορφή	73
3.4	Διαδικασία εύρεσης των γεωγραφικών δεδομένων.....	74
3.4.1	Η πρώτη προσέγγιση.....	74
3.4.2	Η δεύτερη προσέγγιση	74
3.5	Στοιχεία Γεωδαισίας	75
3.5.1	Το αντικείμενο της Γεωδαισίας	75
3.5.2	Το ελλειψοειδές μοντέλο της Γης- Ελλειψοειδές Εκ Περιστροφής (ΕΕΠ).....	76
3.5.3	Το γήινο ΕΕΠ (ΓΕΕΠ).....	76
3.5.4	Το γεωδαιτικό ΕΕΠ (γΕΕΠ)	77
3.5.5	Προσαρμογή των γΕΕΠ στο ΓΕΕΠ	77
3.5.6	Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΓΣΑ)	78
3.5.6.1	Το γεωδαιτικό Datum	78
3.5.6.2	Το Ευρωπαϊκό Datum ED 50	79
3.5.6.3	Το Διεθνές WGS 84.....	80
3.6	Μετατροπή γεωγραφικών συντεταγμένων από το WGS 84 στο ED 50	82
3.7	Αξιολόγηση των λογισμικών πακέτων που χρησιμοποιήθηκαν για την συλλογή των γεωγραφικών δεδομένων και της μετατροπής του ΓΣΑ στο οποίο αναφέρονται	84
3.7.1	Σύγκριση MS Autoroute και Toponavigator.....	84

3.7.2	Αξιολόγηση του Toponavigator.....	84
3.7.3	Αξιολόγηση του προγράμματος μετατροπής CoordTrans.....	86
3.8	Εύρεση γεωγραφικών συντεταγμένων και υψομέτρων ολόκληρης της ελληνικής επικράτειας.....	87
4.	Τεχνικές απεικόνισης συγκεντρώσεων ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους.....	114
4.1	Εισαγωγή.....	114
4.2	Μέθοδοι χαρτογράφησης – Τεχνικές που έχουν εφαρμοστεί στο Ηνωμένο Βασίλειο.....	114
4.3	Γεωστατιστικές απεικονίσεις συγκεντρώσεων ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους (ανάλυση fractal - Παρούσα ΔΕ).....	120
4.4	Η μέθοδος του Krige (Kriging).....	123
4.4.1	Παραδείγματα χαρτογράφησης ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους με χρήση kriging.....	127
5.	Εφαρμογή της θεωρίας των Fractals στην ανάλυση συγκεντρώσεων ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους στο γεωγραφικό διαμέρισμα της Πελοποννήσου.....	136
5.1	Εισαγωγή.....	136
5.2	Σημεία δειγματοληψίας.....	136
5.3	Υπολογισμός της διάστασης fractal.....	137
5.4	Μέθοδος αξιολόγησης αποτελεσμάτων ανάλυσης fractal.....	138
5.5	Αποτελέσματα fractal ανάλυσης δειγματοληψίας στην Πελοπόννησο.....	139
5.6	Σχήματα με χάραξη των καμπυλών $\langle n(L) \rangle = f(L)$	140
5.7	Σχόλια - Συμπεράσματα.....	141
6.	Γεωστατιστικές απεικονίσεις ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους.....	148
6.1	Εισαγωγή.....	148
6.2	Προσδιορισμός κλάσεων.....	149
6.3	Αλγόριθμος παρεμβολής για την εκτίμηση της συγκέντρωσης ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους.....	150
6.4	Μέθοδος γεωστατιστικών απεικονίσεων.....	151
6.4.1	Χαρακτηριστικά των χρησιμοποιούμενων H/Y.....	151
6.4.2	Μέθοδος υπολογισμού των απεικονίσεων.....	152
6.4.3	Μέθοδος χάραξης απεικόνισης.....	154

6.5	Απεικονίσεις συγκεντρώσεων ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους στο γεωγραφικό διαμέρισμα της Πελοποννήσου	155
6.6	Σύγκριση απεικονίσεων στο χάρτη.....	155
6.6.1	Σύγκριση χαρτών Ra-226 - Ραδονίου	157
6.7	Οπτική σύγκριση χαρτών ^{226}Ra και ^{222}Rn με χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας και σεισμοτεκτονικό χάρτη	158
7.	Επίλογος - Συμπεράσματα.....	171
	Παράρτημα Α	175
	Παράρτημα Β	190
	Παράρτημα Γ	196
	Παράρτημα Δ.....	199
	Παράρτημα Ε	204
	Βιβλιογραφία	213

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η χαρτογράφηση των συγκεντρώσεων ραδονίου οι οποίες μετρήθηκαν σε εσωτερικούς χώρους κατοικιών στο γεωγραφικό διαμέρισμα της Πελοποννήσου. Η ανάδειξη των περιοχών που πιθανώς να έχουν πρόβλημα με υψηλά επίπεδα ραδονίου είναι πολύ σημαντική για τη δημόσια υγεία, αφού το ραδόνιο, όπως αναφέρεται και σε επόμενο κεφάλαιο, είναι η αιτία πολλών θανάτων από καρκίνο του πνεύμονα. Η περιοχές που εμφανίζουν υψηλά επίπεδα συγκεντρώσεων ραδονίου θα πρέπει να εξεταστούν διεξοδικά για να παρθούν τα κατάλληλα μέτρα μείωσής τους σε υπάρχουσες κατοικίες και να σχεδιαστούν προληπτικά μέτρα για τις νέες κατοικίες που πρόκειται να κατασκευαστούν.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επίκουρο Καθηγητή του Τομέα Πυρηνικής Τεχνολογίας – ΕΜΠ κ. Ε. Χίνη για την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος, αλλά και για τη βοήθεια, την κατανόηση και την υπομονή που έδειξε όλο αυτό το χρονικό διάστημα.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλονται στον ΥΔ. Γ. Παπαδάκο για την καθημερινή καθοδήγηση σε κάθε στάδιο της εργασίας αλλά και για τη σημαντική συμβολή του στην διαμόρφωση του τελικού κειμένου, όπως επίσης και στην ΥΔ Π. Ρούνη για τις συμβουλές και την συμπαράστασή της σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησης αυτής της εργασίας.

Τέλος, ευχαριστώ το Δρα Δ. Νικολόπουλο, τον Καθηγητή Χ. Προυκάκη και το Εργαστήριο Ιατρικής Φυσικής της Ιατρικής Σχολής του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, για την ευγενή παραχώρηση των δεδομένων που αφορούν τις συγκεντρώσεις ραδονίου στις ελληνικές κατοικίες.

Αθήνα, Ιούλιος 2008
Χαράλαμπος Μοίρας

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Σκοπός της Δ.Ε.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η χαρτογράφηση των συγκεντρώσεων ραδονίου οι οποίες μετρήθηκαν σε εσωτερικούς χώρους κατοικιών στο γεωγραφικό διαμέρισμα της Πελοποννήσου. Η ανάδειξη των περιοχών που πιθανώς να έχουν πρόβλημα με υψηλά επίπεδα ραδονίου είναι πολύ σημαντική για τη δημόσια υγεία, αφού το ραδόνιο, όπως αναφέρεται και σε επόμενο κεφάλαιο, είναι η αιτία πολλών θανάτων από καρκίνο του πνεύμονα. Η περιοχές που εμφανίζουν υψηλά επίπεδα συγκεντρώσεων ραδονίου θα πρέπει να εξεταστούν διεξοδικά για να παρθούν τα κατάλληλα μέτρα μείωσής τους σε υπάρχουσες κατοικίες και να σχεδιαστούν προληπτικά μέτρα για τις νέες κατοικίες που πρόκειται να κατασκευαστούν.

1.2 Κεφάλαιο 2

Στο κεφάλαιο αυτό επιχειρείται μια πρώτη γνωριμία με το αέριο ραδόνιο. Συνοπτικά, παρουσιάζονται τα εξής θέματα σχετικά με το ραδόνιο:

- Ιστορική αναδρομή: από τότε που ανακαλύφθηκε το αέριο ραδόνιο, μέχρι την διαπίστωση των κακών συνεπειών του στη υγεία και, ειδικά, όταν αυτό συγκεντρώνεται στους εσωτερικούς χώρους.
- Διενέργεια εκστρατειών ενημέρωσης των πολιτών και πιθανή λήψη μέτρων σε εσωτερικούς χώρους, όπου εμφανίζονται υψηλές συγκεντρώσεις ραδονίου.
- Ανάλυση του αερίου ραδονίου και των προϊόντων διάσπασής του και πώς αυτά επηρεάζουν το ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα.
- Οι τρόποι με τους οποίους προκύπτει η παρουσία του αερίου ραδονίου στον ατμοσφαιρικό αέρα και στους εσωτερικούς χώρους, καθώς και οι συνεπαγόμενες συγκεντρώσεις του σε αυτούς.

- Οι συστάσεις από τους Διεθνείς Οργανισμούς και οι προβλέψεις των άρθρων του Ελληνικού Κανονισμού Ακτινοπροστασίας για τα επίπεδα ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους.
- Οι τεχνικές μέτρησης του επιπέδου της συγκέντρωσης του ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους..

1.3 Κεφάλαιο 3

Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφονται οι διαδικασίες συλλογής όλων των απαραίτητων δεδομένων, που χρειάζονται για να πραγματοποιηθεί η χαρτογράφηση του ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους με τα μέσα που διαθέτει το ΕΠΤ-ΕΜΠ. Αναλύονται και αξιολογούνται τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την συλλογή των δεδομένων. Επίσης, στο τρίτο κεφάλαιο, περιλαμβάνονται κάποια θεωρητικά στοιχεία γεωδαισίας.

1.4 Κεφάλαιο 4

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι τεχνικές που έχουν χρησιμοποιηθεί έως σήμερα, συμπεριλαμβανομένης της ανάλυσης fractal από την παρούσα ΔΕ, για την χαρτογράφηση ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους. Συγκεκριμένα οι τεχνικές αυτές είναι:

- Χαρτογράφηση με ανάλυση τετραγωνικής καννάβου (Ηνωμένο Βασίλειο)
- Γεωστατιστικές απεικονίσεις συγκεντρώσεων ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους (ανάλυση fractal)
- Χαρτογράφηση με χρήση της μεθόδου Kriging

1.5 Κεφάλαιο 5

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται η εφαρμογή της θεωρίας των fractal στην ανάλυση συγκεντρώσεων ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους στο γεωγραφικό διαμέρισμα της Πελοποννήσου. Υπολογίζεται η fractal διάσταση, αξιολογούνται τα αποτελέσματα και διατυπώνονται ενδιαφέροντα συμπεράσματα σχετικά με το συγκεκριμένο δίκτυο δειγματοληψίας

1.6 Κεφάλαιο 6

Στο έκτο κεφάλαιο περιγράφεται η μέθοδος των γεωστατιστικών απεικονίσεων που έχει αναπτύξει το ΕΠΤ-ΕΜΠ, τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για τον σκοπό αυτό καθώς και η διαδικασία που ακολουθήθηκε μέχρι την χάραξη του χάρτη συγκεντρώσεων ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους στην Πελοπόννησο. Επίσης, πραγματοποιείται οπτική σύγκριση χαρτών ^{226}Ra και ^{222}Rn με χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας και σεισμοτεκτονικό χάρτη.

1.7 Κεφάλαιο 7

Στο έβδομο κεφάλαιο συνοψίζονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την παρούσα ΔΕ. Επιπροσθέτως, περιγράφεται μια ολοκληρωμένη πρόταση για βελτίωση των διαδικασιών ανάλυσης δεδομένων και χαρτογράφησης συγκεντρώσεων ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους, καθώς και μερικά σημεία τα οποία θα πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη στο ενδεχόμενο της εκπόνησης νέων μελετών.

1.8 Παραρτήματα

Τα παραρτήματα περιλαμβάνουν συνοδευτικό-βοηθητικό υλικό (πίνακες, υπομνήματα, παραδείγματα αρχείων κτλ.) για την καλύτερη κατανόηση και εμπάθυνση όσων αναλύονται στο κυρίως κείμενο.

2. ΤΟ ΑΕΡΙΟ ΡΑΔΟΝΙΟ

2.1 Το αέριο ραδόνιο και τα προϊόντα διάσπασης

Το ραδόνιο είναι ένα φυσικό ραδιενεργό αέριο, άχρωμο, άοσμο, άγευστο, ανήκει στην ομάδα των ευγενών αερίων - και ως εκ τούτου είναι χημικά αδρανές-, το οποίο προέρχεται από τη διάσπαση του ραδίου που υπάρχει στο έδαφος και τα πετρώματα της γης. Και τα δύο ραδιοϊσότοπα είναι μέλη της ραδιενεργούς σειράς του Ουρανίου 238 (^{238}U , βλέπε σχήμα 2.1) το οποίο αποτελεί μέρος της φυσικής ραδιενέργειας. Όλα τα πετρώματα και τα εδάφη της γης περιέχουν ουράνιο σε μικρές συνήθως ποσότητες (1–3 ppm). Το ράδιο είναι στερεό και βρίσκεται στο φλοιό της γης, η διάσπασή του συνοδεύεται και από μια φυσικοχημική μεταβολή. Ενώ το ράδιο σαν στοιχείο είναι στερεό και παραμένει στο κέλυφος στο οποίο εναποτέθηκε, το παραγόμενο από τη διάσπασή του ραδίου ραδόνιο, είναι αέριο και μάλιστα αδρανές. Και αφού είναι αέριο, αν του δοθεί η δυνατότητα όπως θα δούμε σε επόμενες παραγράφους, θα διαφύγει από το έδαφος στο οποίο έχει σχηματισθεί.

Οι ραδιενεργές ιδιότητες του ^{222}Rn και των αντίστοιχων προϊόντων διάσπασης δίνονται στο σχήμα 2.1. Οι διάφοροι χρόνοι ημιζωής των ραδιενεργών ιχνοστοιχείων είναι πολύ σημαντικοί στον προσδιορισμό του πόσο συνεισφέρει η σειρά του ^{222}Rn στη δόση στο βρογχικό σύστημα. Ο χρόνος ημιζωής του ραδονίου ^{222}Rn είναι 3.824 μέρες. Έχει τέσσερα προϊόντα διάσπασης: ^{218}Po (3.01 min), ^{214}Pb (26.8 min), ^{214}Bi (19.9 min) και ^{214}Po (164 μs) [6]. Και τα δύο ισότοπα πολωνίου εκπέμπουν άλφα σωματίδια. Οι σχετικές συγκεντρώσεις των διαφόρων ραδιενεργών ιχνοστοιχείων επηρεάζονται επίσης σε μεγάλο βαθμό από δυναμικές διεργασίες, συμπεριλαμβανομένης της προσκόλλησης των προϊόντων διάσπασης στα σωματίδια του αέρα και την επακόλουθη απόθεσή τους σε επιφάνειες δωματίων ή στο έδαφος, όπως επίσης και από την κίνηση του αέρα γενικότερα. Το κλάσμα των θυγατρικών του ραδονίου σε μια πολύ λεπτή μορφή (0.5- 2 nm), που δεν είναι προσκολλημένο σε τυχόντα σωματίδια αέρα, είναι γνωστό ως το μη προσκολλημένο κλάσμα.

Για την αποτίμηση της έκθεσης σε ραδόνιο και στα προϊόντα διάσπασης πρέπει, λοιπόν, να ληφθούν υπόψη οι πραγματικές ραδιενεργές συγκεντρώσεις των διαφόρων εκπομπών άλφα ραδιενεργών ιχνοστοιχείων, στον αέρα που εισπνέεται. Αυτή η θεώρηση, όπως επίσης και το γεγονός ότι στον προσδιορισμό της δόσης είναι σημαντική η συνολική ενέργεια λόγω άλφα σωματιδίων που πρόκειται να εκλυθεί λόγω της διάσπασης των εισπνεόμενων ραδιενεργών ιχνοστοιχείων, ή ακολούθως αυτής της διάσπασης, έχει οδηγήσει στον προσδιορισμό του ρυθμού έκθεσης σε ραδόνιο υπό όρους δυνητικής συγκέντρωσης ενέργειας άλφα σωματιδίων (PAEC¹: Potential Alfa Energy Concentration) με μονάδα $J \cdot m^{-3}$ ή επιπέδων εργασίας (WL²: Working Level). Αυτή η ποσότητα μπορεί άμεσα να υπολογιστεί μέσω μετρήσεων για τις συγκεντρώσεις των μεμονωμένων ραδιενεργών ιχνοστοιχείων. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η επιμέρους ραδιενέργεια δεν μετριέται άμεσα, οπότε ο ρυθμός έκθεσης πρέπει να προσδιορίζεται έμμεσα χρησιμοποιώντας υποθέσεις σχετικά με λόγους συγκεντρώσεων π.χ. παράγοντες ισορροπίας, οδηγώντας στον προσδιορισμό της ισοδύναμης συγκέντρωσης σε κατάσταση ισορροπίας (EEC³: Equilibrium Equivalent Concentration). Το σημαντικό εδώ είναι, ότι οι περιβαλλοντικοί παράγοντες που επηρεάζουν τους λόγους συγκεντρώσεων σε κάθε μια ραδιενεργή σειρά είναι μεγάλης σημασίας τόσο για τον προσδιορισμό της έκθεσης όσο και της δόσης.

Από τη στιγμή που παράγεται, το αέριο ραδόνιο διαφεύγει από τους πόρους και τις ρωγμές των πετρωμάτων και εισέρχεται στην ατμόσφαιρα όπου διαχέεται γρήγορα. Το ραδόνιο εισέρχεται και σε κλειστούς χώρους όπως ορυχεία, σπίτια, σχολεία και χώρους εργασίας όπου και συγκεντρώνεται. Μάλιστα, οι συγκεντρώσεις του μπορεί να είναι υψηλές, ανάλογα με τα γεωλογικά στοιχεία και τις ατμοσφαιρικές συνθήκες της περιοχής καθώς επίσης και με τις συνθήκες εξαερισμού του χώρου. Συνήθως στο

¹ Η PAEC, c_p , οποιουδήποτε μίγματος των βραχύβιων θυγατρικών του ραδονίου στον αέρα είναι το άθροισμα της δυνητικής άλφα ενέργειας αυτών των ατόμων που υπάρχουν ανά μονάδα όγκου αέρα. Εκφράζεται στο Διεθνές Σύστημα μονάδων σε $J \cdot m^{-3}$.

² Η έκθεση σε δυνητική άλφα ενέργεια, P_p , των εργατών εκφράζεται συχνά με την ιστορική μονάδα Working Level Month (WLM). 1 WL τώρα ορίζεται ως η συγκέντρωση της δυνητικής άλφα ενέργειας $1300 \cdot 10^8 \text{ MeV m}^{-3}$. Ένας μήνας θεωρούνταν 170 ώρες.

³ Η EEC είναι η συγκέντρωση ραδιενέργειας του ραδονίου στην ραδιενεργή ισορροπία με τα βραχύβια θυγατρικά του που έχουν την ίδια δυνητική άλφα ενέργεια, c_p , όπως το πραγματικό μίγμα που δε βρίσκεται σε ισορροπία. Η μονάδα της EEC στο Διεθνές Σύστημα είναι το $Bq \cdot m^{-3}$.

εσωτερικό των σπιτιών η συγκέντρωσή του είναι 10 φορές μεγαλύτερη απ' ό τι στον εξωτερικό αέρα. Επειδή το ραδόνιο είναι αέριο, κυκλοφορεί με τον ατμοσφαιρικό αέρα και καθώς ο άνθρωπος αναπνέει, το ραδόνιο, καθώς και τα επίσης ραδιενεργά θυγατρικά του, εισέρχονται και εναποτίθενται στους πνεύμονές του και επομένως τους ακτινοβολούν. Αυτή η ακτινοβολία μπορεί να προκαλέσει βλάβη στους πνεύμονες, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε εμφάνιση καρκίνου των πνευμόνων. Η ραδιενέργεια που οφείλεται στο ραδόνιο και στα επίσης ραδιενεργά θυγατρικά του, αποτελεί τη μεγαλύτερη πηγή έκθεσης του ανθρώπου σε ιοντίζουσες ακτινοβολίες. Σύμφωνα με τα τελευταία δεδομένα, όπως δίδονται από το UNSCEAR 93 (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation), ο μέσος κάτοικος του πλανήτη λαμβάνει ετησίως ισοδύναμη δόση 2.5 mSv, της οποίας το 47% οφείλεται στο ραδόνιο (βλ. σχήμα 2.2) [4].

Μετρήσεις των συγκεντρώσεων του ραδονίου σε σπίτια σε διάφορες χώρες έχουν καταλήξει σε μια μέση τιμή περίπου 40-60 Bq·m⁻³ [5]. Η συγκέντρωση αυτή υπολογίστηκε ότι αντιστοιχεί σε με μια μέση πιθανότητα καρκίνου των πνευμόνων περίπου 0.7%, αρκετή για να προκαλέσει περίπου 700 νέες περιπτώσεις καρκίνου των πνευμόνων σε ένα χρόνο σε ένα πληθυσμό σαν τον ελληνικό. Η πιθανότητα προσβολής από καρκίνο των πνευμόνων είναι μεγαλύτερη από την πιθανότητα καρκινογένεσης εξαιτίας όλων των άλλων πηγών φυσικής ακτινοβολίας ή εξαιτίας της έκθεσης σε ακτινοβολία για ιατρικούς λόγους. Επιπλέον η έκθεση στα προϊόντα διάσπασης του ραδονίου υπερβαίνει 10 ως 100 φορές την έκθεση που οφείλεται στην πυρηνική ενέργεια ή τις δοκιμές πυρηνικών όπλων.

2.2 Ιστορική αναδρομή

2.2.1 Παλαιότερη ιστορία (1470-1945)

Κατά το 1470 ξεκίνησε στην περιοχή του Schneeberg στην νότια Γερμανία εκτεταμένη εξόρυξη αργύρου. Παρατηρήθηκε, όπως περιγράφεται από τον Paracelsus, μια ασυνήθιστα υψηλή θνησιμότητα από ασθένεια του πνεύμονα, που συνέβαινε στους νεότερους εργάτες. Τον 20ο αιώνα, περίπου το 75 % των εργατών ορυχείων πέθαναν από καρκίνο του πνεύμονα. Μετά την ανακάλυψη του ραδονίου από την Marie και τον Pierre Curie, πραγματοποιήθηκαν το 1901, οι πρώτες μετρήσεις σε ορυχεία. Ύστερα από ακριβέστερες μετρήσεις την δεκαετία του 1920,

προτάθηκε μια συσχέτιση μεταξύ της έκθεσης σε ραδόνιο και του καρκίνου του πνεύμονα. Αυτή η υπόθεση επιβεβαιώθηκε το 1940.

Ένα χρόνο μετά την ανακάλυψη του ραδονίου, μετρήσεις αποκάλυψαν (τότε ονομαζόταν εκροή ραδίου) ότι το ραδόνιο είναι ένα συστατικό που υπάρχει παντού στον ατμοσφαιρικό αέρα. Ο Ernest Rutherford είπε το 1907: «Πρέπει να θυμόμαστε, ότι όλοι μας εισπνέουμε συνεχώς εκπομπές ραδίου και θορίου και τα προϊόντα διάσπασής τους καθώς και ιοντίζοντα αέρα. Κάποιοι έχουν θεωρήσει, ότι πιθανώς η παρουσία ραδιενεργού υλικού και ιονισμένου αέρα μπορεί να παίζει κάποιο ρόλο στις φυσιολογικές διεργασίες.»

Είχε θεωρηθεί υγιεινό το να εκτίθεται σε ραδόνιο και σε ιαματικά λουτρά που κατασκευάστηκαν σε πολλές χώρες. Κάποια από αυτά λειτουργούν ακόμα. Διεξήχθησαν τότε πολλές μετρήσεις για συγκεντρώσεις ραδίου και ραδονίου σε νερά του εδάφους.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται μέτρα που λήφθηκαν σε ευρωπαϊκές και άλλες χώρες καθώς και γραπτές οδηγίες από διεθνείς οργανισμούς σε μια ιστορική ανασκόπηση. Ωστόσο, ένα σχετικά μεγάλο τμήμα επικεντρώνεται σε κρίσεις και μέτρα που λήφθηκαν στη Σουηδία. Ο λόγος είναι ότι η Σουηδία ήταν η πρώτη χώρα που εισήγαγε όρια και γραπτές οδηγίες για το κοινό.

2.2.2 Περίοδος 1946-1969

Στη δεκαετία του 1940 ξεκίνησε εντατική εξόρυξη ουρανίου στην Αφρική, στον Καναδά και στις ΗΠΑ. Λίγη προσοχή δόθηκε τότε για την ακτινοπροστασία των εργατών. Οι πρώτες μετρήσεις σε αυτά τα ορυχεία έγιναν το 1950. Ο Bale εισήγαγε την ιδέα, ότι δεν ήταν μόνο το ραδόνιο, αλλά και τα προϊόντα διάσπασής του που μπορούν να είναι παράγοντες οι οποίοι συνιστούν αιτιότητα έναντι της εμφάνισης του καρκίνου του πνεύμονα [7]. Το Ομοσπονδιακό Συμβούλιο Ερευνών των Ηνωμένων Πολιτειών (US Federal Research Council) ανέπτυξε πιο αξιόπιστες μεθόδους μέτρησης και εγκαθίδρυσε αναθεωρημένες κατευθυντήριες οδηγίες σχετικά με τη λειτουργία ορυχείων ουρανίου. Η πρώτη ποσοτική ανάλυση για καρκίνο του πνεύμονα σε εργάτες ορυχείων ουρανίου δημοσιεύθηκε το 1971. Επίσης βρέθηκαν υψηλά επίπεδα ραδονίου και σε ορυχεία που δεν περιέχουν κοιτάσματα ουρανίου.

Οι πρώτες περιβαλλοντικές μετρήσεις ραδονίου περιορίστηκαν σε μεγάλο βαθμό στον αέρα των εξωτερικών χώρων. Το πρώτο σετ μετρήσεων ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους δημοσιεύθηκε από τον Hultqvist (1956). Αυτή η μελέτη, που ξεκίνησε αρχικά από τον Rolf Sievert, είχε σαν αποτέλεσμα να βρεθούν υψηλά επίπεδα ραδονίου σε μερικά σπίτια φτιαγμένα από τσιμέντο τύπου alum-shale, αλλά επίσης και σε κάποιες κατοικίες κατασκευασμένες από άλλα υλικά, οι οποίες, όμως, είχαν χαμηλή παροχή εξαερισμού, καθώς και σε μερικά υπόγεια (βλ. πίνακα 2.1) [8].

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η περιεκτικότητα του αέρα σε ραδόνιο προκαλούσε υψηλότερες δόσεις ακτινοβολίας απ' ό,τι η εξωτερική γ- ακτινοβολία, η οποία επίσης μετρήθηκε. Συζητήθηκαν όρια, αλλά δεν συστάθηκαν, επειδή, για άλλους λόγους υγιεινής, κρίθηκαν απαραίτητοι οι επαρκείς ρυθμοί εναλλαγής αέρα οι οποίοι είναι σημαντικοί και για τη μείωση της συγκέντρωσης ραδονίου. Λίγη προσοχή δόθηκε διεθνώς σε αυτά τα ευρήματα, επειδή θεωρήθηκε ως τοπικό πρόβλημα της Σουηδίας.

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1950 διεξήχθησαν, επίσης, και σε άλλες χώρες, μερικές μελέτες σχετικά με τη φυσική ραδιενέργεια σε εσωτερικούς χώρους. Μετρήθηκαν τα επίπεδα γ ακτινοβολίας σε σπίτια στη Σκωτία και η μελέτη έδειξε διαφορά μεταξύ των σπιτιών που είναι κατασκευασμένα από γρανίτη και των σπιτιών που είναι κατασκευασμένα από αμμόλιθο [9].

Στο τέλος της δεκαετίας του 1960, το Σουηδικό Ινστιτούτο Ακτινοπροστασίας (SSI, Swedish Radiation Protection Institute) δημοσίευσε πληροφορίες σχετικά με την ακτινοβολία λόγω φυσικής ραδιενέργειας στα κτίρια [10]. Το ραδόνιο σε εσωτερικούς χώρους μελετήθηκε, σε κάποιες χώρες, κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1960, αλλά το μέγεθος της έρευνας ήταν περιορισμένο, όπως επεξηγείται σε πρόσφατες αναφορές του UNSCEAR (UNSCEAR: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) [11].

Το πόσιμο νερό μελετήθηκε σε αρκετές χώρες, π.χ. Φινλανδία και Σουηδία, σε σχέση με τα φυσικά ραδιενεργά ιχνοστοιχεία, συμπεριλαμβανομένου του ραδονίου. Σε μερικά πηγάδια νερού βρέθηκαν υψηλές τιμές. Το μεγαλύτερο μέρος της δόσης, λόγω της ακτινοβολίας από το ραδόνιο που υπάρχει στο νερό, προκλήθηκε από την εισπνοή του αερίου ραδονίου που εξατμίστηκε από το νερό.

2.2.3 Δεκαετία 1970

Στις αρχές τις δεκαετίας του 1970, υπήρχε ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον για την ιοντίζουσα ακτινοβολία στους εσωτερικούς χώρους. Προτάθηκαν περιορισμοί για τα οικοδομικά υλικά από τη Σοβιετική Ένωση, τη Μεγάλη Βρετανία κτλ [12,13]. Στις ΗΠΑ καθιερώθηκαν προϋποθέσεις για τα σπίτια που είναι χτισμένα πάνω σε απόβλητα ή με υλικά από απόβλητα που προέρχονται από τη βιομηχανία ουρανίου, τόσο για τις εκθέσεις σε γ – ακτινοβολία, όσο και για τις εκθέσεις στα θυγατρικά ραδονίου [14].

Το 1973 συστάθηκε μια ομάδα αποστολής από την Υπηρεσία Πυρηνικής Ενέργειας του ΟΟΣΑ (OECD/NEA: Organisation for Economic Co-operation and Development / Nuclear Energy Agency), για να μελετήσει την έκθεση σε ακτινοβολία λόγω της φυσικής ραδιενέργειας που προέρχεται από τα οικοδομικά υλικά. Διεξήχθησαν μετρήσεις συγκεντρώσεων ραδονίου και των θυγατρικών του σε εσωτερικούς χώρους, ειδικά σε σπίτια που είναι χτισμένα πάνω σε απόβλητα ή από υλικά που προέρχονται από απόβλητα, όπως επίσης και σε κατοικίες γενικά, π.χ. κτίρια στην Ουγγαρία [15]. Ο Bo Lindell είπε τότε: «Αν πραγματοποιήσεις μετρήσεις για ραδόνιο σε σπίτια στη χώρα σου, τότε θα βρεις μερικά σπίτια με υψηλά επίπεδα ραδονίου. Ακόμα και σε μια σκηνή θα βρεις επίπεδα ραδονίου υψηλότερα από τους εξωτερικούς χώρους».

Η Σουηδία προσπάθησε να ενημερώσει τα άλλα εμπλεκόμενα Εθνικά Συμβούλια σχετικά με τους κινδύνους για την υγεία, λόγω της έκθεσης σε ραδόνιο στους εσωτερικούς χώρους, αλλά με μικρή επιτυχία. Αποδείχθηκε, ότι η συγκέντρωση ραδονίου αυξάνει, όταν οι ένοικοι στη προσπάθειά τους να κάνουν οικονομία, μειώνουν τους ρυθμούς εξαερισμού. Εκείνη τη στιγμή, η Σουηδική οδηγία ακτινοπροστασίας δε μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να καθορίσει συστάσεις ή όρια για φυσική ραδιενέργεια όπως επίσης κανένας διεθνής οργανισμός δεν είχε προτείνει περιορισμούς για φυσική ραδιενέργεια. Το Σουηδικό Ινστιτούτο Ακτινοπροστασίας (Swedish Radiation Protection Institute) εξέδωσε ένα έντυπο για την ενημέρωση του κοινού, αλλά κανείς δεν ενδιαφέρθηκε. Ένας δημοσιογράφος, με τον οποίο επικοινωνήσε το Ινστιτούτο, είπε ότι θα ήταν ανήθικο να ενημερώσουν το λαό της Σουηδίας για ένα τέτοιο πρόβλημα λίγο πριν τα Χριστούγεννα. Το SSI ενημέρωσε την εταιρεία που παράγει το Alum shale τσιμέντο, και όπως ήταν

αναμενόμενο, το 1974, σταμάτησαν την παραγωγή του. Το υλικό αυτό παραγόταν από το 1929.

Το 1977 η Διεθνής Επιτροπή Ραδιολογικής Προστασίας (ICRP, International Commission on Radiological Protection), δημοσίευσε νέες οδηγίες, στις οποίες δεν εξαιρέθηκε η έκθεση σε φυσική ακτινοβολία, όπως είχε γίνει σε προηγούμενες οδηγίες. Δύο χρόνια αργότερα το ICRP σύστησε μια επιτροπή που έκτοτε ασχολείται με τη φυσική ακτινοβολία. Επίσης, τα συμβούλια ακτινοπροστασίας των Σκανδιναβικών χωρών συνέστησαν ομάδα αποστολής, η οποία έκτοτε ασχολείται με τη φυσική ακτινοβολία.

Αφού είχαν βρεθεί αρκετές χιλιάδες $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ σε σπίτια της Σουηδίας και τα μέσα μαζικής ενημέρωσης είχαν τις ειδήσεις αυτές στα πρωτοσέλιδα, η κυβέρνηση εισάκουσε το αίτημα του Bo Lindell για σύσταση κυβερνητικής επιτροπής η οποία θα ασχολείτο με ένα σύστημα περιορισμού της έκθεσης σε ακτινοβολία μέσα στις κατοικίες. Η επιτροπή έλαβε χρηματοδότηση για στοχευμένη έρευνα. Μερικά αποτελέσματα αυτής ήταν: η διεξαγωγή τυχαίας δειγματοληψίας, το 1980-82, σε σπίτια που είχαν κατασκευαστεί το 1976, (βλ. πίνακα 2.2) [16], η διερεύνηση μεθόδων μείωσης του ραδονίου, η κατασκευή θαλάμου βαθμονόμησης κτλ. Επίσης, από την έρευνα αυτή φάνηκε, ότι οι γνώσεις για το ραδόνιο, που συγκεντρώθηκαν νωρίτερα στο SSI, ήταν αντικείμενο μεγάλης διερεύνησης σε άλλους οργανισμούς. Μεγάλη προσπάθεια έγινε για την ενημέρωση επιθεωρητών υγείας, εργολάβων, κατοίκων κτλ. Επίσης, η Σουηδική Επιτροπή Ραδονίου (Swedish Radon Commission) δημοσίευσε οδηγίες για την κατανομή των ευθυνών ακτινοπροστασίας μεταξύ των διαφόρων σουηδικών αρχών.

2.2.4 Δεκαετία του 1980

Οι οδηγίες της Σουηδικής Επιτροπής Ραδονίου χρησιμοποιήθηκαν από τα αρμόδια εθνικά συμβούλια για να τεθούν όρια, έτσι ώστε τα επίπεδα ραδονίου να είναι χαμηλότερα από $400 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ του EEC (EEC: Equilibrium Equivalent Concentration) για τις υπάρχουσες κατοικίες και $70 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ EER για τις νεόδμητες κατοικίες [1]. Προτάθηκε επίσης, ότι για τις υπάρχουσες κατοικίες το επίπεδο ραδονίου έπρεπε να μειωθεί στο εύρος $70 - 400 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ του EEC, όταν αυτό θα ήταν εφικτό με τη χρήση απλών μεθόδων. Οι εκτιμήσεις των κινδύνων βασίζονταν σε αποτελέσματα

επιδημιολογικών μελετών τόσο σε εργάτες ορυχείων με κοιτάσματα ουρανίου όσο και σε εργάτες ορυχείων χωρίς κοιτάσματα ουρανίου. Η ύπαρξη υπερβολικού κινδύνου λόγω της έκθεσης σε ραδόνιο βασίστηκε, επίσης, σε αποτελέσματα από έρευνες σε ζώα και στους επιβιώσαντες από την ατομική βόμβα. Σουηδικές οδηγίες για τους εργάτες ορυχείων δημοσιεύτηκαν το 1972. Σκοπός ήταν, ο πληθυσμός να μην εκτίθεται περισσότερο σε ραδόνιο απ' ό,τι οι εργάτες ορυχείων, μέχρι να υπάρξουν καλύτερες εκτιμήσεις για τον κίνδυνο λόγω της έκθεσης σε ραδόνιο. Οι διαφορετικές συνθήκες στις οποίες ζουν οι κάτοικοι και οι εργάτες ορυχείων, λήφθηκαν υπόψη με ένα πολύ απλό μοντέλο. Τα όρια μειώθηκαν το 1990, όταν ανακαλύφθηκαν καλύτερες τεχνικές μέτρησης, αυξήθηκαν οι γνώσεις για τις μεθόδους μείωσης ραδονίου και οι κίνδυνοι για την υγεία μελετήθηκαν πολύ περισσότερο.

Από το τέλος της δεκαετίας του 1970 και μετά, σε αρκετές χώρες, διεξήχθησαν εκτενέστερες μελέτες για το ραδόνιο στους εσωτερικούς χώρους. Τα αποτελέσματα συνοψίζονται σε αναφορές του UNSCEAR. Αυτές οι μελέτες, όπως θα δούμε σε επόμενες παραγράφους, αποκάλυψαν την εξαιρετικά μεγάλη διακύμανση των επιπέδων ραδονίου μέσα στα σπίτια, όχι μόνο στη Σουηδία, καλύπτοντας ένα πεδίο από μερικά $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ έως $100.000 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$. Αυτό σημαίνει, ότι κάποια άτομα από το κοινό είναι εκτεθειμένα σε επίπεδα ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους, συγκρίσιμα με τα επίπεδα ραδονίου στα οποία εκτίθενται οι εργάτες ορυχείων ουρανίου στην πρώιμη φάση της εξόρυξής του. Ανακαλύφθηκε ότι τα περισσότερα σπίτια που παρουσίαζαν υψηλά επίπεδα ουρανίου, η κύρια πηγή δεν ήταν τα οικοδομικά υλικά, αλλά η εισροή ραδονίου από το χώμα λόγω φαινομένων μεταφοράς [17].

Σε επίπεδο χώρας, οι μέσοι όροι των επιπέδων ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους που προκύπτουν από αυτές τις μελέτες, καλύπτουν ένα πεδίο από 10 ως $100 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ περίπου. Το UNSCEAR εκτιμά έναν παγκόσμιο μέσο όρο συγκέντρωσης ραδονίου στο εσωτερικό των κατοικιών της τάξης των $40 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ περίπου, ο οποίος έως τότε, ήταν $15 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$. Στη βάση ενός παγκόσμιου μέσου όρου, η μισή περίπου, από την συνολική ενεργό δόση από πηγές φυσικής ακτινοβολίας, οφείλεται στην εισροή ραδονίου μέσα στις κατοικίες [18,19,20].

Διεξοδική έρευνα για το ραδόνιο, γινόταν σε πολλές χώρες που εμφανίστηκαν π.χ. στο Διεθνές Σεμινάριο για την Έκθεση σε Φυσική Ακτινοβολία σε Εσωτερικούς

Χώρους και Σχετικές Εκτιμήσεις των Κινδύνων που διοργανώθηκε το 1983 στο Anacapri στην Ιταλία. Εκεί, συζητήθηκαν και οι αρχές ενός πιθανού συστήματος περιορισμού.

Το 1984, δόθηκαν οι οδηγίες του ICRP για την φυσική ακτινοβολία και το 1986 δόθηκαν οι οδηγίες από τα Σκανδιναβικά συμβούλια ακτινοπροστασίας [21]. Το 1987, η Ευρωπαϊκή υπηρεσία του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO: World Health Organization) δημοσίευσε τις οδηγίες της [22].

Αυξήθηκε το ενδιαφέρον για το ραδόνιο που υπάρχει στο νερό. Στη Σουηδία μετρήθηκε για ραδόνιο ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα νερού προς κατανάλωση και δόθηκαν οδηγίες για τον περιορισμό των συγκεντρώσεων ραδονίου στο προς κατανάλωση νερό, κυρίως περιορίζοντας την έκθεση μέσω εισπνοής. Η έκθεση από την κατάποση του νερού θεωρήθηκε μικρότερη και θα περιοριζόταν ταυτόχρονα.

Κατά την διάρκεια της δεκαετίας του 1980, διεξήχθησαν οι πρώτες επιδημιολογικές μελέτες για το ραδόνιο στις κατοικίες και το καρκίνο του πνεύμονα. Ήταν, ωστόσο, μικρές ή σχεδιασμένες με τέτοιο τρόπο που ήταν αδύνατον να εξάγουν ποσοτική συσχέτιση μεταξύ της έκθεσης σε ραδόνιο στους εσωτερικούς χώρους και την εμφάνιση καρκίνου του πνεύμονα. Ο υπολογισμός των απορροφούμενων και ενεργών δόσεων είχε ξεκινήσει κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1970. Στη δεκαετία του 1980, το μέγεθος του κινδύνου που εκτιμήθηκε στη βάση των επιδημιολογικών μελετών των μεταλλορύχων και των μελετών από υπολογισμούς της δόσης, ήταν παρόμοιο.

2.2.5 Δεκαετία του 1990

Τη δεκαετία του 1990 πραγματοποιούνται πολλές καλοσχεδιασμένες, case-control επιδημιολογικές μελέτες σε κατοικίες. Τα αποτελέσματα των δημοσιευμένων μελετών επιβεβαιώνουν τις εκτιμήσεις κινδύνου, που προέκυψαν από μελέτες που βασίζονται στους εργατές ορυχείων. Ωστόσο, το μοντέλο της δόσης του πνεύμονα για την έκθεσή του σε ραδόνιο δεν συμπεριλαμβανόταν στον υπολογισμό της δόσης του πνεύμονα που διεξήγαγε το ICRP [23]. Για αυτόν το λόγο, το ICRP στήριξε τις οδηγίες, που δημοσίευσε το 1993, στις εκτιμήσεις του κινδύνου που βασίζονταν στις επιδημιολογικές μελέτες των εργατών ορυχείων. Για τη σύγκριση με άλλες πηγές

ακτινοβολίας, το ICRP, πρότεινε την ιδέα της «σύμβασης μετατροπής της δόσης⁴» [20].

Η εκροή ραδονίου από το έδαφος διαφέρει από περιοχή σε περιοχή και σε συνάρτηση με το χρόνο. Πάνω από τους ωκεανούς η συγκέντρωση ραδονίου είναι πολύ χαμηλή. Για αυτόν το λόγο, στις παράκτιες περιοχές οι συγκεντρώσεις ραδονίου μεταβάλλονται περισσότερο απ' ό,τι στις ηπειρωτικές, ανάλογα με την κατεύθυνση του ανέμου. Οι αναστροφές της θερμοκρασίας μπορούν να προκαλέσουν πολύ υψηλές συγκεντρώσεις ραδονίου σε περιοχές, οι οποίες έχουν υψηλές συγκεντρώσεις ραδονίου στον φλοιό της γης. Αυτό, μπορεί να σταθεί εμπόδιο στην εφαρμογή χαμηλών ορίων για τα επίπεδα ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους. Το UNSCEAR έχει εκτιμήσει ότι ο παγκόσμιος μέσος όρος της συγκέντρωσης ραδονίου σε εξωτερικούς χώρους είναι της τάξης των $10 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ [2]. Η συγκέντρωση στους εσωτερικούς χώρους εξαρτάται, επίσης, στην τεχνική δόμησης, στο κλίμα και στις συνήθειες των ενοίκων. Οι τεχνική δόμησης αλλάζει με το χρόνο και για αυτό οι μέσοι όροι συγκεντρώσεων ραδονίου στα σπίτια μπορεί να είναι διαφορετικοί, για διάφορες περιοχές και χρονολογίες, παρότι το έδαφος είναι το ίδιο.

Τις τελευταίες δεκαετίες, έχουν διεξαχθεί πολλές έρευνες συγκεντρώσεων ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους. Οι μέσοι όροι από μερικές χώρες συνοψίζονται στον πίνακα 2.3. Οι κατανομές είναι κατά προσέγγιση λογαριθμοκανονικές. Ο πίνακας απεικονίζει την μεγάλη διακύμανση των μέσων όρων και το ποσοστό των επιπέδων άνω των $200 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ μεταξύ των χωρών.

Με την υποστήριξη της ΕΕ έχει εκδοθεί ο Ευρωπαϊκός Άτλας του ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους και γ -ακτινοβολίας λόγω του αέρα των εσωτερικών και εξωτερικών χώρων [24]. Απεικονίζει τις διαφορές στους μέσους όρους μεταξύ χωρών και περιοχών.

⁴ Ενεργός δόση E: λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορετική ευαισθησία των οργάνων μέτρησης ακτινοβολίας $E = \sum_T w_T \cdot H_T$, όπου H_T είναι η ισοδύναμη δόση σε ιστό ή όργανο T και το w_T είναι ο συντελεστής βαρύτητας οργάνου T. Μονάδα J/kg, ειδική ονομασία sievert (Sv).

Κατά τη δεκαετία του 1990, αρκετές χώρες μείωσαν το κατώφλι λήψης μέτρων και το σχεδιασμό επιπέδων ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους. Συνιστώμενα επίπεδα δράσης για μερικές χώρες δίνονται στον πίνακα 2.4.

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1990, αυξήθηκε το ενδιαφέρον για την έκθεση σε ραδόνιο που υπάρχει στο νερό, ειδικά στη Σουηδία. Ένα σύστημα περιορισμού δημοσιεύτηκε το 1997, δηλώνοντας ότι νερό με συγκέντρωση ραδονίου που ξεπερνά τα 1000 Bq/l είναι ακατάλληλο για κατανάλωση. Ένα υποχρεωτικό όριο δράσης όσον αφορά τις εγκαταστάσεις υδροδότησης του κοινού είναι τα 100 Bq/l. Το 1992 η Φινλανδία περιόρισε την ενεργό δόση στο 0.5 mSv/έτος, που προέρχεται λόγω της έκθεσης σε φυσικά ραδιενεργά ιχνοστοιχεία του νερού, από τις εγκαταστάσεις υδροδότησης [25]. Αυτό ανταποκρίνεται σε δείκτη ραδιενέργειας $1 = C_{\alpha} + C_{\beta} + C_{Rn}/300$, όπου πρέπει να είναι μικρότερο ή ίσο του ένα. Όπου C_{α} , C_{β} και C_{Rn} είναι οι συγκεντρώσεις των συνολικών άλφα και βήτα σωματιδίων, και η συγκέντρωση ραδονίου στο νερό, εκφρασμένα σε Bq/l. Η συνθήκη σημαίνει, ότι η συγκέντρωση ραδονίου πρέπει να είναι μικρότερη από 300 Bq/l, με ένα καλό περιθώριο, επειδή τα προϊόντα διάσπασης του ραδονίου υπάρχουν πάντα στο νερό όταν ανιχνεύεται το ραδόνιο. Η Δημοκρατία της Τσεχίας έχει τρία επίπεδα δράσης όταν οι συγκεντρώσεις ραδονίου πρέπει να τεθούν υπό παρακολούθηση [26]. Παραπάνω από 20 Bq/l είναι μια ένδειξη ότι η συγκέντρωση μπορεί να είναι υψηλή. Εργοστάσια νερού για κατανάλωση από το κοινό δεν πρέπει να έχουν συγκεντρώσεις υψηλότερες από 50 Bq/l και η συγκέντρωση στο νερό σε όλα τα είδη κατοικιών δε πρέπει να ξεπερνά τα 1000 Bq/l.

2.3 Οι επιπτώσεις του ραδονίου στην υγεία – Καρκίνος του πνεύμονα

Η αυξημένη συχνότητα καρκίνου των πνευμόνων, στους μεταλλωρύχους της κεντρικής Ευρώπης, από νωρίς αποδόθηκε στην υψηλή συγκέντρωση του ραδονίου στον αέρα των ορυχείων. Τα ορυχεία λειτουργούσαν για εκατοντάδες χρόνια και γενιές μεταλλωρύχων υπέφεραν από μια ασθένεια των πνευμόνων, που μόνο κατά τα τέλη του 19ου αιώνα διαγνώσθηκε ότι ήταν καρκίνος. Στη δεκαετία του 1950, χάρη στην έρευνα του Χάρλεϊ, έγινε αντιληπτό ότι το μεγαλύτερο ποσοστό της δόσης που δέχονται οι πνεύμονες μετά την εισπνοή ραδονίου δεν οφείλεται στο ίδιο το αέριο, αλλά στη συγκέντρωση στους πνεύμονες των βραχύβιων προϊόντων της ραδιενεργού

διάσπασης του ραδονίου που προσκολλώνται στη σκόνη των ορυχείων [5]. Στη δεκαετία του '60 και του '70, αρκετές μελέτες έδειξαν αυξημένη θνησιμότητα των εργαζομένων σε ορυχεία ουρανίου και άλλα ορυχεία, η οποία φαίνεται να συσχετίζεται με την έκθεση στο ραδόνιο. Μια από τις πλέον σοβαρές περιπτώσεις συχνής εμφάνισης καρκίνου των πνευμόνων είναι αυτή των μεταλλωρύχων κασιτέρου στην επαρχία Γιουνάν της Κίνας, όπου εκδηλώθηκαν περισσότερα από 1500 περιστατικά. Παράλληλα με τις επιδημιολογικές μελέτες στους μεταλλωρύχους, έγιναν και πειραματικές μελέτες, οι οποίες έδειξαν ότι η εισπνοή του ραδονίου προκαλεί αλλοιώσεις και καρκίνο στους πνεύμονες των ζώων. Επίσης, έχει μελετηθεί η πρόκληση γενετικών ανωμαλιών και η επίδραση στο ανοσοποιητικό σύστημα των μεταλλωρύχων.

Η εισπνοή λοιπόν, των βραχύβιων προϊόντων διάσπασης ραδονίου ^{222}Rn και σε μικρότερη έκταση τα προϊόντα διάσπασης του θορονίου ^{220}Rn καθώς και η ακόλουθη απόθεσή τους κατά μήκος των τοιχωμάτων των διαφόρων αεραγωγών του βρογχικού συστήματος, είναι ο κύριος τρόπος έκθεσης σε ακτινοβολία των πνευμόνων. Αυτή η έκθεση παράγεται περισσότερο από την εκπομπή άλφα σωματιδίων από αρκετά από αυτά τα ραδιενεργά ιχνοστοιχεία, ωστόσο εκπέμπονται επίσης και κάποια βήτα σωματίδια και γ-ακτινοβολία. Κατά γενική ομολογία μεταξύ επιστημόνων ο καρκίνος του πνεύμονα που έχει παρατηρηθεί στους εργάτες ορυχείων οφείλεται στην ακτινοβόληση λόγω άλφα σωματιδίων των βασικών εκκριτικών κυττάρων των ανώτερων αεραγωγών των πνευμόνων, ωστόσο υπάρχει αβεβαιότητα στο ποιά ακριβώς κύτταρα είναι περισσότερο σημαντικά για την επακόλουθη εμφάνιση του καρκίνου του πνεύμονα. Αυτό είναι και το κυρίως πρόβλημα προσδιορισμού της δόσης. Το βασικό σημείο είναι, ότι τα άλφα σωματίδια που εκπέμπονται μέσα στα τοιχώματα των αεραγωγών έχουν μικρή εμβέλεια, δεκάδες μικρομέτρων, και υπάρχει μεγάλη μεταβλητότητα στην πυκνότητα των ιονισμών και των διεγέρσεων κατά μήκος και δίπλα από τις οδούς. Γι αυτό το λόγο, η ζημιά στα κρίσιμα κύτταρα στόχους των αναπνευστικών οδών εξαρτάται με ένα ευαίσθητο τρόπο από τη γεωμετρία πηγής/στόχου. Επακόλουθα, η δόση που είναι σχετική με τον κίνδυνο, εξαρτάται σημαντικά από τους περιβαλλοντικούς παράγοντες που επηρεάζουν την πιθανότητα τα προϊόντα διάσπασης ραδονίου να αποτεθούν κοντά στα κρίσιμα κύτταρα στόχους μετά την εισπνοή, όπως επίσης και από τη συνολική ταχύτητα εισπνοής των προϊόντων διάσπασης.

Ο υπολογισμός της πιθανότητας καρκινογένεσης στους πνεύμονες είναι μια σύνθετη εργασία, στην οποία δυνατόν να συνεισφέρουν πολλοί παράγοντες. Σημαντικό ρόλο παίζει ο τρόπος λειτουργίας του αναπνευστικού συστήματος, το οποίο στέλνει τον αέρα βαθιά μέσα στους πνεύμονες, στις κυψελίδες, όπου ανταλλάσσεται το οξυγόνο και το διοξείδιο του άνθρακα μεταξύ αίματος και αέρα. Τα περισσότερα σωματίδια της σκόνης που αιωρείται στον αέρα κάθονται στον ανώτερο αναπνευστικό σωλήνα. Γενικά, τα μεγαλύτερα σωματίδια τείνουν να προσκολληθούν μεταξύ της μύτης και των κατωτέρων βρόγχων, ενώ η πιθανότητα τα μικρά σωματίδια να φτάσουν στις κυψελίδες είναι μεγαλύτερη.

Ο αναπνευστικός σωλήνας επικαλύπτεται από ιστό, ο οποίος έχει την ικανότητα να απομακρύνει τη σκόνη προς τα πάνω και έξω από τον αναπνευστικό σωλήνα σε λίγες ώρες. Αντίθετα, η σκόνη που φτάνει στις κυψελίδες μπορεί να παραμείνει στους πνεύμονες επί μήνες ή χρόνια. Τα διαλυτά σωματίδια σκόνης απομακρύνονται γρήγορα από τον αναπνευστικό σωλήνα με το αίμα. Η αδιάλυτη σκόνη που κάθεται στα κυψελιδικά τοιχώματα απομακρύνεται από τα φαγοκύτταρα, κύτταρα τα οποία αφού εγκλωβίσουν τα σωματίδια της σκόνης κατευθύνονται προς το στόμα με τη δράση των ιστών ή περνούν από τα λεμφαγγεία προς τους λεμφαδένες.

Η έκθεση του πνεύμονα στη ραδιενέργεια από την εισπνεόμενη ραδιενεργό σκόνη, εξαρτάται από τη συγκέντρωση των ραδιοϊσοτόπων στον αέρα, το ρυθμό αναπνοής, τις φυσικές ιδιότητες των ραδιοϊσοτόπων, την περιοχή του πνεύμονα όπου εναποτίθεται η σκόνη και το ρυθμό απομάκρυνσής της. Αφού γίνει ο υπολογισμός της ενέργειας που απορροφούν τα πνευμονικά κύτταρα και της δόσης που δέχονται, ακολουθεί ο υπολογισμός της πιθανότητας καρκινογένεσης. Για τους ποσοτικούς υπολογισμούς χρησιμοποιούνται ορισμένοι συντελεστές μετατροπής, οι οποίοι αποδίδουν, για ορισμένη έκθεση σε ραδόνιο, τις αντίστοιχες επιπτώσεις. Π.χ. για συγκέντρωση ραδονίου στο εσωτερικό μιας κατοικίας $55 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$, όσο δηλαδή έχει μετρηθεί κατά μέσο όρο σε κατοικίες, έχει υπολογισθεί επίπτωση εκφρασμένη ως πιθανότητα πρώιμου θανάτου ίση με 0.7 %. Σε μερικές κατοικίες όμως σημειώνονται χαμηλότερες συγκεντρώσεις ραδονίου, οι οποίες συνεπάγονται πιθανότητες της τάξεως του 1:10000. Σε σημαντικό αριθμό κατοικιών μετρήθηκαν υψηλές συγκεντρώσεις, που αντιστοιχούν σε πιθανότητες θανάτου της τάξεως του 1 % ή και ακόμη 10 %. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι κατά καιρούς εκτιμήσεις για την πιθανότητα

πρόκλησης καρκίνου των πνευμόνων από εισπνοή ραδονίου, διαφέρουν μεταξύ τους σημαντικά.

Σε επόμενες παραγράφους, περιγράφεται η τρέχουσα αντίληψη σχετικά με την έκθεση σε ραδόνιο και συνοψίζονται πληροφορίες σχετικά με τους διάφορους παράγοντες που επιδρούν στην έκθεση, μαζί με διαθέσιμα δεδομένα σχετικά με επίπεδα έκθεσης σε εξωτερικούς και εσωτερικούς χώρους. Έτσι προσδιορίζεται η απορροφούμενη δόση στα κρίσιμα κύτταρα και η ενεργός δόση εφαρμόζοντας τους συντελεστές μετατροπής της έκθεσης σε δόση.

2.4 Τρόποι μείωσης ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης του ρυθμού εισόδου ραδονίου για το σπίτι αναφοράς (βλ. παράγραφο 2.5.2), υποδεικνύουν, τουλάχιστον, τη σχετική συνεισφορά των εμπλεκόμενων διεργασιών. Το κύριο πρακτικό αποτέλεσμα τέτοιων μελετών μοντελοποίησης ήταν ο προσδιορισμός μεθόδων περιορισμού των υψηλών ρυθμών εισόδου του ραδονίου διαμέσου των θεμελίων, που συνήθως είναι η αιτία της υψηλής έκθεσης σε ραδόνιο. Αυτές οι μελέτες έχουν επίσης αποκαλύψει, πόσο περίπλοκη είναι η περίπτωση όσον αφορά την πρόβλεψη των ρυθμών εισόδου για μεμονωμένα σπίτια ή την επεξήγηση αυτών όταν μετριοούνται για ραδόνιο. Λαμβάνοντας υπόψη όλους τους παράγοντες που θα αναφερθούν εκτενώς σε επόμενες παραγράφους, και ειδικά το σχέδιο και η ποιότητα κατασκευής ενός μεμονωμένου κτιρίου, οι παράγοντες που προσδιορίζουν το ρυθμό εισόδου είναι πολλοί, ποικίλουν και είναι χαρακτηριστικοί της τοποθεσίας σε μεγάλο βαθμό.

Επιτυχής μέθοδος περιορισμού της συγκέντρωσης ραδονίου, όπως η εύρεση και μόνωση ενός περιορισμένου αριθμού σημείων εισόδου ή ο αποτελεσματικός εξαερισμός του χώματος κάτω ακριβώς από τα θεμέλια, έχουν καλά αποτελέσματα γιατί έτσι εμποδίζεται εύκολα η είσοδος ραδονίου σε πολλές κατασκευές ή τουλάχιστον μειώνεται αισθητά, μέσω της αλλαγής κατεύθυνσης και οδού της μεταφοράς του αέρα μακριά από το εσωτερικό των κτιρίων. Οι συγκεντρώσεις ραδονίου τυπικά μειώνονται κατά περίπου 30 %. Άλλες τεχνικές στοχεύουν στη μείωση της διαφοράς πίεσης μεταξύ εδάφους και κτιρίου, η οποία καθοδηγεί τη μεταφορά με τη ροή του αέρα τότε οι συγκεντρώσεις ραδονίου τυπικά μειώνονται

κατά 80 - 99%. Βελτιώσεις σε συστήματα εξαερισμού κατά κανόνα αλλάζουν τις συγκεντρώσεις ραδονίου κατά ένα ποσοστό λιγότερο από 50%.

Η μέθοδος μείωσης πρέπει να επιλεγεί σύμφωνα με την πηγή ραδονίου. Μέθοδοι μείωσης περιγράφονται με λεπτομέρεια σε αρκετά βιβλία ([27,28]) και σε φυλλάδια που δίνονται σε αρκετές χώρες όπως για παράδειγμα στο Ηνωμένο Βασίλειο, Φινλανδία, Νορβηγία και Σουηδία. Σε πολλές χώρες έχουν αναφερθεί τρόποι μείωσης ραδονίου. Το ακόλουθο πλαίσιο αρχών εφαρμόζεται για την μείωση ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους σε υπάρχοντα κτίρια.

Όταν το χώμα κάτω από το κτίριο είναι η κύρια πηγή ραδονίου:

1. Αντιστρέφοντας τη διαφορά πίεσης μεταξύ του κτιρίου και του χώματος, συχνά αποκαλείται αποσυμπίεση χώματος. Αυτό επιτυγχάνεται πιο εύκολα με τη χρήση μικρών ανεμιστήρων για να απομακρύνουν το ραδόνιο από την περιοχή κάτω από το πάτωμα ή, όταν το έδαφος είναι πολύ πορώδες, δίπλα στο σπίτι (πηγάδι ραδονίου). Μέτριο κόστος και μεγάλη αποτελεσματικότητα.
2. Αυξάνοντας την αντίσταση των θεμελίων έναντι της εισόδου του αέρα από το χώμα. Πολύ αποτελεσματικό και χαμηλού κόστους μέτρο, όταν η είσοδος ραδονίου μπορεί να εντοπιστεί εύκολα. Σε άλλη περίπτωση, στα υπάρχοντα κτίρια, η μόνωση είναι δύσκολο να καταστεί αποτελεσματική επειδή υπάρχουν πολύ περισσότερες οδοί εισόδου από το έδαφος. Τότε έχουμε μέτριο κόστος και μέτρια αποτελεσματικότητα.
3. Αφαιρώντας την πηγή ραδονίου. Αυτό δύναται να είναι εφικτό μόνο σε ακραίες περιπτώσεις, όπως η αφαίρεση του υποκείμενου χώματος. Υψηλό κόστος και υψηλή αποτελεσματικότητα.
4. Αραιώνοντας το ραδόνιο με αύξηση του εξαερισμού. Κάποιες μορφές εξαερισμού θα μειώσουν την πίεση μέσα στο κτίριο, αυξάνοντας με αυτό τον τρόπο την εισαγωγή ραδονίου. Μέτριο κόστος και μικρή αποτελεσματικότητα.
5. Αραιώνοντας τον αέρα κάτω από το σπίτι διοχετεύοντας αέρα από εξωτερικό ή εσωτερικό χώρο. Αν εφαρμοστεί σωστά, τότε έχουμε μέτριο κόστος και υψηλή αποτελεσματικότητα.

Όταν τα οικοδομικά υλικά είναι η κύρια πηγή ραδονίου:

1. Αραιώνοντας το ραδόνιο με αύξηση του εξαερισμού. Μέτριο κόστος και μέτρια έως υψηλή αποτελεσματικότητα.
2. Μονώνοντας τους τοίχους κτλ. Μέτριο κόστος και μέτρια αποτελεσματικότητα.
3. Αφαιρώντας την πηγή ραδονίου. Υψηλό κόστος και μέτρια έως υψηλή αποτελεσματικότητα.

Όταν το νερό είναι η κύρια πηγή ραδονίου:

1. Αερισμός του νερού πριν μπει μέσα στο κτίριο. Αρκετές εταιρίες πουλούν τέτοιο εξοπλισμό. Ένα πρόβλημα μπορεί να είναι η ανάπτυξη βακτηρίων. Μέτριο κόστος και υψηλή αποτελεσματικότητα.
2. Φιλτράρισμα του νερού με φίλτρο ενεργού άνθρακα. Προβλήματα εδώ μπορεί να είναι η ύπαρξη ραδίου στο φίλτρο και η ανάπτυξη βακτηρίων. Μέτριο κόστος και μέτρια αποτελεσματικότητα.
3. Αλλάζοντας την παροχή νερού. Αυτό συνήθως δεν είναι δυνατό για ιδιωτικά πηγάδια. Στις περισσότερες περιπτώσεις υψηλό κόστος και υψηλή αποτελεσματικότητα.

Κάποια από αυτά τα μέτρα επιδιόρθωσης βασίζονται σε διαρκή λειτουργικά έξοδα προκειμένου να είναι αποτελεσματικά. Τοπικές συνθήκες θα επηρεάσουν την επιλογή των μεθόδων. Το κόστος για κάθε μέθοδο κυμαίνεται, όπως επίσης, κυμαίνεται το κόστος για την ίδια μέθοδο από χώρα σε χώρα.

Είναι σημαντικό να ελέγχεται η συγκέντρωση ραδονίου μετά τη λήψη κάποιου μέτρου, αλλά επίσης να ελέγχεται και στο μέλλον σε τακτά διαστήματα, π.χ. κάθε 10 χρόνια. Έχει αποδειχθεί ότι τα περισσότερα μέτρα θα διαρκέσουν πολλά χρόνια [29,30]. Ωστόσο, η συγκέντρωση ραδονίου έχει αυξηθεί σε μια μερίδα κτιρίων που παρουσίασαν χαμηλές συγκεντρώσεις ραδονίου μετά τη λήψη κάποιου μέτρου. Αυτή ήταν η περίπτωση για όλες τις μεθόδους μείωσης και λόγους διαφόρων ειδών. Σε πολλές περιπτώσεις επιλέχτηκε λανθασμένη μέθοδος μείωσης ραδονίου, π.χ. αυξημένος εξαερισμός με αυξημένη εισροή ραδονίου. Ένα αίτιο που μπορούσε να

αποτραπεί ήταν το γεγονός ότι η λειτουργία των ανεμιστήρων μειώθηκε ή σταμάτησε.

Νέα κτίρια που πρόκειται να κτιστούν σε χώματα που παρουσιάζουν επικινδυνότητα λόγω ύπαρξης ραδονίου, πρέπει να κτίζονται με προστασία έναντι του ραδονίου για πρακτικούς και οικονομικούς λόγους.

2.5 Πηγές ραδονίου

2.5.1 Είσοδος ραδονίου στην ατμόσφαιρα

Το ραδόνιο (^{222}Rn) είναι αέριο ραδιενεργό προϊόν της διάσπασης του ραδίου (^{226}Ra) που υπάρχουν σε όλα τα υλικά της γης. Μερικά άτομα από αυτά τα ισότοπα ραδονίου απελευθερώνονται από τη κρυσταλλική δομή του υλικού μέσω διαφυγής, όταν το ράδιο διασπάται. Για να ξεφύγει ένα άτομο ραδονίου από τον κόκκο του υλικού μέσα στους πόρους, η διάσπαση πρέπει να συμβεί εντός της απόστασης διαφυγής της επιφάνειας του κόκκου (βλ. σχήμα 2.5). Το πεδίο τιμών της απόστασης διαφυγής για το ραδόνιο είναι 20-70 nm στα κοινά ορυκτά, 100 nm στο νερό και 63 μm στον αέρα. Τα άτομα ραδονίου αφού μπουν στους πόρους, μεταφέρονται με διάχυση και με τη μεταφορά μέσω της ροής του αέρα μέσα από αυτό το χώρο, μέχρι, με τη σειρά τους, να διασπαστούν ή να απελευθερωθούν στην ατμόσφαιρα (εκροή). Οι διεργασίες εκροής και μεταφοράς του ραδονίου, ιδιαίτερος στο χώμα, έχουν αναθεωρηθεί σε αρκετές κλασικές δημοσιεύσεις από τον Tanner [31,32]. Νέες μελέτες έχουν επικεντρωθεί στην επίδραση της υγρασίας, στη δυναμική της απελευθέρωσης ή αποδέσμευσης από τα ορυκτά, στη συμπεριφορά του ραδονίου στο χώμα, όπως επίσης και σε θέματα γεωλογίας και κλιματικής. Η παραγωγή και μεταφορά του ραδονίου σε πορώδη υλικά εμπλέκει στερεές, υγρές και αέριες φάσεις στις διεργασίες εκροής, διάχυσης, μεταφοράς με τη ροή του αέρα, απορρόφησης στην υγρή φάση και απορρόφησης στην στερεή φάση. Οι περισσότερες πλευρές αυτών των διεργασιών έχουν χαρακτηριστεί μεμονωμένα, εντούτοις πρακτικές εφαρμογές απαιτούν ενοποιημένο θεωρητικό πλαίσιο που να θεωρεί τις διεργασίες ταυτοχρόνως.

Το κλάσμα των ατόμων ραδονίου που απελευθερώνονται μέσα στους πόρους του πετρώματος ή του χώματος από ένα κόκκο που περιέχει ράδιο ονομάζεται συντελεστής εκροής, παράγοντας εκροής ή ισχύς εκροής. Παράγοντες που

επηρεάζουν τον συντελεστή εκροής έχουν μελετηθεί από τους Schumann και Gundersen. Τυπικές τιμές του συντελεστή εκροής για πέτρες και χώμα κυμαίνονται από 0.05 ως 0.7. Το μέγεθος και το σχήμα των κόκκων είναι δύο σημαντικοί παράγοντες οι οποίοι ρυθμίζουν την εκροή του ραδονίου στο χώμα. Προσδιορίζουν πόσο ράδιο είναι αρκετά κοντά στην επιφάνεια των κόκκων για να επιτρέψει στο ραδόνιο να διαφύγει μέσα στους πόρους. Γενικά, ο παράγοντας εκροής ραδονίου είναι αντιστρόφως ανάλογος του μεγέθους του κόκκου. Η ύπαρξη ραδίου σε υψηλές συγκεντρώσεις στα επιφανειακά στρώματα των κόκκων αυξάνει τη δύναμη εκροής σε σχέση με την περίπτωση όπου το ράδιο είναι ομοιόμορφα κατανομημένο σε ολόκληρο τον κόκκο. Η απορρόφηση ή συνκαθίζηση των ραδιενεργών ιχνοστοιχείων μαζί με οξείδια μετάλλων ή οργανικές ενώσεις στα στρώματα των κόκκων είναι μία από τις πιο σημαντικές διεργασίες που αυξάνουν τον συντελεστή εκροής ραδονίου. Μια μελέτη σε γρανιτικό πέτρωμα έδειξε υψηλό βαθμό ραδιενεργού διαταραχής μεταξύ ^{226}Ra και ^{238}U , που προκλήθηκε από το ^{226}Ra που απορροφήθηκε από την επιφάνεια των σωματιδίων του υλικού του εδάφους. Μικροσκοπικά σπασίματα και ρωγμές, που ονομάζονται νανοπόροι και κοιλοότητες ή ανοίγματα, που προκλήθηκαν από προηγούμενες ραδιενεργές διασπάσεις παρέχουν επιπλέον οδούς διαφυγής για το ραδόνιο. Ιδιαίτερος σε κόκκους με μέγεθος άμμου και μεγαλύτερο, οι νανοπόροι μπορούν να αυξήσουν την ειδική επιφανειακή περιοχή του κόκκου, αυξάνοντας την εκροή κατά μία με δυο τάξεις μεγέθους.

Η υγρασία του εδάφους παίζει ένα πολύ σημαντικό ρόλο στην εκροή και διάχυση του ραδονίου στο έδαφος, για αρκετούς λόγους. Η υγρασία του εδάφους, σε μορφή ενός λεπτού φιλμ νερού που περιβάλλει τους κόκκους χώματος, επηρεάζει άμεσα την εκροή ραδονίου δεσμεύοντας το ραδόνιο που διαφεύγει από την κρυσταλλική δομή. Αυτές οι δεσμεύσεις αυξάνουν την πιθανότητα τα άτομα ραδονίου να παραμείνουν στους πόρους αντί να τους διαπεράσουν και να ενσωματωθούν στους γειτονικούς κόκκους χώματος. Τόσο οι θεωρητικές εκτιμήσεις όσο και οι εργαστηριακές δοκιμές δείχνουν ότι η προσρόφηση σε κόκκους χώματος μειώνεται γρήγορα όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα σε νερό, με αποτέλεσμα να γίνεται ασήμαντη για περιεκτικότητα νερού μεγαλύτερη από 0.3 - 0.4 του σημείου κορεσμού. Η μειωμένη προσρόφηση αυξάνει τον παράγοντα εκροής σε χαμηλές περιεκτικότητες νερού. Εφόσον το ραδόνιο μπει στους πόρους, ο διαχωρισμός του σε αδιάλυτο και σε διαλυμένο στο νερό εξαρτάται από το σχετικό όγκο νερού που υπάρχει στους πόρους και στη

θερμοκρασία. Η διαλυτότητα του ραδονίου στο νερό μειώνεται με τη θερμοκρασία. Ο συντελεστής διαχωρισμού του ραδονίου μεταξύ του νερού και αέρα (ο συντελεστής του Ostwald) K_T , δίνει το λόγο των συγκεντρώσεων του ραδονίου στο νερό και στον αέρα. Η τιμή του K_T κυμαίνεται από 0.53 στους 0 °C έως 0.23 στους 25 °C στο νερό και έχει τυπική τιμή 0.30 στους 15 °C. Τόσο η διεργασία διαχωρισμού, όσο και η αυξημένη εκροή είναι υπεύθυνες για το γεγονός, ότι η συγκέντρωση ραδονίου στους πόρους που καταλαμβάνονται από αέρα είναι υψηλότερη υπό υγρές παρά υπό ξηρές συνθήκες.

Η συγκέντρωση ραδονίου στα αέρια του εδάφους, C_{Rn} , χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η μεταφορά ραδονίου δίνεται από τη σχέση [2]:

$$C_{Rn} = C_{Ra} \cdot f \cdot \rho_s \cdot \varepsilon^{-1} \cdot (1 - \varepsilon) \cdot (m [K_T - 1] + 1)^{-1} \quad 2.1$$

όπου C_{Ra} είναι η συγκέντρωση ραδίου στο χώμα ($Bq \cdot Kg^{-1}$), f είναι ο παράγοντας εκροής, ρ_s είναι η πυκνότητα των κόκκων του χώματος ($2700 kg \cdot m^{-3}$), ε είναι το συνολικό πορώδες, συμπεριλαμβανομένου υγρής και αέριας φάσης, m είναι το κλάσμα του πορώδους που είναι εμποτισμένο με νερό (ονομάζεται επίσης και κλάσμα κορεσμού) και K_T είναι ο συντελεστής διαχωρισμού ραδονίου μεταξύ υγρής και αέριας φάσης. Για ξηρό χώμα, το m είναι μηδέν και ο τελευταίος όρος του δεξιού σκέλους της εξίσωσης μπορεί να παραλειφτεί. Ένα ζεστό, υγρό χώμα (25 °C, $K_T = 0.23$, $m = 0.95$) με τυπικές παραμέτρους χώματος ($C_{Ra} = 30 Bq \cdot Kg^{-1}$, $f = 0.2$, $\varepsilon = 0.25$) θα έχει συγκέντρωση ραδονίου στον αέρα των πόρων $78 kBq \cdot m^{-3}$, η οποία είναι 3.7 φορές υψηλότερη από την περίπτωση που το χώμα βρισκόταν υπό κρύες και ξηρές συνθήκες (0 °C, $K_T = 0.53$, $m = 0.05$, $C_{Rn} = 21 kBq \cdot m^{-3}$) [2].

Οι συγκεντρώσεις ραδονίου στο χώμα εντός ολίγων μέτρων από την επιφάνεια του εδάφους είναι προφανώς σημαντικές στον προσδιορισμό των ρυθμών εισόδου του ραδονίου στους πόρους και στη συνέχεια στην ατμόσφαιρα. Εξαρτώνται από τη κατανομή και τις συγκεντρώσεις των μητρικών ραδιενεργών ιχνοστοιχείων του ραδίου στο βραχώδες υπόστρωμα και στο υπερκείμενο στρώμα, καθώς και στη διαπερατότητα του χώματος. Ορισμένες γενικεύσεις μπορούν να γίνουν για τις συγκεντρώσεις ραδίου σε βραχώδη υποστρώματα διαφόρων τύπων, αλλά υπάρχουν μεγάλες διακυμάνσεις για τον κάθε τύπο. Γενικά, οι γρανίτες περιέχουν σχετικά μεγάλες ποσότητες ραδίου, ιζηματογενή και μεταμορφωσιγενή πετρώματα μέτριες

ποσότητες, βασάλτες και ασβεστόλιθοι μικρές ποσότητες, αν και υπάρχουν αρκετές αξιοσημείωτες εξαιρέσεις στον κανόνα. Τα χώματα παρουσιάζουν ομοίως μια μεταβλητότητα στην περιεκτικότητα ραδίου και γενικεύσεις εδώ είναι ακόμα πιο δύσκολο να διεξαχθούν. Αυτό οφείλεται εν μέρει στη συχνά περίπλοκη σχέση μεταξύ βραχώδους υποστρώματος και των υπερκείμενων τους στρωμάτων, ειδικά στις περιοχές με υψηλότερο γεωγραφικό πλάτος που στο παρελθόν ήταν καλυμμένες από παγετώνα. Το ράδιο μεταφέρεται πιο εύκολα στα φυτά σε σχέση με τα μητρικά ραδιενεργά ιχνοστοιχεία ουρανίου και η εκροή από την οργανική ύλη του χώματος είναι πιο έντονη από ότι η εκροή από ορυκτό χώμα. Η ενεργές διαπερατότητες του βραχώδους υποστρώματος και του χώματος παρουσιάζουν επίσης υψηλή διακύμανση, αφού σχετίζονται με το βαθμό διάβρωσης, το πορώδες, την υγρασία και την ύπαρξη σπασιμάτων ή ρωγμών. Αυτό παρουσιάστηκε από τον Schuman και τον Gundersen για διάφορα χώματα και κλίματα στις ΗΠΑ. Οι τοπικές διαφορές πιθανώς να προκλήθηκαν από τις κλιματικά ελεγχόμενες διαφορές στις διεργασίες διάβρωσης του χώματος.

