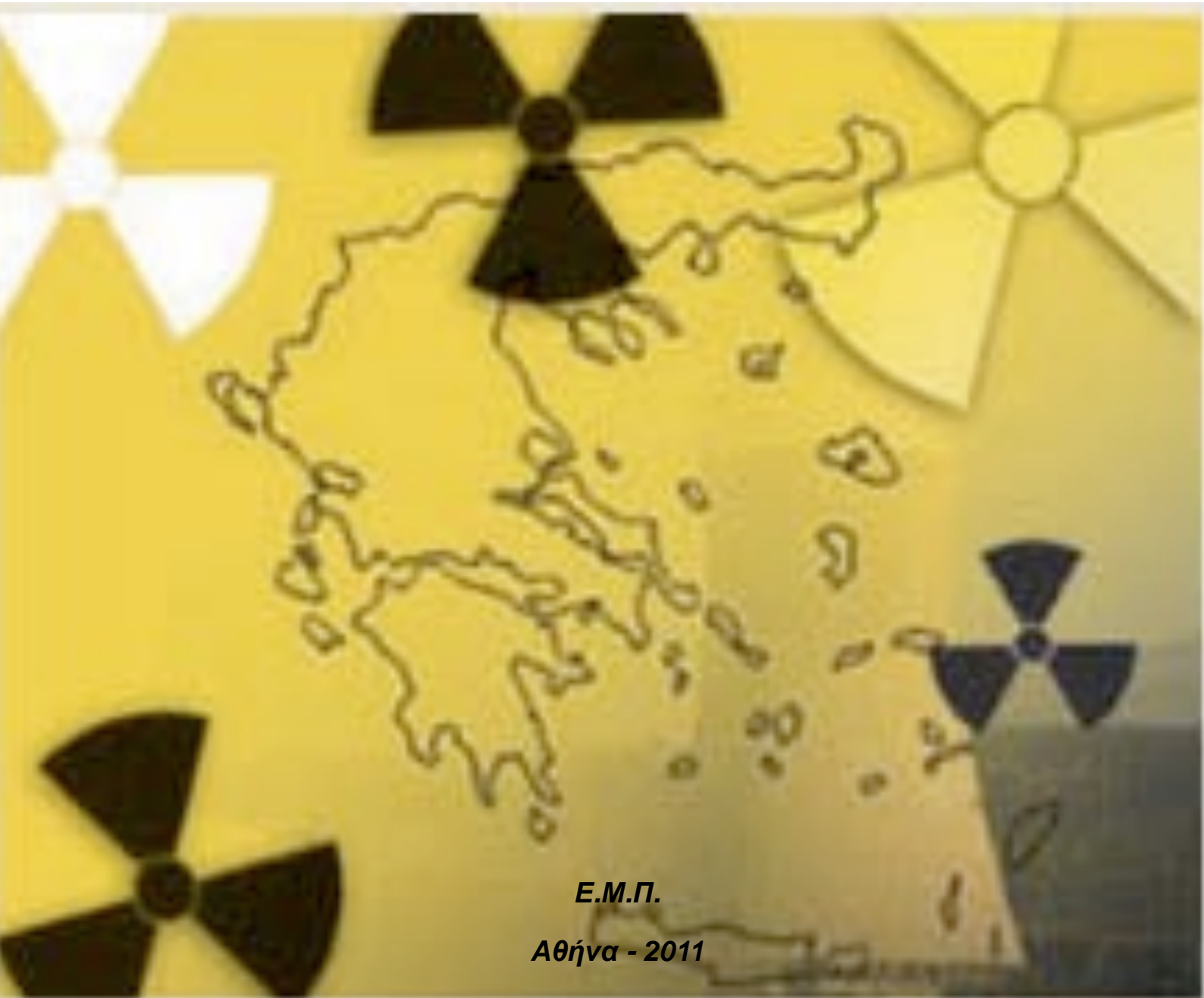




ΕΡΕΥΝΑ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ
ΠΥΡΗΝΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ
ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ



Ε.Μ.Π.

Αθήνα - 2011

Επιβλέπουσα καθηγήτρια

Ροντογιάννη Θεοδώρα

Αντρέας Λεωνίδου

Κωνσταντίνος Αντωνίου

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στα πλαίσια εκπόνησης της διπλωματικής μας εργασίας στη Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και σε συνεργασία με την αναπληρώτρια καθηγήτρια της Σχολής κ Θ. Ροντογιάννη έγινε η επιλογή του θέματος που αφορά την «Έρευνα Δυνατότητας Αποθήκευσης Πυρηνικών Αποβλήτων στην Ελλάδα».

Αρχικά θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά την κ. Ροντογιάννη για την ανάθεση ενός τόσο ενδιαφέροντος θέματος, για την εξασφάλιση των βέλτιστων συνθηκών για την πραγματοποίησή της εργασίας αυτής αλλά και για τις χρήσιμες συμβουλές που μας παρείχε κατά τη διάρκεια της εκπόνησής της. Επίσης, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά την κ. Ε. Λυκούδη για τη συνεχή καθοδήγηση της και τις πρακτικές συμβουλές της καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

Ευχαριστίες οφείλονται επίσης στην επ. καθηγήτρια κ. Μ. Αντωνίου και τον Λέκτορα κ. Κ. Λουπασάκη, για την συμμετοχή τους στην τριμελή επιτροπή.

Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ	10
ΠΥΡΗΝΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ - ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ - ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ	10
1. ΠΡΟΛΟΓΟΣ	10
2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	12
3. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ	14
3.1. ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ	14
3.2. ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	14
3.3. ΠΥΡΗΝΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ	15
3.4. ΠΥΡΗΝΙΚΟΙ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ - ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΠΥΡΗΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΙΑΣ - ΠΥΡΗΝΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ	15
4. ΠΥΡΗΝΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ	21
4.1. Η ΦΥΣΗ ΤΩΝ ΠΥΡΗΝΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥΣ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΟ	22
4.1.1. Φυσικές ιδιότητες	22
4.1.2. Δράση στον άνθρωπο	23
4.2. ΠΗΓΕΣ ΠΥΡΗΝΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	24
4.2.1. Ο κύκλος των πυρηνικών καυσίμων	24
4.3. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΥΡΗΝΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	26
4.3.1. Τμήματα Ουρανίου - Uranium tailings	26
4.3.2. Χαμηλής Ραδιενεργής Δράσης Πυρηνικά Απόβλητα (LLW - Low Level Waste)	27

4.3.3. Μεσαίας Ραδιενεργής Δράσης Πυρηνικά Απόβλητα (ILW - Intermediate Level Waste)	27
4.3.4. Υψηλής Ραδιενεργής Δράσης Πυρηνικά Απόβλητα (HLW - High Level Waste).....	28
4.3.5. Transuranic πυρηνικά απόβλητα (TRUW)	28
4.4. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΠΥΡΗΝΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	29
4.4.1. Αρχική επεξεργασία των αποβλήτων	30
4.4.2. Μακροπρόθεσμη διαχείριση των αποβλήτων	32
5. ΜΕΤΡΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΣΦΑΛΗ ΔΙΑΘΕΣΗ ΤΩΝ ΠΥΡΗΝΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ -----	35
5.1. ΦΑΣΗ 1: ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ	36
5.1.2. Αξιολόγηση των μετεωρολογικών και κλιματολογικών συνθηκών	38
5.1.3. Σεισμοτεκτονικά Στοιχεία	38
5.1.4. Επιφανειακές Γεωλογικές Γεωτεχνικές και Υδρολογικές συνθήκες.....	39
5.1.5. Λιθολογικά και υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά.	40
5.1.6. Φυσικοί πόροι.....	41
5.2. ΦΑΣΗ 2: ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ.....	43
5.2.1. Χαρακτηρισμός και μοντελοποίηση της περιοχής	44
5.2.2. Δημογραφικά στοιχεία και χρήση της γής	44
5.2.3. Μεταφορά - Οδικό δίκτυο	44
5.2.4. Μετεωρολογικές και κλιματολογικές συνθήκες	45
5.2.5. Σεισμοτεκτονικά Στοιχεία	45
5.2.6. Γεωλογικά χαρακτηριστικά και υδρολογία της επιφάνειας.....	45
5.2.7. Γεωλογικά χαρακτηριστικά και υδρολογία του υπεδάφους	45

5.2.8. Φυσικοί πόροι.....	46
6. ΚΡΙΤΗΡΙΑ - ΣΥΜΒΑΣΕΙΣ -----	46
6.1. ΓΕΝΙΚΑ.....	46
6.2. ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ ΚΑΙ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ.....	47
6.3. ΣΥΝΘΗΚΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΙΔΡΥΣΗ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗΣ ΚΟΙΝΟΤΗΤΑΣ ΑΤΟΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΕΥΡΑΤΟΜ).....	49
6.3.1 Δομή Συνθήκης.....	50
6.3.2 Αποστολή Συνθήκης.....	51
6.3.3. Συμβάσεις περί Πυρηνικής Ασφάλειας.....	55
7. ΧΩΡΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΠΥΡΗΝΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ -----	58
7.1. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΟΝ ΔΙΕΘΝΗ ΧΩΡΟ.....	58
ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ -----	61
ΕΛΛΑΔΙΚΟΣ ΧΩΡΟΣ - ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΠΥΡΗΝΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	61
1. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ-----	62
1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΙΔΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ.....	62
1.2 ARCGIS.....	64
1.3 ARCMAP.....	64
1.3.1 Τα δεδομένα.....	64
1.3.2 Τύποι αποθηκευόμενων αρχείων.....	65
1.4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	66

2. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΠΥΡΗΝΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	69
2.1 ΓΕΩΛΟΓΙΑ	69
2.1.1 Λιθολογική δομή	69
2.1.2 Τεκτονική δομή	76
2.2 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ	79
2.3 ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ - ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ	81
2.3.1 Σεισμικότητα	81
2.3.2 Σεισμική επικινδυνότητα	82
2.4 ΠΕΡΙΟΧΕΣ NATURA	84
2.4.1 Δίκτυο NATURA	84
2.4.2 Περιοχές NATURA (Το Δίκτυο NATURA)	85
2.4.3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΤΑΡΤΙΣΗΣ ΕΘΝΙΚΟΥ ΚΑΤΑΛΟΓΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	86
2.5 ΑΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	89
3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	91
3.1 ΓΕΝΙΚΑ	91
3.1.1 Περιγραφή Μεθόδου Ανάλυσης	91
3.2 ΧΑΡΤΗΣ ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΠΥΡΗΝΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	92
3.2.1 Αξιολόγηση καταλληλότητας ως προς την λιθολογία	97
3.3 ΧΑΡΤΗΣ ΖΩΝΩΝ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΑΚΑΤΑΛΛΗΛΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΠΥΡΗΝΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	99
3.4 ΧΑΡΤΗΣ ΖΩΝΩΝ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΚΑΙ ΛΙΜΝΩΝ ΑΚΑΤΑΛΛΗΛΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΠΥΡΗΝΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	101

3.5	ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΠΥΡΗΝΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΚΑΤΑ ΕΑΚ.....	103
3.6	ΧΑΡΤΗΣ ΖΩΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ NATURA ΑΚΑΤΑΛΛΗΛΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΠΥΡΗΝΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	105
3.7	ΧΑΡΤΗΣ ΟΙΚΙΣΤΙΚΩΝ ΖΩΝΩΝ ΑΚΑΤΑΛΛΗΛΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΠΥΡΗΝΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	107
3.8	ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΠΥΡΗΝΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	108
4.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ -----	111
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ:	113
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:	114

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

ΠΥΡΗΝΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ - ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ - ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

1. ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Μισό αιώνα από την λειτουργία του πρώτου πυρηνικού σταθμού πυρηνικής ενέργειας και σήμερα η πυρηνική ενέργεια αποτελεί μέρος της ζωής μας. Στο διάστημα αυτό η ανθρωπότητα γνώρισε και επωφελήθηκε από την χρήση της πυρηνικής ενέργειας αλλά επίσης προβληματίστηκε και προβληματίζεται για την ασφαλή ως προς τον άνθρωπο και το περιβάλλον διαχείρισή της καθώς οι επιπτώσεις από ανθρώπινα σφάλματα ή φυσικές καταστροφές έχουν τραγικές επιπτώσεις σε κάθε παράγοντα που αφορά την ανθρωπότητα και τον πλανήτη.

Μέρος του προβλήματος διαχείρισης της πυρηνικής ενέργειας αποτελεί η διαχείριση των πυρηνικών αποβλήτων, ένα θέμα το οποίο απασχολεί την διεθνή κοινότητα η οποία προτείνει, εφαρμόζει και βελτιστοποιεί διαρκώς λύσεις μετά από εξονυχιστικές μελέτες καθώς η σοβαρότητα του προβλήματος είναι καθοριστικής σημασίας. Το χαρακτηριστικό στο οποίο στηρίζεται η ιδιαιτερότητα των πυρηνικών αποβλήτων είναι η μακροχρόνια ενεργότητά τους η οποία υπολογίζεται σε ορισμένες περιπτώσεις σε εκατοντάδες εκατομμύρια χρόνια. Ο κύριος στόχος στις προσπάθειες αυτές είναι η διαχείριση των πυρηνικών αποβλήτων με τρόπο τέτοιο που να περιορίζεται η επίδρασή τους στον άνθρωπο. Μερικές από τις προτεινόμενες μόνιμες και προσωρινές λύσεις είναι η γεωλογική αποθήκευση και απομόνωση τους, ή μεταστοιχίωσή τους και η τοποθέτησή τους σε υποθαλάσσια στρώματα.

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η εξέταση του Ελληνικού χώρου ως προς την καταλληλότητα του για ενδεχόμενη γεωλογική αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων και η κατηγοριοποίηση των διάφορων υποπεριοχών ως προς την καταλληλότητα τους. Η μελέτη στηρίχτηκε στην ανάλυση των ελληνικών δεδομένων ως προς τα γεωλογικά, τα γεωμορφολογικά, τα υδρογεωλογικά, τα υδρολογικά, τα σεισμολογικά, τα αστικά και τα

φυσικά χαρακτηριστικά ως προς την χλωρίδα και την πανίδα του χώρου. Τα δεδομένα αναλύθηκαν με την βοήθεια ενός Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών και τα αποτελέσματα της μελέτης προβάλλονται σε αντίστοιχους χάρτες της Ελλάδας.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η χρήση της πυρηνικής ενέργειας, η οποία είναι πολύ διαδεδομένη τα τελευταία χρόνια, έχει να αντιμετωπίσει τρία βασικά προβλήματα: την ασφάλεια, την δημοκρατία και τα απόβλητα. Κι αυτό γιατί τα πυρηνικά υποθηκεύουν το μέλλον της κοινωνίας μιας περιοχής για πολλές χιλιάδες χρόνια, όσο δηλαδή θα είναι επικίνδυνα. Πως μπορούμε να ξέρουμε τι πολιτική, τι πολιτισμός και τι τοπίο θα υπάρχει τότε?

Η λέξη κλειδί που πρέπει να συνοδεύει την εγκατάσταση κάθε πυρηνικού εργοστασίου είναι εμπιστοσύνη. Εμπιστοσύνη στους κανόνες της Φυσικής, στη συμπεριφορά της φύσης και στους ανθρώπους που είναι υπεύθυνοι για την κατασκευή και τη λειτουργία μιας πυρηνικής μονάδας. Παλαιότερα παραδείγματα αλλά και η πρόσφατη εμπειρία από την καταστροφή μετά το σεισμό της Ιαπωνίας έδειξαν ότι δύσκολα μπορούμε να εμπιστευτούμε και τη φύση και τους ανθρώπους στο θέμα αυτό. Αυτό φανερώνει και το γεγονός ότι πολύ πρόσφατα, ευρωπαϊκές χώρες ματαιώνουν προγράμματα εγκατάστασης πυρηνικών σταθμών για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Σε ότι αφορά την εγκατάσταση πυρηνικών εργοστασίων στην Ελλάδα, είχαν γίνει την δεκαετία του 1970 σχετικές μελέτες από τη ΔΕΗ αλλά το πρόγραμμα δεν προχώρησε. Πράγματι ευτυχώς, γιατί μία από τις υποψήφιες περιοχές ήταν η περιοχή της Κοζάνης, θεωρούμενη ασφαλής λόγω της απουσίας σεισμών για εκατοντάδες χρόνια. Η φύση όμως, εξέπληξε με τον καταστροφικό σεισμό του 1995 της Κοζάνης και έδωσε παράλληλα ένα μάθημα για το αν μπορούμε να θεωρούμε σεισμικές ορισμένες περιοχές στην Ελλάδα, η οποία συγκεντρώνει την μεγαλύτερη σεισμικότητα στην Ευρώπη.

Σε ότι αφορά τα πυρηνικά απόβλητα, αν και γενικά επικρατεί σχετική μυστικότητα στο θέμα αυτό, δίνονται ορισμένα στοιχεία από τις εθνικές και την ευρωπαϊκή επιτροπή ατομικής ενέργειας. Η πιο σύγχρονη πρόταση διαχείρισης είναι η ταφή σε θέσεις που έχουν τα κατάλληλα γεωλογικά χαρακτηριστικά για να μην υπάρξουν διαφυγές στο περιβάλλον. Οι χώρες που τα παράγουν συνήθως τα αποθηκεύουν σε υπόγειες δεξαμενές μέσα σε δοχεία και υπάρχουν περί τις 450 τέτοιες δεξαμενές στον κόσμο. Άλλες λύσεις είναι η επαναχρησιμοποίηση ή η αποτέφρωση.

Εναλλακτική πρόταση διαχείρισης των αποβλήτων εφαρμόζει η Γαλλία με την τοποθέτηση των δοχείων σε δεξαμενές νερού για να μην ζεσταίνονται και σημειώνονται διαφυγές. Τέτοια λύση όμως έχει κίνδυνο εκτός των άλλων και από τρομοκρατική ενέργεια, περίπτωση για την οποία λαμβάνονται μέτρα (π.χ. εφοδιασμός με αντιαεροπορικό

σύστημα). Ένα μέρος των αποβλήτων της Γαλλίας στέλνεται στη Ρωσία, όπου γίνεται ανακύκλωση και εμπλουτισμός. Στη Γερμανία τα απόβλητα τοποθετούνται σε δοχεία και αποθηκεύονται σε ενισχυμένες τσιμεντένιες αποθήκες κοντά στα εργοστάσια, για να μην υπάρχουν κίνδυνοι κατά τη μεταφορά.

Κύριο ρόλο στην αποθήκευση των πυρηνικών αποβλήτων παίζουν οι γεωλογικές και υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής αποθήκευσης και οι γεωτεχνικές ιδιότητες των πετρωμάτων που θα χρησιμοποιηθούν σαν δέκτες. Οι θέσεις αποθήκευσης πρέπει να μην είναι εμφανείς, αλλά από τους ειδικούς να σημειώνονται και να παρακολουθούνται για εκατοντάδες χρόνια. Τα πετρώματα που επιλέγονται για αποθήκευση πρέπει να έχουν «μονωτικές» ιδιότητες για να μην υπάρξουν διαρροές όταν θα διαβρωθούν και θα καταστραφούν τα δοχεία με τα απόβλητα. Ως τέτοια θεωρούνται κύρια το ορυκτό αλάτι και η άργιλος, και δευτερευόντως πετρώματα αδιαπέρατα και χωρίς διαρρήξεις (υγής βραχώμαζα).

Είναι ευνόητο ότι για την επιλογή θέσης αποθήκευσης πυρηνικών, αλλά και άλλων τοξικών αποβλήτων απαιτούνται λεπτομερείς επί τόπου μελέτες και εργαστηριακές δοκιμές για τον προσδιορισμό των φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών των πετρωμάτων.

Αν και δεν υπάρχουν πυρηνικά εργοστάσια στη χώρα μας, δεν αποκλείεται στο μέλλον να εξεταστεί η δυνατότητα αποθήκευσης αποβλήτων άλλων κρατών. Στο πλαίσιο αυτό, στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζεται σε γενικές γραμμές και σε μακροκλίμακα, δυνατότητα αυτή, με βάση τη γεωλογική δομή και τα σεισμολογικά χαρακτηριστικά του ελληνικού χώρου.

3. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

3.1. ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ

Πυρηνική αντίδραση ονομάζεται η διαδικασία οποιασδήποτε μετατροπής των πυρήνων των ατόμων ενός στοιχείου, που συμβαίνει κυρίως μέσα σε ειδικό χώρο αντιδραστήρα ή που μπορεί να συμβεί και εκτός (πυρηνικά όπλα). Η αντίδραση αυτή συμβαίνει μεταξύ του πυρήνα ενός ατόμου και ενός σωματιδίου - βλήματος που εισέρχεται σ' αυτό από την οποία και προκύπτει μετάπτωση του στοιχείου με διαφορετικό ατομικό πυρήνα, διαδικασία που καλείται μεταστοιχείωση.

Οι πυρηνικές αντιδράσεις διακρίνονται σε πυρηνική σχάση, πυρηνική σύντηξη και ραδιενεργό διάσπαση. Στις πυρηνικές αντιδράσεις οι πυρήνες των ατόμων είτε διασπώνται, οπότε γίνεται λόγος για σχάση, είτε συνενώνονται, οπότε γίνεται λόγος για σύντηξη, είτε μεταμορφώνονται, συνήθως λόγω βομβαρδισμού από άλλους πυρήνες ή σωματίδια, τα νετρόνια. Επειδή τα σωματίδια του πυρήνα συγκρατούνται με ισχυρές ελκτικές δυνάμεις, μια πυρηνική αντίδραση είναι επόμενο να απελευθερώνει τεράστια ποσά ενέργειας.

Κοινό χαρακτηριστικό και των τριών τύπων πυρηνικών αντιδράσεων είναι η μεταστοιχείωση που συμβαίνει ανεξάρτητα της συνέχειας της αντίδρασης.

3.2. ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Πυρηνική ενέργεια ή Ατομική ενέργεια ονομάζεται η ενέργεια που απελευθερώνεται όταν μετασχηματίζονται ατομικοί πυρήνες. Είναι δηλαδή η δυναμική ενέργεια που είναι εγκλεισμένη στους πυρήνες των ατόμων λόγω της αλληλεπίδρασης των σωματιδίων που τα συνιστούν. Η πυρηνική ενέργεια απελευθερώνεται κατά τη σχάση ή τη σύντηξη των πυρήνων και εφόσον οι πυρηνικές αντιδράσεις είναι ελεγχόμενες (όπως συμβαίνει στην καρδιά ενός πυρηνικού αντιδραστήρα) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καλύψει ενεργειακές ανάγκες όπως ηλεκτρική ενέργεια.

3.3. ΠΥΡΗΝΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

Πυρηνικά απόβλητα ονομάζονται τα άχρηστα προϊόντα από τις πυρηνικές αντιδράσεις. Συνήθως τα πυρηνικά απόβλητα είναι προϊόντα της πυρηνικής σχάσης του ασταθούς ισότοπου του ουρανίου 235 (ουράνιο με μαζικό αριθμό 235), μιας πυρηνικής αντίδρασης που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Αυτά τα προϊόντα είναι εξαιρετικά επικίνδυνα για τους ζωντανούς οργανισμούς λόγω της ραδιενέργειας, δε μπορούν να καταστραφούν σχεδόν καθόλου εύκολα και δεν έχει βρεθεί μέχρι στιγμής ικανοποιητική λύση, καθώς η φύση χρειάζεται πολλές χιλιάδες χρόνια για να τα αφομοιώσει λόγω του μεγάλου χρόνου ημιζωής. Το πιο επικίνδυνο παράγωγο είναι το πλουτόνιο το οποίο εκτός της μεγάλης ραδιενέργειας που εκπέμπει είναι τοξικό.

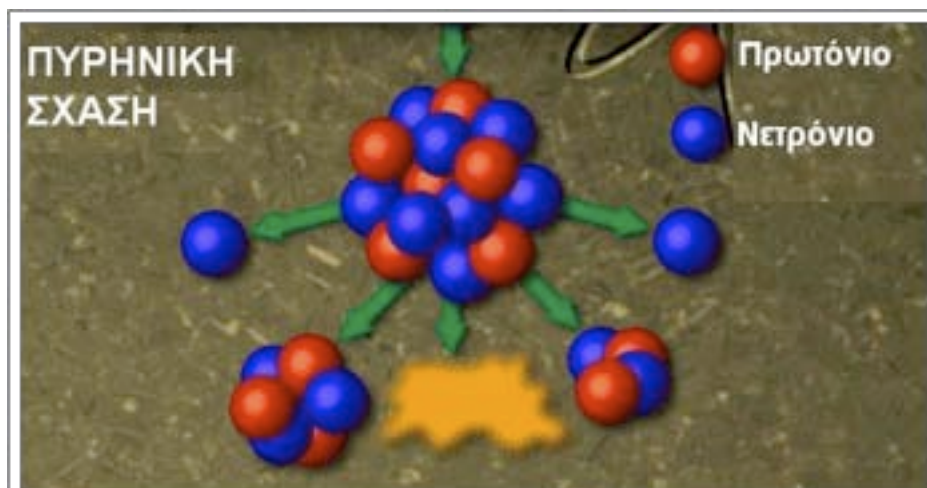
Τα πυρηνικά απόβλητα παράγονται από πυρηνικά προγράμματα κρατών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και την κατασκευή πυρηνικών όπλων. Η απόρριψή τους γίνεται συνήθως σε προσωρινά μέρη φύλαξης, ενώ μόνιμες λύσεις θεωρούνται η ταφή τους σε έρημους και υπόγειους χώρους, σε ακατοίκητες περιοχές. Ωστόσο, η ραδιενέργεια που παράγουν καταστρέφει πολλές μορφές ζωής, ενώ μπορεί να ρυπαίνει υπόγεια νερά τα οποία δεν είχαν εντοπιστεί, με καταστροφικές συνέπειες για το τοπικό οικοσύστημα και τον ντόπιο πληθυσμό.

3.4. ΠΥΡΗΝΙΚΟΙ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ - ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΠΥΡΗΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΙΑΣ - ΠΥΡΗΝΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

Πυρηνικοί αντιδραστήρες λειτουργούν εδώ και χιλιάδες χρόνια στη γη. Αυτή την εκπληκτική ανακάλυψη έκαναν Γάλλοι επιστήμονες αναλύοντας το ουράνιο σε ένα ορυχείο της Αφρικής. Η γεωλογική εξέλιξη και η εμ φάνιση του οξυγόνου συνέβαλλαν στη δημιουργία φυσικών αντιδραστήρων που βρίσκονται βαθιά μέσα στο φλοιό της γης. Πολύ αργότερα ο άνθρωπος τους επαναδημιούργησε. Στη δεκαετία του '40, το πετρέλαιο, το κάρβουνο και το νερό παρήγαγαν το μεγαλύτερο μέρος του ηλεκτρισμού στον κόσμο. Όμως, μια νέα πηγή αναδύθηκε από τα εργαστήρια της φυσικής και είναι η σημαντικότερη όλων. Η πυρηνική ενέργεια. Οι πρώτοι πυρηνικοί αντιδραστήρες, οι ατομικές στήλες δεν παρήγαγαν ηλεκτρική ενέργεια. Μας βοήθησαν όμως να ανακαλύψουμε τα μυστικά των πυρηνικών φαινομένων και να τα ελέγξουμε.

Πριν πολλά χρόνια χτίστηκαν τσιμεντένια κτίρια που στέγαζαν τους πυρηνικούς αντιδραστήρες. Υπάρχουν πολλά είδη πυρηνικών αντιδραστήρων. Ο πιο κοινός είναι ο

αντιδραστήρας πεπιεσμένου ύδατος. Αυτό το είδος αντιδραστήρα όπως και τα άλλα είδη αντιδραστήρων, βασίζεται στην πυρηνική σχάση. Πυρηνική σχάση, όπως αναφέρθηκε, είναι η ιδιότητα κάποιων ατόμων να διασπώνται παράγοντας μεγάλη ποσότητα ενέργειας. Όλα τα άτομα αποτελούνται από έναν πυρήνα που περιβάλλεται από ένα σύννεφο ηλεκτρονίων. Αυτός ο πυρήνας περιέχει και άλλα δύο είδη σωματιδίων σε διάφορους αριθμούς. Τα νετρόνια και τα πρωτόνια. Τα σωματίδια αυτά αλληλοσυγκρατούνται με μια ισχυρή δύναμη που ονομάζεται 'ενέργεια σύνδεσης'. Στη φύση, οι περισσότεροι ατομικοί πυρήνες είναι σταθεροί. Όμως υπάρχει μόνο ένας πυρήνας που μπορεί να διασπασθεί συγκρουόμενος με ένα νετρόνιο και απελευθερώνοντας ένα μέρος της συνδετικής τους ενέργειας. Πρόκειται για τον πυρήνα του ουρανίου 235. Ο αριθμός 235 αντιστοιχεί στην ποσότητα των πρωτονίων και νετρονίων μέσα στον πυρήνα. Και άλλα στοιχεία κατασκευασμένα από τον άνθρωπο, όπως το πλουτώνιο μπορεί επίσης να διασπασθεί. Η σχάση του ουρανίου 235 δεν είναι αυθόρμητη. Για να διασπασθεί ένα νετρόνιο πρέπει να συγκρουσθεί με τον πυρήνα του ουρανίου.



Εικόνα 1: Πυρηνική σχάση.

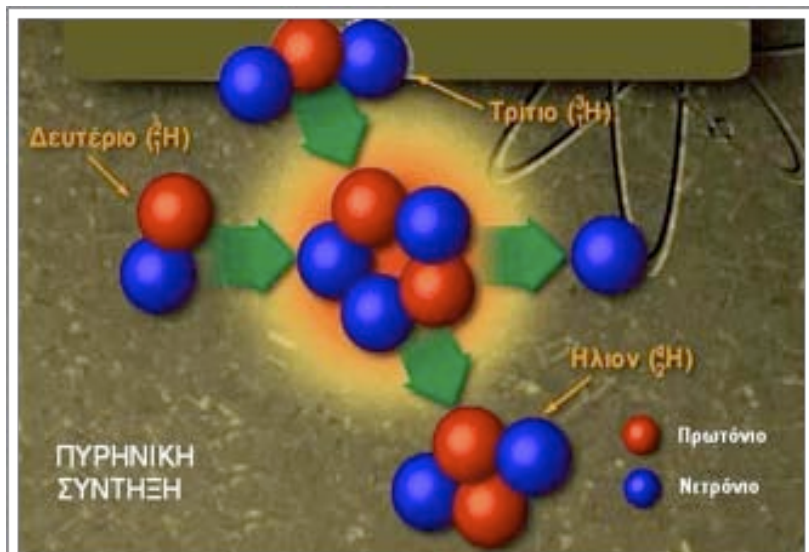
Τότε ο πυρήνας διασπάται, απελευθερώνει ενέργεια μαζί με δύο ή τρία άλλα νετρόνια. Καθώς διαφεύγουν, αυτά τα νετρόνια μπορούν να συγκρουστούν με άλλους πυρήνες ουρανίου 235 προκαλώντας πάλι σχάση, απελευθερώνοντας και άλλα νετρόνια και ενέργεια κ. ο. κ. Αυτή είναι η αλυσίδα των αντιδράσεων που αποτελεί πηγή ενέργειας στους πυρηνικούς αντιδραστήρες. Για να διευκολυνθεί αυτή η αλυσίδα αντιδράσεων, οι αντιδραστήρες πεπιεσμένου ύδατος για παράδειγμα χρησιμοποιούν ένα καύσιμο μέσω μιας σύνθετης διαδικασίας, και αυξάνεται η ποσότητα του ουρανίου 235. Πρόκειται για ένα εμπλουτισμένο ουράνιο. Το ουράνιο 235 αποτελείται κυρίως από το ουράνιο 238, ένα

άτομο που δεν έχει τη δυνατότητα διάσπασης. Αν χρησιμοποιηθεί το φυσικό ουράνιο, θα γινόταν μόνο μια σύγκρουση των νετρονίων με τον πυρήνα του ουρανίου 235 και έτσι η αλυσίδα αντιδράσεων θα εξελίσσονταν πιο δύσκολα. Επίσης τα απελευθερωμένα νετρόνια ταξιδεύουν με τόσο μεγάλη ταχύτητα που θα υπήρχε μικρή πιθανότητα σύγκρουσης με τον πυρήνα ενός ουρανίου. Για να αυξηθούν οι πιθανότητες σύγκρουσης, πρέπει να μειωθεί η ταχύτητα των νετρονίων. Αυτό γίνεται με έναν μετατροπέα. Μια ουσία, που επιβραδύνει τα νετρόνια χωρίς να τα απορροφά. Στον αντιδραστήρα πεπιεσμένου ύδατος, το νερό είναι αυτός ο μετατροπέας. Η αλυσίδα των αντιδράσεων γίνεται στην καρδιά του αντιδραστήρα, μια ασάλινη δεξαμενή γεμάτη με πεπιεσμένο νερό. Το καύσιμο που είναι σε μορφή σβώλων, είναι μέσα σε μεταλλικές θήκες που ονομάζονται μολυβδίδες. Το νερό κυκλοφορεί ανάμεσα στις μολυβδίδες, επιβραδύνει τα νετρόνια που βγαίνουν από τη μια μολυβδίδα στην άλλη και έτσι ξεκινά μια αυτοσυντήρητη αλυσίδα αντιδράσεων. Το νερό όμως, που κυκλοφορεί στην καρδιά του αντιδραστήρα δεν ενεργεί μόνο ως μετατροπέας. Χρησιμοποιείται και ως μέσο ελέγχου της θερμοκρασίας και αποτρέπει την υπερθέρμανση της καρδιάς του αντιδραστήρα. Αυτό το νερό που ονομάζεται και πρωτεύον νερό, έχει μια ακόμα σημαντική λειτουργία: Θερμαινόμενο από το καύσιμο, εισχωρεί σε μυριάδες σωλήνες στη γεννήτρια ατμού γύρω από την οποία επίσης κυκλοφορεί νερό. Το νερό που κυκλοφορεί γύρω από αυτές τις σωλήνες, το δευτερεύον νερό, εξατμίζεται. Ο ατμός μεταβιβάζεται σε μια τεράστια τουρμπίνα που ενεργοποιεί έναν μεταλλάκτη ο οποίος παράγει ηλεκτρισμό. Ο ατμός δεν αποβάλλεται στο περιβάλλον. Υγροποιείται σε επαφή με ένα τρίτο κύκλωμα, το κύκλωμα ψύξης. Ένας σταθμός με αντλίες τροφοδοτεί το τρίτο κύκλωμα με κρύο νερό από τη θάλασσα ή από κάποιο ποτάμι. Το νερό από κάθε κύκλωμα επιστρέφει στο αρχικό του σημείο. Το τριτεύον νερό επιστρέφει στη θάλασσα ή στο ποτάμι, το δευτερεύον νερό επιστρέφει στη γεννήτρια ατμού και το πρωτεύον στη δεξαμενή του αντιδραστήρα. Αυτά τα τρία κυκλώματα ανταλλάσσουν θερμότητα, αλλά ποτέ υπό φυσιολογικές συνθήκες, νερό. Έτσι μειώνονται οι πιθανότητες μόλυνσης του περιβάλλοντος αφού μόνο το πρωτεύον νερό είναι ραδιενεργό που έρχεται σε επαφή με τα στοιχεία του καυσίμου. Αν δεν δημιουργηθεί διαρροή η ραδιενέργεια αυτή δεν μεταβιβάζεται στο δευτερεύον νερό.

Η πυρηνική ενέργεια έχει πολλά μειονεκτήματά αλλά από άποψη αποτελεσματικότητας είναι αξεπέραστη. Η σχάση ενός ουρανίου 235 παράγει τόση ενέργεια, όση δύο τόνοι κάρβουνο σε ένα κλασσικό σταθμό ηλεκτρικής ενέργειας. Η ασφαλής λειτουργία ενός σταθμού πυρηνικής ενέργειας, αποτελεί μια τεράστια πρόκληση. Μπορεί να επιτευχθεί μόνο με την αύξηση των φραγμάτων, ανάμεσα στον πυρηνικό

αντιδραστήρα και το περιβάλλον.

Εικόνα 2: Πυρηνική σύντηξη.



Χιροσίμα, 6 Αυγούστου 1945. Εκείνη τη μέρα η ανθρωπότητα ανακάλυψε με τρόμο τη φοβερή δύναμη του ατόμου. Ευτυχώς οι φυσικοί έμαθαν πώς να δαμάζουν αυτήν την ενέργεια για ειρηνικούς σκοπούς.

Μεγάλα βήματα έχουν γίνει σήμερα αν αναλογιστούμε ότι η πυρηνική ενέργεια παράγει το 20% του ηλεκτρισμού σε όλο τον κόσμο, και γενικά οι επιδράσεις της στην υγεία και το περιβάλλον έχουν ελαχιστοποιηθεί. Εκτός βέβαια από κάποιες εξαιρέσεις, όπως το τρομερό ατύχημα στο Τσέρνομπιλ. Η ασφάλεια ενός πυρηνικού αντιδραστήρα απαιτεί πολλά σύνθετα και δαπανηρά μέτρα και τεχνικές. Βασίζεται, σε μια αρχή που λέγεται 'άμυνα σε βάθος'. Στόχος είναι η μείωση των πιθανών ατυχημάτων τα οποία θα μολύνουν το εργατικό δυναμικό, το περιβάλλον, ακόμα και τον πληθυσμό. Μια από τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται είναι η δημιουργία ασπίδων όσο πιο αξιόπεραστων γίνεται ανάμεσα στην καρδιά του πυρηνικού αντιδραστήρα και τον εξωτερικό κόσμο. Οι πυρηνικοί αντιδραστήρες πεπιεσμένου ύδατος για παράδειγμα, έχουν τρεις τέτοιες ασπίδες διατεταγμένες η μία μέσα στην άλλη. Η πρώτη ασπίδα αποτελείται από αεροστεγές μέταλλο, μέσα στην οποία είναι σφραγισμένοι οι σβώλοι του καυσίμου. Η δεύτερη ασπίδα είναι μια δεξαμενή πάχους 20 εκατοστών. Μέσα σ' αυτή τη δεξαμενή που είναι γεμάτη με νερό και κλείνεται με ένα βαρύ μολύβι, βρίσκονται οι μολυβδίδες του καυσίμου. Η τρίτη ασπίδα είναι ένας τσιμεντένιος τοίχος, που ονομάζεται κτίριο του αντιδραστήρα. Το κτίριο του αντιδραστήρα έχει σχεδιασθεί έτσι ώστε να αντέχει σε μεγάλα εξωτερικά χτυπήματα όπως η πτώση ενός αεροπλάνου ή ένας πολύ μεγάλος σεισμός. Σύμφωνα με τους ειδικούς, αυτή η τριπλή ασπίδα, εξουδετερώνει κάθε κίνδυνο μόλυνσης του περιβάλλοντος. Για να περάσουν τα ραδιενεργά στοιχεία προς τα έξω, πρέπει να υπάρχει ταυτόχρονη διαρροή και στις τρεις ασπίδες κάτι που θεωρητικά έχει ελάχιστη η πιθανότητα για να συμβεί. Αντίθετο παράδειγμα

αποτελεί η πρόσφατη καταστροφή και η μόλυνση που προήλθε από το πυρηνικό εργοστάσιο της Φουκουσίμα, μετά τον μεγάλο σεισμό της Ιαπωνίας και το τσουνάμι που ακολούθησε. Ένας σταθμός πυρηνικής ενέργειας παράγει συνεχώς και ελαφρός ραδιενεργά απόβλητα, αλλά αυτά τα υγρά και τα αέρια απολυμαίνονται και ελέγχονται αυστηρά πριν απελευθερωθούν στο περιβάλλον. Μέσα στο εργοστάσιο λαμβάνονται πολλά μέτρα ασφαλείας που διασφαλίζουν την προστασία του προσωπικού.

Οι υπάλληλοι υποβάλλονται σε συστηματικούς ελέγχους για μόλυνση και το επίπεδο έκθεσης σε ραδιενέργεια. Η ασφάλεια των πυρηνικών αντιδραστήρων όμως, δεν περιλαμβάνει μόνο τον έλεγχο του πεδίου έκθεσης σε ραδιενέργεια των ανθρώπων, αλλά αποσκοπεί και στη μείωση των πιθανοτήτων σοβαρών ατυχημάτων. Γι' αυτό οι αντιδραστήρες εξοπλίζονται με συστήματα που επιβραδύνουν ή σταματούν την αλυσίδα των αντιδράσεων. Ειδικόι ράβδοι, βυθίζονται στην καρδιά του αντιδραστήρα σε διάφορα βάθη. Οι ράβδοι απορροφούν τα νετρόνια που συμβάλουν στην συνέχιση της αλυσίδας των αντιδράσεων. Αυτό ή επιβραδύνει τις αντιδράσεις ή τις σταματά εντελώς. Ο αντιδραστήρας μπορεί να σταματήσει είτε αυτόματα είτε χειροκίνητα από την αίθουσα ελέγχου. Αν οι ράβδοι δεν λειτουργήσουν όπως πρέπει, μπορεί να προκληθεί μια αλυσίδα ανεξέλεγκτων αντιδράσεων και συνεπώς κάποιο ατύχημα.

Μια πολλά υποσχόμενη τεχνική αποτελεί η χρήση ενός ισχυρού Computer που αναπαριστά και μελετάει πώς συμπεριφέρεται ένας πυρηνικός αντιδραστήρας σε επικίνδυνες περιστάσεις. Αυτό το σύστημα αναπαράγει σε πραγματικό χρόνο τη συμπεριφορά ενός αντιδραστήρα σε κάθε περίπτωση. Από την αίθουσα ελέγχου αναπαριστώνται διάφορα ατυχήματα, όπως η διαρροή ή η αποτυχία μιας ασπίδωσης. Μια άλλη οθόνη που ονομάζεται σταθμός εκπαίδευσης, οπτικοποιεί ένα μέρος ή όλο τον αντιδραστήρα για να παρατηρούνται τα φυσικά φαινόμενα που γίνονται μέσα. Από την αίθουσα ελέγχου γίνονται προσπάθειες να διατηρηθεί η κατάσταση υπό έλεγχο, όπως π. χ. για να διατηρηθεί η θερμοκρασία ή η πίεση του αντιδραστήρα μέσα σε ασφαλή πλαίσια. Αυτό το εργαλείο επιτρέπει στους επιστήμονες να βρίσκουν τρόπους αντιμετώπισης κάθε πιθανής καταστροφής.

Σήμερα κάθε χώρα που έχει αναπτύξει πυρηνική βιομηχανία, αντιμετωπίζει ένα πολύ λεπτό πρόβλημα. Πώς να διαθέσει τους τόνους ραδιενεργών αποβλήτων που συνεχίζουν να συσσωρεύονται. Η πυρηνική ενέργεια ανακαλύφθηκε πριν λίγες δεκαετίες μόνο και ήδη οι χρήσεις της είναι αμέτρητες. Σήμερα είναι από τις αποδοτικότερες πηγές ελεγχόμενης ενέργειας. Όπως όλες οι ανθρώπινες δραστηριότητες, η πυρηνική ενέργεια παράγει απόβλητα, και ως σήμερα το πρόβλημα των πυρηνικών αποβλήτων είναι άλυτο.

Αυτό που κάνει τα πυρηνικά απόβλητα τόσο επικίνδυνα είναι η ραδιενέργειά τους. Ένα σώμα είναι ραδιενεργό όταν τα άτομά του είναι ασταθή. Προσπαθώντας να επανέλθουν στη σταθερή τους κατάσταση τα άτομα απελευθερώνουν ραδιενέργεια σε μορφή σωματιδίων ή ενέργειας. Αυτή η ραδιενέργεια είναι πολύ τοξική για όλα τα έμβια όντα. Πέρα από κάποια συγκεκριμένα επίπεδα προκαλεί για παράδειγμα καρκίνο και μεταλλάξεις. Ευτυχώς τα ραδιενεργά στοιχεία δεν είναι αθάνατα. Εκπέμποντας ραδιενέργεια γίνονται νέα στοιχεία που τελικά η ενέργειά τους εξαντλείται. Ο χρόνος που απαιτείται για τη δραστηριότητα ενός συγκεκριμένου ραδιενεργού στοιχείου να μειώσει κατά το ήμισυ την αρχική του τιμή ραδιενέργειας, ονομάζεται 'ημιπερίοδος ζωής'. Οι ημιπερίοδοι της ζωής, ποικίλουν σημαντικά. Κυμαίνονται από μερικά δέκατα του δευτερολέπτου μέχρι πολλά δισεκατομμύρια χρόνια. Τα πιο επικίνδυνα στοιχεία έχουν μια μέση ημιπερίοδο ζωής, π.χ. το ιώδιο 131 έχει διάρκεια ζωής 8 ημέρες ενώ το πλουτώνιο 239, 24.000 χρόνια. Κατά κανόνα η ραδιενέργεια ενός στοιχείου μειώνεται πολύ σταδιακά. Υπολογίζεται ότι χρειάζεται δέκα (10) ημιπερίοδους ζωής, για να σταματήσει ένα στοιχείο να απειλεί σοβαρά.

Υπάρχουν διάφορα είδη πυρηνικών αποβλήτων. Ανάλογα με την προέλευσή τους και τη δραστηριότητά τους. Ως επί το πλείστον έχουν ελάχιστη ή μέτρια δραστηριότητα και σύντομο διάστημα ζωής. Μεταξύ αυτών είναι τα ρούχα ή τα γάντια, οι λαμπτήρες και οι βελόνες των νοσοκομείων. Ενώ αποτελούν το 95% του συνόλου των πυρηνικών αποβλήτων εκπέμπουν λιγότερο από το 1% της συνολικής ραδιενέργειας και γι' αυτό δεν αποτελούν σοβαρό πρόβλημα. Μπορούν να αποθηκευτούν σετσιμεντένιες χωματερές, ανάλογες με τους αρχαίους τύμβους. Τα πυρηνικά απόβλητα που προκαλούν τη μεγαλύτερη ανησυχία είναι αυτά με υψηλή περιεκτικότητα σε ραδιενέργεια. Αυτά αποτελούν το 1% των συνολικών πυρηνικών αποβλήτων αλλά εκπέμπουν το 99% της συνολικής ραδιενέργειας και κυρίως η διάρκεια ζωής τους είναι δεκάδες χιλιάδες χρόνια. Αυτά τα απόβλητα προέρχονται κυρίως από τα σβησμένα καύσιμα των σταθμών πυρηνικής ενέργειας. Σε ένα σταθμό πυρηνικής ενέργειας ένα καύσιμο σπάνια διαρκεί πάνω από 3-4 χρόνια και μετά παύει να είναι αποτελεσματικό. Το πρόβλημα είναι πώς θα διατεθούν αυτά τα σβησμένα καύσιμα. Ορισμένες χώρες ανακυκλώνουν. Τα σβησμένα καύσιμα δεν περιέχουν μόνο άχρηστες ουσίες αλλά και υλικά που μπορούν να ανακυκλωθούν για να παράγουν νέο πυρηνικό καύσιμο.

4. ΠΥΡΗΝΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

Τα πυρηνικά απόβλητα είναι απόβλητα που περιέχουν ραδιενεργό υλικό. Είναι συνήθως υποπροϊόντα από την παραγωγή πυρηνικής ενέργειας και άλλων εφαρμογών πυρηνικής διάσπασης και πυρηνικής τεχνολογίας όπως για παράδειγμα για την έρευνα ή την ιατρική. Η διαχείριση τους ρυθμίζεται και παρακολουθείται από κυβερνητικούς φορείς για την διασφάλιση της υγείας τόσο του ανθρώπου όσο και του περιβάλλοντος καθώς η δράση τους είναι ιδιαίτερα επιβλαβής και για τον άνθρωπο και για το περιβάλλον.

Η ραδιενέργεια μειώνεται με την πάροδο του χρόνου κι έτσι είναι αναγκαίο να αποθηκευτούν και να περιοριστούν για το συγκεκριμένο αυτό χρονικό διάστημα που είναι ενεργά μέχρι να μην είναι πλέον επιβλαβή. Η περίοδος αποθήκευσης τους εξαρτάται από τον τυπο των πυρηνικών αποβλήτων. Τα Χαμηλής Ραδιενεργής Δράσης πυρηνικά απόβλητα (LLW - low level waste), όπως κάποια κοινά ιατρικά ή βιομηχανικά ραδιενεργά απόβλητα, χρειάζονται μόλις μερικές ώρες ή μήνες για να σταματήσει η ραδιενεργή τους δράση ενώ τα Υψηλής Ραδιενεργής Δράσης πυρηνικά απόβλητα, όπως απόβλητα από ξοδευμένα πυρηνικά καύσιμα ή παράγωγα από πυρηνική επανεπεξεργασία, χρειάζεται να αποθηκευτούν για χιλιάδες χρόνια μέχρι η ραδιενεργή τους δράση να σταματήσει. Η ραδιενεργή δράση αναφέρεται σε ραδιενέργεια ανά μάζα ή όγκο.

Εικόνα 3: Χρόνος ημι-ζωής ορισμένων ραδιενεργών στοιχείων.

Medium-lived fission products				Long-lived fission products			
Prop:	$t^{1/2}$	Yield	Q^* βγ	Prop:	$t^{1/2}$	Yield	Q^* βγ
Unit:	a	%	keV *	Unit:	Ma	%	KeV *
^{155}Eu	4.76	.0803	252 βγ	^{99}Tc	0.211	6.1385	294 β
^{85}Kr	10.76	.2180	687 βγ	^{126}Sn	0.230	0.1084	4050 βγ
$^{113\text{m}}\text{Cd}$	14.1	.0008	316 β	^{79}Se	0.327	0.0447	151 β
^{90}Sr	28.9	4.505	2826 β	^{93}Zr	1.53	5.4575	91 βγ
^{137}Cs	30.23	6.337	1176 βγ	^{135}Cs	2.3	6.9110	269 β
$^{121\text{m}}\text{Sn}$	43.9	.00005	390 βγ	^{107}Pd	6.5	1.2499	33 β
^{151}Sm	90	.5314	77 β	^{129}I	15.7	0.8410	194 βγ

Οι κύριες προσπάθειες που γίνονται για την διαχείριση των πυρηνικών αποβλήτων είναι ο διαχωρισμός και η αποθήκευση των Χαμηλής Ραδιενεργής Δράσης πυρηνικών αποβλήτων, η διάθεση των Μεσαίας Ραδιενεργής Δράσης πυρηνικών αποβλήτων σε κατάλληλες περιοχές κάτω από την επιφάνεια της γής και ο βαθής ενταφιασμός ή η

μεταστοιχείωση των Υψηλής Ραδιενεργής Δράσης πυρηνικών αποβλήτων τα οποία χρειάζονται μεγάλα χρονικά διαστήματα για να αδρανοποιηθούν.

Υπεύθυνος για την παρουσίαση και θεώρηση των προσπαθειών που γίνονται διεθνώς και ειδικά για τις πιο αναπτυγμένες χώρες όσον αφορά τα πυρηνικά απόβλητα και την διαχείρισή τους είναι ο Διεθνής Οργανισμός Ατομικής Ενέργειας (IAEA - International Atomic Energy Agency), ένας οργανισμός - κοινή συνθήκη για τις χώρες που εμπλέκονται, με κύριο μέλημα την ασφάλεια στην διαχείριση των πυρηνικών αποβλήτων.

4.1. Η ΦΥΣΗ ΤΩΝ ΠΥΡΗΝΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥΣ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΟ

Τα ραδιενεργά απόβλητα περιλαμβάνουν χαρακτηριστικά διάφορα ραδιοϊσότοπα: Ασταθείς διαμορφώσεις στοιχείων που αποσυντίθενται και εκπομπή ακτινοβολίας ιονισμού η οποία είναι απιβλαβής για την υγεία του ανθρώπου και του περιβάλλοντος. Αυτά τα ισότοπα εκπέμπουν διάφορους τύπους και διάφορες εντάσεις ακτινοβολίας η οποία διαρκεί για διαφορετικές χρονικές περιόδους.

4.1.1. Φυσικές ιδιότητες

Η ραδιενέργεια από τα πυρηνικά απόβλητα μειώνεται και εξαλείφεται τελικά σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Όλα τα ραδιοϊσότοπα που περιέχονται στα πυρηνικά απόβλητα έχουν χαρακτηριστικό χρόνο ημι-ζωής, ο χρόνος ο οποίος απαιτείται για ένα ραδιονουκλίδιο να χάσει το μισό της ραδιενέργειάς του. Τελικά όλα τα ραδιενεργά απόβλητα αποσυντίθενται σε μη-ραδιενεργά στοιχεία (σταθερά ισότοπα). Συγκεκριμένα ραδιενεργά στοιχεία (όπως το πλουτόνιο-239) που βρίσκεται σε χρησιμοποιημένα πυρηνικά καύσιμα παραμένουν επιβλαβή για τον άνθρωπο και άλλα πλάσματα για εκατοντάδες χιλιάδες χρόνια. Άλλα ραδιοϊσότοπα ακόμα παραμένουν επιβλαβή για εκατομμύρια χρόνια γι' αυτό πρέπει να προστατεύονται για αιώνες και να παραμένουν απομονωμένα από το περιβάλλον διαβίωσης για χιλιετίες. Στους δύο πίνακες αναγράφονται μερικά από τα βασικά ραδιοϊσότοπα, ο χρόνος ημι-ζωής τους και η ραδιενέργειά τους σαν ο λόγος ως προς την διάσπαση του ουρανίου-235. Όσο πιο γρήγορα αποσυντίθεται ένα ραδιοϊσότοπο τόσο πιο ραδιενεργό είναι και αντίθετα όσο πιο αργά αποσυντίθεται ένα ραδιοϊσότοπο τόσο λιγότερο ραδιενεργό είναι. Για παράδειγμα το 96% του στοιχείου Ίνδιο που υπάρχει στην φύση είναι στην μορφή ραδιοισοτόπου Ίνδιο -115 αλλά θεωρείται μη-τοξικό στην καθαρή μορφή

μετάλλου όπως ένα σταθερό στοιχείο γιατί έχει χρόνο ημιζωής πολλά τρισεκατομμύρια έτη κάτι που συνεπάγεται ότι μια σχετικά μικροσκοπική αναλογία των ατόμων του διασπάται ανά μονάδα χρόνου. Η ενέργεια και ο τύπος της ιονίζουσας ραδιενέργειας που εκπέμπεται από μια καθαρή ραδιενεργό ουσία είναι επίσης ένας σημαντικός παράγοντας που πρέπει να εξετάζεται και ο οποίος επίσης καθορίζει την επικυδυνότητα της ακτινοβολίας. Οι χημικές ιδιότητες ενός ραδιενεργού στοιχείου καθορίζουν την κινητικότητα του παράγωγου και την πιθανότητα εξάπλωσης του στο περιβάλλον και την μόλυνση του ανθρώπου. Η δράση τους περιπλέκεται ακόμα περισσότερο καθώς πολλά ραδιοϊσότοπα δεν αποπίπτουν αμέσως σε σταθερή κατάσταση αλλά μεταπίπτουν σε άλλα παράγωγα, διαδικασία που δημιουργεί πολύπλοκες αλυσίδες απόπτωσης.

4.1.2. Δράση στον άνθρωπο

Η έκθεση του ανθρώπου σε υψηλού επιπέδου ραδιενέργεια προκαλεί σοβαρά προβλήματα στην υγεία του ακόμα και θάνατο. Θεραπείες σε ενήλικα ζώα με ακτινοβολία ή άλλη δραστική θεραπεία όπως κυτταροτοξικά αντι-καρκινικά φάρμακα μπορούν να προκαλέσουν καρκίνο στον οργανισμό. Υπολογίστηκε ότι μια δόση ιονίζουσας ακτινοβολίας είναι πέντε φορές πιο ισχυρή για τον άνθρωπο και συνήθως μοιραία ενώ το ρίσκο θανάτου χρονικά από καρκίνο που προκλήθηκε από ακτινοβολία μιας 0.1 της δόσης είναι 0.8% και αυξάνεται κατα το ίδιο ποσό για κάθε επιπλέον 0.1 της δόσης. Η ιονίζουσα ακτινοβολία προκαλεί καταστροφή των χρωμοσωμ άτων. Αν ένας οργανισμός που βρίσκεται στην ανάπτυξη του όπως ένα αγέννητο μωρό υποστεί τέτοια ακτινοβολία είναι πιθανόν να παρουσιάσει σοβαρές γενετικές ανωμαλίες αλλά είναι απίθανο η ανωμαλία αυτή να παρουσιαστεί σε έναν γαμ έτη ή στο κύτταρο που προκύπτει από τους γαμ έτες. Οι επιπτώσεις των μεταλλαγών από έντονη ακτινοβολία σε ανθρώπους δεν έχει καθοριστεί λόγω φυσικά της μη ύπαρξης πειραμάτων σε ανθρώπους.

Η θεραπεία μετά από έκθεση σε ακτινοβολία κάποιου ραδιοϊσότοπου διαφέρει ανάλογα με τον τρόπο αποσύνθεσης του και την φαρμακοκινητικότητα του στοιχείου στο οποίο έχει εκτεθεί ο άνθρωπος, δηλαδή ανάλογα με τον τρόπο που ο οργανισμός το επεξεργάζεται και τον ρυθμό με τον οποίο το επεξεργάζεται και το αφομοιώνει. Για παράδειγμα το ιώδιο-131 χαρακτηρίζεται από μικρό χρόνο ζωής και εκπομπή ακτινοβολίας γαμμα αλλά για τον λόγο ότι συγκεντρώνεται στον θυροειδή αδένα είναι πιο δραστικό από ότι το καίσιο-137 το οποίο είναι υδατοδιαλυτό και εκκρίνεται γρήγορα με τα ούρα. Με ανάλογο τρόπο οι ακτινίδες που αποσυντίθενται με εκπομπή τύπου αλφα, όπως και το ράδιο θεωρούνται πολύ πιο επιβλαβή καθώς χαρακτηρίζονται από μακράς διάρκειας

βιολογική ημι-ζωή και η ακτινοβολία τους έχει γραμμική σχέση ως προς την ποσότητα της ενέργειας που μεταφέρεται. Λόγω τέτοιων διαφορών οι κανόνες που καθορίζουν την βιολογικό τραυματισμό διαφέρουν σημαντικά ανάλογα με το ραδιοϊσότοπο και μερικές φορές από την φύση της χημικής ένωσης που περιέχει το ραδιοϊσότοπο.

4.2. ΠΗΓΕΣ ΠΥΡΗΝΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Ραδιενεργά απόβλητα προκύπτουν από μια πληθώρα πηγών. Στην πλειοψηφία τους, όπως αναφέρθηκε, πηγάζουν από την παραγωγή πυρηνικών καυσίμων και από την επανεπεξεργασία πυρηνικών όπλων. Άλλες πηγές είναι από ιατρικά και βιομηχανικά απόβλητα όπως επίσης και από φυσικά προερχόμενα ραδιενεργά υλικά (NORM - Naturally Occuring Radioactive Materials) τα οποία συγκεντρώνονται σαν αποτέλεσμα της επεξεργασίας ή της κατανάλωσης άνθρακα, πετρελαίου και φυσικού αερίου ή άλλα μεταλλεύματα που αναφέρονται παρακάτω.

4.2.1. Ο κύκλος των πυρηνικών καυσίμων

4.2.1.1. Από την αρχή στο τέλος

Αν δούμε τον κύκλο των πυρηνικών καυσίμων από την αρχή στο τέλος, τα απόβλητα που προκύπτουν είναι απόβλητα εκπομπής τύπου άλφα από την διάσπαση του ουρανίου. Συχνά περιέχουν ράδιο και τα παράγωγα από την αποσύνθεσή του. Το διοξείδιο του ουρανίου (UO_2 - uranium dioxide) που συγκεντρώνεται από την εξόρυξη δεν είναι ιδιαίτερα ραδιενεργό, είναι περίπου χίλιες ή περίπου χίλιες φορές πιο ραδιενεργό από τον γρανίτη που χρησιμοποιείται στα κτήρια. Καθαρίζεται αρχικά από το yellowcake (U_3O_8) και μετά μετατρέπεται σε αέριο ουράνιο εξαφθοριούχο (UF_6 - uranium hexafluoride). Σαν αέριο υπόκειται εμπλουτισμό για να αυξηθεί το περιεχόμενο σε ουράνιο 235 (- 235) από 0.7% σε περίπου 4.4% (LEU). Στη συνέχεια μετατρέπεται σε σκληρό κεραμικό οξείδιο (UO_2) όπως αναφέρονται τα στοιχεία των καυσίμων του αντιδραστήρα. Το κύριο υποπροϊόν του εμπλουτισμού είναι το μειωμένο ουράνιο (DU - depleted uranium) κυρίως το ισότοπο του ουρανίου U-238 με περιεχόμενο κατά το 0.3% περίπου σε U-235. Αποθηκεύεται είτε ως UF_6 είτε ως U_3O_8 . Μέρος του χρησιμοποιείται σε εφαρμογές όπου είναι χρήσιμη η υψηλή του πυκνότητα όπως σε γιγί και αντιαρματικά κελύφη. Επίσης χρησιμοποιείται μαζί με

πλουτώνιο για παραγωγή μεικτών καυσίμων οξειδίων (MOX) και για αραίωση ή μίξη υψηλά εμπλουτισμένου ουρανίου από όπλα, τα αποθέματα των οποίων επαναχρησιμοποιούνται για καύσιμα σε αντιδραστήρες.