Οι κύριες παράμετροι σχετιζόμενες με το έδαφος που χαρακτηρίζουν τη μεταφορά του ραδονίου είναι ο συντελεστής διάχυσης και η διαπερατότητα του χώματος-αέρα. Ο συντελεστής διάχυσης συσχετίζει το βαθμό μεταβολής της συγκέντρωσης του ραδονίου στους πόρους που καταλαμβάνονται από αέρα, με τη ροή. Μπορεί να προσδιοριστεί με πολλούς τρόπους γεγονός το οποίο μπορεί να προκαλέσει σύγχυση. Ο συντελεστής διάχυσης στους πόρους D_e ονομάζεται επίσης «ενεργός» συντελεστής διάχυσης. Συσχετίζει το βαθμό μεταβολής της συγκέντρωσης ραδονίου μέσα στους πόρους που καταλαμβάνονται από αέρα σε σχέση με την πυκνότητα ροής διαμέσου της περιοχής του πόρου που καταλαμβάνεται από αέρα. Ο συντελεστής διάχυσης συσχετίζει τον ίδιο βαθμό μεταβολής σε σχέση με την πυκνότητα ροής διαμέσου της περιοχής διάχυσης. Ο όγκος του πόρου διαιρείται σε μέρη τα οποία καταλαμβάνονται από αέρα και σε μέρη τα οποία καταλαμβάνονται από νερό. Μια προσεγγιστική σχέση δηλώνει ότι ο συντελεστής διάχυσης D είναι ίσος με $\epsilon \cdot D_e$, όπου ϵ είναι το πορώδες του χώματος. Δεδομένου ότι η συγκεντρώσεις ραδονίου στα μέρη που καταλαμβάνονται από αέρα και στα μέρη που καταλαμβάνονται από νερό δεν είναι ίδιες, η παράμετρος ϵ πρέπει να αντικατασταθεί από την έκφραση $\epsilon_a + K_T \epsilon_w$ η οποία λαμβάνει υπόψη τη διαμέριση.

Απλές μέθοδοι χρειάζονται για τον προσδιορισμό των βασικών παραμέτρων του συντελεστή διάχυσης και της διαπερατότητας μεταξύ χώματος και αέρα για τους υπολογισμούς μεταφοράς ραδονίου. Οι Rogers και Nielson παρουσίασαν μια σύντομη μελέτη με τέτοιες μαθηματικές σχέσεις [33]. Εισήγαγαν επίσης, μια ανανεωμένη συσχέτιση για τον συντελεστή διάχυσης, που ήταν βασισμένη σε παραπάνω από χίλιες μετρήσεις διάχυσης. Η πειραματική μορφή του συντελεστή ενεργής διάχυσης D_e σαν συνάρτηση του κατ' όγκο κλάσματος του κορεσμού του νερού δίνεται στο σχήμα 2.6. Σε χαμηλές περιεκτικότητες σε νερό, ο D_e επηρεάζεται λίγο από την περιεκτικότητα σε νερό. Σε υψηλές περιεκτικότητες σε νερό, οι πόροι γεμίζουν με νερό και η διάχυση μειώνεται. Τυπικές τιμές πορώδους για διάφορα υλικά του χώματος είναι 0.01 - 0.5, με το 0.25 να είναι μια αντιπροσωπευτική μέση τιμή. Τυπικά κλάσματα κορεσμού του νερού είναι 0.1- 0.3 για άμμο και 0.3 - 0.95 για αργιλώδες έδαφος, λασπώδες χώμα ή χώμα [2]. Το εύρος τιμών του D_e στο χώμα βρίσκεται τυπικά μεταξύ 10^{-7} και $10^{-5} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Για χώμα με κλασματικό κορεσμό νερού 0.2 και πορώδες 0.25, τα δεδομένα στο σχήμα 2.6 δίδουν μια σταθερά ενεργής διάχυσης $2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, που χρησιμοποιείται σαν αντιπροσωπευτική τιμή για το χώμα κάτω από το σπίτι αναφοράς (βλ. Πίνακα 2.5) [2]. Στην περίπτωση στεγνού χώματος (με συνολικό πορώδες $\epsilon = 0.25$), ο αντίστοιχος συντελεστής διάχυσης της τάξης του $5 \cdot 10^{-7} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ είναι το γινόμενο από ένα πορώδες χώματος της τάξης του 0.25 και ενός $D_e = 2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Αυτή η τιμή του αδρού συντελεστή διάχυσης ανταποκρίνεται στην αντιπροσωπευτική τιμή που είχε δοθεί στις αναφορές του UNSCEAR 1988 και 1993 [18,19]. Αν η διαμέριση είχε ληφθεί υπόψη π.χ. στο λόγο κορεσμού $m=0.2$ ($\epsilon = 0.25$, $\epsilon_a = 0.20$ και $\epsilon_w = 0.05$) και σε θερμοκρασία $15 \text{ }^\circ\text{C}$ ($K_T = 0.3$), ο αντίστοιχος αδρός συντελεστής διάχυσης είναι μικρότερος, $4.3 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.

Ο κύριος μηχανισμός για την είσοδο του ραδονίου στην ατμόσφαιρα είναι η μοριακή διάχυση. Μια μαθηματική σχέση για την εκτίμηση του λόγου εισόδου με διάχυση του ραδονίου στην ατμόσφαιρα μελετήθηκε σε αναφορές του UNSCEAR το 1988 και 1993 [18,19]. Για μια πορώδη μάζα ομογενούς υλικού ημιάπειρης έκτασης, η πυκνότητα ροής του ραδονίου στην επιφάνεια του στεγνού χώματος J_D ($\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) δίνεται από την σχέση [2]:

$$J_D = C_{Ra} \cdot \lambda_{Rn} \cdot f \cdot \rho_s \cdot (1 - \epsilon) \cdot L \quad 2.2$$

όπου C_{Ra} είναι η συγκέντρωση ραδιενέργειας του ^{226}Ra στο γήινο υλικό ($Bq \cdot kg^{-1}$), λ_{Rn} είναι η σταθερά διάσπασης του ^{222}Rn ($2.1 \cdot 10^{-6} \cdot s^{-1}$), f είναι το κλάσμα εκροής για το γήινο υλικό, ρ_s είναι η πυκνότητα του κόκκου το χώματος ($2700 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$) και ε είναι το πορώδες του στεγνού γήινου υλικού. Το μήκος διάχυσης, L είναι ίσο με $(D_e/\lambda_{Rn})^{1/2}$. Με αντιπροσωπευτικές τιμές αυτών των παραμέτρων ($C_{Ra} = 40 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$, $f = 0.2$, $D_e = 2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, $\varepsilon = 0.25$), ο J_D είναι $0.033 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Η εξίσωση (2.2) ισχύει μόνο για στεγνό χώμα. Η παρουσία νερού στο χώμα αλλάζει τις συνθήκες μεταφοράς, οδηγώντας σε μια τροποποιημένη εξίσωση για το J_D . Επιπρόσθετα, η υγρασία επηρεάζει τον συντελεστή εκροής και τον συντελεστή διάχυσης. Η εκτίμηση του J_D , $0.033 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, είναι κατά προσέγγιση σε συμφωνία με μετρημένες τιμές. Ωστόσο, είναι υψηλότερη από την εκτιμημένη μέση παγκόσμια ροή του ^{222}Rn που είναι $0.016 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ [2].

Αν και η είσοδος του ραδονίου στην ατμόσφαιρα του εξωτερικού περιβάλλοντος με το μηχανισμό της διάχυσης κυριαρχεί, συντελείται επίσης κάποια μεταφορά λόγω του ανέμου και αλλαγών της βαρομετρικής πίεσης. Μετρήσεις των λόγων εκροής του ραδονίου από το χώμα δείχνουν μια μεταβλητότητα που απεικονίζει τη μεταβλητότητα των συγκεντρώσεων του ραδονίου που υπάρχει στους πόρους κοντά στην επιφάνεια. Συγκεντρώσεις ^{222}Rn στα αέρια του χώματος διαφέρουν κατά πολλές τάξεις μεγέθους από μέρος σε μέρος και παρουσιάζουν σημαντικές μεταβολές σε σχέση με το χρόνο σε κάθε δεδομένη θέση. Δεδομένα έχουν δείξει ότι υπήρχαν εμφανείς αυξήσεις στις συγκεντρώσεις ραδονίου στον αέρα του περιβάλλοντος και στα υπόγεια ύδατα ακριβώς πριν το μεγάλο σεισμό στο Kobe, στην Ιαπωνία το 1995.

2.5.2 Είσοδος ραδονίου μέσα στα κτίρια

Οι γνώσεις που έχουμε για τους παράγοντες που επηρεάζουν το ρυθμό εισόδου του ραδονίου ^{222}Rn μέσα στις κατασκευές έχουν βελτιωθεί αξιοσημείωτα τα τελευταία χρόνια ως αποτέλεσμα των ερευνών των εμπλεκόμενων διεργασιών και στις εκτιμήσεις απλοποιημένων μοντέλων σπιτιών. Σε αναφορές του UNSCEAR 1988 και 1993 περιγράφηκε ένα μοντέλο πέτρινου κτιρίου με όγκο 250 m^3 , εμβαδόν 450 m^2 και ρυθμό συναλλαγής αέρα 1 h^{-1} και έγιναν υπολογισμοί για να απεικονίσουν την επίδραση των διαφόρων μηχανισμών εισόδου του ραδονίου, συμπεριλαμβανομένου της διάχυσης και της μεταφοράς με ροή του αέρα από το έδαφος και τα οικοδομικά υλικά, την είσοδο του εξωτερικού αέρα και του ραδονίου που απελευθερώνεται από

το νερό και το φυσικό αέριο [18,19]. Στις επόμενες παραγράφους γίνεται επαναξιολόγηση της συμβολής αυτών των μηχανισμών εισόδου του ραδονίου μέσα στα κτίρια. Οι αντιπροσωπευτικές παράμετροι του χώματος και των κτιρίων που χρησιμοποιήθηκαν στις εκτιμήσεις δίνονται στον πίνακα 2.5.

Πολλές μελέτες έχουν δείξει ότι όποτε παρατηρούνται υψηλοί ρυθμοί εισόδου ραδονίου μέσα στα κτίρια συνήθως η μεταφορά με τη ροή του αέρα είναι ο κύριος παράγοντας. Αυτή η μεταφορά με τη ροή του αέρα προκαλείται από τη διαφορά πίεσης μεταξύ του εσωτερικού του κτιρίου και του εδάφους γύρω από τα θεμέλια, η οποία οφείλεται στις υψηλότερες θερμοκρασίες μέσα στον οργανισμό (φαινόμενο «καμινάδας»), στον μηχανικό εξαερισμό και σε κάποιο βαθμό στον άνεμο που φυσά πάνω στο κτίριο. Η αποτελεσματικότητα της διαφοράς πίεσης στο να εισάγει διαμέσου των θεμελίων αέρια από το χώμα γεμάτα ραδόνιο οφείλεται σημαντικά στην ενεργή διαπερατότητα, τόσο των θεμελίων του κτιρίου, όσο και της όμορης γης. Ο άνεμος μπορεί, επίσης, να προκαλέσει μειώσεις στις συγκεντρώσεις ραδονίου εισόδου με την απομάκρυνση του ραδονίου του χώματος που περιβάλλει το σπίτι. Υπό συγκεκριμένες συνθήκες, οι διακυμάνσεις της ατμοσφαιρικής πίεσης μπορούν επίσης να αποτελέσουν ένα σημαντικό μηχανισμό εισόδου ραδονίου μέσα στα κτίρια. Εξαιτίας της ανομοιότητας στα διαφορικά της πίεσης και στις διαπερατότητες, η συμβολή του φαινομένου μεταφοράς της ροής του αέρα κυμαίνεται σημαντικά από κατασκευή σε κατασκευή, τουλάχιστον όσον αφορά τα εύκρατα και κρύα κλίματα. Σε κτίρια παρομοίων διαστάσεων που δεν είναι κατασκευασμένα με ορυκτά υλικά και βρίσκονται σε τροπικό κλίμα, πρέπει να ληφθούν υπόψη τα συνήθη χαρακτηριστικά και η κατάσταση των ξύλινων πατωμάτων, ο ήρεμος αέρας, οι ισορροπημένες θερμοκρασίες και ο υψηλός εξαερισμός (2 h^{-1}). Σε αυτή την περίπτωση οι πιο σημαντικοί παράγοντες που ευθύνονται για το ραδόνιο σε εσωτερικούς χώρους προέρχονται από τον εξωτερικό αέρα και τη διάχυση από το έδαφος, αλλά η συνολική τιμή δεν αλλάζει κατά πολύ.

Στις ΗΠΑ και στη Φινλανδία, σε λοφώδη, καρστικά εδάφη, έχει παρατηρηθεί η επίδραση των ανώμαλων υπόγειων ρευμάτων αέρα στις συγκεντρώσεις ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους. Στις ΗΠΑ, υπόγεια δίκτυα κοιλοτήτων και ρηγμάτων έχει παρατηρηθεί ότι διευκολύνουν τη μεταφορά αέρα, ο οποίος περιέχει ραδόνιο. Στα καρστικά εδάφη η αραιή άμμος διευκολύνει τα υπόγεια ρεύματα αέρα. Και στις δύο

περιπτώσεις, οι διαφορές στη θερμοκρασία μεταξύ του υπόγειου και εξωτερικού αέρα και οι συνοδευόμενες διαφορές στην πυκνότητά του, προκαλούν την κίνηση του υπόγειου αέρα μεταξύ των ανώτερων και κατώτερων σημείων της περιοχής. Ο άνεμος μπορεί επίσης να επηρεάσει σημαντικά τον αέρα του χώματος και τις συγκεντρώσεις ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους στις περιοχές αυτές. Αυτά τα ρεύματα αέρα ενισχύουν τα επίπεδα ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους το χειμώνα ή το καλοκαίρι, ανάλογα με την τοποθεσία του σπιτιού. Ρεύματα αέρα οφειλόμενα σε θερμικές διαφορές και εποχιακά εξαρτώμενες διακυμάνσεις των συγκεντρώσεων ραδονίου, που είναι συγκρίσιμες με τις παρατηρήσεις που περιγράφηκαν παραπάνω, έχουν παρατηρηθεί σε σπηλιές και σε περιοχές με ορυχεία κοντά σε τούνελ και αεραγωγούς.

Οι μελέτες μοντελοποίησης έχουν βοηθήσει στη κατανόηση της σχέσης των παραγόντων που επηρεάζουν το ρυθμό εισόδου του ραδονίου στις κατασκευές. Τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης αξιολογήθηκαν από τον Gadgil [34]. Η κύρια οδός εισόδου στο πρότυπο σπίτι είναι το κενό μεταξύ των θεμελίων και της τσιμεντένιας πλάκας του πατώματος. Οι πρώτες αναλυτικές μελέτες κατέδειξαν την κυρίαρχη επίδραση της διαπερατότητας του χώματος· επίσης έδειξαν ότι άπαξ και το κενό ξεπερνά τα 0.5 mm, δεν αυξάνει περαιτέρω σημαντικά ο ρυθμός εισόδου. Αργότερα, τυποποιήθηκαν κυρίως αριθμητικές μελέτες προτύπων, η επίδραση ενός υποδαπέδιου στρώματος με χαλί, η επιχωμάτωση, η είσοδος σε σπίτι με ανυψωμένη πλάκα και εναλλακτικές οδοί εισόδου. Η στρώση με χαλί που είναι κάτω από την πλάκα του πατώματος αυξάνει σημαντικά τον ρυθμό εισόδου του ραδονίου. Τυπικά, όταν ο λόγος διαπερατότητας του χαλικιού σε χώμα είναι άνω του 100 και η διαπερατότητα του χώματος είναι μικρότερη από 10^{-9} m^2 , τότε το συνολικό στρώμα αυξάνει την είσοδο ραδονίου με ένα συντελεστή 3 - 5.

Η διαπερατότητα επηρεάζει έντονα την είσοδο του ραδονίου μέσα στα κτίρια με αγωγή θερμότητας. Το πεδίο τιμών της διαπερατότητας του αέρα μέσα από το χώμα είναι πολύ ευρύ, μεγαλύτερο από οκτώ τάξεις μεγέθους, λιγότερο από 10^{-16} m^2 για ομογενές χώμα έως μεγαλύτερο από 10^{-8} m^2 για καθαρό χαλί. Σε ένα σπίτι με ανυψωμένη πλάκα, το κενό μεταξύ της πλάκας του πατώματος και των θεμελίων είναι η πιο σημαντική οδός εισόδου του αέρα του χώματος που περιέχει ραδόνιο. Ειδικά αν η πλάκα είναι καλά μονωμένη από ραδόνιο, τότε υψηλές

συγκεντρώσεις ραδονίου μπορούν να επιτευχθούν μόνο λόγω μεταφοράς με τη ροή του αέρα και ο ρυθμός εισόδου λόγω διάχυσης είναι μικρότερης σημασίας. Για μέτριες τιμές διαπερατότητας ($k > 10^{-12} \text{ m}^2$), ο ρυθμός εισόδου είναι ανάλογος με τη διαπερατότητα και τη διαφορά πίεσης κατά μήκος του κενού. Η επίδραση της διαπερατότητας του χώματος, υπολογισμένη για το πρότυπο σπίτι, απεικονίζεται στο σχήμα 2.8. Η ύπαρξη ρωγμών ή σπασιμάτων κάθε είδους και κάθε κλίμακας στη κρυσταλλική δομή του υλικού είναι μεγάλης σημασίας. Αυτά μεγεθύνουν τις επιδράσεις των διαφορών πίεσης και θερμοκρασίας όσον αφορά τη μεταφορά του ραδονίου λόγω αγωγής θερμότητας. Σπασίματα στους σχηματισμούς των βράχων του υπεδάφους, ρωγμές στο χώμα και παρόμοιες ανομοιογένειες στα υλικά των θεμελίων μιας κατασκευής έχουν αναγνωριστεί ως άμεσες αιτίες για την εμφάνιση υψηλών ρυθμών εισόδου ραδονίου σε πολλές κατασκευές δικαιολογώντας έτσι τις υψηλές συγκεντρώσεις ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους.

Για να εκτιμήσουμε τον ρυθμό εισόδου ραδονίου με διάχυση από τα οικοδομικά υλικά, θα πρέπει γνωρίζουμε την πυκνότητα ροής από τη μια πλευρά του οικοδομικού στοιχείου, όπως τοίχος και πάτωμα. Αυτό δίνεται από την ακόλουθη έκφραση, που παρουσιάστηκε στην αναφορά του UNSCEAR 1988 [18]:

$$J_D = C_{Ra} \cdot \lambda_{Rn} \cdot f \cdot \rho \cdot L \cdot \tanh(d/L) \quad 2.3$$

όπου L είναι το μήκος διάχυσης στο τσιμέντο, που δίνεται στην εξίσωση (2.2) και d είναι το ήμισυ του πάχους της πλάκας. Η εξίσωση είναι παρόμοια με αυτή που σχετίζεται με το έδαφος (εξίσωση 2.2), η μόνη διαφορά είναι η εισαγωγή του υπερβολικού όρου. Οι παράμετροι των υλικών τοιχοποιίας που δίνονται στον πίνακα 2.5 και τοίχου με ημίσειο πάχος 0.1 m βγάζει μια εκτίμηση 0.18 m για το μήκος διάχυσης του τσιμέντου, με αντίστοιχη ροή ραδονίου $0.0016 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Για μια πλάκα πατώματος με ημίσειο πάχος 0.05 m και με τιμές που δίνονται από τον πίνακα 2.5, το αντίστοιχο μήκος διάχυσης και η ροή ραδονίου είναι 0.22 m και $0.0008 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Επειδή τα μήκη διάχυσης είναι μεγαλύτερα από το ημίσειο πάχος του τοίχου και του πατώματος, το περισσότερο από το ελεύθερο ραδόνιο θα εκρυσταλλώσει από τις κατασκευές. Συνεπώς, το πάχος της κατασκευής είναι ένας κυρίαρχος παράγοντας που επηρεάζει τη ροή ραδονίου. Οι υπολογισθείσες πυκνότητες ροής ραδονίου για τα οικοδομικά υλικά είναι περίπου μια τάξη μεγέθους μικρότερες από την πυκνότητα ροής από το ημιάπειρο έδαφος που δίνεται παραπάνω.

Ο ρυθμός εισόδου του ραδονίου από τα οικοδομικά στοιχεία στο σπίτι αναφοράς, U ($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$), δίνεται από την έκφραση [2]:

$$U = 3.6\cdot 10^3 \cdot S_B \cdot J_D / V \quad 2.4$$

όπου S_B είναι το εμβαδόν της επιφάνειας των τοίχων, J_D είναι η πυκνότητα ροής και V είναι ο όγκος του σπιτιού (m^3). Το εμβαδόν της επιφάνειας των τοίχων που εκπέμπουν ραδόνιο στο σπίτι αναφοράς εκτιμάται να είναι περίπου 450 m^2 . Η τιμή που προκύπτει για το U είναι περίπου $10 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$. Ομοίως, ο ρυθμός εισόδου από την πλάκα του πατώματος με πυκνότητα ροής ραδονίου της τάξης του $0.0008 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ και εμβαδού επιφάνειας 100 m^2 είναι $1.2 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$. Με ρυθμό ανανέωσης αέρα 1 h^{-1} , οι αντίστοιχες συγκεντρώσεις ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους στο σπίτι αναφοράς που οφείλονται στα υλικά με τα οποία είναι κατασκευασμένη η πλάκα των τοίχων και του πατώματος είναι περίπου 10 και $1 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$.

Έχει παρατηρηθεί ότι σε δείγματα τσιμέντου η ροή ραδονίου διαφέρει περισσότερο από δύο τάξεις μεγέθους. Αυτό προκαλείται από τις διαφορές της περιεκτικότητας ραδίου ^{226}Ra στο υλικό, στο πορώδες του, την πυκνότητα και στο κλάσμα εκροής. Γενικά, η διάχυση ραδονίου από το χόμα διαμέσου του τσιμέντου έχει αγνοηθεί. Ωστόσο, πρόσφατες μετρήσεις από τις ΗΠΑ δείχνουν ότι η διάχυση ραδονίου διαμέσου του τσιμέντου μπορεί να είναι ένας σημαντικός μηχανισμός εισόδου του ραδονίου μέσα στις κατοικίες. Βασικά, αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το τσιμέντο που χρησιμοποιείται για τις πλάκες των πατωμάτων των σπιτιών δεν τόσο καλής ποιότητας όσο είναι το τσιμέντο που χρησιμοποιείται στις βιομηχανίες. Τα πορώδη είναι υψηλότερα, με αποτέλεσμα τις υψηλότερες σταθερές διάχυσης. Οι μετρημένοι συντελεστές ενεργού διάχυσης στην εκτενή μελέτη των ΗΠΑ κυμαίνονται μεταξύ $2\cdot 10^{-8}$ έως $5\cdot 10^{-7} \text{ m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ [2]. Αυτές οι τιμές συνάδουν με τις τιμές που υπάρχουν στη βιβλιογραφία. Το άνω όριο του πεδίου τιμών είναι αυξημένο κατά ένα παράγοντα περίπου 5 . Ο γεωμετρικός μέσος $1.4\cdot 10^{-7} \text{ m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ είναι αρκετά υψηλός για να επιτρέψει, η διάχυση ραδονίου να αποτελέσει σημαντικό μηχανισμό εισόδου του ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους, υπό κοινές για μεγάλο χρονικό διάστημα πιέσεις. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η σταθερά διάχυσης σχετίζεται επίσης και με το πορώδες. Το αντίστοιχο πορώδες για το γεωμετρικό μέσο της σταθεράς διάχυσης ήταν κατά προσέγγιση 0.20 . Όταν υπολογίστηκε η είσοδος ραδονίου στο σπίτι αναφοράς που παρουσιάστηκε στο πίνακα 2.5, ο συντελεστής ενεργής διάχυσης της πλάκας του

πατώματος που χρησιμοποιήθηκε υπολογίστηκε να είναι $1 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Η αντίστοιχη εκτίμηση για το συντελεστή ενεργής διάχυσης που παρουσιάστηκε στην αναφορά του UNSCEAR 1993, ήταν $7 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ και χρησιμοποιήθηκε για τα υλικά τοιχοποιίας [19].

Για μια πλάκα που κείται στο έδαφος, η ροή ραδονίου που διαπερνά από την πλάκα μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας μια εμπειρική φόρμουλα. Με τις τιμές των παραμέτρων του πίνακα 2.6 είχε επιτευχθεί μια εκτίμηση της τάξης του $0.0071 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ [2]. Αυτή η εκτίμηση είναι μεγαλύτερη κατά ένα παράγοντα 6 από την εκτίμηση που παρουσιάστηκε στην αναφορά του UNSCEAR του 1988, $0.0012 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, γεγονός που οφείλεται στις διαφορές στο πάχος της πλάκας, στα μήκη διάχυσης και στις συγκεντρώσεις ραδίου στο χώμα [18]. Με επιφάνεια πατώματος 100 m^2 και πυκνότητα ροής, J_T , $0.007 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ αν εισαχθούν στην εξίσωση 2.4, τότε ο ρυθμός εισόδου ραδονίου για το σπίτι αναφοράς εκτιμάται να είναι $10 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ (πίνακας 2.6). Αυτό το αποτέλεσμα είναι 10 φορές μεγαλύτερο από τη ροή ραδονίου που διαπερνά την πλάκα και είναι συγκρίσιμη με τη ροή ραδονίου από τους τοίχους, στο σπίτι αναφοράς. Αυτό αποδίδει επιπλέον μια συγκέντρωση ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους $10 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ όταν ο ρυθμός συναλλαγής αέρα είναι 1 h^{-1} . Μια συγκριτική εκτίμηση είναι διαθέσιμη στο σχήμα 2.9, το οποίο απεικονίζει το ρυθμό εισόδου διαμέσου τόσο από την πλάκα όσο και το περιμετρικό κενό, συμπεριλαμβανομένων των συνιστωσών διάχυσης και μεταφοράς με τη ροή του αέρα. Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν στο σχήμα 2.9 ήταν περίπου αυτές που χρησιμοποιήθηκαν για το σπίτι αναφοράς, πίνακας 2.5. Η είσοδος με διάχυση διαμέσου της πλάκας μπορεί να υπολογιστεί από το ρυθμό εισόδου που υπολογίστηκε για διαπερατότητα 10^{-13} m^2 . Σε αυτή την περίπτωση, η είσοδος με διάχυση επικρατεί και η μεταφορά με ροή αέρα διαμέσου της πλάκας έχει αμελητέα συνεισφορά. Το σχήμα 2.9 αποδίδει μια εκτίμηση της τάξης του $0.97 \text{ Bq} \cdot \text{s}^{-1}$, ή $0.0097 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, από την πλάκα, η οποία είναι συνεπής με την παραπάνω εκτίμηση της τάξης του $0.007 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, όταν έχει αφαιρεθεί η συνεισφορά του ρυθμού εισόδου με διάχυση από το υλικό της πλάκας που είναι περίπου $0.002 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ η οποία συμπεριλαμβάνεται στην εκτίμηση του σχήματος 2.9. Στην πράξη, τα υλικά επικάλυψης μειώνουν κατά ένα βαθμό τη ροή ραδονίου από το πάτωμα. Σε υπόγεια σπίτια, η διάχυση ραδονίου διαμέσου τσιμεντένιων τοίχων μπορεί να είναι σημαντική πηγή ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους.

Στη συνέχεια μελετάται ο ρυθμός εισόδου με διάχυση διαμέσου του κενού μεταξύ της πλάκας του πατώματος και των θεμελίων. Πρόσφατες μελέτες παρέχουν βελτιωμένα δεδομένα από πρότυπα, στα οποία η μεταφορά με διάχυση συνδέεται με τη μεταφορά με τη ροή αέρα. Γενικά, η αυξημένη μεταφορά με ροή αέρα διαμέσου των κενών της πλάκας του πατώματος μειώνει την σχετική συμβολή της διάχυσης. Το άνω όριο του ρυθμού εισόδου με διάχυση διαμέσου του 3 mm περιμετρικού κενού μπορεί να εκτιμηθεί εμπειρικά χρησιμοποιώντας τον ρυθμό εισόδου με διαπερατότητα της τάξης του $10^{-13} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ (σχήμα 2.9). Για αυτήν τη διαπερατότητα, η είσοδος με διάχυση είναι ο επικρατέστερος μηχανισμός εισόδου. Ο ρυθμός ανανέωσης αέρα εισόδου είναι $4 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$. Αυτή η εκτίμηση αντιπροσωπεύει το άνω όριο για τον ρυθμό εισόδου με διάχυση διαμέσου του κενού και έχει χρησιμοποιηθεί ως η αντιπροσωπευτική τιμή ρυθμού εισόδου για το σπίτι αναφοράς, που είναι κατασκευασμένο από ορυκτά υλικά (πίνακας 2.6).

Στις δημοσιευμένες μελέτες μοντελοποίησης, οι εκτιμήσεις του ρυθμού διαρροής του αέρα του χώματος για ένα σπίτι με υπόγειο και μήκος κενού μεταξύ του τοίχου του υπογείου και του πατώματος της τάξης των 40 m (πλάκα πατώματος 100 m^2) στο χώμα με διαπερατότητα 10^{-10} m^2 είναι στο διάστημα $0.8 - 2 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ [2]. Σε ένα μονώροφο σπίτι με ανυψωμένη πλάκα και με διαφορά πίεσης της τάξης του 1 Pa, η αντίστοιχη εκτίμηση θα ήταν $0.2 - 0.5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Όταν ένας ρυθμός ροής της τάξης του $0.2 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ και συγκέντρωση αέρα διαρροής $25.000 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ εφαρμοστούν στο σπίτι αναφοράς του πίνακα 2.5, τότε ο ρυθμός εισόδου του ραδονίου με μεταφορά με τη ροή του αέρα είναι $20 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$. Η συγκέντρωση του αέρα διαρροής είναι το 40 % της συγκέντρωσης ραδονίου που βρίσκεται σε μεγάλα βάθη στο χώμα για το σπίτι αναφοράς. Η διαφορά πίεσης του 1 Pa αντιπροσωπεύει διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικών και εξωτερικών χώρων $20 \text{ }^\circ\text{C}$ σε ένα σπίτι με ανυψωμένη πλάκα και με φυσικό σύστημα εξαερισμού. Ο ρυθμός εισόδου με μεταφορά με τη ροή του αέρα της τάξης του $20 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ αντιπροσωπεύει διαπερατότητα περίπου $2 \cdot 10^{-11} \cdot \text{m}^2$. Αυτή η εκτίμηση έχει χρησιμοποιηθεί ως αντιπροσωπευτική τιμή για το σπίτι αναφοράς (πίνακας 2.6). Με την απουσία του στρώματος χαλικιού η διαπερατότητα θα έπρεπε να είναι μεγαλύτερη κατά ένα παράγοντα 2 για να αποδώσει τον ίδιο ρυθμό εισόδου.

Οι εκτιμήσεις που προέκυψαν από τις προηγούμενες παραγράφους, σχετικά με την είσοδο του ραδονίου μέσα σε ένα σπίτι αναφοράς που είναι κατασκευασμένο από

ορυκτά υλικά, συνοψίζονται στον πίνακα 2.6. Η είσοδος του ραδονίου με διάχυση και με μεταφορά με τη ροή του αέρα συνεισφέρουν κατά περίπου 40 % η καθεμία και ο εξωτερικός αέρας συνεισφέρει περίπου 20 %. Οι αριθμητικοί υπολογισμοί για τις διάφορες συνεισφορές υπόκεινται σε αβεβαιότητες εξαιτίας των υποθέσεων που έχουν γίνει. Ωστόσο, τα αποτελέσματα είναι σε γενικές γραμμές συνεπή με τις μετρήσεις που έγιναν σε πραγματικά κτίρια. Η συγκέντρωση ραδονίου στο σπίτι αναφοράς είναι περίπου ίση με την παγκόσμια μέση τιμή για την συγκέντρωση ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους. Πιο ειδικές συγκρίσεις έχουν γίνει στον πίνακα 2.7 για τυπικά σπίτια στη Φινλανδία, όπου οι συγκεντρώσεις ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους είναι ψηλότερες και οι ρυθμοί συναλλαγής αέρα είναι μικρότεροι από αυτούς που έχουμε θεωρήσει στο σπίτι αναφοράς. Η σχετική συνεισφορά των πηγών διάχυσης είναι χαμηλότερη όταν το κύριο υλικό κατασκευής είναι το ξύλο.

Το ραδόνιο που είναι διαλυμένο στο νερό, όταν αυτό χρησιμοποιείται, μπορεί να εισαχθεί στον αέρα των εσωτερικών χώρων με επανεκροή. Η συμβολή της παροχής νερού εξαρτάται από την συγκέντρωση ραδονίου στο νερό που χρησιμοποιείται για ντους, πλύσιμο κτλ., και σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να είναι σημαντική. Οι συγκεντρώσεις ραδονίου στο νερό μπορεί να κυμαίνονται κατά αρκετές τάξεις μεγέθους και γενικά είναι πολύ υψηλή σε νερό από γεώτρηση, μέτρια σε νερό από πηγές και πολύ χαμηλή σε επιφανειακά νερά. Τιμές αναφοράς που επιλέχθηκαν από αναφορές του UNSCEAR 1993 ήταν 100, 10 και 1 $\text{kBq}\cdot\text{m}^{-3}$ με σχετική χρήση 10 %, 30 % και 60 % αντίστοιχα, από νερό των τριών παραπάνω πηγών [19]. Ο λόγος των συγκεντρώσεων στον αέρα και στο νερό ελήφθη ως 10^{-4} . Αυτή η τιμή προτάθηκε επίσης σε έναν εθνικό απολογισμό στις ΗΠΑ με αποτελέσματα πειραματικών και μοντελοποιημένων μελετών. Συνεπώς, μια μέση συγκέντρωση ραδονίου σε νερό της τάξης των 10 $\text{kBq}\cdot\text{m}^{-3}$ σημαίνει συμβολή της τάξης του 1 $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ στο ραδόνιο του αέρα. Για ρυθμό συναλλαγής αέρα της τάξης του 1 h^{-1} , ο ρυθμός εισόδου του ραδονίου είναι 1 $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$ όσον αφορά το σπίτι αναφοράς (πίνακας 2.5).

Περαιτέρω αξιολόγηση του νερού ως πηγή ραδονίου στον αέρα των εσωτερικών χώρων (μετρήθηκαν δημόσιες παροχές νερού σε 100 μεγάλες πόλεις στην Κίνα) επιβεβαιώνουν αυτά τα αποτελέσματα. Το εύρος τιμών των συγκεντρώσεων ραδονίου στο νερό ήταν 0.04 - 100 $\text{kBq}\cdot\text{m}^{-3}$, με μέση τιμή της τάξης των 8 $\text{kBq}\cdot\text{m}^{-3}$. Μετρήσεις του λόγου των συγκεντρώσεων αέρα-νερού, ωστόσο, έδειξαν σε ξεχωριστές μελέτες

κάποιες υψηλότερες τιμές, της τάξης του $(2 - 70) \cdot 10^{-4}$ κατά μέσο όρο. Μια ανάλυση όλων των δημοσιευμένων δεδομένων που υπάρχουν, που δίνουν εκτιμήσεις για τον συντελεστή μεταφοράς ραδονίου από το νερό στον αέρα των εσωτερικών χώρων εξήγαγε μια μέση τιμή της τάξης του $1 \cdot 10^{-4}$.

Πολλές από τις μελέτες για τις πηγές παραγωγής ^{222}Rn έχουν ασχοληθεί με μονοκατοικίες, με ή χωρίς υπόγειο. Υπάρχει λιγότερη πληροφόρηση για πολυώροφα κτίρια, όπως διαμερίσματα και κτίρια με γραφεία. Η προσδοκία ότι οι πηγές του εδάφους θα ήταν λιγότερο σημαντικές για χώρους που βρίσκονται πολύ πάνω από το έδαφος έχουν γενικά υποστηριχθεί από τις χαμηλότερες συγκεντρώσεις ραδονίου που έχουν μετρηθεί σε υψηλότερους ορόφους, αλλά η συμβολή του εδάφους ως πηγή εξαρτάται από τους τρόπους κυκλοφορίας του αέρα μέσα στο κτίριο, οι οποίοι με τη σειρά τους εξαρτώνται τόσο από το χρόνο όσο και από το κτίριο.

Αξιολογή έρευνα έχει διεξαχθεί τα τελευταία χρόνια για να αναπτύξει μεθόδους για τον προσδιορισμό περιοχών που έχουν αυξημένη πιθανότητα εύρεσης κτιρίων με υψηλούς ρυθμούς εισόδου ραδονίου και υψηλές συγκεντρώσεις σε εσωτερικούς χώρους. Έχει αναπτυχθεί ένας αριθμός μοντέλων, που στηρίζεται στη γεωλογία των πετρωμάτων και των χαρακτηριστικών του χώματος, αλλά δεν είχαν απόλυτη επιτυχία, αναμφίβολα, εξαιτίας των επιπλοκών που αναφέρθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους. Πρόσφατες προσπάθειες στη Φινλανδία, Ιαπωνία, Σουηδία, στο Ηνωμένο Βασίλειο και στις ΗΠΑ έχουν δείξει ότι μοντέλα που περιλαμβάνουν μετρήσεις για τα επίπεδα ραδονίου και ραδιενέργειας, όπως επίσης και σχετικές γεωλογικές και γεωφυσικές παραμέτρους, φαίνονται να είναι τα πιο αποτελεσματικά.

2.6 Συγκεντρώσεις ραδονίου στον αέρα

2.6.1 Συγκεντρώσεις ραδονίου σε εξωτερικούς χώρους

Η συγκέντρωση του ραδονίου στο περιβάλλον εξωτερικών χώρων επηρεάζεται όχι μόνο από το μέγεθος του ρυθμού εκροής στην ευρύτερη περιοχή, αλλά επίσης και από φαινόμενα ανάμιξης στην ατμόσφαιρα. Η θέρμανση από τον ήλιο κατά τη διάρκεια της ημέρας τείνει να προκαλέσει κάποια αναταραχή, οπότε το ραδόνιο μεταφέρεται πιο εύκολα προς τα πάνω και μακριά από το έδαφος. Τη νύχτα και τις πρώτες πρωινές ώρες, παρουσιάζονται συχνά ατμοσφαιρικές συνθήκες αναστροφής

(θερμοκρασία), οι οποίες τείνουν να παγιδεύσουν το ραδόνιο κοντά στο έδαφος. Αυτό σημαίνει, ότι οι συγκεντρώσεις του ραδονίου σε εξωτερικούς χώρους μπορεί να κυμαίνεται καθημερινά κατά ένα παράγοντα περίπου 10. Υπάρχουν επίσης εποχιακές μεταβολές σχετιζόμενες με τις συνέπειες της βροχόπτωσης ή με τις αλλαγές των επικρατούντων ανέμων. Αυτές οι συνέπειες πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την αξιοποίηση των διαθέσιμων μετρήσεων, πολλές από τις οποίες είναι ολόήμερες δειγματοληψίες.

Πρόσφατα αποτελέσματα μετρήσεων ραδονίου σε εξωτερικούς χώρους τείνουν να επιβεβαιώσουν τις εκτιμήσεις τυπικών συγκεντρώσεων για το ^{222}Rn σε εξωτερικούς χώρους που έγιναν σε αναφορές του UNSCEAR 1993 και είναι της τάξης του $10 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ [19]. Υπάρχει, ωστόσο, ένα ευρύ πεδίο που περιλαμβάνει μακροχρόνιες εκτιμήσεις της μέσης τιμής των συγκεντρώσεων ραδονίου ^{222}Rn , από περίπου 1 μέχρι παραπάνω από $100 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$, με τα πρώτα να αποτελούν ίσως τυπικές τιμές για απομονωμένα μικρά νησιά ή παράκτιες περιοχές και τα τελευταία να αποτελούν τυπικές τιμές θέσεων που παρουσιάζουν υψηλή εκροή ραδονίου από περιβάλλουσες περιοχές μεγάλης έκτασης.

Η απευθείας μέτρηση των συγκεντρώσεων όλων των βραχύβιων προϊόντων διάσπασης του ραδονίου ^{222}Rn είναι δύσκολη και περιορισμένη. Οι συγκεντρώσεις αυτές έχουν εκτιμηθεί στη βάση της υπόθεσης για ισορροπία (ή για έλλειψη ισορροπίας) μεταξύ αυτών των ραδιενεργών ιχνοστοιχείων και των αντίστοιχων προϊόντων διάσπασης. Έχει οριστεί ένας συντελεστής ισορροπίας F , που επιτρέπει να εκτιμηθεί η έκθεση με όρους δυνητικής συγκέντρωσης άλφα ενέργειας από μετρήσεις της συγκέντρωσης του αερίου ραδονίου. Αυτός ο συντελεστής ισορροπίας έχει οριστεί σαν ο λόγος της πραγματικής PAEC προς την PAEC που θα επικρατούσε αν όλα τα προϊόντα διάσπασης σε κάθε αλυσίδα (ραδιενεργής διάσπασης) ήταν σε ισορροπία με το μητρικό ραδόνιο. Ωστόσο, είναι πιο απλό να εκτιμηθεί αυτός ο συντελεστής στην κλίμακα μιας ισοδύναμης συγκέντρωσης ραδονίου που αφορά την ισορροπία, C_{eq} , με τον ακόλουθο τρόπο [2]:

$$F = \frac{C_{\text{eq}}}{C_{\text{rn}}} \quad 2.5$$

$$C_{\text{eq}} = 0,105 \cdot C_1 + 0,515 \cdot C_2 + 0,380 \cdot C_3 \quad ({}^{222}\text{Rn} \text{ σειρά}) \quad 2.6$$

όπου τα C_1 , C_2 και C_3 είναι η συγκεντρώσεις ραδιενέργειας των θυγατρικών ^{218}Po , ^{214}Pb και ^{214}Bi στη σειρά του ραδονίου ^{222}Rn . Οι σταθερές της πιο πάνω συνάρτησης για το C_{eq} είναι το ποσοστό συμβολής του κάθε προϊόντος διάσπασης στη συνολική δυνητική άλφα ενέργεια από τη διάσπαση της μοναδιαίας ραδιενέργειας του αερίου. Με αυτό τον τρόπο, μια καταμετρημένη συγκέντρωση ραδονίου μπορεί να μετατραπεί σε μια συγκέντρωση ισοδύναμη της ισορροπίας (EEC: Equilibrium Equivalent Concentration) που είναι ευθέως ανάλογη με το PAEC. Αυτό δίνει ένα μέτρο της έκθεσης στη βάση του γινομένου της συγκέντρωσης με το χρόνο. Η EEC μπορεί να μετατραπεί σε PAEC, με την παρακάτω σχέση [2]:

$$1 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3} = 5.56\cdot 10^{-6} \text{ mJ}\cdot\text{m}^{-3} = 0.27 \text{ mWL} \quad ({}^{222}\text{Rn}) \quad 2.7$$

Πολλές μετρήσεις έχουν γίνει για τις συγκεντρώσεις του ραδονίου και των προϊόντων διάσπασης, επιτρέποντας να γίνουν εκτιμήσεις για το μέγεθος του συντελεστή ισορροπίας για να εκτιμηθεί με όρους τυπικών τιμών και εύρους. Αυτές έχουν αναλυθεί και σε προηγούμενες αναφορές του UNSCEAR [11,18,19]. Πιο πρόσφατες, εκτενείς μετρήσεις στην Ευρώπη, στις ΗΠΑ, στον Καναδά και στην Ιαπωνία υποδεικνύουν τυπική τιμή του συντελεστή ισορροπίας για το ^{222}Rn στους εξωτερικούς χώρους μεταξύ 0.5 και 0.7. Αυτά τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι μια στρογγυλεμένη τιμή της τάξης του 0.6 ίσως να είναι πιο κατάλληλη για το εξωτερικό περιβάλλον απ' ότι ήταν η προηγούμενη τιμή 0.8. Υπάρχει βέβαια, ευρύ πεδίο τιμών από μεμονωμένες μετρήσεις, οι οποίες είναι κατανοητές δεδομένου ότι υπάρχουν πολλοί περιβαλλοντικοί παράγοντες που επηρεάζουν τις διάφορες αναλογίες ραδιενέργειας των ραδιενεργών ιχνοστοιχείων, συμπεριλαμβανομένου των ρυθμών εκροής και των ατμοσφαιρικών συνθηκών ευστάθειας. Το εύρος τιμών του συντελεστή ισορροπίας για το ραδόνιο των εξωτερικών χώρων είναι από 0.2 έως 1.0, υποδεικνύοντας ένα βαθμό αβεβαιότητας στην εφαρμογή μιας τυπικής τιμής για την εξαγωγή συγκεντρώσεων ισοδυνάμων με ισορροπία.

2.6.2 Συγκεντρώσεις ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους

Είναι διαθέσιμη πληθώρα δεδομένων για τη συγκέντρωση ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους. Σημαντικές συλλογές αποτελεσμάτων για το ^{222}Rn υπάρχουν σε αναφορές του UNSCEAR του 1988 και 1993 [18,19]. Αυτά τα αποτελέσματα είναι συμπληρωμένα μαζί με πρόσφατα δεδομένα ερευνών στον πίνακα 2.8. Καμιά φορά

είναι δύσκολο να εκτιμηθεί η αντιπροσωπευτικότητα των αποτελεσμάτων από τις δημοσιευμένες αναφορές. Νέες πληροφορίες εμφανίζονται από πολλές χώρες στην Αφρική, την Ασία και τη νότια Αμερική, ως αποτέλεσμα, εν μέρει, του Συντονισμένου Ερευνητικού Προγράμματος για το ραδόνιο στο περιβάλλον, επιχορηγούμενο από την Διεθνή Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας. Αυτό, στο μέλλον, θα βοηθήσει στην καλύτερη κατανόηση σχετικά με το πώς διαφορετικά κλίματα και τύποι σπιτιών επηρεάζουν την έκθεση στο ραδόνιο. Σε αυτό το στάδιο, δε φαίνεται τα αποτελέσματα των ερευνών να έχουν αλλάξει σημαντικά από αυτά που περιέχονται στην αναφορά του UNSCEAR του 1993. Συγκεκριμένα, οι τιμές των 40 και 30 Bq·m⁻³ για τους αριθμητικούς και γεωμετρικούς μέσους της κατανομής της συγκέντρωσης του ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους παγκοσμίως, με γεωμετρική τυπική απόκλιση 2.3, εξακολουθούν να κρίνονται λογικές.

Η γεωγραφική (αναφερόμενοι στο πλάτος) μεταβλητότητα στις συγκεντρώσεις ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους μελετήθηκαν στην αναφορά του UNSCEAR 1993. Αν και τα επίπεδα σε γεωγραφικά πλάτη που βρίσκονται στον ισημερινό πρέπει να αντικατοπτρίζουν υψηλότερους ρυθμούς εξαερισμού εξαιτίας των υψηλότερων μέσων εξωτερικών θερμοκρασιών, η γενική διασπορά στα αποτελέσματα κατέδειξε ότι πολλοί άλλοι παράγοντες εμπλέκονται. Τα πρόσθετα διαθέσιμα δεδομένα από την παρούσα έρευνα συμπεριλαμβάνονται στο σχήμα 2.11.

Πρόσφατοι ορισμοί του παράγοντα ισορροπίας για το ραδόνιο σε εσωτερικούς χώρους, γενικά, επιβεβαιώνουν την προηγούμενη τυπική τιμή 0.4 που εκτιμήθηκε από την Επιτροπή. Μετρήσεις σε εσωτερικούς χώρους δείχνουν μια διακύμανση από 0.1 ως 0.9, αλλά οι περισσότερες είναι εντός του 30 % της τυπικής τιμής του 0.4. Μια πρόσφατη μελέτη σε επτά σπίτια στη Βόρεια Αμερική έχει δείξει ότι ο παράγοντας ισορροπίας στο οποιοδήποτε κτίριο παρουσιάζει σημαντική μεταβλητότητα με το χρόνο, τυπικά μερικές δεκάδες επί τοις εκατό. Αν και η μέτρηση της συγκέντρωσης του αερίου ραδονίου χρησιμεύει σαν υποκατάστατο της απευθείας μέτρησης της συγκέντρωσης των προϊόντων διάσπασης στον προσδιορισμό της έκθεσης, είναι σημαντικό να αναγνωρίζουμε ότι οι EEC και οι PAEC που εκτιμούνται με αυτόν τον τρόπο για συγκεκριμένες δομές ίσως να παρουσιάζουν σφάλμα, συχνά κατά μερικές δεκάδες επί τοις εκατό και, σπάνια, έως ένα παράγοντα 2.

Οι εκθέσεις και οι επακόλουθες δόσεις από το ραδόνιο, οι οποίες είναι σημαντικές στην εκτίμηση του κινδύνου για την υγεία είναι αυτές που είναι αθροιστικές επί πολλών ετών. Είναι γνωστό ότι υπάρχουν σημαντικές χρονικές μεταβολές στους ρυθμούς έκθεσης από τα προϊόντα διάσπασης των νουκλιδίων ραδονίου σε κάθε τοποθεσία, και παραμένει αρκετή ώρα σε πολλές θέσεις, τόσο σε εσωτερικούς όσο και εξωτερικούς χώρους, όπου οι ρυθμοί έκθεσης μπορεί να είναι πολύ διαφορετικοί. Πολλά από τα δημοσιευμένα δεδομένα για τις συγκεντρώσεις ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους βασίζονται σε χρονική-ολοκλήρωση της τάξεως ημερών (π.χ. χρησιμοποιώντας δοχεία ενεργού άνθρακα) έως 3 - 12 μηνών (π.χ. χρησιμοποιώντας ανιχνευτές πυρηνικών ιχνών). Έχουν διεξαχθεί πολλές μελέτες για το πώς βραχύβιες μετρήσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση μακροπρόθεσμων εκθέσεων. Μια υποσχόμενη εξέλιξη ήταν η επιτυχία των μοντέλων που βασίζονται στις μεταβολές της θερμοκρασίας σε εξωτερικούς χώρους (αποτελεσματικά ένα υποκατάστατο για τη διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικών/εξωτερικών χώρων) στην εκτίμηση και εντοπισμό των χρονικών μεταβολών των συγκεντρώσεων ραδονίου σε μερικά σπίτια. Επομένως για την εκτίμηση μακροπρόθεσμων εκθέσεων μπορούν να χρησιμοποιηθούν τοπικά μετεωρολογικά δεδομένα. Στις σκανδιναβικές χώρες, μετρήσεις που έγιναν σε εσωτερικούς χώρους κατά το χειμώνα, όταν οι συγκεντρώσεις είναι υψηλότερες εξαιτίας της έντονης μεταφοράς ρευμάτων αέρα προερχόμενων από το χώμα, πρέπει να προσαρμοστούν χρησιμοποιώντας ένα διορθωτικό παράγοντα της τάξης του 0.8 για την εκτίμηση της ετήσιας μέσης συγκέντρωσης ραδονίου. Στο Ηνωμένο Βασίλειο, διορθωτικοί παράγοντες όμοιας τάξης μεγέθους χρειάζονται για βραχύβιες μετρήσεις το χειμώνα και στην αντίθετη κατεύθυνση για τέτοιες μετρήσεις το καλοκαίρι για την εκτίμηση των μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων.

Ένα σημαντικό πρόβλημα στις επιδημιολογικές μελέτες ραδονίου είναι ο προσδιορισμός των μακροπρόθεσμων μέσων επιπέδων ραδονίου που υπάρχουν στα σπίτια των ατόμων υπό έρευνα. Έχει προταθεί να μετρηθούν οι ραδιενέργειες ^{210}Po που προκύπτουν στις γυάλινες επιφάνειες εξαιτίας της διάσπασης του ραδονίου ή σε παγίδες όγκου. Η πρώτη τεχνική βασίζεται στην εναπόθεση των αιωρούμενων προϊόντων διάσπασης του ραδονίου πάνω σε λείες γυάλινες επιφάνειες, ακολουθούμενες από την προκύπτουσα ενσωμάτωση διαφυγόντων σωματιδίων. Η δεύτερη τεχνική βασίζεται στη διάχυση του ραδονίου σε όλη την έκταση του

σώματος σπογγωδών υλικών. Τα προϊόντα διάσπασης του ραδονίου επικάθονται άμεσα μέσα στις παγίδες όγκου, όπου και παραμένουν εκεί μέχρι να απελευθερωθούν με μέσα ραδιοχημικού διαχωρισμού. Και οι δύο αυτές τεχνικές είναι υποσχόμενες.

Η σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ «εκτίμηση της έκθεσης πεδίου μέσα στην οικία» και «εκτίμηση της ατομικής έκθεσης» ήταν το θέμα μιας πρόσφατης πειραματικής μελέτης στην Αυστρία [35]. Οι εξάμηνες εκθέσεις 34 ατόμων μετρήθηκαν με ένα ατομικό μετρητή ραδονίου και εκτιμήθηκαν από τις κατά περίπτωση συνθήκες έκθεσης και το χρόνο διαμονής στο σπίτι, στη δουλειά και οπουδήποτε. Αποτελέσματα και των δύο εκτιμήσεων βρέθηκαν να διαφέρουν κατά ένα παράγοντα έως 3, και διερευνήθηκαν οι πιθανοί λόγοι για αυτές τις διαφορές. Λογική τοποθέτηση των ενδεικτικών οργάνων μέσα στην κατοικία, για παράδειγμα στην κρεβατοκάμαρα παρά μέσα στο κελάρι, μπορεί να μειώσει τις διαφορές μεταξύ των δύο μεθοδολογιών εκτίμησης.

Σε αυτό το παράρτημα, όπως και προηγούμενες αναφορές του UNSCEAR [11,18,19], εκτιμήθηκαν τυπικές εκθέσεις και συνθήκες έκθεσης για περιβάλλοντα τόσο για εσωτερικούς όσο και για εξωτερικούς χώρους, και εκτιμήθηκαν δόσεις από αυτά τα αποτελέσματα και τους εκτιμημένους παράγοντες διαμονής. Αυτή η εκτίμηση είναι κάτι σαν την εκτίμηση έκθεσης πεδίου σε κατοικία: η βασική υπόθεση είναι ότι περιγράφει λογικά τυπικές συνθήκες έκθεσης ως μέση εκτίμηση πάνω σε μεγάλους πληθυσμούς. Όσο ο υπό εξέταση πληθυσμός γίνεται μικρότερος, για παράδειγμα, ασθενείς και μάρτυρες σε μια επιδημιολογική μελέτη, η αβεβαιότητα στην εκτίμηση των ατομικών και σε μικρές ομάδες εκθέσεων μακράς διάρκειας πρέπει να κατανοηθούν και ποσοτικοποιηθούν καλύτερα.

Σε προηγούμενες αναφορές του UNSCEAR [11,18,19], μακροχρόνιες εκθέσεις σε ραδόνιο εκτιμήθηκαν με τη χρήση παραγόντων διαμονής σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους, με τιμές 0.8 και 0.2 αντίστοιχα. Αυτές εξακολουθούν να φαίνονται λογικές εκτιμήσεις για τον παγκόσμιο πληθυσμό. Ωστόσο, για μικρότερες πληθυσμιακές ομάδες και μεμονωμένα άτομα, οι παράγοντες ίσως να είναι αρκετά διαφορετικοί.

2.7 Συστάσεις από Διεθνείς Οργανισμούς για το ραδόνιο

Οι διάφοροι διεθνείς οργανισμοί καθώς και αρκετά κράτη έχουν προτείνει όρια για την συγκέντρωση ραδονίου στον εσωτερικό αέρα των κατοικιών. Στον πίνακα 2.4 παρουσιάζονται τα ισχύοντα και τα προτεινόμενα όρια.

Η Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων λαμβάνοντας υπόψη τις προτάσεις της Διεθνούς Επιτροπής Ακτινοπροστασίας (ICRP), εξέδωσε το 1990 την σύσταση “Προστασία του πληθυσμού από την έκθεση στο ραδόνιο μέσα στα κτίρια” (90/143/Euratom) [36], η οποία αποσκοπεί στο να καθιερώσουν τα κράτη-μέλη ένα κατάλληλο σύστημα, για τον περιορισμό της έκθεσης λόγω της συγκέντρωσης ραδονίου μέσα στα κτίρια.

2.7.1 Ελληνικοί κανονισμοί ακτινοπροστασίας για τα επίπεδα ραδονίου στους χώρους εργασίας

Σύμφωνα με τους Ελληνικούς κανονισμούς Ακτινοπροστασίας [37], που είναι πλήρως εναρμονισμένοι με την Οδηγία 96/29/EURATOM 31/5/1996, τα επίπεδα δράσης για τη συγκέντρωση ραδονίου στους εργασιακούς χώρους είναι:

- Εργασιακοί χώροι στους οποίους η μέση ετήσια ολοκληρωμένη συγκέντρωση ραδονίου (αντιστοιχεί σε χρονική διάρκεια εργασίας 2000 ωρών), είναι μικρότερη από $400 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ εξαιρούνται περαιτέρω ελέγχου και μέτρων ακτινοπροστασίας.
- Σε εργασιακούς χώρους στους οποίους η μέση ετήσια ολοκληρωμένη συγκέντρωση ραδονίου (αντιστοιχεί σε χρονική διάρκεια εργασίας 2000 ωρών), είναι μεγαλύτερη από $400 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ και μικρότερη από $1000 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ θα πρέπει να διερευνηθεί η δυνατότητα μείωσης των ανωτέρω συγκεντρώσεων με κατάλληλες τεχνικές. Οι χώροι αυτοί χαρακτηρίζονται ως επιβλεπόμενες περιοχές, τα δε λαμβανόμενα μέτρα ακτινοπροστασίας εγκρίνονται από την Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ).
- Εργασιακοί χώροι στους οποίους η μέση ετήσια ολοκληρωμένη συγκέντρωση ραδονίου (αντιστοιχεί σε χρονική διάρκεια εργασίας 2000 ωρών), είναι μεγαλύτερη από $1000 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ και μικρότερη από $3000 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ χαρακτηρίζονται ως ελεγχόμενες περιοχές και οι πρακτικές αδειοδοτούνται από τη ΕΕΑΕ, τα δε λαμβανόμενα μέτρα ακτινοπροστασίας εγκρίνονται από την ΕΕΑΕ.

- Η μέση ετήσια ολοκληρωμένη συγκέντρωση του ραδονίου σε εργασιακούς χώρους, δεν μπορεί να υπερβαίνει τα $3000 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ λαμβανομένων υπ' όψη των 2000 ωρών διάρκειας εργασίας.

Στις εργασιακές δραστηριότητες, όπου ενδέχεται η παρουσία φυσικών πηγών ακτινοβολίας (γήινης ή κοσμικής), να συνεπάγεται σημαντική αύξηση της έκθεσης των εργαζομένων, η οποία δεν μπορεί να αγνοηθεί από την άποψη ακτινοπροστασίας περιλαμβάνονται:

(α) Εργασιακές δραστηριότητες, όπου οι εργαζόμενοι και ενδεχομένως άτομα του κοινού εκτίθενται σε ακτινοβολία γάμμα, σε θυγατρικά στοιχεία του ραδονίου ή του θορονίου, ή οποιαδήποτε άλλη δίοδο έκθεσης σε ακτινοβολία στους χώρους εργασίας. Οι εργασιακές αυτές δραστηριότητες αφορούν κυρίως σε ιαματικές πηγές, σπήλαια, ορυχεία, υπόγειους χώρους εργασίας ή υπέργειους χώρους εργασίας σε καθορισμένες ζώνες.

(β) Εργασιακές δραστηριότητες στις οποίες γίνεται χρήση ή αποθήκευση υλικών, τα οποία συνήθως δεν θεωρούνται ραδιενεργά, αλλά περιέχουν φυσικά ραδιενεργά ιχνοστοιχεία και τα οποία προκαλούν ουσιώδη αύξηση της έκθεσης των εργαζομένων και ενδεχομένως του κοινού.

(γ) Εργασιακές δραστηριότητες, οι οποίες συνεπάγονται την παραγωγή καταλοίπων που συνήθως δεν θεωρούνται ραδιενεργά, αλλά περιέχουν φυσικά ραδιενεργά ιχνοστοιχεία και τα οποία προκαλούν σημαντική αύξηση της έκθεσης των εργαζομένων και ενδεχομένως του κοινού.

2.8 Μετρολογία ραδονίου

Όπως εξηγήθηκε και νωρίτερα, το αέριο ραδόνιο του εσωτερικού αέρα προέρχεται κυρίως από το έδαφος, το οποίο οδηγούμενο από διαφορές πιέσεων εισέρχεται στον εσωτερικό αέρα μέσω ρωγμών στα θεμέλια των κτιρίων, ή από υλικά οικοδομών, ή από οικιακή χρήση νερού από βαθιά πηγάδια, ή τέλος από τον εξωτερικό αέρα.

Για μια σωστή προσέγγιση της κατάστασης πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι μεταβολές της συγκέντρωσης του ραδονίου και των θυγατρικών του. Αυτές οι μεταβολές συμβαίνουν σε πολλές χρονικές κλίμακες (ωριαίες μέχρι ετήσιες

μεταβολές), και εξαρτώνται από εποχικούς παράγοντες, τις καιρικές συνθήκες, τα χαρακτηριστικά του κτιρίου, τη χρήση των συστημάτων θέρμανσης και κλιματισμού των κατοικιών, τις συνήθειες των κατοίκων, και από αρκετούς άλλους παράγοντες. Συνήθως οι συγκεντρώσεις είναι υψηλότερες το απόγευμα και τη νύχτα απ' ότι αργά το πρωί και το μεσημέρι, υψηλότερες το χειμώνα απ' ότι το καλοκαίρι, παρ' όλο που είναι σχεδόν αδύνατο να προβλεφθούν αυτές οι μεταβολές με αρκετή ακρίβεια.

2.8.1 Τεχνικές ανίχνευσης ραδονίου

Οι περισσότερες μέθοδοι μέτρησης του ραδονίου (Rn) και των θυγατρικών του (RnD) βασίζονται στην ανίχνευση α - σωματιδίων που εκπέμπονται από τα ραδιενεργά αυτά ιχνοστοιχεία κατά τη ραδιενεργό διάσπασή τους. Οι μέθοδοι μέτρησης διακρίνονται γενικά σε ενεργητικές και παθητικές.

α) Ενεργητικές τεχνικές: είναι εκείνες που απαιτούν ηλεκτρική ενέργεια και τη χρήση αντλιών αέρα. Οι τεχνικές αυτές αποτελούν ανιχνευτικές διατάξεις, οι πιο γνωστές από τις οποίες χρησιμοποιούν:

- ειδικά δοχεία ενεργού άνθρακα, ο οποίος αφήνεται να προσροφήσει άτομα ραδονίου και κατόπιν αναλύεται στο εργαστήριο με μεθόδους γ-φασματοσκοπίας
- ειδικούς θαλάμους, στο εσωτερικό των οποίων δημιουργείται ισχυρό ηλεκτροστατικό πεδίο που συλλέγει τα φορτισμένα ραδιοϊσότοπα
- συστήματα ηλεκτρονικών ανιχνευτών, τα οποία καταγράφουν τα α - σωματίδια ή τις ακτίνες γάμμα που εκπέμπονται κατά την αποδιέγερση του ραδονίου και των θυγατρικών του.

β) Παθητικές τεχνικές: είναι εκείνες στις οποίες αφού βάλουμε τον ανιχνευτή στο σημείο μέτρησης, αυτός δεν απαιτεί ηλεκτρική ενέργεια. Οι παθητικές τεχνικές είναι συνήθως απλές, με ανταγωνιστικό κόστος και εύκολη χρήση. Είναι κατάλληλες για ερευνητική δουλειά και για μακροχρόνιες μετρήσεις. Το αποτέλεσμα μιας μέτρησης ραδονίου με παθητικούς ανιχνευτές εκφράζεται σε $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ και εκφράζει την μέση ολοκληρωμένη συγκέντρωση ραδονίου που είναι και η πλέον αντιπροσωπευτική για τον εσωτερικό αέρα της κατοικίας. $1 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ σημαίνει ότι κατά μέσο όρο σε κάθε

κυβικό μέτρο αέρα, συμβαίνει μία διάσπαση ενός ατόμου ραδονίου σε κάθε δευτερόλεπτο.

2.8.2 Παθητικοί ανιχνευτές ιχνών α – σωματιδίων (ATDs: Alpha Track Detectors)

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας τα δεδομένα που επεξεργάστηκαν (αριθμητικοί μέσοι των συγκεντρώσεων ραδονίου σε κατοικίες στην Πελοπόννησο) κατά τη γεωστατιστική ανάλυση και τις απεικονίσεις των συγκεντρώσεων ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους, προέκυψαν με χρήση παθητικών ανιχνευτών ιχνών και συγκεκριμένα τύπου CR-39 [43]. Οι παθητικοί ανιχνευτές ιχνών αποτελούν μία από τις μεθόδους επιλογής για ολοκληρωτικές μετρήσεις της συγκέντρωσης του ραδονίου στον εσωτερικό αέρα κατοικιών, και αυτό γιατί είναι μία απλή και οικονομική τεχνική.

Οι γνωστότεροι ανιχνευτές αυτής της κατηγορίας είναι τα πολυμερή CR-39, PADP και LR-115. Η όλη μέθοδος βασίζεται στην τοποθέτηση ενός ανιχνευτή ιχνών SSNTD (Solid State Nuclear Track Detector) υπό μορφή πλακιδίου διαστάσεων από 2-5 cm και πάχους μερικών μm , μέσα σε ένα πλαστικό δοχείο (βλ. σχήμα 2.15). Στο κάλυμμα του δοχείου τοποθετείται συνήθως φίλτρο το οποίο δεν επιτρέπει την είσοδο στο δοχείο των θυγατρικών που υπάρχουν στον αέρα του χώρου. Λόγω διάχυσης η συγκέντρωση του ραδονίου στο δοχείο είναι περίπου ίση με τη συγκέντρωση του ραδονίου στον περιβάλλοντα χώρο.

2.8.3 Διαδικασία μέτρησης με παθητικούς ανιχνευτές ιχνών

Παρακάτω περιγράφεται η διαδικασία μέτρησης με ανιχνευτές ιχνών άλφα σωματιδίων σε διαδοχικά βήματα (βλ. σχήματα 2.16 και 2.17):

Βήμα 1^ο: Το δοσίμετρο (δοχείο με τον ανιχνευτή) τοποθετείται σε κάποιο σημείο της κατοικίας και αφήνεται εκεί για διάστημα από 1 μήνα έως και 1 χρόνο.

Βήμα 2^ο: Μετά την πάροδο του χρόνου έκθεσης το δοσίμετρο επιστρέφεται στο εργαστήριο, αφαιρείται ο ανιχνευτής και υποβάλλεται σε χημική διαδικασία επιλεκτικής διάβρωσης (chemical etching) με καυστικό διάλυμα NaOH ή KOH.

Βήμα 3^ο: Με την παραπάνω διαδικασία τα ίχνη τα οποία άφησαν στον ανιχνευτή τα α-σωματίδια που εκπέμφθηκαν από τη διάσπαση του ραδονίου μέσα στο δοχείο διευρύνονται και καταμετρώνται με χρήση οπτικού μικροσκοπίου ή με κάποιο αυτοματοποιημένο σύστημα μέτρησης.

Βήμα 4^ο: Ο αριθμός των ιχνών ανά μονάδα επιφάνειας (ίχνη/cm²) συσχετίζεται με τη συγκέντρωση ραδονίου στον αέρα (Bq·m⁻³), χρησιμοποιώντας ένα παράγοντα μετατροπής ο οποίος προκύπτει από δεδομένα που παράχθηκαν σε μονάδα βαθμονόμησης.

Ο αριθμός των ιχνών ανά μονάδα αναλυμένης επιφάνειας του ανιχνευτή που παράχθηκαν στη μονάδα του χρόνου, μείον το υπόστρωμα, είναι ανάλογος με τη συγκέντρωση ραδονίου. Οι ανιχνευτές άλφα σωματιδίων λειτουργούν με ολοκληρωτικό τρόπο και μετρούν τη μέση συγκέντρωση για όλη τη διάρκεια της περιόδου έκθεσης. Πολλοί παράγοντες συμβάλλουν στη διακύμανση των αποτελεσμάτων των ανιχνευτών ιχνών άλφα σωματιδίων, συμπεριλαμβανομένου:

1. των διαφορών στην απόκριση των διάφορων ανιχνευτών εντός και μεταξύ των παρτίδων πλαστικού,
2. των διαφορών στον αριθμό των ιχνών που προϋπήρχαν (υπόστρωμα) και
3. διακυμάνσεις στις συνθήκες διάβρωσης.

Αφού η διακύμανση στα αποτελέσματα της ανάγνωσης των ανιχνευτών μειώνεται σε σχέση με το καθαρό αριθμό των καταμετρημένων ιχνών, η μέτρηση περισσότερων ιχνών σε μια μεγαλύτερη περιοχή του ανιχνευτή, ειδικά σε χαμηλούς ρυθμούς έκθεσης, θα μειώσει την αβεβαιότητα του αποτελέσματος.

Στο παράρτημα Α περιλαμβάνεται απόσπασμα πρωτοκόλλου που προτείνει η Υπηρεσία Περιβαλλοντικής Προστασίας (EPA: Environmental Protection Agency) των Ηνωμένων Πολιτειών για μετρήσεις συγκεντρώσεων ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους με ανιχνευτές ιχνών άλφα σωματιδίων [3]. Ο σκοπός που περιελήφθη αυτό το πρωτόκολλο στην εργασία είναι συμβουλευτικός. Η σύνταξη ανάλογων πρωτοκόλλων από τους φορείς που πραγματοποιούν τέτοιου είδους μετρήσεις (Πανεπιστήμια, επιτροπές, ερευνητικά κέντρα κτλ) θα βοηθούσε να εξασφαλισθεί

ομοιομορφία μεταξύ των προγραμμάτων μέτρησης και θα επέτρεπε την έγκυρη σύγκριση των αποτελεσμάτων.

Έχοντας ως βάση το πρωτόκολλο της EPA, συντάχθηκε ένα “Ερωτηματολόγιο” (βλ. παράρτημα Β), προσαρμοσμένο στα ελληνικά δεδομένα, το οποίο συστήνεται να συνοδεύει κάθε δοσίμετρο. Εκεί, θα καταχωρούνται χρήσιμα δεδομένα, που αφορούν τις συνθήκες μέτρησης με παθητικούς ανιχνευτές. Τέτοια δεδομένα είναι ο χώρος (οικία, χώρος εργασίας κτλ) όπου έχει τοποθετηθεί το δοσίμετρο, τα χαρακτηριστικά του χώρου αυτού (υλικό κατασκευής, όροφος κτλ), γεωγραφικά δεδομένα του κτιρίου, οι συνθήκες των ενοίκων, κτλ. Η καταχώρηση των παραπάνω δεδομένων σε μια βάση δεδομένων, ύστερα από κάθε μέτρηση, είναι ουσιαστική για επόμενες έρευνες σχετικές με το ραδόνιο.

2.8.4 Μετρήσεις βαθμονόμησης

Οι μετρήσεις βαθμονόμησης είναι δείγματα που έχουν συλλεχθεί ή μετρήσεις που έχουν γίνει σε περιβάλλον με γνωστή περιεκτικότητα σε ραδόνιο, όπως είναι ένας θάλαμος βαθμονόμησης. Μετρήσεις βαθμονόμησης πρέπει να διεξάγονται για τον προσδιορισμό και την επιβεβαίωση των παραγόντων μετατροπής που χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων συγκέντρωσης. Αυτοί οι παράγοντες προσδιορίζονται κανονικά για ένα διάστημα συγκεντρώσεων και χρόνων έκθεσης και για ένα διάστημα άλλων συνθηκών έκθεσης και/ή ανάλυσης σχετικές με τη συγκεκριμένη συσκευή. Ο προσδιορισμός αυτών των παραγόντων βαθμονόμησης είναι ένα απαραίτητο μέρος της εργαστηριακής ανάλυσης και είναι ευθύνη του εργαστηρίου της ανάλυσης. Αυτές οι διαδικασίες μετρήσεων βαθμονόμησης, συμπεριλαμβανομένου της συχνότητας των δοκιμών και των αριθμών των συσκευών που ελέγχονται, πρέπει να υπόκεινται στις προδιαγραφές του προγράμματος διασφάλισης ποιότητας που διατηρείται από τους κατασκευαστές και τα εργαστήρια ανάλυσης.

Πίνακες του Κεφαλαίου

Πίνακας 2.1: Οι συγκεντρώσεις ραδονίου σε κατοικίες σε 4 πόλεις της κεντρικής Σουηδίας στις αρχές της δεκαετίας του 1950. Τα σπίτια είναι χτισμένα πριν το 1946 [8].