4.2.1.2. Από το τέλος στην αρχή

Αν δούμε τον κύκλο των πυρηνικών καυσίμων από το τέλος, κυρίως οι ξοδευμένες ράβδοι καυσίμων περιέχουν προϊόντα από την διάσπαση τα οποία εκπέμπουν ακτινοβολία βήτα και γάμμα και ακτινοειδή (χημικά στοιχεία με ατομικό αριθμό από 83 έως και 103) τα οποία εκπέμπουν σωματίδια άλφα, όπως ουράνιο-234, ποσειδώνιο-237, πλουτώνιο-238 και αμερίκιο-241 και ακόμα κάποιες φορές καλιφόρνιο (CF). Αυτά τα ισότοπα δημιουργούνται στους πυρηνικούς αντιδραστήρες.

Είναι σημαντικό να διακρίνουμε την επεξεργασία του ουρανίου για την παραγωγή καυσίμου από την επαναχρησιμοποίηση του ήδη χρησιμοποιημένου καυσίμου. Το χρησιμοποιημένο καύσιμο περιέχει υψηλά ραδιενεργά παράγωγα από την διάσπαση. Πολλά από αυτά είναι απορροφητές νετρονίων (ελκύουν νετρόνια) και καλούνται δηλητήρια νετρονίων. Αυτά χτίζονται και φτάνουν κάποια στιγμή σε σημείο να έχουν απορροφήσει τόσα πολλά νετρόνια ώστε η αλυσίδα της αντίδρασης σταματά ακόμα και με την αφαίρεση των ράβδων ελέγχου. Σε αυτή την περίπτωση το καύσιμο στον αντιδραστήρα πρέπει να αντικατασταθεί με καινούριο καύσιμο ακόμα και αν εξακολουθεί να υπάρχει μια ουσιαστική ποσότητα ουρανίου-235 και πλουτωνίου. Στις Ηνωμ ένες πολιτείες το καύσιμο αυτό αποθηκεύεται, ενώ σε χώρες όπως η Ρωσία, το Ηνωμένο Βασίλειο, η Γαλλία, η Ιαπωνία και η Ινδία το καύσιμο αυτό επανεπεξεργάζεται για την αφαίρεση των προϊόντων της διάσπασης και ξαναχρησιμοποιείται. Αυτή η επανεπεξεργασία περιλαμβάνει την διαχείριση υψηλά ραδιενεργών υλικών και τα προϊόντα της διάσπασης που απομακρύνονται από το καύσιμο είναι μια συμπυκνωμένη μορφή υψηλά ραδιενεργών αποβλήτων όσο και τα χημικά που χρησιμοποιούνται για την διαδικασία απομάκρυνσης τους. Οι χώρες που επανεπεξεργάζονται τα καύσιμα διατηρούν μόνο έναν κύκλο επεξεργασίας με πλουτώνιο ενώ η Ινδία είναι η μόνη χώρα που σχεδιάζει πολλαπλή επανεπεξεργασία.

4.2.1.3. Σύνθεση του καυσίμου και μακροχρόνια εκπομπή ραδιενέργειας

Τα μακράς διάρκειας ραδιενεργά απόβλητα από το τέλος ξανά στην αρχή και ο κύκλος των καυσίμων είναι ιδιαίτερα σημαντικά για την δημιουργία ενός ολοκληρωμένου σχεδίου για την διαχείριση των πυρηνικών χρησιμοποιημένων αποβλήτων (SNF - spent nuclear

fuel). Αν εξετάσουμε την αποσύνθεση των μακράς διάρκειας ραδιενεργών στοιχείων, τα ακτινοειδή που περιέχονται στα χρησιμοποιημένα πυρηνικά καύσιμα (SNF) έχουν σημαντική επίδραση λόγω των χαρακτηριστικά μεγάλων χρόνων ημι-ζωής τους. Ανάλογα με το είδος του καυσίμου που τροφοδοτείται ένας πυρηνικός αντιδραστήρας η σύνθεση των ακτινοειδών διαφέρει.

Ένα παράδειγμα της δράσης των ακτινοειδών είναι η χρήση καυσίμων που περιέχουν θόριο. Το θόριο ($Th-232$) είναι ένα κατάλληλο υλικό το οποίο μπορεί να υποβληθεί σε αντίδραση δέσμευσης νετρονίων και δύο βήτα πλήν δύο αποσυνθέσεις με αποτέλεσμα την παραγωγή του εύσχιστου $U-233$. Ο κύκλος των χρησιμοποιημένων πυρηνικών καυσίμων με περιεκτικότητα σε θόριο θα περιέχει το $U-233$. Η ραδιενεργή αποσύνθεση του επηρεάζει σημαντικά την καμπύλη της μακροχρόνιας δραστηριότητας του χρησιμοποιημένου ραδιενεργού καυσίμου κατά 1 εκατομμύριο χρόνια.

4.2.1.4. Πολλαπλασιασμός - Ασφάλεια

Για τον λόγο ότι το ουράνιο και το πλουτώνιο είναι υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή πυρηνικών όπλων υπάρχουν ανησυχίες για τον πολλαπλασιασμό τους.

4.3. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΥΡΗΝΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Η κατηγοριοποίηση των πυρηνικών αποβλήτων διαφέρει από χώρα σε χώρα. Για την κατηγοριοποίηση τους είναι σημαντικός ο ρόλος του οργανισμού ΙΑΕΑ ο οποίος δημοσιεύει τα ισχύοντα πρότυπα σχετικά με την ασφάλεια που πρέπει να τηρείται για την απόβλητα - *Radioactive Waste Safety Standards (RADWASS)*.

4.3.1. Τμήματα Ουρανίου - Uranium tailings

Τα πυρηνικά αυτά απόβλητα είναι υλικά - υποπροϊόντα που παραμένουν από την πρώτη - αρχική επεξεργασία του ουρανίου. Δεν είναι σημαντικά ραδιενεργά. Αναφέρονται συνήθως ως $11(e)2$ απόβλητα. Επίσης περιέχουν χημικά επιβλαβή βαρέα μέταλλα όπως μόλυβδο και αρσενικό. Μεγάλες ποσότητες από αυτό το υλικό παραμένουν σε πολλά ορυχεία κυρίως στο Κολοράντο, στο Νέο Μεξικό και στην Γιούτα.

4.3.2. Χαμηλής Ραδιενεργής Δράσης Πυρηνικά Απόβλητα (LLW - Low Level Waste)

Τα Χαμηλής Ραδιενεργής Δράσης πυρηνικά απόβλητα προκύπτουν από τα νοσοκομεία και την βιομηχανία όπως επίσης και από τον κύκλο των πυρηνικών καυσίμων. Περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων και χαρτί, κουρέλια, ιματισμό και φίλτρα τα οποία περιέχουν μικρές ποσότητες ραδιενέργειας με μικρό χρόνο ημι-ζωής. Υλικά που προέρχονται από οποιαδήποτε Ενεργή Περιοχή (ως προς την ραδιενέργεια) υποδεικνύονται προληπτικά σαν LLW απόβλητα ακόμα και αν υπάρχει μόνο απομακρυσμένη δυνατότητα μόλυνσης από ραδιενεργά υλικά. Τα πυρηνικά απόβλητα αυτής της κατηγορίας δεν εκπέμπουν ραδιενέργεια σε μεγαλύτερο βαθμό από την ποσότητα που θα εξέπεμπε το ίδιο υλικό αν προερχόταν από μία μη ραδιενεργή περιοχή, έχουν δηλαδή την ίδια ακτινοβολία - επικινδυνότητα με αυτήν που έχει ένα κοινό μπλοκ χαρτιού.

Για ορισμένα Χαμηλής Ραδιενεργής Δράσης πυρηνικά απόβλητα που έχουν λίγο υψηλότερη ακτινοβολία απαιτείται ο περιορισμός τους κατά την διαχείριση και την οποιαδήποτε μεταφορά τους, παρ' όλα αυτά ο ενταφιασμός τους σε μικρό βάθος σε κατάλληλο έδαφος είναι αρκετός. Για την μείωση του όγκου τέτοιων αποβλήτων συμπυκνώνονται ή αποτεφρώνονται πριν τοποθετηθούν στο έδαφος. Χωρίζονται σε τέσσερις κλάσεις ανάλογα με τα επίπεδα εκπομπής τους: Κλάση Α, Κλάση Β, Κλάση Γ και Κλάση Δ για τα μεγαλύτερης εκπομπής απόβλητα από ότι η κλάση Γ (GTCC - greater than class C).

4.3.3. Μεσαίας Ραδιενεργής Δράσης Πυρηνικά Απόβλητα (ILW - Intermediate Level Waste)

Τα Μεσαίας Ραδιενεργής Δράσης πυρηνικά απόβλητα περιέχουν υψηλότερα ποσά ραδιενέργειας και σε μερικές περιπτώσεις απαιτείται η τοποθέτησή τους σε προστατευτικά καλύματα. Περιλαμβάνουν ρητίνες, χημική λάσπη και επένδυση πυρηνικών καυσίμων αντιδραστήρων μετάλλων καθώς επίσης και μολυσμένα υλικά από τον αφοπλισμό των αντιδραστήρων. Για την διάθεσή τους μπορούν να σταθεροποιηθούν σε σκυρόδεμα ή πίσσα. Σαν γενικός κανόνας τα χαμηλής ημι-ζωής απόβλητα αυτού του τύπου (κυρίως αυτά που δεν είναι καύσιμα από τους αντιδραστήρες) θαύονται σε μικρά βάθη στην επιφάνεια της γης, ενώ τα χρονικά μακράς ημι-ζωής απόβλητα (από καύσιμα και από καύσιμα από επανεπεξεργασία) τοποθετούνται σε γεωλογικές αποθήκες, όπως σε ορυχεία ορυκτού άλατος.

4.3.4. Υψηλής Ραδιενεργής Δράσης Πυρηνικά Απόβλητα (HLW - High Level Waste)

Τα Υψηλής Ραδιενεργής Δράσης πυρηνικά απόβλητα παράγονται από τους πυρηνικούς αντιδραστήρες. Περιέχουν προϊόντα της διάσπασης και στοιχεία ουρανίου που παράγονται από τον πυρήνα του αντιδραστήρα. Τα στοιχεία αυτά είναι πολύ ραδιενεργά και συχνά έχουν πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Τα πυρηνικά απόβλητα αυτού του είδους είναι υπεύθυνα για περισσότερο από το 95% της συνολικής ραδιενέργειας που παράγεται κατά την διαδικασία παραγωγής ηλεκτρισμού από πυρηνική ενέργεια. Η ποσότητα τους σε παγκόσμια κλίμακα αυξάνεται κατά 12 000 μετρικούς τόνους κάθε χρόνο.

4.3.5. Transuranic πυρηνικά απόβλητα (TRUW)

Στοιχεία με ατομικό αριθμό μεγαλύτερο από τον ατομικό αριθμό του ουρανίου ονομάζονται υπέρ-ουράνια (transuranic). Τα πυρηνικά απόβλητα που περιέχουν τέτοιου είδους στοιχεία, όπως ορίζονται από τους κανονισμούς των Ηνωμένων Πολιτειών, χωρίς να λαμβάνουμε υπ' όψιν την μορφή ή την προέλευσή τους είναι απόβλητα τα οποία είναι μολυσμένα με την άλφα-εκπομπή των υπερουρανίων ραδιονουκλεϊδίων με χρόνο ημι-ζωής μεγαλύτερο από 20 χρόνια και συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 100 nCi/g (3.7 MBq/kg), με εξαίρεση τα υψηλής εκπομπής ραδιενεργά απόβλητα. Λόγω του μεγάλου χρόνου ημι-ζωής των στοιχείων που περιέχονται σε αυτού του είδους τα απόβλητα, διατίθενται με μεγαλύτερη προσοχή από τα χαμηλής ραδιενεργής δράσης ή από τα μεσαίας ραδιενεργής δράσης απόβλητα. Στις Ηνωμένες Πολιτείες προκύπτουν κυρίως από την παραγωγή όπλων και αποτελούνται από ιματισμό, εργαλεία, κουρέλια, υπολείμματα, συντρίμια και άλλα αντικείμενα που μολύνονται με τα ραδιενεργά στοιχεία μικρών ποσοτήτων ραδιενεργών στοιχείων, κυρίως πλουτωνίου. Σύμφωνα με τους νόμους των Ηνωμένων Πολιτειών χωρίζονται σε άμεσα διαχειρίσιμα και έμμεσα διαχειρίσιμα, με βάση τα επίπεδα της ραδιενέργειας που μετρείται στην επιφάνεια των κιβωτίων που τα περιέχουν. Στις Ηνωμένες Πολιτείες τα απόβλητα αυτά τοποθετούνται σε ένα συγκεκριμένο ορυχείο άλατος το Waste Isolation Pilot Plant.

4.4. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΠΥΡΗΝΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Χάρη στην εξέλιξη και βελτιστοποίηση στη σχεδίαση των πυρηνικών αντιδραστήρων είναι δυνατή στις μέρες μας η μείωση των ραδιενεργών αποβλήτων κατά έναν παράγοντα της τάξης των 100. Αυτό είναι δυνατόν να γίνει με τη χρήση των καινούργιων πυρηνικών αντιδραστήρων, όπως για παράδειγμα τον “Generation_IV_reactor” ο οποίος είναι σε θέση να καίει τις χαμηλότερες ακτινίδες που παράγονται στον πυρήνα του.

Ιδιαίτερη διαχείριση όσον αφορά τα πυρηνικά απόβλητα απαιτείται για δύο κύρια στοιχεία. Το Tc-99 (χρόνος ημί-ζωής 220.000 χρόνια) και το I-129 (χρόνος ημί-ζωής 17 εκατομμύρια χρόνια) τα οποία διατηρούν την ραδιενεργό τους δράση ακόμα και μετά από μερικές χιλιάδες χρόνια. Από τα υπερουράνια (transuranic) στοιχεία που βρίσκονται σε χρησιμοποιημένα καύσιμα αυτά που είναι πιο προβληματικά στην διαχείρισή τους είναι τα Np-237 (χρόνος ημί-ζωής 2 εκατομμύρια χρόνια) και το Pu-239 (χρόνος ημί-ζωής 24.000 χρόνια).



Εικόνα 4: Σύγχρονα κιβώτια μεταφοράς πυρηνικών αποβλήτων

Για τα πυρηνικά απόβλητα απαιτούνται ενδεδειγμένες μελέτες για την διαχείρισή τους ώστε να αποθηκευτούν και να απομονωθούν με επιτυχία για να διασφαλιστεί η μη αλληλεπίδρασή τους με το οικοσύστημα. Απαιτείται ένας προσεκτικός και μακροχρόνιος σχεδιασμός που να περιλαμβάνει την αποθήκευση, τη διάθεση και την μεταφορά των αποβλήτων σε μορφή που να μην είναι τοξικά επιβλαβής. Οι κυβερνήσεις ανά τον κόσμο εξετάζουν μια πληθώρα από επιλογές για την διαχείριση των αποβλήτων ενώ παρά την προσπάθεια τους αυτή δεν έχει δοθεί ακόμα μια μακροχρόνια λύση διαχείρισής τους.

4.4.1. Αρχική επεξεργασία των αποβλήτων

4.4.1.1. Υαλοποίηση

Η μακροχρόνια αποθήκευση των πυρηνικών αποβλήτων απαιτεί την εκ των προτέρων σταθεροποίηση των αποβλήτων για να διασφαλιστεί ότι αυτά δεν θα αντιδρούν ούτε θα υποβιβάζονται για εκτεταμένο χρονικό διάστημα. Ένας τρόπος για να γίνει αυτό είναι μέσω της υαλοποίησης. Αυτό που γίνεται είναι η πρόσμιξη ζάχαρης στο μίγμα αποβλήτων και στην συνέχεια η ασβεστοποίηση του. Η ασβεστοποίηση του γίνεται παίρνοντας το μίγμα από ένα περιστρεφόμενο και θερμαινόμενο σωλήνα. Ο σκοπός της ασβεστοποίησης είναι η εξάτμιση του νερού από το μίγμα αποβλήτων και η αφαίρεση του νιτρικού οξέος από τα προϊόντα της διάσπασης ώστε το μίγμα να αποκτήσει την σταθερότητα του γυαλιού, το οποίο παράγεται στη συνέχεια από τη διαδικασία αυτή. Το ασβεστοποιημένο μίγμα περνά συνεχώς από έναν επαγωγικό φούρνο για να πάρει τη σύνθεση γυαλιού. Το γυαλί αυτό είναι ένα καινούριο παράγωγο μέσα στο οποίο έχουν δεθεί τα πυρηνικά απόβλητα σε ένα πλέγμα ανάλογο με γυαλί το οποίο είναι σταθερό. Αυτό το προϊόν σε μορφή λιωμένου μετάλλου χύνεται σε κυλινδρικά ανοξείδωτα κιβώτια σε μια μαζική επεξεργασία. Όταν κρυώσει σταθεροποιείται σε μορφή γυαλιού. Το γυαλί αυτό αφού δημιουργηθεί είναι υψηλά υδρόφοβο.

Στη συνέχεια οι κύλινδροι αυτοί σφραγίζονται, καθαρίζονται, ελέγχονται για εξωτερικές μολύνσεις και αποθηκεύονται σε επιλεγμένους υπόγειους χώρους. Σε αυτή την μορφή τα απόβλητα αναμένεται να είναι ακινητοποιημένα - αδρανή για μεγάλα χρονικά διαστήματα - πολλές χιλιάδες χρόνια.

Εικόνα 5: Πείραμα υαλοποίησης για μελέτη της αποθήκευσης πυρηνικών αποβλήτων



Το “γυαλί” μέσα στους κύλινδρους είναι συνήθως μία μαύρη σπλιπνή ουσία. Η διαδικασία αυτή γίνεται σε θερμά κελιά όπως καλούνται οι προστατευμένες πυρηνικές αίθουσες περιεχομένου ακτινοβολίας. Η ζάχαρη χρησιμοποιείται για τον έλεγχο των χημικών αντιδράσεων του ρουθένιου και για να εμποδίσει τον σχηματισμό του πτητικού

RuO_4 το οποίο περιέχει ισότοπα του ρουθενίου. Η ποσότητα των προϊόντων διάσπασης μέσα στο γυαλί πρέπει να είναι περιορισμένη καθώς κάποια τείνουν να σχηματίζουν μεταλλικές δομές και να διαχωριστούν από το μείγμα.

4.4.1.2. Ανταλλαγή ιόντων

Είναι συνηθισμένο για τα μεσαία ραδιενεργής δράσης απόβλητα στην πυρηνική βιομηχανία να συμπυκνώνονται σε δομές μικρότερου όγκου, με την μέθοδο ανταλλαγής ιόντων. Το πολύ μικρότερο σε όγκο ραδιενεργό υλικό στην συνέχεια συνήθως απαλλάσσεται από την ραδιενέργειά του. Για παράδειγμα είναι πιθανόν να χρησιμοποιηθεί floc υδροξειδίου του σιδήρου για την απομάκρυνση των ραδιενεργών μετάλλων από τα υδάτινα μίγματα. Μετά την απορρόφηση των ραδιοϊσοτόπων από το υδροξείδιο του σιδήρου, η λάσπη που προκύπτει μπορεί να τοποθετηθεί σε μεταλλικά τύμπανα για να αναμιχθεί στην συνέχεια με τσιμέντο και να πάρει την μορφή στερεού αποβλήτου. Για να έχουμε μακράς διάρκειας επιδόσεις (μηχανική σταθερότητα), η δημιουργία στερεάς μορφής αποβλήτων μπορεί να γίνει με μίξη ιπτάμενης τέφρας (fly ash), blast furnace slag ή και Portland cement, αντί για το απλό τσιμέντο.