Συγκέντρωση Ραδονίου [$\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$]				
Οικοδομικά υλικά	Μη αεριζόμενα σπίτια	Αεριζόμενα Σπίτια	Σταθμικός μέσος	Μέγιστη τιμή
Σύνολο κατοικιών	77	36	62	592
Εύλο	15	15	15	63
Τούβλο	47	26	40	303
Alum shale τσιμέντο	133	67	116	592

Πίνακας 2.2: Συγκεντρώσεις ραδονίου σε μονοκατοικίες και διαμερίσματα πολυκατοικιών σε σπίτια χτισμένα το 1976 [16]

Τύπος κατοικίας	Αριθμητικός Μέσος [$\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$]	Γεωμετρικός Μέσος [$\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$]	> 800 $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ [%]	Μέγιστο, [$\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$]
Μονοκατοικίες	122	69	2	3310
Διαμερίσματα πολυκατοικιών	85	53	1	920

Πίνακας 2.3: Συγκεντρώσεις ραδονίου στο εσωτερικό κατοικιών σε κάποιες Ευρωπαϊκές χώρες [1]

Χώρες	Αριθμητικός Μέσος [$\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$]	> 200 $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ [%]	>400 $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ [%]
Σουηδία	108	14	4.8
Φινλανδία	123	12.3	3.6
Νορβηγία	60	5	1.6
Ιταλία	77	5	1
Ιρλανδία	60	3.8	1.6
Γερμανία	50	2	1
Ηνωμένο Βασίλειο	20	0.5	0.2

Πίνακας 2.4: Προτεινόμενα όρια συγκεντρώσεων ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους από Διεθνείς Οργανισμούς και κράτη [1, 4]

	Υπάρχουσες κατοικίες [$\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$]	Νεόδμητες κατοικίες [$\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$]
CEC ¹	400	200
ICRP ²	200-600	-
WHO ³	800	200
Καναδάς	800	800
Τσεχία	400	200
Φινλανδία	400	200
Γερμανία	250	250
Ιρλανδία	200	200
Νορβηγία	400	200
Σουηδία	400	200
Ελβετία	1000	400
Ηνωμένο Βασίλειο	200	200
ΗΠΑ	150	150

¹ CEC: Commission of European Communities (Ευρωπαϊκή Κοινότητα),
² ICRP: International Commission on Radiological Protection (Διεθνής Επιτροπή Ακτινοπροστασίας),
³ WHO: World Health Organization (Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας)

Πίνακας 2.5: Παράμετροι του σπιτιού αναφοράς [2]

<i>Παράμετρος</i>	<i>Σύμβολο</i>	<i>Τιμή</i>
Διαστάσεις και σχετικές παράμετροι		
Όγκος		250 m ²
Εμβαδόν πατώματων		100 m ²
Μήκος πατώματος έως το κενό του τοίχου		40 m
Πλάτος πατώματος από το κενό του τοίχου		3 mm
Συνολικό εμβαδόν εσωτερικών επιφανειών		450 m ²
Ρυθμός ανανέωσης αέρα		1 h ⁻¹
Υποκείμενο χώμα		
Συγκέντρωση ραδιενέργειας του ²²⁶ Ra	C _{Ra}	50 Bq·kg ⁻¹
Κλάσμα εκροής	f	0.2
Πορώδες	ε	0.25
Κλάσμα κορεσμού του νερού	m	0.2
Ενεργός συντελεστής διάχυσης	D _e	2.0 10 ⁻⁶ m ² ·s ⁻¹
Αδρός συντελεστής διάχυσης	D	5.0 10 ⁻⁷ m ² ·s ⁻¹
Πυκνότητα χώματος	ρ	1 600 kg·m ²
Διαπερατότητα	k	2 10 ⁻¹¹ m ²
Συνολικό πάχος στρώματος ¹		0.15 m
Συνολική διαπερατότητα στρώματος ¹		5 10 ⁻⁹ m ²
Οικοδομικά στοιχεία, τοίχος και πάτωμα		
Πάχος πατώματος		0.1 m
Πάχος τοίχων και ταβανιού		0.2
Συγκέντρωση ραδιενέργειας του ²²⁶ Ra	C _{Ra}	50 Bq·kg ⁻¹
Κλάσμα εκροής	f	0.1
Πορώδες τοίχου	ε	0.15
Πορώδες πατώματος		0.20
Ενεργός συντελεστής διάχυσης τοίχου	De	7 10 ⁻⁸ m ² ·s ⁻¹
Ενεργός συντελεστής διάχυσης πατώματος		1 10 ⁻⁷ m ² ·s ⁻¹
Πυκνότητα	ρ	1 600 kg·m ⁻³
¹ Οι άλλες προδιαγραφές του συνολικού στρώματος είναι ίδιες με τις προδιαγραφές του υποκείμενου χώματος		

Πίνακας 2.6: Αντιπροσωπευτικές τιμές ρυθμών εισόδου ραδονίου στο πρότυπο πέτρινο σπίτι [2]

Πηγή ραδονίου		Ρυθμός εισόδου ραδονίου [$Bq \cdot m^{-3} \cdot h^{-1}$]
Οικοδομικά υλικά	Διάχυση, τοίχοι και ταβάνι	10
	Διάχυση, πλάκα πατώματος	1
Υποκείμενο έδαφος	Διάχυση διαμέσου της πλάκας	10
	Διάχυση διαμέσου των κενών	4
	Μεταφορά με αέρα	20
Εξωτερικός αέρας	Infiltration	10
Παροχή νερού	Επανεκροή	1
Φυσικό αέριο	Κατανάλωση	0.3
Σύνολο		56

Πίνακας 2.7: Αντιπροσωπευτικές τιμές ρυθμών εισόδου ραδονίου σε χαμηλού ύψους οικοδομές σε σύγκριση με το πρότυπο πέτρινο σπίτι [2]

Πηγή ραδονίου	Μηχανισμός	Ρυθμός εισόδου ραδονίου [$Bq \cdot m^{-3} \cdot h^{-1}$] ^α		
		Ξύλινο σπίτι ^β	Πέτρινο σπίτι ^γ	Πρότυπο πέτρινο σπίτι ^δ
Οικοδομικά στοιχεία				
Τοίχοι και ταβάνι	Διάχυση	2 (3)	16 (18)	10 (18)
Πλάκα πατώματος	Διάχυση			1 (2)
Υποκείμενο έδαφος				
Διαμέσου κενών	Διάχυση			4 (7)
	Μεταφορά με αέρα	60 (86)	66 (73)	20 (35)
	Διαμέσου πλάκας	4 (6)	4 (4)	10 (18)
Εξωτερικός αέρας	Infiltration	3 (4)	3 (3)	10 (18)
Παροχή νερού	Επανεκροή	1 (1)	1 (1)	1 (2)
Φυσικό αέριο	Κατανάλωση			0.3 (-)
Σύνολο		70 (100)	90 (100)	56 (100)

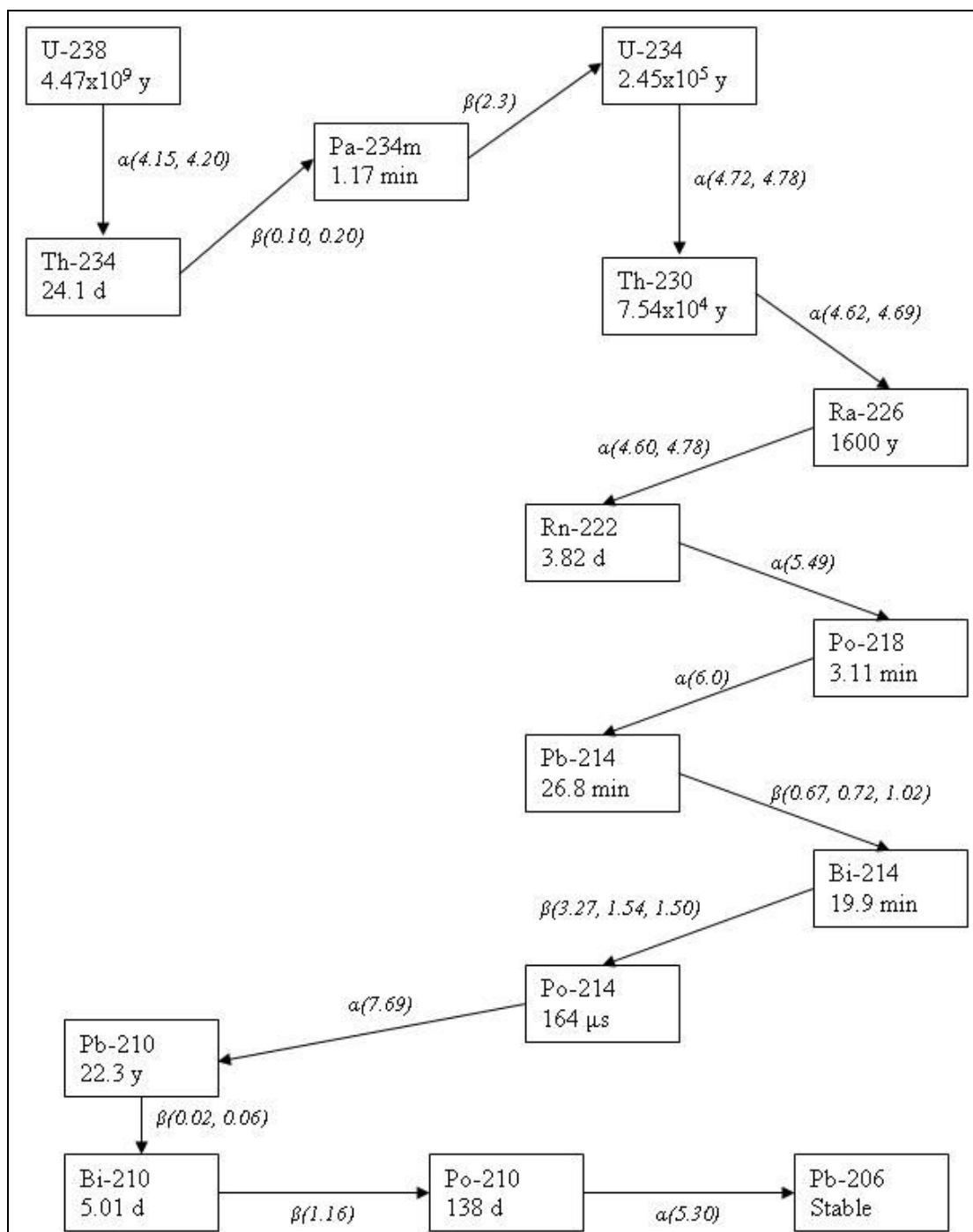
^α Ποσοστά εντός παρενθέσεων
^β Συγκέντρωση ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους $140 Bq \cdot m^{-3}$, ρυθμός εναλλαγής αέρα $0.5 h^{-1}$
^γ Συγκέντρωση ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους $180 Bq \cdot m^{-3}$, ρυθμός εναλλαγής αέρα $0.5 h^{-1}$
^δ Συγκέντρωση ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους $56 Bq \cdot m^{-3}$, ρυθμός εναλλαγής αέρα $1.0 h^{-1}$

Πίνακας 2.8: Συγκεντρώσεις ραδονίου σε οικίες που προσδιορίστηκαν σε έρευνες για εσωτερικούς χώρους [2]

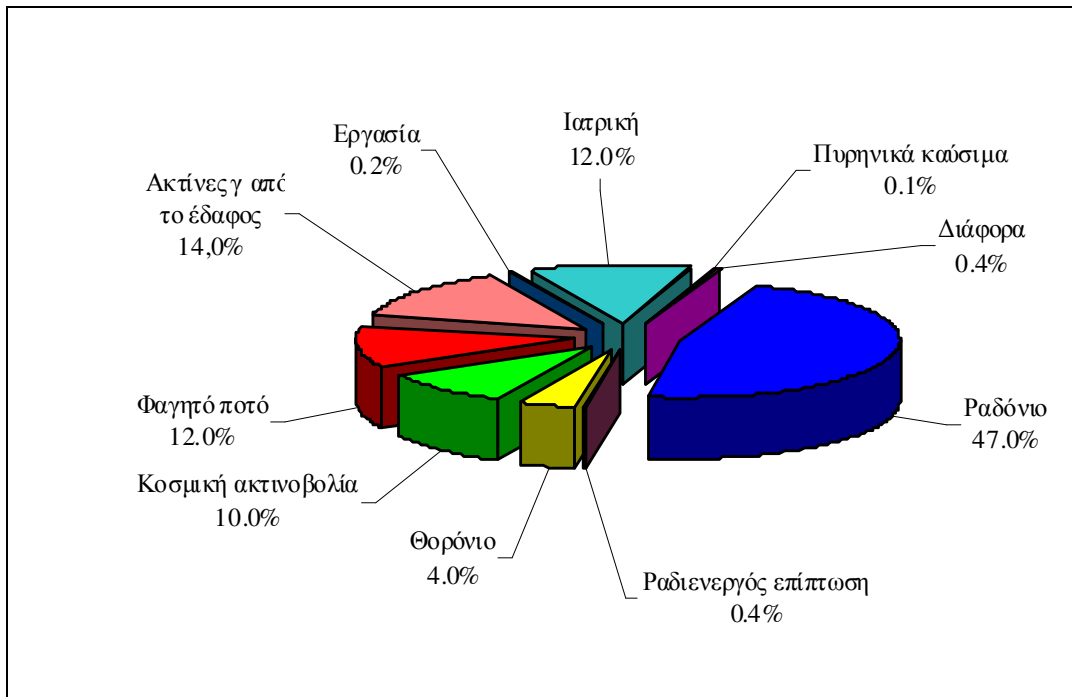
Περιοχή	Χώρα	Πληθυσμός το 1996 [10 ⁶]	Συγκέντρωση ραδονίου [Bq·m ⁻³]			Γεωμ. Τοπική Απόκλιση
			Αριθμητικός Μέσος	Γεωμετρικός Μέσος	Μέγιστη τιμή	
Αφρική	Αλγερία	28.78	30		140	
	Αίγυπτος	63.27	9		24	
	Γκάνα	17.83			340	
Βόρεια Αμερική	Καναδάς	29.68	34	14	1720	3.6
	Η.Π.Α.	269.4	46	25		3.1
Νότια Αμερική	Αργεντινή	35.22	37	26	211	2.2
	Χιλή	14.42	25		86	
	Παραγουάη	4.96	28		51	
Ανατολική Ασία	Κίνα	1232	24	20	380	2.2
	Χονγκ-Κονγκ	6.19	41		140	
	Ινδία	944.6	57	42	210	2.2
	Ινδονησία	200.45	12		120	
	Ιαπωνία	125.4	16	13	310	1.8
	Καζακστάν	16.82	10		6000	
	Μαλαισία	20.58	14		20	
	Πακιστάν	140.0	30		83	
	Ταϊλάνδη	58.7	23	16	480	1.2
Δυτική Ασία	Αρμενία	3.64	104		216	1.3
	Ιράν	69.98	82		3070	
	Κουβέιτ	1.69	14	6	120	
	Συρία	14.57	44		520	
Βόρεια Ευρώπη	Δανία	5.24	53	29	600	2.2
	Εσθονία	1.47	120	92	1390	
	Φινλανδία	5.13	120	84	20000	2.1
	Λιθουανία	3.73	55	22	1860	
	Νορβηγία	4.35	73	40	50000	
	Σουηδία	8.82	108	56	85000	
Δυτική Ευρώπη	Αυστρία	8.11		15	190	
	Βέλγιο	10.16	48	38	12000	2.0
	Γαλλία	58.33	62	41	4690	2.7
	Γερμανία	81.92	50	40	>10000	1.9
	Ιρλανδία	3.55		37	1700	
	Λουξεμβούργο	0.41	110	70	2500	2.0
	Ολλανδία	15.58	23	18	380	1.6
	Ελβετία	7.22	70	50	10000	
	Ην. Βασίλειο	58.14	20		10000	
Ανατολική Ευρώπη	Βουλγαρία	8.47		22	250	
	Τσεχία	10.25	140		20000	
	Ουγγαρία	10.05	107	82	1990	2.7
	Πολωνία	38.60	41	32	432	2.0
	Ρουμανία	22.66	45		1025	
Σλοβακία	5.35	87		3750		
Νότια Ευρώπη	Αλβανία	3.40	120	105	270	2.0
	Κροατία	4.50	35	32	92	
	Κύπρος	0.76	7	7	78	2.6
	Ελλάδα	10.49	73	52	490	
	Ιταλία	57.23	75	57	1040	2.0
	Πορτογαλία	9.81	62	45	2700	2.2
	Σλοβενία	1.92	87	60	1330	2.2
	Ισπανία	39.67	86	42	15400	3.7
Ωκεανία	Αυστραλία	18.06	11	8	420	2.1
	Νέα Ζηλανδία	3.60	20	18	90	
Διάμεσος (median)			46	37	480	2.2
Μέσος όρος σταθμισμένος με βάση τον πληθυσμό			39	30	1200	2.3

Σχήματα του Κεφαλαίου

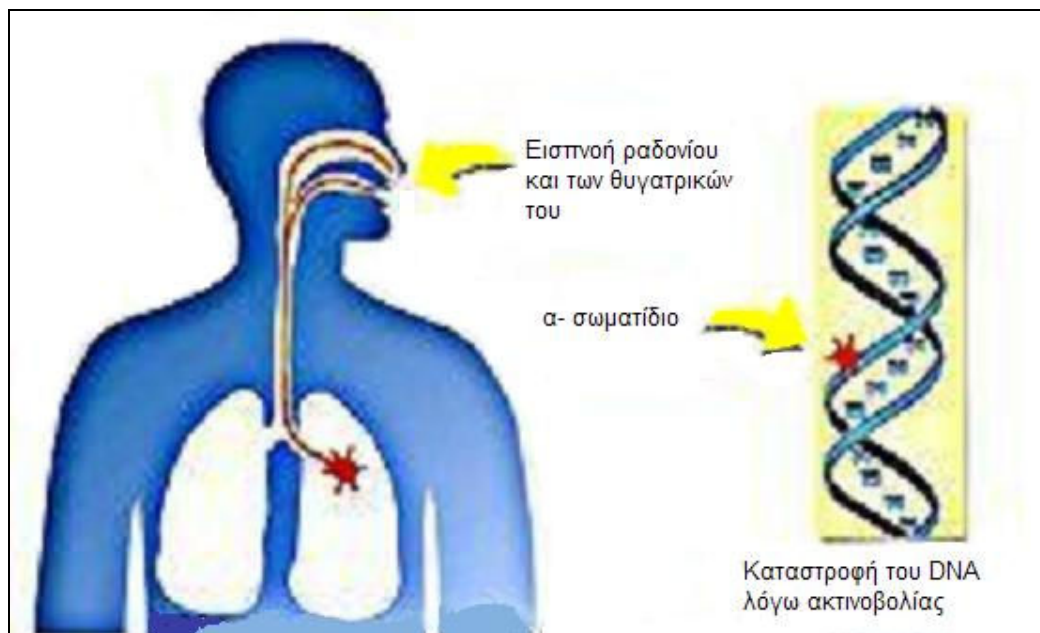
Σχήμα 2-1: Ραδιενεργός σειρά του ουρανίου



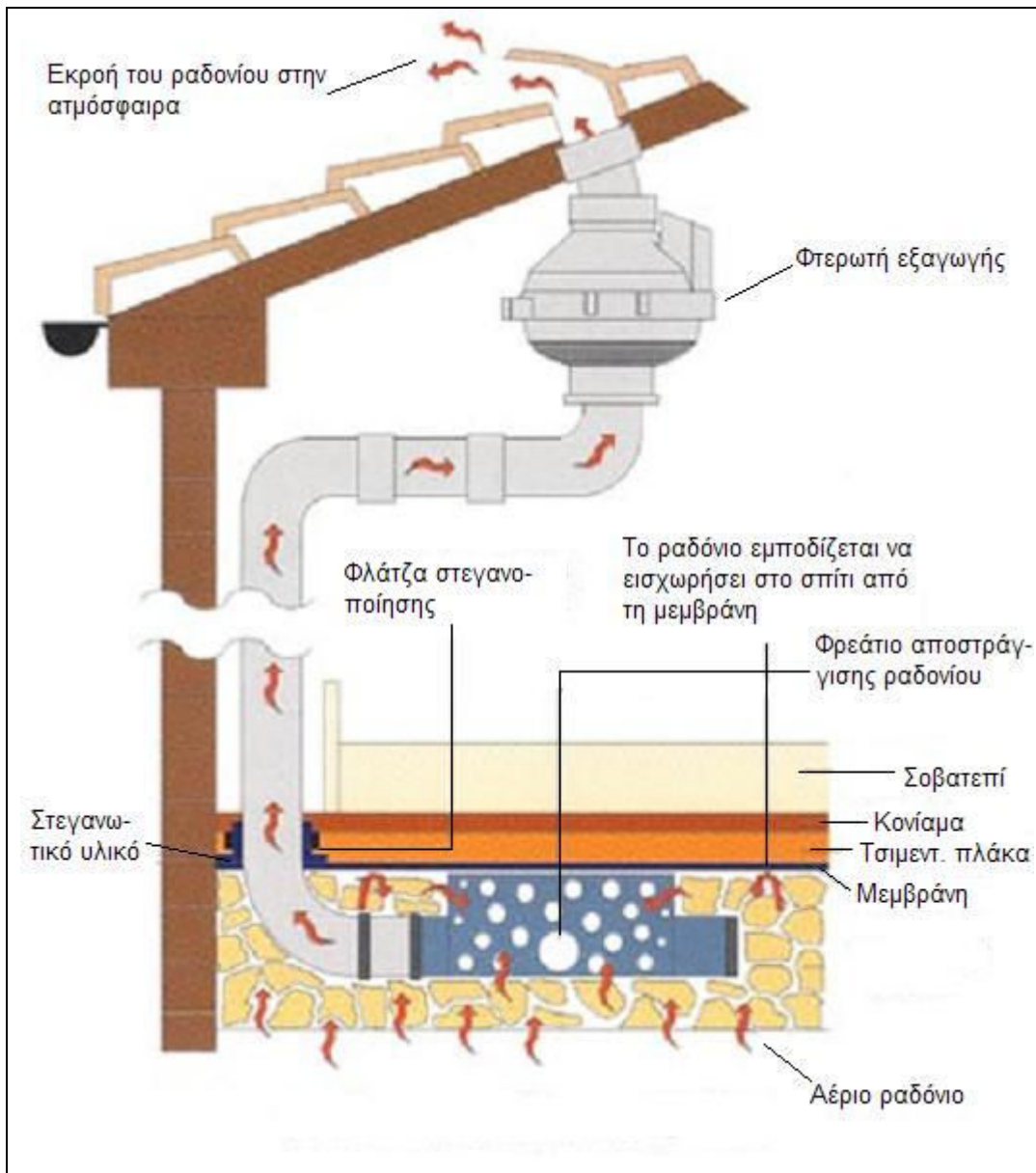
Σχήμα 2-2: Συνεισφορά των διαφόρων πηγών ακτινοβολίας στη μέση ετήσια δόση (2.5 mSv) [4]



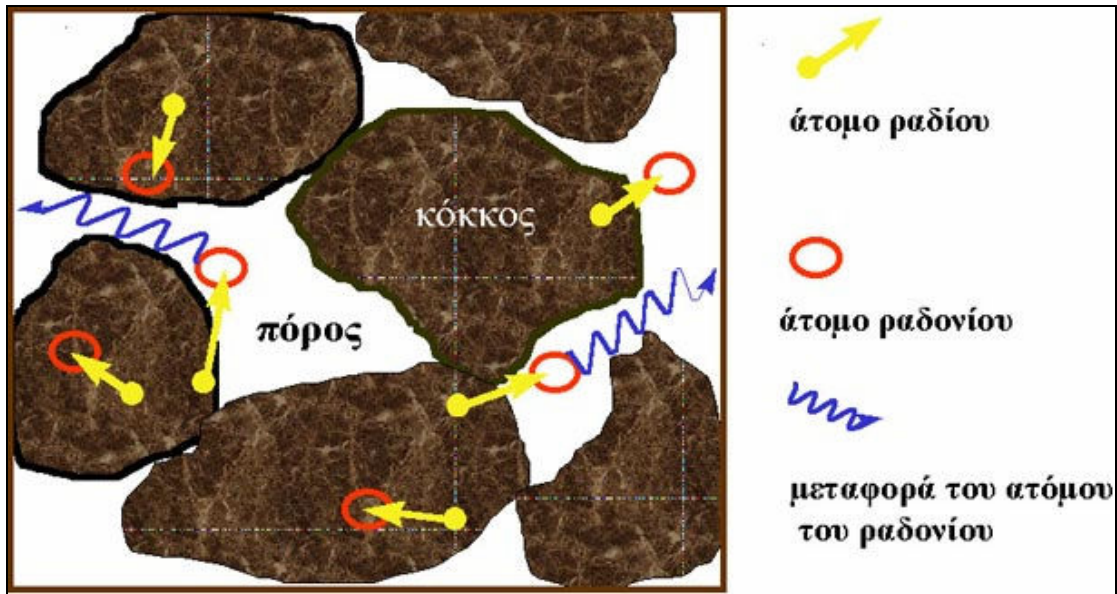
Σχήμα 2-3: Καταστροφή του DNA λόγω έκθεσης σε άλφα ακτινοβολία



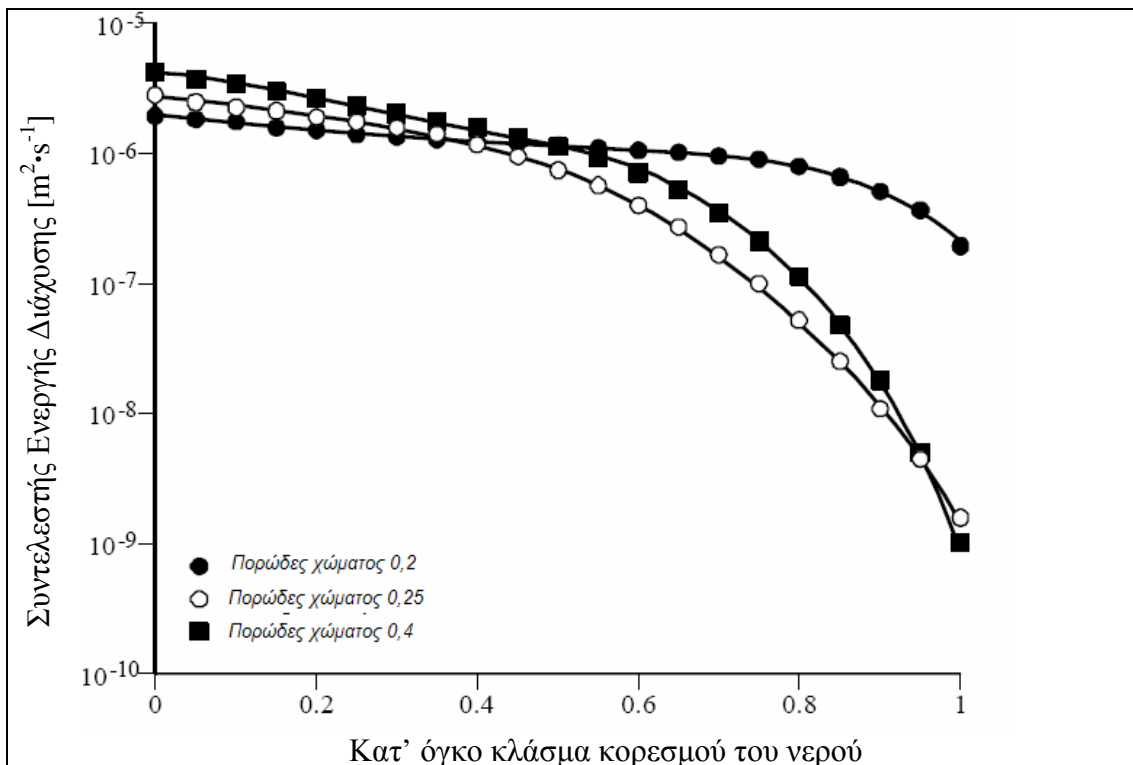
Σχήμα 2-4: Τυπική εγκατάσταση συστήματος αποσυμπίεσης του χώματος



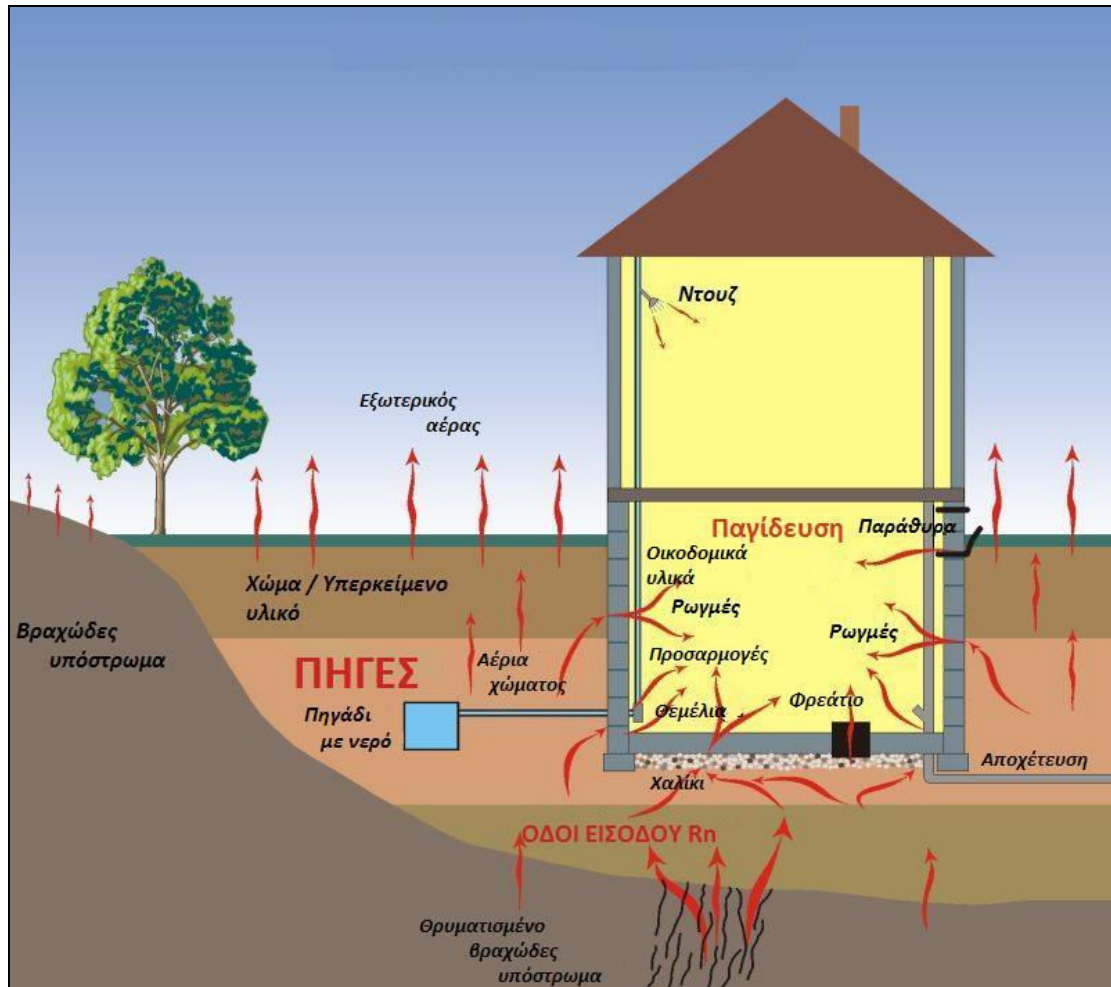
Σχήμα 2-5: Συμπεριφορά του ραδονίου ανάμεσα στους κόκκους στο έδαφος



Σχήμα 2-6: Πειραματική μορφή του συντελεστή ενεργής διάχυσης του ραδονίου για χώμα με τρία διαφορετικά πορώδη σαν συνάρτηση του κλάσματος κορεσμού [2]

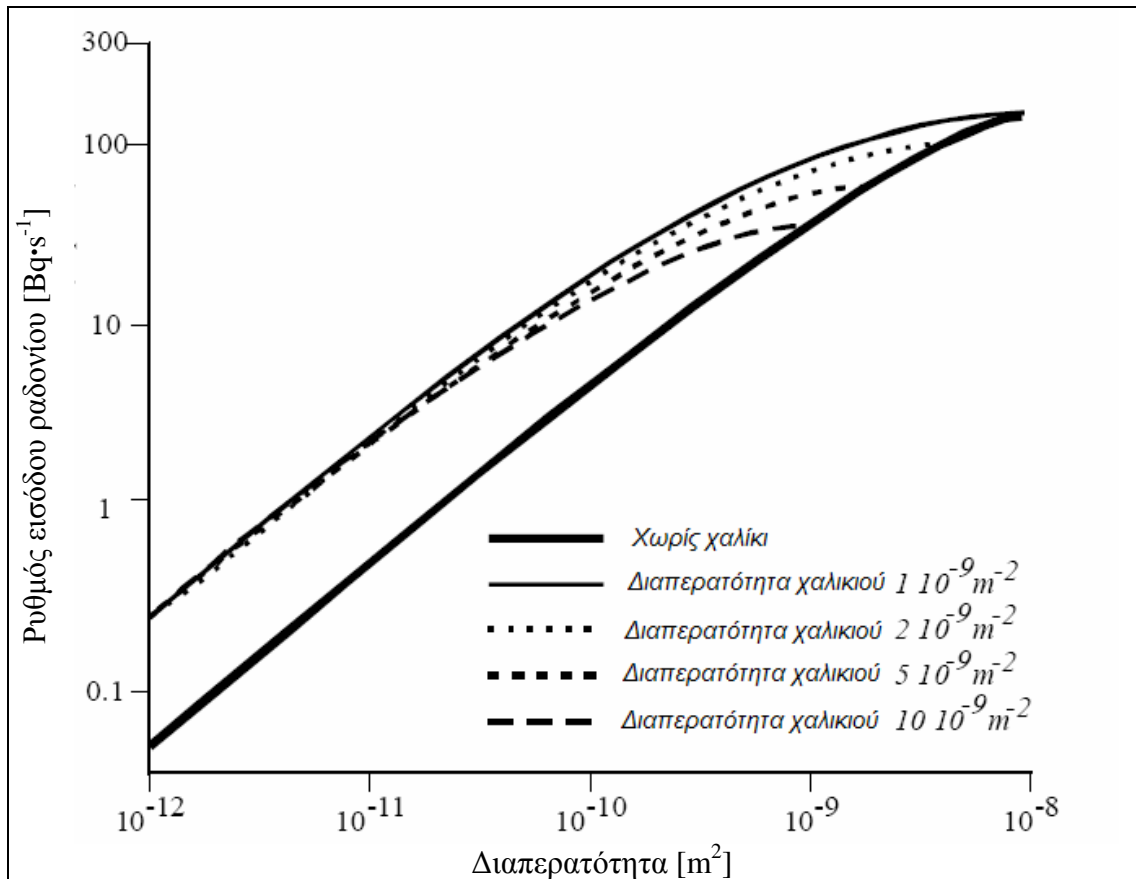


Σχήμα 2-7: Στο σχήμα απεικονίζονται οι πηγές και οι τρόποι εισόδου του ραδονίου σε μια κατοικία

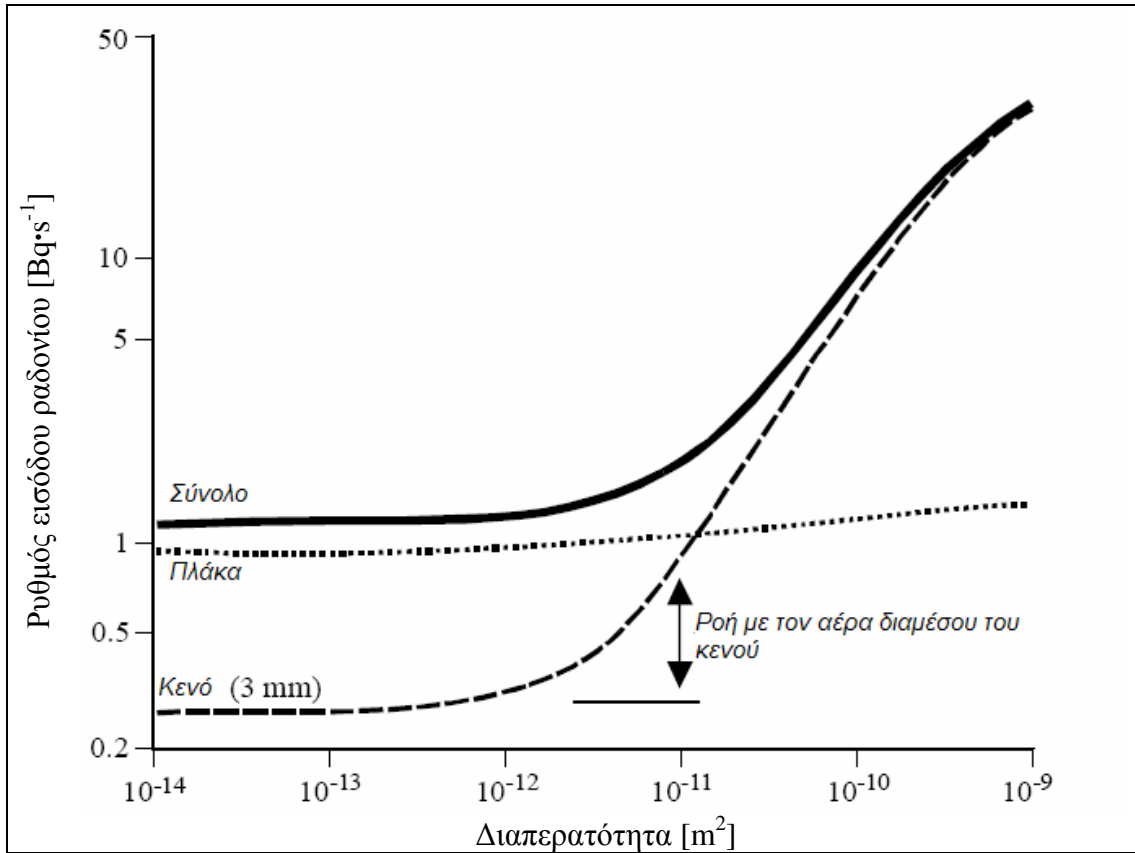


Σχήμα 2-8:

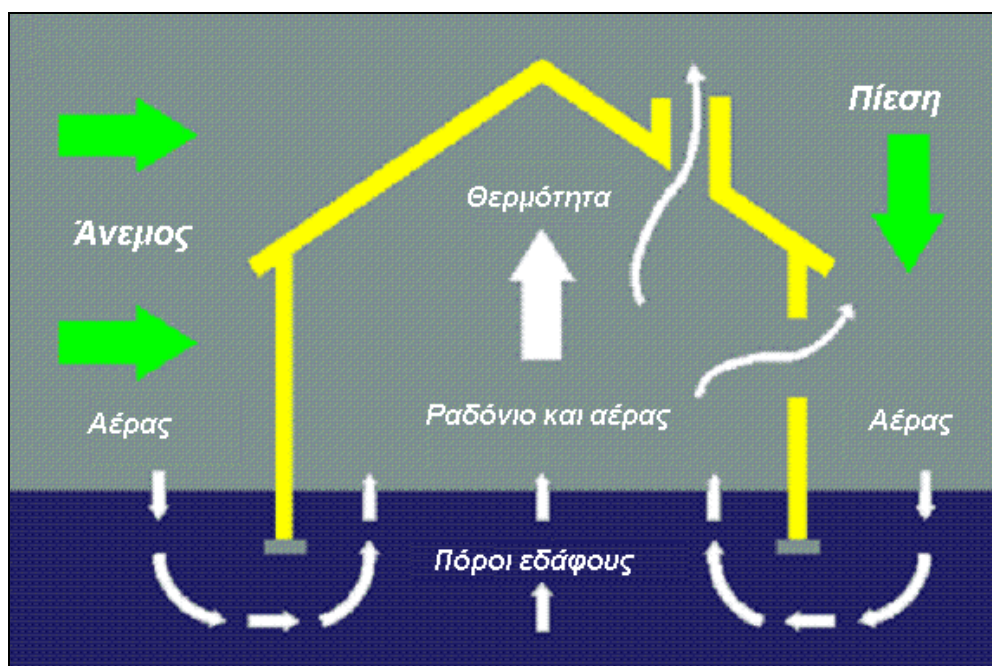
Ρυθμοί εισόδου ραδονίου με μεταφορά με τη ροή του αέρα σε ένα τυπικό υπόγειο. Υπολογισμοί με κενό 3 mm μεταξύ τοίχου και πλάκας, συγκέντρωση ραδονίου σε βαθύ χώμα της τάξης των $37 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-3}$, πάχος της στρώσης χαλικιού κάτω από την πλάκα του υπογείου 15 mm και πίεση στο υπόγειο - 5Pa σε σχέση με την ατμόσφαιρα [2].



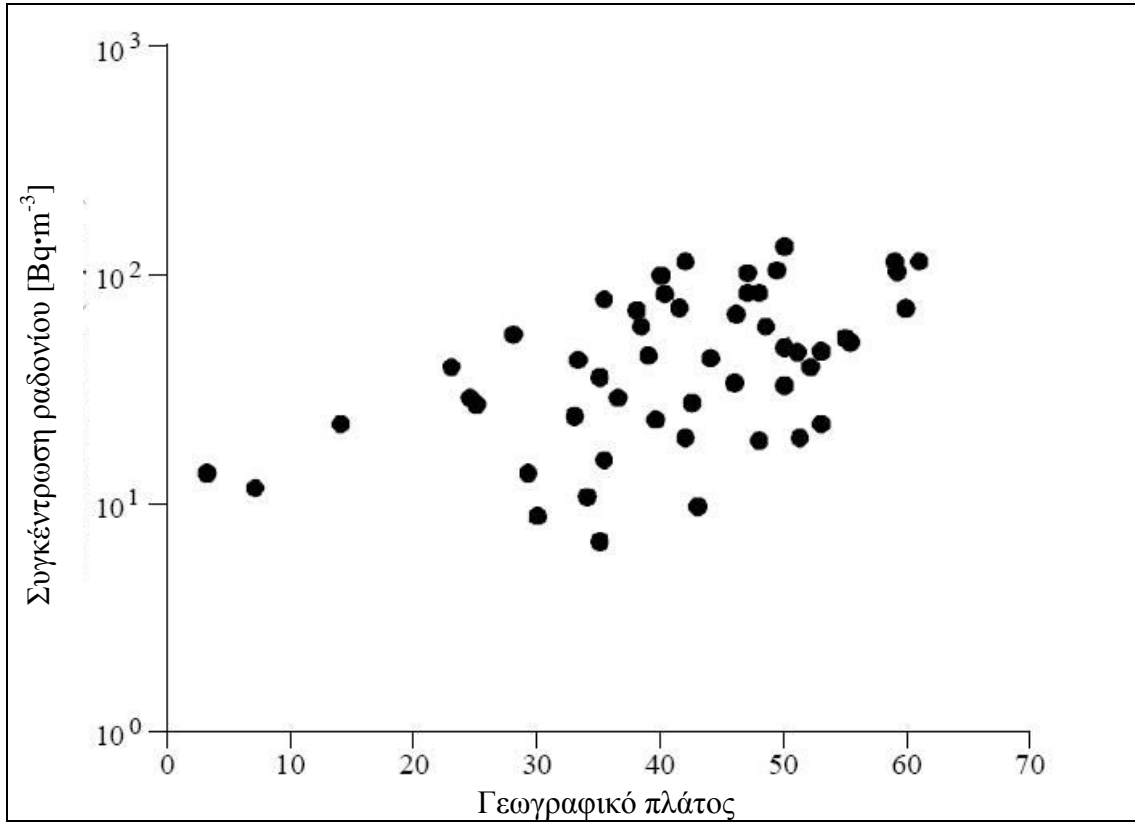
Σχήμα 2-9: Ρυθμοί εισόδου ραδονίου για το πρότυπο πέτρινο σπίτι [2].



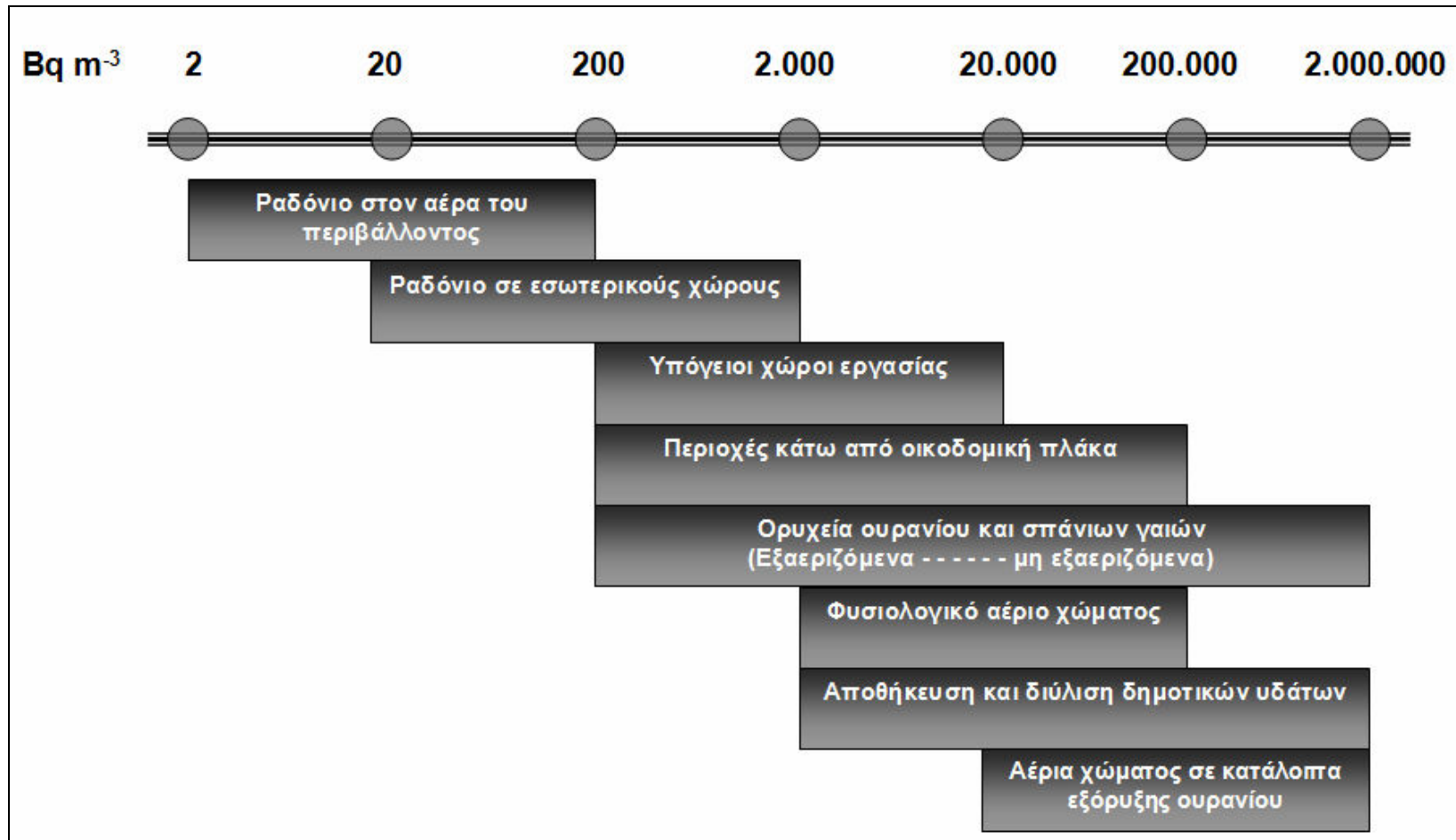
Σχήμα 2-10: Μηχανισμοί εισόδου ραδονίου σε μια κατοικία



Σχήμα 2-11: Μέσοι όροι συγκεντρώσεων ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους, σε διάφορες χώρες, όπου οι μετρήσεις έχουν γίνει συναρτήσει του γεωγραφικού πλάτους [2].



Σχήμα 2-12: Διαστήματα τιμών συγκεντρώσεων ραδονίου σε χαρακτηριστικούς χώρους



Σχήμα 2-13: Διάφοροι τύποι παθητικών δοσιμέτρων ραδονίου που χρησιμοποιούνται για μετρήσεις της συγκέντρωσης του ραδονίου στον αέρα των εσωτερικών χώρων



α) Θάλαμος διάχυσης



β) Ενεργοποιημένος άνθρακας



γ) Ηλεκτρίσιμο υλικό

Σχήμα 2-14: Διάφοροι τύποι ενεργητικών δοσιμέτρων ραδονίου που χρησιμοποιούνται για μετρήσεις της συγκέντρωσης του ραδονίου στον αέρα των εσωτερικών χώρων



(α)



(β)

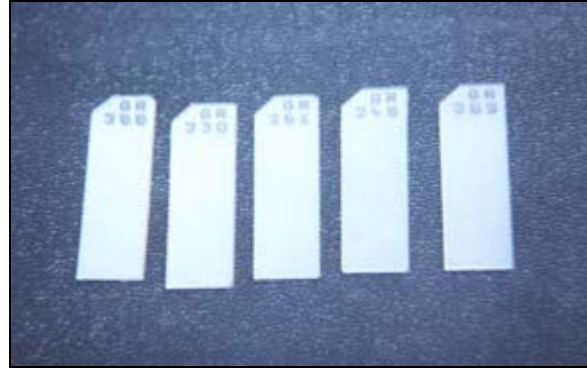


(γ)

Σχήμα 2-15: Δοσίμετρα για τη μέτρηση συγκέντρωσης ραδονίου (α) κουτί (ημισφαιρικό κάλυμμα με επίπεδη βάση 4.5 cm διάμετρος και 2 cm βάθος) (β) ανιχνευτής (PADC, διαστάσεων 13 x 37 mm και πάχους 1 mm)

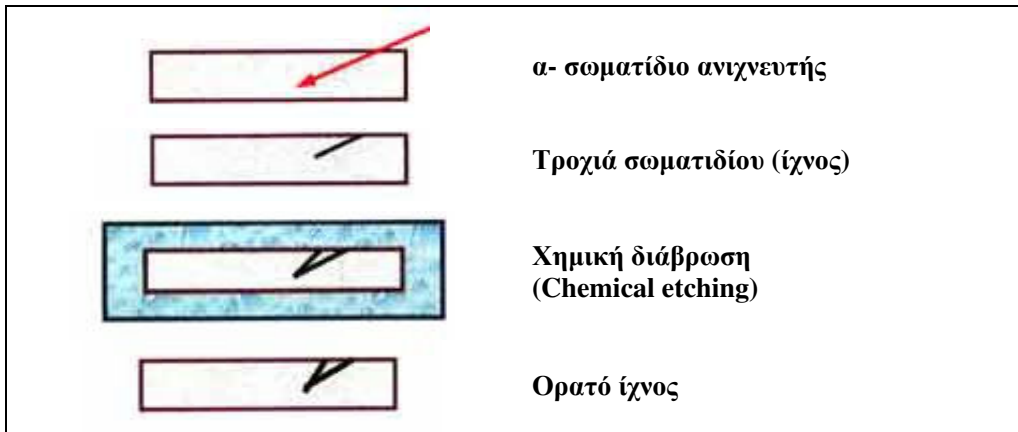


(α)

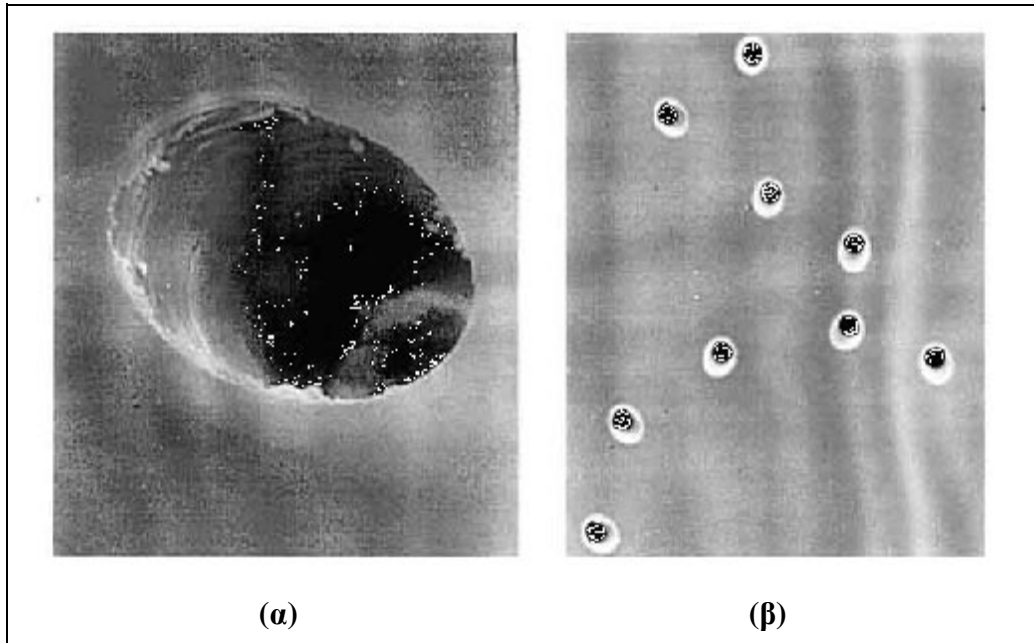


(β)

Σχήμα 2-16: Διαδικασία χημικής διάβρωσης πλαστικού ανιχνευτή ιχνών



Σχήμα 2-17: Ύλη ραδονίου σε ανιχνευτή ιχνών όπως φαίνονται σε (α) ηλεκτρονικό μικροσκόπιο και σε (β) οπτικό μικροσκόπιο



3. ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

3.1 Εισαγωγή

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, τέθηκε ως βασικός στόχος η χάραξη γεωστατιστικών απεικονίσεων της συγκέντρωσης του ραδονίου στο εσωτερικό ελληνικών κατοικιών. Τα δεδομένα με τις συγκεντρώσεις ραδονίου προσφέρθηκαν ευγενώς από το Δρα Δ. Νικολόπουλο [43].

Στα πλαίσια των ερευνητικών δραστηριοτήτων του Εργαστηρίου Πυρηνικής Τεχνολογίας (ΕΠΤ) του ΕΜΠ περιλαμβάνονται και οι γεωστατιστικές απεικονίσεις ραδιομετρικών μεγεθών. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι η χαρτογράφηση της φυσικής ραδιενέργειας, αλλά και άλλων ραδιενεργών στοιχείων που προέρχονται από τις διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες. Από τα πιο σημαντικά είναι το ^{137}Cs το οποίο εναποτέθηκε στο ελληνικό έδαφος μετά το ατύχημα του Chernobyl. Από το 1986 το ερευνητικό προσωπικό του τομέα διεξάγει μετρήσεις ραδιοπεριβαλλοντικών μεγεθών και έχει δημιουργήσει μια μεγάλη βάση δεδομένων. Η γνώση των ραδιοπεριβαλλοντικών μεγεθών, είτε αυτά αφορούν στη φυσική ραδιενέργεια (Naturally Occurring Radioactive Material - NORM) ή τεχνολογικά επαυξημένη φυσική ραδιενέργεια (Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material - TENORM) ή ραδιενεργά στοιχεία που διασπείρονται στο περιβάλλον από ατυχήματα και ανθρώπινες παρεμβάσεις, είναι πολύ σημαντική. Η παραπάνω γνώση είναι χρήσιμη για την αντιμετώπιση των κινδύνων για την υγεία και τη πιθανή λήψη μέτρων, όπου αυτή κρίνεται απαραίτητη. Για το λόγο αυτό, έχουν συνταχθεί προγράμματα και εφαρμογές, οι οποίες, εισάγοντας τα δεδομένα της παραπάνω βάσης δεδομένων, εξάγουν απεικονίσεις των μεγεθών αυτών, χωρίζοντας το υπό εξέταση έδαφος σε χρωματικές κλάσεις (συνήθως τέσσερις).

3.2 Συλλογή των απαραίτητων δεδομένων

Τα δεδομένα εισόδου που διατίθενται για τη συγκεκριμένη γεωστατιστική ανάλυση και τις απεικονίσεις, είναι ο αριθμητικός μέσος των συγκεντρώσεων ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους που καταγράφηκαν σε διάφορους οικισμούς της ελληνικής επικράτειας, τα αντίστοιχα γεωγραφικά μήκη (λ) και πλάτη (φ) και τα υψόμετρα τους (h).

3.2.1 Αριθμητικός μέσος συγκεντρώσεων ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους

Όπως προαναφέρθηκε στη § 3.1, τα δεδομένα για τις συγκεντρώσεις ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους που χρησιμοποιούνται στη παρούσα διπλωματική εργασία προέρχονται από τη ΔΔ του Δρα Δ. Νικολόπουλου [43], η οποία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Ιατρικής Φυσικής της Ιατρικής Σχολής του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών. Τα δεδομένα δόθηκαν σε μορφή λογιστικών φύλλων **Excel** (βλ. Παράρτημα Β) και περιλαμβάνουν τις εξής πληροφορίες:

- Ονόματα κοινοτήτων/δήμων κατανεμημένα ανά επαρχίες, νομούς και γεωγραφικά διαμερίσματα.
- Το σύνολο των κατοικιών σε κάθε κοινότητα/δήμο καθώς και το ποσοστό των κατοικιών ενός δήμου στο σύνολο των κατοικιών της επαρχίας στην οποία ανήκει.
- Το αρχικό πλήθος δοσιμέτρων που τοποθετήθηκαν σε διάφορες κατοικίες της κάθε κοινότητας/δήμου
- Το πλήθος των δοσιμέτρων που αναλύθηκαν, τελικά, και έδωσαν αποτελέσματα μετρήσεων
- Ο Αριθμητικός Μέσος (A.M.) της συγκέντρωσης ραδονίου ανά νομό, επαρχία και κοινότητα/δήμο
- Ο Γεωμετρικός Μέσος (G.M) της συγκέντρωσης ραδονίου ανά νομό, επαρχία και κοινότητα/δήμο
- Η Σταθμισμένη Τυπική Απόκλιση (Σ.Τ.Α (%))

- Οι ελάχιστες και μέγιστες ευρεθείσες συγκεντρώσεις ραδονίου ανά νομό, επαρχία και κοινότητα/δήμο
- Το πλήθος των δοσιμέτρων που έδωσαν μετρήσεις πάνω από το Όριο Αποδοχής (Ο.Α.)
- Το πλήθος κατοικιών που περιλαμβάνονται σε κάθε έναν δήμο / κοινότητα, οι οποίες αντιστοιχούν σε κάθε ένα δοσίμετρο που αρχικά τοποθετήθηκε σε αυτόν
- Το πλήθος των κατοικιών που αντιστοιχούν σε κάθε ένα δοσίμετρο που τελικά μετρήθηκε
- Το πλήθος των δοσιμέτρων που τοποθετήθηκαν ανά όροφο σε κάθε κατοικία

Για την γεωστατιστική απεικόνιση των συγκεντρώσεων ραδονίου σε κατοικίες, έγινε χρήση μόνο της πληροφορίας σχετικά με τον καταγεγραμμένο αριθμητικό μέσο σε κάθε κοινότητα/δήμο καθώς και η πληροφορία σχετικά με τον όροφο στον οποίο τοποθετήθηκε κάθε ένα δοσίμετρο. Για τα υπόλοιπα από τα διαθέσιμα δεδομένα η ανάλυση περιορίστηκε σε απλή επισκόπηση.

3.2.2 Γεωγραφικές συντεταγμένες και υψόμετρα

Για την πραγματοποίηση των απεικονίσεων με τα προγράμματα που διαθέτει το ΕΠΤ-ΕΜΠ είναι απαραίτητη η εύρεση των γεωγραφικών συντεταγμένων καθώς και των υψομέτρων της κάθε κοινότητας/δήμου. Αυτό πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια διαφόρων πακέτων εφαρμογών σε Η/Υ που υπάρχουν στο εμπόριο ή και δωρεάν στο διαδίκτυο, έντυπων χαρτών της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (ΓΥΣ) ή και οδικών - τουριστικών χαρτών. Στις παραγράφους που ακολουθούν παρουσιάζονται συνοπτικά οι διάφορες λύσεις που διατίθενται. Στη συνέχεια περιγράφεται η διαδρομή που ακολουθήθηκε μέχρι την επιλογή της εφαρμογής που χρησιμοποιήθηκε, τελικά, για τη εύρεση των γεωγραφικών συντεταγμένων. Η επιλογή αυτή έγινε ύστερα από αναλύσεις και συγκρίσεις μεταξύ των εφαρμογών αυτών.

Από τις εφαρμογές που διατίθενται σε ηλεκτρονική μορφή δοκιμάστηκαν τα πακέτα **MS Autoroute 1998** και **2000 (Europe)**, **NASA World Wind**, **Google earth**,

Garmin Europe Navigator, PN Destinator και **Toponavigator** της εταιρίας Ανάβαση. Μεταξύ των έντυπων εφαρμογών δοκιμάστηκαν οι χάρτες της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού και οι οδικοί - τουριστικοί χάρτες των εκδόσεων ΝΙΚ.& ΙΩΑΝ. ΦΩΤΗΣ Ο.Ε.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η διαδικασία εύρεσης των γεωγραφικών συντεταγμένων και των υψομέτρων είναι αρκετά επίπονη όταν τα σημεία δειγματοληψίας είναι πολλά. Η χρήση συσκευής GPS (GPS: Global Positioning System, δηλαδή Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού) κρίνεται απαραίτητη για την επιτόπου καταγραφή των γεωγραφικών συντεταγμένων και υψομέτρων στο σημείο που διεξάγεται η μέτρηση. Η ψηφιοποίηση του κάθε οικισμού της Ελλάδος παρουσιάζει υψηλό ενδιαφέρον για το ΕΠΤ-ΕΜΠ καθώς θα δώσει λύσεις σε αντίστοιχα προβλήματα, τόσο σε τρέχουσες μελέτες του ΕΠΤ-ΕΜΠ, όσο και σε μελλοντικές.

3.3 Εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την συλλογή των γεωγραφικών δεδομένων

3.3.1 Χάρτες σε ψηφιακή μορφή

Google Earth: Αποτελεί λογισμικό το οποίο διατίθεται δωρεάν στο διαδίκτυο. Έχει περισσότερο τουριστικό ενδιαφέρον, διότι επικεντρώνεται κυρίως σε τουριστικά μέρη, αξιοθέατα κτλ. Παρουσιάζει αρκετές ελλείψεις, όσον αφορά το πλήθος των προβαλλόμενων ελληνικών οικισμών και γι αυτό το λόγο εγκαταλείφθηκε γρήγορα.

Garmin Europe Navigator: Αποτελεί λογισμικό το οποίο διατίθεται στο εμπόριο. Είναι ηλεκτρονικός χάρτης και συνεργάζεται και με συσκευές GPS. Έχει τη δυνατότητα ένδειξης γεωγραφικών συντεταγμένων, αλλά όχι και υψομέτρων. Περιλαμβάνει πολύ περισσότερους ελληνικούς οικισμούς από το **Google Earth**, αλλά όχι τόσους, ώστε να ικανοποιεί τις ανάγκες της παρούσας ΔΕ.

PN Destinator: Αποτελεί λογισμικό το οποίο διατίθεται στο εμπόριο. Είναι ηλεκτρονικός χάρτης για χρήση αποκλειστικά με συσκευή GPS, γεγονός που το καθιστά δύσχρηστο στην εύρεση τόσο μεγάλου πλήθους γεωγραφικών συντεταγμένων. Συν τις άλλους, δεν παρέχει τη δυνατότητα ένδειξης των

γεωγραφικών συντεταγμένων και των υψομέτρων ανά οικισμό. Και αυτό το πρόγραμμα εγκαταλείφθηκε γρήγορα.

MS Autoroute 1998 ή 2000 (Europe): Αποτελεί λογισμικό το οποίο διατίθεται στο εμπόριο. Πρόκειται, κυρίως, για τουριστικό - οδικό χάρτη και διαθέτει πληροφορίες για αξιοθέατα και άλλα σημεία ενδιαφέροντος, αλλά επειδή συνεργάζεται με συσκευές προσδιορισμού θέσεως (GPS) παρέχει πληροφορίες για γεωγραφικές συντεταγμένες. Είναι ίσως το πιο εύχρηστο απ' όλα τα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκε αλλά οι πληροφορίες που διαθέτει περιορίζονται κυρίως σε περιοχές με μεγάλο πληθυσμό (δήμους, κοινότητες). Πληροφορίες για μικρούς οικισμούς (χωριά) δεν ήταν δυνατόν να βρεθούν με το **Autoroute**. Διαθέτει εργαλείο εύρεσης γεωγραφικών συντεταγμένων κατευθείαν σε δεκαδικές μοίρες. Η εύρεση των συντεταγμένων γίνεται απευθείας με εργαλείο εύρεσης τοποθεσίας που διαθέτει το πρόγραμμα, χωρίς όμως να έχει τη δυνατότητα ένδειξης των αντίστοιχων υψομέτρων. Σχετικές εικόνες, από το περιβάλλον εργασίας του λογισμικού αυτού, φαίνονται στα σχήματα 3.1 και 3.2.

Στις δύο παραπάνω εκδόσεις του **Autoroute**, τουλάχιστον όσον αφορά την Ελλάδα, δεν εντοπίστηκαν ουσιαστικές διαφορές, παρότι το ένα είναι η ανανεωμένη έκδοση του άλλου. Κατά τη φάση της αξιολόγησης έγινε και σύγκριση μεταξύ τους. Συγκρίθηκαν οι γεωγραφικές συντεταγμένες που παρέχει η καθεμιά έκδοση ανά οικισμό. Οι διαφορές στις συντεταγμένες, όπως φαίνεται στον πίνακα 3.1, εντοπίζονται στο τέταρτο δεκαδικό ψηφίο των γεωγραφικών πλατών και στο πέμπτο δεκαδικό των γεωγραφικών μηκών (κρίνονται ως αμελητέες)⁵. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι διαφορές αυτές είναι συστηματικές, δηλαδή παρατηρείται μια παράλληλη μετατόπιση του ενός χάρτη σε σχέση με τον άλλον.

⁵ Σύμφωνα με υπολογισμούς, η απόκλιση στο γεωγραφικό μήκος (λ) που καταγράφεται για ένα σημείο κατά 10^{-3} και 10^{-4} δεκαδικές μοίρες είναι απόσταση περίπου 90 m και 9 m αντίστοιχα. Η απόκλιση του γεωγραφικού πλάτους (φ) κατά 10^{-3} και 10^{-4} δεκαδικές μοίρες είναι απόσταση περίπου 111 και 11 m αντίστοιχα.

Οι υπολογισμοί αυτοί διεξήχθησαν με δύο διαφορετικούς τρόπους οι οποίοι συγκλίνουν στο ίδιο αποτέλεσμα:

1. με χρήση του προγράμματος **gdist** που έχει αναπτυχθεί από το ΕΠΤ-ΕΜΠ και
2. με χρήση εργαλείου χιλιομετρικών αποστάσεων που παρέχει το πρόγραμμα **TopoNavigator** και το οποίο υπολογίζει το μήκος ευθύγραμμου τμήματος πάνω στην προβολή του ψηφιοποιημένου χάρτη.

NASA World Wind: Αποτελεί λογισμικό που διατίθεται στο διαδίκτυο δωρεάν από την επίσημη ιστοσελίδα της NASA (NASA: National Aeronautics and Space Administration). Είναι ένα εργαλείο εκπαιδευτικής - επιστημονικής φύσεως, παρέχει, για παράδειγμα, πληροφορίες για καιρικά φαινόμενα ή φαινόμενα αστροβιολογίας· δεν είναι οδικός χάρτης. Το πρόγραμμα της NASA, αν και είναι αρκετά πλήρες όσον αφορά το πλήθος των προβαλλόμενων ελληνικών οικισμών, το βασικό του μειονέκτημα είναι ότι όλοι οι οικισμοί είναι τοποθετημένοι πάνω σε ένα πλέγμα ορθογωνίων παραλληλογράμμων, διαστάσεων περίπου 1.85x1.48 km, με αποτέλεσμα σε πολλές περιπτώσεις να απεικονίζει τους οικισμούς τον έναν πάνω στον άλλον, να έχουν δηλαδή, ίδιες γεωγραφικές συντεταγμένες. Συνεπώς, η ακρίβεια του προγράμματος αυτού όσον αφορά τις γεωγραφικές συντεταγμένες κρίνεται ακατάλληλη για την εργασία. Διαθέτει, και αυτό, εργαλείο εύρεσης συντεταγμένων με ένδειξη και του υψομέτρου. Στα σχήματα 3.3 και 3.4 φαίνεται η επιφάνεια εργασίας του World Wind.

Ανάβαση, Toponavigator: Αποτελεί ψηφιακό χάρτη και πρόγραμμα πλοήγησης για συσκευή GPS, και διατίθεται στο εμπόριο. Το συγκεκριμένο λογισμικό σε περιορισμένη μορφή δόθηκε υπό δοκιμή στο γράφοντα από την κατασκευάστρια εταιρία και καλύπτει πλήρως τις ανάγκες της παρούσας ΔΕ αλλά και άλλες μελέτες του ΕΠΤ-ΕΜΠ. Αποδείχτηκε ο πιο έγκυρος και ενημερωμένος ψηφιακός χάρτης που υπάρχει αυτή τη στιγμή. Αξίζει να αναφερθεί, ότι παρέχει γεωγραφικά δεδομένα για 15600 οικισμούς της Ελλάδος. Η λειτουργία του βασίζεται στους αλγορίθμους πλοήγησης που εξέλιξε η “Ανάβαση” με τους συνεργάτες της και στην πλούσια και υψηλής ακρίβειας βάση γεωγραφικών δεδομένων, που έχουν συγκεντρωθεί κυρίως με καταγραφές με συσκευές GPS.

Με δοκιμή που πραγματοποιήθηκε, αρχικά, για την εύρεση πεντακοσίων περίπου ελληνικών οικισμών, από στοιχεία της ΕΣΥΕ, τα αποτελέσματα ήταν ικανοποιητικά (100 % επιτυχία). Μοναδικό μειονέκτημα του **Toponavigator** αποτελεί το εργαλείο εύρεσης των οικισμών, το οποίο δεν παρέχει άμεση προβολή των συντεταγμένων. Για να γίνει ανάγνωση των συντεταγμένων, θα πρέπει, κάνοντας “κλικ” με τον κέρσορα του ποντικιού πάνω στον οικισμό, να εμφανιστεί το αντίστοιχο “παράθυρο” που περιέχει την πληροφορία. Σημαντικό είναι επίσης το γεγονός, ότι το πρόγραμμα αυτό, αναπαριστά σε μορφή πολυγώνου τα όρια του κάθε οικισμού και ανάλογα με το

χρωματισμό, παρέχει πληροφορία για την πυκνότητα δόμησής του. Συνεπώς, με αυτό τον τρόπο, δίδεται η δυνατότητα λήψης των γεωγραφικών συντεταγμένων από κεντρικά σημεία του οικισμού κι όχι πάνω σε οδικές αρτηρίες, περιφερειακά αυτού, όπως συμβαίνει σε πολλές περιπτώσεις στους υπόλοιπους χάρτες. Το περιβάλλον εργασίας του **Toponavigator** απεικονίζεται στα σχήματα 3.5 έως 3.7.

3.3.2 Χάρτες σε έντυπη μορφή

Χάρτες της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού: Το ΕΠΤ-ΕΜΠ διαθέτει χάρτες από την γεωγραφική υπηρεσία στρατού για όλα τα γεωγραφικά διαμερίσματα της Ελλάδος. Παρέχουν αρκετή πληροφόρηση για τους περισσότερους οικισμούς της Ελλάδος, όχι όμως για όλους (για παράδειγμα κατά την εκπόνηση της παρούσας ΔΕ διαπιστώθηκαν αρκετές ελλείψεις). Παρέχουν πληροφορίες για τα γεωγραφικά μήκη, πλάτη και τα αντίστοιχα υψόμετρα. Η εύρεση των συντεταγμένων από τους εν λόγω χάρτες δεν ενδείκνυται για τη συγκεκριμένη εργασία. Αυτό οφείλεται στο ότι η εύρεση ενός σημείου γίνεται με αναλογικά μέσα, με χρήση δηλαδή, ταν και τριγώνου κανόνα και, εν συνεχεία, με εισαγωγή των δεδομένων σε λογιστικό φύλλο για τη μετατροπή τους σε δεκαδικές μοίρες. Ο χρόνος για την εύρεση 1700 περίπου σημείων με αυτή τη διαδικασία θα ήταν υπερβολικός, η διαδικασία δε, πολύ κοπιαστική και με μεγάλο περιθώριο σφαλμάτων. Οι χάρτες αυτοί έχουν μικρή διακριτική ικανότητα, αφού η κλίμακά τους είναι 1:50000 και αν συνεκτιμηθεί το γεγονός, ότι η εύρεση των σημείων γίνεται με αναλογικά μετρητικά μέσα, η συνεισφορά του σφάλματος ανάγνωσης θα ήταν σημαντική.

Ελλάς, οδικοί - τουριστικοί χάρτες (2004/2005), ΝΙΚ. & ΙΩΑΝ. ΦΩΤΗΣ Ο.Ε.: Αποτελεί έντυπο οδικό - τουριστικό χάρτη της Ελλάδος. Ο οδηγός αυτός είναι χρήσιμος στην εύρεση των υψομέτρων του κάθε οικισμού. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε σε συνδυασμό με το **MS Autoroute**, προτού, δηλαδή, δοκιμαστεί το **Toponavigator**. Επιλέχτηκε λόγω της ευχρηστίας του, αφού περιλαμβάνει τα υψόμετρα των περισσότερων οικισμών της Ελλάδος καταταγμένων αλφαβητικά, αλλά και λόγω της μακρόχρονης εμπειρίας (άνω των 30 ετών) και εξειδίκευσης των εν λόγω εκδόσεων σε θέματα χαρτογραφίσεων.

3.4 Διαδικασία εύρεσης των γεωγραφικών δεδομένων

Προτού αποφασιστεί, ποιό πρόγραμμα θα χρησιμοποιηθεί τελικά, για την εύρεση των γεωγραφικών συντεταγμένων και των υψομέτρων για κάθε οικισμό, δαπανήθηκε αρκετός χρόνος σε δοκιμές των εφαρμογών που περιγράφηκαν παραπάνω. Εξάλλου η συγκεκριμένη φάση της εργασίας είναι ουσιαστική και για επόμενες μελέτες του ΕΠΤ-ΕΜΠ και δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή. Στόχος ήταν να επιλεγεί το πρόγραμμα που θα παρείχε την περισσότερη και την πιο ακριβή πληροφορία, σε όσο το δυνατόν μικρότερο χρονικό διάστημα.

3.4.1 Η πρώτη προσέγγιση

Στα πρώτα στάδια της εργασίας, τα διαθέσιμα εργαλεία ήταν το **MS Autoroute 2000**, οι χάρτες της γεωγραφικής υπηρεσίας του στρατού (ΓΥΣ), το **NASA World Wind** και οι χάρτες του Νικ. και Ιωάννη Φώτη. Με τη βοήθεια των παραπάνω βρέθηκαν σε Πελοπόννησο και Κρήτη περί τα 1700 σημεία (οικισμοί). Στη συνέχεια παρήχθησαν οι πρώτοι χάρτες συγκεντρώσεων ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους για το γεωγραφικό διαμέρισμα της Πελοποννήσου. Όμως, καθώς συνεχιζόταν η διαδικασία εύρεσης των συντεταγμένων και για την υπόλοιπη Ελλάδα παρατηρήθηκαν αρκετές ελλείψεις και ασάφειες στις εν λόγω συλλογές δεδομένων. Το γεγονός αυτό έθετε υπό αμφισβήτηση τους χάρτες ραδονίου που είχαν ήδη παραχθεί.

3.4.2 Η δεύτερη προσέγγιση

Μετά από αναζήτηση για ανανεωμένες εκδόσεις των παραπάνω πακέτων ή ακόμη και νέες εφαρμογές, βρέθηκε τελικά, η λύση του **Toponavigator** της εταιρίας “Ανάβαση”. Το συγκεκριμένο λογισμικό ήταν προσφορά του ενός εκ των δύο δημιουργών του, του κου Σ. Συρίγου στο γράφοντα. Το **Toponavigator**, όπως έχει ήδη αναφερθεί, αποτελεί τον πιο ολοκληρωμένο ψηφιακό χάρτη για την Ελληνική επικράτεια, όσον αφορά στην εύρεση οικισμών. Περιλαμβάνει όλες τις πληροφορίες που χρειάζονται για την παρούσα ΔΕ. Είναι το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε τελικά για τον προσδιορισμό των γεωγραφικών συντεταγμένων των οικισμών στην Πελοπόννησο, αφού πρώτα, βέβαια, είχε ελεγχτεί για την αξιοπιστία του (βλέπε παράγραφο 3.7.2).

Η διαδικασία για την εύρεση των γεωγραφικών συντεταγμένων και των υψομέτρων είναι αρκετά απλή και περιγράφεται παρακάτω σε τρία βήματα.

Βήμα 1^ο : Στην κεντρική επιφάνεια εργασίας του προγράμματος επιλέγεται από την μπάρα εργαλείων το εργαλείο “αναζήτηση”. Στη νέα επιφάνεια (παράθυρο) που εμφανίζεται πληκτρολογείται η ονομασία του αναζητούμενου οικισμού.

Βήμα 2^ο : Αφού βρεθεί ο οικισμός, επιλέγεται τερματισμός της λειτουργίας αναζήτησης και πραγματοποιείται “ζουμ” στο χάρτη με το εργαλείο “μεγέθυνση”, εωσότου ο χάρτης να απεικονίζεται σε κλίμακα 1:15000. Με το εργαλείο “μετακίνηση” ο οικισμός τοποθετείται στο κέντρο της οθόνης.

Βήμα 3^ο : Τέλος, με το εργαλείο “δημιουργία” κάνοντας “κλικ” με τον κέρσορα του ποντικιού, κατά προσέγγιση, στο κέντρο βάρους του πολυγώνου που αντιπροσωπεύει το κατοικημένο κομμάτι του οικισμού, εμφανίζεται νέα επιφάνεια (παράθυρο) που περιλαμβάνει τα ζητούμενα δεδομένα: γεωγραφικό μήκος, γεωγραφικό πλάτος και υψόμετρο.

Με την παραπάνω διαδικασία βρέθηκαν οι 141 οικισμοί της Πελοποννήσου για τους οποίους υπήρχαν διαθέσιμες μετρήσεις συγκεντρώσεων ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους. Στη συνέχεια παράχθηκε εκ νέου ο χάρτης των συγκεντρώσεων ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους για την Πελοπόννησο. Οι διαφορές μεταξύ των χαρτών ραδονίου που προέκυψαν με τον έναν ή τον άλλο τρόπο δεν είναι διακριτές στο επίπεδο της κλίμακας των παραχθέντων χαρτών. Ενδεχομένως, σε χάρτη μεγαλύτερης κλίμακας οι διαφορές να είναι πιο εμφανείς.

3.5 Στοιχεία Γεωδαισίας

3.5.1 Το αντικείμενο της Γεωδαισίας

Η λέξη Γεωδαισία είναι η σύνθεση των λέξεων Γη και δαίω (=διαιρώ, μοιράζω). Η ακριβής ερμηνεία της λέξης θα σήμαινε υποδιαίρεση της Γης ή διαμερισμός της Γης. Σήμερα, η λέξη ορίζει μια περιοχή των Γεωεπιστημών, δηλαδή των επιστημών (όπως π.χ., η γεωλογία, η γεωφυσική, η γεωδυναμική κ.α.), που ασχολούνται με τον πλανήτη Γη στο σύνολό του ή μερικά. Με τη λέξη Γεωδαισία ορίζουμε την επιστημονική περιοχή που ασχολείται με:

1. τη μελέτη και τον προσδιορισμό του σχήματος και του μεγέθους της Γης.
2. τον προσδιορισμό συντεταγμένων βασικών σημείων αναφοράς στη γήινη επιφάνεια, κάτω και πάνω από αυτήν.
3. τη μελέτη και τον προσδιορισμό του γήινου πεδίου βαρύτητας.
4. την παρακολούθηση των διαχρονικών μεταβολών όλων των παραπάνω.
5. την απεικόνιση της γήινης επιφάνειας σε χάρτες.

3.5.2 Το ελλειψοειδές μοντέλο της Γης- Ελλειψοειδές Εκ Περιστροφής (ΕΕΠ)

Το ελλειψοειδές και μάλιστα το ελλειψοειδές εκ περιστροφής (ΕΕΠ) είναι η καταλληλότερη επιφάνεια αναφοράς επειδή προσεγγίζει καλύτερα το σχήμα και το μέγεθος της γης και συνεπώς παρέχει υψηλές ακρίβειες συμβατές με τις υψηλές ακρίβειες των σύγχρονων οργάνων μέτρησης. Το ελλειψοειδές αναφοράς που χρησιμοποιείται στη γεωδαισία (ΕΕΠ) αποτελεί τη μαθηματική μορφή της γης. Γεωμετρικά, είναι το στερεό που προκύπτει από την περιστροφή μιας έλλειψης γύρω από το μικρό της άξονα (διαξονικό ελλειψοειδές ή ελλειψοειδές εκ περιστροφής). Με την εισαγωγή του ΕΕΠ ως επιφάνεια αναφοράς, και σύμφωνα με την κλασική γεωδαιτική διαδικασία, έχουμε να επιλύσουμε το εξής πρόβλημα. Οι παρατηρήσεις και τα αντίστοιχα σημεία της πραγματικής γήινης επιφάνειας πρέπει να αναχθούν πάνω στο ΕΕΠ.

3.5.3 Το γήινο ΕΕΠ (ΓΕΕΠ)

Εάν το ΕΕΠ χρησιμοποιείται ως μαθηματική προσέγγιση της φυσικής Γης στην ολότητά της, δηλαδή προσέγγιση όλης της επιφάνειάς της, τότε ορίζονται τα εξής: Η αρχή G των αξόνων του ΕΕΠ ταυτίζεται με το κέντρο μάζας της γης. Ο άξονας Z^o ταυτίζεται με την αντίστοιχη διεύθυνση προς το βόρειο πόλο της γης και το μεσημβρινό επίπεδο, που χρησιμοποιείται ως αρχή των μηκών, περιέχει ένα ορισμένο σημείο του Αστεροσκοπείου του Greenwich. Έτσι, ο άξονας Z^o συμπίπτει με τον άξονα περιστροφής της γης ενώ το επίπεδο $\langle X^o, Z^o \rangle$ συμπίπτει με το μεσημβρινό επίπεδο Greenwich.

Με τους ορισμούς αυτούς, το ΕΕΠ λέγεται γήινο ή γεωκεντρικό ή γεωγραφικό ΕΕΠ (ΓΕΕΠ), οι παράμετροι φ , λ λέγονται αντίστοιχα γήινο γεωκεντρικό ή γεωγραφικό πλάτος και μήκος, οι μεσημβρινοί και παράλληλοι λέγονται γεωγραφικοί μεσημβρινοί και παράλληλοι, το ισημερινό επίπεδο λέγεται γήινο ή γεωγραφικό ισημερινό επίπεδο, κ.ο.κ.

3.5.4 Το γεωδαιτικό ΕΕΠ (γΕΕΠ)

Εάν το ΕΕΠ χρησιμοποιείται ως μαθηματική προσέγγιση της Φυσικής Γης (του γεωειδούς) σε τμήμα της επιφάνειάς της, τότε η αρχή των αξόνων του δεν ταυτίζεται με το κέντρο μάζας της γης, αλλά απέχει λίγο από αυτό, ενώ ο άξονας Z (βλ. σχήμα 3.8) θα είναι, με καλή ακρίβεια, παράλληλος του Z^0 του ΓΕΕΠ. Τότε, το μεσημβρινό επίπεδο-αφετηρία των μηκών, $\langle X, Z \rangle$, αυτού του ΕΕΠ, θα είναι σχεδόν παράλληλο με το μεσημβρινό επίπεδο Greenwich, $\langle X^0, Y^0 \rangle$, του ΓΕΕΠ. Στην περίπτωση αυτή, το ΕΕΠ θα λέγεται γεωδαιτικό ΕΕΠ (γΕΕΠ), τα φ , λ γεωδαιτικό πλάτος και γεωδαιτικό μήκος αντίστοιχα, οι μεσημβρινοί και παράλληλοι θα λέγονται γεωδαιτικοί, κ.ο.κ. Γενικά, μπορεί να θεωρηθεί ότι, σε πρώτη προσέγγιση, το γΕΕΠ έχει υποστεί μια μικρή παράλληλη μετατόπιση κατά τους άξονες X^0 , Y^0 και Z^0 ως προς το ΓΕΕΠ.

3.5.5 Προσαρμογή των γΕΕΠ στο ΓΕΕΠ

Από τους προηγούμενους ορισμούς φαίνεται ότι, ενώ το ΓΕΕΠ, ως προσεγγίζον βέλτιστα, όλη την επιφάνεια του γεωειδούς, θα πρέπει, θεωρητικά τουλάχιστον, να είναι μοναδικό, αντίθετα τα γΕΕΠ μπορεί να είναι πολυάριθμα, εφόσον χρησιμοποιούνται ως βέλτιστες προσεγγίσεις διαφόρων, επιμέρους περιοχών του γεωειδούς (βλ. σχήμα 3.9). Από διάφορες μετρήσεις που είναι δυνατόν να γίνουν, υπολογίζονται οι σχετικές θέσεις των κέντρων των γΕΕΠ ως προς το γεώκεντρο. Συγκρινόμενες με το μήκος της ακτίνας της γης, οι μέγιστες αποχές των κέντρων των γΕΕΠ από το γεώκεντρο είναι της τάξης του 10^{-5} (ή των 10 ppm), όχι περισσότερο του 0.01 %.

3.5.6 Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΓΣΑ)

Για την αναπαράσταση του γήινου ανάγλυφου μιας χώρας, καθώς και των φυσικών και τεχνητών στοιχείων σ' αυτό, χρησιμοποιείται σήμερα ένα γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς (βλ. σχήμα 3.10), το οποίο ορίζεται από τρισσορθογώνιους καρτεσιανούς άξονες X, Y και Z, και κοινή αρχή αξόνων, σε σημείο που απέχει συγκεκριμένη απόσταση από το κέντρο μάζας της γης και όχι πολύ μακριά από αυτό, της τάξης, όχι περισσότερο, του 0.01 ‰, της ακτίνας της γης. Οι τρισσορθογώνιοι αυτοί άξονες έχουν γνωστή κλίση ως προς τους προνομιούχους τρισσορθογώνιους άξονες X⁰, Y⁰ και Z⁰ του γεωκεντρικού συστήματος.

Στο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς, ορίζεται ένα ελλειψοειδές εκ περιστροφής (το κέντρο του είναι η αρχή των αξόνων του συστήματος), με δεδομένες διαστάσεις (μεγάλο ημιάξονα και επιπλάτυση ή εκκεντρότητα), η επιφάνεια του οποίου προσαρμόζεται όσο το δυνατόν καλύτερα στο γεωειδές, στην περιοχή της χώρας ή της ευρύτερης περιοχής, που μας ενδιαφέρει.

Ένα σημείο του γήινου ανάγλυφου ορίζεται είτε από τις ορθογώνιες καρτεσιανές συντεταγμένες X, Y, Z, ως προς τους γεωδαιτικούς άξονες αναφοράς, είτε από τις επίσης ορθογώνιες αλλά ελλειψοειδείς συντεταγμένες λ, φ, το γεωδαιτικό μήκος και πλάτος, που συμπληρώνονται από κάθετη απόσταση h, του σημείου από την επιφάνεια του ελλειψοειδούς εκ περιστροφής, που λέγεται γεωμετρικό υψόμετρο.

Τα X, Y, Z και λ, φ, h, που αφορούν ένα και το αυτό σημείο, σχετίζονται μεταξύ τους βάσει σχέσεων της Αναλυτικής Γεωμετρίας, συναρτήσει των διαστάσεων του ελλειψοειδούς εκ περιστροφής, του μεγάλου ημιάξονα a και της εκκεντρότητας στο τετράγωνο, e².

3.5.6.1 Το γεωδαιτικό Datum

Ένας από τους βασικότερους σκοπούς της Γεωδαισίας είναι ο προσδιορισμός συντεταγμένων για έναν επιλεγμένο αριθμό σημείων υλοποιημένων σε μια περιοχή της γήινης επιφάνειας, π.χ. σε μια χώρα, μια ήπειρο ή και σε όλη τη γη. Τα σημεία αυτά ονομάζονται θεμελιώδη και αποτελούν τα σημεία των γεωδαιτικών δικτύων, εθνικών/κρατικών, ευρωπαϊκών και παγκόσμιων. Ο προσδιορισμός των συντεταγμένων γίνεται με αυξημένες απαιτήσεις ακρίβειας επειδή αποτελούν το

σταθερό γεωδαιτικό υπόβαθρο για όλες τις εργασίες που θα εντάσσονται σ' αυτό και για αρκετά χρόνια.

Εφόσον προσδιορίζονται συντεταγμένες πρέπει να ορισθεί το σύστημα αναφοράς και ο τρόπος προσδιορισμού τους. Το καρτεσιανό σύστημα αναφοράς του ΕΕΠ ορίζεται έτσι ώστε να ταυτίζεται ή να είναι παράλληλο με το επίγειο γεωκεντρικό. Για πρακτικούς λόγους θα πρέπει να επιλεγεί και ένα ΕΕΠ που περιγράφεται στο σύστημα αναφοράς και έχει συγκεκριμένες παραμέτρους. Με τον προσδιορισμό της θέσης του ΕΕΠ ορίζεται και η σχέση του με το γεωειδές. Γίνεται αντιληπτό ότι όλα τα προηγούμενα αποτελούν βασικά στοιχεία της έννοιας ενός γεωδαιτικού datum.

Το γεωδαιτικό datum ή γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς ορίζεται συνήθως με δύο διαφορετικούς τρόπους, όπου η επιλογή του ΕΕΠ ως προς τις διαστάσεις του (δύο παράμετροι) είναι αναγκαία για πρακτικούς λόγους:

α) ως ένα επίγειο (καρτεσιανό) σύστημα αναφοράς, σταθερό ως προς τη γη, δηλαδή ένα σύνολο “συνταγών”, συμβάσεων και μοντέλων για τον προσδιορισμό της αρχής και του προσανατολισμού των αξόνων του καρτεσιανού συστήματος. Το σύστημα αναφοράς μπορεί να είναι γεωκεντρικό ή γεωδαιτικό/ τοπικό. Με βάση τον ορισμό αυτό, εάν αλλάξουν οι συντεταγμένες των θεμελιωδών σημείων επειδή π.χ. χρησιμοποιήθηκαν νέες “καλύτερες” μετρήσεις, δεν αλλάζει το γεωδαιτικό datum.

β) ως ένα επίγειο πλαίσιο αναφοράς, δηλαδή ένα σύνολο σημείων της γήινης επιφάνειας με σταθερές συντεταγμένες. Ο ορισμός αυτός είναι ευρύτερος, εμπεριέχει τον προηγούμενο και είναι πιο ρεαλιστικός. Στην περίπτωση αυτή, εάν για οποιονδήποτε λόγο αλλάξουν οι συντεταγμένες των θεμελιωδών σημείων θα αλλάξει και το γεωδαιτικό datum.

Τα γεωδαιτικά datum ιδρύονται για να εξυπηρετήσουν κυρίως τον οριζόντιο προσδιορισμό θέσης. Γι' αυτό, πολλές φορές, συναντάται και η ονομασία οριζόντιο γεωδαιτικό datum.

3.5.6.2 Το Ευρωπαϊκό Datum ED 50

Το ευρωπαϊκό datum ED 50 είναι το πρώτο ενιαίο ευρωπαϊκό σύστημα με κεντρικό σημείο “πύργος του Helmert” στο Potsdam, με ΕΕΠ αναφοράς το Διεθνές του

Hayford ($a = 6378388.000$) και προβολικό σύστημα την εγκάρσια Μερκατορική προβολή UTM, όπως υλοποιείται από ζώνες των 6° , για τη χαρτογραφία 1:50000, με κεντρικό μεσημβρινό εκείνο του Greenwich. Ο πρώτος Ευρωπαϊκός Τριγωνισμός που προσδιόρισε το ED 50 πραγματοποιήθηκε περί το 1950. Η προσπάθεια αυτή αποσκοπούσε όχι τόσο στον ακριβή προσδιορισμό συντεταγμένων, αλλά σε μια ακρίβεια κατάλληλη για χαρτογραφικούς και στρατιωτικούς σκοπούς.

Ειδικά το ED 50, εκτός απ' το ότι, σ' αυτό αναφέρεται η συστηματικότερη χαρτογραφία που διαθέτει, μέχρι σήμερα, η χώρα (1:50000), χρησιμοποιείται από την Εθνική Στατιστική Υπηρεσία της Ελλάδος – ΕΣΥΕ, για τον υπολογισμό όλων εκείνων των γεωμετρικών στοιχείων που περιλαμβάνονται, ως επίσημα στοιχεία του Ελληνικού κράτους, στις Στατιστικές Επετηρίδες της Ελλάδος. Επιπλέον, στο ED 50 και στην, σ' αυτό συνδεδεμένη, χαρτογραφία 1:50000 της χώρας, αναφέρονται τα τοπωνύμια της Ελλάδος, όπως καταγράφονται στον εθνικό κατάλογο ονομασιών όλων των τοποθεσιών της χώρας, το Γεωγραφικό Λεξικό Ελληνικών Τοπωνυμίων, με τις γεωγραφικές τους συντεταγμένες.

3.5.6.3 Το Διεθνές WGS 84

Το παγκόσμιο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς WGS 84 (World Geodetic System 1984) του Υπουργείου Άμυνας των ΗΠΑ (DoD: Department of Defense) είναι ένα από τα προϊόντα της NIMA (National Imagery and Mapping Agency, πρώην DMA: Defense Mapping Agency).

Το σύστημα του WGS 84 είναι ένα (συμβατικό) επίγειο γεωκεντρικό σύστημα αναφοράς και ικανοποιεί τις συμβάσεις της IERS (IERS: International Earth Rotation Service, δηλαδή Διεθνής Υπηρεσία Περιστροφής της Γης). Ο προσανατολισμός του συμφωνεί αρχικά με αυτόν του BHI (BHI: Bureau International del' Heure, δηλαδή Διεθνές Γραφείο Ώρας) του 1984. Επίσης θεωρείται ότι δεν υπάρχει σχετική περιστροφή του συστήματος ως προς το φλοιό της γης συναρτήσει του χρόνου.

Το σύστημα αναφοράς του WGS 84, από την αρχή της δημιουργίας του (μέσα του 1980), έχει υποστεί διάφορες βελτιώσεις που για τις τρέχουσες πρακτικές εφαρμογές δεν έχουν ουσιαστική επίδραση. Από το 1988 και μετά το σύστημα αναφοράς επιδιώκεται να ταυτίζεται όσο το δυνατόν περισσότερο με το ITRS (ITRS:

International Terrestrial Reference System, δηλαδή Διεθνές Επίγειο Σύστημα Αναφοράς).

Το πλαίσιο αναφοράς του WGS 84 επιτυγχάνεται μέσω των συντεταγμένων ενός συνόλου 13 μόνιμων σταθμών παρακολούθησης των δορυφόρων GPS που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των τροχιών και έχουν παγκόσμια κατανομή.

Το πρώτο πλαίσιο αναφοράς του 1987, υλοποιήθηκε με βάση τις παρατηρήσεις Doppler του δορυφορικού συστήματος NNSS ή TRANSIT (NNSS: Navy Navigation Satellite System, πρόγονος του GPS) από ένα σύνολο σταθμών, έτσι ώστε να βρίσκεται όσο το δυνατόν πλησιέστερα στο σύστημα συντεταγμένων NSWC-9Z2 (Naval Surface Weapons Center - 9Z2) του DoD και του BTS 1984.0 (BTS: BIH Terrestrial System). Το πλαίσιο αυτό παρέμεινε σε ισχύ, από το Τμήμα ελέγχου του συστήματος GPS, μέχρι τις 29-6-1994. Η ακρίβεια των συντεταγμένων του WGS 84 στο πλαίσιο αυτό ήταν της τάξης του 1-2 m επειδή οι συντεταγμένες των σταθμών παρακολούθησης προσδιορίστηκαν από το σύστημα TRANSIT και τις αντίστοιχες εφημερίδες. Επιπλέον παρατηρήθηκαν συστηματικές διαφορές στον προσδιορισμό των γεωμετρικών υψομέτρων.

Έτσι το πλαίσιο αναφοράς βελτιώθηκε δύο φορές με τον προσδιορισμό νέων συντεταγμένων για τους μόνιμους σταθμούς, από παρατηρήσεις GPS συμπεριλαμβάνοντας και σημεία της IGS (International GPS Service, δηλαδή Διεθνής Υπηρεσία GPS) ένα μέρος των οποίων χρησιμοποιήθηκε με σταθερές συντεταγμένες ως προς το ITRF (International Terrestrial Reference Frame, δηλαδή Διεθνές Επίγειο Πλαίσιο Αναφοράς). Η πρώτη αναθεώρηση έγινε για την εποχή 1994.0, με δεσμεύσεις ως προς το ITRF91, ισχύ για το σύστημα GPS από 29-6-94 και ακρίβεια της τάξης των 10 cm (1 σ) για κάθε συνιστώσα. Επίσης, αντικαταστάθηκε και η τιμή της σταθεράς GM από την τιμή της IERS (1992) για να απαλοιφεί ένα συστηματικό μέρος 1.3 m στις τροχιές του DoD. Το πλαίσιο αυτό είναι γνωστό ως WGS 84 (G730), όπου ο αριθμός αναφέρεται στην εβδομάδα GPS (GPS week 730). Η δεύτερη βελτίωση του 1996 για την εποχή 1997.0, με ισχύ από 29-1-1997 και ακρίβεια 5 cm, χαρακτηρίζεται ως WGS 84 (G873). Ακόμα, από το 1996 χρησιμοποιείται το γεωδυναμικό μοντέλο EGM96 (Earth Gravitational Model 1996) με διαφορετική τιμή για το δυναμικό συντελεστή δευτέρου βαθμού. Η ακρίβεια των υψομέτρων του γεωειδούς με βάση το μοντέλο EGM96 είναι της τάξης του 0.5-1 m.

Το ελλειψοειδές του WGS 84 ορίζεται από τις παραμέτρους: a (μεγάλος ημιάξονας = 6378137.0 m), f (επιπλάτυση, $1/f = 298.257223563$), GM [γήινη βαρυτική σταθερά = $(3986004.418 \pm 0.008) \times 10^8 \text{ m}^3/\text{s}^2$, συνυπολογιζόμενης και της μάζας της ατμόσφαιρας], ω (γωνιακή ταχύτητα της γης = $7292115 \times 10^{-11} \text{ rads/sec}$). Αρχικά, αντί της επιπλάτυσης, είχε επιλεγεί ο κανονικοποιημένος δυναμικός συντελεστής δευτέρου βαθμού. Από τις προηγούμενες τιμές προκύπτει οποιαδήποτε άλλη γεωμετρική και φυσική παράμετρος του ελλειψοειδούς.

Το πλαίσιο αναφοράς του WGS 84 συμφωνεί με το ITRF για την ίδια εποχή αναφοράς με ακρίβεια της τάξης των 5 cm. Οι συντεταγμένες ως προς το WGS 84 από παρατηρήσεις GPS και με χρήση των εκπεμπόμενων εφημερίδων ακριβείας έχουν ακρίβεια της τάξης των μερικών δεκάδων εκατοστών (χωρίς τα εσκεμμένα σφάλματα). Η ακρίβεια ως προς το ITRF, με παρατηρήσεις GPS και με ακριβείς εφημερίδες της IGS, είναι της τάξης του εκατοστού.

3.6 Μετατροπή γεωγραφικών συντεταγμένων από το WGS 84 στο ED 50

Το ΕΠΤ-ΕΜΠ ξεκίνησε να ασχολείται με τις απεικονίσεις ραδιομετρικών μεγεθών στο ελληνικό έδαφος από τη δεκαετία του '80. Όπως ήδη αναφέρθηκε, ένα από τα ΓΣΑ που χρησιμοποιούνταν στην Ελλάδα κατά την περίοδο αυτή ήταν το Ευρωπαϊκό ED 50. Στο ED 50 βασίζονται και οι χάρτες της ΓΥΣ, τους οποίους διαθέτει το ΕΠΤ-ΕΜΠ και στους οποίους στηρίζεται η βάση δεδομένων του εργαστηρίου, αλλά και τα προγράμματα που έχουν συνταχθεί για τις απεικονίσεις ραδιομετρικών μεγεθών. Στη συγκεκριμένη φάση παρουσιάζεται ένα πρόβλημα που αντιμετωπίστηκε κατά τη διάρκεια εκτέλεσης της παρούσας εργασίας: Το πρόγραμμα με το οποίο βρέθηκαν οι γεωγραφικές συντεταγμένες στηρίζεται σε διαφορετικό σύστημα αναφοράς. Στο διεθνές σύστημα WGS 84. Κρίθηκε, λοιπόν, απαραίτητη η μετατροπή των γεωγραφικών συντεταγμένων από το WGS 84 στο ED 50.

Η διαδικασία μετατροπής των γεωγραφικών συντεταγμένων των 141 σημείων μέτρησης, από το WGS 84 στο ED 50, έγινε με τη βοήθεια προγράμματος που βρέθηκε στο διαδίκτυο. Το πρόγραμμα αυτό έχει την ονομασία **CoordTrans v2.2** της εταιρίας Franson Technology AB, η οποία ασχολείται με την ανάπτυξη καινοτόμων λύσεων στο χώρο των λογισμικών για παγκόσμια συστήματα εντοπισμού (GPS). Το

λογισμικό διατίθεται στην ιστοσελίδα της εν λόγω εταιρίας σε δοκιμαστική έκδοση [44].

Η διαδικασία μετατροπής περιγράφεται παρακάτω με απλά βήματα. Για καλύτερη κατανόηση της διαδικασίας, στο τέλος του κεφαλαίου διατίθενται σχετικές εικόνες (βλ. σχήματα 3.11 έως 3.13).

Βήμα 1^ο: Τα δεδομένα καταχωρούνται σε φύλλα **Excel** με τη μορφή που φαίνονται στο παράρτημα Β (πρώτη στήλη: γεωγραφικό πλάτος, δεύτερη στήλη: γεωγραφικό μήκος) το αρχείο αποθηκεύεται με επέκταση στην ονομασία του αρχείου *.csv. Το αρχείο αποθηκεύεται σε αυτή τη μορφή γιατί αυτό απαιτείται από το πρόγραμμα προκειμένου να είναι δυνατόν να “διαβαστεί”.

Βήμα 2^ο: Στην κεντρική επιφάνεια εργασίας κάνοντας “κλικ” με τον κέρσορα του ποντικιού στην επιλογή “from file...”, εμφανίζεται μια νέα επιφάνεια (παράθυρο). Εκεί επιλέγεται η πρώτη επιλογή “convert coordinates from csv file” και στη συνέχεια η επιλογή “start wizard”. Ακολουθούν ρυθμίσεις που ζητούνται απ’ το πρόγραμμα, όπως η μορφή των συντεταγμένων (Longitude, Latitude), οι μονάδες μέτρησης (Decimal degrees), τα γεωδαιτικά συστήματα (WGS 84 και ED 50), η δομή των δεδομένων μέσα στα φύλλα **Excel** (π.χ. στήλες, σειρές, τίτλοι στηλών) καθώς επίσης και ο φάκελος εντός του οποίου βρίσκεται το αρχείο δεδομένων και ο φάκελος εντός του οποίου θα αποθηκευτεί το νέο αρχείο (αρχείο εξόδου). Το τελευταίο βήμα της διαδικασίας αυτής (wizard) είναι η μετατροπή των συντεταγμένων. Το πρόγραμμα εξάγει τα δεδομένα που έχουν υποστεί μετατροπή σε νέο csv αρχείο (βλ. παράρτημα Β).

Το αρχείο εξόδου του **CoordTrans** περιέχει τις συντεταγμένες με το σύστημα WGS 84 και με το σύστημα ED 50. Ακολουθεί ο διαχωρισμός τους και η ετοιμασία του τελικού αρχείου που θα περιέχει τα δεδομένα που θα εισαχθούν στον H/Y filippos για περαιτέρω επεξεργασία και χάραξη. Η μορφή του τελικού αρχείου φαίνεται στο παράρτημα Β.

3.7 Αξιολόγηση των λογισμικών πακέτων που χρησιμοποιήθηκαν για την συλλογή των γεωγραφικών δεδομένων και της μετατροπής του ΓΣΑ στο οποίο αναφέρονται

Προτού αποφασιστεί ποιο πρόγραμμα – ψηφιακός χάρτης, θα χρησιμοποιηθεί, τελικά, για την συλλογή των απαραίτητων δεδομένων, ακολουθήθηκε διαδικασία αξιολόγησής τους, η οποία περιγράφεται παρακάτω. Στο τέλος του κεφαλαίου παρατίθενται συγκριτικοί πίνακες, μεταξύ των εν λόγω πακέτων.

3.7.1 Σύγκριση MS Autoroute και Toponavigator

Σύμφωνα με τον πίνακα 3.2, η διαφορά μεταξύ των γεωγραφικών συντεταγμένων, που παρέχουν τα δύο προγράμματα για τον ίδιο οικισμό, εντοπίζεται στο τρίτο και τέταρτο δεκαδικό ψηφίο. Σε αδρές γραμμές, αυτό μεταφράζεται σε απόσταση των δύο σημείων μεταξύ τους της τάξης μερικών εκατοντάδων μέτρων. Η απόκλιση αυτή κρίνεται δικαιολογημένη, λόγω του διαφορετικού τρόπου καταγραφής και απεικόνισης των γεωγραφικών συντεταγμένων από τα δύο προγράμματα. Το μεν **Autoroute**, παρέχει τις συντεταγμένες ενός σημείου το οποίο βρίσκεται συνήθως πάνω σε κεντρική οδική αρτηρία (εθνική οδός, επαρχιακό οδικό δίκτυο) του οικισμού, ενώ το **Toponavigator** παρέχει συντεταγμένες από κεντρικό σημείο του οικισμού.

3.7.2 Αξιολόγηση του Toponavigator

Για τον έλεγχο του **Toponavigator** ως προς την εγκυρότητα των υπολογισθέντων γεωγραφικών συντεταγμένων πραγματοποιήθηκαν δύο συγκρίσεις.

1. άμεση σύγκριση με συσκευή GPS και
2. σύγκριση με τους χάρτες της γεωγραφικής υπηρεσίας στρατού, που θεωρούνται οι πιο αξιόπιστοι σε σχέση με την βάση δεδομένων του ΕΠΤ-ΕΜΠ.

Σύγκριση με την ένδειξη συσκευής GPS

Η συσκευή που χρησιμοποιήθηκε κατά την εκτέλεση αυτής της σύγκρισης είναι το μοντέλο eTrex Legend της σειράς Mapping Handhelds (βλ. σχήμα 3.14) της εταιρίας Garmin. Επιλέχθηκαν πέντε χαρακτηριστικά σημεία (π.χ. συμβολή οδών, κτίρια)

στην Αττική και βρέθηκαν οι συντεταγμένες τους, και με τους δύο τρόπους (συσκευή GPS και **Toponavigator**). Η απόκλιση μεταξύ των συντεταγμένων, όπως φαίνεται και στον πίνακα 3.3, είναι αμελητέα, της τάξεως μερικών μέτρων.

Σύγκριση με τον χάρτη της ΓΥΣ

Η σύγκριση έγινε μεταξύ των συντεταγμένων που έχουν υπολογισθεί από το **Toponavigator** και έχουν μετατραπεί στο σύστημα ED 50, και των συντεταγμένων, των αντίστοιχων σημείων, που έχουν υπολογισθεί από τους χάρτες της ΓΥΣ. Για το σκοπό αυτό επιλέχθηκαν, τυχαία, κάποιοι οικισμοί των οποίων οι συντεταγμένες είχαν υπολογισθεί με τη χρήση των χαρτών της ΓΥΣ. Στη συνέχεια, αυτές συγκρίθηκαν με τις συντεταγμένες που υπολογίσθηκαν με τη χρήση του **Toponavigator** για τους ίδιους οικισμούς, αφού πρώτα είχαν μετατραπεί στο ευρωπαϊκό σύστημα ED 50.

Επειδή σε αυτή την περίπτωση η απόκλιση εντοπιζόταν στο τρίτο δεκαδικό ψηφίο των συντεταγμένων (λόγω υψηλού σφάλματος ανάγνωσης στο χάρτη της ΓΥΣ), για να υπάρξει μια πιο σαφής εικόνα, υπολογίσθηκαν και οι αποστάσεις μεταξύ ζευγών σημείων (οικισμών) όπως αυτοί υπολογίζονται από τον χάρτη της ΓΥΣ και από το **Toponavigator**. Ο υπολογισμός των αποστάσεων μεταξύ των οικισμών έγινε με το πρόγραμμα **gdist** που έχει αναπτυχθεί από το ΕΠΤ-ΕΜΠ.

Όπως φαίνεται στον πίνακα 3.4, οι διαφορές των υπολογιζόμενων αποστάσεων μεταξύ των οικισμών με το ένα σύστημα (**Toponavigator**) και με το άλλο (έντυποι χάρτες ΓΥΣ), στις περισσότερες των περιπτώσεων δεν ξεπερνά τα 400 m. Η μέση τιμή της διαφοράς των αποστάσεων, αν εξαιρέσουμε δύο περιπτώσεις στις οποίες, ενδεχομένως, υπάρχει απόκλιση στον εντοπισμό των δύο οικισμών μεταξύ των δύο χαρτών (οικισμοί Δημητρόπουλο και Νικολαίικα), είναι 330 m με τυπική απόκλιση 140 m.

Η απόκλιση στα ευρεθέντα ζεύγη συντεταγμένων αποδίδεται κυρίως στη χαμηλή ακρίβεια που παρέχεται από τους χάρτες της ΓΥΣ. Η έλλειψη ακρίβειας μπορεί να οφείλεται:

- ο στην χαμηλή διακριτική ικανότητα των χαρτών της ΓΥΣ, η κλίμακα των οποίων είναι 1:50000, ενώ του **Toponavigator** είναι 1:15000.

- ο στη χαμηλή ακρίβεια των αναλογικών μετρητικών μέσων (τρίγωνο, ταυ) που χρησιμοποιούνται στην ανάγνωση των χαρτών της ΓΥΣ.
- ο στο γεγονός ότι, οι χάρτες της ΓΥΣ παρέχουν συντεταγμένες σε μοίρες, λεπτά και δευτερόλεπτα της μοίρας, οπότε απαιτείται και η μετατροπή τους σε δεκαδική μορφή.
- ο στη διαφορά του τρόπου απεικόνισης, μεταξύ των δύο μεθόδων. Στους μεν χάρτες της ΓΥΣ δίνεται σημειακή απεικόνιση των οικισμών, ενώ στο χάρτη **Toponavigator** γίνεται επιλογή ενός σημείου εντός πολυγώνου που παριστά ολόκληρη την έκταση του οικισμού.

Όσον αφορά τα υψόμετρα που υπολογίσθηκαν με το **Toponavigator** δεν υπήρχε κάποιος αξιόπιστος τρόπος για να ελεγχθεί η εγκυρότητά τους. Παρόλα αυτά, αποδεικνύεται ότι η απόσταση δύο σημείων που απέχουν αρκετά χιλιόμετρα μεταξύ τους δεν μεταβάλλεται σημαντικά με μεταβολή του υψομέτρου του ενός σημείου. Μετρήθηκαν, ενδεικτικά, οι αποστάσεις επτά σημείων από σταθερό σημείο Α (πόλη της Τρίπολης). Η μεταβολή των αποστάσεων αυτών για αντίστοιχη μεταβολή των υψομέτρων των επτά οικισμών, όπως φαίνεται και στον πίνακα 3.5, θεωρείται ασήμαντη, δεδομένου ότι είναι της τάξεως μερικών μέτρων για μεταβολές υψομέτρων που θεωρούνται φυσιολογικές για τον ελλαδικό χώρο. Οπότε, στους υπολογισμούς που γίνονται για την fractal ανάλυση και τη χάραξη των χαρτών δεν εισάγονται σημαντικά σφάλματα σε περίπτωση που υπάρχει μια φυσιολογική απόκλιση των υψομέτρων από την πραγματική τους τιμή. Επίσης, πραγματοποιήθηκε σύγκριση μεταξύ των υψομέτρων που ελήφθησαν από τον χάρτη του Ν. και Ι. Φώτη και του **Toponavigator**. Τα αποτελέσματα απεικονίζονται στον πίνακα 3.6. Οι διαφορές των υψομέτρων δε παρουσιάζουν συστηματικότητα. Παρόλα η μέγιστη που συναντήθηκε ήταν 133 m, η οποία εμπίπτει στις φυσιολογικές τιμές μεταβολών, όπως δοκιμάστηκαν πιο πάνω.

3.7.3 Αξιολόγηση του προγράμματος μετατροπής CoordTrans

Επειδή δεν είναι γνωστή η δημιουργός εταιρία του **CoordTrans** ως προς την αξιοπιστία της, έπρεπε οπωσδήποτε να ελεγχτεί η εγκυρότητα των συντεταγμένων κατόπιν της μετατροπής με χρήση του προγράμματος **CoordTrans**. Ο έλεγχος έγινε

με σύγκριση των συντεταγμένων των ίδιων πέντε σημείων που χρησιμοποιήθηκαν σε προηγούμενη παράγραφο, από την περιοχή της Αττικής. Αυτή τη φορά, η συσκευή GPS ρυθμίστηκε να απεικονίζει τις συντεταγμένες στο ευρωπαϊκό σύστημα ED 50. Η διαφορά των συντεταγμένων και σε αυτή την περίπτωση είναι αμελητέα (βλ. πίνακα 3.7).

3.8 Εύρεση γεωγραφικών συντεταγμένων και υψομέτρων ολόκληρης της ελληνικής επικράτειας

Κατά το στάδιο της εύρεσης των γεωγραφικών συντεταγμένων και υψομέτρων των οικισμών της Πελοποννήσου, προέκυψε ως αποτέλεσμα μια εκτεταμένη εξοικείωση με τις εφαρμογές που περιγράφηκαν στη § 3.3. Για το λόγο αυτό, στο πλαίσιο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, εντάχθηκε και η εργασία της εύρεσης των γεωγραφικών συντεταγμένων και υψομέτρων των οικισμών ολόκληρης της ελληνικής επικράτειας. Η καταγραφή των εν λόγω δεδομένων είναι ουσιαστική για την χαρτογράφηση του ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους στην υπόλοιπη Ελλάδα, αλλά και για νέες μελέτες, παρόμοιου χαρακτήρα, που σχεδιάζει να διεξάγει στο μέλλον το ΕΠΤ-ΕΜΠ.

Ο τρόπος εύρεσης των γεωγραφικών συντεταγμένων και υψομέτρων είναι ο ίδιος με αυτόν που περιγράφηκε στην § 3.4. Η λίστα με τους οικισμούς⁶ της Ελλάδας λήφθηκε, στο πλαίσιο της υπό εκπόνηση ΔΔ του ΥΔ Γ. Παπαδάκου [64], από την Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδος (ΕΣΥΕ). Προέκυψε δε, από βάση δεδομένων που διατηρεί η ΕΣΥΕ για τις απογραφές του ελληνικού πληθυσμού για τα έτη 1981, 1991 και 2001. Στο παράρτημα Ε περιγράφεται αναλυτικά το αρχείο που περιλαμβάνει τα γεωγραφικά δεδομένα για όλους τους οικισμούς της Ελλάδας.

⁶ Σύμφωνα με ορισμό που δίνει η ΕΣΥΕ

«Ως **αυτοτελής οικισμός** ορίζεται: "Ένα σύνολο οικοδομών, οι οποίες γειτονεύουν και τα κτίρια των οποίων δεν απέχουν μεταξύ τους περισσότερο από διακόσια (200) μέτρα αν δεν υπάρχει εγκεκριμένο σχέδιο πόλεως και μέχρι χίλια (1000) μέτρα αν υπάρχει και περιλαμβάνουν δέκα (10) τουλάχιστον κατοικίες νοικοκυριών ή μία συλλογική κατοικία ή κατοικίες νοικοκυριών και συλλογικές κατοικίες στις οποίες μπορούν να κατοικήσουν κανονικά πενήντα (50) τουλάχιστον άτομα, ανεξάρτητα αν αυτά κατοικούν όλο το έτος ή μία μόνο ορισμένη εποχή".

Ως αυτοτελείς οικισμοί ορίζονται και οι μικρονησίδες, ανεξάρτητα από τις ανωτέρω προϋποθέσεις.»

Πίνακες του Κεφαλαίου

Πίνακας 3.1: Σύγκριση MS Autoroute 1998 & MS Autoroute 2000

Επαρχία-Κοινότητα	MS AUTOROUTE 1998		MS AUTOROUTE 2000		ΔΙΑΦΟΡΑ	
	φ [Δεκ. Μοιρ.]	λ [Δεκ. Μοιρ.]	φ [Δεκ. Μοιρ.]	λ [Δεκ. Μοιρ.]	Δφ [Δεκ. Μοιρ.]	Δλ [Δεκ. Μοιρ.]
Βιαννού-Αμυρά	35.03978	25.44926	35.03984	25.44926	0.0000600	0.0000000
Βιαννού-Καλαμίου	35.02758	25.49918	35.02764	25.49919	0.0000600	-0.0000100
Βιαννού-Πέφκου	35.04511	25.47642	35.04517	25.47643	0.0000600	-0.0000100
Καινούριου-Αντισκαριο	34.95696	24.88163	34.95702	24.88164	0.0000600	-0.0000100
Καινούριου-Βασιλικής	34.98153	24.99404	34.98159	24.99404	0.0000600	0.0000000
Καινούριου-Βοριζίων	35.15405	24.84711	35.15411	24.84712	0.0000600	-0.0000100
Καινούριου-Γεργέρης	35.13146	24.94949	35.13152	24.94949	0.0000600	0.0000000
Καινούριου-Μορονίου	35.09417	24.92034	35.09423	24.92035	0.0000600	-0.0000100
Μαλεβιζίου-Αστυράκιο	35.31642	24.94735	35.31649	24.94736	0.0000700	-0.0000100
Μαλεβιζίου-Γαζίου	35.32484	25.07082	35.32491	25.07083	0.0000700	-0.0000100
Μαλεβιζίου-Κάτω Ασπ.	35.20293	24.99594	35.20301	24.99594	0.0000800	0.0000000
Μαλεβιζίου-Ροδιάς	35.36549	25.02335	35.36555	25.02336	0.0000600	-0.0000100
Μονοφάτσιου-Αλαγνίου	35.17519	25.21085	35.17524	25.21085	0.0000500	0.0000000
Μονοφάτσιου-Ασμιού	35.04408	25.09329	35.04415	25.0933	0.0000700	-0.0000100
Μονοφάτσιου-Διονυσίου	35.01152	25.06004	35.01158	25.06005	0.0000600	-0.0000100
Μονοφάτσιου-Λούρων	35.04416	25.06644	35.04422	25.06645	0.0000600	-0.0000100
Μονοφάτσιου-Τεφελίου	35.0933	25.16136	35.09337	25.16137	0.0000700	-0.0000100
Πεδιάδα-Γούβες	35.31041	25.30997	35.31047	25.30997	0.0000600	0.0000000
Πεδιάδα-Άβδου	35.23163	25.43245	35.23169	25.43246	0.0000600	-0.0000100
Πεδιάδα-Αποστόλων	35.21969	25.29651	35.21975	25.29652	0.0000600	-0.0000100
Πεδιάδα-Κουνάβων	35.23661	25.18539	35.23668	25.1854	0.0000700	-0.0000100
Πυργιώτ.-Βώρων	35.07012	24.81315	35.07017	24.81316	0.0000500	-0.0000100
Πυργιώτ.-Καμάρων	35.15603	24.8219	35.15609	24.82191	0.0000600	-0.0000100
Πυργιώτ.-Πιτσιδίων	35.01478	24.78158	35.01484	24.78159	0.0000600	-0.0000100
Τέμενος-Αρχανές	35.23421	25.15879	35.23427	25.1588	0.0000600	-0.0000100
Τέμενος-Άγιος Σύλλας	35.24125	25.11958	35.24132	25.11958	0.0000700	0.0000000
Τέμενος-Βενεράτος	35.20019	25.03684	35.20024	25.03684	0.0000500	0.0000000
Ιεράπετρα-Ιεράπετρα	35.01692	25.7447	35.01699	25.74472	0.0000700	-0.0000200
Ιεράπετρα-Γδοχίων	35.01993	25.55508	35.01999	25.55509	0.0000600	-0.0000100
Ιεράπετρα-Μύρτου	35.00362	25.58266	35.00367	25.58267	0.0000500	-0.0000100
Λασιθι-Κάτω Μετόχι	35.18644	25.43147	35.1865	25.43147	0.0000600	0.0000000
Λασιθι-Ψυχρού	35.16453	25.45215	35.16459	25.45216	0.0000600	-0.0000100
Μιράμπελο-Νεάπολη	35.25518	25.60634	35.25523	25.60634	0.0000500	0.0000000
Μιράμπελο-Βρούχα	35.31591	25.73332	35.31598	25.73332	0.0000700	0.0000000
Μιράμπελο-Λιμνών	35.24615	25.63914	35.24621	25.63915	0.0000600	-0.0000100
Μιράμπελο-Φούρνης	35.25801	25.6588	35.25807	25.65881	0.0000600	-0.0000100
Σιτεία-Άγιος Στέφανος	35.06925	25.96999	35.06931	25.97	0.0000600	-0.0000100
Σιτεία-Αρμενών	35.07217	26.08966	35.07224	26.08967	0.0000700	-0.0000100
Σιτεία-Λίθινων	35.07491	26.04593	35.07498	26.04593	0.0000700	0.0000000
Σιτεία-Μηγάτου	35.15371	26.16966	35.15377	26.16967	0.0000600	-0.0000100
Σιτεία-Σφάκας	35.15285	25.92384	35.1529	25.92385	0.0000500	-0.0000100
Άγιος Βασ.-Αγ.Γαλήνης	35.09803	24.68612	35.09809	24.68613	0.0000600	-0.0000100
Άγιος Βασ.-Καρινών	35.24684	24.52568	35.24689	24.52569	0.0000500	-0.0000100
Άγιος Βασ.-Κοζάρες	35.22707	24.46817	35.22715	24.46818	0.0000800	-0.0000100
Άγιος Βασ.-Σακτουρίων	35.12346	24.61262	35.12353	24.61263	0.0000700	-0.0000100
Αμάριο-Αμαρίου	35.22871	24.64827	35.22877	24.64828	0.0000600	-0.0000100

Αμάριο-Βιστάγης	35.24916	24.67644	35.24922	24.67645	0.0000600	-0.0000100
Αμάριο-Κουρουτών	35.19133	24.73506	35.1914	24.73507	0.0000700	-0.0000100
Αμάριο-Πλατάνου	35.15594	24.763	35.156	24.763	0.0000600	0.0000000
Μιλοπόταμος-Αγιά	35.36671	24.76593	35.36813	24.76621	0.0014200	-0.0002800
Μιλοπόταμος-Άλφας	35.35956	24.66705	35.35962	24.66705	0.0000600	0.0000000
Μιλοπόταμος-Γαράζου	35.34582	24.78631	35.34586	24.78631	0.0000400	0.0000000
Μιλοπόταμος-Πανόρμου	35.41635	24.69136	35.41641	24.69136	0.0000600	0.0000000
Ρέθυμνο-Επισκοπή	35.33198	24.33663	35.33203	24.33665	0.0000500	-0.0000200
Ρέθυμνο-Αμνάτου	35.33395	24.61495	35.33402	24.61495	0.0000700	0.0000000
Ρέθυμνο-Κυριάννας	35.34555	24.59779	35.34562	24.59779	0.0000700	0.0000000
Ρέθυμνο-Μυριοκεφάλων	35.25551	24.29891	35.25558	24.29892	0.0000700	-0.0000100
Ρέθυμνο-Σελλίου	35.29091	24.52011	35.29097	24.52012	0.0000600	-0.0000100
Αποκορώνου-Αλικάμπου	35.34942	24.20991	35.34948	24.20992	0.0000600	-0.0000100
Αποκορώνου-Βαφέ	35.36187	24.17497	35.36193	24.17497	0.0000600	0.0000000
Αποκορώνου-Κούρνα	35.31504	24.29685	35.31511	24.29686	0.0000700	-0.0000100
Αποκορώνου-Πλάκας	35.45329	24.21291	35.45335	24.21292	0.0000600	-0.0000100
Κίσσαμος-Κίσσαμος	35.49487	23.6529	35.49493	23.65292	0.0000600	-0.0000200
Κίσσαμος-Βάθης	35.35827	23.59341	35.35833	23.59342	0.0000600	-0.0000100
Κίσσαμος-Έλους	35.36153	23.6371	35.3616	23.63711	0.0000700	-0.0000100
Κίσσαμος-Κάμπου	35.39263	23.57112	35.3927	23.57113	0.0000700	-0.0000100
Κυδωνίας-Μουρνιών	35.48181	24.01132	35.48188	24.01132	0.0000700	0.0000000
Κυδωνίας-Αγίας Μαρίνας	35.51335	23.93726	35.5134	23.93727	0.0000500	-0.0000100
Κυδωνίας-Δράκονας	35.40844	24.02143	35.40852	24.02144	0.0000800	-0.0000100
Κυδωνίας-Κάμπων	35.41745	24.06674	35.41753	24.06675	0.0000800	-0.0000100
Κυδωνίας-Περιβολίων	35.48225	23.99339	35.48231	23.9934	0.0000600	-0.0000100
Σέλιнос-Κανδάνου	35.32776	23.74215	35.32783	23.74215	0.0000700	0.0000000
Σέλιнос-Παλαιοχώρας	35.2336	23.68063	35.23366	23.68064	0.0000600	-0.0000100
Σέλιнос-Τεμενίων	35.29375	23.75309	35.29381	23.7531	0.0000600	-0.0000100
Σφακιά-Ασφένδου	35.24073	24.21176	35.2408	24.21177	0.0000700	-0.0000100
Άργος-Άργος	37.63105	22.72389	37.63111	22.72391	0.0000600	-0.0000200
Άργος-Ανδρίτσης	37.47048	22.60921	37.47054	22.60921	0.0000600	0.0000000
Άργος-Κεφαλόβρυσου	37.69892	22.47243	37.69898	22.47244	0.0000600	-0.0000100
Άργος-Μυκίων	37.7173	22.74088	37.71737	22.74088	0.0000700	0.0000000
Ερμιόνιδος-Κρανιδίου	37.37744	23.15608	37.3775	23.1561	0.0000600	-0.0000200
Ερμιόνιδος-Πορτοχελίου	37.32373	23.13779	37.3238	23.1378	0.0000700	-0.0000100
Ναυπλία-Μιδέας	37.65725	22.8407	37.65732	22.84071	0.0000700	-0.0000100
Ναυπλία-Δημαίνης	37.69041	23.06748	37.69048	23.06749	0.0000700	-0.0000100
Ναυπλία-Ιρίων	37.48577	23.01056	37.48582	23.01057	0.0000500	-0.0000100
Γορτυνία-Αγριδίου	37.76447	22.15104	37.76454	22.15105	0.0000700	-0.0000100
Γορτυνία-Βυζικίου	37.71928	21.95952	37.71935	21.95953	0.0000700	-0.0000100
Γορτυνία-Κωτιλίου	37.47348	21.98975	37.47355	21.98976	0.0000700	-0.0000100
Γορτυνία-Μοναστηρακίου	37.77651	21.8376	37.77657	21.83762	0.0000600	-0.0000200
Γορτυνία-Παλούμπας	37.6179	21.94555	37.61797	21.94556	0.0000700	-0.0000100
Γορτυνία-Παναγιάς	37.55776	21.98685	37.55783	21.98686	0.0000700	-0.0000100
Γορτυνία-Πουρναριάς	37.78458	22.03436	37.78464	22.03436	0.0000600	0.0000000
Γορτυνία-Ψαρίου	37.63355	21.95845	37.63361	21.95846	0.0000600	-0.0000100
			ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ		0.0000629	-0.0000080
			ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ		0.0000076	0.0000054

Πίνακας 3.2: Σύγκριση MS Autoroute 2000 και Toponavigator (WGS 84)

ΠΕΡΙΟΧΗ	MS AUTOROUTE 2000		ΤΟΠΟΝΑΒΙΓΑΤΟΡ		ΔΙΑΦΟΡΑ	
	φ [Δεκ. Μοιρ.]	λ [Δεκ. Μοιρ.]	φ [Δεκ. Μοιρ.]	λ [Δεκ. Μοιρ.]	Δφ [Δεκ. Μοιρ.]	Δλ [Δεκ. Μοιρ.]
ΔΗΜΟΣ ΑΡΓΟΥΣΣ	37.63105	22.72389	37.63365	22.72757	-0.00260	-0.00368
ΚΟΙΝ. ΚΑΡΥΑΣ	37.63681	22.54562	37.63936	22.54523	-0.00255	0.00039
ΚΟΙΝ. ΚΟΥΤΣΟΠ.	37.68148	22.70724	37.68311	22.71310	-0.00163	-0.00586
ΚΟΙΝ. ΜΥΛΩΝ	37.55064	22.71475	37.55473	22.71525	-0.00409	-0.00050
ΚΟΙΝ. ΠΡΟΣΥΜΝΗΣ	37.70898	22.84016	37.71302	22.84083	-0.00404	-0.00067
ΚΟΙΝ. ΦΙΧΤΙΟΥ	37.72049	22.72113	37.72241	22.72469	-0.00192	-0.00356
ΔΗΜΟΣ ΝΑΥΠΑΛΙΕΩΝ	37.56576	22.80615	37.56601	22.80448	-0.00025	0.00167
ΚΟΙΝ. ΑΡΙΑΣ	37.57323	22.8314	37.57053	22.83024	0.00270	0.00116
ΚΟΙΝ. ΑΣΙΝΗΣ	37.5435	22.86487	37.54527	22.86387	-0.00177	0.00100
ΚΟΙΝ. ΔΡΕΠΑΝΟΥ	37.53963	22.88814	37.53956	22.89258	0.00007	-0.00444
ΚΟΙΝ. ΝΕΑΣ ΤΙΡΥΝ.	37.60588	22.81514	37.60870	22.82022	-0.00282	-0.00508
ΔΗΜΟΣ ΛΑΓΚΑΔΙΩΝ	37.68114	22.02712	37.68210	22.02855	-0.00096	-0.00143
ΚΟΙΝ. ΑΓΙΟΥ ΙΩΑΝ.	37.61171	21.86146	37.61360	21.86362	-0.00189	-0.00216
ΚΟΙΝ. ΒΥΤΙΝΗΣ	37.66543	22.18532	37.66990	22.18361	-0.00447	0.00171
ΚΟΙΝ. ΚΑΛΛΙΑΝΙΟΥ	37.68742	21.92253	37.68807	21.92365	-0.00065	-0.00112
ΚΟΙΝ. ΣΤΑΥΡΟΔ.	37.70511	21.94769	37.70463	21.95095	0.00048	-0.00326
ΔΗΜΟΣ ΑΣΤΡΟΥΣΣ	37.4013	22.72086	37.40351	22.71995	-0.00221	0.00091
ΔΗΜΟΣ ΛΕΩΝΙΔΙΟΥ	37.167	22.85469	37.16590	22.85888	0.00110	-0.00419
ΚΟΙΝ. ΑΓΙΟΥ ΑΝΔ.	37.34253	22.76194	37.34472	22.76411	-0.00219	-0.00217
ΚΟΙΝ. ΑΓΙΟΥ ΠΕΤ.	37.3257	22.54859	37.32721	22.54765	-0.00151	0.00094
ΚΟΙΝ. ΚΟΡΑΚΟΒ.	37.34467	22.74521	37.34907	22.74639	-0.00440	-0.00118
ΚΟΙΝ. ΚΟΣΜΑ	37.09312	22.73538	37.09303	22.74074	0.00009	-0.00536
ΚΟΙΝ. ΜΕΛΙΓ (ΧΕΙΜ.)	37.40001	22.73324	37.39793	22.72622	0.00208	0.00702
ΔΗΜΟΣ ΛΕΒΙΔΙΟΥ	37.68258	22.29633	37.68307	22.29760	-0.00049	-0.00127
ΔΗΜΟΣ ΤΡΙΠΟΛΕΩΣ	37.50852	22.37454	37.51042	22.37260	-0.00190	0.00194
ΚΟΙΝ. ΑΡΤΕΜΙΣΙΟΥ	37.67081	22.37664	37.67386	22.37692	-0.00305	-0.00028
ΚΟΙΝ. ΔΑΡΑ	37.80938	22.20341	37.80775	22.20287	0.00163	0.00054
ΚΟΙΝ. ΚΑΝΔΗΛΑΣ	37.77125	22.37898	37.77298	22.37874	-0.00173	0.00024
ΚΟΙΝ. ΚΑΨΑ	37.61126	22.34611	37.61480	22.34653	-0.00354	-0.00042
ΚΟΙΝ. ΛΟΥΚΑ	37.56471	22.46175	37.56455	22.45832	0.00016	0.00343
ΚΟΙΝ. ΝΕΣΤΑΝΗΣ	37.61453	22.46727	37.61370	22.46488	0.00083	0.00239
ΔΗΜΟΣ ΜΕΓΑΛΟΠ.	37.40207	22.13287	37.40069	22.13637	0.00138	-0.00350
ΚΟΙΝ. ΛΕΟΝΤΑΡΙΟΥ	37.32389	22.14185	37.32151	22.14469	0.00238	-0.00284
ΚΟΙΝ. ΠΑΡΑΔΕΙΣΙΩΝ	37.31847	22.07577	37.31641	22.07861	0.00206	-0.00284
ΔΗΜΟΣ ΑΙΓΙΟΥ	38.25408	22.08603	38.24889	22.08533	0.00519	0.00070
ΔΗΜΟΣ ΑΚΡΑΤΑΣ	38.15622	22.31832	38.15486	22.31528	0.00136	0.00304
ΚΟΙΝ. ΑΙΓΕΙΡΑΣ	38.15167	22.35348	38.15079	22.35153	0.00088	0.00195
ΚΟΙΝ. ΔΙΑΚΟΠΤΟΥ	38.18999	22.19528	38.18961	22.20230	0.00038	-0.00702
ΚΟΙΝ. ΚΟΥΝΙΝΑΣ	38.17728	22.01163	38.19551	22.02034	-0.01823	-0.00871
ΚΟΙΝ. ΜΑΥΡ. (ΚΑΤΩ)	38.21662	22.06667	38.20822	22.06483	0.00840	0.00184
ΚΟΙΝ. ΤΕΜΕΝΗΣ	38.23905	22.12417	38.23699	22.12055	0.00206	0.00362
ΔΗΜΟΣ ΔΑΦΝΗΣ	37.80663	22.02317	37.80840	22.02420	-0.00177	-0.00103
ΔΗΜΟΣ ΚΑΛΑΒΡ.	38.03655	22.10918	38.03173	22.11224	0.00482	-0.00306
ΚΟΙΝ. ΚΑΤΩ ΒΛΑΣ.	38.00879	21.91112	38.00780	21.91308	0.00099	-0.00196
ΚΟΙΝ. ΚΛΕΙΤΟΡΙΑΣ	37.90011	22.12462	37.89512	22.12444	0.00499	0.00018

ΚΟΙΝ. ΜΑΝΕΣΙΟΥ	38.02022	21.95946	38.01783	21.96035	0.00239	-0.00089
ΚΟΙΝ. ΠΑΟΥ	37.85905	21.97854	37.85572	21.98012	0.00333	-0.00158
ΚΟΙΝ. ΣΕΙΡΩΝ	37.87519	21.95057	37.87337	21.95335	0.00182	-0.00278
ΚΟΙΝ. ΣΚΕΠΑΣΤΟΥ	38.04429	22.07385	38.04257	22.07449	0.00172	-0.00064
ΔΗΜΟΣ ΚΑΤΩ ΑΧ.	38.14892	21.55154	38.14318	21.55123	0.00574	0.00031
ΔΗΜΟΣ ΠΑΤΡΕΩΝ	38.24636	21.73525	38.23783	21.73561	0.00853	-0.00036
ΚΟΙΝ. ΒΡΑΧΝΑΪΚΩΝ	38.16499	21.66673	38.16314	21.66817	0.00185	-0.00144
ΚΟΙΝ. ΚΑΜΙΝΙΩΝ	38.15002	21.61677	38.15085	21.62425	-0.00083	-0.00748
ΚΟΙΝ. ΜΕΤΟΧΙΟΥ	38.12968	21.39935	38.12531	21.39924	0.00437	0.00011
ΚΟΙΝ. ΨΑΘΟΠΥΡ.	38.3278	21.86879	38.32761	21.87147	0.00019	-0.00268
ΔΗΜΟΣ ΑΜΑΛΙΑΔΟΣ	37.79934	21.34797	37.79635	21.35224	0.00299	-0.00427
ΔΗΜΟΣ ΑΝΔΡΑΒ.	37.90794	21.26942	37.90585	21.26991	0.00209	-0.00049
ΔΗΜΟΣ ΛΕΧΑΙΝΩΝ	37.94083	21.26136	37.93727	21.26239	0.00356	-0.00103
ΔΗΜΟΣ ΠΥΡΓΟΥ	37.66737	21.44355	37.67234	21.44024	-0.00497	0.00331
ΚΟΙΝ. ΒΑΡΔΑΣ	38.03397	21.36614	38.03344	21.36266	0.00053	0.00348
ΚΟΙΝ. ΚΑΡΔΑΜΑ	37.77004	21.33754	37.76765	21.33796	0.00239	-0.00042
ΚΟΙΝ. ΚΟΛΙΡΙΟΥ	37.68542	21.47255	37.68605	21.47523	-0.00063	-0.00268
ΚΟΙΝ. ΛΑΤΖΟΙΟΥ	37.71067	21.55903	37.70926	21.55985	0.00141	-0.00082
ΚΟΙΝ. ΝΕΑΣ ΜΑΝ.	38.05493	21.38185	38.05348	21.38225	0.00145	-0.00040
ΚΟΙΝ. ΠΛΑΤΑΝΟΥ	37.6654	21.61133	37.66733	21.61084	-0.00193	0.00049
ΚΟΙΝ. ΣΤΡΕΦΙΟΥ	37.66548	21.54883	37.66844	21.55007	-0.00296	-0.00124
ΔΗΜΟΣ ΑΝΔΡΙΤΣ.	37.48454	21.89992	37.48369	21.90455	0.00085	-0.00463
ΔΗΜΟΣ ΚΡΕΣΤ.	37.59184	21.61882	37.59151	21.61876	0.00033	0.00006
ΚΟΙΝ. ΑΜΥΓΔΑΛ.	37.49691	21.84255	37.49648	21.84518	0.00043	-0.00263
ΚΟΙΝ. ΔΙΑΣΕΛΛΩΝ	37.5757	21.73369	37.57664	21.73440	-0.00094	-0.00071
ΚΟΙΝ. ΚΑΛΛΙΘΕΑΣ	37.5531	21.81852	37.55317	21.82067	-0.00007	-0.00215
ΚΟΙΝ. ΜΑΚΡΙΣΙΩΝ	37.60835	21.60235	37.60922	21.60365	-0.00087	-0.00130
ΔΗΜΟΣ ΚΟΡΙΝΘΟΥ	37.9374	22.93051	37.93624	22.92746	0.00116	0.00305
ΔΗΜΟΣ ΞΥΛΟΚ.	38.07848	22.63445	38.07715	22.63503	0.00133	-0.00058
ΚΟΙΝ. ΑΘΙΚΙΩΝ	37.81669	22.9287	37.81838	22.92688	-0.00169	0.00182
ΚΟΙΝ. ΑΣΣΟΥ	37.9417	22.82314	37.93910	22.82463	0.00260	-0.00149
ΚΟΙΝ. ΒΕΛΟΥ	37.97743	22.75975	37.97877	22.76361	-0.00134	-0.00386
ΚΟΙΝ. ΒΡΑΧΑΤΙΟΥ	37.95467	22.80005	37.95676	22.80915	-0.00209	-0.00910
ΚΟΙΝ. ΓΑΛΑΤΑΚΙΟΥ	37.84993	22.98318	37.84972	22.98134	0.00021	0.00184
ΚΟΙΝ. ΔΙΜΗΝΙΟΥ	38.03448	22.7098	38.03109	22.71159	0.00339	-0.00179
ΚΟΙΝ. ΖΕΜΕΝΟΥ	38.03268	22.6025	38.02978	22.60593	0.00290	-0.00343
ΚΟΙΝ. ΛΕΧΑΙΟΥ	37.93449	22.84296	37.93586	22.84964	-0.00137	-0.00668
ΚΟΙΝ. ΜΕΛΙΣΣΙΟΥ	38.04668	22.67796	38.05117	22.68376	-0.00449	-0.00580
ΚΟΙΝ. ΝΕΜΕΑΣ	37.82159	22.65927	37.81916	22.66207	0.00243	-0.00280
ΚΟΙΝ. ΞΥΛΟΚΕΡ.	37.88207	22.94163	37.88230	22.94206	-0.00023	-0.00043
ΚΟΙΝ. ΠΑΝΑΡΙΤΙΟΥ	37.99351	22.54356	37.99272	22.54330	0.00079	0.00026
ΚΟΙΝ. ΠΙΤΣ(ΚΑΤΩ)	38.10769	22.54269	38.10987	22.53293	-0.00218	0.00976
ΚΟΙΝ. ΣΟΥΛΗΝ.	37.89599	22.74235	37.89529	22.74538	0.00070	-0.00303
ΚΟΙΝ. ΣΤΙΜΑΓΚΑΣ	37.90793	22.69851	37.90885	22.69913	-0.00092	-0.00062
ΔΗΜΟΣ ΓΥΘΕΙΟΥ	36.76261	22.56184	36.76111	22.56444	0.00150	-0.00260
ΚΟΙΝ. ΛΑΓΙΑΣ	36.4833	22.47629	36.48187	22.47873	0.00143	-0.00244
ΔΗΜΟΣ ΜΟΛΑΩΝ	36.80702	22.84577	36.80391	22.85357	0.00311	-0.00780
ΚΟΙΝ. ΑΠΙΔΕΑΣ	36.88151	22.79458	36.88181	22.79732	-0.00030	-0.00274
ΚΟΙΝ. ΒΛΑΧΙΩΤΗ	36.86218	22.70315	36.86061	22.70820	0.00157	-0.00505
ΚΟΙΝ. ΜΟΝΕΜΒ.	36.68881	23.0494	36.68773	23.05557	0.00108	-0.00617

ΚΟΙΝ. ΝΕΑΠΟΛΕΩΣ	36.51208	23.05714	36.50921	23.06204	0.00287	-0.00490
ΚΟΙΝ. ΝΙΑΤΩΝ	36.89835	22.83815	36.89872	22.84302	-0.00037	-0.00487
ΚΟΙΝ. ΠΕΡΙΣΤΕΡΙΟΥ	36.86982	22.67353	36.86865	22.67644	0.00117	-0.00291
ΚΟΙΝ. ΣΥΚΕΑΣ	36.76424	22.93592	36.76449	22.94303	-0.00025	-0.00711
ΔΗΜΟΣ ΣΠΑΡΤ.	37.07687	22.43138	37.07442	22.43046	0.00245	0.00092
ΚΟΙΝ. ΜΥΣΤΡΑ	37.0701	22.37435	37.06889	22.37568	0.00121	-0.00133
ΚΟΙΝ. ΣΚΑΛΑΣ	36.85298	22.66548	36.85167	22.66730	0.00131	-0.00182
ΚΟΙΝ. ΑΡΕΟΠΟΛ.	36.6669	22.37989	36.66534	22.37984	0.00156	0.00005
ΚΟΙΝ. ΚΟΙΤΑΣ	36.51483	22.4009	36.51345	22.40253	0.00138	-0.00163
ΚΟΙΝ. ΠΥΡΓ. ΔΙΡΟΥ	36.6254	22.37928	36.62441	22.38167	0.00099	-0.00239
ΔΗΜΟΣ ΚΑΛΑΜ.	37.04141	22.11344	37.03632	22.10538	0.00509	0.00806
ΚΟΙΝ. ΔΟΛ. (ΚΑΤΩ)	36.93779	22.16821	36.93602	22.17223	0.00177	-0.00402
ΚΟΙΝ. ΠΡΟΑΣΤΙΟΥ	36.88031	22.25157	36.87828	22.25428	0.00203	-0.00271
ΔΗΜΟΣ ΜΕΣΣΗΝΗΣ	37.05248	22.00557	37.05055	22.00050	0.00193	0.00507
ΚΟΙΝ. ΑΒΡΑΜΙΟΥ	37.03486	21.93651	37.03124	21.93755	0.00362	-0.00104
ΚΟΙΝ. ΑΡΙΣΤΟΜ.	37.08505	21.83668	37.08603	21.83970	-0.00098	-0.00302
ΚΟΙΝ. ΒΑΛΥΡΑΣ	37.16641	21.97901	37.16540	21.98126	0.00101	-0.00225
ΚΟΙΝ. ΕΥΑΣ	37.11289	21.9649	37.11250	21.96787	0.00039	-0.00297
ΚΟΙΝ. ΖΕΥΓΟΛ.	37.24975	21.96392	37.25030	21.96631	-0.00055	-0.00239
ΚΟΙΝ. ΚΑΤΣΑΡΟΥ	37.22113	22.0255	37.21949	22.02861	0.00164	-0.00311
ΚΟΙΝ. ΝΕΟΧ. ΙΘΩΜ.	37.22182	21.94117	37.22198	21.94496	-0.00016	-0.00379
ΚΟΙΝ. ΟΙΧΑΛΙΑΣ	37.25489	21.99476	37.25334	21.99836	0.00155	-0.00360
ΚΟΙΝ. ΣΠΙΤΑΛΙΟΥ	37.07971	21.95103	37.07774	21.95447	0.00197	-0.00344
ΚΟΙΝ. ΒΑΣΙΛΙΤΣΙΟΥ	36.76579	21.9047	36.76481	21.90839	0.00098	-0.00369
ΚΟΙΝ. ΓΛΥΦΑΔΑΣ	37.00307	21.74976	37.00214	21.75452	0.00093	-0.00476
ΚΟΙΝ. ΔΡΟΣΙΑΣ	37.03848	21.8526	37.03532	21.86091	0.00316	-0.00831
ΚΟΙΝ. ΚΟΥΦΑΣΙΟΥ	37.00222	21.67822	36.99947	21.68225	0.00275	-0.00403
ΚΟΙΝ. ΚΟΡΩΝΗΣ	36.79895	21.95272	36.79625	21.95719	0.00270	-0.00447
ΚΟΙΝ. ΚΡΕΜΜΥΔΙΩΝ	36.99303	21.77915	36.99079	21.78118	0.00224	-0.00203
ΚΟΙΝ. ΛΟΓΓΑΣ	36.87	21.90398	36.86936	21.90724	0.00064	-0.00326
ΚΟΙΝ. ΠΕΛΕΚΑΝ.	37.05471	21.8413	37.05386	21.84491	0.00085	-0.00361
ΚΟΙΝ. ΦΟΙΝΙΚΟΥΝ.	36.80995	21.80266	36.80816	21.80799	0.00179	-0.00533
ΚΟΙΝ. ΧΑΡΑΚΟΠΙΟΥ	36.81132	21.91285	36.80938	21.91601	0.00194	-0.00316
ΚΟΙΝ. ΧΡΥΣΟΚΕΛ.	36.79224	21.88659	36.79092	21.88668	0.00132	-0.00009
ΔΗΜΟΣ ΓΑΡΓΑΛ.	37.06529	21.63336	37.06598	21.63824	-0.00069	-0.00488
ΔΗΜΟΣ ΦΙΛΙΑΤΡΩΝ	37.15592	21.58566	37.15645	21.58623	-0.00053	-0.00057
ΔΗΜΟΣ ΧΩΡΑΣ	37.05299	21.71167	37.05121	21.71661	0.00178	-0.00494
ΚΟΙΝ. ΒΑΣΙΛΙΚΟΥ	37.26564	21.89102	37.26502	21.89579	0.00062	-0.00477
ΚΟΙΝ. ΔΩΡΙΟΥ	37.28797	21.85378	37.28618	21.85725	0.00179	-0.00347
ΚΟΙΝ. ΜΑΡΑΘΟΠ.	37.05738	21.57828	37.05925	21.57824	-0.00187	0.00004
ΚΟΙΝ. ΠΥΡΓΟΥ	37.07292	21.68715	37.07400	21.69315	-0.00108	-0.00600
ΚΟΙΝ. ΨΑΡΙΟΥ	37.33102	21.88164	37.32758	21.88665	0.00344	-0.00501
			ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ		0.00069	-0.00177
			ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ		0.00239	0.00312

Πίνακας 3.3: Σύγκριση γεωγραφικών συντεταγμένων μεταξύ συσκευής GPS και Toponavigator. (Χρησιμοποιήθηκε το WGS 84)

ΠΕΡΙΟΧΗ (ΣΗΜΕΙΟ)	ΣΥΣΚΕΥΗ GPS		ΤΟΡΟΝΑΒΙΓΑΤΟΡ		ΔΙΑΦΟΡΑ GPS - ΤΟΡΟΝΑΒΙΓΑΤΟΡ	
	λ [Δεκ. Μοιρ.]	φ [Δεκ. Μοιρ.]	λ [Δεκ. Μοιρ.]	φ [Δεκ. Μοιρ.]	Δλ [Δεκ. Μοιρ.]	Δφ [Δεκ. Μοιρ.]
ΕΦΕΣΟΥ 3-7 ΓΛΥΦΑΔΑ	23.75899	37.88135	23.75889	37.88127	0.00010	0.00008
ΚΑΦΕ 222 ΖΩΓΡΑΦΟΥ	23.77634	37.97617	23.77634	37.97608	0.00000	0.00009
ΠΑΙΑΝΙΑ	23.85337	37.96624	23.85327	37.96660	0.00010	-0.00036
ΚΟΡΩΠΙ	23.88136	37.89345	23.88121	37.89352	0.00015	-0.00007
ΒΑΡΗ	23.80280	37.83324	23.80278	37.83335	0.00002	-0.00011
			ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ		0.00007	-0.00007
			ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ		0.00006	0.00018

Πίνακας 3.4: Σύγκριση γεωγραφικών συντεταγμένων μεταξύ ΓΥΣ και Toponavigator σε ΓΣΑ ED 50. Αποστάσεις μεταξύ των δύο σημείων ανά οικισμό.

ΕΠΑΡΧΙΑ	ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ/ ΔΗΜΟΣ	ΓΥΣ		ΤΟΡΟΝΑΒΙΓΑΤΟΡ (ΓΣΑ ED 50)		ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΤΟΡΟΝ.- ΓΥΣ [m]	
		φ [Δεκ. Μοιρ.]	λ [Δεκ. Μοιρ.]	φ [Δεκ. Μοιρ.]	λ [Δεκ. Μοιρ.]		
ΑΡΓΟΥΣ	ΚΟΥΡΤΑΚΙΟΥ	37.64222	22.77500	37.642135	22.77239	231	231
ΑΡΓΟΥΣ	ΠΥΡΓΕΛΛΑΣ	37.63333	22.76944	37.634355	22.76786	180	180
ΝΑΥΠΛΙΑΣ	ΑΝΥΦΙΟΥ	37.65889	22.79444	37.658934	22.79036	360	360
ΝΑΥΠΛΙΑΣ	ΛΕΥΚΑΚΙΩΝ	37.55778	22.86250	37.561186	22.86215	380	380
ΓΟΡΤΥΝΙΑΣ	ΚΑΣΤΡΑΚΙΟΥ	37.66889	21.87222	37.671849	21.87342	345	345
ΓΟΡΤΥΝΙΑΣ	ΛΟΥΤΡΩΝ ΗΡ.	37.63111	21.88889	37.633419	21.89081	307	307
ΓΟΡΤΥΝΙΑΣ	ΠΑΛΑΜΑΡΙΟΥ	37.49000	22.11944	37.490651	22.12282	307	307
ΓΟΡΤΥΝΙΑΣ	ΠΑΡΑΛΟΙΓΩΝ	37.83222	21.84722	37.833696	21.84868	209	209
ΓΟΡΤΥΝΙΑΣ	ΣΠΑΘΑΡΗ	37.74667	21.90556	37.748587	21.90551	213	213
ΓΟΡΤΥΝΙΑΣ	ΧΩΡΑΣ	37.69778	21.83750	37.699658	21.83699	213	213
ΚΥΝΟΥΡΙΑΣ	ΕΛΑΤΟΥ	37.35444	22.55000	37.352821	22.54840	229	229
ΚΥΝΟΥΡΙΑΣ	ΚΑΣΤΡΙΟΥ	37.36111	22.53889	37.363671	22.53862	285	285
ΚΥΝΟΥΡΙΑΣ	ΝΕΑΣ ΧΩΡΑΣ	37.36667	22.55139	37.368591	22.54915	291	291
ΜΑΝΤΙΝΕΙΑΣ	ΑΛΕΑΣ	37.45778	22.42778	37.45565	22.42126	623	623
ΜΑΝΤΙΝΕΙΑΣ	ΒΟΥΝΟΥ	37.44889	22.38750	37.44803	22.39212	420	420
ΜΑΝΤΙΝΕΙΑΣ	ΕΠΙΣΚΟΠΗΣ	37.46667	22.42500	37.46536	22.42066	411	411
ΜΑΝΤΙΝΕΙΑΣ	ΚΑΛΤΕΖΩΝ	37.32444	22.31944	37.323423	22.32263	305	305
ΜΑΝΤΙΝΕΙΑΣ	ΚΑΜΑΡΙΟΥ	37.44222	22.40694	37.44042	22.41348	612	612
ΜΑΝΤΙΝΕΙΑΣ	ΜΑΓΟΥΛΑΣ	37.46111	22.44861	37.45945	22.45237	380	380

ΜΑΝΤΙΝΕΙΑΣ	ΠΕΛΑΓΟΥΣ	37.52778	22.41528	37.526159	22.42018	469	469	
ΜΑΝΤΙΝΕΙΑΣ	ΣΤΡΙΓΚΟΥ	37.45333	22.39167	37.45303	22.39786	549	549	
ΜΕΓΑΛΟΠ.	ΓΙΑΝΝΑΙΩΝ	37.23556	22.18333	37.234156	22.18582	270	270	
ΜΕΓΑΛΟΠ.	ΜΑΚΡΥΣΙΟΥ	37.41111	22.16944	37.412572	22.17166	255	255	
ΜΕΓΑΛΟΠ.	ΦΑΛΛΙΣΙΑΣ	37.28667	22.17222	37.287775	22.17419	213	213	
ΑΙΓΙΑΛΕΙΑΣ	ΒΟΥΤΣΙΜΟΥ	38.13778	22.27500	38.139147	22.27731	253	253	
ΑΙΓΙΑΛΕΙΑΣ	ΔΗΜΗΤΡΟΠ.	38.25444	22.00833	38.250396	22.04605	3332		
ΑΙΓΙΑΛΕΙΑΣ	ΚΑΛΑΜΙΑΣ	38.14778	22.26528	38.150167	22.26732	320	320	
ΑΙΓΙΑΛΕΙΑΣ	ΜΑΥΡΙΚΙΟΥ	38.20889	22.06389	38.209287	22.06558	155	155	
ΑΙΓΙΑΛΕΙΑΣ	ΝΕΡΑΤΖΙΩΝ	38.26889	22.01944	38.270056	22.02165	233	233	
ΑΙΓΙΑΛΕΙΑΣ	ΝΙΚΟΛΑΪΚΩΝ	38.20333	22.12083	38.208727	22.14350	2074		
ΑΙΓΙΑΛΕΙΑΣ	ΡΙΖΟΜΥΛΟΥ	38.21222	22.13056	38.213647	22.13417	354	354	
ΑΙΓΙΑΛΕΙΑΣ	ΣΕΛΙΑΝΙΤΙΚΩΝ	38.28222	22.02778	38.284766	22.02800	284	284	
ΚΑΛΑΒΡΥΤΩΝ	ΛΑΠΑΝΑΓΩΝ	38.11222	21.97222	38.11303	21.97227	90	90	
ΠΑΤΡΩΝ	ΑΛΣΟΥΣ	38.24556	21.98472	38.247557	21.98019	454	454	
ΠΑΤΡΩΝ	ΑΝΩ ΣΟΥΔΕΝ.	38.07000	21.61389	38.076422	21.61512	721	721	
ΠΑΤΡΩΝ	ΑΡΡΑΒΩΝΙΤΣΗΣ	38.26111	21.97639	38.263667	21.97756	302	302	
ΠΑΤΡΩΝ	ΒΕΛΙΤΣΩΝ	37.95222	21.53056	37.953815	21.53134	190	190	
ΠΑΤΡΩΝ	ΒΕΡΙΝΟΥ	38.22778	21.96806	38.229957	21.96805	242	242	
ΠΑΤΡΩΝ	ΔΑΜΑΚΙΝΙΟΥ	38.25111	21.93750	38.255727	21.93902	530	530	
						ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	451	329
						ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	566	140

Πίνακας 3.5: Αποστάσεις οικισμών από σταθερό σημείο (Α) (Τρίπολη) και η μεταβολή αυτών των αποστάσεων σε σχέση με αντίστοιχες μεταβολές του υψόμετρου των οικισμών.