4.4.1.3. Συνθετικές πέτρες - Synroc

Η αυστραλιανή μέθοδος της συνθετικής πέτρας είναι ο πιο εξειδικευμένος τρόπος για την απενεργοποίηση των πυρηνικών αποβλήτων. Η μέθοδος αυτή ενδεχομένως να προσέλθει σε εμπορική χρήση και για τα αστικά απόβλητα (στις Ηνωμένες Πολιτείες είναι υπό μελέτη). Η μέθοδος αυτή ανακαλύφθηκε από τον καθηγητή γεωχημίας Ted Ringwood στο Αυστραλιανό Εθνικό Πανεπιστήμιο. Οι συνθετικές αυτές πέτρες περιέχουν μεταλλεύματα τύπου pyrochlore και cryptomelane. Η αυθεντική αρχική μορφή συνθετικής πέτρας (Synroc C) είχε σχεδιαστεί για τα υψηλής εκπομπής υγρά πυρηνικά απόβλητα που προέρχονται από το νερό των αντιδραστήρων. Τα αρχικά μεταλλεύματα είναι ολλανδίτης (hollandite- $BaAl_2Ti_6O_{16}$), ζirkονολίτης (zirconolite- $CaZrTi_2O_7$) και περοβσκίτης (perovskite- $CaTiO_3$). Οι ζirkονολίτης και περοβσκίτης είναι ξένιοι για τις ακτινίδες. Τα Στρόντιο και Βάριο συγχωνεύονται στον περοβσκίτη και το καίσιο θα συγχωνευτεί με τον ολλανδίτη.

4.4.2. Μακροπρόθεσμη διαχείριση των αποβλήτων

Το χρονικό πλαίσιο στο οποίο αναφέρεται η διαχείριση των πυρηνικών αποβλήτων ανέρχεται στα 10.000 με 1.000.000 χρόνια σύμφωνα με μελέτες που βασίζονται στον υπολογισμό της δόσης της υπο συζήτηση ραδιενέργειας. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό να μελετάται και να εξετάζεται αυστηρά η επίδραση της ραδιενέργειας στην υγεία του ανθρώπου και του περιβάλλοντος στα δεδομένα χρονικά διαστήματα. Πρακτικές μελέτες λαμβάνουν υπόψιν τους τα 100 πρώτα χρόνια στο πλαίσιο αποτελεσματικού προγραμματισμού και υπολογισμού κόστους. Η μακροχρόνια συμπεριφορά των ραδιενεργών στοιχείων είναι ένα υπό μελέτη θέμα για τα τρέχοντα ερευνητικά προγράμματα.

4.4.2.1. Υπέργεια διάθεση των πυρηνικών αποβλήτων

Η ξηρά αποθήκευση βαρελιών με πυρηνικά απόβλητα περιλαμβάνει την απομάκρυνση των χρησιμοποιημένων πυρηνικών από τους αντιδραστήρες, την σφράγιση τους σε κατάλληλα κυλινδρικά βαρέλια από χάλυβα, αφού πρώτα τοποθετηθούν σε τσιμέντο το οποίο λειτουργεί σαν ασπίδα για την ραδιενεργή ακτινοβολία. Η μέθοδος αυτή είναι σχετικά οικονομική και μπορεί να πραγματοποιείται στις κεντρικές εγκαταστάσεις όπου βρίσκονται οι αντιδραστήρες. Τα απόβλητα μπορούν εύκολα να ανακτηθούν και να επανεπεξεργαστούν.

4.4.2.2. Γεωλογική διάθεση των πυρηνικών αποβλήτων

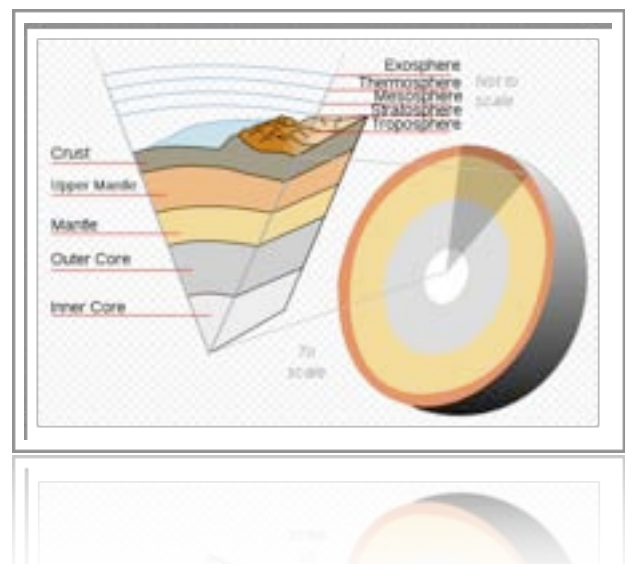
Η επιλογή κατάλληλων, σε μεγάλο βάθος στην γή, χώρων για την τοποθέτηση των πυρηνικών αποβλήτων τόσο των υψηλής ραδιενεργής δράσης όσο και των χρησιμοποιημένων καυσίμων είναι ένα θέμα που απασχολεί πολλές χώρες που εμπλέκονται με την πυρηνική ενέργεια. Οι βασικές ενέργειες γίνονται για τον εντοπισμό μεγάλων, σταθερών γεωλογικά περιοχών και τη χρήση και ανάπτυξη της διαθέσιμης τεχνολογίας που εφαρμόζεται για την δημιουργία - κατασκευή μεταλλείων και την δημιουργία σιηράλλων για την καθαυτό αποθήκευση των υψηλής ραδιενεργής δράσης αποβλήτων. Σκοπός είναι η μόνιμη διάθεση των πυρηνικών αποβλήτων που θα εξασφαλίζει την ασφάλεια και υγεία του ανθρώπου και του περιβάλλοντος. Αυτές οι μελέτες βρίσκουν αντίθετους αρκετούς επιστήμονες οι οποίοι στηρίζουν την διαρκή επίβλεψη των πυρηνικών αποβλήτων και όχι τον μόνιμο ενταφιασμό - αποθήκευσή τους.

Για τον λόγο ότι κάποια πυρηνικά απόβλητα έχουν χρόνο ημι-ζωής μεγαλύτερο από ένα εκατομμύριο χρόνια ακόμα και η παραμικρή διαρροή τους θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στις μελέτες. Ακόμα ενδέχεται να απαιτείται χρονικό διάστημα μεγαλύτερο από τον χρόνο ημι-ζωής ενός πυρηνικού αποβλήτου για να σταματήσουν να είναι απειλητικά για τα έμβια όντα. Μελέτες έδειξαν ότι απαιτείται το πέρασμα ενός εκατομμυρίου χρόνων για να μπορεί να εγγωηθεί κάποιος την πλήρη απομόνωση τέτοιων πυρηνικών αποβλήτων. Εκτός αυτού, στοιχεία όπως το αρσενικό παραμένουν τοξικά ακόμα και με το πέρασμα ενός δισεκατομμυρίου χρόνων.

Η τοποθέτηση των πυρηνικών αποβλήτων στην θάλασσα είναι μια άλλη υπό εξέταση επιλογή που αναφέρεται στην τοποθέτηση των αποβλήτων σε πολύ μεγάλους βάθους θέσεις μέσα στη θάλασσα, ώστε να κινηθούν και να ενταφιαστούν κάτω από το φλοιό της Γης και το περιβάλλον του ανθρώπου. Για την δρομολόγηση τέτοιων διαδικασιών θα πρέπει να εξεταστούν σοβαρά και τα ενδεχόμενα επηρεασμού της θαλάσσιας ζωής. Μια τέτοια λύση παραταύτα θα αποτελούσε διεθνή λύση για το πρόβλημα της διάθεσης των πυρηνικών αποβλήτων.

Έτσι, υπάρχουν διαφορετικές προσεγγίσεις στο πρόβλημα της αποθήκευσης των πυρηνικών αποβλήτων. Η μια προσέγγιση είναι η τοποθέτηση των αποβλήτων σε περιοχές με σταθερά γεωτεκτονικά χαρακτηριστικά, οι οποίες είναι προσβάσιμες από τη στεριά και η άλλη προσέγγιση είναι η επανατοποθέτηση των αποβλήτων πίσω στα ορυχεία από όπου αρχικά έχει εξορυχθεί το ουράνιο.

Εικόνα 6: Σημείο τοποθέτησης πυρηνικών αποβλήτων κάτω από τη θάλασσα (Earth's mantle)



Άλλος τρόπος αποθήκευσης είναι η τοποθέτηση τους σε βαθιές (της τάξης των 5 χιλιομέτρων) γεωτρήσεις στην γη οπότε θεωρητικά η φύση των πετρωμάτων σε αυτό το

βάθος εξασφαλίζει την μόνιμη απομόνωση τους και αποκλείει το ενδεχόμενο αλληλεπίδρασης τους με το περιβάλλον.

Ο φλοιός της γης περιέχει 120 τρισεκατομμύρια τόνους θόριο και 40 τρισεκατομμύρια τόνους ουράνιο ανάμεσα σε άλλα ραδιοϊσότοπα. Λαμβάνοντας υπ' όψιν ότι το μέρος των νουκλεϊδίων που αποσυντίθενται στη μονάδα του χρόνου είναι αντιστρόφως ανάλογο με τον χρόνο ημι-ζωής του ισότοπου, η δράση της ανάλογης ραδιενέργειας από τα ραδιοϊσότοπα που παράγονται από τον άνθρωπο θα εξαλειφθεί σε πολύ μικρότερο χρονικό διάστημα απ' ότι η φυσική ραδιενέργεια. Με αυτή την λογική γίνεται και η αποθήκευση τους στην γη.

4.4.2.3. Μεταστοιχείωση

Είναι η διαδικασία στην οποία οι πυρηνικοί αντιδραστήρες τροφοδοτούνται με πυρηνικά απόβλητα, τα οποία μετατρέπουν σε άλλα πυρηνικά απόβλητα λιγότερο επιβλαβή για τον άνθρωπο. Αυτό ήταν μια πρόταση για πυρηνικό αντιδραστήρα ο οποίος όχι μόνο δεν παράγει υπερουράνιο αλλά το καταναλώνει και το μετατρέπει. Η πρόταση αυτή προχώρησε μέχρι το σημείο που έγιναν μεγάλης κλίμακας δοκιμές, αλλά τελικά ακυρώθηκε από τις Ηνωμένες Πολιτείες. Αλλη πρόταση που επίσης δεν υλοποιήθηκε ήταν η περεταίρω εξειδίκευση των αντιδραστήρων για την μετατροπή του υπερουρανίου. Εκόμα έχουν γίνει θεωρητικές μελέτες για την χρήση αντιδραστήρων τήξης ή αλλιώς καυστήρες ακτινίδων όπου με την χρήση κατάλληλων υλικών θα πετύχαιναν την μεταστοιχείωση των ακτινίδων.

4.4.2.4. Επαναχρησιμοποίηση των πυρηνικών καυσίμων

Μια άλλη επιλογή είναι η εύρεση εφαρμογών για τα ισότοπα στα πυρηνικά απόβλητα ώστε να επαναχρησιμοποιούνται. Ήδη το καίσιο-137 και το στρόντιο-90 καθώς και μερικά άλλα αποσπώνται για συγκεκριμένους βιομηχανικές εφαρμογές, όπως θερμοληκτρικές γεννήτριες ραδιοϊσοτόπου και ακτινοβολίας τροφίμων. Η επαναχρησιμοποίηση τους δεν μειώνει την ανάγκη διαχείρισης των ραδιοϊσοτόπων αλλά μειώνει κατά κάποιον τρόπο την ποσότητα των αποβλήτων που παράγονται.

4.4.2.5. Τοποθέτηση στο διάστημα

Η τοποθέτηση των πυρηνικών αποβλήτων στο διάστημα φαίνεται μια μόνιμη λύση για τον λόγο ότι έτσι απομακρύνονται πλήρως από το γήινο περιβάλλον αλλά συνοδεύεται από

αρκετά μειονεκτήματα αν'αμ εσα στα οποία είναι η ενδεχόμενη καταστροφή του μέσου μεταφοράς τους, η οποία θα ελευθέρωνε στην ατμόσφαιρα της γης όλη τη ραδιενέργεια.

5. ΜΕΤΡΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΣΦΑΛΗ ΔΙΑΘΕΣΗ ΤΩΝ ΠΥΡΗΝΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Για την ασφαλή αποθήκευση των πυρηνικών αποβλήτων είναι καθοριστικής σημασίας η τήρηση συγκεκριμένων κανόνων, ώστε να προστατεύεται η δημόσια υγεία καθώς και η ασφάλεια του περιβάλλοντος.

Η δυνατότητα διάθεσης των πυρηνικών αποβλήτων πρέπει να τοποθετείται, να διεξάγεται, να ολοκληρώνεται και να ελέγχεται μετά την αποπεράτωσή της με τρόπο τέτοιο ώστε να διασφαλίζει ότι η έκθεση κάθε τομέα στα πυρηνικά απόβλητα βρίσκεται στα επιτρεπτά και προκαθορισμένα όρια ασφαλείας.

Η συγκέντρωση ραδιενεργού υλικού η οποία ελευθερώνεται στο γενικότερο περιβάλλον, δηλαδή στα υπόγεια και επιφανειακά ύδατα, στον αέρα, στο έδαφος στα φυτά και στα ζώα θα πρέπει να περιορίζεται ετησίως στα 25 millirems στο σύνολο του σώματος, 75 millirems στο θυροειδή και 25 millirems σε κάθε άλλο όργανο οποιουδήποτε οργανισμού.

Η ελευθέρωση ραδιενέργειας στο περιβάλλον θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν σε λογικά πλαίσια, τα οποία καθορίζει η διεθνής κοινότητα και να τηρούνται τα ισχύοντα πρότυπα.

Η επιλογή της τοποθεσίας για την αποθήκευση χαμηλού επιπέδου (low level) ραδιενεργών αποβλήτων είναι άμεσα συνδεδεμένη με την διασφάλιση της δημόσιας υγείας, την διαφύλαξη του περιβάλλοντος καθώς και με κοινωνικούς και οικονομικούς παράγοντες. Οι προϋποθέσεις για την επιλογή της τοποθεσίας αφορούν σαφείς εκτιμήσεις για την υγεία και την ασφάλεια των πολιτών, δημογραφικά στοιχεία, τα μέσα μεταφοράς, την δημόσια εμπιστοσύνη, την ποιότητα του αέρα, την τοπογραφία της περιοχής, εκτιμήσεις για πλημμύρες και υδρογεωλογικούς παράγοντες, τα τεκτονικά γεγονότα, την προστασία του εδάφους που να διασφαλίζει την προστασία και την εκμετάλλευση των φυσικών πόρων, αλλά και την άγρια ζωή και την οικολογία.

Η διαδικασία για την εύρεση κατάλληλης τοποθεσίας για την δημιουργία αποθηκευτικών υποδομών για πυρηνικά απόβλητα ξεκινά αποκλείοντας αρχικά τις ακατάλληλες περιοχές. Στη συνέχεια επανεξετάζονται συγκριτικά οι υπόλοιπες περιοχές για την δημιουργία αποθηκευτικών χώρων. Αρχικά όλες οι περιοχές αυτές θεωρούνται κατάλληλες και στη συνέχεια κατά την πρώτη φάση εξετάζονται μια προς μια οι απαιτήσεις για την απόδοση της καταλληλότητας και επιλέγονται οι τρεις καταλληλότερες και προτιμητέες περιοχές έκτασης περίπου 500 στρεμμάτων η κάθε μία. Κατά την δεύτερη φάση μελετώνται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια και χαρακτηρίζονται συγκριτικά οι περιοχές αυτές και η διαδικασία καταλήγει στην πρόταση μιας από αυτές για να δοθεί άδεια ώστε να αποτελέσει χώρο για την αποθήκευση των αποβλήτων.

5.1. ΦΑΣΗ 1: ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ

Κριτήρια αποκλεισμού και απαιτήσεις αξιολόγησης.

5.1.1. Δημογραφικά κριτήρια και κριτήρια ως προς τη χρήση εδάφους

Οι υποψήφιες περιοχές δεν μπορούν να βρίσκονται κοντά σε οποιοσδήποτε εγκαταστάσεις ή χώρους όπου εκτελούνται δραστηριότητες, κοντά σε πληθυσμό ή κοντά σε περιοχές με δυνατότητες επέκτασης και ανάπτυξης γιατί κάτι τέτοιο θα επηρέαζε την λειτουργία των υποδομών και της οικονομικής και κοινωνικής ζωής, γεγονός επιβαρυντικό για την καταλληλότητα της περιοχής.

Τα δημογραφικά χαρακτηριστικά μιας περιοχής καθώς και η ενδεχόμενη μελλοντική της χρήση σαν περιοχή κατάλληλης για τον υπό μελέτη σκοπό, σχετίζεται με παράγοντες όπως η κατανομή του πληθυσμού και ο ρυθμός αύξησής του, η χρήση του εδάφους, οι κοντινές εγκαταστάσεις, η ασφάλεια και η στήριξη του πληθυσμού καθώς και οικονομικοί παράγοντες. Επιβάλλεται να γίνουν μελέτες για τον τρόπο με τον οποίο η υποψήφια για να αποτελέσει χώρο αποθήκευσης πυρηνικών αποβλήτων περιοχή επηρεάζει την παρούσα κατάσταση καθώς και προβολή της μελέτης σχετικά με τις συνθήκες που θα επικρατούν σύμφωνα με τη μελλοντικά αναμενόμενη εξέλιξη.

Αναλυτικά θα πρέπει να αξιολογηθούν τα εξής:

- 1. Συνθήκες ιδιοκτησίας όπως ιδιοκτησία εδάφους και δικαιώματα εκμετάλλευσης φυσικών πόρων (π.χ. μεταλλευμάτων). Δικαιώματα που σχετίζονται με την ασφάλεια θα πρέπει να αναγνωριστούν και να αξιολογηθούν.*

2. Αξιολόγηση της συμβατότητας της περιοχής ως προς τους κανόνες που υιοθετεί η κάθε χώρα και τα δημοτικά σχέδια της ως προς την αξιολόγηση και τον διαχωρισμό της γης, τον αστικό σχεδιασμό και την κατανομή του πληθυσμού. Ενδεχόμενη αύξηση του πληθυσμού και αντίστοιχοι περιορισμοί πρέπει να αναφέρονται επίσης στην μελέτη.
3. Στις εκτιμήσεις πρέπει να φαίνονται πιθανές επιδράσεις στις εγκαταστάσεις και στις υποδομές συμπεριλαμβανομένων σχολείων, νοσοκομείων, εκκλησιών, οικημάτων περιθαλψής, χώρων συγκέντρωσης πληθυσμού και πάρκων.
4. Εκτίμηση της υποδομής και των υπηρεσιών ασφαλείας συμπεριλαμβανομένων βοηθημάτων πυροπροστασίας, ελέγχου και ιατροφαρμακευτικής περίθαλψής, τα οποία είναι απαραίτητα να είναι διαθέσιμα και ικανά ώστε να μπορεί σε αυτά να στηριχθεί η υπηρεσία αποθήκευσης των αποβλήτων στο παρόν αλλά και να μπορούν σε μελλοντικό χρόνο αν υπάρξει ανάγκη να παρέχουν την ανάλογη στήριξη.
5. Πρέπει να περιγραφούν και να αναλυθούν οι οικονομικές συνθήκες μέσα στην υποψήφια περιοχή και να καθοριστούν ενδεχόμενες επιδράσεις στις παρούσες συνθήκες. Ευκρινείς και ακριβείς πληροφορίες και αναλύσεις θα πρέπει να είναι διαθέσιμες για να γίνει εφικτή η αξιολόγηση των οφελών και των εγγυήσεων.

5.1.1.1. Απαιτήσεις αξιολόγησης για τις μεταφορές

Οδικά δίκτυα που υπάρχουν ή ενδέχεται να δημιουργηθούν σε κατάλληλες περιοχές όπως μελλοντικές επεκτάσεις δρόμων που υπάρχουν θα πρέπει να καθοριστούν και να περιγραφούν ως προς τα ακόλουθα:

1. Ο γενικός τύπος τους, η κατάστασή τους και η ενδεχόμενη αναβάθμιση τους ή οι ανάγκες ως προς την κατασκευή τους.
2. Οι πιθανοί κίνδυνοι που ενέχουν ως μεταφορικά μέσα.
3. Οι κατοικίες που κατοικούνται ανά οικοδομικό χιλιόμετρο.
4. Εγκαταστάσεις όπως σχολεία, πάρκα ή νοσοκομεία ανά χιλιόμετρο δρόμου.
5. Η συνολική απόσταση μεταξύ μιας ενδεχομένως κατάλληλης περιοχής και των σημείων εξόδου από τις υπάρχουσες διακρατικές ή εθνικές οδούς περιορισμένης πρόσβασης.
6. Αρχεία για την προηγούμενη ασφάλεια που παρείχαν οι εν λόγω δρόμοι.