ΣΤΑΘΕΡΟ ΣΗΜΕΙΟ (Α)	λ [Δεκ. Μοιρ.]	φ [Δεκ. Μοιρ.]	h [m]	ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΟΙΚΙΣΜΩΝ ΑΠΟ ΣΗΜΕΙΟ (Α) ΜΕ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΥΨΟΜΕΤΡΟΥ h [m]					ΔΙΑΦΟΡΑ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΝ [m]			
				0	+100	+500	-200	-500	0- (+100)	0- (+500)	0- (-200)	0- (-500)
ΤΡΙΠΟΛΗ	22.3726	37.5104	682	0	+100	+500	-200	-500	0- (+100)	0- (+500)	0- (-200)	0- (-500)
ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΠΕΡΙΠΟΥ 50 km ΑΠΟ (Α). (ΟΙΚΙΣΜΟΙ)												
ΑΝΩ ΚΛΕΙΤΟΡΙΑ	22.0843	37.9065	754	50476	50475	50478	50477	50478	1	-2	-1	-2
ΚΑΛΛΙΘΕΑ	22.1149	37.9105	695	49634	49633	49636	49635	49636	1	-2	-1	-2
ΠΑΡΟΡΙ	22.3842	37.0629	313	49682	49682	49682	49682	-	0	0	0	
ΛΕΥΚΑ	22.9356	37.5316	36	48472	48470	48474	-	-	2	-2		
ΜΑΓΟΥΛΑ	22.5523	37.5530	934	16163	16157	16157	16162	16159	6	6	1	4
ΚΟΡΥΦΗ 1547 (ΠΡΟΦ.ΗΛΙΑΣ)	22.1931	37.6308	1448	20422	20422	20421	20422	20417	0	1	0	5
ΚΟΡΥΦΗ 1269	22.3490	37.5553	1154	5383	5383	5383	5380	5381	0	0	3	2

Πίνακας 3.6: Σύγκριση υψομέτρων μεταξύ χαρτών N.& I. Φώτη και Toponavigator

ΠΕΡΙΟΧΗ	h [m]		Δh [m]
	N.& I. ΦΩΤΗΣ	ΤΟΡΟΝΑΒΙΓΑΤΟΡ	
ΔΗΜΟΣ.... ΑΡΓΟΥΣ	40	54	-14
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΚΑΡΥΑΣ	700	692	8
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΚΟΥΤΣΟΠΟΔΙΟΥ	40	48	-8
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΜΥΛΩΝ	15	68	-53
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΠΡΟΣΥΜΝΗΣ	250	272	-22
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΦΙΧΤΙΟΥ	100	100	0
ΔΗΜΟΣ.... ΝΑΥΠΛΙΕΩΝ	10	62	-52
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΑΡΙΑΣ	40	70	-30
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΑΣΙΝΗΣ	50	78	-28
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΔΡΕΠΑΝΟΥ	20	31	-11
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΝΕΑΣ ΤΙΡΥΝΘΟΣ	30	107	-77
ΔΗΜΟΣ.... ΛΑΓΚΑΔΙΩΝ	1000	948	52
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΑΓΙΟΥ ΙΩΑΝΝΟΥ	130	143	-13
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΒΥΤΙΝΗΣ	1040	1019	21
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΚΑΛΛΙΑΝΙΟΥ	520	496	24
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΣΤΑΥΡΟΔΡΟΜΙΟΥ	600	630	-30
ΔΗΜΟΣ.... ΑΣΤΡΟΥΣ	40	54	-14
ΔΗΜΟΣ.... ΛΕΩΝΙΔΙΟΥ	60	57	3
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΑΓΙΟΥ ΑΝΔΡΕΟΥ	50	51	-1
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΑΓΙΟΥ ΠΕΤΡΟΥ	960	962	-2
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΚΟΡΑΚΟΒΟΥΝΙΟΥ	60	83	-23
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΚΟΣΜΑ	1140	1152	-12
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΜΕΛΙΓΟΥΣ (ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ)	50	52	-2
ΔΗΜΟΣ.... ΛΕΒΙΔΙΟΥ	860	829	31
ΔΗΜΟΣ.... ΤΡΙΠΟΛΕΩΣ	655	682	-27
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΑΡΤΕΜΙΣΙΟΥ	680	700	-20
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΔΑΡΑ	660	708	-48
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΚΑΝΔΗΛΑΣ	760	775	-15
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΚΑΨΑ	700	739	-39
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΛΟΥΚΑ	670	679	-9
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΝΕΣΤΑΝΗΣ	680	704	-24
ΔΗΜΟΣ.... ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΕΩΣ	430	434	-4
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΛΕΟΝΤΑΡΙΟΥ	540	564	-24
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΠΑΡΑΔΕΙΣΙΩΝ	520	533	-13
ΔΗΜΟΣ.... ΑΙΓΙΟΥ	60	88	-28
ΔΗΜΟΣ.... ΑΚΡΑΤΑΣ	130	137	-7
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΑΙΓΕΙΡΑΣ	10	36	-26
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΔΙΑΚΟΠΤΟΥ	15	5	10
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΚΟΥΝΙΝΑΣ	560	613	-53
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΜΑΥΡΙΚΙΟΥ (ΚΑΤΩ)	250	236	14
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΤΕΜΕΝΗΣ	20	13	7
ΔΗΜΟΣ.... ΔΑΦΝΗΣ	600	635	-35
ΔΗΜΟΣ.... ΚΑΛΑΒΡΥΤΩΝ	750	751	-1
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΚΑΤΩ ΒΛΑΣΙΑΣ	810	789	21

ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΚΛΕΙΤΟΡΙΑΣ	520	540	-20
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΜΑΝΕΣΙΟΥ	740	784	-44
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΠΑΟΥ	800	851	-51
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΣΕΙΡΩΝ	940	1007	-67
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΣΚΕΠΑΣΤΟΥ	800	819	-19
ΔΗΜΟΣ.... ΚΑΤΩ ΑΧΑΙΑΣ	40	39	1
ΔΗΜΟΣ.... ΠΑΤΡΕΩΝ	20	56	-36
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΒΡΑΧΝΑΪΚΩΝ	20	31	-11
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΚΑΜΙΝΙΩΝ	10	2	8
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΜΕΤΟΧΙΟΥ	5	1	4
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΨΑΘΟΠΥΡΓΟΥ	5	25	-20
ΔΗΜΟΣ.... ΑΜΑΛΙΑΔΟΣ	40	84	-44
ΔΗΜΟΣ.... ΑΝΔΡΑΒΙΔΑΣ	14	23	-9
ΔΗΜΟΣ.... ΛΕΧΑΙΝΩΝ	5	21	-16
ΔΗΜΟΣ.... ΠΥΡΓΟΥ	15	51	-36
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΒΑΡΔΑΣ	30	12	18
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΚΑΡΔΑΜΑ	40	40	0
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΚΟΛΙΡΙΟΥ	90	100	-10
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΛΑΤΖΟΙΟΥ	80	96	-16
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΝΕΑΣ ΜΑΝΟΛΑΔΟΣ	20	16	4
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΠΛΑΤΑΝΟΥ	80	83	-3
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΣΤΡΕΦΙΟΥ	80	84	-4
ΔΗΜΟΣ.... ΑΝΔΡΙΤΣΑΙΝΗΣ	760	772	-12
ΔΗΜΟΣ.... ΚΡΕΣΤΕΝΩΝ	100	98	2
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΑΜΥΓΔΑΛΕΩΝ	620	658	-38
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΔΙΑΣΕΛΛΩΝ	300	308	-8
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΚΑΛΛΙΘΕΑΣ	400	415	-15
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΜΑΚΡΙΣΙΩΝ	130	96	34
ΔΗΜΟΣ.... ΚΟΡΙΝΘΟΥ	10	33	-23
ΔΗΜΟΣ.... ΕΥΛΟΚΑΣΤΡΟΥ	10	22	-12
ΔΗΜΟΣ.... ΣΙΚΥΩΝΟΣ	140	7	133
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΑΓΙΟΥ ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ	300	301	-1
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΑΘΙΚΙΩΝ	250	273	-23
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΑΣΣΟΥ	30	29	1
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΒΕΛΟΥ	30	30	0
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΒΡΑΧΑΤΙΟΥ	10	12	-2
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΓΑΛΑΤΑΚΙΟΥ	50	74	-24
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΔΙΜΗΝΙΟΥ	80	60	20
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΖΕΜΕΝΟΥ	560	547	13
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΛΕΧΑΙΟΥ	10	15	-5
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΜΕΛΙΣΣΙΟΥ	30	15	15
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΝΕΜΕΑΣ	320	309	11
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΕΥΛΟΚΕΡΙΖΗΣ	110	105	5
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΠΑΝΑΡΙΤΙΟΥ	720	693	27
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΠΙΤΣΩΝ (ΚΑΤΩ)	4	15	-11
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΣΟΥΛΗΝΑΡΙΟΥ	180	192	-12
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΣΤΙΜΑΓΚΑΣ	520	510	10
ΔΗΜΟΣ.... ΓΥΘΕΙΟΥ	10	37	-27
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΛΑΓΙΑΣ	420	403	17

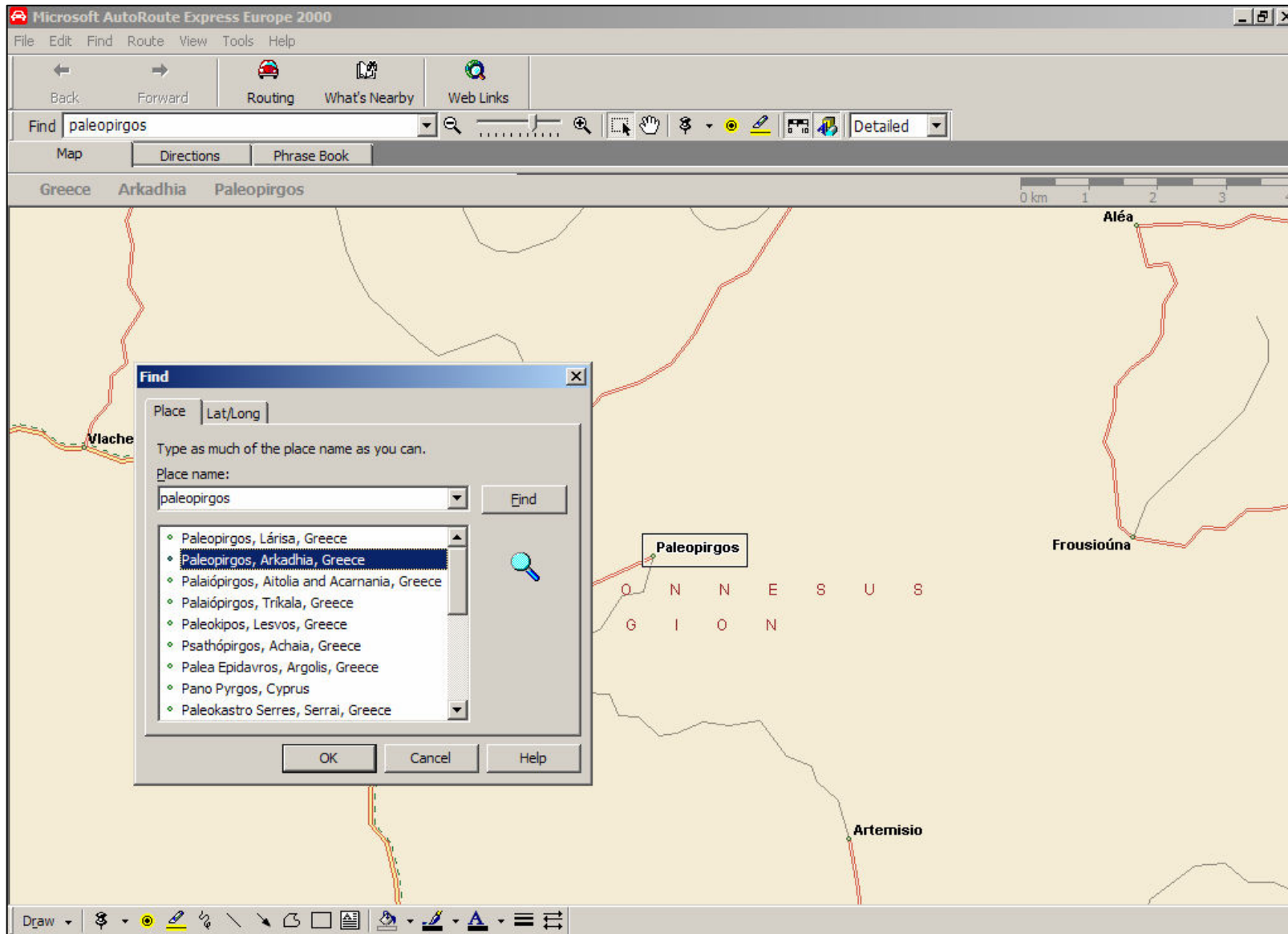
ΔΗΜΟΣ.... ΜΟΛΛΩΝ	200	171	29
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΑΠΙΔΕΑΣ	270	305	-35
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΒΛΑΧΙΩΤΗ	30	73	-43
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΜΟΝΕΜΒΑΣΙΑΣ	40	42	-2
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΝΕΑΠΟΛΕΩΣ	10	13	-3
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΝΙΑΤΩΝ	320	327	-7
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΠΕΡΙΣΤΕΡΙΟΥ	40	67	-27
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΣΥΚΕΑΣ	140	152	-12
ΔΗΜΟΣ.... ΣΠΑΡΤΙΑΤΩΝ	210	214	-4
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΜΥΣΤΡΑ	300	341	-41
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΣΚΑΛΑΣ	20	61	-41
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΑΡΕΟΠΟΛΕΩΣ	250	271	-21
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΚΟΙΤΑΣ	140	137	3
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΠΥΡΓΟΥ ΔΙΡΟΥ	200	191	9
ΔΗΜΟΣ.... ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ	20	40	-20
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΔΟΛΩΝ (ΚΑΤΩ)	320	307	13
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΠΡΟΑΣΤΙΟΥ	230	233	-3
ΔΗΜΟΣ.... ΜΕΣΣΗΝΗΣ	20	32	-12
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΑΒΡΑΜΙΟΥ	80	102	-22
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΑΡΙΣΤΟΜΕΝΟΥΣ	360	352	8
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΒΑΛΥΡΑΣ	30	67	-37
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΕΥΑΣ	60	72	-12
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΖΕΥΓΟΛΑΤΙΟΥ	50	60	-10
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΚΑΤΣΑΡΟΥ	90	144	-54
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΝΕΟΧΩΡΙΟΥ ΙΘΩΜΗΣ	60	85	-25
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΟΙΧΑΛΙΑΣ	90	85	5
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΣΠΙΤΑΛΙΟΥ	123	98	25
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΒΑΣΙΛΙΤΣΙΟΥ	160	119	41
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΓΛΥΦΑΔΑΣ	300	299	1
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΔΡΟΣΙΑΣ	245	231	14
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΚΟΡΥΦΑΣΙΟΥ	60	71	-11
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΚΟΡΩΝΗΣ	20	2	18
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΚΡΕΜΜΥΔΙΩΝ	340	321	19
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΛΟΓΓΑΣ	90	79	11
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΠΕΛΕΚΑΝΑΔΑΣ	290	301	-11
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΦΟΙΝΙΚΟΥΝΤΟΣ	20	5	15
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΧΑΡΑΚΟΠΙΟΥ	130	110	20
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΧΡΥΣΟΚΕΛΛΑΡΙΑΣ	300	329	-29
ΔΗΜΟΣ.... ΓΑΡΓΑΛΙΑΝΩΝ	300	280	20
ΔΗΜΟΣ.... ΦΙΛΙΑΤΡΩΝ	70	77	-7
ΔΗΜΟΣ.... ΧΩΡΑΣ	300	293	7
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΒΑΣΙΛΙΚΟΥ	115	175	-60
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΔΩΡΙΟΥ	170	160	10
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΜΑΡΑΘΟΠΟΛΕΩΣ	10	1	9
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΠΥΡΓΟΥ	400	399	1
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΨΑΡΙΟΥ	220	270	-50
	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ		-9.7
	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ		23

Πίνακας 3.7: Σύγκριση γεωγραφικών συντεταγμένων μεταξύ συσκευής GPS και Toponavigator. Τα φ, λ που έχουν υπολογισθεί με το Toponavigator έχουν μετατραπεί με το πρόγραμμα CoordTrans σε ΓΣΑ ED 50.

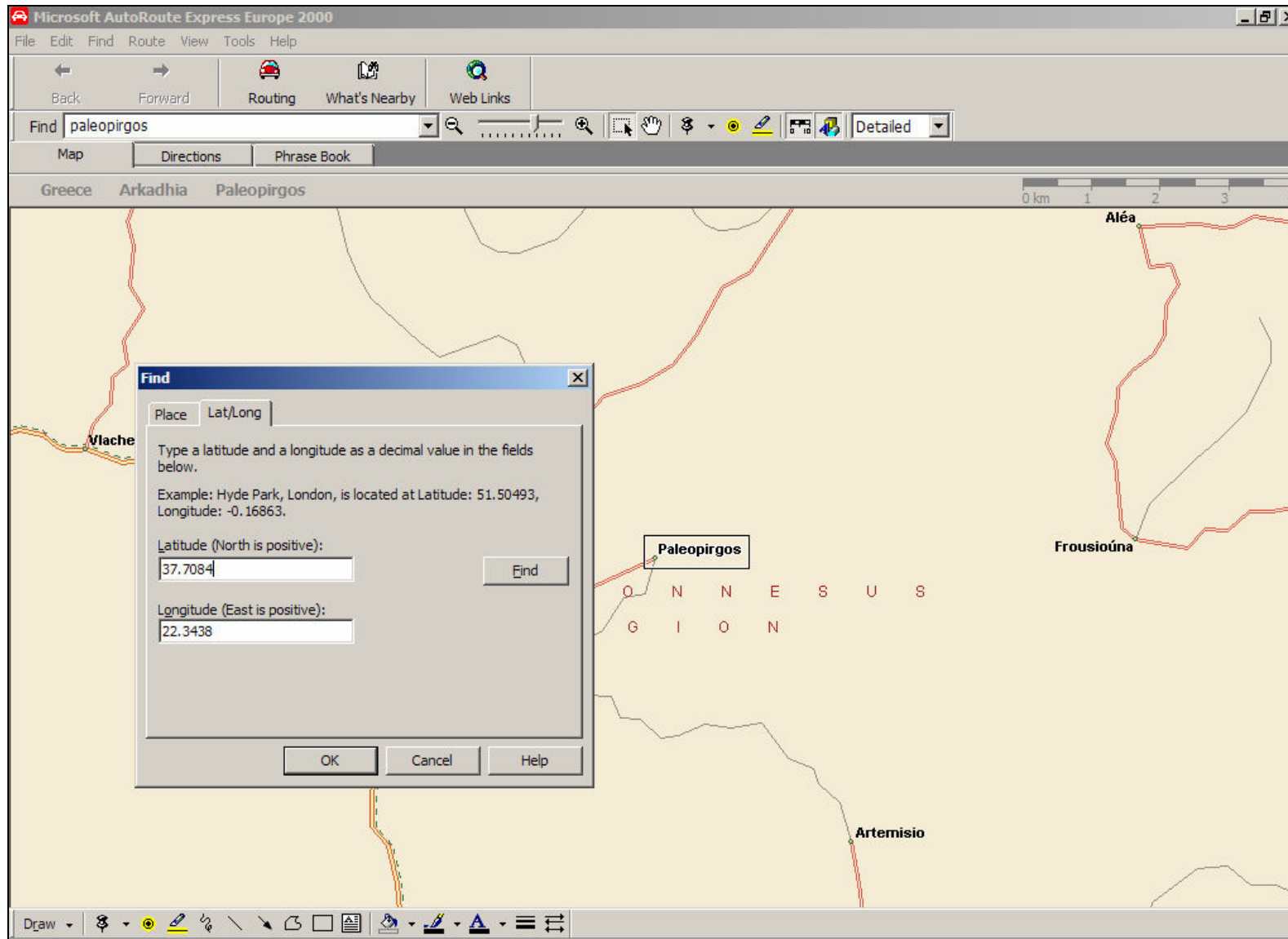
ΠΕΡΙΟΧΗ (ΣΗΜΕΙΟ)	ΣΥΣΚΕΥΗ GPS (ED 50)		ΤΟΡΟΝΑΒΙΓΑΤΟΡ, (ED 50)		ΔΙΑΦΟΡΑ GPS - ΤΟΡΟΝΑΒΙΓΑΤΟΡ	
	λ [Δεκ. Μοιρ.]	φ [Δεκ. Μοιρ.]	λ [Δεκ. Μοιρ.]	φ [Δεκ. Μοιρ.]	Δλ [Δεκ. Μοιρ.]	Δφ [Δεκ. Μοιρ.]
ΕΦΕΣΟΥ 3-7 ΓΛΥΦΑΔΑ	23.75961	37.88234	23.75950	37.88235	0.00011	-0.00001
ΚΑΦΕ 222 ΖΩΓΡΑΦΟΥ	23.77689	37.97713	23.77694	37.97716	-0.00005	-0.00003
ΠΑΙΑΝΙΑ	23.85397	37.96724	23.85387	37.96768	0.00010	-0.00044
ΚΟΡΩΠΙ	23.88189	37.89435	23.88181	37.89460	0.00008	-0.00025
ΒΑΡΗ	23.80341	37.83426	23.80338	37.83444	0.00003	-0.00018
			ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ		0.00005	-0.00018
			ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ		0.00007	0.00018

Σχήματα του Κεφαλαίου

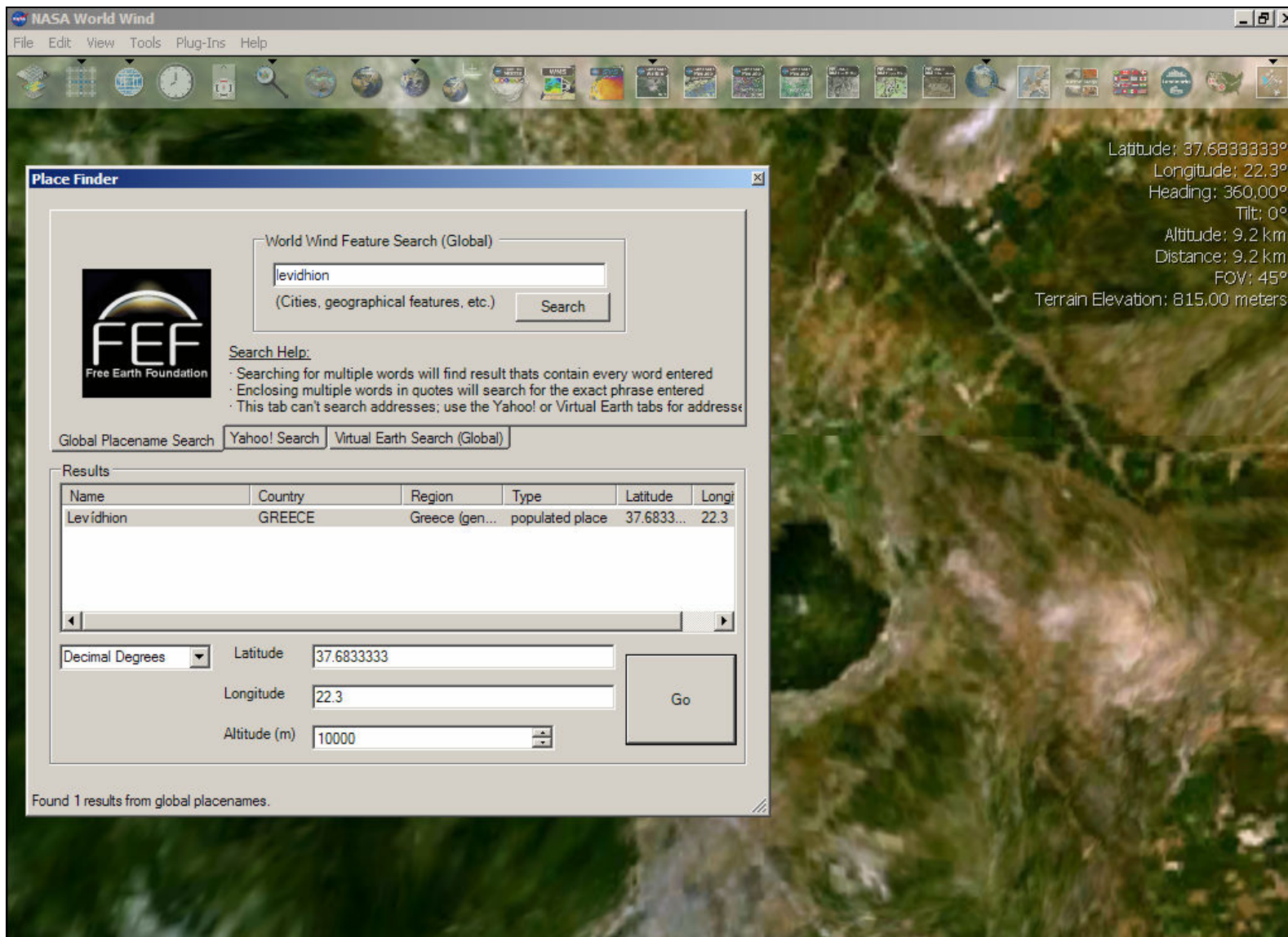
Σχήμα 3-1: Επιφάνεια εργασίας του MS Autoroute 2000 και το εργαλείο εύρεσης τοπωνυμίων



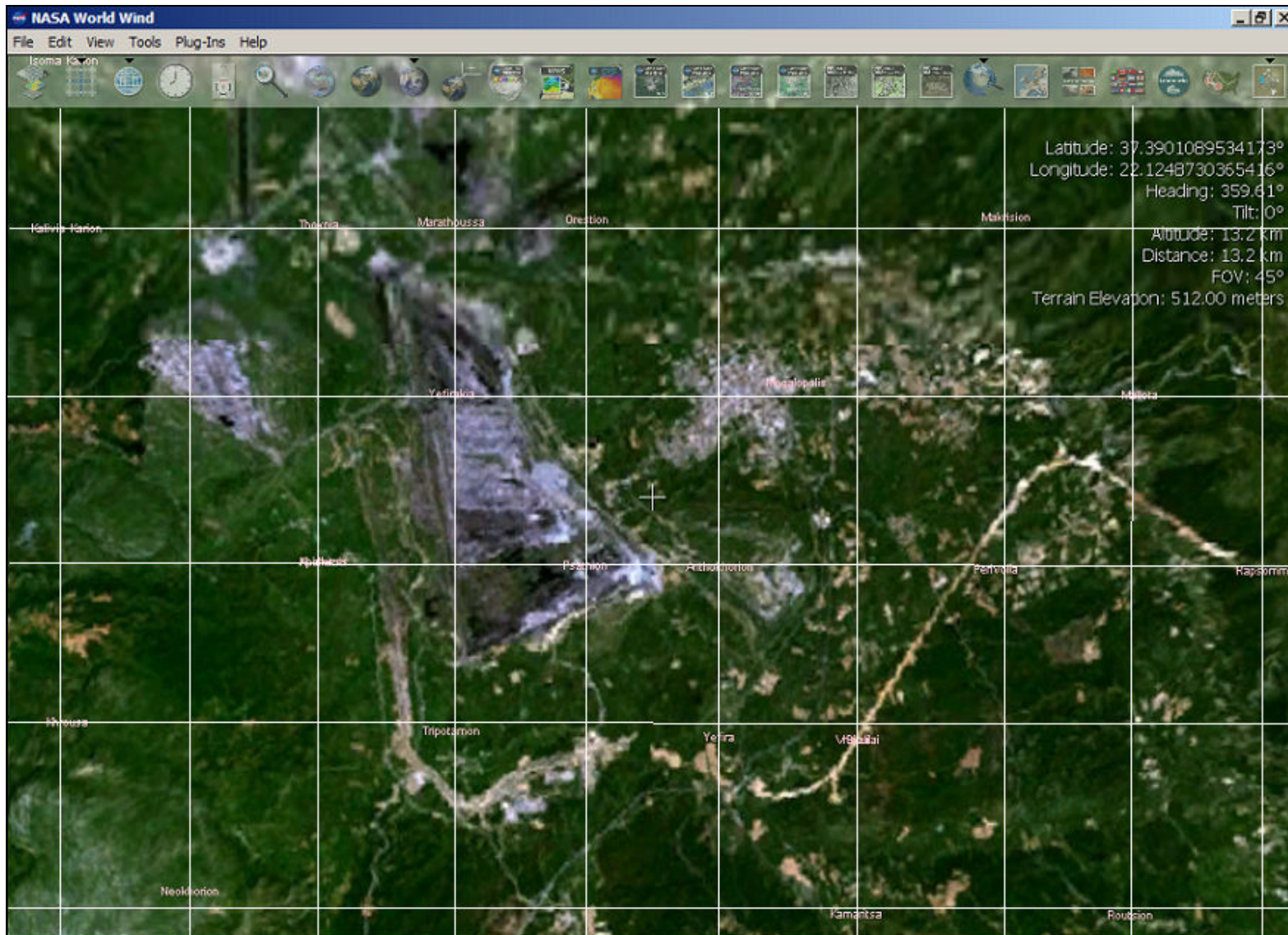
Σχήμα 3-2: Επιφάνεια εργασίας του MS Autoroute 2000 και το εργαλείο ένδειξης γεωγραφικών συντεταγμένων



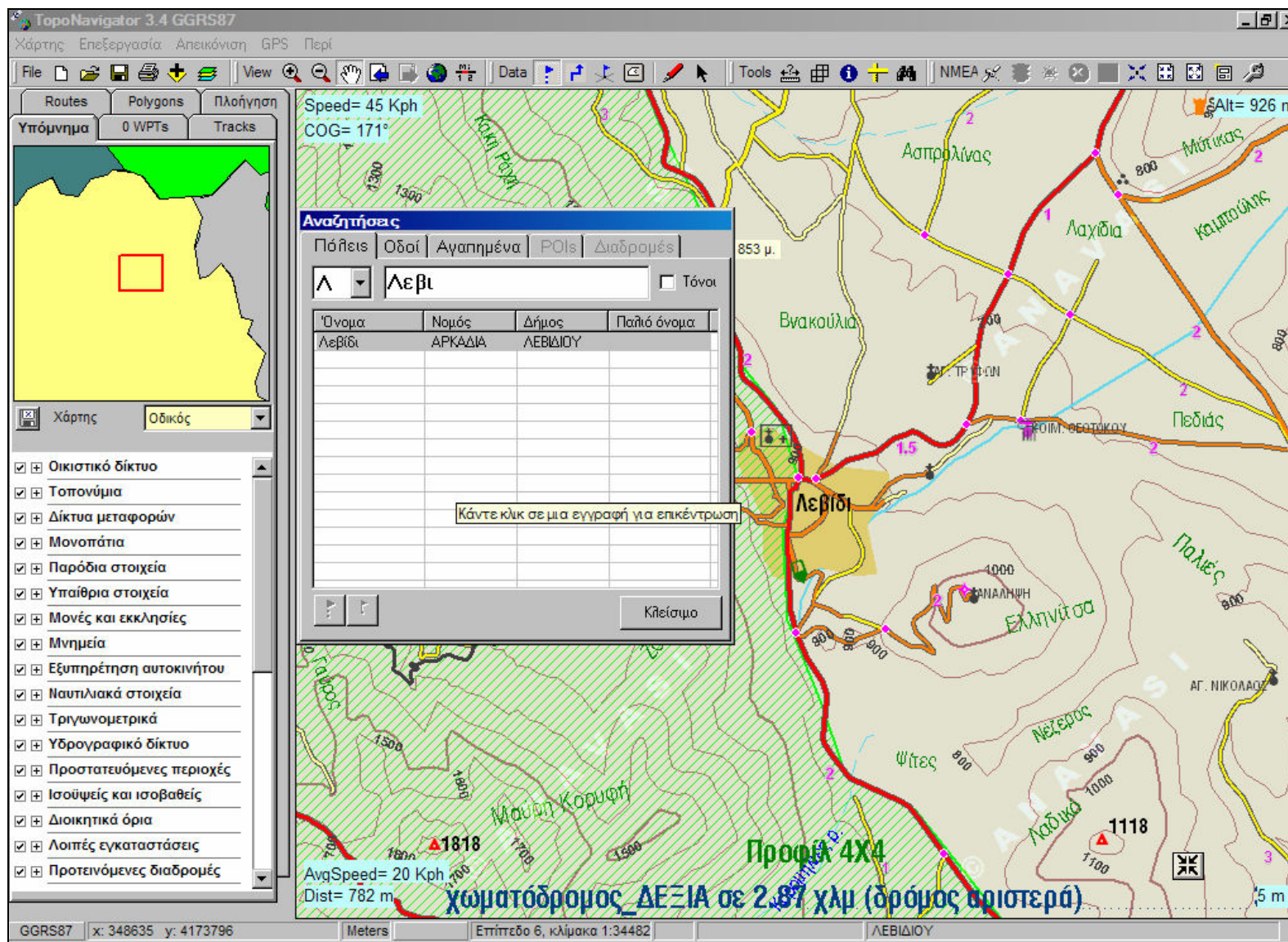
Σχήμα 3-3: Επιφάνεια εργασίας του NASA World Wind και το εργαλείο εύρεσης τοπωνυμίων και γεωγραφικών συντεταγμένων



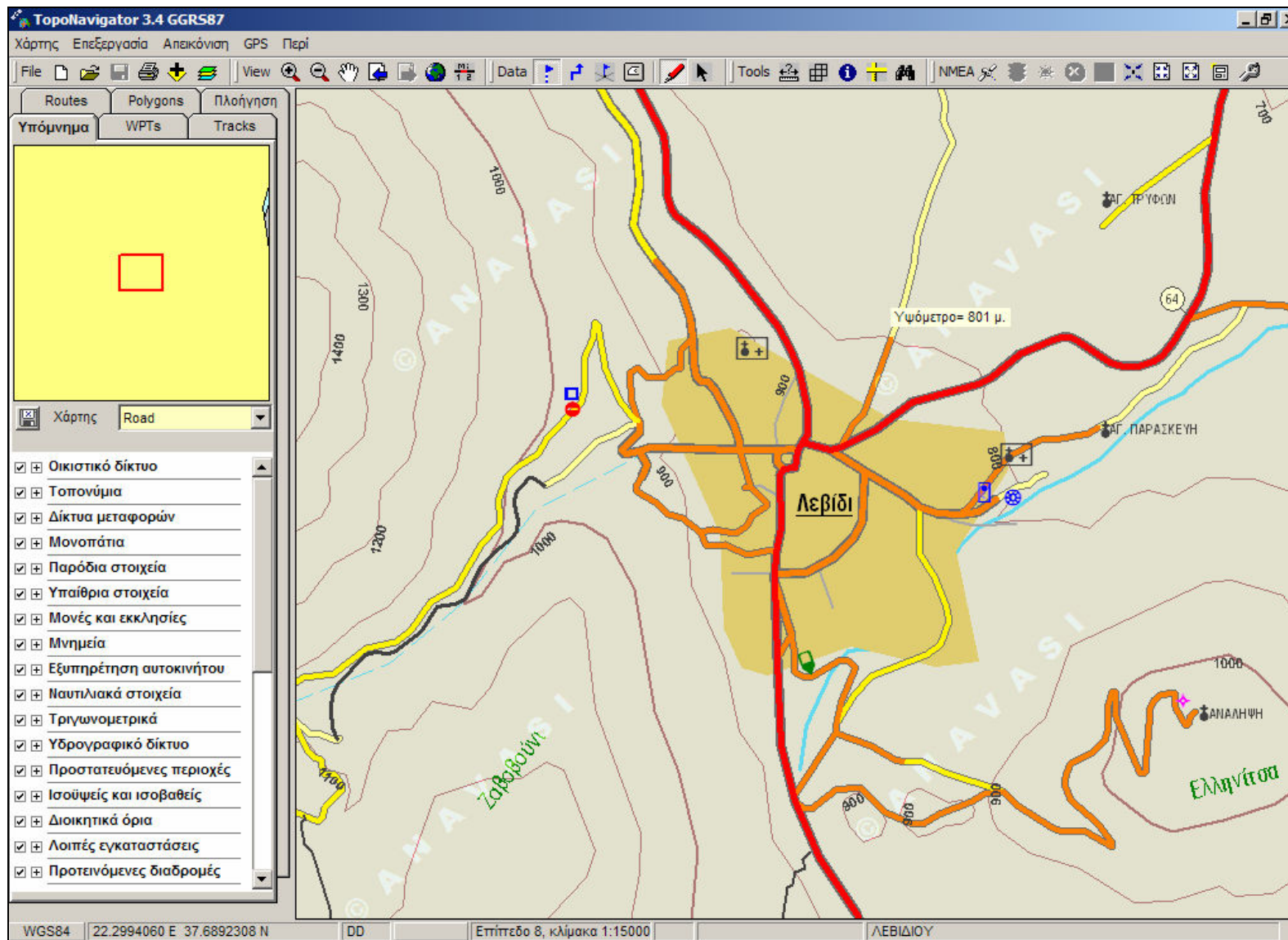
Σχήμα 3-4: Επιφάνεια εργασίας του NASA World Wind. Σε αυτή την εικόνα φαίνεται χαρακτηριστικά το πλέγμα ορθογωνίων παραλληλογράμμων και τα τοπωνύμια στις ακμές τους.



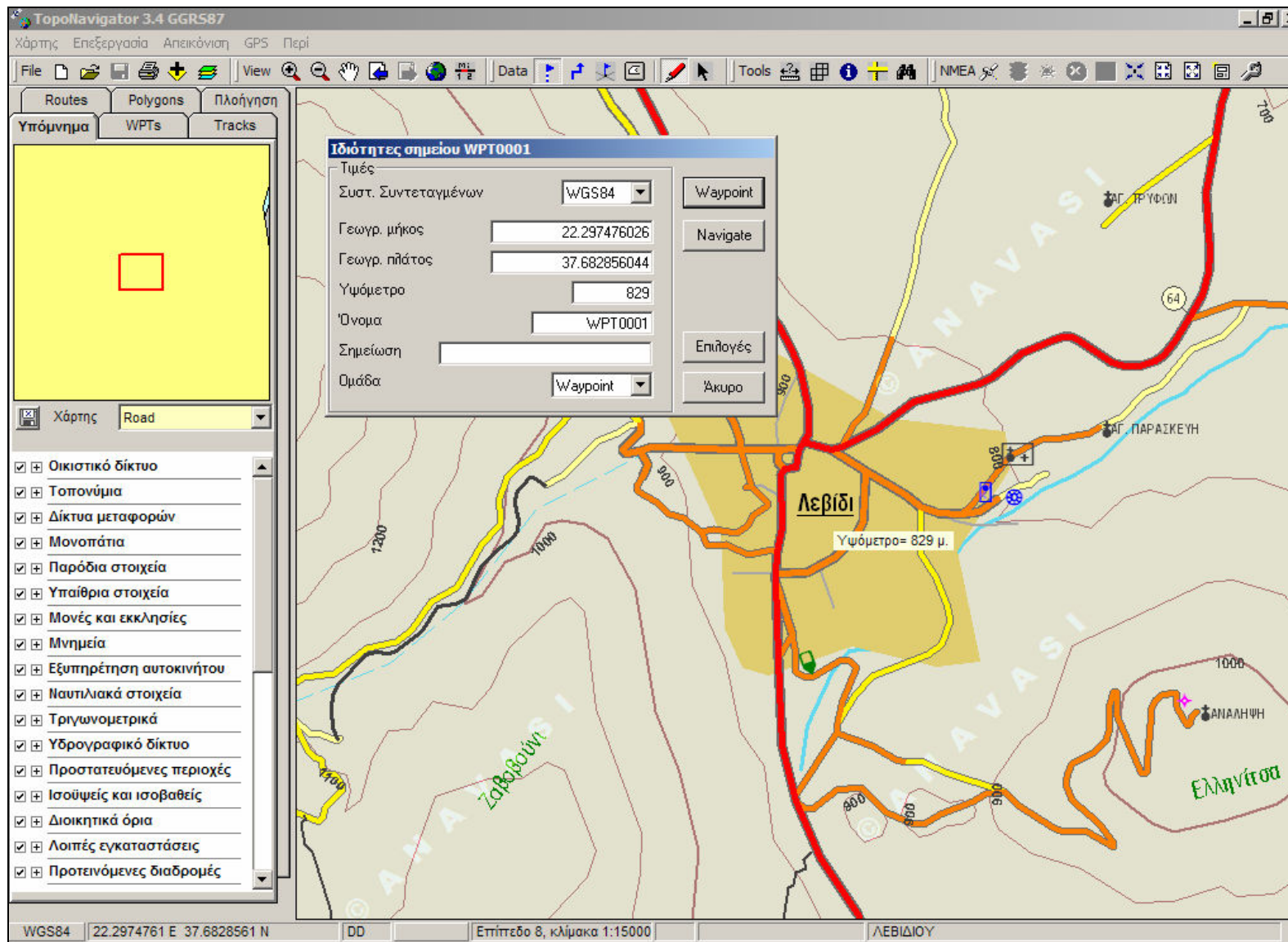
Σχήμα 3-5: Επιφάνεια εργασίας του Τοποnavigator και το εργαλείο εύρεσης τοπωνυμίων



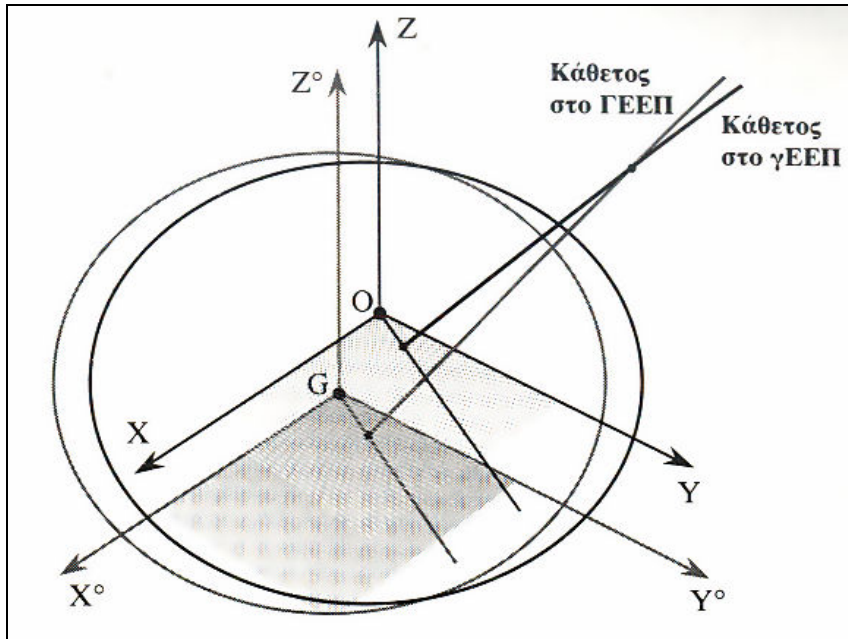
Σχήμα 3-6: Επιφάνεια εργασίας του Τοποnavigator. Σε αυτή την εικόνα φαίνεται το πολύγωνο που παριστά την κατοικημένη περιοχή του χωριού Λεβίδι σε κλίμακα 1:15000.



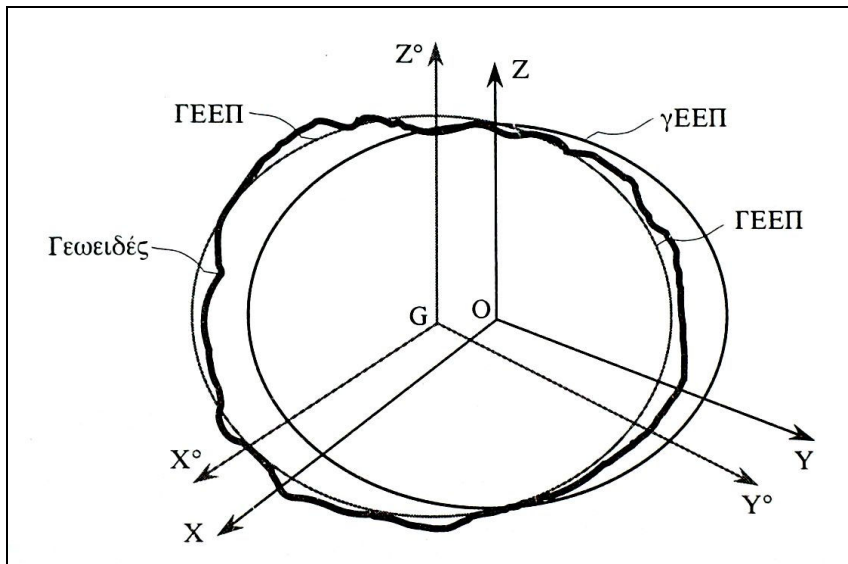
Σχήμα 3-7: Επιφάνεια εργασίας του Toponavigator και το εργαλείο ένδειξης των γεωγραφικών συντεταγμένων και υψομέτρου του χωριού Λεβίδι.



Σχήμα 3-8: Γεωκεντρικό και γεωδαιτικό ΕΕΠ



Σχήμα 3-9: Προσαρμογή περισσότερων γΕΕΠ στο ΓΕΕΠ

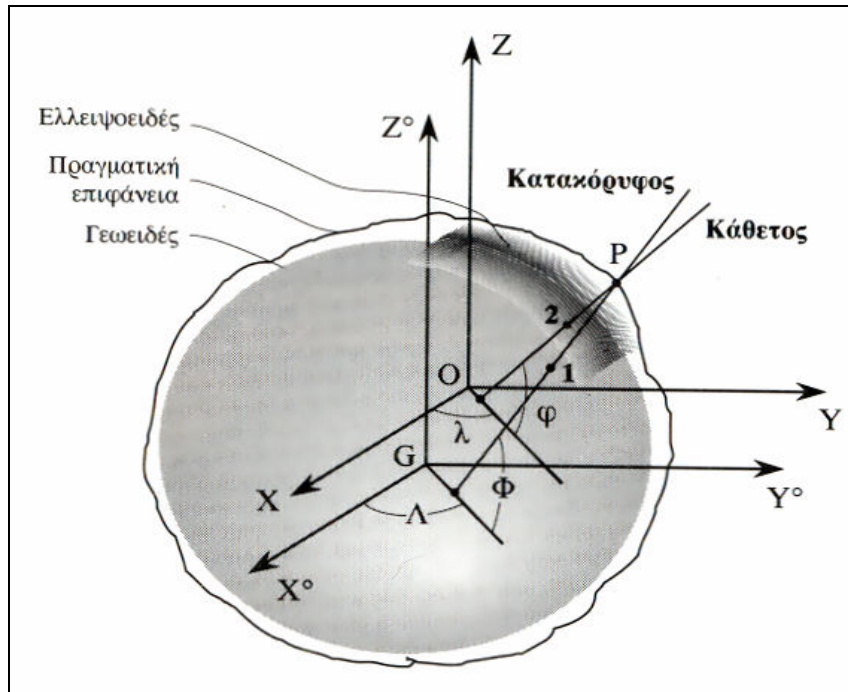


Σχήμα 3-10: Γεωκεντρικό σύστημα $G - X^{\circ}, Y^{\circ}, Z^{\circ}$

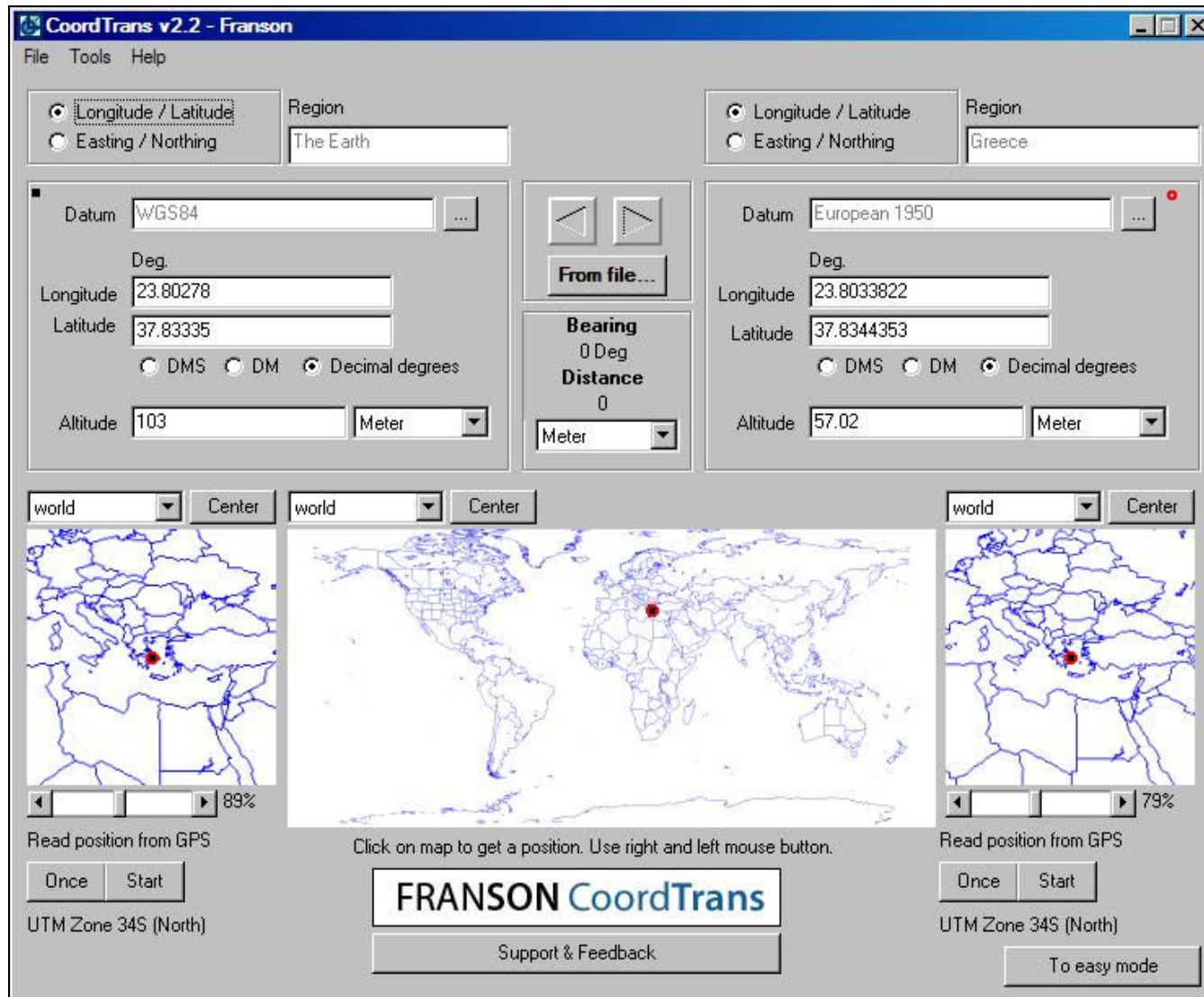
Γεωδαιτικό σύστημα $O - X, Y, Z$

1. Τομή της κατακόρυφου με το γεωειδές

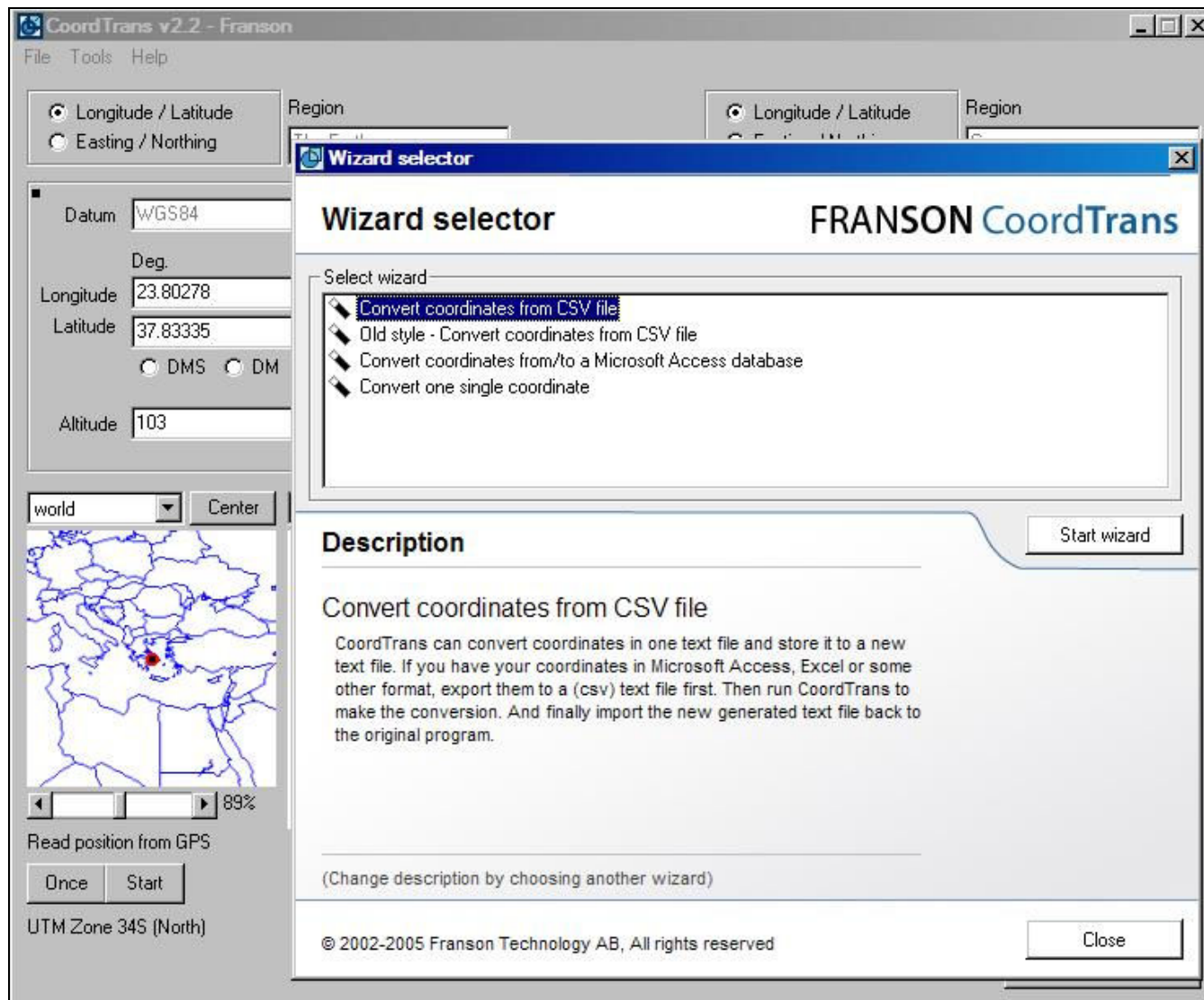
2. Τομή της καθέτου με το ελλειψοειδές



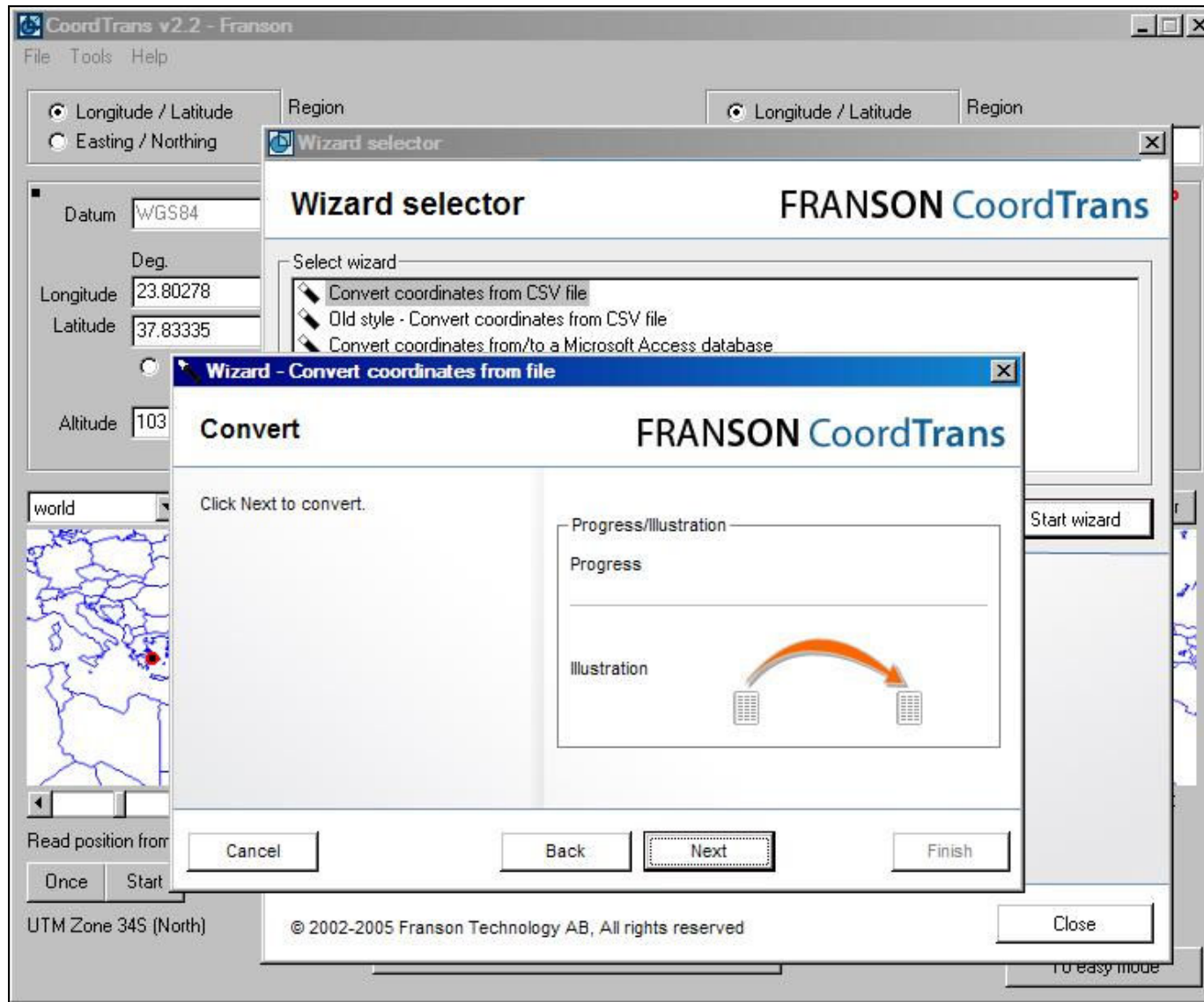
Σχήμα 3-11: Κεντρική επιφάνεια εργασίας του προγράμματος CoordTrans, όπου φαίνεται η επιλογή “from file...”.



Σχήμα 3-12: Επιφάνεια εργασίας του προγράμματος CoordTrans, όπου φαίνεται η επιλογή “convert coordinates from CSV file” και στο κέντρο δεξιά η επιλογή “start wizard”.



Σχήμα 3-13: Επιφάνεια εργασίας του προγράμματος CoordTrans, όπου φαίνεται το τελικό στάδιο της διαδικασίας μετατροπής.



Σχήμα 3-14: Η συσκευή GPS που χρησιμοποιήθηκε για την σύγκριση των συντεταγμένων. Garmin, eTrex Legend.



4. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΡΑΔΟΝΙΟΥ ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ

4.1 Εισαγωγή

Είναι γεγονός ότι ο κίνδυνος που παρουσιάζεται λόγω των υψηλών συγκεντρώσεων ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους έχει παρακινήσει πολλές χώρες να υιοθετήσουν ένα πλήθος κανονισμών και να εκκινήσουν εκτενείς εκστρατείες παρακολούθησης έτσι ώστε να ταυτοποιηθούν οι περιοχές που αναμένεται να εμφανίσουν υψηλά επίπεδα ραδονίου. Σε μια πρόσφατη σύνοψη από μελέτες σχετικές με το ραδόνιο που έχουν διεξαχθεί σε 32 ευρωπαϊκές χώρες (Dubois, 2005) [52], βρέθηκε ότι έχουν γίνει μετρήσεις ραδονίου σε περίπου 1.5 εκατομμύρια κατοικίες, συνολικά, ενώ το Ηνωμένο Βασίλειο και η Σουηδία έχουν κάνει περίπου 500000 μετρήσεις. Η μεγάλη ποικιλία που βρέθηκε στις στρατηγικές δειγματοληψίας και στις μεθόδους χαρτογράφησης που επιλέχθηκαν από τις διάφορες χώρες αναδεικνύει ένα κοινό πρόβλημα: τα επίπεδα συγκεντρώσεων ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους είναι δύσκολο να μοντελοποιηθούν και να προβλεφθούν. Εκτός από τις παραμέτρους που σχετίζονται με τον τύπο κατασκευής των σπιτιών, τις συνήθειες των κατοίκων και τις περιστάσεις των μετρήσεων (εποχικό φαινόμενο), οι οποίες προφανώς επηρεάζουν τα επίπεδα των συγκεντρώσεων ραδονίου στους εσωτερικούς χώρους, τα επίπεδα ραδονίου κυρίως εξαρτώνται από την υποκείμενη γεωλογία (και συνακόλουθα τις κατανομής του φυσικού ραδιενεργού ραδίου στο έδαφος) και τις ιδιότητες του εδάφους.

4.2 Μέθοδοι χαρτογράφησης – Τεχνικές που έχουν εφαρμοστεί στο Ηνωμένο Βασίλειο

Υπάρχουν δύο κύριες προσεγγίσεις για τη χαρτογράφηση περιοχών οι οποίες αναμένεται να εμφανίσουν υψηλές συγκεντρώσεις ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους: μια προσέγγιση είναι η χρήση δεδομένων από μετρήσεις συγκεντρώσεων ραδονίου σε

εσωτερικούς χώρους και μια άλλη είναι η χρήση γεωλογικών πληροφοριών. Δεδομένου ότι το ραδόνιο που υπάρχει εντός των κατοικιών προέρχεται σε μεγάλο βαθμό από τα πετρώματα που υπάρχουν στο έδαφος, και οι γεωλογικοί χάρτες δίνουν πληροφορίες σχετικά με το είδος του πετρώματος που βρίσκεται κάτω από τις κατοικίες, φαίνεται δελεαστικό, αρχικά να χρησιμοποιηθούν γεωλογικοί δείκτες, όπως η περιεκτικότητα σε ουράνιο και η διαπερατότητα των πετρωμάτων, για να χαρτογραφηθούν οι περιοχές που αναμένεται να εμφανίσουν υψηλές συγκεντρώσεις ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους. Εφόσον η γεωλογία έχει ήδη χαρτογραφηθεί με λεπτομέρεια σε αρκετές περιοχές, αυτή η μέθοδος μπορεί να παράγει χάρτες των περιοχών που αναμένεται να εμφανίσουν υψηλές συγκεντρώσεις ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους με υψηλή ανάλυση, δίνοντας την αίσθηση ότι η μέθοδος αυτή είναι ακριβής. Ωστόσο, οι Hulka et al. έδειξαν ότι οι χάρτες που ήταν βασισμένοι στην γεωλογία δεν ήταν αξιόπιστοι δείκτες για τα επίπεδα ραδονίου μέσα στις κατοικίες [59]. Αυτό πιθανώς, να οφείλεται στο γεγονός ότι η σχέση μεταξύ γεωλογικών δεικτών και επιπέδων ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους διαφέρει από πέτρωμα σε πέτρωμα. Οι Miles και Ball έδειξαν ότι η μεταβλητότητα των περιθωρίων σε γεωλογικούς σχηματισμούς σημαίνει ότι συμπεράσματα που έχουν εξαχθεί για μια περιοχή δε μπορούν απαραίτητα να δώσουν συμπέρασμα για γειτονικές περιοχές με τους ίδιους γεωλογικούς σχηματισμούς και ότι τα επιφανειακά στρώματα μπορούν να αλλάζουν σε μεγάλο βαθμό το δυναμικό του ραδονίου στο έδαφος [60].

Αν είναι διαθέσιμες αρκετές μετρήσεις ραδονίου σε κατοικίες, τότε αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την άμεση χαρτογράφηση των περιοχών που αναμένεται να εμφανίσουν υψηλές συγκεντρώσεις ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους. Η γεωστατιστική ανάλυση με kriging (βλ. § 4.4) δεν έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως για τη χαρτογράφηση ραδονίου, λόγω του ότι η μέθοδος προϋποθέτει ο βαθμός της χωρικής μεταβλητότητας να είναι ομοιόμορφος σε όλη την περιοχή που πρόκειται να χαρτογραφηθεί. Το δυναμικό ραδονίου μπορεί να είναι αμετάβλητο ή να μεταβάλλεται ανεπαίσθητα σε ορισμένα είδη πετρωμάτων, με μια απότομη ασυνέχεια στο όριο μεταξύ των διαφόρων ειδών πετρωμάτων. Η μέθοδος που συνήθως χρησιμοποιείται για την χαρτογράφηση του δυναμικού ραδονίου είναι η ομαδοποίηση των αποτελεσμάτων ανά περιοχή και η χρήση των δεδομένων αυτών για την εκτίμηση των μέσων επιπέδων ραδονίου στις κατοικίες ή το ποσοστό εκείνων που ξεπερνούν ένα όριο σε κάθε περιοχή.

Μια περιοχή, οσοδήποτε μικρή κι αν επιλεγθεί, θα βρεθεί σε αυτή ένα ευρύ πεδίο επιπέδων ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους. Αυτό οφείλεται στην ύπαρξη μιας μεγάλης αλυσίδας παραγόντων που επηρεάζουν το επίπεδο ραδονίου που βρέθηκε σε ένα κτίριο, όπως η περιεκτικότητα του εδάφους σε ράδιο, η διαπερατότητα του εδάφους κάτω από το κτίριο και οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες του κτιρίου. Μεταβολές σε αυτούς τους παράγοντες μεταξύ των κτιρίων παράγουν το ευρύ πεδίο των μετρηθέντων επιπέδων ραδονίου. Η κατανομή των επιπέδων ραδονίου στα κτίρια έχει βρεθεί ότι είναι συνήθως λογαριθμοκανονική συνάρτηση, είτε μελετάται μια ολόκληρη χώρα είτε μια μικρή περιοχή. Οι λόγοι που οι συγκεντρώσεις ραδονίου ακολουθούν αυτή την κατανομή μπορούν να κατανοηθούν από στατιστικές μελέτες.

Η επιλογή του είδους της περιοχής, σύμφωνα με την οποία θα ομαδοποιηθούν τα δεδομένα, είναι δύσκολη, καθώς κάθε ενδεχόμενο έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Μερικές φορές χρησιμοποιούνται διοικητικές περιοχές, όπως δήμοι ή ταχυδρομικές περιοχές, αφού είναι εύκολο να καθοριστεί σε ποια περιοχή βρίσκεται ένα σπίτι. Δυστυχώς, τέτοιες περιοχές ποικίλουν αρκετά σε μέγεθος και τα σύνορά τους δεν συμπίπτουν με τα σύνορα μεταξύ περιοχών με διαφορετικό δυναμικό ραδονίου. Γι αυτό το λόγο, χάρτες που βασίζονται σε δεδομένα που είναι ομαδοποιημένα με τέτοιο τρόπο μπορεί να συγκαλύπτουν την υποκείμενη μορφή μεταβλητότητας στο δυναμικό ραδονίου.

Εναλλακτικά, τα δεδομένα μπορούν να ομαδοποιηθούν σε οικοδομικά τετράγωνα κατάλληλου μεγέθους, όπως 10 ή 5 km. Αυτό έχει το μειονέκτημα ότι ένα τετράγωνο μπορεί να καλύπτει δύο ή περισσότερες γεωλογικές μονάδες με διαφορετικό δυναμικό ραδονίου. Έχει τα πλεονεκτήματα ότι όλες οι περιοχές αντιμετωπίζονται ισομερώς, κι αν λείπουν δεδομένα, είναι απλό να πραγματοποιηθεί παρεμβολή από τα γύρω τετράγωνα. Παρέχει μια αξιόπιστη εικόνα της μορφής μεταβλητότητας του δυναμικού ραδονίου που είναι βασισμένο σε μετρήσεις στα σπίτια της περιοχής, ακόμα κι αν λείπει ψιλή λεπτομέρεια. Γι αυτούς τους λόγους, η Εθνική Επιτροπή Ακτινολογικής Προστασίας (NRPB) του Ηνωμένου Βασιλείου έχει οριοθετήσει τις περιοχές που πλήττονται από υψηλές συγκεντρώσεις ραδονίου με βάση την ομαδοποίηση των δεδομένων ραδονίου σε κατοικίες, σε τετραγωνικό κάρναβο 5 km (βλ. σχήμα 4.1).

Μια τρίτη μέθοδος είναι η ομαδοποίηση των δεδομένων ραδονίου σε κατοικίες ανά γεωλογική μονάδα. Αυτός είναι ο πιο λογικός τρόπος ομαδοποίησης, αφού το δυναμικό ραδονίου διαφέρει ξεκάθαρα μεταξύ των γεωλογικών μονάδων. Αυτό ωστόσο, έχει επίσης τα μειονεκτήματά του. Γεωλογικοί χάρτες με αδρή κλίμακα ομαδοποιούν μαζί τα διάφορα είδη πετρωμάτων, που μπορεί να έχουν πολύ διαφορετικό δυναμικό ραδονίου κι έτσι συγχέονται οι διαφορές μεταξύ τους. Οι Miles και Ball έδειξαν ότι γεωλογικοί χάρτες, όπως π.χ. αυτοί του Ηνωμένου Βασιλείου σε κλίμακα 1:50000 ήταν αρκετά ακριβείς στο να διακρίνουν είδη πετρωμάτων με διαφορετικό δυναμικό ραδονίου, το οποίο όμως δεν διακρινόταν σε χάρτες με κλίμακα 1:250000 [60]. Ακόμα και με τη μεγαλύτερη κλίμακα, παρατηρήθηκε σημαντική μεταβλητότητα εντός των χαρτογραφημένων ειδών πετρωμάτων εξαιτίας της μεταβλητότητας των περιθωρίων στα πετρώματα και του επιφανειακού στρώματος.

Ένας συνδυασμός της δεύτερης και τρίτης μεθόδου ομαδοποίησης δεδομένων ερευνάται από τη Βρετανική Γεωλογική Υπηρεσία (British Geological Survey) και την Εθνική Επιτροπή Ακτινολογικής Προστασίας. Σε αυτή τη μέθοδο τα δεδομένα ομαδοποιούνται και με τον τετραγωνικό κάνναβο πλευράς 5 km στην οποία εμπίπτουν και με τις γεωλογικές μονάδες, σε κλίμακα 1:50000. Η μεταβλητότητα των περιθωρίων εντός των διαφόρων ειδών πετρωμάτων και η μεταβλητότητα σε βάθος του επιφανειακού στρώματος είναι πιθανόν να είναι πολύ μικρότερες εντός ενός τετραγωνικού καννάβου πλευράς 5 km παρά σε ολόκληρη την περιοχή μιας γεωλογικής μονάδας. Αυτή η μέθοδος, αν και πιθανώς παράγει τις πιο ακριβείς εκτιμήσεις για το δυναμικό ραδονίου, πάσχει από δύο πιθανά μειονεκτήματα. Το πρώτο είναι ότι χρειάζονται πολύ υψηλής πυκνότητας μετρήσεις για να εφαρμοστεί, και το δεύτερο είναι ότι οι γεωλογικοί χάρτες δεν έχουν ακόμα ψηφιοποιηθεί σε αυτήν την ανάλυση, με αποτέλεσμα να κάνουν τη μέθοδο κοπιαστική στο να εφαρμοστεί και να καταλήγουν σε λίστες δυναμικού ραδονίου σε σύγκριση με τα είδη πετρωμάτων και τον τετραγωνικό κάνναβο, αντί για χάρτες.

Έχουν μελετηθεί δύο μέθοδοι για να ξεπεραστεί η παραπάνω απαίτηση για πολύ υψηλής πυκνότητας μετρήσεων. Η μια είναι η χρησιμοποίηση Μπεϋζιανής στατιστικής για τη διόρθωση των παρατηρούμενων γεωμετρικών μέσων. Οι Price et al. έχουν χρησιμοποιήσει αυτή τη μέθοδο στις ΗΠΑ για να περιορίσουν τις

επιδράσεις των μικρών σε μέγεθος δειγμάτων και να λάβουν υπόψη δεδομένα από εκτιμήσεις ουρανίου στο έδαφος πραγματοποιώντας γ – φασματοσκοπική ανάλυση του αέρα [53]. Αν δεν υπάρχουν δεδομένα από έρευνες σχετικά με τον αέρα σε μια περιοχή, τότε μπορούν, πιθανώς, αντί τούτου να χρησιμοποιηθούν δεδομένα σε χωρικές συσχετίσεις. Για παράδειγμα, αρχικές εκτιμήσεις για γεωλογικές μονάδες μπορούσαν να ληφθούν από την τρίτη μέθοδο παραπάνω, μετά να βελτιωθούν εντός ατομικών συνδυασμών τετραγωνικού καννάβου και γεωλογικών μονάδων, χρησιμοποιώντας οποιαδήποτε διαθέσιμα αποτελέσματα με μετρήσεις ραδονίου σε κατοικίες.

Η δεύτερη μέθοδος είναι η χρήση kriging στα δεδομένα που έχουν ομαδοποιηθεί σύμφωνα με γεωλογικές πληροφορίες. Αυτό θα απεικόνιζε χωρικές μεταβολές στο δυναμικό ραδονίου εντός των γεωλογικών μονάδων, για οποιαδήποτε αιτία. Η μέθοδος είναι πιο πρόσφορη εφόσον τα δεδομένα ομαδοποιηθούν με αυτόν τον τρόπο, αφού ασυνέχειες στο δυναμικό ραδονίου είναι πολύ λιγότερο πιθανές.

Προς το παρόν, οι παραπάνω μέθοδοι που βασίζονται στην ομαδοποίηση ανά γεωλογική μονάδα δύσκολα μπορούν να εφαρμοστούν, διότι σε αρκετές χώρες δεν έχουν ακόμα ψηφιοποιηθεί γεωλογικοί χάρτες με ανάλυση 1:50000, αν και δοκιμές που έχουν πραγματοποιηθεί εντός ορισμένων περιοχών στο Ηνωμένο Βασίλειο φανήκαν ελπιδοφόρες. Μια νέα μέθοδος έχει αναπτυχθεί που θα μπορεί να χρησιμοποιεί υψηλής πυκνότητας μετρήσεις όπου αυτές είναι διαθέσιμες, χωρίς να επιδιώκει να απεικονίσει λεπτομερείς μεταβλητότητες σε περιοχές όπου τα δεδομένα είναι αραιά.

Η μέθοδος βασίζεται στη χαρτογράφηση με ανάλυση τετραγωνικού καννάβου 1 km. Στο Ηνωμένο Βασίλειο υπάρχουν αρκετά αποτελέσματα με μετρήσεις ραδονίου σε κατοικίες σε μερικά τετράγωνα του καννάβου 1 km, έτσι ώστε να εκτιμηθεί το δυναμικό ραδονίου άμεσα, αλλά η μεγάλη πλειοψηφία των τετραγώνων δεν έχουν καθόλου μετρήσεις. Η διαδικασία χαρτογράφησης είναι η ακόλουθη:

1. Κατανέμονται όλες οι μετρήσεις ραδονίου (μετά από κανονικοποίηση των επιδράσεων των χαρακτηριστικών των μεμονωμένων σπιτιών σε 1 km τετραγωνικού καννάβου εκεί όπου έχουν γίνει).

2. Λαμβάνοντας κάθε τετράγωνο του καννάβου με τη σειρά, επεκτείνεται σταδιακά ένας κύκλος γύρω του μέχρι αυτός ο κύκλος να περικλείει τουλάχιστον n τιμές, όπου n είναι ένας αριθμός που έχει βρεθεί πειραματικά ή στατιστικά έτσι ώστε να είναι επαρκής για μια ακριβής εκτίμηση του δυναμικού ραδονίου.
3. Λαμβάνεται ένας σταθμισμένος γεωμετρικός μέσος ή διάμεσος των αποτελεσμάτων. Ένας σταθμισμένος μέσος έχει το πλεονέκτημα, της απλής εφαρμογής μιας μεθόδου στάθμισης βασισμένης στην απόσταση, όπως επίσης και μια αριθμητική στάθμιση. Ο διάμεσος έχει το πλεονέκτημα ότι δεν επηρεάζεται από αποκλίσεις της ημιλογαριθμικότητας στις άκρες της κατανομής.
4. Εάν είναι απαραίτητο, ο γεωμετρικός μέσος ή διάμεσος που βρέθηκε παραπάνω μπορεί να χρησιμοποιηθεί (με κατάλληλη καμπύλη κατανομής τις γεωμετρικής τυπικής απόκλισης) για να εκτιμηθεί το μέρος της κατανομής που αντιστοιχεί πάνω από ένα όριο.

Δοκιμές που έχουν γίνει με χρήση δεδομένων από προσομοίωση έδειξαν, ότι είναι ένας κατάλληλος ελάχιστος αριθμός για το n είναι το 30. Ένα πιθανό πρόβλημα με αυτή τη μέθοδο είναι ότι σε μερικές περιοχές, οι οποίες παρουσιάζουν υψηλές συγκεντρώσεις ραδονίου, έχουν διεξαχθεί διεξοδικές έρευνες, ενώ σε κοντινές περιοχές με χαμηλές συγκεντρώσεις ραδονίου έχουν γίνει αραιές δειγματοληψίες. Η υψηλή πυκνότητα των αποτελεσμάτων με υψηλά επίπεδα ραδονίου, τείνει να αυξήσει το υπολογιζόμενο επίπεδο στις κοντινές περιοχές. Για να αποφευχθεί αυτή τη συνέπεια, έχει μπει όριο στον αριθμό των συνεισφορών στον n το οποίο είναι αποδεκτό από το καθένα τετράγωνο του καννάβου εκτός από το κεντρικό τετράγωνο. Το όριο μειώνεται γρήγορα όσο αυξάνεται η απόσταση από το κεντρικό τετράγωνο, λαμβάνοντας την τιμή 1 για όλα τα τετράγωνα που βρίσκονται παραπάνω από 3 km από το κεντρικό τετράγωνο.

Το αποτέλεσμα από τη χρήση αυτής της τεχνικής είναι η παραγωγή ενός υψηλής ανάλυσης χάρτη εκεί όπου έχουν γίνει πολλές μετρήσεις, και ένα ομαλά κατανεμημένο χάρτη εκεί όπου τα δεδομένα είναι αραιά. Το σχήμα 4.2 δείχνει ένα χάρτη της βορειοδυτικής Αγγλίας που έχει υπολογιστεί με αυτόν τον τρόπο. Στο μεγαλύτερο μέρος αυτού του χάρτη υπάρχει μεγάλη πυκνότητα μετρήσεων επειδή είναι γνωστό ότι υπήρχαν προβλήματα με το ραδόνιο σε αυτή την περιοχή. Οι

επαρχίες στα ανατολικά του χάρτη έχει βρεθεί ότι έχουν χαμηλότερα επίπεδα ραδονίου, και η πυκνότητα των μετρήσεων εδώ είναι περίπου 5 τιμές ανά τετράγωνο του καννάβου των 5 km. Το σχήμα των υψηλών επιπέδων ραδονίου στο χάρτη έχει καλή συσχέτιση με ταυτοποιήσιμα γεωλογικά χαρακτηριστικά. Το σχήμα 4.2 είναι μόνο ένα παράδειγμα της μεθόδου: αρκετά προβλήματα απομένουν για να επιλυθούν, όπως το ποια είναι η πιο πρόσφορη μέθοδος για να εφαρμοσθεί σε σχέση με την στάθμιση με βάση την απόσταση. Ωστόσο, είναι ήδη ξεκάθαρο ότι τέτοιου είδους χάρτες θα επιτρέψουν στις εκστρατείες μετρήσεων σε περιοχές με υψηλά επίπεδα ραδονίου να είναι στοχευμένες με πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια από ότι επιτρέπει ο χάρτης με τετραγωνικό κάρναβο 5 km του σχήματος 4.1.

4.3 Γεωστατιστικές απεικονίσεις συγκεντρώσεων ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους (ανάλυση fractal - Παρούσα ΔΕ)

Fractal είναι μια δομή η οποία παρουσιάζει ομοιομορφία κλίμακας: φαίνεται παρόμοια σε ένα εύρος μεγεθύνσεων. Αυτό μπορεί να είναι μια ιδιότητα τόσο των αντικειμένων με κανονική γεωμετρία, όπως οι χιονονιφάδες, όσο και ακανόνιστων σχημάτων όπως είναι οι ακτογραμμές: υποστηρίζεται ότι οι μη-κανονικότητα του περιγράμματος των ακτών σε μια προβολή χάρτη είναι παρόμοια ως προς τον τύπο της μη-κανονικότητας σε μέσο- και μικροκλίμακες. Η συστροφή μιας ακτογραμμής σε ένα χάρτη προκαλεί το γεγονός ότι η γραμμή καταλαμβάνει το επίπεδο του χάρτη σε μεγαλύτερη έκταση από ότι καταλαμβάνει μια ευθεία γραμμή. Καθώς μια ευθεία γραμμή έχει διάσταση 1 και ένα επίπεδο έχει διάσταση 2, τότε μπορεί να λεχθεί ότι η ακτογραμμή έχει fractal διαστατικότητα μεταξύ 1 και 2: αυτή είναι και η fractal διάστασή της. Ομοίως, μια τοπογραφία έχει fractal διάσταση μεταξύ 2 και 3: οι Κάτω Χώρες ή η μεσοδυτική Αμερική θα έχουν fractal διάσταση κοντά στο 2· τα Ιμαλία εκτιμάται ότι θα έχουν fractal διάσταση λίγο μεγαλύτερη. Κάθε προσδιορισμένο αντικείμενο έχει fractal διάσταση και η χρησιμότητα του γεγονότος αυτού για τον χαρακτηρισμό γεωλογικών ιδιοτήτων ερευνάται.

Στη παρούσα διπλωματική εργασία ο χάρτης ραδονίου σε κατοικίες στην Πελοπόννησο προκύπτει ύστερα από στοχαστική ανάλυση των συγκεντρώσεων ραδονίου με τη μέθοδο των fractals. Η μέθοδος που ακολουθείται είναι παρόμοια με αυτή που χρησιμοποίησαν οι Raes et al όταν χαρτογράφησαν τα επίπεδα ^{137}Cs στη

Γερμανία μετά το ατύχημα στο Chernobyl. Ο νέος αλγόριθμος που έχει αναπτύξει το ΕΠΤ-ΕΜΠ σε σχέση με αυτόν των Raes et al απαιτεί σημαντικά λιγότερο υπολογιστικό χρόνο. Ο αλγόριθμος αυτός περιγράφεται ως εξής:

Βήμα 1: Επιλέγονται τα σημεία του δικτύου δειγματοληψίας τα οποία παρουσιάζουν συγκέντρωση μεγαλύτερη ή ίση από συγκεκριμένο κατώφλι.

Βήμα 2: Υπολογίζονται όλες οι αποστάσεις μεταξύ των σημείων με απώτερο στόχο τον υπολογισμό της μέγιστης απόστασης η οποία και προσδιορίζεται.

Βήμα 3: Η μέγιστη απόσταση χωρίζεται σε s βήματα. Το κάθε βήμα δεν πρέπει να είναι πολύ μεγάλο γιατί έτσι η ακρίβεια είναι μικρή (δηλαδή να μη βλέπουμε το σύνολο από πολύ μακριά), αλλά ούτε και πολύ μικρό γιατί έτσι δημιουργούνται πολλά ζευγάρια αποστάσεων τα οποία περιέχουν το ίδιο μέγεθος δείγματος και χάνεται η συνέχεια της καμπύλης (να μη βλέπουμε δηλαδή το σύνολο από πολύ κοντά). Το βήμα που χρησιμοποιήθηκε σε αυτήν την εργασία είναι 200 και κρίνεται ικανοποιητικό [ΔΕ, Δ. Γεωργόπουλος, 1996] για ένα μεγάλο εύρος ζητούμενων συνόλων, διότι συνδυάζει καλή ευκρίνεια και μικρό υπολογιστικό χρόνο.

Βήμα 4: Υπολογίζονται ξανά οι αποστάσεις μεταξύ των σημείων και κάθε απόσταση ελέγχεται σε σχέση με το s το πλήθος διαφορετικές ακτίνες. (Η λύση αυτή του επανυπολογισμού των αποστάσεων προτιμήθηκε από εκείνη της αποθήκευσης των αποστάσεων που υπολογίσθηκαν στο βήμα 2, λόγω των μεγάλων απαιτήσεων σε μνήμη του Η/Υ που έχει η τελευταία. Επίσης για τον υπολογισμό των αποστάσεων δεν απαιτείται απαγορευτικός για την επιλογή αυτή υπολογιστικός χρόνος.) Εάν η απόσταση βρεθεί μικρότερη από την (s τάξεως) ακτίνα, ο μετρητής του πλήθους των σημείων $n_i(s)$ της ακτίνας αυξάνει κατά ένα.

Βήμα 5: Ακολουθώντας αυτό τον τρόπο η τελική τιμή του n_i της κάθε ακτίνας αντιστοιχεί στο μισό πλήθος σημείων γιατί η απόσταση μεταξύ δύο σημείων έχει καταμετρηθεί μόνο μια φορά αντί για δύο. Για να υπάρχει συνέπεια με την φιλοσοφία του αλγορίθμου των Raes et al., διαιρείται το n_i με το μισό του συνολικού πλήθους

σημείων και προσδιορίζεται έτσι το $\langle n_i(s) \rangle$. Έτσι εξηγείται και το δεκαδικό μέρος στους αριθμούς της πρώτης στήλης στα αρχεία που παράγονται. (Βλ. Παράρτημα Γ)

Βήμα 6: Τα αποτελέσματα του βήματος 5 ($\langle n_i(s) \rangle - \binom{s}{i}$) γράφονται σε αρχείο με κωδική ονομασία nLx, όπου x το όριο της συγκέντρωσης για το οποίο εκτελέστηκε στο πρόγραμμα. Επίσης τα αποτελέσματα αυτά λογαριθμίζονται ($\log \langle n_i(s) \rangle - \log \binom{s}{i}$) και γράφονται σε αρχείο με κωδική ονομασία logx, όπου x το όριο της συγκέντρωσης για το οποίο εκτελέστηκε στο πρόγραμμα. Τα αρχεία που παράγονται στο τελευταίο βήμα χρησιμοποιούνται για περαιτέρω επεξεργασία και χάραξη.

Οι χάρτες που χαράσσονται για την απεικόνιση των συγκεντρώσεων ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους έχουν τέσσερις χρωματικές περιοχές οι οποίες αντιστοιχούν σε ισάριθμες κλάσεις τιμών της εξεταζόμενης συγκέντρωσης ραδονίου. Οι κλάσεις αυτές καθορίζονται σύμφωνα με συγκεκριμένους κανόνες γεωστατιστικής με τη χρήση προγράμματος που έχει συνταχθεί για αυτόν τον σκοπό. Για τον υπολογισμό, με βάση τις μετρηθείσες τιμές στα σημεία δειγματοληψίας, της τιμής της συγκέντρωσης ραδονίου σε κάποιο σημείο που δεν υπάρχει μέτρηση, χρησιμοποιείται ένας κεντροβαρικός αλγόριθμος (βλ. § 6.3) οποίος λαμβάνει υπόψη και την απόσταση του συγκεκριμένου σημείου από τα σημεία που συμβάλλουν στον υπολογισμό. Σημειώνεται δε ότι ο αλγόριθμος αυτός επιτρέπει την μεταβολή της επίδρασης της απόστασης ώστε να απεικονίζεται όσο το δυνατόν ρεαλιστικότερα η συγκέντρωση ραδονίου.

Η πρωτοτυπία της μεθόδου του ΕΠΤ-ΕΜΠ έναντι άλλων μεθόδων που χρησιμοποιούν κεντροβαρικό αλγόριθμο έγκειται στο ότι για τον υπολογισμό της τιμής της συγκέντρωσης ραδονίου σε τυχόν σημείο A της απεικόνισης δεν συνεισφέρουν όλα τα σημεία δειγματοληψίας. Τα σημεία που τελικά συνεισφέρουν είναι μόνο εκείνα τα οποία βρίσκονται εντός κύκλου με κέντρο το σημείο A και ακτίνα την μέγιστη απόσταση για την οποία διατηρείται η fractal δομή του σχήματος δειγματοληψίας και η οποία προκύπτει από την προηγούμενη fractal ανάλυση. Το σκεπτικό πίσω από αυτήν την απαίτηση είναι το εξής: Δεδομένου ότι στην ίδια fractal δομή ανήκουν σημεία τα οποία απέχουν το πολύ μια μέγιστη απόσταση L_{max} , είναι

δυνατόν να συσχετιστούν, και άρα να εφαρμοστεί σε αυτά ο κεντροβαρικός αλγόριθμος, σημεία τα οποία απέχουν το πολύ L_{\max} .

Η fractal ανάλυση και η περαιτέρω χάραξη των απεικονίσεων περιγράφονται λεπτομερώς στα κεφάλαια 5 και 6.

4.4 Η μέθοδος του Krige (Kriging)

Το kriging είναι ένας διαφορετικός και ιδιαίτερος τρόπος για την εκτίμηση χωρικά κατανεμημένων τιμών από σημειακές τιμές. Οι υποστηρικτές του kriging έχουν αναπτύξει μια ξεχωριστή κουλτούρα ονοματολογίας και μεθοδολογίας, η οποία είναι γνωστή με την ονομασία Γεωστατιστική. Ο όρος γεωστατιστική, με την αυστηρή έννοια του όρου, δεν σημαίνει απλά οποιαδήποτε στατιστική μέθοδος που εφαρμόζεται σε γεωλογικά δεδομένα· αναφέρεται ειδικά στις συγκεκριμένες μεθόδους που θα περιγραφούν σε αυτό το εδάφιο. Ο όρος χρησιμοποιείται, μερικές φορές, λανθασμένα με την ευρεία έννοια· ο όρος Μαθενοριανή γεωστατιστική μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αποφευχθεί η σύγχυση (ο Matheron μαζί με τον Krige, ήταν οι κύριοι πρωτοπόροι της μεθόδου). Το Kriging αναπτύχθηκε για την πολύ ειδική εφαρμογή της πρόβλεψης αποθεμάτων χρυσού σε ορυχεία στην Νότια Αφρική χρησιμοποιώντας πληροφορίες από γεωτρήσεις, αλλά εξελίσσεται αυξανόμενα η χρήση του στην εξερεύνηση υδρογονανθράκων και άλλων γεωλογικών βιομηχανιών.

Ακολουθούν οι βασικές έννοιες και εξειδικευμένη ορολογία:

Εντοπισμένη μεταβλητή

Μια εντοπισμένη μεταβλητή έχει τιμές που είναι χωρικά συνεχείς: όλα τα σημεία μέσα σε μια περιοχή, καταρχήν, έχουν από μια μοναδική τιμή. Οι τιμές δεν είναι τυχαίες, αλλά ούτε περιγράφονται επακριβώς από κάποια γεωμετρική συνάρτηση. Μια κρίσιμη πλευρά της μη τυχαιότητας των εντοπισμένων μεταβλητών είναι ότι οι τιμές είναι σε κάποιο βαθμό ομαλές (βλ. σχήμα 4.3). Μια εντοπισμένη μεταβλητή αποτελείται από μια συνιστώσα ολίσθησης και τα υπόλοιπα.

Ολίσθηση

Η ολίσθηση είναι η συνιστώσα μιας εντοπισμένης μεταβλητής που προκύπτει από την επίδραση της μέσης τιμής και της κεντρικής τάσης. Η συνιστώσα ολίσθησης μπορεί να περιγραφεί από εξισώσεις όπως αυτές που χρησιμοποιούνται για να περιγράφουν επιφάνειες κεντρικής τάσης, με τη διαφορά ότι η ολίσθηση μπορεί να αναγνωρίζεται σε μια πιο τοπική κλίμακα. Πρώτης, δεύτερης και τρίτης τάξης κεντρικές τάσεις μπορεί να χρησιμοποιηθούν.

Υπόλοιπα

Υπόλοιπα είναι απλά η διαφορά μεταξύ της υπολογισθείσας ολίσθησης και των πραγματικών τιμών των δεδομένων.

Στασιμότητα

Μια μεταβλητή είναι στάσιμη αν δεν υπάρχει σημαντική ολίσθηση εντός μιας συγκεκριμένης περιοχής. Τα υπόλοιπα είναι, εξ ορισμού, στάσιμα.

Ημιμεταβλητόγραμμα

Το ημιμεταβλητόγραμμα είναι ένα διάγραμμα το οποίο περιγράφει τις ιδιότητες μιας εντοπισμένης μεταβλητής και χρησιμοποιείται για την εύρεση των σταθμικών τιμών που πρόκειται να προσαρτηθούν στις διάφορες τιμές των σημείων αναφοράς έτσι ώστε να γίνουν εκτιμήσεις για τα νέα σημεία.

Ημιδιακύμανση

Η ημιδιακύμανση περιγράφει το βαθμό της συσχέτισης των τιμών των σημείων αναφοράς τα οποία απέχουν κατά συγκεκριμένες αποστάσεις. Στην ιδανική περίπτωση, αυτή υπολογίζεται από δεδομένα τα οποία είναι τοποθετημένα πάνω σε βαθμονομημένο άξονα ή κάρναβο.

Ημιδιακύμανση

$$\gamma_h = \frac{\sum_{i=1}^{n-h} (z_i - z_{i+h})^2}{2(n-h)}$$

Όπου γ_h είναι η ημιδιακύμανση για μια απόσταση h , n είναι ο αριθμός των σημείων εντός του βαθμονομημένου άξονα και z_i είναι η τιμή της γεωλογικής μεταβλητής στο i -στο σημείο κατά μήκος του traverse.

Η ημιδιακύμανση υπολογίζεται για διάφορες αποστάσεις και το ημιμεταβλητόγραμμα κατασκευάζεται απλά ως το γράφημα του γ_h σε σχέση με το h (σχήμα 4.4). Όταν το h είναι μηδέν, ζεύγη τιμών των z που απέχουν μια απόσταση h μεταξύ τους είναι ταυτόσημα και η ημιδιακύμανση προφανώς ισούται με μηδέν. Όσο αυξάνει το h , η ομοιότητα μεταξύ των ζευγών των τιμών z τείνει να μειωθεί και η ημιδιακύμανση αυξάνει. Για μια συγκεκριμένη τιμή του h , επέρχεται ένα σημείο στο οποίο η ημιδιακύμανση σταματά να αυξάνει: αυτή είναι η τιμή του βεληνεκούς. Σημεία τα οποία απέχουν κάποια απόσταση η οποία ξεπερνά την τιμή του βεληνεκούς, είναι χωρικά ανεξάρτητα: είναι πέρα από την απόσταση εντός της οποίας η ενυπάρχουσα ομαλότητα της εντοπισμένης μεταβλητής συστήνει ένα βαθμό ομοιότητας. Συχνά, το ημιμεταβλητόγραμμα οριζοντιώνεται πέρα από το κατώφλι: η ημιδιακύμανση στο κατώφλι είναι ίση με τη διακύμανση. Ο μοναδικός παράγοντας που επηρεάζει τη σχέση μεταξύ σημείων που απέχουν μεταξύ τους είναι η συνολική διακύμανση.

Η ημιδιακύμανση μπορεί να υπολογιστεί για κάθε κατεύθυνση και είναι σύνηθες να λαμβάνονται τέσσερα προφίλ (βορράς-νότος, ανατολή-δύση και οι δύο διαγώνιοι). Αυτό επιτρέπει στην ανισοτροπία της ημιδιακύμανσης να περιορίζεται σε μια έλλειψη. Η ανισοτροπία θα προκύψει αναπόφευκτα από γεωλογικές ετερογένειες, όπως στρωματογραφική μεταβλητότητα και επιδράσεις από τεκτονικές τάσεις.

Επιλογή των σημείων αναφοράς που θα χρησιμοποιηθούν σε νέα εκτίμηση

Στο kriging, χρησιμοποιούνται σημεία αναφοράς τα οποία βρίσκονται σε απόσταση από το σημείο για το οποίο απαιτείται εκτίμηση, τέτοια που να είναι μικρότερη από

την εμβέλεια στο σημείο αυτό. Ο κύκλος ακτίνας ίσης με την εμβέλεια γύρω από ένα σημείο θεωρείται ότι εσωκλείει τα γειτονικά σημεία.

Υπολογισμός της σημειακής εκτίμησης

Η στάθμιση με βάση το αντίστροφο της απόστασης θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τον ορισμό των σταθμικών συντελεστών τα οποία είναι να εφαρμοσθούν στις τιμές των σημείων αναφοράς, αλλά η επιλογή του αντιστρόφου της απόστασης είναι αυθαίρετο. Το μέρος του ημιμεταβλητογράμματος εντός της εμβέλειας δείχνει το βαθμό της συσχέτισης σημείων τα οποία απέχουν απόσταση h , οπότε αυτά είναι πιο ικανοποιητικά. Επομένως, οι συντελεστές βαρύτητας που εφαρμόζονται στα σημεία που απέχουν απόσταση h από το σημείο το οποίο πρόκειται να εκτιμηθεί, βασίζονται στην ημιδιακύμανση για αυτή την απόσταση h . Πρακτικά, οι συντελεστές βαρύτητας προκύπτουν από ένα μοντέλο ημιμεταβλητόγραμμα: μια εξιδανικευμένη καμπύλη τυπικής μορφής η οποία θα έπρεπε να συνάγει το συμπέρασμα για την κεντρική τάση των σημειακών δεδομένων.

Γενικό kriging

Τα ημιμεταβλητογράμματα είναι αποτελεσματικός τρόπος για την περιγραφή του βαθμού ομαλότητας των στάσιμων εντοπισμένων μεταβλητών, αλλά, αν υπάρχει μια χωρική τάση ή ολίσθηση, τότε το αποτέλεσμα του ημιμεταβλητογράμματος θα περιέχει τις επιδράσεις του επιπέδου ομαλότητας, οι οποίες έχουν συνυπολογιστεί συν την ολίσθηση. Επιπρόσθετα, οι ημιδιακυμάνσεις δε θα είναι χρήσιμες για την πρόβλεψη της ολίσθησης στην γειτνιάζουσα περιοχή του σημείου που πρόκειται να εκτιμηθεί. Όταν δεν υπάρχει ολίσθηση, δηλαδή σε γνησίως στάσιμα δεδομένα, τότε χρησιμοποιείται το εντοπισμένο kriging (βλ. [56]).

Το πρόβλημα συνυπολογισμού της ολίσθησης επιλύθηκε με το γενικό kriging. Εδώ περιλαμβάνονται παραπάνω όροι στην matrix formulation για να περιγραφεί η ολίσθηση εντός των γειτονικών σημείων που μελετώνται. Αυτοί οι όροι είναι παρόμοιοι με αυτούς που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της κεντρικής τάσης σε επιφάνεια και κατ' αυτόν το τρόπο μπορεί να είναι γραμμικοί, τετραγωνικοί ή μεγαλύτερης τάξης.

4.4.1 Παραδείγματα χαρτογράφησης ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους με χρήση kriging

Προσπάθεια εφαρμογής kriging σε δεδομένα με συγκεντρώσεις ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους έγινε από τους G. Dubois et al επί αυστριακού εδάφους. Η χαρτογράφηση έγινε με ανάλυση δεδομένων από 12500 δειγματοληψίες που είχαν προηγηθεί κατά το χρονικό διάστημα 1992 έως 2002 σε ισόγεια πατώματα κατοικιών στην ευρύτερη περιοχή της Αυστρίας. Οι επιλεγθείσες δειγματοληψίες είχαν διεξαχθεί κάνοντας χρήση τριών διαφορετικών παθητικών τεχνικών:

- α. ανιχνευτές ενεργού άνθρακα
- β. ανιχνευτές με ηλεκτρίσιμο υλικό και
- γ. ανιχνευτές ιχνών

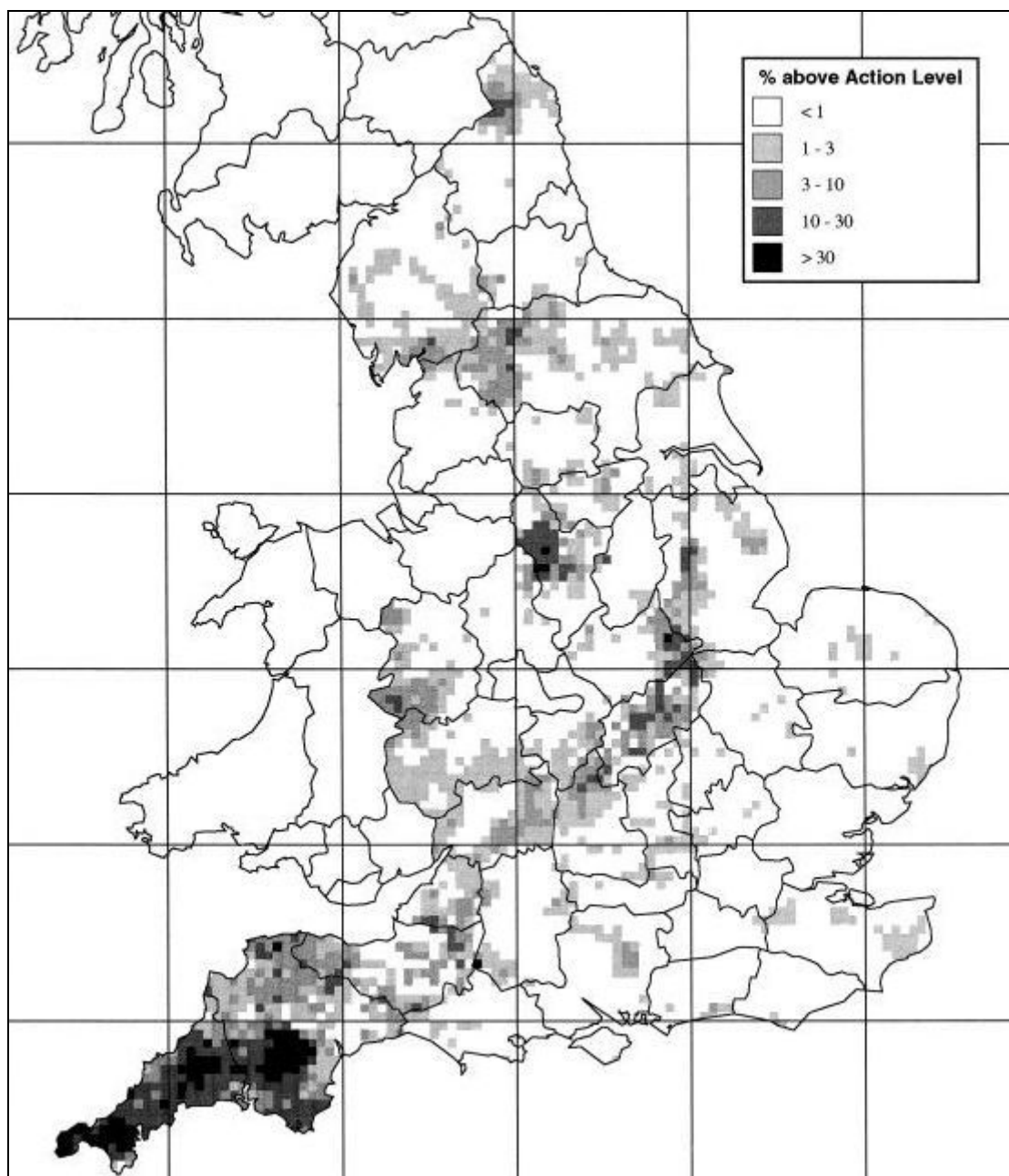
Επειδή οι τρεις τεχνικές διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τον τρόπο και τις συνθήκες μέτρησης, έγινε προσπάθεια με διάφορους τρόπους (βλ. [57]) να ελαχιστοποιηθούν πιθανές ανωμαλίες. Τα δεδομένα, στην αρχή, είχαν εξεταστεί ξεχωριστά για καθεμιά από τις τρεις μεθόδους. Οι εμπειρικές κατανομές τους ήταν λογαριθμοκανονικές, αν και η κατανομή των μετρήσεων που προέκυψαν με ανιχνευτή ενεργού άνθρακα ήταν πιο σκεδασμένη. Γι αυτό το λόγο τα δεδομένα μετατράπηκαν λαμβάνοντας το (φυσικό) τους λογάριθμο, προσέγγιση που έχει υιοθετηθεί συστηματικά και από άλλους εισηγητές. Επίσης, ασκήσεις διασύγκρισης που έχουν διεξαχθεί στο παρελθόν, έχουν δείξει ότι οι τρεις μέθοδοι είναι το ίδιο ικανές να δίνουν εκτιμήσεις για τη μεταβλητή “συγκέντρωση ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους” και να παράγουν ίδια αποτελέσματα εντός στατιστικής ανοχής [61, 62]. Κάνοντας σύγκριση των εμπειρικών variograms (βλ.[57]) της κάθε μεθόδου, φαίνεται η παρόμοια συμπεριφορά τους. Συνεπώς, για την χαρτογράφηση των επιπέδων ραδονίου έγινε χρήση των συνενωμένων δεδομένων από τις τρεις μεθόδους μέτρησης. Στο σχήμα 4.5 και 4.6 φαίνεται ο χάρτης με τα επίπεδα ραδονίου χρησιμοποιώντας κανονικό kriging.

Άλλη μια προσπάθεια εφαρμογής kriging για τη χαρτογράφηση των επιπέδων ραδονίου έγινε από τους H. C. Zhu et al. [58]. Η μελέτη έγινε με δεδομένα από 2200 δειγματοληψίες που ελήφθησαν με χρήση παθητικών ανιχνευτών ιχνών, από το νότιο Βέλγιο. Τα δεδομένα των συγκεντρώσεων ραδονίου είναι λογαριθμοκανονικά

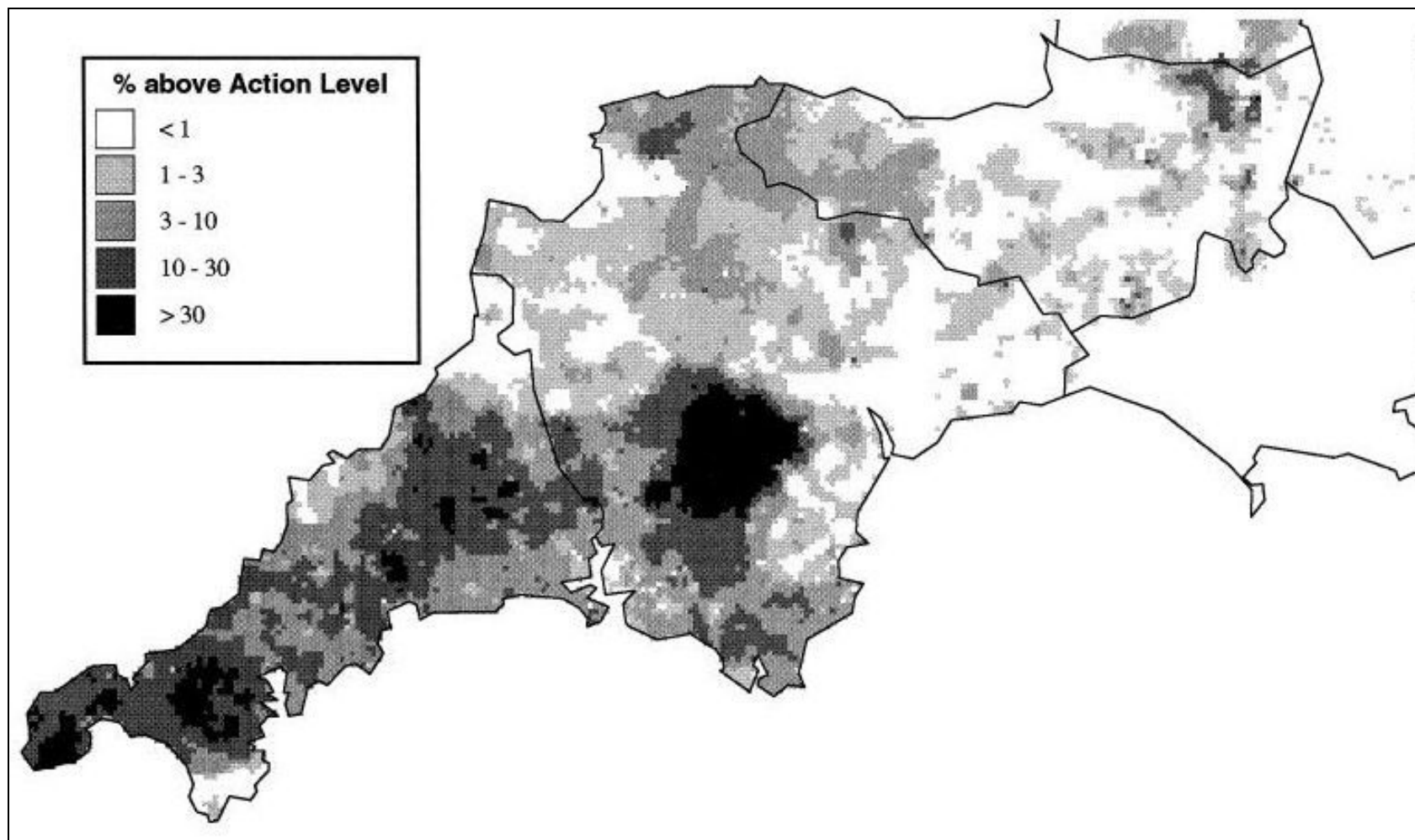
κατανομημένα. Γι αυτό το λόγο, χρησιμοποιήθηκαν λογαριθμικές μετατροπές των συγκεντρώσεων ραδονίου για την διεξαγωγή γεωστατιστικής ανάλυσης, συμπεριλαμβάνοντας εκτίμηση variogram και kriging. Στο σχήμα 4.7 απεικονίζεται ο χάρτης των επιπέδων ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους στο νότιο Βέλγιο.

Σχήματα του Κεφαλαίου

Σχήμα 4-1: Χαρτογράφηση με πλέγμα τετραγώνων διάστασης 5 km των εκτιμώμενων ποσοστών των κατοικιών που μετρήθηκαν για ραδόνιο και βρέθηκαν άνω του Επιπέδου Δράσης του Ηνωμένου Βασιλείου που είναι $200 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ [55]



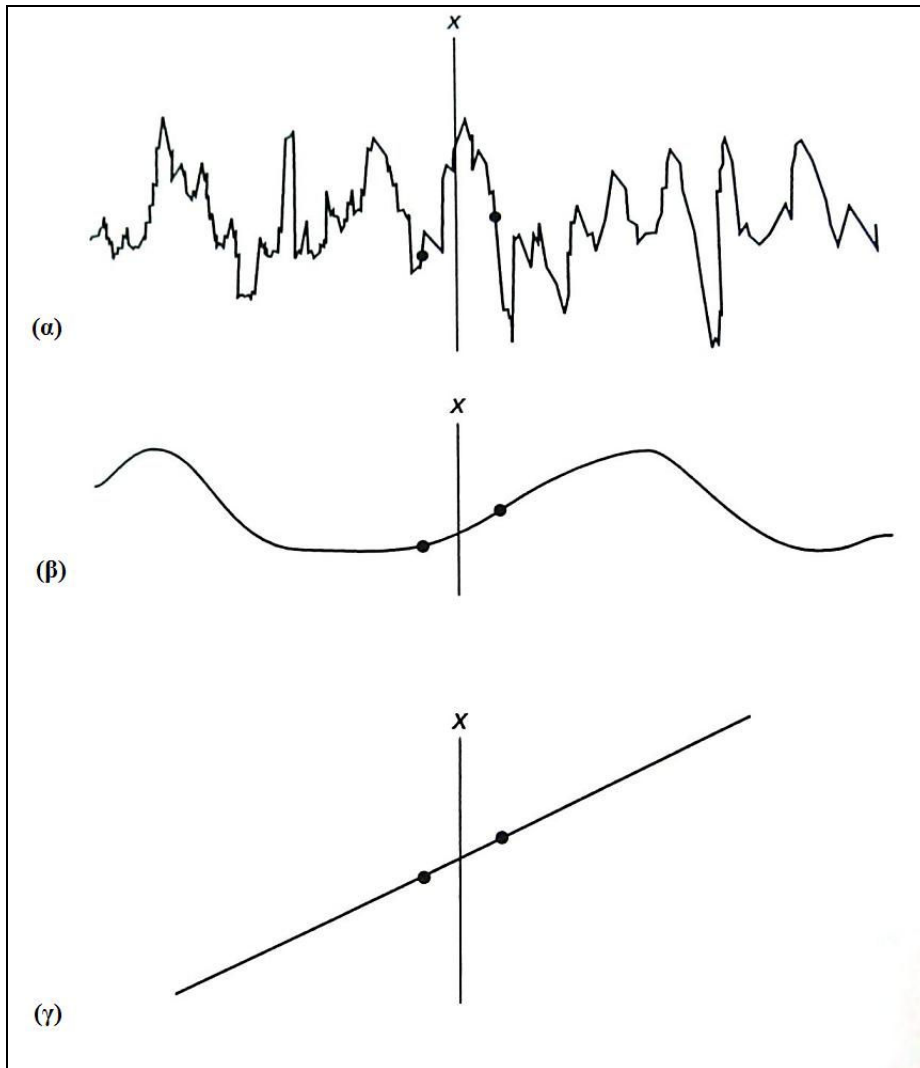
Σχήμα 4-2: Χαρτογράφηση με πλέγμα τετραγώνων διάστασης 1 km των εκτιμώμενων ποσοστών των κατοικιών που μετρήθηκαν για ραδόνιο στη νοτιοδυτική Αγγλία και βρέθηκαν άνω του Επιπέδου Δράσης του Ηνωμένου Βασιλείου που είναι $200 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ [55]



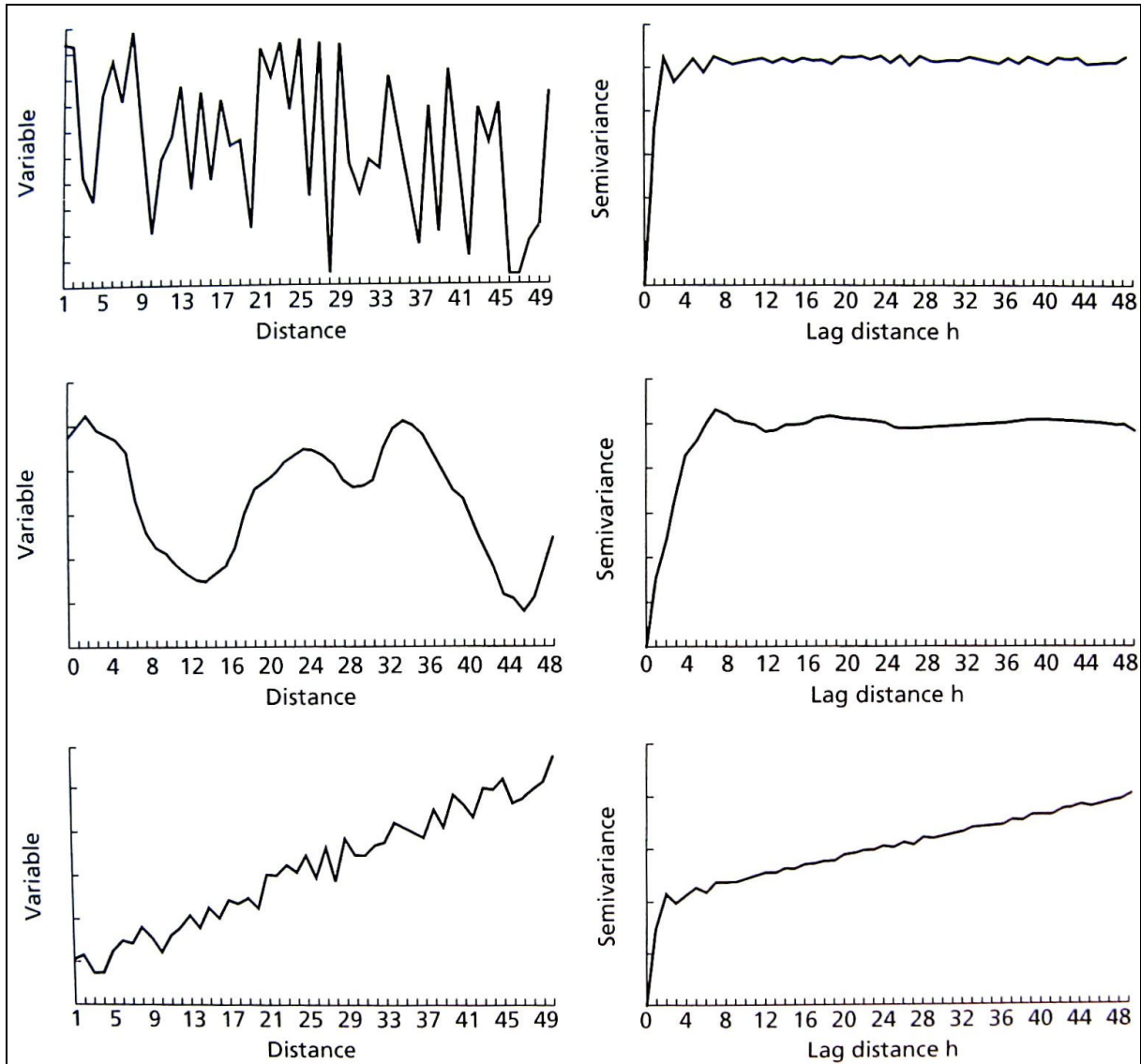
Σχήμα 4-3:

Διατομές διαμέσου υποθετικών επιφανειών: οι τελείες υποδεικνύουν τα σημεία αναφοράς και το x χαρακτηρίζει την τοποθεσία όπου χρειάζεται να γίνει μια εκτίμηση για την επιφάνεια [56].

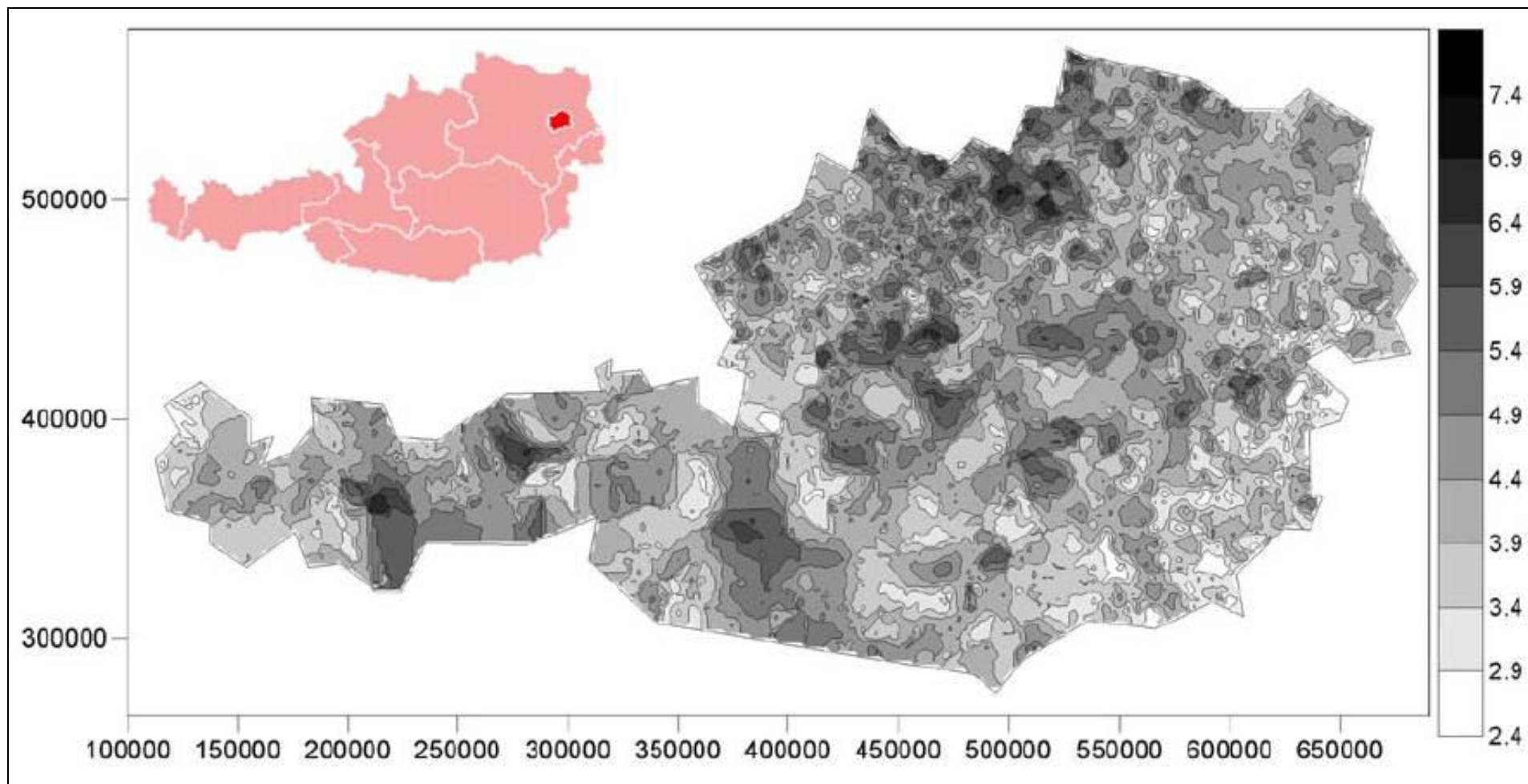
(α) Πολύ μικρή ομαλότητα: η εκτίμηση θα είναι τελείως ανακριβής. (β) Ομαλή επιφάνεια, καλή εκτίμηση είναι δυνατή. (γ) Ιδανική ομαλότητα, η εκτίμηση μπορεί να είναι απόλυτα ακριβής. Πρακτικά, εάν δεν είναι γνωστός ο βαθμός ομαλότητας από την αρχή, δε μπορεί να αποδοθεί καμία αξιοπιστία στην εκτίμηση.



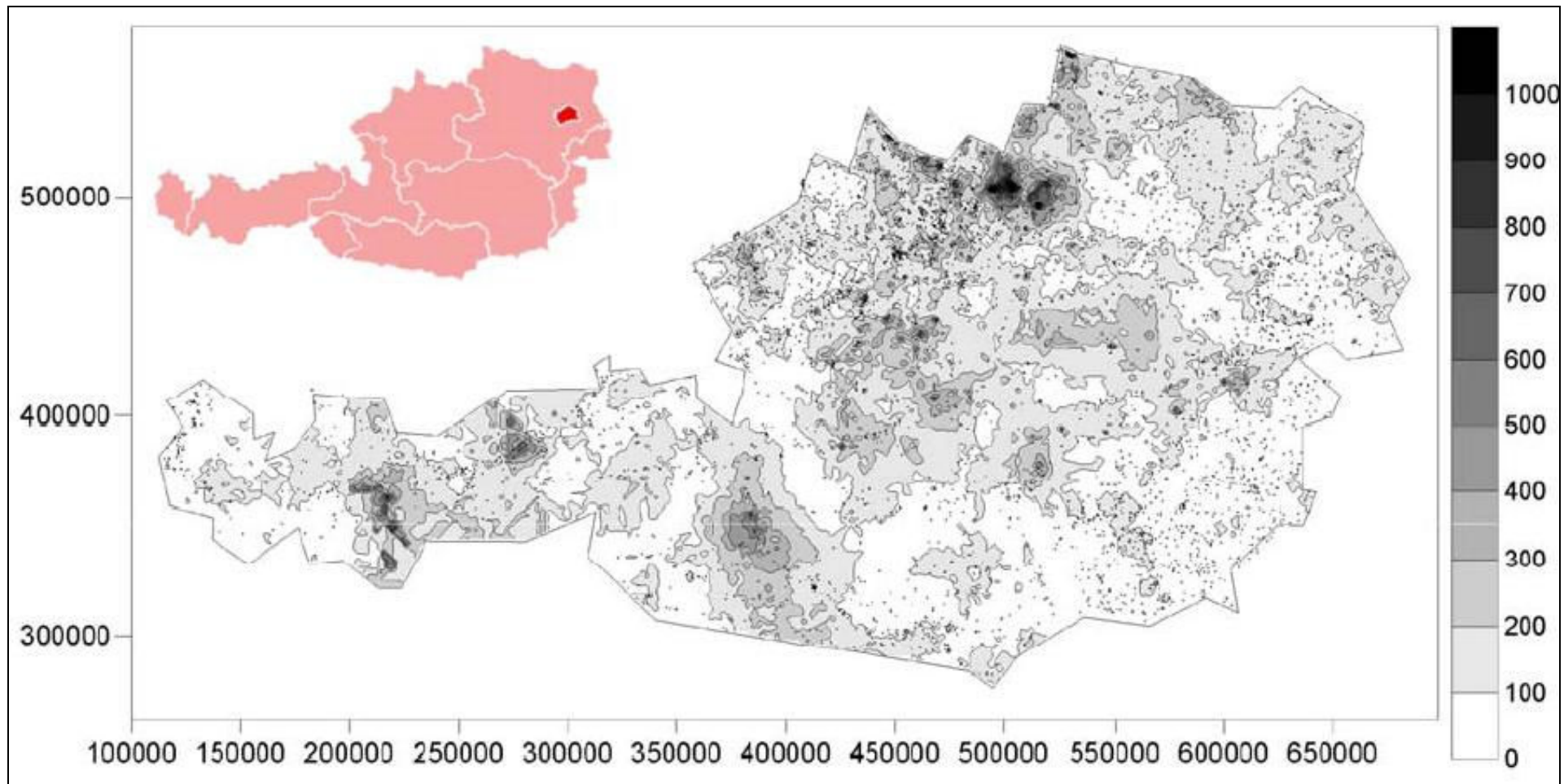
Σχήμα 4-4: Παραδείγματα σημειοσυνόλων μαζί με τα ημιμεταβλητογράμματά τους. Η τυχαία αλληλουχία στο πρώτο σχήμα δίνει ημιμεταβλητόγραμμα με μικρή εμβέλεια. Το εύρος στο δεύτερο σχήμα είναι μεγαλύτερο με ομαλότερο σημειοσύνολο. Στο τρίτο σχήμα, η τάση της ημιδιακύμανσης αυξάνει συνεχώς [56].



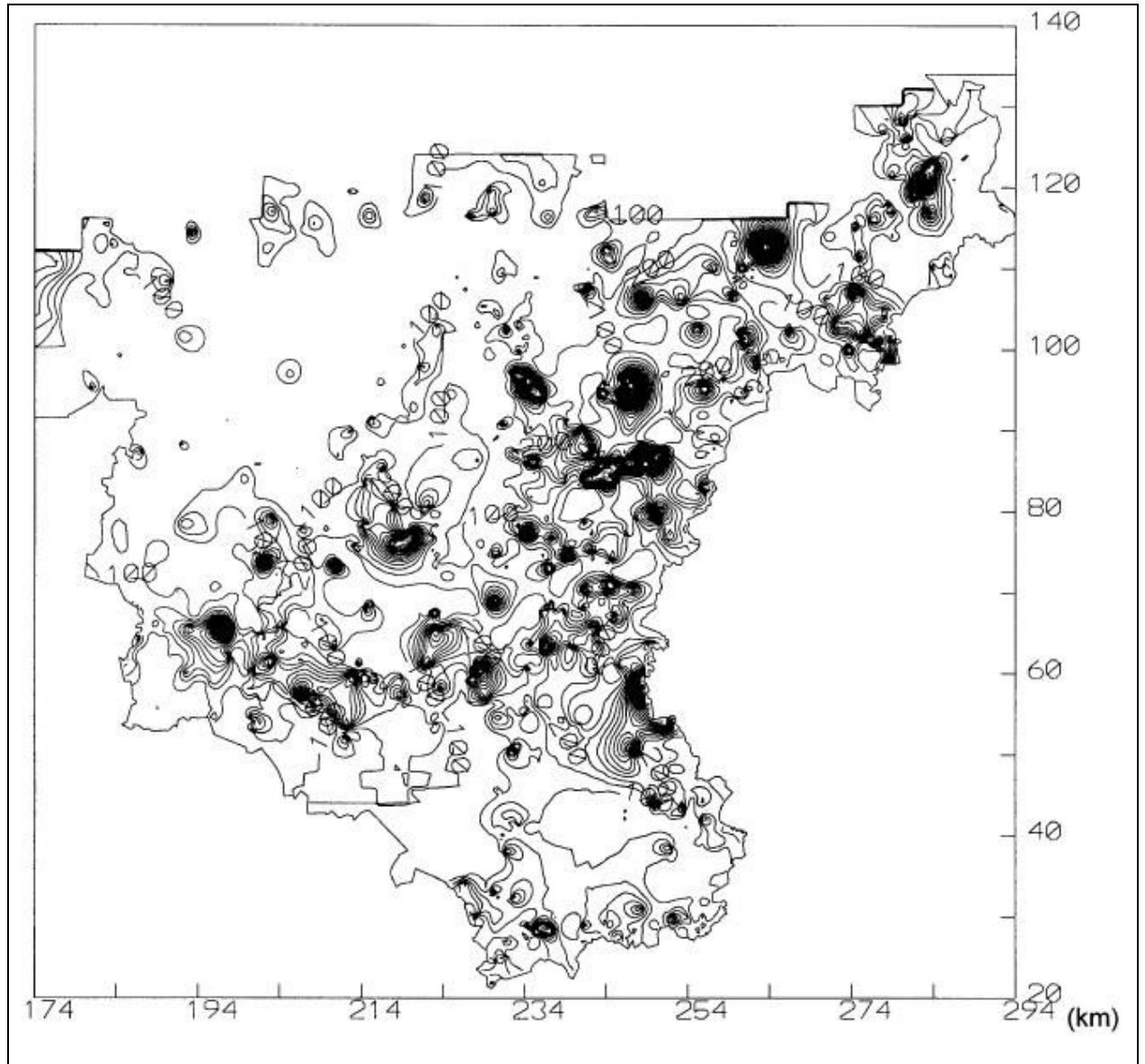
Σχήμα 4-5: Χάρτης των επιπέδων ραδόνιου σε εσωτερικούς χώρους στην Αυστρία, οι οποίοι προέκυψαν με κανονικό kriging εφαρμοσμένο στους φυσικούς λογαρίθμους (μονάδες σε $\ln(\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3})$) [57]



Σχήμα 4-6: Χάρτης των επιπέδων ραδόνιου σε εσωτερικούς χώρους στην Αυστρία, οι οποίοι προέκυψαν με λογαριθμικοκανονικό kriging (μονάδες σε $Bq \cdot m^{-3}$) [57]



Σχήμα 4-7: Περιγραμμένος, με χρήση kriging, χάρτης των συγκεντρώσεων ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους στο νότιο Βέλγιο. Διάστημα περιγράμματος 50 Bq·m⁻³ [58].



5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΤΩΝ FRACTALS ΣΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΡΑΔΟΝΙΟΥ ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ ΣΤΟ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑ ΤΗΣ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ

5.1 Εισαγωγή

Για να είναι δυνατό να προχωρήσουμε αξιόπιστα στη χάραξη γεωστατιστικών απεικονίσεων με βάση την αναπτυχθείσα έως σήμερα μεθοδολογία στο ΕΠΤ-ΕΜΠ, είναι αναγκαίο να προηγηθεί ανάλυση του σχήματος δειγματοληψίας με τη μέθοδο των Fractal.

Στο κεφάλαιο αυτό χρησιμοποιούνται μέθοδοι που αναπτύχθηκαν και περιγράφονται σε προηγούμενες μελέτες του ΕΠΤ-ΕΜΠ [ΔΕ, Ε. Σταθοπούλου 1998] και αφορούν την ανάλυση με τη μέθοδο των fractals, τόσο για το σχήμα δειγματοληψίας που εφαρμόστηκε, όσο και για τη multi-fractal δομή που αναμένεται να παρουσιάσουν οι συγκεντρώσεις ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους στην Πελοπόννησο.

Για την χάραξη των γραφικών παραστάσεων της ανάλυσης, χρησιμοποιήθηκαν οι βιβλιοθήκες σχεδίασης που έχουν αναπτυχθεί στο ΕΠΤ-ΕΜΠ.

5.2 Σημεία δειγματοληψίας

Υπενθυμίζεται εδώ, ότι από ολόκληρη την Πελοπόννησο (περίπου 1300 δήμοι/κοινότητες), τα σημεία που πρόκειται να αναλυθούν είναι 141 για τα οποία υπήρχαν διαθέσιμες μετρήσεις. Οι γεωγραφικές συντεταγμένες καθώς και το ύψος των σημείων βρέθηκαν με το πρόγραμμα **Toponavigator**. Επειδή το εν λόγω πρόγραμμα βασίζεται στο γεωδαιτικό σύστημα WGS84, οι ευρεθείσες συντεταγμένες μετατράπηκαν στο γεωδαιτικό σύστημα ED 50. Αυτό έγινε με χρήση του προγράμματος **Coordtrans**.

5.3 Υπολογισμός της διάστασης fractal

Σύμφωνα με τον αλγόριθμο που αναφέρεται στην § 4.3 της παρούσας ΔΕ (βελτιωμένος αλγόριθμος των Raes et al) και με χρήση του προγράμματος **fract** παράγονται τα αρχεία τα οποία χρησιμοποιούνται για περαιτέρω ανάλυση με τη μέθοδο των fractals. Τα παραγόμενα αρχεία έχουν κωδική ονομασία **nLx**, όπου x αντιπροσωπεύει το όριο της συγκέντρωσης ραδονίου (π.χ. **nL25** είναι το αρχείο που παράγεται για συγκέντρωση ραδονίου μεγαλύτερη από 25 Bq/m³). Τα αρχεία αυτά περιέχουν αποστάσεις (L_i) και το μέσο όρο του πλήθους των σημείων που περιέχονται σε αυτές ($\langle n_i(L_i) \rangle$). Στο παράρτημα Γ υπάρχει περιγραφή της δομής των αρχείων αυτών, καθώς και λίστα με παράδειγμά τους. Το αρχείο δεδομένων του προγράμματος **fract** είναι το **Pel_241007.dat** και έχει τη δομή που περιγράφεται στο παράρτημα Β.

Για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών της fractal δομής χρησιμοποιείται το πρόγραμμα **regres** [Simopoulos, 1978] με το οποίο γίνεται εκθετική παρεμβολή στις καμπύλες μέσου όρου πλήθους σημείων ($\langle n_i(L_i) \rangle$ -αποστάσεων (L_i)).

Η εκθετική συνάρτηση η οποία παρεμβάλλεται στα δεδομένα των αρχείων **nLx** είναι του τύπου:

$$Y=A(0) X^{A(1)} \quad 5.1$$

όπου: X είναι η απόσταση (L_i) και

Y ο μέσος όρος του πλήθους των σημείων ($\langle n_i(L_i) \rangle$) που βρίσκονται μέσα σε αυτή.

Ο εκθέτης του X, A(1) είναι η fractal διάσταση του σημειοσυνόλου. Η παρεμβολή γίνεται στην περιοχή εκείνη της καμπύλης για την οποία έχουμε RMS < 20%. Η περιοχή αυτή προσδιορίζεται με επαναληπτική διαδικασία, στην οποία εκτελείται το **regres** για διάφορα εύρη αποστάσεων. Οι αρχικές τιμές της ελάχιστης και της μέγιστης απόστασης καθορίζονται κάθε φορά από το αντίστοιχο σχήμα που περιγράφεται στην § 5.6. Έτσι έχουμε μια πρώτη προσέγγιση για το εύρος των αποστάσεων για τις οποίες υπάρχει fractal δομή στο σημειοσύνολο. Ο στόχος είναι να επιτευχθεί το κριτήριο RMS < 20% για όσο το δυνατό μεγαλύτερο εύρος αποστάσεων.

Για τη μελέτη της multi-fractal δομής της συγκέντρωσης ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους καθορίστηκαν τρία όρια, τα οποία οδήγησαν στον προσδιορισμό τεσσάρων κλάσεων. Τα όρια των κλάσεων καθορίστηκαν σύμφωνα με κανόνες γεωστατιστικής οι οποίοι θα αναφερθούν εκτενέστερα στην § 5.2, έτσι ώστε στην πρώτη κλάση να περιλαμβάνεται περίπου το 50% των σημείων δειγματοληψίας, στη δεύτερη περίπου το 25%, στην τρίτη περίπου το 15% και στην τέταρτη περίπου το 10%. Το ύψος των συγκεντρώσεων ραδονίου αυξάνει από την πρώτη στην τελευταία κλάση. Με βάση την πιο πάνω ανάλυση προέκυψαν για το ραδόνιο τα όρια των κλάσεων που αναφέρονται στον πίνακα 5.1. Για να μελετηθεί η σταθερότητα της multi-fractal δομής, έγιναν αναλύσεις και με άλλα όρια κλάσεων που δεν καθορίζονται με βάση τον παραπάνω κανόνα.

5.4 Μέθοδος αξιολόγησης αποτελεσμάτων ανάλυσης fractal

Σύμφωνα με τα όσα αναφέρονται στη [ΔΕ, Ε. Σταθοπούλου 1998] είναι σαφές ότι στην ανάλυση υπεισέρχονται δύο διαφορετικού τύπου fractal δομές:

1. Η fractal δομή του σχήματος δειγματοληψίας, η οποία προκύπτει από ανάλυση με τη συμμετοχή όλων των σημείων δειγματοληψίας. Χαρακτηριστικά μεγέθη αυτής της δομής, είναι:

1.1. Η fractal διάσταση του σχήματος δειγματοληψίας, $A(1)_0$

1.2. Η ελάχιστη απόσταση μεταξύ δύο σημείων δειγματοληψίας για την οποία διατηρείται η fractal δομή, L_{min_0}

1.3. Η μέγιστη απόσταση μεταξύ δύο σημείων δειγματοληψίας για την οποία διατηρείται η fractal δομή, L_{max_0}

2. Η multi-fractal δομή της συγκέντρωσης ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους στην Πελοπόννησο. Τα χαρακτηριστικά μεγέθη αυτής της δομής προκύπτουν από την ανάλυση συνόλων σημείων τα οποία παρουσιάζουν συγκέντρωση μεγαλύτερη από ένα δεδομένο όριο (άνω όριο δεν υπάρχει). Τα μεγέθη αυτά είναι:

2.1. Η fractal διάσταση του σημειοσυνόλου, $A(1)$

2.2. Η ελάχιστη απόσταση μεταξύ δύο σημείων δειγματοληψίας για την οποία διατηρείται η fractal δομή, L_{min}

2.3. Η μέγιστη απόσταση μεταξύ δύο σημείων δειγματοληψίας για την οποία διατηρείται η fractal δομή, L_{max}

Έτσι λοιπόν σύμφωνα με τα παραπάνω, η αξιολόγηση των σχημάτων των δειγματοληψιών γίνεται σύμφωνα με τα παρακάτω κριτήρια:

1. Το πρώτο κριτήριο ελέγχει την ομοιομορφία του σχήματος της δειγματοληψίας. Έστω ένα σημειοσύνολο το οποίο παρουσιάζει συγκέντρωση μεγαλύτερη από δεδομένο όριο και του οποίου η fractal διάσταση είναι $A(1)$. Για να είναι το σχήμα της δειγματοληψίας επαρκώς ομοιόμορφο ώστε να μπορεί να ανιχνεύσει ασφαλώς το σημειοσύνολο αυτό πρέπει:

$$2-A(1)_0 < A(1)$$

5.2

2. Το δεύτερο κριτήριο ελέγχει την πυκνότητα του σχήματος της δειγματοληψίας. Έστω ένα σημειοσύνολο το οποίο παρουσιάζει συγκέντρωση μεγαλύτερη από δεδομένο όριο και του οποίου η ελάχιστη απόσταση είναι L_{min} . Για να είναι το σχήμα της δειγματοληψίας αρκετά πυκνό ώστε να μπορεί να ανιχνεύσει το σημειοσύνολο αυτό, πρέπει:

$$L_{min} > L_{min_0}$$

5.3

5.5 Αποτελέσματα fractal ανάλυσης δειγματοληψίας στην Πελοπόννησο

Στους πίνακες 5.2 έως 5.6 παρατίθενται τα στοιχεία της fractal δομής των συγκεντρώσεων ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους στο γεωγραφικό διαμέρισμα της Πελοποννήσου. Οι καταχωρήσεις των εν λόγω πινάκων ακολουθούν την παρακάτω δομή:

- Στην στήλη 1 φαίνονται τα σημεία από τα αρχεία nLx που χρησιμοποιήθηκαν κάθε φορά στην παρεμβολή. Δηλαδή:

πρώτο_τελευταίο

- Στη στήλη 2 είναι ο συντελεστής $A(1)$ της εξίσωσης παρεμβολής:

$$Y=A(0) X^{A(1)} \quad 5.4$$

Υπενθυμίζεται, ότι το Y αντιπροσωπεύει το μέσο όρο του πλήθους των σημείων ($\langle n(L) \rangle$), το X την απόσταση (L) μέσα στην οποία βρίσκονται $\langle n(L) \rangle$ κατά μέσο όρο σημεία και ότι $A(1)$ είναι η fractal διάσταση του συνόλου.

- Στην στήλη 4 το RMS [%] της παρεμβολής στην εξίσωση 5.4
- Στις στήλες 5 και 6 του πίνακα 5.6., η ελάχιστη και η μέγιστη απόσταση (L_{min} , L_{max}) για τις οποίες διατηρείται η fractal δομή και οι οποίες αντιστοιχούν στο πρώτο και το τελευταίο σημείο της στήλης 1.

Στον πίνακα 5.6 παρατίθενται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα των αναλύσεων fractal που πραγματοποιήθηκαν, δηλαδή τα χαρακτηριστικά της fractal δομής του δικτύου δειγματοληψίας αλλά και της multi-fractal δομής της συγκέντρωσης ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους. Τα χαρακτηριστικά του σχήματος δειγματοληψίας φαίνονται για την περίπτωση συγκέντρωσης ραδονίου μεγαλύτερη του μηδενός (μιας και σε αυτήν την ανάλυση συμμετέχουν όλα τα σημεία δειγματοληψίας).

Τα κριτήρια της επιλογής των εξισώσεων οι οποίες περιγράφουν την fractal δομή των διαφόρων σημειοσυνόλων με τις συγκεντρώσεις ραδονίου, είναι αυτά που αναλύθηκαν στην § 5.4 και αναφέρονται συνοπτικά παρακάτω:

1. RMS < 20%
2. Ελάχιστο L_{min}
3. Μέγιστο L_{max}

5.6 Σχήματα με χάραξη των καμπυλών $\langle n(L) \rangle = f(L)$

Στο σχήμα 5.1 ουσιαστικά φαίνονται τα αρχεία τύπου nLx , σε γραφική μορφή. Στο άξονα με τον προσδιορισμό Distance συμβολίζεται η ανεξάρτητη μεταβλητή L . Στον άξονα με τον προσδιορισμό Sampling Size συμβολίζεται η εξαρτημένη μεταβλητή $\langle n(L) \rangle$. Η μέγιστη απόσταση που παρατηρείται στην Πελοπόννησο είναι περίπου 250 km.

Στις περισσότερες καμπύλες διακρίνεται καθαρά η περιοχή ισχύος της fractal δομής (γραμμική περιοχή). Η γραμμική αυτή περιοχή αντιστοιχεί στην περιοχή των αποστάσεων μέσα στις οποίες διατηρείται η διάσταση fractal και μέσα σε αυτή την περιοχή έχει γίνει η παρεμβολή εκθετικής συνάρτησης. Όπως φαίνεται και από τις τέσσερις καμπύλες του σχήματος 5.1, η γραμμική αυτή περιοχή εντοπίζεται μεταξύ L_{\min} περίπου 50 km και L_{\max} περίπου 160 km.

5.7 Σχόλια - Συμπεράσματα

Από τους πίνακες 5.6 και 5.7 και σύμφωνα με τη θεωρία των fractals που αναφέρεται στη [ΔΕ. Ε. Σταθοπούλου. 1998], εξάγονται τα εξής συμπεράσματα:

1. Η συγκεντρώσεις ραδονίου που μετρήθηκαν σε κατοικίες στην Πελοπόννησο εμφανίζουν multi-fractal δομή
2. Καθώς αυξάνει το όριο της συγκέντρωσης ραδονίου, η fractal διάσταση του σημειοσυνόλου αυξάνεται⁷. Αυτό ίσως να οφείλεται στο μικρό όγκο δεδομένων για συγκεντρώσεις ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους, μόνο 141 για όλη την Πελοπόννησο, σε συνδυασμό με την όχι και τόσο καλή ομοιομορφία των σημείων δειγματοληψίας όσον αφορά συνολικά το γεωγραφικό διαμέρισμα της Πελοποννήσου. Είναι γεγονός ότι το μεγαλύτερο μέρος των μετρήσεων εντοπίζεται στις κατοικημένες περιοχές, ενώ εκεί όπου υπάρχουν μεγάλοι ορεινοί όγκοι οι μετρήσεις είναι πιο αραιές. Στο σχήμα 5.2 φαίνονται χαρακτηριστικά οι κενές περιοχές (γκρι κύκλοι).

Σε προηγούμενες μελέτες του ΕΠΤ-ΕΜΠ, όπως π.χ. η ΔΕ της Σταθοπούλου στην περίπτωση της χαρτογράφησης ^{226}Ra στην περιοχή της Μεγαλόπολης, η γενική τάση του φαινομένου είναι: καθώς αυξάνεται το όριο της συγκέντρωσης του ραδιενεργού στοιχείου, η fractal διάσταση μειώνεται. Αυτό αποδίδεται στη

⁷ Στην ιδανική περίπτωση, όπου το αρχικό σημειοσύνολο της δειγματοληψίας κατανέμεται κατά τέτοιο τρόπο που να σχηματίζει πλήρη κάρναβο, οποίος κείται πάνω σε απολύτως οριζόντιο επίπεδο, η fractal διάσταση της δομής του σημειοσυνόλου είναι ακριβώς 2 (βλ. [3]). Σε αυτή την περίπτωση οποιοδήποτε υποσύνολο του αρχικού σημειοσυνόλου, το οποίο προκύπτει με αφαίρεση σημείων που βρίσκονται κάτω από ένα επίπεδο της τιμής του απεικονιζόμενου μεγέθους θα έχει πάντα fractal διάσταση της οποίας η τιμή θα είναι μικρότερη ή ίση του 2.

χειρότερη ομοιομορφία που παρουσιάζει το σημειοσύνολο, αφού από την ανάλυση αφαιρούνται όλα τα σημεία που έχουν τιμή μικρότερη από το δεδομένο όριο συγκέντρωσης. Αυτό συμβαίνει επειδή στην περίπτωση της ΔΕ της Σταθοπούλου, ήταν πιο εφικτό να διατηρηθεί η τυχαιότητα και η κανονικότητα της δειγματοληψίας, αφού τα δείγματα προέρχονται από το επιφανειακό έδαφος και δεν είναι εντοπισμένα όπως στην περίπτωση της παρούσας εργασίας. Υπενθυμίζεται, ότι τα δείγματα των συγκεντρώσεων ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους είναι εντοπισμένα στις κατοικημένες περιοχές της Πελοποννήσου και στους οικισμούς που είναι εύκολα προσβάσιμοι από κεντρικό οδικό δίκτυο (Π.χ. βλ. παραλία Κορινθιακού κόλπου, σχήμα 5.2).

Στους παραπάνω λόγους, λοιπόν, αποδίδεται η αύξηση της fractal διάστασης στην ανάλυση της παρούσας εργασίας, καθώς αυξάνεται το όριο της συγκέντρωσης ραδονίου. Επιπροσθέτως, παρατηρώντας τον χάρτη με τις συγκεντρώσεις ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους (σχήμα 5.2), καλύτερα, φαίνεται ότι τα θερμά σημεία (hot spots) είναι πιο ομοιόμορφα κατανεμημένα πάνω στην Πελοπόννησο, απ' ότι το σύνολο το σημείων.

3. Επίσης, λόγω του μικρού πλήθους μετρήσεων η L_{\min} για την οποία διατηρείται η multi-fractal δομή του σημειοσυνόλου είναι αρκετά μεγάλη (περίπου 50 km). Σε προηγούμενες μελέτες χαρτογράφησης, από το ΕΠΤ-ΕΜΠ, της διασποράς των ραδιενεργών στην ελληνική επικράτεια οι αντίστοιχες L_{\min} είναι κατά πολύ μικρότερες. Αυτό σημαίνει ότι με τόσο μικρά σημειοσύνολα: είναι δύσκολο να παραχθεί χάρτης σε μεγάλη κλίμακα, αυτός θα έχει μικρή διακριτική ικανότητα, θα παρέχει μια γενική – ενδεικτική συμπεριφορά του φαινομένου, με αποτέλεσμα κάποια μικρότερης έκτασης φαινόμενα να ομαδοποιούνται και να συγχέονται οι διαφορές μεταξύ τους.
4. Από τον πίνακα 5.7 βγαίνει το συμπέρασμα ότι το δίκτυο δειγματοληψίας είναι ασφαλές όσον αφορά την ομοιομορφία, είναι δηλαδή αρκετά ομοιόμορφο ώστε να ανιχνεύει ασφαλώς μεγάλες τιμές συγκεντρώσεων (κριτήριο 1).

Πίνακες του Κεφαλαίου

Πίνακας 5.1: Κλάσεις σημειοσυνόλων Πελοποννήσου

Ραδιενεργό ισότοπο	1 ^η κλάση	2 ^η κλάση	3 ^η κλάση	4 ^η κλάση
²²² Rn	0 Bq/m ³ έως 25 Bq/m ³	25 Bq/m ³ έως 40 Bq/m ³	40 Bq/m ³ έως 70 Bq/m ³	70 Bq/m ³ και άνω

Πίνακας 5.2: Fractal χαρακτηριστικά σημειοσυνόλου δειγματοληψίας στην Πελοπόννησο το οποίο παρουσιάζει συγκέντρωση ²²²Rn > 0 Bq/m³

Σημεία	A(1)	RMS [%]
102_178	1.25	14.902
105_174	1.3245	9.863
110_170	1.3899	5.834
131_174	1.2614	4.969

Πίνακας 5.3: Fractal χαρακτηριστικά σημειοσυνόλου δειγματοληψίας στην Πελοπόννησο το οποίο παρουσιάζει συγκέντρωση ²²²Rn > 25 Bq/m³

Σημεία	A(1)	RMS [%]
36_166	1.25	28.302
46_161	1.35	16.947
45_154	1.45	8.277
118_161	1.2815	4.877

Πίνακας 5.4: Fractal χαρακτηριστικά σημειοσυνόλου δειγματοληψίας στην Πελοπόννησο το οποίο παρουσιάζει συγκέντρωση $^{222}\text{Rn} > 40 \text{ Bq/m}^3$

Σημεία	A(1)	RMS [%]
11_155	1.3977	30.478
46_155	1.3955	12.034
91_155	1.3815	9.621
112_155	1.3269	6.999

Πίνακας 5.5: Fractal χαρακτηριστικά σημειοσυνόλου δειγματοληψίας στην Πελοπόννησο το οποίο παρουσιάζει συγκέντρωση $^{222}\text{Rn} > 70 \text{ Bq/m}^3$

Σημεία	A(1)	RMS [%]
89_157	1.622	7.898
114_157	1.612	5.377

Πίνακας 5.6: Αποτελέσματα fractal ανάλυσης για τα σημειοσύνολα στη Πελοπόννησο με τις συγκεντρώσεις ^{222}Rn

Συγκέντρωση $^{222}\text{Rn} > X [\text{Bq/m}^3]$	Σημεία	A(1)	RMS [%]	Lmin [km]	Lmax [km]
0	131_174	1.2614	4.969	50.1250	164.0059
25	118_161	1.2815	4.877	49.5921	161.7380
40	112_155	1.3269	6.999	49.5921	161.7380
70	114_157	1.6120	5.377	50.5344	163.0410

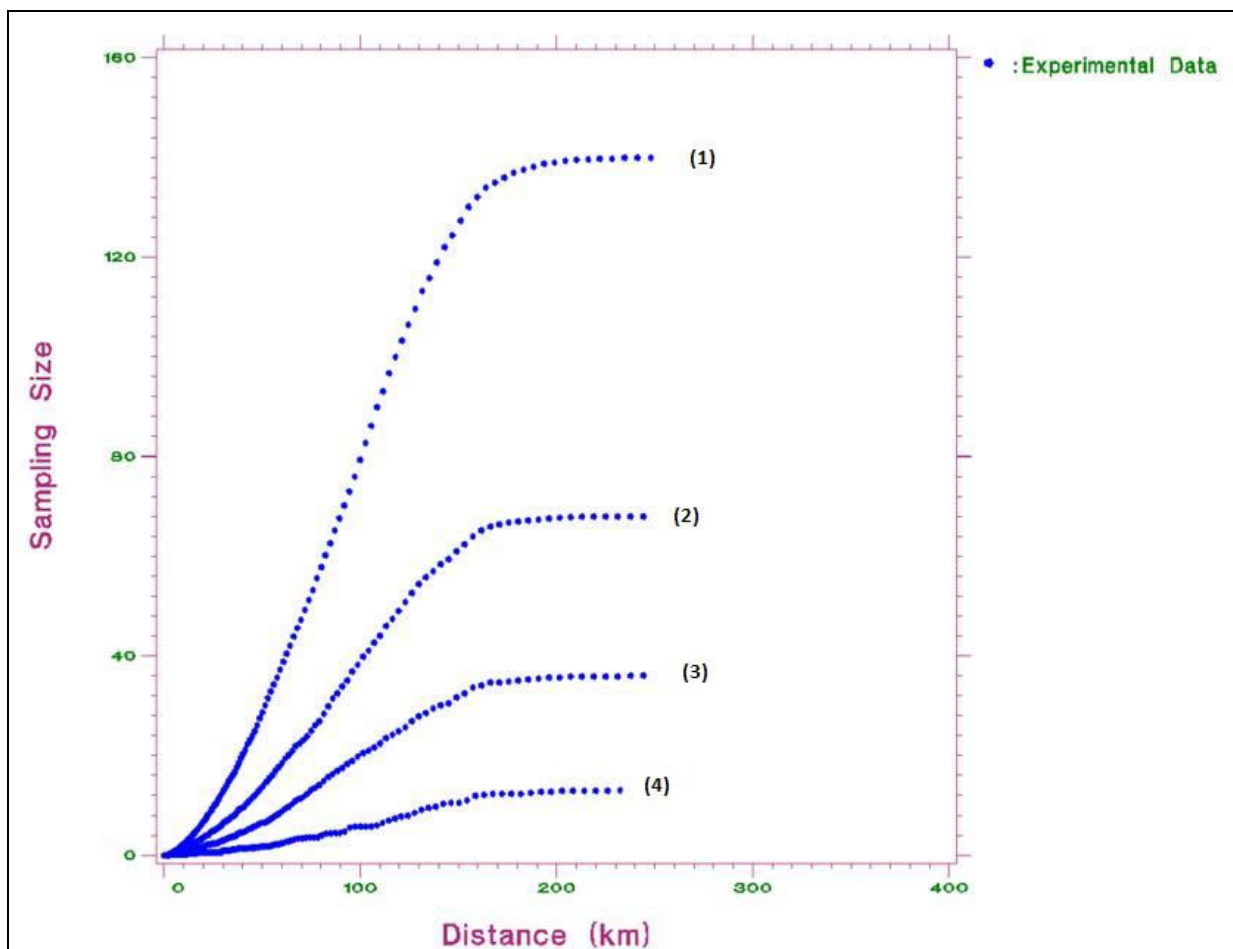
Πίνακας 5.7 Συμπεράσματα ανάλυσης fractal (Κριτήριο 1) για τα σημειοσύνολα με συγκεντρώσεις ^{222}Rn στην Πελοπόννησο

Συγκέντρωση >X [Bq/m ³]	A(1)	Όριο κινδύνου $2 - A(1)_0^8$	Κίνδυνος μη ανίχνευσης
0	1.2614	0.7386	
25	1.2815	>	Όχι
40	1.3269	>	Όχι
70	1.6120	>	Όχι

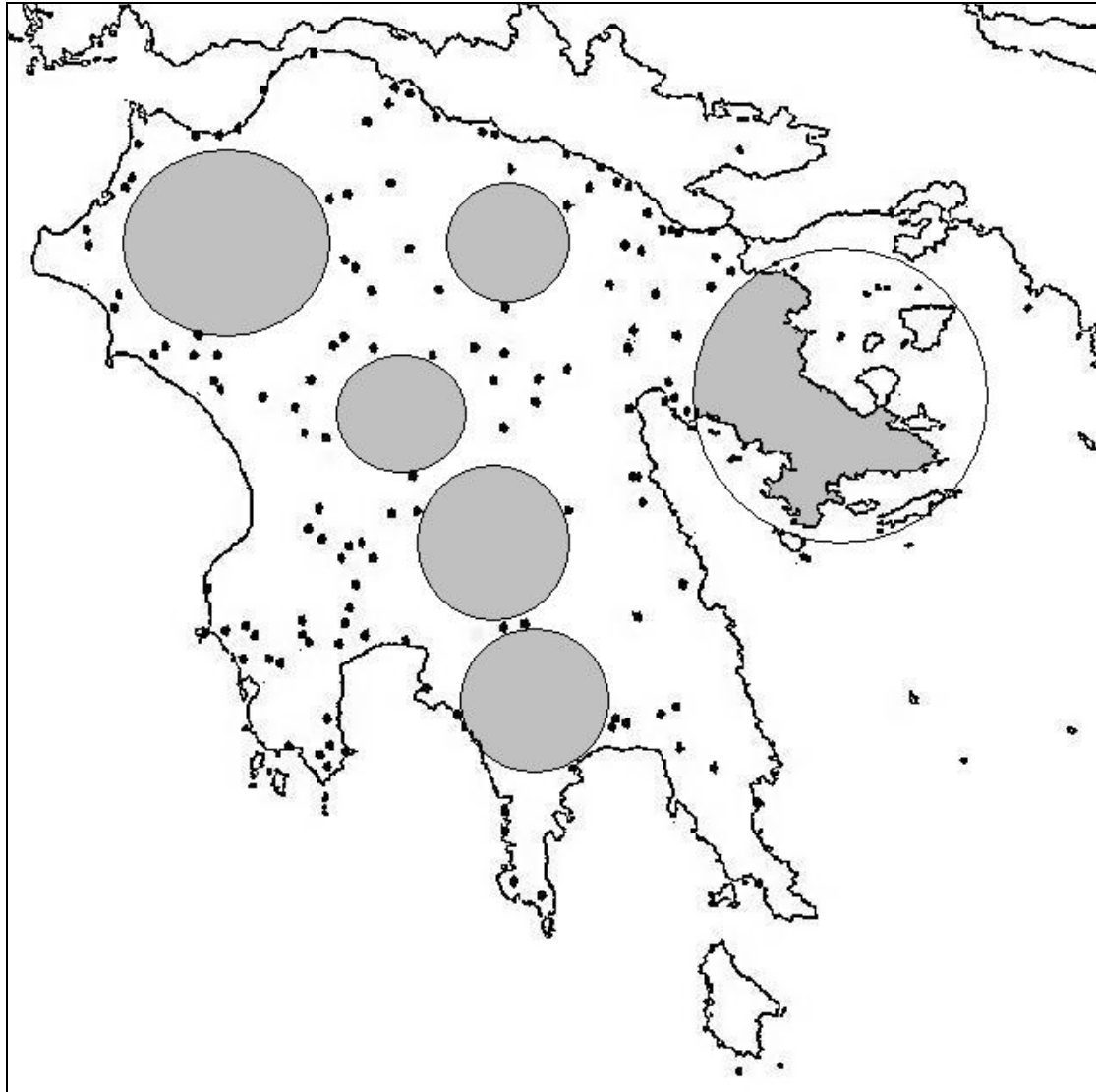
⁸ Το $A(1)_0$ είναι η διάσταση fractal του σχήματος δειγματοληψίας και παρουσιάζεται στην πρώτη γραμμή της δεύτερης στήλης του πίνακα.