5.1.2. Αξιολόγηση των μετεωρολογικών και κλιματολογικών συνθηκών

Μέσοι όροι και αποκλίσεις των συνθηκών που επικρατούν ως προς το κλίμα της περιοχής καθώς και τα μετεωρολογικά χαρακτηριστικά όπως θερμοκρασία, υγρασία, βροχοπτώσεις και χιονοπτώσεις, ακραίες περιπτώσεις παγετώνων, καταγεγραμμένες τάσεις ανέμων, μοντέλα πίεσης και μετακινήσεις βαρομετρικών μετώπων πρέπει να περιγραφούν και να αξιολογηθούν ώστε να καθοριστούν ενδεχόμενες επιδράσεις στην περιοχή που πρόκειται να επιλεγεί. Πρέπει επίσης να εξεταστεί η προοπτική ακραίων και βίαιων καιρικών φαινομένων, όπως ανεμοστρόβιλων και άλλων φαινομένων καταιγίδων, βασισμένης σε ιστορικές αναφορές.

5.1.3. Σεισμοτεκτονικά Στοιχεία

Κατάλληλες πιθανώς περιοχές δεν θα πρέπει να βρίσκονται σε απόσταση μικρότερης των 1,6 χιλιοστών (1 μιλίου κατά τα αμερικανικά πρότυπα) από ενεργά ρήγματα. Σημειώνεται ότι η απόσταση αυτή για την εγκατάσταση πυρηνικών εργοστασίων θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 8 χιλιόμετρα.

Απαιτήσεις για την αξιολόγηση:

1. Ενδεχομένως κατάλληλες περιοχές πρέπει να αξιολογούνται σε συνάρτηση με τη γεωλογική δομή, τον τεκτονισμό (πτυχώσεις, ρήγματα, διακλάσεις) και τις ιστορικά καταγεγραμμένες καθώς και πρόσφατες σεισμοτεκτονικές παραμορφώσεις.
2. Ενεργά ρήγματα που εντοπίζονται κοντά σε μία περιοχή θα πρέπει να αξιολογούνται ώστε να καθοριστεί η συσχέτιση του ρήγματος με την καταγεγραμμένη ή μελλοντική σεισμική δραστηριότητα καθώς και τις πιθανές επιπτώσεις στη σταθερότητα της περιοχής.
3. Για τις ενδεχομένως κατάλληλες περιοχές θα πρέπει να καθορίζεται η απόσταση τους από γνωστά καταγεγραμμένα σεισμικά επίκεντρα, η οποία θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 200 μίλια. Θα πρέπει να αξιολογείται ο πιθανός κίνδυνος που συνοδεύει αυτά τα επίκεντρα και αυτό δεν θα πρέπει να ξεπερνά την ένταση IV στην κλίμακα Mercalli (ισοδύναμο $M=4.5$ στην κλίμακα Richter).

5.1.4. Επιφανειακές Γεωλογικές Γεωτεχνικές και Υδρολογικές συνθήκες.

Σύμφωνα με τα κριτήρια αποκλεισμού περιοχών, οι πιθανώς κατάλληλες περιοχές θα πρέπει να μην βρίσκονται:

1. Σε απόσταση μικρότερη των 100 μέτρων από την κοίτη ποταμών και χειμάρων, όπως καθορίζεται στο *Flood Plain Management Act* (32 P. S. §§ 679.101—679.601).
2. Μέσα στα όρια ζώνης πλημμυρών όπως καθορίζεται από την *Federal Executive Order 11988, Flood Plain Management Guidelines* (42 U.S.C.A. § 4321, note).
3. Σε ζώνη κάτω από φράγμα και μέσα στα όρια της περιοχής η οποία απειλείται από πλημμύρα και άλλες σοβαρές επιπτώσεις σε περίπτωση καταστροφής του φράγματος.
4. Σε χώρους όπου υπάρχουν ασταθείς γεωλογικοί σχηματισμοί, μετακινήσεις εδάφους, απώλειες μάζας, κατολισθήσεις και καταπτώσεις, οι οποίες μακροχρόνια θα επηρεάσουν την σταθερότητα και την μόνωση των αποθηκών των πυρηνικών αποβλήτων.
5. Σε περιοχές όπου υπάρχουν κλίσεις μεγαλύτερες από 15% από περιοχές αποθήκευσης όπου υπάρχουν αποθηκευτικές μονάδες όπως καθορίζονται στο *USGS 7.5-minute quadrangles* με κλίμακα 1:24000 με ένα διάστημα περιγράμματος 10 ποδιών η 20 ποδιών ή αντίθετα σε έναν τοπογραφικό χάρτη με κλίμακα 1:50.000 και διάστημα περιγράμματος 20 ποδιών.

Απαιτήσεις αξιολόγησης:

Οι ενδεχομένως κατάλληλες περιοχές πρέπει να καλύπτουν ορισμένες προϋποθέσεις:

1. Ως προς την περιφερειακή και τοπική γεωμορφολογία. Οι αξιολογήσεις θα πρέπει να διερευνούν και να αναφέρουν τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα της περιοχής ως προς την σταθερότητα και τις διασυνδέσεις μεταξύ των περιφερειακών και των τοπικών χαρακτηριστικών.
2. Ως προς υδρολογία της περιοχής και της συγκεκριμένης θέσης αποθήκευσης, για την οποία πρέπει να μελετηθούν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:
 - i. Ο βαθμός αποξήρανσης της περιοχής.
 - ii. Το ποσοστό εξάτμισης και διήθησης της περιοχής.
 - iii. Τα ποσοστά και οι κατευθύνσεις της απορροής.

- iv. Τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των ποταμών.
 - v. Τους ιστορικά καταγεγραμμένους χώρους ροής.
 - vi. Την χημική και φυσική σύνθεση των υδάτων.
3. Ανάλογα με τις συνθήκες και διαδικασίες διάβρωσης τόσο της ευρύτερης αλλά και της στενής περιοχής αποθήκευσης. Πρέπει να περιγραφούν ορισμένα χαρακτηριστικά, όπως τύπος, ρυθμός και κατευθύνσεις διάβρωσης. Θα πρέπει να αξιολογηθούν επίσης ενδεχόμενες μετακινήσεις μαζών και κατολισθήσεις που αλλάζουν την μορφολογία.
 4. Να καθοριστεί ενδεχόμενη παρουσία και επέκταση επιφανειακού ύδατος συμπεριλαμβανομένων υγρότοπων, λιμνών και πηγών που συνδέονται με υπόγεια νερά.
 5. Να καθοριστεί η ένταση, η συχνότητα και η διάρκεια των εμφανιζόμενων καταιγίδων οι οποίες μπορούν να προκαλέσουν πλημμύρες, κατακλυσμό και ενδεχόμενες καταστροφικές πλυμυρες.

5.1.5. Λιθολογικά και υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά.

Σύμφωνα με τα κριτήρια αποκλεισμού περιοχών, οι πιθανώς κατάλληλες θέσεις αποθήκευσης θα πρέπει να μην βρίσκονται:

1. Σε περιοχές όπου υπάρχουν ασβεστόλιθοι και γενικότερα ανθρακικά πετρώματα, κυρίως όταν έχουν μεγάλη επιφανειακή εξάπλωση
2. Όπου τα ανθρακικά πετρώματα παρουσιάζονται σε βάθος 50 ποδιών από την επιφάνεια και έχουν πάχος μεγαλύτερο από 5 πόδια.
3. Οι περιοχές έχουν χαρακτηριστεί ως περιοχές με πιθανότητες καθίζησης.
4. Οι περιοχές παρουσιάζουν ήδη στοιχεία καθίζησης στην επιφάνεια.

Απαιτήσεις που πρέπει να πληρούν οι υποψήφιες περιοχές:

1. Η γεωλογία μιας ενδεχομένως κατάλληλης περιοχής θα πρέπει να εξετάζεται ως προς την περιφερειακή και τοπική στρωματογραφία και τα λιθοδομικά χαρακτηριστικά αφού και τα δύο αποτελούν παράγοντες οι οποίοι ενδέχεται να επηρεάσουν μελλοντικά την σταθερότητα της περιοχής.

2. Ένας άλλος παράγοντας ο οποίος είναι σημαντικό να διερευνηθεί είναι τυχόν τοπικές ή και περιφερειακές ζώνες, σε διάφορα βάθη, που παρουσιάζουν στοιχεία μόνιμης ή παροδικής κινητικής δραστηριότητας, καθώς και η πιθανότητα μεταφοράς υδάτινων όγκων λόγω τέτοιας συμπεριφοράς της περιοχής.
3. Πρέπει να περιγραφούν, να μελετηθούν και να αξιολογηθούν τα υπάρχοντα υδάτινα σώματα που ενδεχομένως επηρεάζονται, σε συνάρτηση με τα ακόλουθα:
 - i. Χαρακτηριστικά, όπως πλευρική επέκταση και πάχος.
 - ii. Ποσοστά, κατευθύνσεις και εντάσεις του όγκου ροής των υπόγειων υδάτων.
 - iii. Η πορώδης υφή και διαπερατότητα των πετρωμάτων.
 - iv. Περιοχές φόρτισης και αποφόρτισης.
 - v. Καταγεγραμμένες χημικές ιδιότητες.
4. Οι συγκεκριμένες γεωλογικές συνθήκες της περιοχής πρέπει να εξεταστούν σε συνάρτηση με τα φυσικά, χημικά και ορυκτολογικά χαρακτηριστικά της. Συγκεκριμένα θα πρέπει να χαρακτηριστεί ως προς:
 - i. Την πλευρική έκταση και το πάχος των γεωλογικών σχηματισμών.
 - ii. Τα ονόματα ταξινόμησης.
 - iii. Τις σχετικές ηλικίες.
 - iv. Τις γενετικές σχέσεις.
 - v. Τον βαθμό ύπαρξης πόρων και διαπερατότητας.

5.1.6. Φυσικοί πόροι

Σύμφωνα με τα κριτήρια αποκλεισμού μιας περιοχής η περιοχή δεν θα πρέπει:

1. Να βρίσκεται σε απόσταση μικρότερης του 1 χιλιομέτρου (1/2 μιλίου) από υποδομές είτε μόνιμες είτε περιοδικές, οι οποίες χρησιμοποιούνται για την παροχή νερού στο κοινό.
2. Η περιοχή δεν θα πρέπει να βρίσκεται σε απόσταση μικρότερης του 1 χιλιομέτρου (1/2 μιλίου) από ρεύματα δημόσια ή μη, για ρεύματα απόστασης 5 μιλίων τα οποία βγαίνουν στην επιφάνεια και χρησιμοποιούνται για την παροχή νερού σε ανθρώπους.

3. Η περιοχή δεν θα πρέπει να βρίσκεται σε απόσταση μικρότερης του 1 χιλιομέτρου (1/2 μιλίου) από υπάρχοντες σημ αντικούς υγρότοπους, όπως καθορίζεται στο κεφάλαιο 105 σχετικό με την ασφάλεια των φραγμάτων και την διαχείριση των υδάτων και των φραγμάτων νερού.
4. Η περιοχή δεν θα πρέπει να βρίσκεται μέσα στα όρια των ακολούθων :
 - i. Συστήματα εθνικών πάρκων.
 - ii. Εθνικά δάση.
 - iii. Φυσικές περιοχές που σχεδιάστηκαν από τις υπηρεσίες εθνικών πάρκων.
 - iv. Εθνικά καταφύγια άγριας πανίδας.
 - v. Εθνικά εκκολαπτήρια ψαριών.
 - vi. Εθνικά άγρια και φυσικά συστήματα ποταμών συμπεριλαμβανομένων και των υπό μελέτη ποταμών
 - vii. Εθνικά συστήματα συντήρησης αγριοτόπων.
 - viii. Ιστορικές περιοχές καταγεγραμμένες στα εθνικά ιστορικά αρχεία.
 - ix. Κρατικές, νομικές ή δημοτικές υποδομές.
 - x. Περιοχές που ανήκουν σε επιτροπές Ιστορίας ή Μουσείων.
 - xi. Περιοχές που προστατεύονται από το άγριο και φυσικό πρόγραμμα ποταμών.
 - xii. Περιοχές που έχουν σχεδιαστεί για φυσικά και άγρια τοπία.
5. Μέσα στα όρια κρατικών δασών και παιχνιδότοπων εκτός εάν η υπηρεσία που διαχειρίζεται τις περιοχές αυτές αδειοδοτήσει με καταστατική διάταξη τη δημιουργία αποθηκευτικών υποδομών για πυρηνικά απόβλητα.
6. Σε περιοχές με ενεργά ή ανενεργά κοιτάσματα πετρέλαια ή φυσικού αερίου ή σε χώρους αποθήκευσης τους.
7. Σε αγροτικές περιοχές όπως έχουν χαρακτηριστεί από τον νόμο για την προστασία και την ασφάλεια των αγροτικών περιοχών ή σε αγροτικές περιοχές.
8. Σε περιοχές με ενεργά ή ανενεργά λατομεία τα οποία χαρακτηρίζονται και τεκμηριώνονται από τα δημόσια αρχεία.

Περιοχές κατάλληλες θα πρέπει να αξιολογηθούν ως προς τα εξής:

1. Σχετικά με τα χαρακτηριστικά των υδάτων και με τον ενδεχόμενο επηρεασμό της παροχής νερού. Πρέπει να εντοπιστούν και να αξιολογηθούν οι υπάρχουσες δημόσιες

και ιδιωτικές πηγές που βρίσκονται σε απόσταση 3 μιλίων, ενώ πρέπει επίσης να εξεταστεί και η δυνατότητα αντικατάστασης υπαρχουσών πηγών με εναλλακτικές πηγές παροχής νερού όπως ως προς την ποιότητα και την ποσότητα.

2. Θα πρέπει να αξιολογηθεί η ποιότητα κοιτών ύδατος που έχουν σχεδιαστεί ή ενδέχεται να σχεδιαστούν και ενδεχομένως να επηρεάζονται από την κατασκευή υποδομών για την αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων.
3. Θα πρέπει να καθοριστεί η ύπαρξη ή και οι μελλοντικές συνθήκες ύπαρξης ειδών προς εξαφάνιση. Θα πρέπει να καθοριστεί η ύπαρξη ή και οι μελλοντικές συνθήκες ύπαρξης βιοτόπων και να αναγνωριστούν οι υπό κίνδυνο ή υπό απειλή, σπάνιοι ή μοναδικοί βιότοποι.
4. Θα πρέπει να καθοριστεί σε ποιο βαθμό προηγούμενες εξερευνήσεις ή εκμετάλλευση έχουν παραβιάσει τα φυσικά γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Οι έρευνες αυτές θα πρέπει να αναγνωρίσουν θέσεις και τύπους εκμετάλλευσης των περιοχών και να εκτιμηθούν ενδεχόμενες επιρροές τους στην σταθερότητα της υοπψήφιας περιοχής.
5. Θα πρέπει να μελετηθούν οι θέσεις, οι τύποι και οι ποσότητες φυσικών πόρων που υπάρχουν στην περιοχή και η εκτίμηση της ενδεχόμενης διαθεσιμότητας των πόρων αυτών σε άλλες περιοχές. Προτεραιότητα πρέπει να αποδοθεί σε περιοχές με σπάνιους και μοναδικούς φυσικούς πόρους.
6. Υγρότοποι. Οι προτιμητέες κατάλληλες περιοχές που έχουν προκριθεί για έγκριση πρέπει να αξιολογηθούν ώστε να καθοριστούν με ακρίβεια τα όρια υγρότοπων.

5.2. ΦΑΣΗ 2: ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ

Σε δεύτερη φάση, ως προς την αξιολόγηση μιας περιοχής ως προς την καταλληλότητά της για την αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων και συγκεκριμένα πυρηνικών ραδιενεργών αποβλήτων χαμηλής ραδιενεργής δράσης, θα πρέπει να αξιολογηθούν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της περιοχής.

Η εφαρμογή των απαιτήσεων καταλληλότητας των περιοχών απαιτεί την συλλογή, τεκμηρίωση, ανάλυση, συζήτηση και αξιολόγηση σε ειδικότερο αναλυτικότερο επίπεδο των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών στοιχείων της περιοχής. Στο στάδιο αυτό θα τεκμηριωθούν ή θα ανασκευαστούν τα κριτήρια που αναλύθηκαν στην πρώτη φάση για τις επιλεγείσες τρεις περιοχές. Για να αδειοδοτηθεί και να προχωρήσει η μελέτη θα πρέπει να παρουσιαστούν

αναλυτικά τα ευρήματα από τις δυο φάσεις της αξιολόγησης. Για τα κριτήρια που θα εξεταστούν και αφορούν δεδομένα τα οποία θεωρούνται μεταβλητά με τον χρόνο, θα πρέπει να τεκμηριωθούν τόσο αυτά όσο και τα συμπεράσματα που προκύπτουν από αυτά να αφορούν χρονική περίοδο τουλάχιστον ενός έτους.

5.2.1. Χαρακτηρισμός και μοντελοποίηση της περιοχής

Μια ενδεχόμενη περιοχή αποθήκευσης πυρηνικών αποβλήτων θα πρέπει να είναι σε κατάσταση ώστε να μπορεί να χαρακτηριστεί, να μοντελοποιηθεί και να αναλυθεί καθώς επίσης να είναι και σε θέση που να μπορεί να παρακολουθείται. Ο χαρακτηρισμός θα πρέπει να είναι επαρκής ώστε να καθορίζονται τα χαρακτηριστικά και οι συνθήκες τόσο μέσα όσο και έξω από την περιοχή αποθήκευσης μέσω της παρακολούθησης της ανάλυσης, της μοντελοποίησης και της παρουσίασης ώστε να διασφαλίζεται η καταλληλότητα της και η απόδοση της κατά τα κριτήρια.

5.2.2. Δημογραφικά στοιχεία και χρήση της γής

Μια περιοχή αποθήκευσης πρέπει να επιλεγεί έτσι ώστε να ανταποκρίνεται και μελλοντικά σε ενδεχόμενη ανάπτυξη σε οποιοδήποτε τομέα, είτε αυτό αφορά πληθυσμό ή μελλοντικές περιβαλλοντικές αλλαγές ώστε να εξασφαλίζεται και η μελλοντική ασφαλής αποθήκευση των αποβλήτων στην περιοχή. Για τον λόγο αυτό πιο εξειδικευμένες μελέτες πρέπει να γίνουν που να καταδεικνύουν τα μελλοντικά σχέδια ως προς την ανάπτυξη της περιοχής και του πληθυσμού.

5.2.3. Μεταφορά - Οδικό δίκτυο

Ένας ενδεχόμενος χώρος αποθήκευσης πρέπει να εξασφαλίζει τις ασφαλείς μεταφορές σε οποιοδήποτε οδικό δίκτυο είτε αυτό συνδέει την ίδια την περιοχή με κάποιο αυτοκινητόδρομο ή με οποιοδήποτε άλλο δρόμο που βρίσκεται στην εν λόγω περιοχή τόσο για τους ήδη υπάρχοντες δρόμους όσο και για οποιαδήποτε ενδεχόμενη ανάπτυξη τους στο μέλλον.

5.2.4. Μετεωρολογικές και κλιματολογικές συνθήκες

Μια ενδεχόμενη περιοχή αποθήκευσης θα πρέπει να βρίσκεται σε τοποθεσία όπου οι δυσμενείς κλιματικές και μετεωρολογικές συνθήκες δεν θα επηρεάσουν την ομαλή και σχεδιασμένη λειτουργία του υπό διερεύνηση χώρου.

5.2.5. Σεισμοτεκτονικά Στοιχεία

Μια ενδεχόμενη περιοχή αποθήκευσης θα πρέπει να έχει εξεταστεί και να χαρακτηριστεί τεκτονικά σταθερή ώστε να μην παρεκκλίνουν οι στόχοι απόδωσης από τους προσχεδιασμένους. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό η περιοχή να μην βρίσκεται σε τοποθεσία η οποία είναι τεκτονικά ενεργή καθώς μια σεισμική δραστηριότητα μπορεί να επηρεάσει την απομόνωση της ραδιενέργειας των πυρηνικών αποβλήτων με επακόλουθο την διατάρξη της μελλοντικής σταθερότητας της περιοχής.

5.2.6. Γεωλογικά χαρακτηριστικά και υδρολογία της επιφάνειας

Μια ενδεχόμενη περιοχή αποθήκευσης θα πρέπει να βρίσκεται σε τοποθεσία της οποίας το ανάγλυφο και οι γεωλογικές αλλαγές της επιφάνειας έχουν συγκεκριμένους ρυθμούς, οι οποίοι δεν είναι σε θέση να επηρεάσουν την απομόνωση των πυρηνικών αποβλήτων. Γενικά θα πρέπει να βρίσκεται σε περιοχές χωρίς κυκλοφορία νερών ή περιοχές όπου δεν συγκεντρώνονται νερά. Σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να υπάρχουν υγρότοποι στην περιοχή. Η αποξήρανση της περιοχής θα πρέπει να είναι τέτοια που να εξασφαλίζει την μη διάβρωση του εδάφους, κάτι που ενδεχομένως θα γινόταν αν πήγαινε νερό ή υγρασία στον χώρο αποθήκευσης.

5.2.7. Γεωλογικά χαρακτηριστικά και υδρολογία του υπεδάφους

Μία ενδεχομένως κατάλληλη περιοχή δεν θα πρέπει να βρίσκεται σε τοποθεσία όπου υφίστανται υδρολογικές εγκαταστάσεις ή αγωγοί νερού ή τα γεωλογικά χαρακτηριστικά (όπως ρωγματωμένα πετρώματα με κυκλοφορία νερού) που ενδέχεται να έχουν επιπτώσεις στην απομόνωση των πυρηνικών αποβλήτων. Είναι σημαντικό να υπάρχει σαφής διαχωρισμός της περιοχής από οποιοδήποτε υδροφόρο δίκτυο έτσι ώστε η παρείσφρηση νερού στις μονάδες αποθήκευσης να μην είναι εφικτή και αυτό να εξασφαλίζεται και για το μέλλον.

5.2.8. Φυσικοί πόροι

Μια ενδεχομένως κατάλληλη περιοχή θα πρέπει να τοποθετείται έτσι ώστε οι φυσικοί πόροι που προστατεύονται από τον νόμο, οι φυσικοί πόροι που προορίζονται για τη διατροφή και διαβίωση του ανθρώπου καθώς επίσης και οι πολιτισμικά και ιστορικά σημαντικοί και μοναδικοί χώροι να προστατεύονται κατά την τοποθέτηση, την κατασκευή και την επέμβαση στον χώρο από την μακροχρόνια αποθήκευση των πυρηνικών αποβλήτων. Η περιοχή δεν θα πρέπει να βρίσκεται σε τοποθεσίες όπου γίνεται εξερεύνηση ή εκμετάλλευση της περιοχής ως προς φυσικούς πόρους όπως υδρογονάνθρακες, βιομηχανικά μεταλλεύματα ή μεταλλεύματα προς εξόρυξη ή ορυκτά καύσιμα καθώς αυτά μπορεί να επηρεάσουν την απομόνωση των πυρηνικών αποβλήτων.

6. ΚΡΙΤΗΡΙΑ - ΣΥΜΒΑΣΕΙΣ

6.1. ΓΕΝΙΚΑ

Η ενέργεια είναι απαραίτητη στην καθημερινή ζωή των ανθρώπων στην Ελλάδα όπως και σε ολόκληρο τον κόσμο. Έχει γίνει πλέον απαραίτητη η αντιμετώπιση των μεγάλων ενεργειακών προκλήσεων που συνεπάγονται οι κλιματικές αλλαγές, η αυξανόμενη εξάρτηση από τις εισαγωγές ενέργειας, την πίεση για ενεργειακούς πόρους και την προμήθεια όλων των καταναλωτών με ενέργεια ασφαλή αλλά και σε προσιτές τιμές.

Η εφαρμογή φιλόδοξης ενεργειακής πολιτικής στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ), η οποία να καλύπτει όλες τις πηγές ενέργειας - ορυκτές (πετρέλαιο, φυσικό αέριο, άνθρακα) ή ανανεώσιμες (ηλιακή, αιολική, από βιομάζα, γεωθερμική, υδροηλεκτρική, παλιρροιακή) αποσκοπεί στη δρομολόγηση μιας νέας βιομηχανικής επανάστασης, η οποία θα μεταμορφώσει την Ευρώπη σε οικονομία χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας που να είναι ασφαλέστερη, ανταγωνιστικότερη και περισσότερο αειφόρος.

Παράλληλα, οι πυρηνικοί σταθμοί παράγουν σήμερα περίπου το 1/3 της ηλεκτρικής ενέργειας και το 15% της ενέργειας που καταναλώνεται στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Πρόκειται για τομέα με χαμηλές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, με σχετικά σταθερές δαπάνες, πράγμα που τον καθιστά ενδιαφέροντα από την άποψη της ασφάλειας του εφοδιασμού και

την αντιμετώπιση των κλιματικών αλλαγών. Ωστόσο, επαφίεται σε κάθε κράτος μέλος να επιλέξει ή όχι την αξιοποίηση της πυρηνικής ενέργειας.

Η Ευρωπαϊκή Κοινότητα Ατομικής Ενέργειας δημιούργησε το 1957 τις συνθήκες για την ανάπτυξη της πυρηνικής ενέργειας στην Ευρώπη. Στην αποστολή της συγκαταλέγονταν, συγκεκριμένα, η ανάπτυξη της συνεργασίας στον τομέα της έρευνας, η προστασία του πληθυσμού με την καθιέρωση ενιαίων κριτηρίων ασφάλειας, ο επαρκής και δίκαιος εφοδιασμός με πυρηνικά ορυκτά και καύσιμα, ο έλεγχος της ειρηνικής χρήσης των πυρηνικών υλικών και η συνεργασία με άλλες χώρες και διεθνείς οργανισμούς.

Τα ειδικά μέτρα που θεσπίστηκαν σε επίπεδο ΕΕ αποσκοπούν, ιδίως, στην εξασφάλιση της προστασίας της υγείας των απασχολουμένων στον τομέα αυτό και στην προστασία του περιβάλλοντος από τους κινδύνους που συνδέονται με τη χρήση των πυρηνικών καυσίμων και αποβλήτων που προκύπτουν.

Ως "πυρηνική εγκατάσταση" νοείται:

α) εργοστάσιο εμπλουτισμού, εργοστάσιο κατασκευής πυρηνικών καυσίμων, πυρηνικός σταθμός ηλεκτροπαραγωγής, μονάδα επανεπεξεργασίας, εγκατάσταση ερευνητικού αντιδραστήρα, εγκατάσταση αποθήκευσης αναλωθέντος καυσίμου και

β) εγκαταστάσεις αποθήκευσης ραδιενεργών καταλοίπων οι οποίες βρίσκονται στην ίδια τοποθεσία και σχετίζονται άμεσα με πυρηνικές εγκαταστάσεις

Ως "πυρηνική ασφάλεια" νοείται η επίτευξη κατάλληλων συνθηκών λειτουργίας, η πρόληψη ατυχημάτων και ο μετριασμός των συνεπειών των ατυχημάτων, με αποτέλεσμα την προστασία των εργαζομένων και του πληθυσμού από κινδύνους που προκύπτουν από ιοντίζουσες ακτινοβολίες, οι οποίες προέρχονται από πυρηνικές εγκαταστάσεις.

6.2. ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ ΚΑΙ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

- Εφαρμογή του Δικαίου της ΕΕ
- Τα ευρωπαϊκά θεσμικά όργανα έχουν την εξουσία να εκδίδουν νομοθετικές πράξεις (κανονισμούς, οδηγίες, αποφάσεις) για τα κράτη μέλη της ΕΕ οι οποίες υπερέχουν του εθνικού δικαίου. Σε αντίθεση με τις οδηγίες, που απευθύνονται στα κράτη μέλη, και τις

αποφάσεις, που έχουν συγκεκριμένους αποδέκτες, ο κανονισμός απευθύνεται προς όλους.

-

- Κανονισμός

- Ένας κανονισμός, ο οποίος εκδίδεται είτε από το Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης από κοινού με το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, είτε μόνο από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, είναι μια γενική και δεσμευτική ως προς όλα τα μέρη της πράξη.

- Ο κανονισμός απευθύνεται σε όλους και έχει άμεση εφαρμογή, δηλαδή δημιουργεί νομοθεσία που ισχύει άμεσα σε όλα τα κράτη μέλη, όπως ακριβώς οι εθνικοί νόμοι, χωρίς καμία άλλη παρέμβαση από τις εθνικές αρχές.

- Οδηγία

- Μια ευρωπαϊκή οδηγία καθορίζει τους στόχους που πρέπει να επιτύχουν τα κράτη μέλη, τα οποία είναι ελεύθερα να επιλέξουν τα μέσα που θα χρησιμοποιήσουν για το σκοπό αυτό. Η οδηγία μπορεί να απευθύνεται σε ένα, σε περισσότερα από ένα ή σε όλα τα κράτη μέλη. Για να έχουν αποτελέσματα για τους πολίτες οι αρχές μιας οδηγίας, πρέπει ο εθνικός νομοθέτης να θεσπίσει μια νομοθετική πράξη μεταφοράς στο εσωτερικό δίκαιο, με την οποία η εθνική νομοθεσία θα μπορεί να προσαρμοστεί στους στόχους της οδηγίας.

- Οι οδηγίες προβλέπουν προθεσμία για τη μεταφορά τους στο εθνικό δίκαιο, ενώ τα κράτη μέλη έχουν στη διάθεσή τους ένα περιθώριο που τους επιτρέπει να λάβουν υπόψη τις εθνικές τους ιδιαιτερότητες. Η μεταφορά πρέπει να ολοκληρωθεί εντός της προθεσμίας που καθορίζει η εκάστοτε οδηγία.

- Οι οδηγίες χρησιμ οποιούνται για την εναρμ όνιση των εθνικών νομ οθεσιών και, ειδικότερα, για την υλοποίηση της ενιαίας αγοράς (για παράδειγμα, τα πρότυπα για την ασφάλεια των προϊόντων).

-

- Απόφαση

- Η απόφαση εκδίδεται είτε από το Συμβούλιο, είτε από το Συμβούλιο από κοινού με το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, είτε από την Επιτροπή. Είναι η νομοθετική πράξη με την οποία τα ευρωπαϊκά θεσμικά όργανα αποφαινόνται επί ειδικών θεμ άτων. Με την απόφαση, τα θεσμικά όργανα μπορούν να απαιτήσουν από ένα κράτος μέλος ή από

έναν υπήκοο της Ένωσης να πράξει ή να μην πράξει κάτι, να του εκχωρήσουν δικαιώματα ή να του επιβάλουν υποχρεώσεις.

-

Η απόφαση μπορεί να είναι:

1. ατομική και οι αποδέκτες της πρέπει να αναφέρονται ένας προς έναν, στοιχείο που τη διαφοροποιεί από τον κανονισμό,
2. δεσμευτική ως προς όλα τα μέρη της.

Ευρωπαϊκή Επιτροπή

Η Επιτροπή ενεργεί ως “θεματοφύλακας των Συνθηκών”. Ως εκ τούτου, μεριμνά για την εφαρμογή του δικαίου της Ένωσης από τους ιδιώτες, τα κράτη μέλη και τα λοιπά ευρωπαϊκά όργανα.

Κατά την άσκηση των αρμοδιοτήτων της, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή μπορεί κυρίως να επιβάλλει κυρώσεις σε ιδιώτες ή επιχειρήσεις για παράβαση του δικαίου της Ένωσης.

Μπορεί να κινεί διαδικασίες για παράβαση κατά των κρατών μελών και να καλεί τα κράτη μέλη σε επανόρθωση εντός συγκεκριμένης προθεσμίας.

Τέλος, σε περίπτωση που τα κράτη μέλη ή άλλα θεσμικά όργανα της ΕΕ παραβιάσουν το δίκαιο της Ένωσης, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή μπορεί να ασκήσει προσφυγή ενώπιον του Δικαστηρίου.

6.3. ΣΥΝΘΗΚΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΙΔΡΥΣΗ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗΣ ΚΟΙΝΟΤΗΤΑΣ ΑΤΟΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΕΥΡΑΤΟΜ)

Η συνθήκη Euratom (Ευρατόμ), η οποία θεσπίστηκε αρχικά για τον συντονισμό των ερευνητικών προγραμμάτων των κρατών με στόχο την ειρηνική χρήση της πυρηνικής ενέργειας, συμβάλλει σήμερα στην από κοινού χρήση των γνώσεων, των υποδομών και των χρηματοδοτικών πόρων της πυρηνικής ενέργειας. Διασφαλίζει, επίσης, την ασφάλεια εφοδιασμού με ατομική ενέργεια στο πλαίσιο κεντρικού συστήματος ελέγχου.

Στόχος της συνθήκης Ευρατόμ είναι η από κοινού χρησιμοποίηση του δυναμικού των πυρηνικών βιομηχανιών των κρατών μελών. Στο πλαίσιο αυτό, η συνθήκη εφαρμόζεται μόνο για ορισμένες οντότητες (τα κράτη μέλη, τα φυσικά πρόσωπα και τις επιχειρήσεις ή

τους οργανισμούς δημοσίου ή ιδιωτικού δικαίου) που ασκούν το σύνολο ή μέρος των δραστηριοτήτων τους σε έναν τομέα που καλύπτεται από τη συνθήκη, δηλαδή: τα ειδικά σχάσιμα υλικά, τα αρχικά υλικά και τα μεταλλεύματα από τα οποία εξάγονται τα αρχικά υλικά.

6.3.1 Δομή Συνθήκης

Η συνθήκη Ευρατόμ αποτελείται από το προοίμιο και 234 άρθρα τα οποία κατανέμονται σε έξι τίτλους. Το πλήθος των άρθρων διαμορφώθηκε σε 177 κατόπιν της υπογραφής, τον Δεκέμβριο 2007, της συνθήκης με την οποία τροποποιούνται η συνθήκη για την Ευρωπαϊκή Ένωση (συνθήκη ΕΕ) και η συνθήκη για την ίδρυση της Ευρωπαϊκής Κοινότητας (συνθήκη ΕΚ).

- Ο πρώτος τίτλος καθορίζει τις αποστολές τις οποίες αναθέτει η συνθήκη στην Κοινότητα.
- Ο δεύτερος τίτλος καθορίζει τις διατάξεις για την ενίσχυση της προόδου στον τομέα της πυρηνικής ενέργειας (ανάπτυξη της έρευνας, διάδοση των γνώσεων, προστασία της υγείας, επενδύσεις, κοινές επιχειρήσεις, εφοδιασμός, έλεγχος διασφαλίσεων, καθεστώς ιδιοκτησίας, κοινή πυρηνική αγορά και εξωτερικές σχέσεις).
- Ο τρίτος τίτλος αφορά διατάξεις σχετικές με τα όργανα της Κοινότητας και γενικές δημοσιονομικές διατάξεις. Οι διατάξεις αυτές προσαρμόστηκαν ώστε να συμφωνούν με την υπογραφείσα τον Δεκέμβριο 2007 συνθήκη με την οποία τροποποιούνται η συνθήκη ΕΕ και η συνθήκη ΕΚ.
- Ο τέταρτος τίτλος αφορά ειδικές δημοσιονομικές διατάξεις.
- Ο πέμπτος και ο έκτος τίτλος περιέχουν αντίστοιχα τις γενικές διατάξεις και τις διατάξεις για την αρχική περίοδο (εγκατάσταση των οργάνων, αρχικές διατάξεις εφαρμογής και μεταβατικές διατάξεις).

Επίσης, η συνθήκη περιλαμβάνει πέντε παραρτήματα τα οποία αφορούν τα πεδία έρευνας στον τομέα της πυρηνικής ενέργειας που προβλέπονται στο άρθρο 4 της συνθήκης, τους βιομηχανικούς τομείς που προβλέπονται στο άρθρο 41 της συνθήκης, τα πλεονεκτήματα που δύνανται να παρασχεθούν στις κοινές επιχειρήσεις βάσει του άρθρου 48 της συνθήκης, τους πίνακες αγαθών και προϊόντων που υπάγονται στις διατάξεις του

κεφαλαίου 9 περί της κοινής πυρηνικής αγοράς και το αρχικό πρόγραμμα ερευνών και εκπαίδευσης που προβλέπεται στο άρθρο 215 της συνθήκης.

Τέλος, στη συνθήκη προσαρτώνται δύο πρωτόκολλα. Πρόκειται για το πρωτόκολλο περί εφαρμογής της συνθήκης για την ίδρυση της Ευρωπαϊκής Κοινότητας Ατομικής Ενέργειας στα μη ευρωπαϊκά τμήματα του Βασιλείου των Κάτω Χωρών και το πρωτόκολλο περί του οργανισμού του Δικαστηρίου της Ευρωπαϊκής Κοινότητας Ατομικής Ενέργειας.

6.3.2 Αποστολή Συνθήκης

Σύμφωνα με τη συνθήκη, οι συγκεκριμένες αποστολές της Ευρατόμ είναι:

- Να αναπτύσσει την έρευνα και να εξασφαλίζει τη διάδοση των τεχνικών γνώσεων. Η Επιτροπή καλεί τα κράτη μέλη, τα πρόσωπα ή τις επιχειρήσεις να της ανακοινώνουν τα προγράμματα που αναλαμβάνουν στον τομέα της πυρηνικής έρευνας. Η Επιτροπή δημοσιεύει τακτικά κατάλογο των τομέων πυρηνικής έρευνας που θεωρεί ότι δεν έχουν μελετηθεί επαρκώς. Έχει επίσης δημιουργήσει κέντρο ερευνών στον πυρηνικό τομέα. Το Κοινό Κέντρο Ερευνών κατέστη θεμ ελιώδης παράγων της κοινοτικής έρευνας στον πυρηνικό τομέα και της έρευνας σε τομείς όπως το περιβάλλον ή την ασφάλεια των τροφίμων. Τα κράτη μέλη, τα πρόσωπα και οι επιχειρήσεις δικαιούνται να λαμβάνουν, κατόπιν αιτήσεώς τους προς την Επιτροπή, άδειες μη αποκλειστικής εκμεταλλεύσεως διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας, τίτλων προσωρινής προστασίας, υποδειγμάτων χρησιμότητας ή αιτήσεων διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας, που ανήκουν κατά κυριότητα στην Κοινότητα.
- Να θεσπίζει και να διασφαλίζει την εφαρμογή ομοιόμορφων κανόνων ασφάλειας για την προστασία της υγείας του πληθυσμού και των εργαζομένων. Κάθε κράτος μέλος θεσπίζει νομ οθετικές, κανονιστικές και διοικητικές διατάξεις, κατάλληλες για την εξασφάλιση της τήρησης των βασικών κανόνων που έχουν τεθεί στη συνθήκη, περιλαμβανομένων των μέτρων που αφορούν την εκπαίδευση, τη διαπαιδαγώγηση και την επαγγελματική κατάρτιση. Η θεσπισθείσα νομοθεσία αφορά επίσης τις ιατρικές εφαρμογές, την έρευνα, τα μέγιστα αποδεκτά επίπεδα ραδιενεργού μόλυνσης των τροφίμων, καθώς και τα μέτρα προστασίας που πρέπει να λαμβάνονται σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης από ραδιενεργό μόλυνση. Κάθε κράτος μέλος οφείλει να παρέχει στην Επιτροπή τα γενικά δεδομένα για κάθε σχέδιο διάθεσης ραδιενεργών καταλοίπων. Παράλληλα, απαιτείται η σύμφωνη γνώμη της Επιτροπής όταν τα

αποτελέσματα αυτών των σχεδίων ενδέχεται να έχουν επιπτώσεις στην επικράτεια των λοιπών κρατών μελών.

- Να διευκολύνει τις επενδύσεις και να διασφαλίζει τη δημιουργία βασικών εγκαταστάσεων που είναι αναγκαίες για την ανάπτυξη της πυρηνικής ενέργειας εντός της ΕΕ. Η Επιτροπή δημοσιεύει τακτικά τα ενδεικτικά πυρηνικά προγράμματα (PINC) που αφορούν ιδίως τους στόχους της παραγωγής πυρηνικής ενέργειας και τις επενδύσεις που συνεπάγεται η υλοποίησή τους. Τα πρόσωπα και οι επιχειρήσεις των βιομηχανικών κλάδων οφείλουν να κοινοποιούν στην Επιτροπή τα επενδυτικά τους σχέδια.
- Να μεριμνά για τον τακτικό και δίκαιο εφοδιασμό όλων των χρηστών στην ΕΕ με μεταλλεύματα και πυρηνικά καύσιμα. Ο εφοδιασμός με μεταλλεύματα, αρχικά υλικά και ειδικά σχάσιμα υλικά εξασφαλίζεται βάσει της αρχής της ίσης πρόσβασης στις πηγές εφοδιασμού και με την εφαρμογή κοινής πολιτικής εφοδιασμού. Στο πλαίσιο αυτό, η συνθήκη:
 - i. Απαγορεύει κάθε πρακτική η οποία έχει ως στόχο την εξασφάλιση προνομιακής θέσης σε ορισμένους χρήστες.
 - ii. Συστήνει οργανισμό ο οποίος έχει δικαίωμα προαίρεσης επί των μεταλλευμάτων, των αρχικών υλικών και των ειδικών σχάσιμων υλικών που παράγονται στην επικράτεια των κρατών μελών, καθώς και αποκλειστικό δικαίωμα να συνάπτει συμβάσεις προμ ήθειας μεταλλευμάτων, αρχικών υλικών ή ειδικών σχάσιμων υλικών που προέρχονται από κράτη εντός ή εκτός της Κοινότητας.