Σχήματα του Κεφαλαίου

Σχήμα 5-1: Γραφική απεικόνιση σημειοσυνόλων που περιέχουν συγκεντρώσεις σε (1) $^{222}\text{Rn} > 0 \text{ Bq/m}^3$, (2) $^{222}\text{Rn} > 25 \text{ Bq/m}^3$, (3) $^{222}\text{Rn} > 40 \text{ Bq/m}^3$, (4) $^{222}\text{Rn} > 70 \text{ Bq/m}^3$



Σχήμα 5-2: Χάρτης που απεικονίζει το σημειοσύνολο. Με τους κύκλους τονίζεται η ανομοιομορφία του σχήματος δειγματοληψίας (κενές περιοχές).



6. ΓΕΩΣΤΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΙΣ ΡΑΔΟΝΙΟΥ ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ

6.1 Εισαγωγή

Μετά το πέρας της ανάλυσης fractal που παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 4, ακολουθεί το τελευταίο στάδιο της εργασίας, το οποίο είναι η χάραξη του χάρτη. Ο χάρτης αυτός απεικονίζει τη συγκέντρωση ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους, η οποία μετρήθηκε σε 141 οικισμούς της Πελοποννήσου. Ο κύριος σκοπός της χαρτογράφησης του ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους είναι η απεικόνιση της γεωγραφικής διασποράς της πιθανότητας, τα ήδη υπάρχοντα κτίρια ή αυτά που πρόκειται να κατασκευαστούν να εμφανίσουν επίπεδα ραδονίου πάνω από κάποιο όριο αναφοράς. Αυτή η πληροφόρηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διάφορους σκοπούς, όπως

- να διεξαχθούν εκστρατείες πληροφόρησης ενθαρρύνοντας της μετρήσεις επιπέδων ραδονίου στις κατοικίες ή
- να επιτραπεί η αλλαγή των κανόνων δόμησης έτσι ώστε τα νεόδμητα κτίρια να μην παρουσιάσουν προβλήματα με υψηλές συγκεντρώσεις ραδονίου.

Επίσης, πραγματοποιείται σύγκριση του χάρτη ραδονίου με το χάρτη του ραδίου στην Πελοπόννησο. Το Εργαστήριο Πυρηνικής Τεχνολογίας του ΕΜΠ από χρόνια απασχολεί ερευνητικά το πρόβλημα της μελέτης της ραδιενέργειας στο περιβάλλον της Ελλάδας. Για το σκοπό αυτό τόσο στο παρελθόν όσο και πρόσφατα διενεργήθηκε δειγματοληψία επιφανειακού εδάφους για τη μελέτη της περιεκτικότητάς του σε ραδιενεργά ισότοπα. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, για την παραπάνω σύγκριση, χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα των μετρήσεων της περιεκτικότητας της συγκέντρωσης του εδάφους της Ελλάδας σε ^{226}Ra .

6.2 Προσδιορισμός κλάσεων

Ένας χάρτης είναι βέλτιστος από πλευράς πληροφοριών τις οποίες παρέχει, όταν αφενός μεν δεν είναι πολύ απλός ώστε να δίνει ελλιπείς πληροφορίες, αφετέρου δε δεν είναι εξαιρετικά πολύπλοκος ώστε οι πολλές πληροφορίες που αυτός περιέχει να μην επιτρέπει την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Το ΕΠΤ-ΕΜΠ κατέχει μεγάλη εμπειρία στην χάραξη χαρτών και έχει εκπονήσει αρκετές αντίστοιχες μελέτες. Έχει διαπιστωθεί, ότι μια ικανοποιητική χάραξη είναι αυτή που απεικονίζει τέσσερις χρωματικές περιοχές. Οι περιοχές αυτές αντιστοιχούν σε τέσσερις κλάσεις τιμών των μετρηθεισών συγκεντρώσεων, έτσι ώστε στην πρώτη κλάση να ανήκει το 50% των σημείων με τις χαμηλότερες τιμές συγκεντρώσεων, στις αμέσως επόμενες το 25% και το 15% των σημείων αντίστοιχα, ενώ στην τελευταία να ανήκει το 10 % των σημείων με τις υψηλότερες τιμές συγκεντρώσεων.

Η εύρεση των ορίων που θα δώσουν την παραπάνω κατανομή, γίνεται με τη βοήθεια του προγράμματος **histo**, το οποίο έχει συνταχθεί στο ΕΠΤ-ΕΜΠ και αποτελεί μέρος του κώδικα γεωστατιστικών απεικονίσεων. Για να βρεθούν τα παραπάνω όρια ακολουθείται επαναληπτική διαδικασία διαδοχικών δοκιμών εκτελώντας σε κάθε βήμα το **histo**. Τα εισερχόμενα δεδομένα για να λειτουργήσει το πρόγραμμα είναι τα όρια των κλάσεων και οι συγκεντρώσεις ραδονίου που περιέχονται στο αρχείο **pel_241007.dat** (βλ. Παράρτημα Β). Με την εκτέλεση του προγράμματος εξάγεται το ιστόγραμμα της κατανομής των σημείων στις τέσσερις επιλεγμένες κλάσεις. Το πρόγραμμα σώζει το γράφημα σε εκτυπώσιμο αρχείο της μορφής Starbase-bitfile (βλ. σχήμα 6.1). Εκτός από τα όρια των κλάσεων, με το πρόγραμμα **histo** προσδιορίζονται επίσης:

1. Η ελάχιστη και η μέγιστη συγκέντρωση του ισοτόπου οι οποίες παρουσιάζονται στο αντίστοιχο αρχείο **pel_241007.dat**.
2. Το ποσοστό των σημείων που βρίσκονται εντός της δεδομένης κλάσης τιμών συγκεντρώσεων.
3. Άλλα στοιχεία, όπως το πλήθος των σημείων τα οποία αποτελούν το σύνολο, το μέσο όρο και την τυπική απόκλιση των συγκεντρώσεων που παρουσιάζουν τα σημεία.

Αφού εκτελέστηκε το πρόγραμμα **histo** προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα (βλ. σχήμα 6.1):

1. Το 51.06 % του δικτύου δειγματοληψίας παρουσιάζει συγκεντρώσεις ραδονίου από 0 έως 25 Bq·m⁻³ (1^η κλάση)
2. Το 22.7 % του δικτύου δειγματοληψίας παρουσιάζει συγκεντρώσεις ραδονίου από 25 έως 40 Bq·m⁻³ (2^η κλάση)
3. Το 16.31 % του δικτύου δειγματοληψίας παρουσιάζει συγκεντρώσεις ραδονίου από 40 έως 70 Bq·m⁻³ (3^η κλάση)
4. Το 9.93 % του δικτύου δειγματοληψίας παρουσιάζει συγκεντρώσεις ραδονίου από 70 και άνω, με μέγιστη τιμή 631.5 Bq·m⁻³ (4^η κλάση)

6.3 Αλγόριθμος παρεμβολής για την εκτίμηση της συγκέντρωσης ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους

Όπως και στη [ΔΕ Ε. Σταθοπούλου 1998] έτσι και στη παρούσα εργασία γίνεται χρήση του ίδιου αλγορίθμου παρεμβολής για την εκτίμηση των συγκεντρώσεων ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους στις περιοχές για τις οποίες δεν υπάρχουν μετρήσεις. Ο αλγόριθμος αυτός εκτιμά την συγκέντρωση σε ένα σημείο λαμβάνοντας υπόψη και την απόσταση του σημείου αυτού από τα σημεία τα οποία συμβάλλουν στον υπολογισμό της συγκέντρωσης [Swan & Sandlands, 1995]. Σε αυτή την περίπτωση, η συγκέντρωση z' σε συγκεκριμένο σημείο A υπολογίζεται ως:

$$z' = \frac{\sum_{i=1}^n (z_i / d_i)}{\sum_{i=1}^n (1/d_i)} \quad \mathbf{6.1}$$

όπου: z_i η γνωστή συγκέντρωση στο σημείο i , και

d_i η απόσταση του σημείου i , από το σημείο A.

Αυτός είναι ένας κεντροβαρικός αλγόριθμος, ο οποίος υπολογίζει την συγκέντρωση στο σημείο A, ως την σταθμισμένη μέση τιμή των συγκεντρώσεων των σημείων για

τα οποία υπάρχει μέτρηση. Ένα βασικό πλεονέκτημα αυτού του αλγορίθμου είναι ότι η επίδραση της απόστασης, δηλαδή το σχετικό βάρος των κοντινών και μακρινών σημείων, μπορεί εύκολα να μεταβάλλεται, αλλάζοντας τη μορφή της απόστασης στη σχέση 6.1, (π.χ. $1/d^2$ ή $1/d^{1/2}$). Στους δικούς μας υπολογισμούς η βέλτιστη τιμή του εκθέτη d είναι (3), δηλαδή $1/d^3$, όπως έχει προκύψει από αντίστοιχες μελέτες που έχουν προηγηθεί [ΔΕ, Ε. Σταθοπούλου, 1998].

6.4 Μέθοδος γεωστατιστικών απεικονίσεων

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται στη παρούσα ΔΕ είναι όμοια με άλλες εργασίες που έχουν διεξαχθεί στο παρελθόν στο ΕΠΤ-ΕΜΠ [ΔΕ, Ε. Σταθοπούλου, 1998]. Υλοποιείται με επανεκτέλεση των ήδη υπαρχόντων εφαρμογών (προγράμματα), τα οποία έχουν προσαρμοστεί στα δεδομένα της παρούσας εργασίας και κάνοντας χρήση του ίδιου εξοπλισμού. Παρακάτω γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση της διαδικασίας που ακολουθήθηκε με τελικό αποτέλεσμα τις απεικονίσεις των συγκεντρώσεων ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους στην Πελοπόννησο.

6.4.1 Χαρακτηριστικά των χρησιμοποιούμενων Η/Υ

Ο κώδικας που έχει αναπτυχθεί στο ΕΠΤ-ΕΜΠ για την χάραξη των γεωστατιστικών απεικονίσεων εκτελείται στον Η/Υ με ονομασία Filippos. Ο Filippos είναι το μοντέλο 9000/370 της HP με λειτουργικό σύστημα **HP-UX 7.03** και διαθέτει μια αρκετά εξελιγμένη βιβλιοθήκη γραφικών **Starbase**. Η οθόνη είναι επίσης της HP, μοντέλο 98789A, υποστηρίζεται από την κάρτα γραφικών HP 98550A και έχει διακριτική ικανότητα 1279 x 1024 pixels.

Για τη χάραξη μιας απεικόνισης στην οθόνη του Filippos με ικανοποιητική ακρίβεια θα πρέπει στην πραγματικότητα να προσδιοριστεί η ακριβής πληροφορία χρώματος που αντιστοιχεί σε κάθε στοιχείο της οθόνης (pixel). Εάν αντιστοιχηθεί η προς χάραξη περιοχή στην οθόνη του Filippos, γίνεται κατανοητό ότι για ευκρινή χάραξη απαιτείται η γνώση των τιμών της συγκέντρωσης σε $1279 \times 1024 = 1309696$ σημεία της εν λόγω περιοχής. Είναι αυτονόητο, ότι κάθε σημείο στην πραγματικότητα αποτελεί το κέντρο ενός στοιχειώδους παραλληλογράμμου, εντός του οποίου θεωρείται ότι η συγκέντρωση έχει παντού την ίδια τιμή. Στην παρούσα ανάλυση και για να είναι περισσότερο ασφαλείς από πλευράς ευκρίνειας οι υπολογισμοί, κάθε

περιοχή αναλύεται σε κάνναβο με 1050 βήματα γεωγραφικού πλάτους και 1300 βήματα γεωγραφικού μήκους. Οπότε για την χάραξη των απεικονίσεων είναι απαραίτητο να υπολογιστούν οι συγκεντρώσεις σε $1050 \times 1300 = 1365000$ σημεία.

Όπως είναι φανερό ένας τέτοιος όγκος υπολογισμών είναι δυνατόν να γίνει μόνο σε έναν Η/Υ με αυξημένες δυνατότητες μνήμης και ταχύτητας επεξεργασίας. Ο Η/Υ της SGI μοντέλο Indy (ονομασία Arcas) ο οποίος διαθέτει λειτουργικό σύστημα **IRIX 5.3** έχει τις απαιτούμενες δυνατότητες για να καλύψει το παραπάνω πρόβλημα και συνεπώς ο κώδικας που αφορά των υπολογισμό των απεικονίσεων εκτελείται σε αυτόν.

Συνεπώς ο κώδικας που έχει συνταχθεί για τη χάραξη της κάθε απεικόνισης περιλαμβάνει δύο διαφορετικές δομές προγραμμάτων, κάθε μια από τις οποίες εκτελείται από έναν εκ των Η/Υ Arcas και Filippos αντίστοιχα.

6.4.2 Μέθοδος υπολογισμού των απεικονίσεων

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι υπολογισμοί που είναι απαραίτητοι για τη δημιουργία των απεικονίσεων γίνονται στο Η/Υ Arcas. Η μέθοδος που ακολουθείται είναι η εξής:

1. Τοποθετείται κάνναβος, δηλαδή η προς σχεδίαση περιοχή αναλύεται σε 1050 βήματα γεωγραφικού πλάτους (φ) και 1300 βήματα γεωγραφικού μήκους (λ).
2. Μετά την τοποθέτηση του καννάβου, επιβάλλεται ο διαχωρισμός των σημείων τα οποία αντιστοιχούν σε επιφάνεια ξηράς από τα σημεία που αντιστοιχούν σε επιφάνεια για την οποία δε σχεδιάζεται απεικόνιση (θάλασσα, όμορες περιοχές)⁹.
3. Για κάθε σημείο που αντιστοιχεί σε στοιχειώδη επιφάνεια σχεδίασης, υπολογίζεται η εκτίμηση της συγκέντρωσης σε αυτό σύμφωνα με την κεντροβαρική μέθοδο που αναπτύχθηκε στη § 6.3.
4. Ακολουθεί κατάταξη του καθενός σημείου σε μια από τις τέσσερις κλάσεις των οποίων τα όρια έχουν προσδιοριστεί με τη μέθοδο που περιγράφηκε στην § 6.2.

⁹ Η μεθοδολογία του διαχωρισμού περιγράφεται στη [ΔΕ, Ε. Σταθοπούλου, 1998].

Λόγω της φύσης τη μεθόδου, στο σχήμα 6.3 όπου απεικονίζεται ο χάρτης ραδονίου στην Πελοπόννησο, παρατηρείται ότι έχουν χρωματιστεί και κάποιες όμορες περιοχές, όπως τα Κύθηρα και η Στερεά Ελλάδα. Εννοείται ότι συμπεράσματα για αυτές τις περιοχές (εκτός Πελοποννήσου) δεν μπορούν να εξαχθούν διότι το χρώμα που έχουν οφείλεται στην συνεισφορά μόνο των σημείων της Πελοποννήσου.

Τα παραπάνω υλοποιούνται στον κώδικα του προγράμματος **grcont3**, το οποίο δέχεται ως δεδομένα τα όρια των κλάσεων και το αρχείο **pel_241007.dat**. Το πρόγραμμα αυτό αποτελείται από:

1. Το κυρίως πρόγραμμα **grcont3**. Το πρόγραμμα αυτό με βάση τα δεδομένα υπολογίζει τις συντεταγμένες των σημείων του καννάβου, καλεί τις απαραίτητες υπορουτίνες για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης σε κάθε σημείο και αποθηκεύει τα αποτελέσματα στο αρχείο **outf3**.
2. Τη ρουτίνα **open_gis**, η οποία χρησιμεύει για την ανάγνωση του αρχείου δεδομένων **pel_241007.dat**.
3. Τη ρουτίνα **get_activ3**, η οποία χρησιμεύει στον υπολογισμό της συγκέντρωσης σε συγκεκριμένο σημείο με χρήση της γεωστατιστικής ανάλυσης με τη μέθοδο των fractals.

Με την ολοκλήρωση του προγράμματος εμφανίζεται στην οθόνη ο γεωγραφικός μέσος, δηλαδή η μέση τιμή όλων των σημείων για τα οποία υπολογίστηκε συγκέντρωση καθώς και η τυπική του απόκλιση.

Το αρχείο **outf3** περιέχει τη ακέραια ψηφιακή πληροφορία της κλάσεως στην οποία ανήκει καθένα από τα σημεία του χάρτη. Το αρχείο αυτό χρησιμοποιείται σαν αρχείο δεδομένων για τη χάραξη της απεικόνισης η οποία γίνεται από ένα πρόγραμμα γραφικών. Η ακέραια αυτή πληροφορία μπορεί να είναι ένας από τους αριθμούς 1, 2, 3, 4, 5 και 6, κάθε ένας από τους οποίους αντιστοιχεί στις παρακάτω καταστάσεις:

1: Αστοχία στον υπολογισμό

2: Το σημείο βρίσκεται σε επιφάνεια εκτός σχεδίασης (π.χ. θάλασσα)

3, 4, 5, 6: Το σημείο βρίσκεται σε επιφάνεια εντός σχεδίασης, κάτω από το αντίστοιχο επίπεδο κλάσεως.

6.4.3 Μέθοδος χάραξης απεικόνισης

Για την χάραξη της απεικόνισης στο Η/Υ Filirpos, χρειάζεται το αρχείο **outf3** το οποίο παράγεται από το πρόγραμμα **grcont3**, το οποίο περιέχει, όπως ήδη έχει αναφερθεί, την ακέραια ψηφιακή πληροφορία της κλάσεως στην οποία ανήκει καθένα από τα σημεία του χάρτη. Το αρχείο αυτό χρησιμοποιείται σαν αρχείο δεδομένων για τη χάραξη της απεικόνισης η οποία γίνεται από ένα πρόγραμμα γραφικών. Το πρόγραμμα αυτό γραφικών έχει την ίδια δομή εντολών σε κάθε περίπτωση σχεδίασης. Διαφοροποίηση υπάρχει ανάλογα με τα όρια της περιοχής σχεδίασης και την χρωματική απεικόνιση των κλάσεων. Η διαφοροποίηση αυτή επισημαίνεται με διαφοροποίηση στην ονομασία του προγράμματος σχεδίασης.

Ο αλγόριθμος σχεδίασης έχει ως εξής:

1. Με χρήση της βιβλιοθήκης γραφικών **Starbase** αντιστοιχίζεται η επιφάνεια σχεδίασης της οθόνης στην επιφάνεια σχεδίασης του χάρτη.
2. Στη συνέχεια αναπαράγονται οι στοιχειώδεις επιφάνειες που θεωρήθηκαν κατά τον υπολογισμό και το ορθογώνιο παραλληλόγραμμο που αντιστοιχεί σε καθεμιά χρωματίζεται κατάλληλα ανάλογα με την κλάση που έχει υπολογισθεί ότι αντιστοιχεί σε αυτό, με βάση την ακέραια ψηφιακή πληροφορία που περιέχεται στο αρχείο δεδομένων **outf3**.
3. Μετά τη χρωματική ολοκλήρωση της επιφάνειας του χάρτη καλείται η ρουτίνα **pl_greece** η οποία χαράσσει το περίγραμμα των ακτών και των συνόρων του χάρτη και σώζεται σε αρχείο με format “**Starbase bitmap**”.

Ειδική μέριμνα έχει επίσης ληφθεί και κατάλληλες σχεδιαστικές ρουτίνες έχουν συνταχθεί ώστε να είναι δυνατή, όπου απαιτείται, η χάραξη σχημάτων συγκεκριμένου μεγέθους (π.χ. κύκλου με δοθέν κέντρο και ακτίνα, βλ. ΔΕ Σταθοπούλου,1998) ή η χάραξη συγκεκριμένων σημείων διαφόρων σχημάτων ώστε να επισημαίνονται περιοχές και τοποθεσίες ιδιαίτερου κάθε φορά ενδιαφέροντος (π.χ. πόλεις, θέσεις δειγματοληψίας κτλ)

6.5 Απεικονίσεις συγκεντρώσεων ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους στο γεωγραφικό διαμέρισμα της Πελοποννήσου

Η μεθοδολογία απεικόνισης που περιγράφηκε στις προηγούμενες παραγράφους, εφαρμόστηκε για την Πελοπόννησο και για την ανάλυση της συγκέντρωσης ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους (κατοικίες). Με χρήση του προγράμματος **grcont3** παράχθηκαν οι χάρτες ραδονίου που απεικονίζονται στο σχήμα 6.3 και 6.4. Τα σημεία που απεικονίζονται με τελείες είναι αυτά για τα οποία είχαμε μέτρηση. Η χρωματική κλίμακα του χάρτη στο σχήμα 6.4 δεν ακολουθεί την κατανομή σε κλάσεις των 50%, 25%, 15% και 10%, ο χάρτης αυτός προστέθηκε γιατί απεικονίζει τις περιοχές που ξεπερνούν το όριο συγκέντρωσης των $200 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$, το οποίο έχει θεσπιστεί ως ελάχιστο όριο συγκέντρωσης ραδονίου για εσωτερικούς χώρους, από Διεθνείς Οργανισμούς και ορισμένα κράτη.

Η περιοχή που χαράχθηκε εκτείνεται σε γεωγραφικά μήκη 20.60000 έως 24.29991 μοίρες και γεωγραφικά πλάτη 36.0000 έως 38.5000 μοίρες. Με βάση όσα έχουν αναφερθεί στην § 6.4.1, κάθε pixel χρώματος αντιστοιχεί σε ορθογώνιο παραλληλόγραμμο μήκους 60 περίπου μέτρων κατά τον άξονα ανατολή-δύση και μήκους 63 περίπου μέτρων κατά τον άξονα βορρά-νότου. Αυτή είναι και η διακριτική ικανότητα του καννάβου στην περίπτωση που μελετάται. Το μέγεθος του στοιχείου καννάβου μπορεί να μειωθεί έως και 0.1×0.1 μέτρα. Αυτή είναι η ακρίβεια που επιτρέπει η μέθοδος υπολογισμού των αποστάσεων που έχει χρησιμοποιηθεί και συνεπάγεται βέβαια μείωση του εύρους της περιοχής που απεικονίζεται.

6.6 Σύγκριση απεικονίσεων στο χάρτη

Σε αρκετές περιπτώσεις είναι επιθυμητή η σύγκριση των απεικονίσεων που εμφανίζονται σε δύο διαφορετικούς χάρτες. Στο ΕΠΤ-ΕΜΠ έχει αναπτυχθεί μεθοδολογία που καθιστά εφικτή αυτή τη σύγκριση. Με τη σύγκριση που διεξάγεται στο πλαίσιο της παρούσας ΔΕ, είναι δυνατό να ελεγχθεί κατά πόσο συμπίπτει η κατανομή της συγκέντρωσης ραδονίου (^{222}Rn) σε εσωτερικούς χώρους με τη κατανομή της συγκέντρωσης ραδίου (^{226}Ra) στο επιφανειακό έδαφος της Πελοποννήσου. Με αυτό τον τρόπο, μπορούν να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα, όπως:

- Για το αν η εμφάνιση υψηλών επιπέδων ραδονίου σε κάποια περιοχή οφείλεται σε, επίσης, υψηλά επίπεδα ραδίου στο έδαφος στις παρακείμενες περιοχές.
- Σε αντίθετη περίπτωση, όπου δεν εμφανιστεί κοινή κατανομή ραδίου και ραδονίου, θα πρέπει να αναζητήσουμε τα αίτια της εμφάνισης υψηλών επιπέδων ραδονίου σε άλλους παράγοντες (όπως π.χ. οικοδομικά υλικά, διαπερατότητα του εδάφους κτλ. Βλέπε κεφάλαιο 2)
- Επιπλέον, για τις περιοχές όπου η μέθοδος της σύγκρισης των χαρτών καταδεικνύει ασυμφωνία μεταξύ των συγκεντρώσεων ραδίου και ραδονίου, ενδιαφέρον θα έχει η σύγκριση (έστω και οπτικά) με το γεωλογικό χάρτη της Πελοποννήσου και με τον χάρτη των περιοχών σεισμικής δραστηριότητας.

Για να γίνει η εν λόγω σύγκριση, στην περίπτωση αυτή, απαιτείται το αρχείο αποτελεσμάτων να περιέχει όχι πλέον τις ακέραιες τιμές που αντιστοιχούν στην κλάση του κάθε σημείου, όπως συμβαίνει με το αρχείο **ouf3** που αναφέρεται στην §6.4.2, αλλά τις υπολογιζόμενες τιμές της συγκέντρωσης για το εν λόγω σημείο, με βάση μια συνεχή μεταβλητή. Αυτό επιτυγχάνεται με χρήση του προγράμματος **normaliz** που αποτελεί μια τροποποιημένη έκδοση του **grecont3**.

Δύο αρχεία αποτελεσμάτων της εκτέλεσης του **normaliz** που αντιστοιχούν σε δύο διαφορετικές απεικονίσεις είναι δυνατόν να συγκριθούν με τη χρήση της ακόλουθης μεθοδολογίας:

Με το δεδομένο ότι οι κλάσεις στις δύο διαφορετικές απεικονίσεις έχουν ορισθεί με βάση τη μέθοδο που περιγράφεται στην §6.2, δύο απεικονίσεις, έστω κι αν έχουν διαφορετικά όρια κλάσεων, εμφανίζουν αντίστοιχες κατανομές εάν για κάθε στοιχειώδη επιφάνεια (σημείο του καννάβου) ο αύξων αριθμός είναι ο ίδιος. Για τη σύγκριση, λοιπόν, δύο απεικονίσεων μεταξύ τους χρησιμοποιείται το πρόγραμμα **onlpl**. Το πρόγραμμα αυτό δέχεται σαν δεδομένα τα όρια των κλάσεων και τα δύο αρχεία που παράγονται από το **normaliz** και αντιστοιχούν στις δύο απεικονίσεις. Έτσι, εξάγεται ένα αρχείο **ouf3** με την ίδια δομή με αυτή που περιγράφηκε στην §6.4.2 με τιμές 0 ή 1 που χαρακτηρίζουν κάθε σημείο. Η τιμή 0 αντιστοιχεί στην κατάσταση «ομοιόμορφη απεικόνιση» στο εν λόγω σημείο, ενώ η τιμή 1 στην κατάσταση «ανομοιόμορφη απεικόνιση».

Μετά το πέρας της εκτέλεσης το πρόγραμμα τυπώνει στην οθόνη:

1. Το πλήθος των σημείων που συγκρίθηκαν
2. Το πλήθος των σημείων που βρέθηκαν να παρουσιάζουν αντίστοιχη συμπεριφορά
3. Το προηγούμενο μέγεθος ως επί τοις % του συνόλου των σημείων
4. Το πλήθος των σημείων που βρέθηκαν διαφορετικά

6.6.1 Σύγκριση χαρτών Ra-226 - Ραδονίου

Στο πλαίσιο της παρούσας ΔΕ, έγινε με τη μέθοδο που προαναφέρθηκε, σύγκριση των χαρτών ραδίου - ραδονίου για την περιοχή της Πελοποννήσου.

Αρχικά, δοκιμάστηκε η σύγκριση μεταξύ ραδίου-ραδονίου με όρια κλάσεων:

- Ράδιο: 15.0, 35.0, 100.0 Bq/Kg συγκέντρωση στο επιφανειακό χώμα (κλάσεις στο σύνολο της Ελληνικής Επικράτειας).
- Ραδόνιο: 25.0, 40.0, 70.0 Bq/m³ (κλάσεις για την περιοχή της Πελοποννήσου)

Η σύγκριση έδειξε ότι δεν υπάρχει σύμπτωση κλάσεων.

Αυτό ήταν αναμενόμενο. Εάν επιθυμούμε να συγκρίνουμε σωστά τις κλάσεις, θα πρέπει να τηρηθεί ο κανόνας: τα σημεία που εμπίπτουν στην X τάξεως κλάση σε τετράχρωμο χάρτη πρέπει να αντιπροσωπεύουν το ίδιο ποσοστό σημείων επί του συνόλου των μετρήσεων (έχουμε επιλέξει 50% - πρώτη κλάση, 25% - δεύτερη κλάση, 15% - τρίτη κλάση και 10% - τέταρτη κλάση).

Έτσι, χαράσσουμε εκ νέου το ιστόγραμμα των σημείων των συγκεντρώσεων του Ραδίου με τη διαφορά ότι περιλαμβάνονται πλέον στον αλγόριθμο υπολογισμού μόνον οι μετρήσεις της Πελοποννήσου (βλ. σχήμα 6-2).

Οι νέες κλάσεις προκύπτουν με όρια: 20.0, 33.0, 50.0 Bq/Kg

Με τις νέες κλάσεις, εκτελέστηκε το πρόγραμμα **ovlpl** και έδωσε αποτέλεσμα το αρχείο **outfil** το οποίο χρησιμοποιήθηκε στη συνέχεια για να παραχθεί ο χάρτης σύγκρισης (Σχήμα 6-6). Παρατηρούμε ότι υπάρχει πτωχός βαθμός σύμπτωσης (υπολογίσθηκε με τη βοήθεια του προγράμματος **normaliz** σε 4.999 %). Αυτό οφείλεται εν μέρει:

1. στη διαφορετική συμπεριφορά του ραδονίου (π.χ. μπορεί σε άλλο σημείο να βρίσκεται το ράδιο και σε άλλο σημείο να είναι αυξημένη η συγκέντρωση του ραδονίου λόγω των αέριων ρευμάτων)
2. σε πιθανή επίδραση στις συγκεντρώσεις ραδονίου στο εσωτερικό των κατοικιών, όχι μόνο του εδάφους αλλά και της περιεκτικότητας σε Ra-226 των οικοδομικών υλικών από τα οποία είναι κατασκευασμένες αυτές.
3. στην πιθανότητα το μοντέλο απεικόνισης να μην παρακολουθεί πλήρως το φαινόμενο, κάτι το οποίο θα πρέπει να μελετηθεί σε επόμενη ΔΕ με τη δοκιμή διαφόρων μοντέλων στο υπάρχον data-set.

Παρόλα αυτά, φαίνεται η προσπάθεια να βρίσκεται προς τη σωστή κατεύθυνση, δεδομένου ότι σε αρκετά σημεία με υψηλές συγκεντρώσεις ραδίου μετρήθηκαν αντίστοιχα υψηλές συγκεντρώσεις ραδονίου στο εσωτερικό των κατοικιών. Επίσης, φαίνεται να υπάρχει συνάφεια τόσο με τον γεωλογικό όσο και με τον σεισμοτεκτονικό χάρτη της περιοχής.

6.7 Οπτική σύγκριση χαρτών ^{226}Ra και ^{222}Rn με χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας και σεισμοτεκτονικό χάρτη

Στο σχήμα 6.7 απεικονίζεται ο χάρτης ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας της Ελλάδας, ο οποίος συνοδεύει τον αντισεισμικό κανονισμό της χώρας και τον εκδίδει ο Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (ΟΑΣΠ). Με τοποθέτηση του χάρτη συγκεντρώσεων ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους πάνω στον χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας προκύπτει ο χάρτης του σχήματος 6.8. Η διαδικασία αυτή έγινε με το πρόγραμμα επεξεργασίας εικόνων **MS Photodraw** κάνοντας χρήση μιας λειτουργίας που επεμβαίνει στο βαθμό διαφάνειας (*transparency*) μιας εικόνας. Σε αυτόν τον χάρτη φαίνεται χαρακτηριστικά ότι οι περιοχές που εμφανίζουν υψηλές

συγκεντρώσεις ραδονίου συμπίπτουν σε μεγάλο βαθμό με την δεύτερη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας.

Στο σχήμα 6.9 απεικονίζεται ο σεισμοτεκτονικός χάρτης της Πελοποννήσου, τον οποίο έχει εκδώσει το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών. Ο χάρτης αυτός εκτός από σεισμικές πληροφορίες, παρέχει και πληροφορίες για την γεωλογία της χώρας. Στο παράρτημα Δ παρατίθεται υπόμνημα που επεξηγεί τον τύπο της γεωλογίας που απαντάται στην Πελοπόννησο ανάλογα με το χρώμα που έχει η κάθε περιοχή. Ομοίως με την προηγούμενη περίπτωση, έγινε τοποθέτηση του χάρτη ραδίου και του χάρτη ραδονίου πάνω στο σεισμοτεκτονικό χάρτη (βλ. σχήματα 6.10 και 6.11)

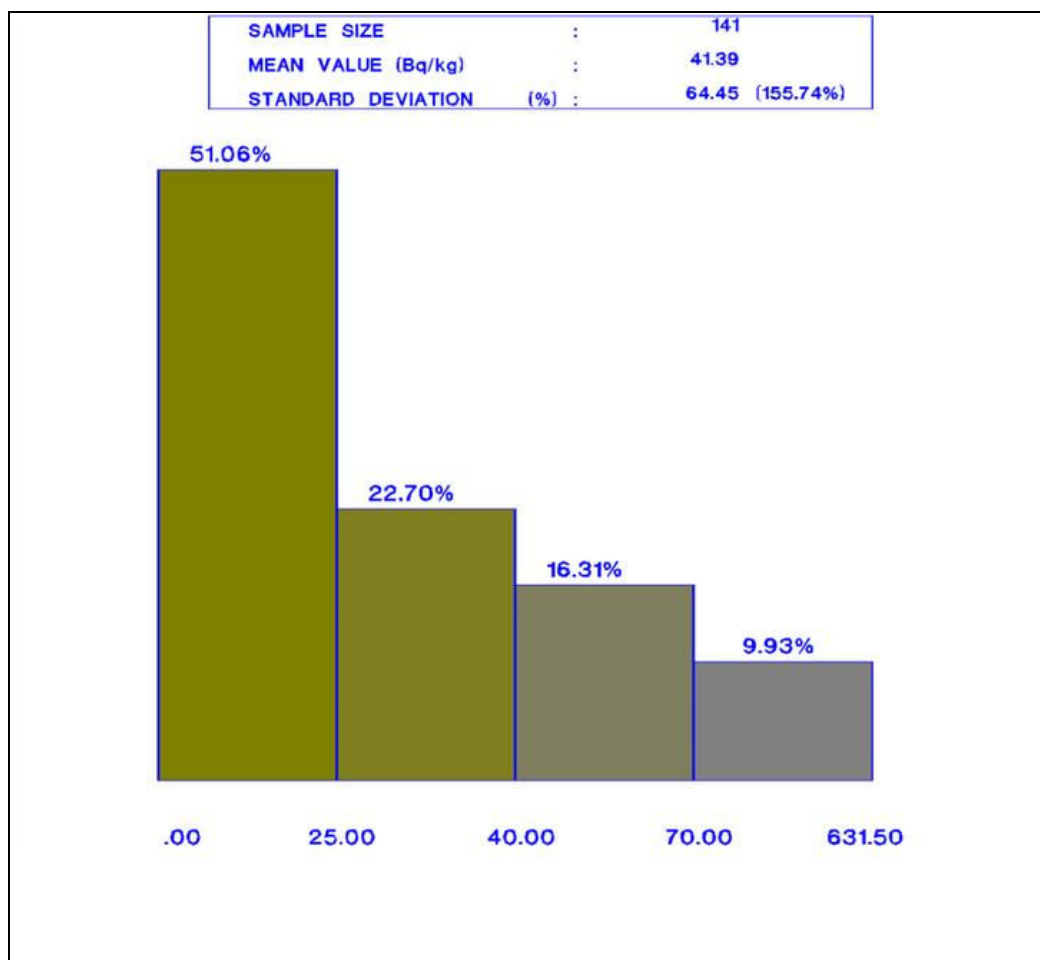
Σύμφωνα με το υπόμνημα του σεισμοτεκτονικού χάρτη (παράρτημα Δ), προκύπτει ότι οι περιοχές της Πελοποννήσου που εμφάνισαν υψηλά επίπεδα ραδίου καταλαμβάνονται κυρίως από τα εξής πετρώματα:

1. Σχηματισμοί του φλύσχη κυρίως αργιλικόι σχιστόλιθοι, ιλυόλιθοι, ψαμμίτες, κροκαλοπαγή και τοπικά ενστρώσεις ασβεστόλιθων μικρού πάχους.
2. Σχηματισμοί των Ζωνών Τρίπολης (KTG): Ασβεστόλιθοι και δολομίτες αυτόχθονες ή επωθημένοι, παχυστρωματώδεις έως άστρωτοι, καρστικοί με σπάνιες ενστρώσεις σχιστοψαμμιτών.
3. Παλαιοζωικοί σχιστοψαμμίτες, ηφαιστειοϊζηματογενείς ημιμεταμορφωμένοι σχηματισμοί και γραουβάκες (ph), μάρμαρα, κρυσταλλικοί ασβεστολόλιθοι και σιπολίνες (mr).

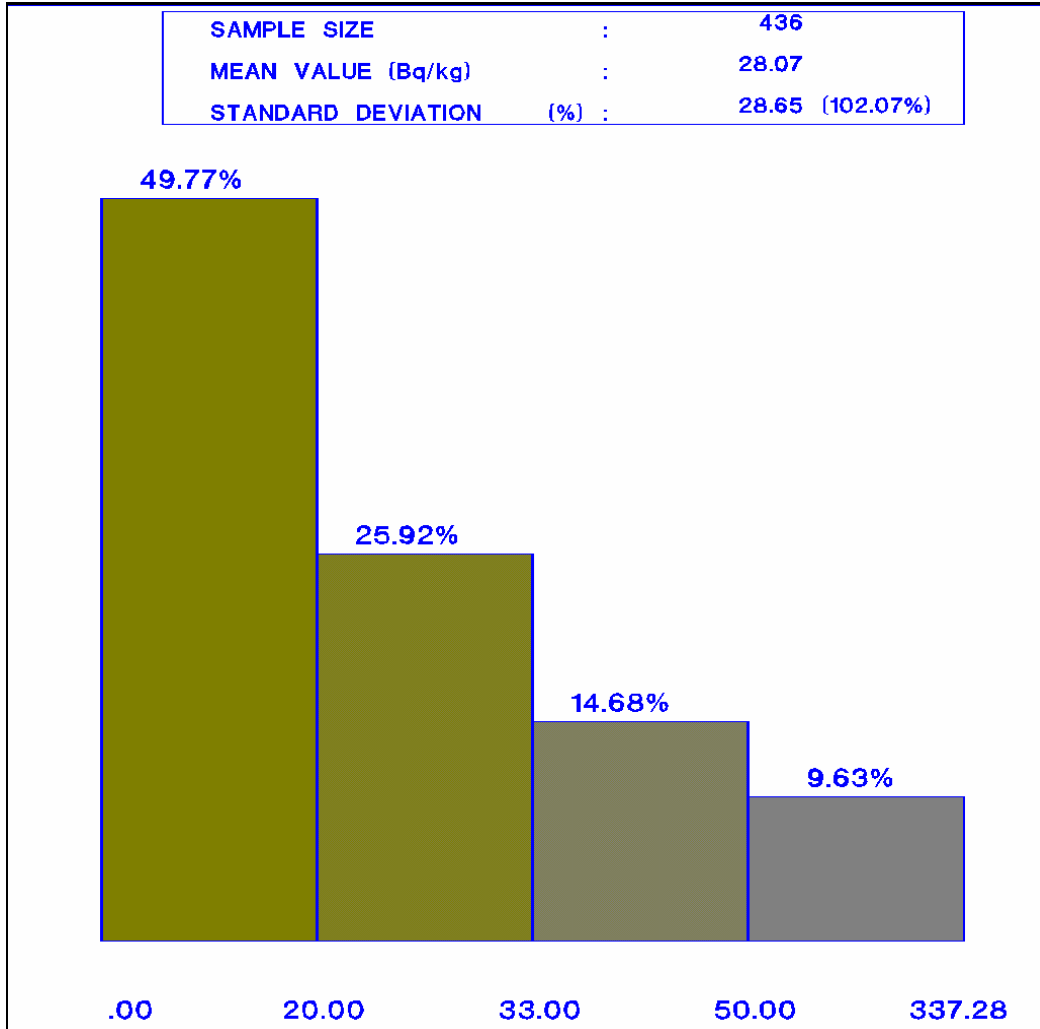
Αντίθετα με την περίπτωση του ραδίου, υψηλά επίπεδα ραδονίου εμφανίζονται ανεξάρτητα από τους τύπους πετρωμάτων που απαντώνται στην Πελοπόννησο. Εδώ, για ακόμη μια φορά, φαίνεται η ιδιαιτερότητα του ραδονίου, δηλαδή, η δύσκολη πρόβλεψη και μοντελοποίηση των συγκεντρώσεών του σε εσωτερικούς χώρους, λόγω των πολλών παραγόντων που εμπλέκονται. Αξίζει να σημειωθεί ότι η υψηλότερη τιμή συγκέντρωσης ραδονίου βρέθηκε σε έδαφος, το οποίο εμφανίζει υψηλές συγκεντρώσεις ραδίου.

Σχήματα του Κεφαλαίου

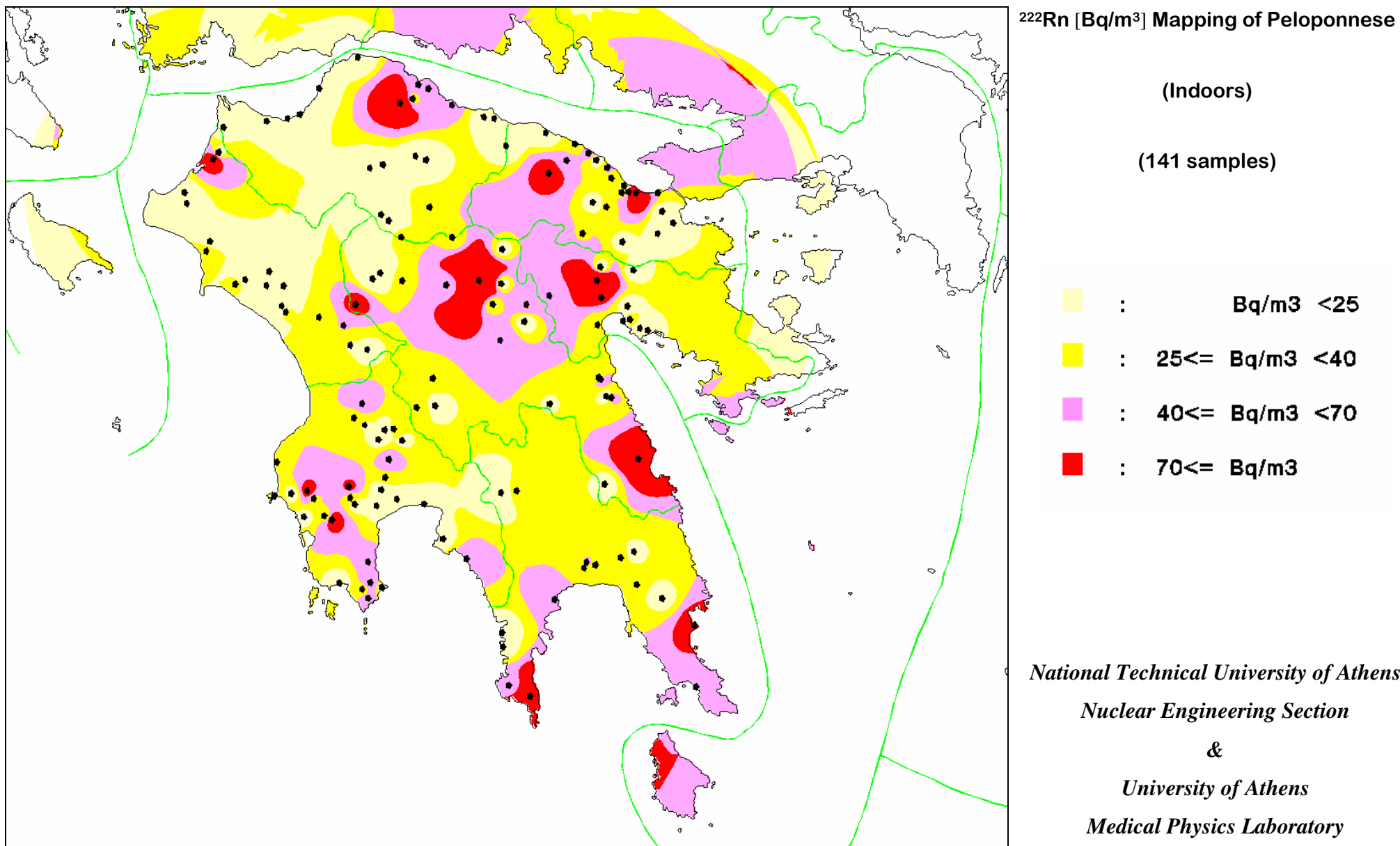
Σχήμα 6-1: Ιστόγραμμα με τις κλάσεις εντός των οποίων κατανέμονται τα σημεία δειγματοληψίας.



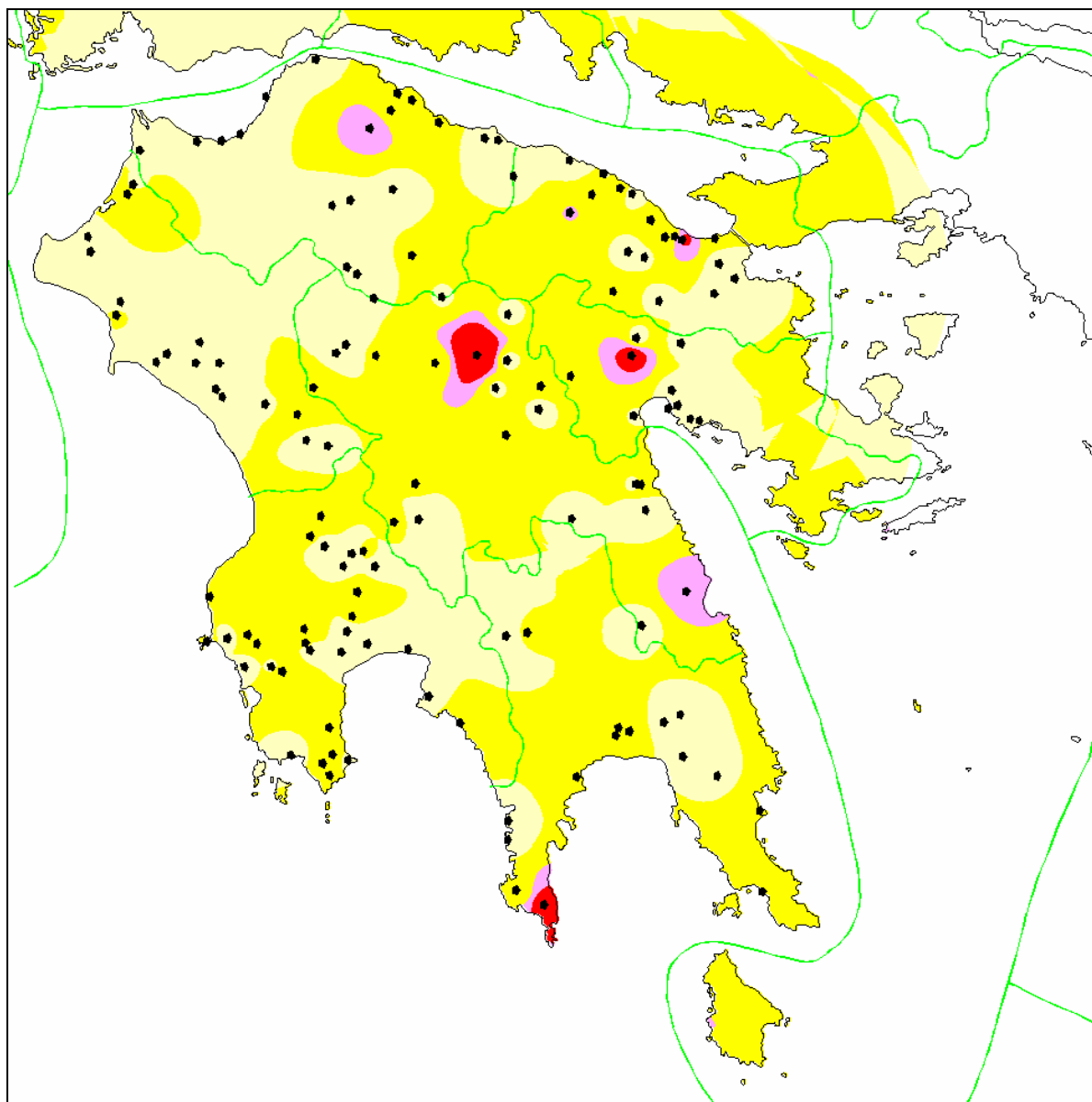
Σχήμα 6-2: Ιστόγραμμα των σημείων των συγκεντρώσεων του Ραδίου με τη διαφορά ότι περιλαμβάνονται πλέον στον αλγόριθμο υπολογισμού μόνον οι μετρήσεις της Πελοποννήσου



Σχήμα 6-3: Χάρτης συγκεντρώσεων ^{222}Rn σε εσωτερικούς χώρους στην Πελοπόννησο



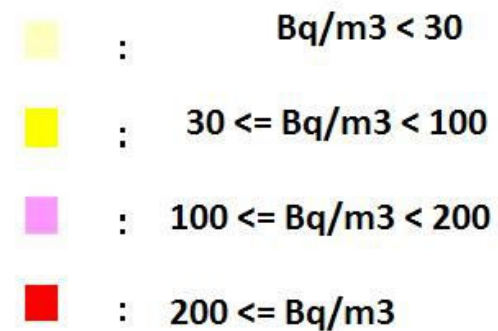
Σχήμα 6-4: Χάρτης συγκεντρώσεων ^{222}Rn σε εσωτερικούς χώρους στην Πελοπόννησο



^{222}Rn [Bq/m³] Mapping of Peloponnese

(Indoors)

(141 samples)



National Technical University of Athens

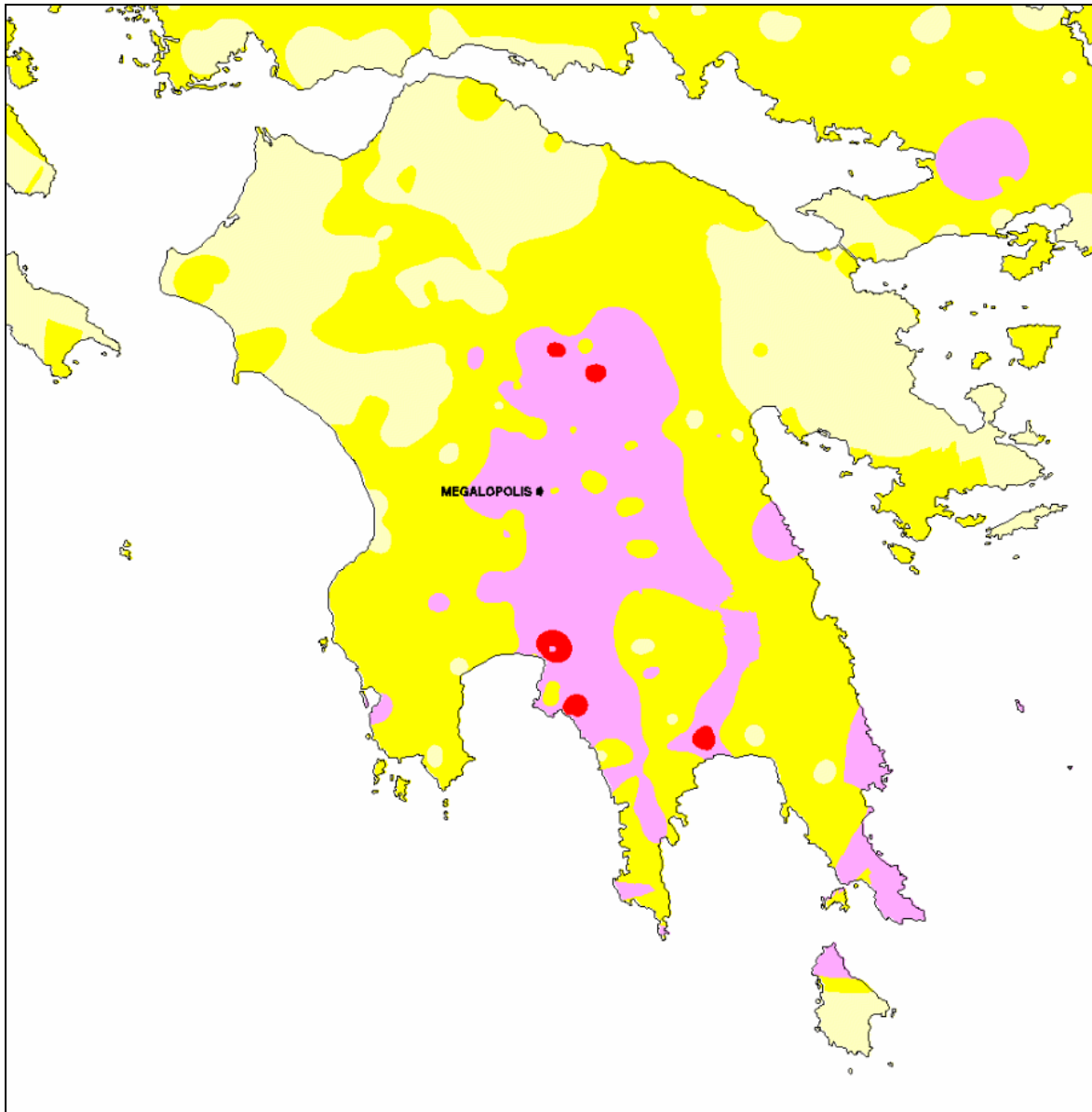
Nuclear Engineering Section

&

University of Athens

Medical Physics Laboratory

Σχήμα 6-5: Χάρτης συγκεντρώσεων ραδίου στο έδαφος της Πελοποννήσου [49]



^{226}Ra (Bq/kg) Mapping of Greece

(1440 samples - 1 cm thick)
 25 ± 19 Bq/kg

- : Bq/kg < 15
- : $15 \leq \text{Bq/kg} < 35$
- : $35 \leq \text{Bq/kg} < 100$
- : $100 \leq \text{Bq/kg}$

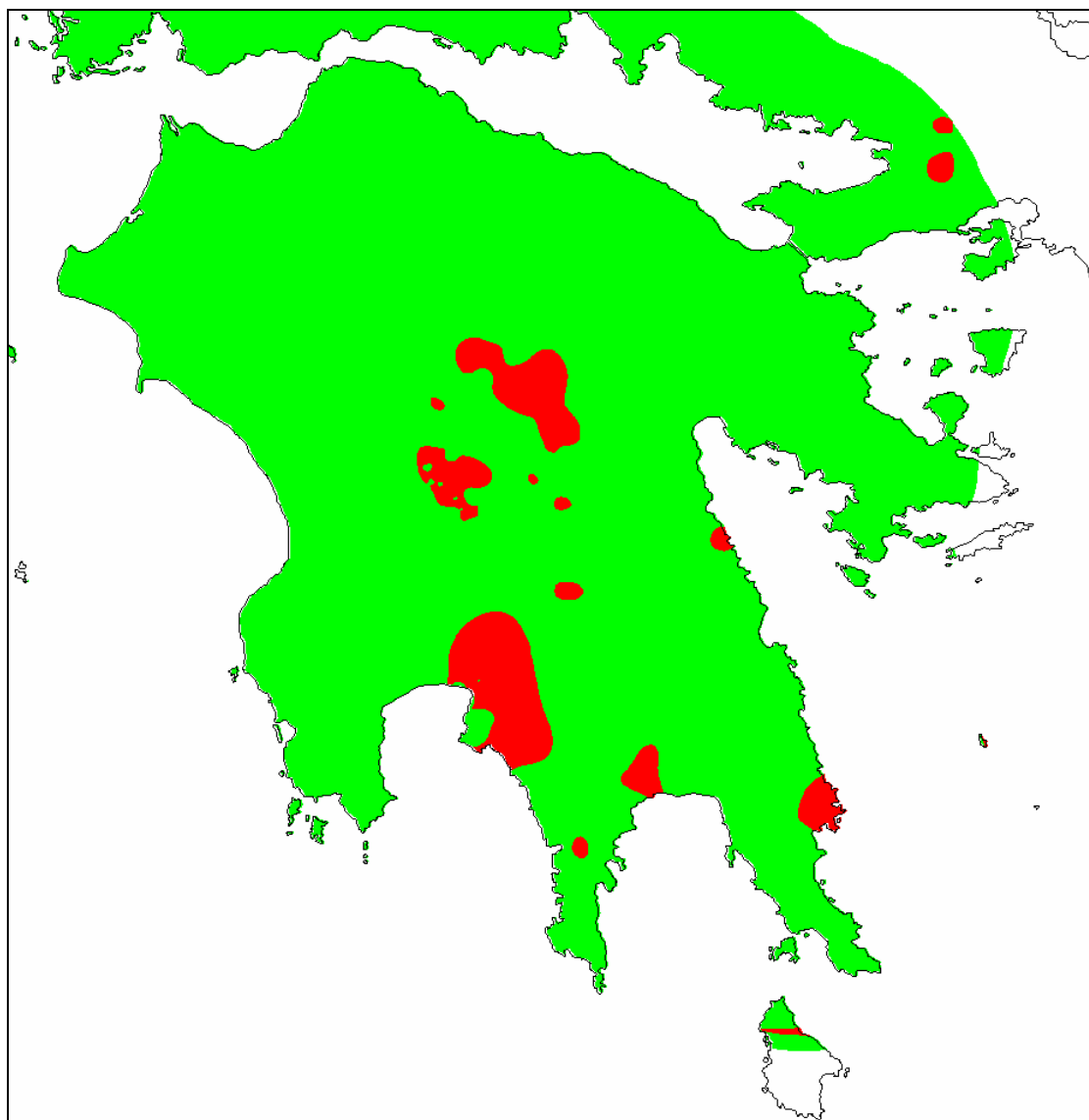
National Technical University of Athens

Nuclear Engineering Section

MPX-4.2 PROJECT

April 1995

Σχήμα 6-6: Σύγκριση χαρτών ραδίου (^{226}Ra) και ραδονίου (^{222}Rn)



Κλάσεις:

0 – 20 Bq/Kg

20 – 33 Bq/Kg

33 – 50 Bq/Kg

50 και άνω Bq/Kg

Πράσινο: Διαφορά

Κόκκινο: Ομοιότητα

National Technical University of Athens

Nuclear Engineering Section

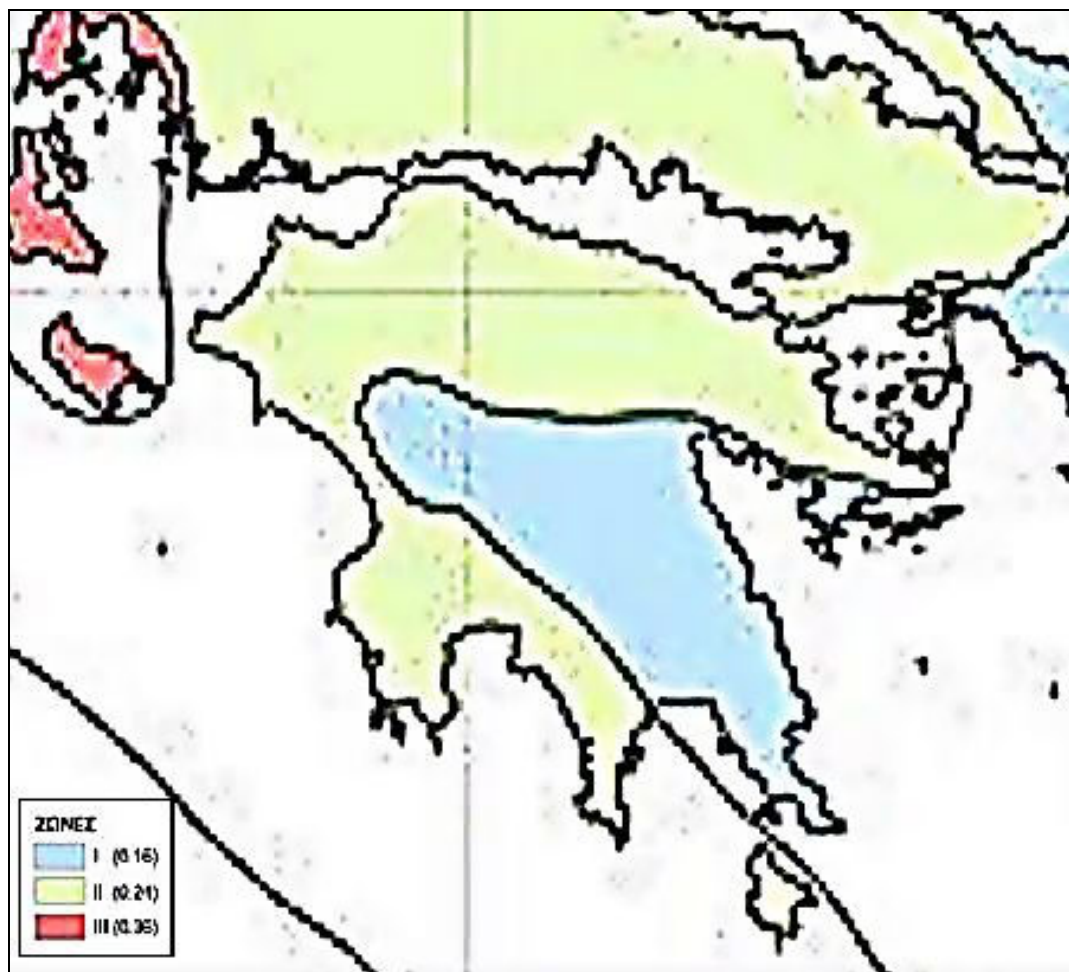
&

University of Athens

Medical Physics Laboratory

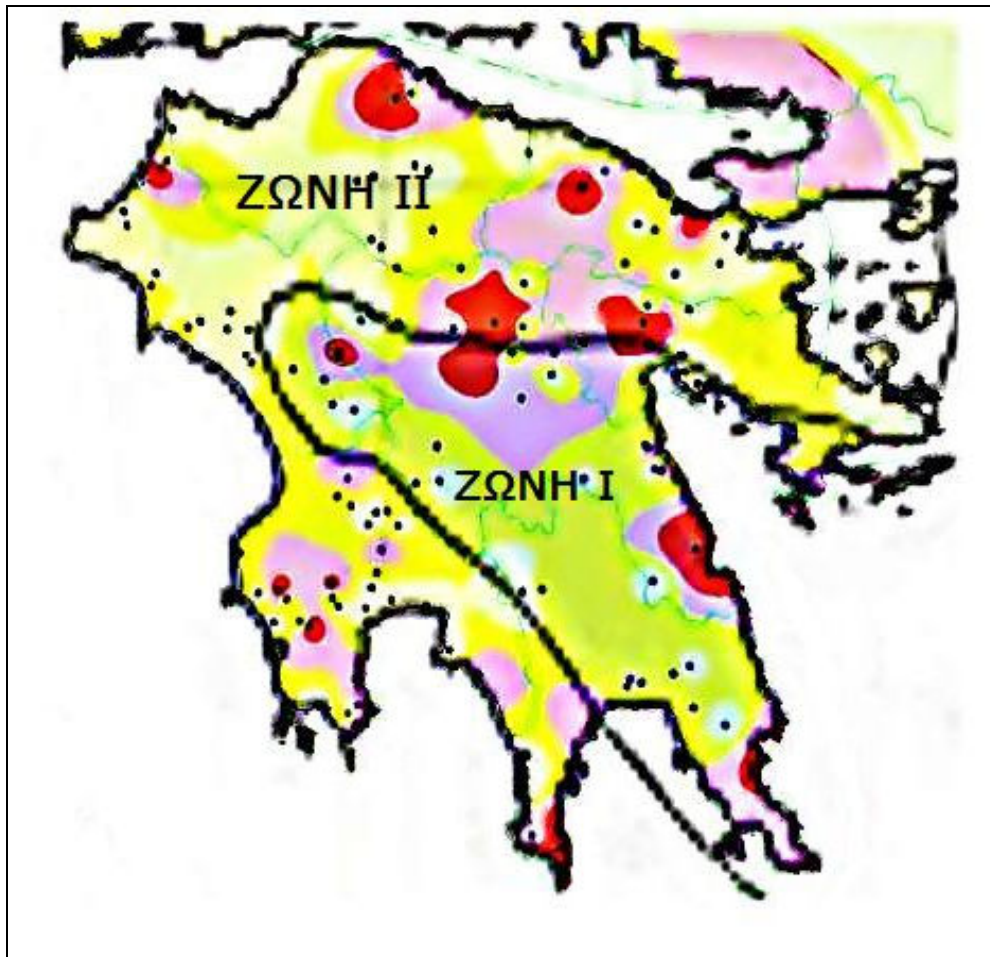
Σχήμα 6-7: Χάρτης ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας για το γεωγραφικό διαμέρισμα της Πελοποννήσου

Ο Ελληνικός χώρος κατανέμεται σε 3 ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας (I, II, III), με αντίστοιχες τιμές ενεργού εδαφικής επιτάχυνσης σχεδιασμού 0.16 g για τη πρώτη ζώνη, 0.24 g για τη δεύτερη ζώνη, 0.36 g για την τρίτη ζώνη (όπου g η επιτάχυνση της βαρύτητας) [50].

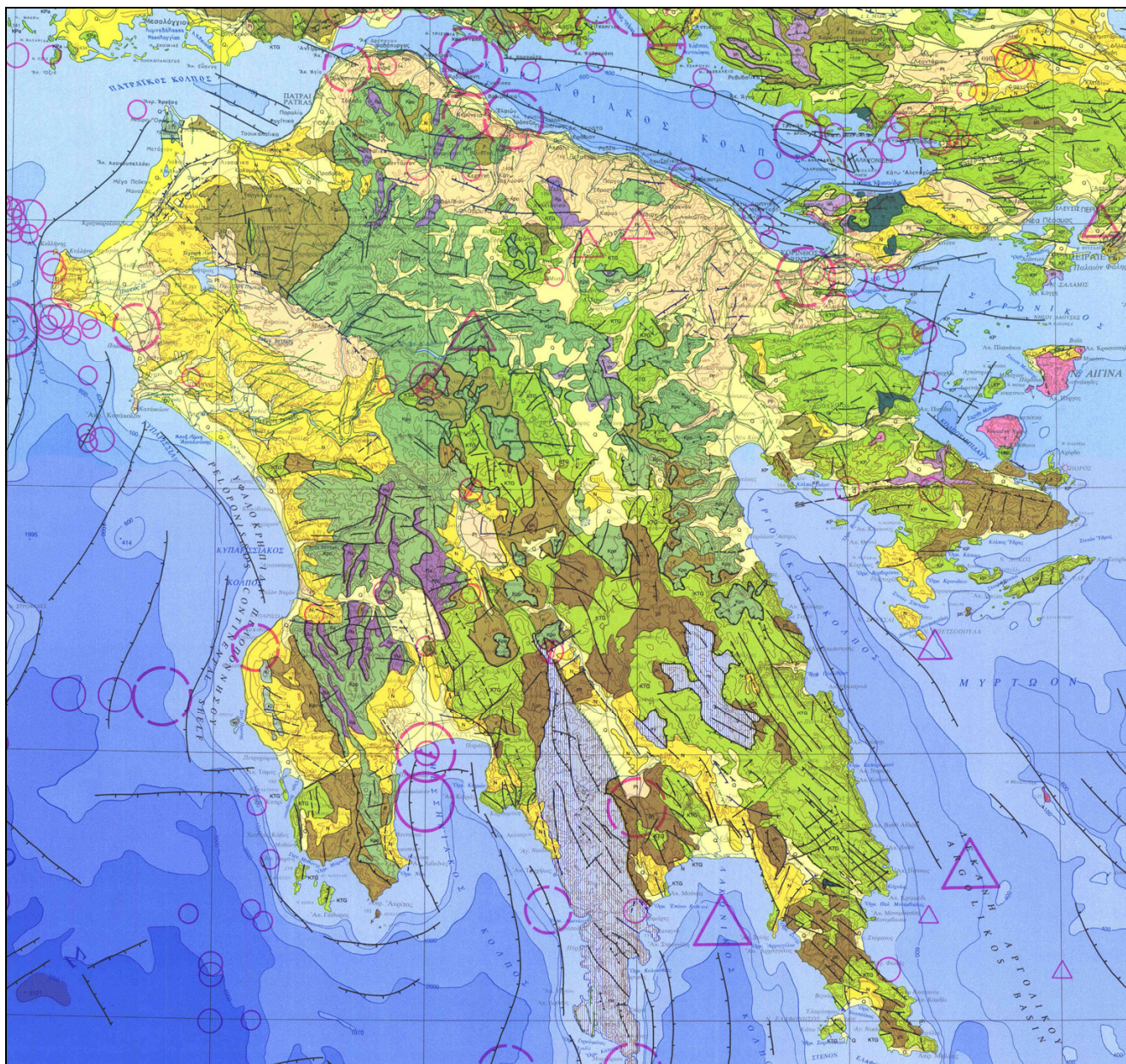


Σχήμα 6-8: Παράθεση χάρτη ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας και χάρτη συγκεντρώσεων ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους.

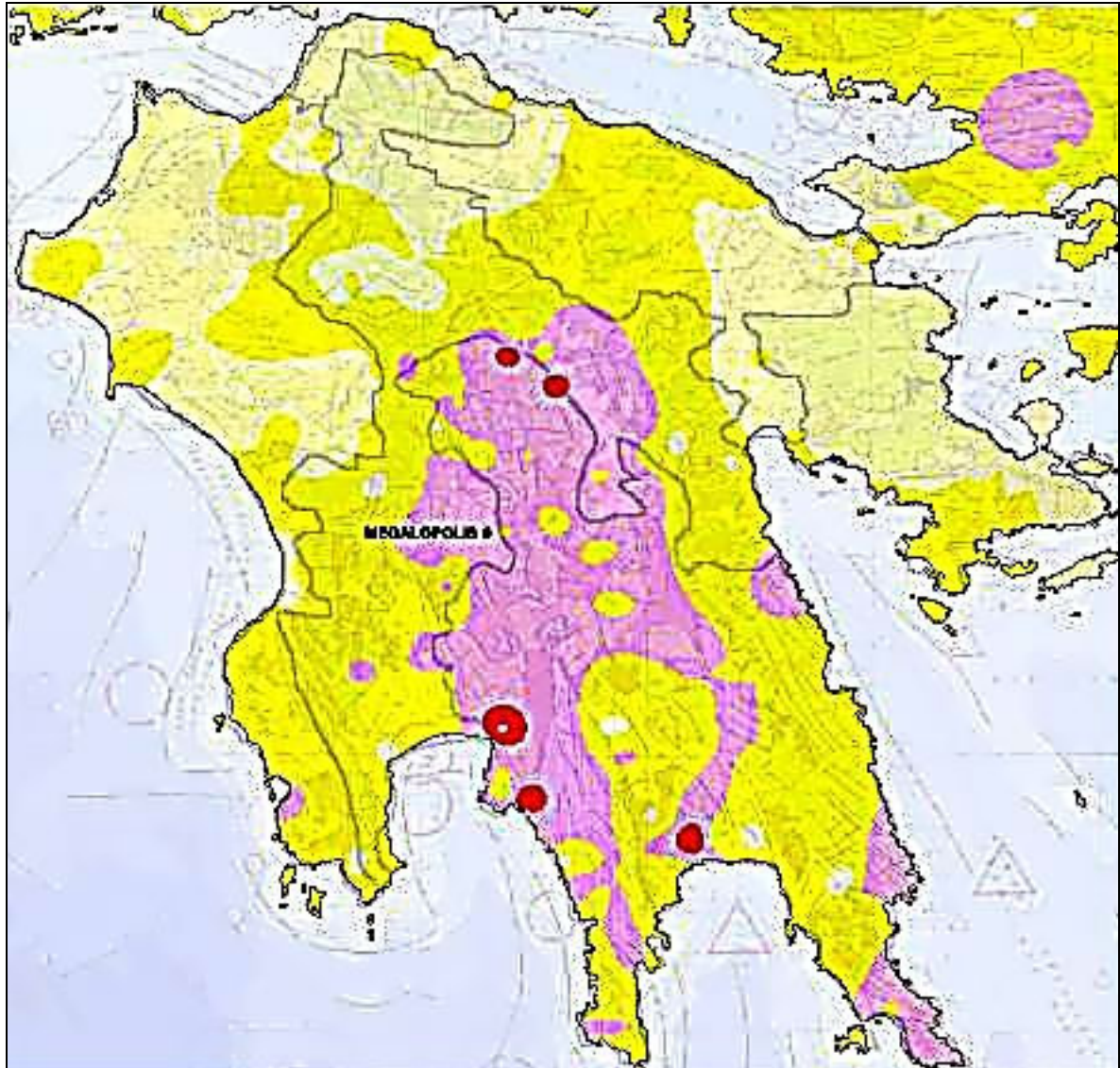
Εδώ φαίνονται καθαρά οι κοινές περιοχές των δύο χαρτών. Η σεισμική ζώνη II συμπίπτει σε μεγάλο βαθμό με τις περιοχές όπου παρατηρούνται υψηλά επίπεδα ραδονίου.



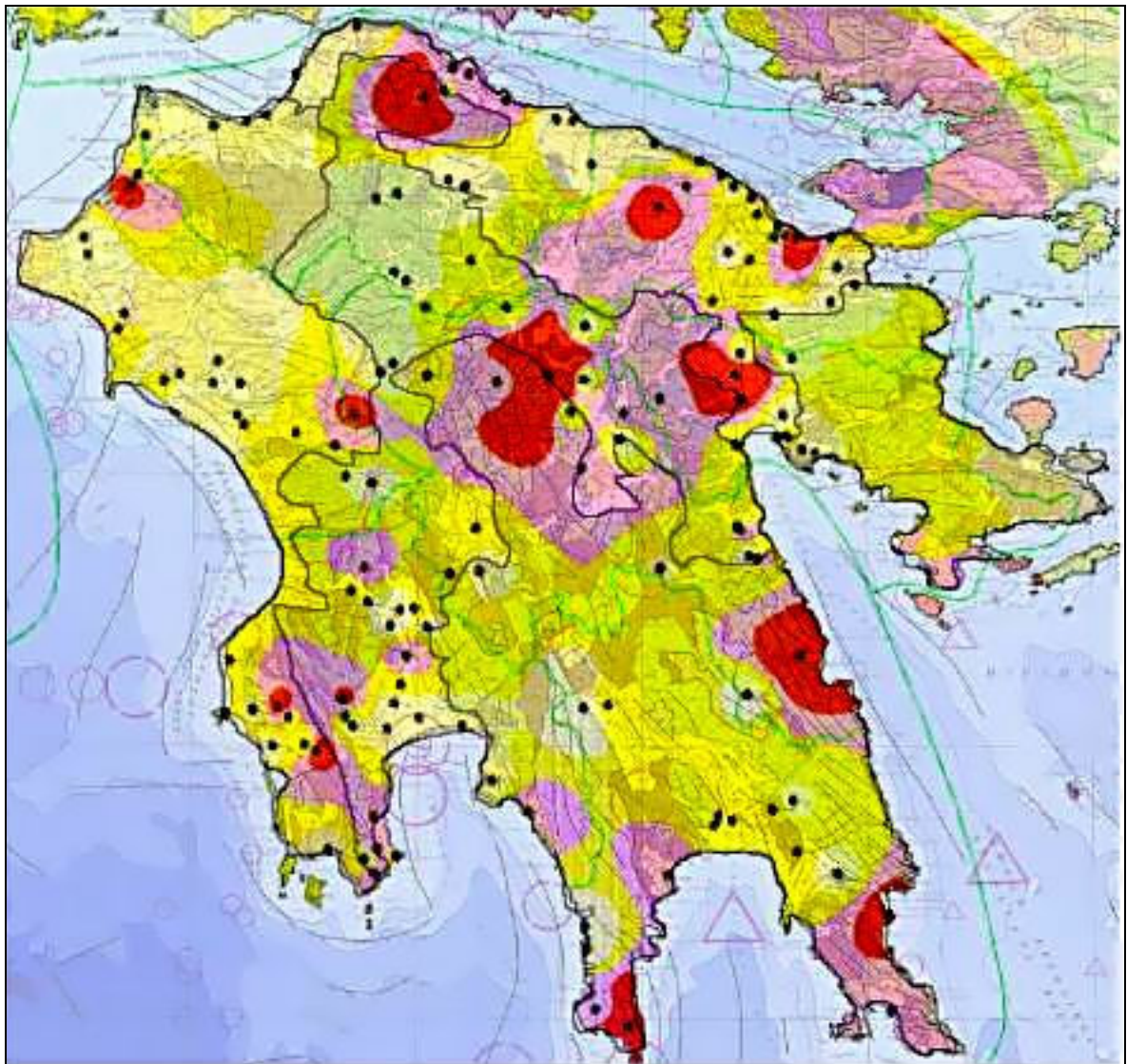
Σχήμα 6-9: Σεισμοτεκτονικός χάρτης της Πελοποννήσου [51]



Σχήμα 6-10: Παράθεση χάρτη συγκεντρώσεων ραδίου και σεισμοτεκτονικού χάρτη για το γεωγραφικό διαμέρισμα της Πελοποννήσου.



Σχήμα 6-11: Παράθεση χάρτη ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους και σεισμοτεκτονικού χάρτη.



7. ΕΠΙΛΟΓΟΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η χαρτογράφηση των συγκεντρώσεων ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους με στοχαστική ανάλυση με τη μέθοδο των fractals είναι η πρώτη που πραγματοποιείται παγκοσμίως και η πρώτη χαρτογράφηση του ραδονίου πανελλαδικώς. Ύστερα από την ανάλυση που προηγήθηκε, προκύπτουν τα ακόλουθα αδιαμφισβήτητα συμπεράσματα:

1. Όπως προκύπτει από τον χάρτη που παράχθηκε (βλ. σχήμα 6.3), η Πελοπόννησος δε φαίνεται να έχει πρόβλημα με υψηλές συγκεντρώσεις ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους, σε σύγκριση πάντα με περιοχές άλλων χωρών (π.χ. Αγγλία, Σουηδία) όπου έχουν βρεθεί δείγματα με μερικές χιλιάδες $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$. Αυτό εύκολα διαπιστώνεται αρχικά και από την κλιμάκωση των τεσσάρων χρωματικών περιοχών, όπου τα όρια είναι πολύ χαμηλά (0-25, 25-40, 40-70, 70 και άνω, [Bq/m^3]).
2. Είναι γεγονός ότι βρέθηκαν 5 οικισμοί (βλ. σχήμα 6.4) όπου η εκτιμώμενη συγκέντρωση ραδονίου ξεπερνούσε το ελάχιστο όριο των $200 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ που έχουν θεσπίσει Διεθνείς Οργανισμοί και ορισμένα κράτη (βλ. κεφ. 2, πίνακα 2.4). Σε αυτή την περίπτωση προτείνεται η περαιτέρω επί τόπου έρευνα για ραδόνιο με ενεργητικές τεχνικές μέτρησης ραδονίου στον αέρα για να διαπιστωθεί εάν όντως υπάρχει υψηλή εκροή ραδονίου από το έδαφος. Επίσης, σε αυτές τις περιοχές προτείνεται να γίνουν εκτενείς νέες μετρήσεις σε εσωτερικούς χώρους για την εκ νέου τοπική χαρτογράφηση των επιπέδων ραδονίου (χάρτης μεγαλύτερης κλίμακας και διακριτικής ικανότητας).
3. Όπως αναφέρθηκε τα επίπεδα ραδονίου που βρέθηκαν στην Πελοπόννησο είναι χαμηλά. Γι αυτό το λόγο, κρίνεται, ότι η χρήση απαλότερων χρωμάτων για την απεικόνιση της κάθε κλάσης θα ήταν πιο δόκιμη. Ειδικά η κόκκινη απόχρωση για την απεικόνιση της κλάσης ($70 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ και άνω) είναι υπερβολική αφού στην

ουσία από τα 141 δείγματα «επικίνδυνα» θεωρούνται μόνο τα πέντε που βρέθηκαν άνω των $200 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ με μέγιστη τιμή $631 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$.

4. Ύστερα από σύγκριση με τον χάρτη ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας της Ελλάδας, (βλ. σχήμα 6.7 και παράρτημα Δ) φαίνεται ότι τα θερμά σημεία (hot spots) που προέκυψαν στο χάρτη του ραδονίου συμπίπτουν σε μεγάλο βαθμό με την δεύτερη ζώνη ενεργού εδαφικής επιτάχυνσης σχεδιασμού (βλ. σχήμα 6.8) του χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας. Με αυτό τον τρόπο επιβεβαιώνεται και η άμεση συσχέτιση του ρυθμού εκροής ραδονίου από το έδαφος, με τις ιδιότητες (π.χ. διαπερατότητα) του εδάφους.
5. Υπενθυμίζεται, ότι ύστερα από σύγκριση του σεισμοτεκτονικού χάρτη της Πελοποννήσου με το χάρτη συγκεντρώσεων ραδίου στο έδαφος της Πελοποννήσου, προκύπτει σύμπτωση των περιοχών που εμφανίζουν υψηλά επίπεδα ραδίου με περιοχές που καταλαμβάνονται από συγκεκριμένα είδη πετρωμάτων (βλ. § 6.10).

Παρακάτω παρατίθενται προτάσεις για βελτίωση των διαδικασιών ανάλυσης δεδομένων και χαρτογράφησης συγκεντρώσεων ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους, καθώς και μερικές ιδέες για νέες μελέτες:

1. Λόγω του γεγονότος ότι η μοντελοποίηση και η πρόβλεψη των συγκεντρώσεων ραδονίου είναι δύσκολη διαδικασία και για την εξάλειψη όσο είναι δυνατόν των παραγόντων που συμβάλλουν στο παραπάνω πρόβλημα, προτείνεται η σύνταξη πρωτοκόλλων χρήσης παθητικών ανιχνευτών ραδονίου από τους αρμόδιους φορείς της Ελλάδας, αντίστοιχων με αυτά που έχει εκδώσει η EPA (Παράρτημα Α). Αυτό θα συμβάλλει στη δημιουργία ενοποιημένων μεθόδων μέτρησης ραδονίου και στη κοινή στρατηγική που πρέπει να ακολουθούν οι διάφοροι φορείς που πραγματοποιούν μετρήσεις ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους.
2. Προτείνεται η κατάρτιση ερωτηματολογίων αντίστοιχο με αυτό που συντάχθηκε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας (παράρτημα Α), το οποίο θα συνοδεύει το κάθε δοσίμετρο και τα δεδομένα που παρέχουν θα αποθηκεύονται σε κοινή βάση δεδομένων. Τα δεδομένα αυτά είναι χρήσιμα για μελλοντικές έρευνες που θα σχετίζονται με τους παράγοντες που επηρεάζουν τα επίπεδα ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους. Επίσης, μια τέτοια ενέργεια θα βελτιώνει σημαντικά τις

διαδικασίες που ακολουθούνται μέχρι την χαρτογράφηση των συγκεντρώσεων ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους. Π.χ. αν υπήρχαν διαθέσιμες οι γεωγραφικές συντεταγμένες και τα υψόμετρα των δοσιμέτρων που έδωσαν αποτελέσματα και χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία οι διαδικασίες θα είχε απλουστευθεί αρκετά.

3. Για τη συνέχιση της παρούσας εργασίας και την επέκταση της χαρτογράφησης των συγκεντρώσεων ραδονίου και στην υπόλοιπη Ελλάδα θα ήταν χρήσιμο να υπάρχει μια βάση δεδομένων, η οποία να συνδυάζει τις ονομασίες των οικισμών με ένα αντιπροσωπευτικό για αυτούς γεωγραφικό στίγμα. Αυτό βέβαια δεν είναι αναγκαίο στην περίπτωση διεξαγωγής νέου κύκλου μετρήσεων και εφόσον για κάθε δοσίμετρο συμπληρωθεί μεμονωμένο ερωτηματολόγιο, στο οποίο θα σημειώνεται γεωγραφικό στίγμα υπολογισμένο με χρήση συσκευής GPS.
4. Ολοκλήρωση της χαρτογράφησης των συγκεντρώσεων ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους για όλη την Ελλάδα. Σημαντική είναι επίσης η κατά τόπους χαρτογράφηση των επιπέδων ραδονίου σε κατοικημένες περιοχές ή σε περιοχές που πρόκειται να κτιστούν μελλοντικά. Έτσι, θα παραχθούν χάρτες μεγαλύτερης κλίμακας και διακριτικής ικανότητας.
5. Για να είναι περισσότερο εφικτό αυτό που προτείνεται παραπάνω, θα ήταν καλό να προηγηθεί μια ανεξάρτητη μελέτη, η οποία να συσχετίζει τον ρυθμό εκροής ραδονίου από το έδαφος με τη συγκέντρωση του ραδονίου στην ατμόσφαιρα και τη συγκέντρωση ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους. Κρίνεται σημαντικό, για το σκοπό αυτό, να ληφθούν παράλληλα υπόψη όλοι οι σημαντικοί παράγοντες που ενδεχομένως συνεπιδρούν στη διαμόρφωση του αποτελέσματος (π.χ. θερμοκρασία περιβάλλοντος, επικρατούντες άνεμοι, ατμοσφαιρική πίεση, σχετική υγρασία κ.α.).
6. Κατάστρωση σχεδίου δειγματοληψίας πάνω σε κάνναβο προυπολογισμένων διαστάσεων, για να εξασφαλισθεί η τυχαιότητα του δείγματος αλλά και η ομοιομορφία των σημειοσυνόλων, η οποία σχετίζεται άμεσα με την μέθοδο της fractal ανάλυσης που χρησιμοποιεί το ΕΠΤ-ΕΜΠ για την απεικόνιση ραδιομετρικών μεγεθών. Επιπρόσθετα, θα πρέπει να επιλεγεί μια στρατηγική επιλογής του ακριβούς σημείου τοποθέτησης του δοσιμέτρου δεδομένου ότι το

σημείο που θα υποδεικνύεται από την κάνναβο έχει χαμηλή πιθανότητα να αντιστοιχεί σε οικισμό, πόσο δε, μάλλον, σε κατοικία. Παρόμοια μέθοδος προτείνεται από τους R. E. Toohey, W. Brown και J. H. Stebbings (βλ. [63]).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Βλέπε έξτρα αρχείο στο CD

Βλέπε έξτρα αρχείο στο CD

Βλέπε έξτρα αρχείο στο CD

Βλέπε έξτρα αρχείο στο CD

Βλέπε έξτρα αρχείο στο CD

Βλέπε έξτρα αρχείο στο CD

Βλέπε έξτρα αρχείο στο CD

Βλέπε έξτρα αρχείο στο CD

Βλέπε έξτρα αρχείο στο CD

Βλέπε έξτρα αρχείο στο CD

Βλέπε έξτρα αρχείο στο CD

Βλέπε έξτρα αρχείο στο CD

Βλέπε έξτρα αρχείο στο CD

Βλέπε έξτρα αρχείο στο CD

Βλέπε έξτρα αρχείο στο CD

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Λίστα 1: Απόσπασμα φύλλου Excel των δεδομένων, όπως δόθηκαν από τον Δρ. Δ. Νικολόπουλο

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	
1											Αρχικός	Πραγματικός					
2		Κατοικίες		Δείγματα		Συγκέντρωση					Κατοικίες	Κατοικίες	Δοσ. 1	Δοσ. 2	Δοσ. 3	Δοσ. 4	
3	ΠΕΡΙΟΧΗ	Σύνολο	Ποσοστό	Αρχικός	Πραγματικός	A.M.	G.M.	Σ.Τ.Α. (%)	Ελάχιστη	Μέγιστη	Πάνω από ΟΑ	ανά δοσίμετρο	ανά δοσίμετρο	Όροφος	Όροφος	Όροφος	Όροφος
4	ΝΟΜΟΣ ΑΡΓΟΛΙΔΟΣ	41791	100	33	16	49.0	27.1	14.2	171.0	272.0	1	1266	2612				
5																	
6	ΕΠΑΡΧΙΑ ΑΡΓΟΥΣ	17481	100	14	7	71.2	34.0	157.8	14.2	272.0	1	1249	2497				
7	ΔΗΜΟΣ.... ΑΡΓΟΥΣ	8817	50.44	4	2	20.2	20.0	17.2	17.7	22.6	0			2	2	3	4
8	ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΑΓΙΟΥ ΝΙΚΟΛΑΟΥ	108	0.62														
9	ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΑΛΕΑΣ	106	0.61														
10	ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΑΝΔΡΙΤΣΗΣ	34	0.19														
11	ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΑΧΛΑΔΟΚΑΜΠΟΥ	399	2.28	1	0									1			
12	ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΒΡΟΥΣΤΙΟΥ	156	0.89														
13	ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΓΥΜΝΟΥ	191	1.09														
14	ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΔΑΛΑΜΑΝΑΡΑΣ	273	1.56														
15	ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ	250	1.43														
16	ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΗΡΑΣ	160	0.92														
17	ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΙΝΑΧΟΥ	283	1.62														

Λίστα 2: Αρχείο δεδομένων Pel_241007.dat

Τα στοιχεία που περιέχονται στο αρχείο είναι με τη σειρά:

1. Ονομασία κοινότητας ή δήμου
2. γεωγραφικό πλάτος [δεκαδικές μοίρες]
3. γεωγραφικό μήκος [δεκαδικές μοίρες]
4. υψόμετρο [m]
5. ο αριθμητικός μέσος της συγκέντρωσης ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους [Bq/m³]

(Λόγω πνευματικών δικαιωμάτων του εκτελεστή των μετρήσεων, ο αριθμητικός μέσος των συγκεντρώσεων ραδονίου δεν περιλαμβάνεται στην παρακάτω λίστα).

Το format του αρχείου είναι : 32x, f8.5, 1x, f8.5, i4, 1x, f5.1

PERIOCHI	LAT. (DD)	LONG. (DD)	ELEV.(m)	A.M.
DHIMOS ARGHOUS	37.63474	22.72819	54	
KINOTITA KARIAS	37.64045	22.54586	692	
KINOTITA KOUTSOPODHIU	37.68420	22.71373	48	
KINOTITA MILON	37.55582	22.71588	68	
KINOTITA PROSIMNIS	37.71412	22.84145	272	
KINOTITA FICHTIU	37.72350	22.72532	100	
DHIMOS NAFPLIEON	37.56711	22.80510	62	
KINOTITA ARIAS	37.57163	22.83086	70	
KINOTITA ASINIS	37.54636	22.86449	78	
KINOTITA DHREPANOU	37.54066	22.89320	31	
KINOTITA NEAS TIRINTHOS	37.60980	22.82084	107	
DHIMOS LANGADHION	37.68319	22.02919	948	
KINOTITA AGHIU IOANOU	37.61470	21.86426	143	
KINOTITA VITINIS	37.67099	22.18424	1019	
KINOTITA KALIANIU	37.68917	21.92430	496	
KINOTITA STAVRODHROMIU	37.70573	21.95159	630	
DHIMOS ASTROUS	37.40461	22.72057	54	
DHIMOS LEONIDHIU	37.16700	22.85950	57	
KINOTITA AGHIU ANDHREA	37.34582	22.76473	51	
KINOTITA AGHIU PETROU	37.32831	22.54827	962	
KINOTITA KORAKOVOUNIU	37.35017	22.74701	83	
KINOTITA KOSMA	37.09414	22.74136	1152	
KINOTITA CHIMERINIS MELIGHOUS	37.39903	22.72684	52	
DHIMOS LEVIDHIU	37.68417	22.29823	829	
DHIMOS TRIPOLEOS	37.51152	22.37323	682	
KINOTITA ARTEMISIU	37.67495	22.37756	700	
KINOTITA DHARA	37.80884	22.20350	708	
KINOTITA KANDHILAS	37.77408	22.37937	775	

KINOTITA KAPSA	37.61590	22.34716	739
KINOTITA LOUKA	37.56565	22.45895	679
KINOTITA NESTANIS	37.61480	22.46551	704
DHIMOS MEGHALOPOLEOS	37.40180	22.13700	434
KINOTITA LEONTARIOU	37.32261	22.14533	564
KINOTITA PARADHISION	37.31751	22.07925	533
DHIMOS EGHIOU	38.24998	22.08597	88
DHIMOS AKRATAS	38.15595	22.31592	137
KINOTITA EGHIRAS	38.15188	22.35217	36
KINOTITA DHIAKOPTOU	38.19070	22.20294	5
KINOTITA KOUNINAS	38.19659	22.02098	613
KINOTITA KATO MAVRIKIOU	38.20930	22.06548	236
KINOTITA TEMENIS	38.23807	22.12120	13
DHIMOS DHAFNHS	37.80950	22.02484	635
DHIMOS KALAVRITON	38.03282	22.11288	751
KINOTITA KATO VLASIAS	38.00889	21.91372	789
KINOTITA KLITORIAS	37.89622	22.12508	540
KINOTITA MANESIOU	38.01893	21.96100	784
KINOTITA PAOU	37.85682	21.98077	851
KINOTITA SIRON	37.87446	21.95399	1007
KINOTITA SKEPASTOU	38.04366	22.07514	819
DHIMOS KATO ACHAIAS	38.14427	21.55189	39
DHIMOS PATREON	38.23892	21.73626	56
KINOTITA VRACHNEIKON	38.16423	21.66883	31
KINOTITA KAMINION	38.15194	21.62491	2
KINOTITA METOCHIOU	38.12640	21.39990	1
KINOTITA PSATHOPIRGHOU	38.32870	21.87213	25
DHIMOS AMALIADHOS	37.79745	21.35290	84
DHIMOS ANDHRAVIDHAS	37.90695	21.27057	23
DHIMOS LECHEON	37.93837	21.26305	21
DHIMOS PIRGHOU	37.67344	21.44090	51
KINOTITA VARDHAS	38.03453	21.36332	12
KINOTITA KARDHAMA	37.76875	21.33861	40
KINOTITA KOLIRIOU	37.68715	21.47588	100
KINOTITA LANTZOIOU	37.71036	21.56050	96
KINOTITA NEAS MANOLADHOS	38.05457	21.38291	16
KINOTITA PLATANOU	37.66843	21.61149	83
KINOTITA STREFIU	37.66954	21.55072	84
DHIMOS ANDHRITSENIS	37.48479	21.90519	772
DHIMOS KRESTENON	37.59261	21.61940	98
KINOTITA AMIGDHALEON	37.49759	21.84582	658
KINOTITA DHIASELON	37.57774	21.73505	308
KINOTITA KALITHEAS	37.55427	21.82132	415
KINOTITA MAKRISION	37.61032	21.60430	96
DHIMOS KORINTHOU	37.93733	22.92808	33
DHIMOS XILOKASTROU	38.07824	22.63566	22
DHIMOS SIKIONOS (KIATO)	38.01003	22.75077	7
KINOTITA AGHIOU VASILIOU	37.79554	22.80304	301
KINOTITA ATHIKION	37.81947	22.92750	273
KINOTITA ASOU	37.94019	22.82526	29
KINOTITA VELOU	37.97985	22.76424	30
KINOTITA VRACHATIOU	37.95785	22.80978	12
KINOTITA GHALATAKIOU	37.85081	22.98196	74
KINOTITA DHIMINIOU	38.03218	22.71222	60
KINOTITA EVROSTINIS-ROZENON	38.07302	22.39356	729
KINOTITA ZEMENOU	38.03087	22.60656	547
KINOTITA ZEVBHOLATIOU	37.93865	22.80147	52
KINOTITA LECHEOU	37.93695	22.85027	15
KINOTITA MELISIOU	38.05226	22.68439	15
KINOTITA NEMEAS	37.82025	22.66269	309

KINOTITA XILOKERIZHS	37.88339	22.94268	105
KINOTITA PANARITIOU	37.99381	22.54393	693
KINOTITA KATO PITSON	38.11095	22.53356	15
KINOTITA SOULINARIOU	37.89638	22.74601	192
KINOTITA STIMANGAS	37.90994	22.69975	510
DHIMOS GHITHIOU	36.76222	22.56506	37
KINOTITA LAGHIAS	36.48299	22.47935	403
DHIMOS MOLAON	36.80502	22.85419	171
KINOTITA APIDHEAS	36.88291	22.79794	305
KINOTITA VLACHIOTI	36.86172	22.70882	73
KINOTITA MONEMVASIAS	36.68884	23.05618	42
KINOTITA NEAPOLEOS	36.51032	23.06265	13
KINOTITA NIATON	36.89983	22.84364	327
KINOTITA PERISTERIOU	36.86976	22.67706	67
KINOTITA SIKEAS	36.76560	22.94364	152
DHIMOS SPARTIATON	37.07552	22.43109	214
KINOTITA MISTRA	37.07000	22.37631	341
KINOTITA SKALAS	36.85278	22.66792	61
KINOTITA AREOPOLEOS	36.66646	22.38046	271
KINOTITA KITAS	36.51456	22.40316	137
KINOTITA PIRGHOU DHIROU	36.62552	22.38229	191
DHIMOS KALAMATAS	37.03743	22.10601	40
KINOTITA KATO DHOLON	36.93713	22.17286	307
KINOTITA PROASTIOU	36.87939	22.25491	233
DHIMOS MESINHS	37.05166	22.00969	32
KINOTITA AVRAMIOU	37.03235	21.93819	102
KINOTITA ARISTOMENOUS	37.08714	21.84034	352
KINOTITA VALIRAS	37.16651	21.98189	67
KINOTITA EVAS	37.11360	21.96851	72
KINOTITA ZEVBHOLATIOU	37.25141	21.96695	60
KINOTITA KATSAROU	37.22060	22.02925	144
KINOTITA NEOCHORIOU ITHOMIS	37.22309	21.94560	85
KINOTITA ICHALIAS	37.25445	21.99900	85
KINOTITA SPITALIOU	37.07885	21.95511	98
KINOTITA VASILITSIOU	36.76592	21.90903	119
KINOTITA GLIFADHAS	37.00326	21.75516	299
KINOTITA DHROSAS	37.03643	21.86154	231
KINOTITA KORIFASIOU	37.00059	21.68289	71
KINOTITA KORONIS	36.79736	21.95783	2
KINOTITA KREMIDHION	36.99190	21.78182	321
KINOTITA LONGAS	36.87047	21.90788	79
KINOTITA PELEKANADHAS	37.05497	21.84555	301
KINOTITA FINIKOUNTOS	36.80928	21.80863	5
KINOTITA CHARAKOPIOU	36.81049	21.91665	110
KINOTITA CHRISOKELARIAS	36.79203	21.88731	329
DHIMOS GHARGHALIANON	37.06710	21.63889	280
DHIMOS FILIATRON	37.15756	21.58688	77
DHIMOS CHORAS	37.05233	21.71725	293
KINOTITA VASILIKOU	37.26613	21.89643	175
KINOTITA DHORIOU	37.28729	21.85789	160
KINOTITA MARATHOPOLEOS	37.06036	21.57888	1
KINOTITA PIRGHOU	37.07511	21.69379	399
KINOTITA PSARIOU	37.32869	21.88729	270

Λίστα 3: Απόσπασμα φύλλου Excel των δεδομένων εισόδου του προγράμματος μετατροπής των γεωγραφικών συντεταγμένων CoordTrans

	A	B
1	LATITUDE	LONGITUDE
2	37.63326	22.76724
3	37.65784	22.78974
4	37.56009	22.86153
5	37.67075	21.87278
6	37.63232	21.89017
7	37.48955	22.12218
8	37.83260	21.84803
9	37.74749	21.90487
10	37.69856	21.83634
11	37.35172	22.54777
12	37.36257	22.53799
13	37.36749	22.54852
14	37.45455	22.42063
15	37.44693	22.39149

Λίστα 4: Απόσπασμα φύλλου Excel των δεδομένων εξόδου του προγράμματος μετατροπής των γεωγραφικών συντεταγμένων CoordTrans

	A	B	C	D
1	LATITUDE	LONGITUDE	Longitude	Latitude
2	37.63326	22.76724	37.63435	22.76786
3	37.65784	22.78974	37.65893	22.79036
4	37.56009	22.86153	37.56119	22.86215
5	37.67075	21.87278	37.67185	21.87342
6	37.63232	21.89017	37.63342	21.89081
7	37.48955	22.12218	37.49065	22.12282
8	37.8326	21.84803	37.8337	21.84868
9	37.74749	21.90487	37.74859	21.90551
10	37.69856	21.83634	37.69966	21.83699
11	37.35172	22.54777	37.35282	22.5484
12	37.36257	22.53799	37.36367	22.53862
13	37.36749	22.54852	37.36859	22.54915
14	37.45455	22.42063	37.45565	22.42126
15	37.44693	22.39149	37.44803	22.39212

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

Λίστα 5: Παράδειγμα αρχείου nLx (τμήμα)

Το αρχείο αυτό παράγεται από το πρόγραμμα *fract* και έχει format: **10.4, 'f10.4**

Η πρώτη στήλη της λίστας είναι ο μέσος όρος του πλήθους των σημείων $\langle n_i(L_i) \rangle$ και η δεύτερη στήλη η απόσταση (L_i) σε χιλιόμετρα.

0.8794,	5.8374
0.9078,	6.0006
0.9504,	6.1683
0.9645,	6.3407
1.0355,	6.5179
1.0638,	6.7001
1.1348,	6.8874
1.1915,	7.0799
1.2482,	7.2778
1.3475,	7.4812
1.4184,	7.6903
1.4610,	7.9053
1.5319,	8.1262
1.6170,	8.3533
1.6738,	8.5868
1.7447,	8.8268
1.8156,	9.0735
1.9149,	9.3272
2.0709,	9.5879
2.1135,	9.8558
2.1844,	10.1313
2.2837,	10.4145
2.3972,	10.7056
2.5106,	11.0048
2.5816,	11.3124
2.7660,	11.6286
2.9220,	11.9536
3.0922,	12.2877
3.2057,	12.6312
3.3617,	12.9842
3.4610,	13.3471
3.5887,	13.7202
3.7021,	14.1037
4.0000,	14.4979
4.2270,	14.9031
4.3972,	15.3197
4.5532,	15.7479
4.6950,	16.1880
4.8652,	16.6405
5.1206,	17.1056
5.3617,	17.5837
5.6312,	18.0752
5.9149,	18.5804

Λίστα 6: Παράδειγμα αρχείου logx (τμήμα)

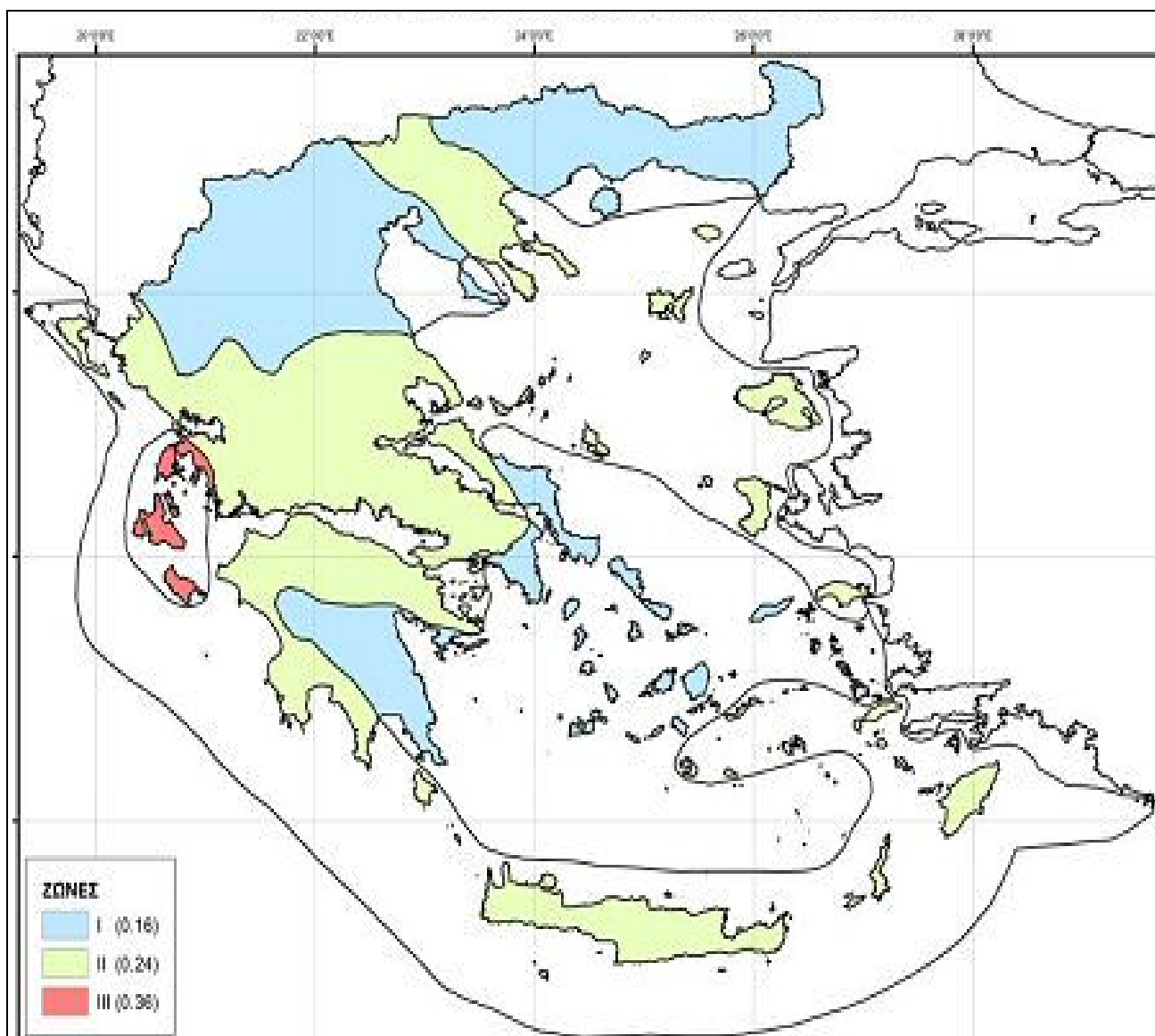
Το αρχείο αυτό παράγεται από το πρόγραμμα *fract* και έχει format: *f7.4, ', f6.4*

Η πρώτη στήλη της λίστας είναι ο λογάριθμος του μέσου όρου του πλήθους των σημείων, $\log \langle n_i(L_i) \rangle$ και η δεύτερη στήλη ο λογάριθμος της απόστασης $\log(L_i)$.

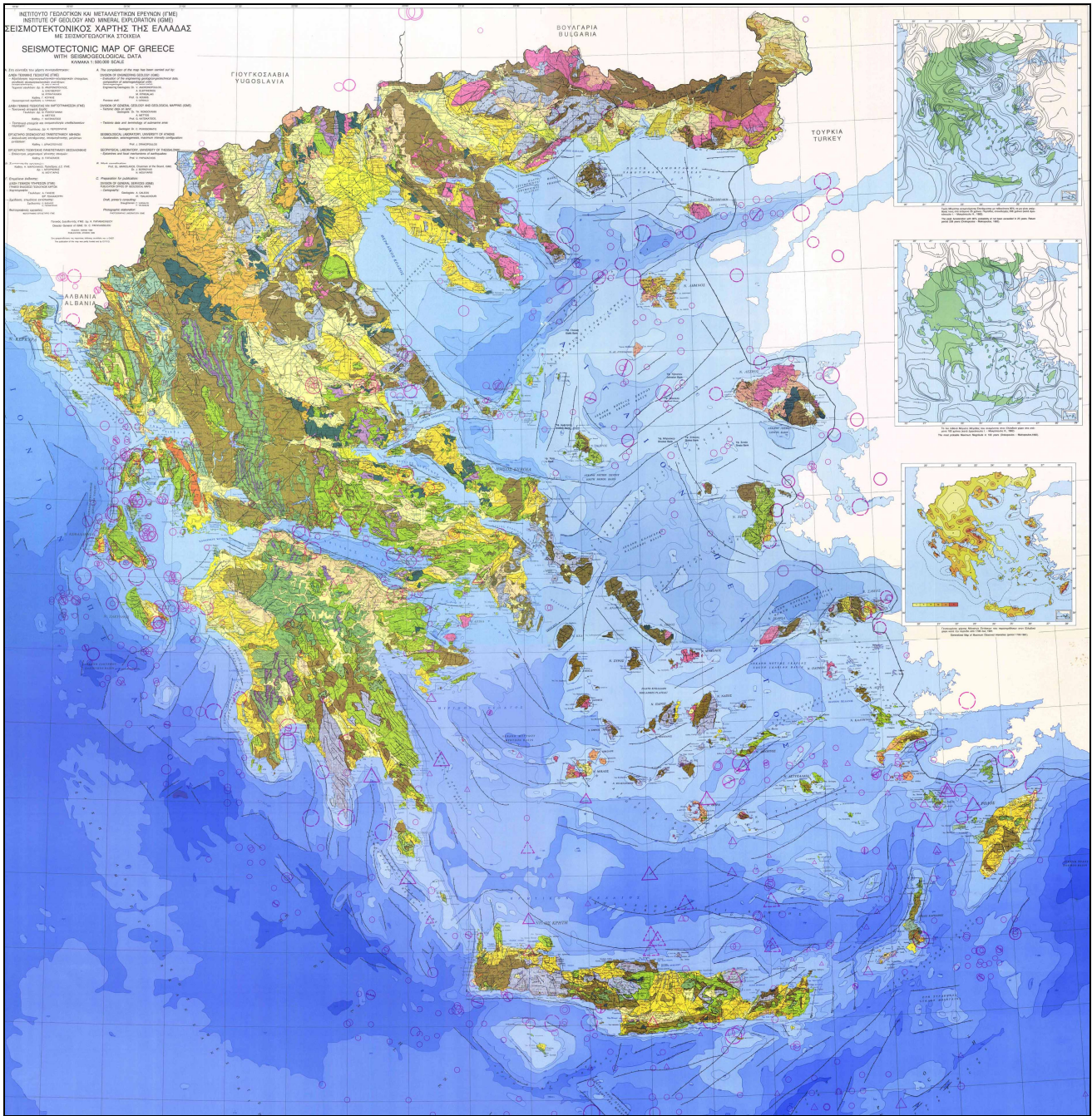
-1.1492,	0.3592
-1.0700,	0.3711
-1.0700,	0.3831
-1.0700,	0.3951
-1.0031,	0.4071
-0.9451,	0.4190
-0.9451,	0.4310
-0.9451,	0.4430
-0.8482,	0.4549
-0.7690,	0.4669
-0.7690,	0.4789
-0.7690,	0.4909
-0.7342,	0.5028
-0.7021,	0.5148
-0.6721,	0.5268
-0.5472,	0.5387
-0.4865,	0.5507
-0.4865,	0.5627
-0.4502,	0.5747
-0.4010,	0.5866
-0.3858,	0.5986
-0.3568,	0.6106
-0.3568,	0.6226
-0.3041,	0.6345
-0.2919,	0.6465
-0.2800,	0.6585
-0.2684,	0.6704
-0.2354,	0.6824
-0.2047,	0.6944
-0.1761,	0.7064
-0.1406,	0.7183
-0.1406,	0.7303
-0.1158,	0.7423
-0.1000,	0.7542
-0.0558,	0.7662
-0.0420,	0.7782
-0.0221,	0.7902
-0.0157,	0.8021
0.0151,	0.8141
0.0269,	0.8261
0.0549,	0.8381
0.0761,	0.8500
0.0963,	0.8620
0.1295,	0.8740
0.1518,	0.8859

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ

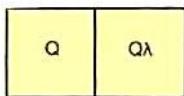
Χάρτης ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας της Ελλάδας [50]



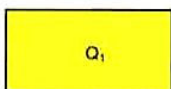
Σεισμοτεκτονικός Χάρτης της Ελλάδος [51]



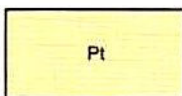
Υπόμνημα σεισμοτεκτονικού χάρτη της Ελλάδος. Γεωλογία που απαντάται στην Πελοπόννησο [51]



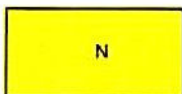
Πρόσφατοι έως σύγχρονοι σχηματισμοί. Κυρίως προσχώσεις, υλικά του ελουβιακού μανδύα, ποτάμιες αποθέσεις, κώνοι κορημάτων, πλευρικά κορήματα, ριπίδια, θίνες, ηφαιστειακά συμφυρματοπαγή (λαχάρ Μήλου Qλ): Άμμοι, άργιλοι, αμμούχοι ή ιαλυούχοι άργιλοι, κροκάλες και λατύπες, συνήθως χωρίς επιφανειακά υδροφόρο ορίζοντα. Χαλαροί σχηματισμοί και τοπικά ελάχιστα συνεκτικοί, λεπτοκοκκώδεις έως χονδροκλαστικοί, συνήθως χωρίς στρώση και με ταχεία και συχνή εναλλαγή των λιθολογικών φάσεων οριζόντια και κατακόρυφα. Φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά κυμαινόμενα σε ευρέα πλαίσια, ανάλογα με τη λιθολογική σύσταση και κοκκομετρική διαβάθμιση. Το πάχος τους κυμαίνεται από μερικά μέχρι μερικές δεκάδες μέτρα που κατά θέσεις υπερβαίνει τα 100 m.



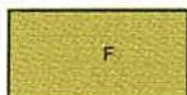
Αποθέσεις παράκτιες, ποτάμιες, δελταϊκές, τεναγών: Άμμοι, άργιλοι, πηλοί, αργιλούχοι άμμοι, αμμούχοι άργιλοι κατά κανόνα λεπτομερείς και χαλαροί. Διακριτικά τους γνωρίσματα είναι η παρουσία επιφανειακού υδροφόρου ορίζοντα (με μικρή εποχιακή διακύμανση της στάθμης), το αυξημένο ενεργό πορώδες και η υψηλή συμπίεστικότητα. Στους μηχανισμούς αυτούς παρατηρείται το φαινόμενο της ρευστοποίησης. Πάχος μέχρι 60 m περίπου.



Παλιές προσχώσεις, πλευρικά κορήματα, κώνοι κορημάτων και αναβαθμίδες, πλειστοκαινικής κυρίως ηλικίας: Ερυθρογή, αμμόδεις άργιλοι, ψηφίδες, κροκάλες και λατύπες μικρών συνήθως διαστάσεων, που παρουσιάζουν σαφή εναλλαγή των αδρομέρων και λεπτομερών λιθολογικών φάσεων. Αμιγείς αργιλικοί (λεπτομερείς) οριζόντες και σπάνιοι. Στρώση ατελής, συνεκτικότητα συνήθως μέτρια που οφείλεται σε αργιλομαργαϊκό συγκολλητικό υλικό. Δεν παρατηρείται επιφανειακός υδροφόρος ορίζοντας. Το πάχος τους συνήθως γύρω στα 20 m. Τοπικά παρατηρήθηκαν πάχη που υπερβαίνουν τα 1000 m. (B. Πελοπόννησος).



Μάργες, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, αργιλούχες μάργες, άργιλοι, άμμοι, ψαμμίτες, κροκαλοπαγή νεογενούς και κατά θέσεις πλειστοκαινικής ηλικίας. Τα μηχανικά τους χαρακτηριστικά κυμαίνονται ανάλογα με τη λιθολογική φάση που επικρατεί. Συνεκτικότητα μέτρια. Οι άργιλοι χαρακτηρίζονται συχνά από αξιόλογη συμπίεστικότητα, οι δε μάργες παρουσιάζουν καλύτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά. Δεν απαντάται υδροφόρος ορίζοντας. Πάχος μερικές δεκάδες μέτρα.



Σχηματισμοί του φλύσχη κυρίως αργιλικοί σχιστόλιθοι, ιλυόλιθοι, ψαμμίτες, κροκαλοπαγή και τοπικά ενστρώσεις ασβεστόλιθων μικρού πάχους: Σχηματισμοί συνήθως έντονα πτυχωμένοι και διερρηγμένοι, ιδιαίτερα στην Κεντρική και Ανατολική Ελλάδα. Μηχανική αντοχή χαμηλή στην αργιλική φάση, αντίθετα, υψηλή στους ψαμμίτες. Οι σχηματισμοί αυτοί χαρακτηρίζονται στο σύνολό τους από μεγάλη ετερογένεια και ανομοιομορφη μηχανική συμπεριφορά. Πάχος κυμαινόμενο από 100-1500 m.

	<p>Ασβεστόλιθοι της Ζώνης Ολονού – Πίνδου (Κρο): Λεπτοπλακώδεις – μεσοπλακώδεις ισχυρά τεκτονισμένοι, πολύπτυχωμένοι, με έντονη λεπίωση. Κατά θέσεις εναλλάσσονται με κερατολίθους και σχιστοψαμμίτες (Ra). Το πάχος φθάνει τα 1000 m</p>
	<p>Σχιστοκερατόλιθοι και σχιστοψαμμίτες με οφιολίθους: Σχηματισμοί πτυχωμένοι και ισχυρά διερρηγμένοι. Πάχος: μέχρι 400 m περίπου.</p>
	<p>Σχηματισμοί Ιονίου ζώνης ασβεστόλιθοι και δολομίτες λεπτοπλακώδεις έως μεσοπλακώδεις (Ki) με κερατολιθικές και σχιστομαργαϊκές παρεμβολές: Έντονα τεκτονισμένοι και συνήθως εφιπτευμένοι κατά μεγάλες ενότητες.</p>
	<p>Σχηματισμοί των Ζωνών Τρίπολης (KTG), Παρνασσού (KPG), Παζών (KPA) καθώς και οι ασβεστόλιθοι Παντοκράτορος της Ιονίου (KPa) και Πελαγονικής (KP): Ασβεστόλιθοι και δολομίτες αυτόχθονες ή επωθημένοι, παχυστρωματώδεις έως άστρωτοι, καρστικοί με σπάνιες ενστρώσεις σχιστοψαμμιτών. Το συνολικό πάχος συχνά υπερβαίνει τα 1000 m.</p>
	<p>Κρυσταλλικοί σχιστόλιθοι (sch) γενύσιοι και αμφιβολίτες (gn). Φυλλίτες, χαλαζίτες, παλαιοζωικοί σχιστοψαμμίτες, ηφαιστειοϊζηματογενείς ημιμεταμορφωμένοι σχηματισμοί και γραουβάκες (ph), μάρμαρα, κρυσταλλικοί ασβεστολόλιθοι και σιπολίτες (mr): Σχηματισμοί με μεγάλο συνήθως πάχος και υψηλή συνεκτικότητα που συνιστούν το γεωλογικό υπόβαθρο.</p>
	<p>Βασικά και υπερβασικά εκρηξιγενή πετρώματα: Κυρίως περιδοτίτες, σερπεντίνες και κατά θέσεις γάββροι και νορίτες.</p>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε

Περιγραφή αρχείου με τις γεωγραφικές συντεταγμένες και τα υψόμετρα των οικισμών της Ελλάδας

Τα πρωταρχικά δεδομένα του αρχείου προέρχονται από Στοιχεία της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας της Ελλάδος (ΕΣΥΕ). Τα στοιχεία, δόθηκαν στη μορφή που φαίνεται στο σχήμα E-2, έλειπαν όμως τα γεωγραφικά μήκη (λ) και πλάτη (φ), καθώς και τα υψόμετρα (h). Αυτά τα δεδομένα ήταν αναγκαία τόσο στο πλαίσιο της παρούσας ΔΕ, όσο και στην υπό εκπόνηση ΔΔ του Γ. Παπαδάκου [64].

Το αρχείο (βλ. σχήμα E-2) έχει δημιουργηθεί σε φύλλο Excel και στις στήλες του περιλαμβάνει τις εξής πληροφορίες:

- Αύξοντα αριθμό που αντιστοιχεί σε κάθε έναν μεμονωμένο οικισμό της Ελληνικής επικράτειας
- Ονομασία του καθενός οικισμού ξεχωριστά, σύμφωνα με τη διαχρονική εξέλιξή του και με σημείωση του έτους αλλαγής της ονομασίας (όταν αυτή προκύπτει)
- Συντεταγμένες¹⁰
 - Γεωγραφικό μήκος (WGS84)
 - Γεωγραφικό πλάτος (WGS84)
 - Υψόμετρο
 - Γεωγραφικό μήκος (ED50)
 - Γεωγραφικό πλάτος (ED50)

¹⁰ Στο σχήμα E-2, στις στήλες των συντεταγμένων, παρουσιάζονται καταχωρήσεις με χρώμα κόκκινο ή μπλε. Αυτό σημαίνει αντίστοιχα:

- κόκκινο χρώμα, δεν έγινε δυνατό να εντοπισθεί ο οικισμός με καμία από τις μεθόδους που περιγράφονται στην παρούσα εργασία. Για να αποφευχθεί μια κενή καταχώρηση, επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθούν, για τους εν λόγω οικισμούς, να υιοθετηθούν οι συντεταγμένες του οικισμού που παρουσιάζεται ως πρωτεύουσα (πρώτη στη λίστα) του Δ. ή Κ.Δ. στην απογραφή του 2001.
- Μπλε χρώμα, ο οικισμός εντοπίστηκε με χρήση έντυπων χαρτών, και με την βοήθεια των λεπτομερειών του (π.χ. δρόμοι, ποτάμια, ακτογραμμές κτλ) έγινε δυνατό να

- Σχόλια – παρατηρήσεις σχετικά με τον τρόπο εύρεσης των συντεταγμένων
- Έτος απογραφής 2001
 - Κωδικός οικισμού
 - Ονομασία οικισμού
 - Κωδικός Κοινοτικού ή Δημοτικού Διαμερίσματος
 - Χαρακτηρισμός ως Κοινοτικού (Κ.Δ) ή Δημοτικού Διαμερίσματος (Δ.Δ)
 - Ονομασία Δημοτικού ή Κοινοτικού Διαμερίσματος
 - Κωδικός Δήμου ή Κοινότητας
 - Χαρακτηρισμός ως Δήμου (Δ) ή Κοινότητας (Κ)
 - Ονομασία Δήμου ή Κοινότητας
 - Κωδικός Νομού
 - Ονομασία Νομού
- Έτος απογραφής 1991
 - Κωδικός οικισμού
 - Ονομασία οικισμού
 - Κωδικός Δήμου ή Κοινότητας
 - Κωδικός Επαρχίας
 - Κωδικός Νομού
- Έτος απογραφής 1981

εντοπισθεί, προσεγγιστικά, και στον ηλεκτρονικό χάρτη. Έτσι έγινε ο υπολογισμός των αντίστοιχων συντεταγμένων.

- Κωδικός οικισμού
- Ονομασία οικισμού
- Κωδικός Δήμου ή κοινότητας
- Κωδικός Επαρχίας
- Κωδικός Νομού
- Έτος απογραφής 1971
 - Ονομασία οικισμού

Η διοικητική βάση των οικισμών είναι χωρισμένη σε τέσσερα επίπεδα (βλ. σχήμα Ε-1). Τα επίπεδα αυτά, ανάλογα και με το έτος της απογραφής (προ ή μετά της μεταρρύθμισης Καποδίστριας) περιγράφονται μέσω των κωδικών που αποδίδονται σε κάθε έναν οικισμό ξεχωριστά.

Επεξήγηση των κωδικών

α) Κωδικοί του 1981 και 1991:

Ο κάθε κωδικός είναι μοναδικός και αντιστοιχεί σε ένα οικισμό. Ο κωδικός αυτός αποτελείται από οκτώ ψηφία, όπου:

- Τα δύο πρώτα ψηφία αντιπροσωπεύουν το νομό στον οποίο ανήκει ο οικισμός
- Το τρίτο ψηφίο, συμπληρώνοντας τα δύο πρώτα, αντιπροσωπεύουν την επαρχία στην οποία ανήκει ο οικισμός
- Το τέταρτο, πέμπτο και έκτο ψηφίο αντιπροσωπεύουν το δήμο ή την κοινότητα όπου ανήκει ο οικισμός (ειδικά, το τέταρτο ψηφίο δείχνει αν αναφέρεται σε Δήμο ή Κοινότητα. Π.χ. αν το τέταρτο ψηφίο είναι 0 είναι Δήμος και αν είναι 1 είναι Κοινότητα)
- Το έβδομο και το όγδοο ψηφίο αντιπροσωπεύουν, κατά αύξοντα αριθμό, τον οικισμό σε σχέση με τον Δήμο ή την Κοινότητα όπου ανήκει. Ειδικά, ο οικισμός που κατέχει πρωτεύουσα σημασία στον διοικητικό σχηματισμό του Δήμου ή της

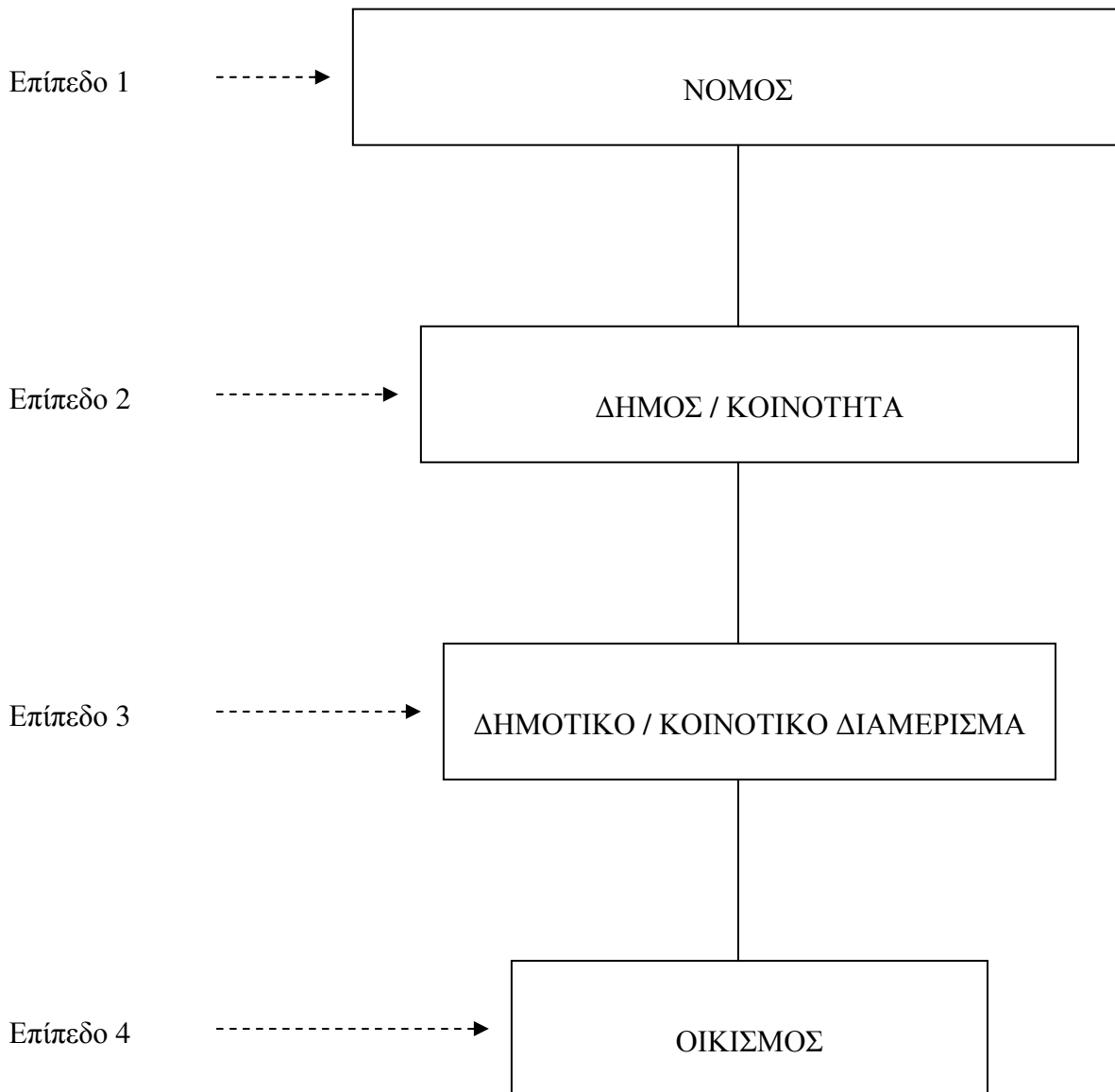
Κοινότητας, παίρνει πάντα τον αύξοντα αριθμό 1, ενώ οι υπόλοιποι οικισμοί κατατάσσονται αυστηρά αλφαβητικά.

β) Κωδικοί του 2001:

Ομοίως με τις απογραφές του 1981 και του 1991, στην απογραφή του 2001, ο κάθε κωδικός είναι μοναδικός και αντιστοιχεί σε ένα οικισμό. Το 2001, όμως, η κωδικοποίηση άλλαξε. Καταργήθηκαν οι διοικητικοί σχηματισμοί των επαρχιών και των Δήμων ή Κοινοτήτων και καθιερώθηκαν, αντίστοιχα, οι σχηματισμοί των Καποδιστριακών Δήμων ή Κοινοτήτων και των εμπεριεχομένων σε αυτούς Δημοτικών ή Κοινοτικών Διαμερισμάτων. Κάθε ένα Δημοτικό ή Κοινοτικό Διαμέρισμα περιλαμβάνει τουλάχιστον ένα οικισμό. Ο κωδικός αυτός αποτελείται από οκτώ ψηφία, όπου:

- Τα δύο πρώτα ψηφία αντιπροσωπεύουν το νομό στον οποίο ανήκει ο οικισμός
- Το τρίτο και το τέταρτο ψηφίο αντιπροσωπεύουν τον Καποδιστριακό Δήμο ή Κοινότητα όπου ανήκει ο οικισμός
- Το πέμπτο και το έκτο ψηφίο αντιπροσωπεύουν το Δημοτικό ή Κοινοτικό Διαμέρισμα στο οποίο ανήκει ο οικισμός
- Το έβδομο και το όγδοο αντιπροσωπεύουν τον οικισμό, κατά αύξοντα αριθμό και σύμφωνα με το ίδιο σύστημα με το οποίο κατατάσσονταν και στις προηγούμενες απογραφές

Σχήμα Ε-12: Επίπεδα στο σύστημα Καποδίστριας



Σχήμα E-13: Απόσπασμα αρχείου οικισμών (Λόγω του μεγάλου πλήθους των στηλών του αρχείου, απεικονίζεται παρακάτω σε τρεις σελίδες)

α/α	name	coordinates					comments
		wgs84long	wgs84lat	alt	ed50long	ed50lat	
1	Μεσολόγγιον (1971) (1981) (1991) (2001)	21,430655	38,372213	14	21,431316	38,373300	
2	Άγιος Συμεών (1971) (1981) (1991) (2001)	21,499382	38,401153	234	21,500041	38,402239	ΩΣ ΜΟΝΗ ΑΓ. ΣΥΜΕΩΝ
3	Αγριλιά (1971) (1981) (1991) (2001)	21,443714	38,401861	94	21,444375	38,402948	
4	Αλυκές Τουρλίδας (1991)	21,414499	38,328861	0	21,415160	38,329949	ΕΙΝΑΙ ΑΛΥΚΕΣ ΔΙΠΛΑ ΣΤΗΝ ΤΟΥΡΛΙΔΑ
5	Αρβανιταίικα (1981) (1991) (2001)	21,463047	38,385985	52	21,463707	38,387072	
6	Αρχαία Αλίκαρνα (1981) (1991) (2001)	21,491852	38,395546	121	21,492512	38,396633	ΩΣ ΘΕΟΔΩΡΑΚΑΪΚΑ
7	Βαλτούλια (1981)	21,45134	38,380107	32	21,452000	38,381194	
8	Βασιλάδι (1971) (1981) (1991) (2001)	21,385054	38,338745	0	21,385716	38,339833	ΩΣ Ν. ΒΑΣΙΛΑΔΙ
9	Γλήνες (1981)	21,43524	38,398863	82	21,435901	38,399950	
10	Ζεστή (1981) (1991) (2001)	21,489603	38,379689	44	21,490263	38,380776	
11	Θεοδωρακαίικα (1981) (1991) (2001)	21,491988	38,395362	121	21,492648	38,396449	
12	Θολή (1971)	21,28667	38,311363	0	21,287333	38,312452	ΩΣ Ν. ΘΟΛΗ, ΚΑΤΑ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ
13	Καρίτσα (1971) (1981) (1991) (2001)	21,497876	38,458745	541	21,498536	38,459830	
14	Κόμμα (1971) (1981) (1991) (2001)	21,365193	38,322439	2	21,365855	38,323528	ΩΣ Ν. ΚΟΜΜΑ
15	Μεσόκαμπος (1981) (1991) (2001)	21,407426	38,407085	89	21,408088	38,408172	
16	Μπαμπάκουλα (1991) (2001)	21,430655	38,372213	14	21,431316	38,373300	
17	Νέα Υδραγωγεία (1981) (1991) (2001)	21,407426	38,407085	89	21,408088	38,408172	ΩΣ Ν. ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟ, ΚΟΝΤΑ ΣΤΟΝ ΜΕΣΟΚΑΜΠΟ
18	Νότιος Δίαυλος (1991) (2001)	21,430655	38,372213	14	21,431316	38,373300	

2001									
κωδικός οικισμού	ονομασία οικισμού	κωδικός κοινοτικού ή δημοτικού διαμερίσματος 2001	Κ.Δ. Ή Δ.Δ.	ονομασία δημοτικού ή κοινοτικού διαμερίσματος 2001	κωδικός δήμου ή κοινότητας 2001	Δ ή Κ	ονομασία δήμου ή κοινότητας 2001	κωδικός νομού 2001	ονομασία νομού 2001
01010101	Μεσολόγγιον,το	01010100	Δ.Δ.	Μεσολογγίου	01010000	Δ	ΙΕΡΑΣ ΠΟΛΗΣ ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ	01	ΑΙΤΩΛΙΑΣ ΚΑΙ ΑΚΑΡΝΑΝΙΑΣ
01010102	Άγιος Συμεών,ο	01010100	Δ.Δ.	Μεσολογγίου	01010000	Δ	ΙΕΡΑΣ ΠΟΛΗΣ ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ	01	ΑΙΤΩΛΙΑΣ ΚΑΙ ΑΚΑΡΝΑΝΙΑΣ
01010103	Αγριλιά,η	01010100	Δ.Δ.	Μεσολογγίου	01010000	Δ	ΙΕΡΑΣ ΠΟΛΗΣ ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ	01	ΑΙΤΩΛΙΑΣ ΚΑΙ ΑΚΑΡΝΑΝΙΑΣ
01010104	Αρβανιταίικα,τα	01010100	Δ.Δ.	Μεσολογγίου	01010000	Δ	ΙΕΡΑΣ ΠΟΛΗΣ ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ	01	ΑΙΤΩΛΙΑΣ ΚΑΙ ΑΚΑΡΝΑΝΙΑΣ
01010105	Αρχαία Αλίκαρνα,η	01010100	Δ.Δ.	Μεσολογγίου	01010000	Δ	ΙΕΡΑΣ ΠΟΛΗΣ ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ	01	ΑΙΤΩΛΙΑΣ ΚΑΙ ΑΚΑΡΝΑΝΙΑΣ
01010106	Βασιλάδι,το (νησίς)	01010100	Δ.Δ.	Μεσολογγίου	01010000	Δ	ΙΕΡΑΣ ΠΟΛΗΣ ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ	01	ΑΙΤΩΛΙΑΣ ΚΑΙ ΑΚΑΡΝΑΝΙΑΣ
01010107	Ζεστή ,η	01010100	Δ.Δ.	Μεσολογγίου	01010000	Δ	ΙΕΡΑΣ ΠΟΛΗΣ ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ	01	ΑΙΤΩΛΙΑΣ ΚΑΙ ΑΚΑΡΝΑΝΙΑΣ
01010108	Θεοδωρακαίικα,τα	01010100	Δ.Δ.	Μεσολογγίου	01010000	Δ	ΙΕΡΑΣ ΠΟΛΗΣ ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ	01	ΑΙΤΩΛΙΑΣ ΚΑΙ ΑΚΑΡΝΑΝΙΑΣ
01010109	Καρίτσα,η	01010100	Δ.Δ.	Μεσολογγίου	01010000	Δ	ΙΕΡΑΣ ΠΟΛΗΣ ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ	01	ΑΙΤΩΛΙΑΣ ΚΑΙ ΑΚΑΡΝΑΝΙΑΣ
01010110	Κόμμα,το (νησίς)	01010100	Δ.Δ.	Μεσολογγίου	01010000	Δ	ΙΕΡΑΣ ΠΟΛΗΣ ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ	01	ΑΙΤΩΛΙΑΣ ΚΑΙ ΑΚΑΡΝΑΝΙΑΣ
01010111	Μεσόκαμπος,ο	01010100	Δ.Δ.	Μεσολογγίου	01010000	Δ	ΙΕΡΑΣ ΠΟΛΗΣ ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ	01	ΑΙΤΩΛΙΑΣ ΚΑΙ ΑΚΑΡΝΑΝΙΑΣ
01010112	Μπαμπακούλα,η	01010100	Δ.Δ.	Μεσολογγίου	01010000	Δ	ΙΕΡΑΣ ΠΟΛΗΣ ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ	01	ΑΙΤΩΛΙΑΣ ΚΑΙ ΑΚΑΡΝΑΝΙΑΣ
01010113	Νέα Υδραγωγεία,τα	01010100	Δ.Δ.	Μεσολογγίου	01010000	Δ	ΙΕΡΑΣ ΠΟΛΗΣ ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ	01	ΑΙΤΩΛΙΑΣ ΚΑΙ ΑΚΑΡΝΑΝΙΑΣ
01010114	Νότιος Δίαυλος,ο	01010100	Δ.Δ.	Μεσολογγίου	01010000	Δ	ΙΕΡΑΣ ΠΟΛΗΣ ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ	01	ΑΙΤΩΛΙΑΣ ΚΑΙ ΑΚΑΡΝΑΝΙΑΣ

1991					1981					1971
κωδικός οικισμού 1991	ονομασία οικισμού 1991	κωδικός δήμου ή κοινότητας 1991	κωδικός επαρχίας 1991	κωδικός νομού 1991	κωδικός οικισμού 1981	ονομασία οικισμού	κωδικός δήμου 1981	κωδικός επαρχίας 1981	κωδικός νομού 1981	ονομασία οικισμού
01300201	Μεσολόγγιον	01300200	013	01	01300201	Μεσολόγγιον	01300200	013	01	Μεσολόγγιον
01300202	Άγιος Συμεών	01300200	013	01	01300202	Άγιος Συμεών	01300200	013	01	Άγιος Συμεών
01300203	Αγριλιά	01300200	013	01	01300203	Αγριλιά	01300200	013	01	Αγριλιά
01300204	Αλυκές Τουρλίδας	01300200	013	01						
01300205	Αρβανιταίικα	01300200	013	01	01300204	Αρβανιταίικα	01300200	013	01	
01300206	Αρχαία Αλίκαρνα	01300200	013	01	01300205	Αρχαία Αλίκαρνα	01300200	013	01	
					01300206	Βαλτούλια	01300200	013	01	
01300207	Βασιλάδι	01300200	013	01	01300207	Βασιλάδι	01300200	013	01	Βασιλάδι
					01300208	Γλήνες	01300200	013	01	
01300208	Ζεστή	01300200	013	01	01300209	Ζεστή	01300200	013	01	
01300209	Θεοδωρακαίικα	01300200	013	01	01300210	Θεοδωρακαίικα	01300200	013	01	
										Θολή
01300210	Καρίτσα	01300200	013	01	01300211	Καρίτσα	01300200	013	01	Καρίτσα
01300211	Κόμμα	01300200	013	01	01300212	Κόμμα	01300200	013	01	Κόμμα
01300212	Μεσόκαμπος	01300200	013	01	01300213	Μεσόκαμπος	01300200	013	01	
01300213	Μπαμπάκουλα	01300200	013	01						
01300214	Νέα Υδραγωγεία	01300200	013	01	01300214	Νέα Υδραγωγεία	01300200	013	01	
01300215	Νότιος Δίαυλος	01300200	013	01						

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] European Commission, “Radiation Protection 98 – Scientific Seminar on Radiation Protection in relation to Radon”, Directorate – General Environment, Nuclear Safety and Civil Protection, 1998
- [2] UNSCEAR, “Sources and Effects of Ionizing Radiation”, Annex B, “Exposures from natural radiation sources”, Report Vol. I, 2000
- [3] U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air and Radiation, “Indoor Radon and Radon Decay Product Measurement Device Protocols”, July 1992 (revised)
- [4] http://www.eeae.gr/gr/index.php?fvar=html/president/_info_radon
- [5] <http://omega.physics.uoi.gr/radon/Greek/radon.pdf>
- [6] V.S.Shirley ed., “Table of Radioactive Isotopes”, Wiley-Interscience, N.Y
- [7] Bale W. F., “Hazards associated with radon and thoron” Unpublished memorandum to the US Atomic Energy Commission, 1951 (reprinted in Health Phys. 38, 1061 (1980))
- [8] Hultqvist B., “Studies on naturally occurring ionising radiations” Thesis, 1956. K svenska Vetensk Akad. Handl. 6(3). Almqvist & Wiksells Boktryckeri, Stockholm
- [9] Spiers F. W., “Gamma-ray dose rates to human tissues from natural external sources in Great Britain. The hazards to man of nuclear and allied radiations”, Appendix D, 66-72, United Kingdom Medical Research Council, Her Majesty’s stationary Office, London, 1960
- [10] Lindell B., Löfveberg S., “Radioactivity and building materials”, Two parts, National Institute for Building Research Informs 2/68 and 3/68, Gävle, (in Swedish), 1968

- [11] UNSCEAR, “Sources and effects of ionising radiation”, Report 1977. Report to the General Assembly, United Nations, New York
- [12] Krišuk E. M., Tarasov S.T., Shamov V.P., Shalak N. I., Lisashenko E. P. Gomelsky L. G., “A study on radioactivity of building materials”, Ministry of Public Health of the RSFSR, Leningrad Research Institute for Radiation Hygiene, Leningrad, 1971
- [13] NRPB, “The radiological implications of using by-product gypsum as a building material”, NRPB-R7, Harwell, 1972
- [14] US Subcommittee on Atomic Energy Congress, “Use of uranium mill tailings for construction purposes”, ninety-second Congress, Hearings before the subcommittee, 1971
- [15] Gemesi J., Szy D., Toth A., “Radon-222 content in the internal atmosphere of Hungarian residential buildings”, *In Proceedings from the Natural Radiation Environment II*, 751-756, ed. Johns A, Adams S et al, Technical Information Service US Department of Commerce, 1972
- [16] Swedjemark G. A., Mjönes L., “Exposure of the Swedish population to radon daughters”, *In Indoor Air’84*. Vol 2, 37-43, Proceedings of the 3rd International Conference on Indoor Air Quality and Climate held in Stockholm, Ed. B. Berglund, T. Lindvall, and J. Sundell, 1984
- [17] UNSCEAR, “Ionising radiation: sources and biological effects”, Report 1982, Report to the General Assembly, United Nations, New York, 1982
- [18] UNSCEAR, “Sources, effects and risks of ionising radiation”, Report 1988, Report to the General Assembly, United Nations, New York, 1988
- [19] UNSCEAR, “Sources and effects ionising radiation”, Report 1993, Report to the General Assembly, United Nations, New York, 1993
- [20] ICRP, “Protection against radon-222 at home and at work”, ICRP-publ. 65. *Annals of the ICRP* 23, 2, 1993

- [21] The Radiation Protection Institutes in Denmark, Finland, Iceland, Norway and Sweden “Naturally occurring radiation in the Nordic countries - recommendations”, 1986
- [22] World Health Organisation, Regional Office for Europe, “Air Quality Guidelines for Europe”, WHO Regional European Series No. 23, Copenhagen, 1987
- [23] ICRP, “Human respiratory tract model for radiological protection”, ICRP-publ. 66. Annals of the ICRP 24, 1-3, 1994
- [24] Commission of the European Communities, “Radiation atlas. Natural sources of ionising radiation in Europe”, 1991
- [25] Annamäki M. K., “Natural radiation - new activities to be monitored”, *In* Proceedings of Indoor Air’93, Vol 4, pp 599-602, 1993
- [26] Hanslik E., Mansfield A., “Concentration of radon in water and air in treatment plants”, The T.G. Masaryk Water Research Institute, *In* Radon investigations in the Czech Republic IV, editor I Barnet, Czech Geological Survey, Prague, 1993
- [27] Clavensjö B, Åkerblom G., “The radon book, Measures against radon”, Swedish Council for Building Research, S-171 88 Solna, Sweden, 1994
- [28] EPA, United States Environmental Protection Agency, “Radon mitigation standards”, EPA 402-R-93-078, 1993
- [29] Clavensjö B., “Experience from remedial measures in Swedish houses”, *In* Proceedings from the European Conference on Protection against Radon at Home and at Work in June 1997, Praha, Czech Republic, Part I, 17-28, 1997
- [30] Naismith S. “Durability of radon remedial actions”, *Radiat. Prot Dosimetry* 71, 3, 215-218, 1997
- [31] Tanner, A.B., “Radon migration in the ground”, a review. p. 161-190 in: *The Natural Radiation Environment* (J.A.S. Adams and W.M. Lowder, eds.). University of Chicago Press, Chicago, 1964

- [32] Tanner, A.B., “Radon migration in the ground”, a supplementary review. p. 5-56 in: Natural Radiation Environment III, Volume 1 (T.F. Gesell and W.M. Lowder, eds.). CONF-780422, 1980
- [33] Rogers, V.C., K.K. Nielson, “Correlations for predicting air permeabilities and ^{222}Rn diffusion coefficients of soils”, Health Phys. 61(2): 225-230, 1991
- [34] Gadgil A.J., “Models of radon entry” Radiat. Prot. Dosim. 45(1/4): 373-380, 1992
- [35] Steinhäusler F., C. Atzmüller, M. Muss et al., “On the validity of individual versus conventional radon dose assessment methods” Environ. Int. 22 (Suppl. 1): S871- S876, 1996
- [36] ICRP, “Recommendations of the International Commission on Radiological Protection”, ICRP Publication 60. ICRP, Oxford, England: Pergamon Press, 1990
- [37] ΦΕΚ 216B, “Κανονισμός Ακτινοπροστασίας”, 5/3/2001
- [38] Αδαμακόπουλος Τ., Ματσούκα Π., “TopoNavigator – Εγχειρίδιο του χρήστη”, Αθήνα, 2006
- [39] Φώτης Ν., Φώτης Ι., “ΕΛΛΑΣ, οδικοί – τουριστικοί χάρτες”, Αθήνα, 2004/2005
- [40] Λιβιεράτος Ε., “Θεωρία της Γεωδαισίας”, Θεσσαλονίκη, 1992
- [41] Φωτίου Α., Λιβιεράτος Ε., “Γεωμετρική Γεωδαισία και Δίκτυα”, Θεσσαλονίκη, 2000
- [42] http://www.statistics.gr/gr_tables/s1101_sap_1_mt_dc_01_definitions.pdf
- [43] Νικολόπουλος Δ., “Μελέτη της Έκθεσης του Ελληνικού Πληθυσμού στο Ραδόνιο 222”, Εργαστήριο Ιατρικής Φυσικής, Ιατρική Σχολή, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα, 1999
- [44] <http://franson.com/coordtrans>

- [45] Σταθοπούλου Ε. Η., “Στοχαστική Ανάλυση Ραδιοπεριβαλλοντικών Μεγεθών με τη Μέθοδο των Fractals”, ΔΕ, Αθήνα, 1998
- [46] Σιμόπουλος Σ. Ε., “Μετρήσεις Τεχνικών Μεγεθών”, Αθήνα, 1989
- [47] Raes F., De Cort M., Graziani G., “Multi-fractal nature of radioactivity deposition on soil after the Chernobyl accident”, Health Physics, Vol. 61, No 2, pp. 271-274, 1991
- [48] Swan A.R.H., Sandilands, “Introduction to Geological Data Analysis”, Blackwell Science Ltd., 1995
- [49] <http://nuclear.ntua.gr/apache2-default/radmaps/rameg.html>
- [50] <http://www.oasp.gr/default.asp?l1=4&l2=2&l3=4>
- [51] Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, “Σεισμοτεκτονικός Χάρτης της Ελλάδος”, Αθήνα, 1989
- [52] Dubois G., “An Overview of Radon Surveys in Europe”, EUR 21892 EN, EC. Luxembourg: Office for Official Publication of the European Communities, 168 pp., 2005
- [53] P.N. Price, A.V. Nero, A. Gelman, “Bayesian prediction of mean indoor radon concentrations for Minnesota counties”, Health Phys. 71_1996.922–936.
- [54] Βράντζας Π. Φ., “Διερεύνηση της Συσχέτισης μεταξύ των Εδαφοαπεικονίσεων Διασπειρόμενων Ραδιοϊσοτόπων και Βρόχινου Ύδατος με τη Μέθοδο των Φράκταλ”, ΔΕ, Αθήνα, 2001
- [55] Miles J. “Development of maps of radon-prone areas using radon measurements in houses”, Journal of Hazardous Materials 61 (1998) 53-58
- [56] Swan A. R. H., Sandilands M., “Introduction to Geological Data Analysis”, Blackwell Science, 1995
- [57] Dubois G., Bossew P., Friedmann H., “A geostatistical autopsy of the Austrian indoor radon survey (1992 – 2002)”, The Science of the Total Environment 377 (2007) 378-395

- [58] Zhu H. C., Charlet J. M., Poffijn A., “Radon risk mapping in southern Belgium: an application of geostatistical and GIS techniques”, *The Science of the Total Environment* 272 (2001) 203-210
- [59] J. Hulka, I. Fojtikova, Z. Borecky, L. Tomasek, I. Burian, J. Thomas, “Indoor radon risk mapping in the Czech Republic”, *Proceedings of the European Conference on Protection Against Radon at Home and at Work, Praha, Czech Republic_1997*.96
- [60] J.C.H. Miles, T.K. Ball, “Mapping the probability of high radon concentrations occurring, in buildings” in: S.A. Durrani, R. Ilic_Eds., “Radon Measurements with Etched Track Detectors: Applications in Radiation Protection”, *Earth Sciences and the Environment*, Chap. 3.4, World Scientific Press, Singapore_1997.
- [61] Röttger A, Honig A, Butterweck G, Schuler Ch, Schmidt V, Buchröder H, et al. “Intercomparison exercise of calibration facilities for radon gas activity concentration”, In: McLaughlin JP, Simopoulos S.E, Steinhäusler F, editors. *The Natural Radiation Environment VII. Radioactivity in the Environment*, Elsevier; 2005. p. 306–13.
- [62] Baumgartner A, Maringer FJ, Michai P, Kreuziger M, “Result of the intercomparison exercise on radon measuring instruments and radon detectors ‘BEV-Radonring 2005’”, In: *European International Radiation Protection Association (Hrsg./Eds.), Second European IRPA congress on radiation protection, 15.–19. Mai 2006, Paris, 1–6.*
- [63] Toohey R. E., Brown W., Stebbings J. H., “Systematic geographic sampling with UTM coordinates”, *Environment International*, Vol. 14, pp. 207-212, 1988
- [64] Παπαδάκος Γ., υπό εκπόνηση ΔΔ με θέμα: “Στοχαστικές διαδικασίες και συνακόλουθες ποσοτικές και ποιοτικές εκτιμήσεις ραδιοπεριβαλλοντικών και συναφών εργαστηριακών διαδικασιών”, ΕΠΤ-ΕΜΠ, Αθήνα