6.3.2.1 Άσκηση Ελέγχου

Ο Οργανισμός Εφοδιασμού της Ευρατόμ, ο οποίος έχει νομική προσωπικότητα και οικονομική αυτονομία, τελεί υπό τον έλεγχο της Επιτροπής, η οποία του παρέχει τις οδηγίες της και έχει δικαίωμα αρνησικυρίας επί των αποφάσεών του.

Τα κράτη μέλη οφείλουν να υποβάλλουν ετησίως στην Επιτροπή έκθεση για την ανάπτυξη της μεταλλευτικής έρευνας και της παραγωγής, καθώς και για τα πιθανά αποθέματα και τις επενδύσεις στον μεταλλευτικό τομέα που πραγμ αποποιήθηκαν ή σχεδιάζονται να πραγματοποιηθούν στις επικράτειές τους.

- Να εγγυάται ότι τα πυρηνικά υλικά ειρηνικών εφαρμογών δεν χρησιμοποιούνται για διαφορετικούς σκοπούς (κυρίως στρατιωτικούς). Με τη συνθήκη Ευρατό μ έχει δημιουργηθεί ένα πλήρως ολοκληρωμένο και αυστηρό σύστημα ελέγχου με σκοπό τη διασφάλιση ότι τα πυρηνικά υλικά δεν θα χρησιμοποιούνται για σκοπούς διαφορετικούς από τους μη στρατιωτικούς που έχουν δηλωθεί από τα κράτη μέλη. Η ΕΕ διαθέτει αποκλειστική αρμοδιότητα σε αυτόν τον τομέα που ασκείται από σώμα 300 επιθεωρητών, οι οποίοι εξασφαλίζουν την εφαρμογή του ελέγχου των διασφαλίσεων της Ευρατόμ στην ΕΕ.

Η Επιτροπή οφείλει να βεβαιώνει ότι στις επικράτειες των κρατών μελών:

- Τα μεταλλεύματα, τα αρχικά υλικά και τα ειδικά σχάσιμα υλικά δεν χρησιμοποιούνται κατά τρόπο διάφορο από αυτόν που έχουν δηλώσει οι χρήστες τους
- Τηρούνται οι διατάξεις περί εφοδιασμού και όλες οι ειδικές υποχρεώσεις σχετικά με την εξασφάλιση της πρόσβασης στα βέλτιστα τεχνικά μέσα μέσω κοινής αγοράς υλικών, εξοπλισμών κλπ.

Η Επιτροπή δύναται να αποστέλλει επιθεωρητές στις επικράτειες των κρατών μελών. Οι επιθεωρητές αυτοί έχουν κάθε στιγμή πρόσβαση σε όλες τις τοποθεσίες, σε όλες τις πληροφορίες και σε όλα τα πρόσωπα τα οποία, λόγω του επαγγέλματός τους, ασχολούνται με τα υλικά, τους εξοπλισμούς ή με τις εγκαταστάσεις που υπόκεινται σε έλεγχο.

Ο έλεγχος διασφαλίσεων της Ευρατόμ ασκείται σε συνδυασμό με τις εγγυήσεις που δίνονται από τον Διεθνή Οργανισμό Ατομικής Ενέργειας (ΔΟΑΕ) στο πλαίσιο τριμερών συμφωνιών που συνάπτονται από τα κράτη μέλη, την Κοινότητα και τον ΔΟΑΕ.

Ο ΔΟΑΕ είναι ένας αυτόνομος οργανισμός που εδρεύει στη Βιέννη (Αυστρία) και συνεργάζεται με τον Οργανισμό Ηνωμένων Εθνών (ΟΗΕ). Σκοπός του ΔΟΑΕ είναι, αφενός, να προωθή τη χρήση της πυρηνικής ενέργειας για ειρηνικούς σκοπούς και, αφετέρου, να διασφαλίζει ότι η βοήθεια που παρέχει δεν χρησιμοποιείται για στρατιωτικούς σκοπούς.

Σε περίπτωση παραβίασης, από πρόσωπα ή επιχειρήσεις, των υποχρεώσεων που έχουν, η Επιτροπή δύναται να τους επιβάλει κυρώσεις. Οι κυρώσεις αυτές συνίστανται σε απλή προειδοποίηση, στέρξη ειδικών πλεονεκτημάτων (όπως η οικονομική συνδρομή ή η τεχνική βοήθεια), υπαγωγή της επιχείρησης στη διαχείριση προσώπου ή συλλογικού οργάνου και, τέλος, σε μερική ή πλήρη αφαίρεση των αρχικών υλικών ή των ειδικών σχάσιμων υλικών. Επίσης η Επιτροπή μπορεί:

- Να ασκεί το δικαίωμα κυριότητας, το οποίο της αναγνωρίζεται επί των ειδικών σχάσιμων υλικών

- Να προωθεί την ειρηνική χρησιμοποίηση της πυρηνικής ενέργειας , μέσω της συνεργασίας με τρίτες χώρες και με διεθνείς οργανισμούς
- Να συγκροτεί κοινές επιχειρήσεις. Οι επιχειρήσεις αυτές συγκροτούνται με στόχο την εφαρμογή συγκεκριμένων πρωτοβουλιών που είναι πρωταρχικής σημασίας για την ανάπτυξη της πυρηνικής βιομηχανίας της Ευρώπης. Παράδειγμα τέτοιας πρωτοβουλίας είναι η Joint European Torus (JET) στον τομέα της πυρηνικής σχάσης (επιχείρηση που διαλύθηκε το 2000, αλλά της οποίας οι δραστηριότητες συνεχίζονται υπό την αιγίδα της Ευρωπαϊκής Συμφωνίας Ανάπτυξης της Σύντηξης (European fusion development agreement-EFDA-(EN)) ή το πρόγραμμα ITER (διεθνής πειραματικός θερμοπυρηνικός αντιδραστήρας) το πλαίσιο υλοποίησης του οποίου αναμένεται μάλιστα να επεκταθεί πέραν της Ευρώπης.
- Η Επιτροπή διαπραγματεύεται και συνάπτει συμφωνίες με τρίτες χώρες στον τομέα της πυρηνικής συνεργασίας. Η σύναψη αυτών των συμβάσεων υπόκειται, ωστόσο, στην έγκριση του Συμβουλίου. Τα κράτη μέλη, από την πλευρά τους, οφείλουν να ανακοινώνουν στην Επιτροπή τα σχέδια συμφωνιών ή συμβάσεων με τρίτη χώρα, διεθνή οργανισμό ή υπήκοο τρίτης χώρας. Επί του παρόντος, ισχύουν πολλές συμφωνίες Ευρατόμ με διάφορες χώρες, όπως οι ΗΠΑ, η Αυστραλία και ο Καναδάς.

6.3.2.2. Θεσμικά Όργανα και Κράτη Μέλη

Το θεσμικό πλαίσιο της συνθήκης Ευρατόμ είναι, σε γενικές γραμμές, παρεμφερές με αυτό της συνθήκης ΕΟΚ και βασίζεται στο ίδιο «θεσμικό τρίγωνο» (Συμβούλιο, Επιτροπή και Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο). Συνεπώς, η εκτέλεση των καθηκόντων που ανατίθενται στην Κοινότητα δεν διασφαλίζεται μόνο από το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, την Επιτροπή και το Συμβούλιο, αλλά και από το Ευρωπαϊκό Δικαστήριο και το Ελεγκτικό Συνέδριο. Κάθε θεσμικό όργανο ενεργεί εντός των ορίων των αρμοδιοτήτων που του ανατίθενται από τη συνθήκη. Το Συμβούλιο και η Επιτροπή επικουρούνται από μία Οικονομική και Κοινωνική Επιτροπή η οποία ασκεί συμβουλευτικό έργο.

Τα κοινοτικά θεσμικά όργανα είναι υπεύθυνα για την εφαρμογή της συνθήκης καθώς και για τους δύο οργανισμούς της Ευρατόμ: τον Οργανισμό Εφοδιασμού και τον Οργανισμό Ελέγχου Διασφαλίσεων (ο οποίος διενεργεί λογιστικούς και φυσικούς ελέγχους σε όλες τις πυρηνικές εγκαταστάσεις της Κοινότητας).

Μολονότι με τη συνθήκη Ευρατόμ δεν ανατίθενται στην Κοινότητα αυστηρές και αποκλειστικές αρμοδιότητες σε ορισμένους τομείς, είναι σημαντική η προστιθέμενη αξία για τα κράτη μέλη της. Όντως, με βάση τη συνθήκη, η Επιτροπή έχει εγκρίνει συστάσεις και αποφάσεις, οι οποίες παρότι δεν είναι δεσμευτικές, συνιστούν πρότυπα σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Εξάλλου, πρέπει να υπογραμμιστεί ότι άλλες κοινοτικές πολιτικές, όπως στα θέματα του περιβάλλοντος και της έρευνας, έχουν επίσης σημαντικό αντίκτυπο στον πυρηνικό τομέα.

Η προστιθέμενη αξία της Ευρατόμ και της ΕΕ είναι ιδιαίτερα εμφανής στο πλαίσιο της διεύρυνσης. Χάρη στη συνθήκη Ευρατόμ η ΕΕ διαθέτει εναρμονισμένη κοινοτική προσέγγιση στο θέμα της πυρηνικής ενέργειας την οποία οφείλουν να ακολουθούν οι υποψήφιες χώρες. Οι διευρύνσεις της ΕΕ στις ανατολικές χώρες εστιάστηκαν ιδιαίτερα στον τομέα της πυρηνικής ενέργειας και, συγκεκριμένα, στα θέματα που αφορούν την πυρηνική ασφάλεια. Η πυρηνική ενέργεια συνιστά πράγματι σημαντική πηγή ενέργειας σε πολλές χώρες της Ανατολικής Ευρώπης (υποψήφιες ή νέα κράτη μέλη της ΕΕ). Αντίθετα, στις χώρες αυτές δεν είναι πάντοτε επαρκές το επίπεδο ασφάλειας των πυρηνικών σταθμών και της προστασίας του πληθυσμού και των εργαζομένων. Εν προκειμένω, η Επιτροπή επιδιώκει να βελτιώσει την κατάσταση μέσω του προγράμματος PHARE.

Με την πάροδο των ετών αναβαθμίστηκε η σημασία και άλλων θεμάτων που συνδέονται με την πυρηνική ενέργεια, συγκεκριμένα η ασφάλεια λειτουργίας των πυρηνικών εγκαταστάσεων, η αποθήκευση ραδιενεργών αποβλήτων και η μη διάδοση των πυρηνικών όπλων (πυρηνικές διασφαλίσεις). Μολονότι κατ' ουσίαν αρμόδια σε αυτούς τους τομείς είναι τα κράτη μέλη, σε διεθνές επίπεδο υπάρχει, σε κάποιο βαθμό, ενιαία αντιμετώπιση που οφείλεται σε σειρά συνθηκών, συμβάσεων και πρωτοβουλιών, με τις οποίες καθορίστηκε, ανάλογα με την περίπτωση, διεθνές καθεστώς που διέπει ορισμένες νευραλγικής σημασίας δραστηριότητες στον πυρηνικό τομέα (η σύμβαση σχετικά με την πυρηνική ασφάλεια).

6.3.3. Συμβάσεις περί Πυρηνικής Ασφάλειας

- Σύμβαση για την Πυρηνική Ασφάλεια, Απόφαση 1999/819/Ευρατόμ. Η σύμβαση εφαρμόζεται για την ασφάλεια των σταθερών πολιτικών πυρηνικών εργοστασίων συμπεριλαμβανομένων των εγκαταστάσεων για την αποθήκευση, το χειρισμό και την επεξεργασία των ραδιενεργών υλικών που βρίσκονται στην ίδια τοποθεσία και σχετίζονται άμεσα με τη λειτουργία του πυρηνικού σταθμού.

- Προώθηση της μη Διάδοσης των Πυρηνικών και στρατηγική κατά της διάδοσης των όπλων μαζικής καταστροφής. Εδώ η Ευρωπαϊκή Επιτροπή παρουσιάζει το γενικό πλαίσιο για την πυρηνική ενέργεια και το ανανεωμένο ενδιαφέρον για αυτόν τον τύπο της ενέργειας . Σε σχέση με τους δυνητικούς κινδύνους που η χρήση αυτής της ενέργειας μπορεί να προκαλέσει, η Επιτροπή προτείνει να ενισχυθούν τα υπάρχοντα όργανα στον τομέα αυτόν.
- Κινδύνους που προκύπτουν από ιονίζουσες ακτινοβολίες, Οδηγία 96/29/Ευρατόμ. Η οδηγία αυτή σχεδιάστηκε για να θεσπίσει ενιαίους κανόνες ασφαλείας για τους εργαζόμενους από τους κινδύνους που προέρχονται από ιονίζουσες ακτινοβολίες, Η οδηγία εφαρμόζεται σε όλες τις πρακτικές που συνεπάγονται κίνδυνο από ιονίζουσες ακτινοβολίες, είτε από τεχνητή πηγή ή από φυσική πηγή, όπου γίνεται επεξεργασία φυσικών ραδιονουκλεϊδίων λόγω των ραδιενεργών , σχάσιμων ή αναπαραγωγικών ιδιοτήτων τους.
- Ασφάλεια των πυρηνικών εγκαταστάσεων, Οδηγία 2009/71/Ευρατόμ. Η Επιτροπή θεωρεί σημαντικό να θεσπίσει τις βασικές υποχρεώσεις και τις γενικές αρχές όσον αφορά την πυρηνική ασφάλεια , καθώς και τους αντίστοιχους μηχανισμούς ελέγχου ώστε να εξασφαλίζεται η προστασία του πληθυσμού και των εργαζομένων από τους κινδύνους τους οποίους συνεπάγονται οι ιονίζουσες ακτινοβολίες που προέρχονται από τις πυρηνικές εγκαταστάσεις. Τα εν λόγω μέτρα πρέπει να επιτρέψουν στην Ευρωπαϊκή Ένωση να αντιμετωπίσει καλύτερα τους κινδύνους που συνδέονται με τα ραδιενεργά υλικά.
- Σύμβαση για τη φυσική προστασία του πυρηνικού υλικού και των πυρηνικών εγκαταστάσεων, Απόφαση 2007/513/Ευρατόμ. Η σύμβαση για τη φυσική προστασία του πυρηνικού υλικού και των πυρηνικών εγκαταστάσεων αποβλέπει στην προστασία του πυρηνικού υλικού και των πυρηνικών εγκαταστάσεων και στην επιβολή κυρώσεων για τα αδικήματα στον τομέα αυτόν, καθώς και στη συνεργασία μεταξύ των κρατών που συμμετέχουν στη σύμβαση.
- Έλεγχος των κλειστών πηγών ραδιενέργειας και των ένθετων πηγών , Οδηγία 2003/122/Ευρατόμ. Σκοπός η πρόληψη έκθεσης σε ιονίζουσα ακτινοβολία και εναρμόνιση του ελέγχου υψηλής δραστηριότητας ραδιενεργών πηγών στα κράτη μέλη.

- Έλεγχος ασφάλειας των πυρηνικών υλικών, Κανονισμός 3227/76/Ευρατόμ. Εγκαθίδρυση ενός συστήματος προστασίας και χρήσης των ραδιενεργών υλικών για τις χρήσεις που έχουν δηλωθεί από τους χρήστες.
- Συνεργασία με τρίτες χώρες στον τομέα της πυρηνικής ασφάλειας, Κανονισμός 300/2007/Ευρατόμ. Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) παρέχει χρηματοοικονομική βοήθεια σε τρίτες χώρες με σκοπό την εξασφάλιση της πυρηνικής ασφάλειας στις εν λόγω χώρες. Αυτό το πρόγραμμα χρηματοδότησης καλύπτει την περίοδο 2007-2013. Ο κανονισμός θεσπίζει πλαίσιο για μέτρα χρηματοδότησης που στοχεύουν στην παροχή υψηλού επιπέδου πυρηνικής ασφάλειας και προστασίας από τις ακτινοβολίες, καθώς και στην εφαρμογή αποτελεσματικών και ουσιαστικών μέτρων διασφάλισης των πυρηνικών υλικών σε τρίτες χώρες. Το εν λόγω χρηματοδοτικό πλαίσιο καλύπτει την περίοδο από 1ης Ιανουαρίου 2007 έως 31 Δεκεμβρίου 2013 και περιλαμβάνει ποσό της τάξης των 524 εκατ. ευρώ για το σύνολο της εν λόγω περιόδου.
- Επιτήρηση και έλεγχος ραδιενεργών αποβλήτων, Οδηγία 2006/117/Ευρατόμ. Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει ένα σύστημα προ-αδειοδότησης για μεταφορά ραδιενεργών αποβλήτων με σκοπό να υπάρχει μεγαλύτερη προστασία κατά των κινδύνων της ιονίζουσας ακτινοβολίας. Αυτό το σύστημα θεσπίστηκε το 1992 και τροποποιήθηκε σημαντικά το 2006.
- Αποστολές ραδιενεργών ουσιών, Κανονισμός 1493/93/Ευρατόμ. Ακολουθώντας την άρση των ελέγχων των εσωτερικών συνόρων από την 1 Ιανουαρίου 2003, αυτός ο Κανονισμός εισάγει ένα Κοινοτικό σύστημα για τη δήλωση μεταφοράς των ραδιενεργών υλικών μεταξύ των κρατών μελών, ώστε οι υπεύθυνες υπηρεσίες να έχουν το ίδιο επίπεδο πληροφόρησης σχετικά με τον έλεγχο προστασίας από τη ραδιενέργεια όπως πριν το 1993.

7. ΧΩΡΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΠΥΡΗΝΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ

7.1. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΟΝ ΔΙΕΘΝΗ ΧΩΡΟ

Μερικά χαρακτηριστικά παραδείγματα υπογείων χώρων που χρησιμοποιούνται για αποθήκευση επικίνδυνων αποβλήτων είναι τα παρακάτω (πρώην) μεταλλεία:

Το υπόγειο συγκρότημα Herfa Neurode (K+S Entsorgung GmbH, Γερμανία), που φαίνεται στην Εικόνα 1.3, χρησιμοποιείται για αποθήκευση αποβλήτων από το 1972. Πρόκειται για ανενεργό μεταλλείο ορυκτού άλατος και καλίου που καλύπτεται από στρώματα αργίλου και άνθρακα, και πλέον αποτελεί τον μεγαλύτερο υπόγειο χώρο ταφής επικίνδυνων αποβλήτων. Βρίσκεται σε βάθος 800m, ενώ μπορεί να δεχθεί μέχρι και 200.000 τόνους επικίνδυνων αποβλήτων τον χρόνο. «Φιλοξενεί» 20 διαφορετικές ουσίες αποβλήτων, οι οποίες προφανώς αποθηκεύονται σε ξεχωριστά τμήματα αφού μία πιθανή ανάμιξή τους, μπορεί να προκαλούσε μεγάλα προβλήματα. Η μεταφορά των αποβλήτων στην υπόγεια εγκατάσταση γίνεται μέσω ειδικά διαμορφωμένων φορητών αυτοκινήτων ή μέσω σιδηροδρομικού δικτύου.



Εικόνα 7: Εγκαταστάσεις Herfa Neurode της εταιρείας K+S Entsorgung GmbH, Γερμανία

Τα υπόγεια συγκροτήματα *Morsleben*, (Εικόνα 8) που ήταν παλαιά ορυχεία ορυκτού άλατος και ποτάσας στην Γερμανία , όπου πλέον χρησιμ οποιούνται για αποθήκευση πυρηνικών απόβλητων. Η έγκριση για την εγκατάσταση του συγκροτήματος δόθηκε από την γερμανική κυβέρνηση το 1974. Αρχικά, αποθηκεύτηκαν μικρές ποσότητες ραδιενεργών υλικών. Κατόπιν αντιδράσεων , οι εγκαταστάσεις έκλεισαν το 1998 με απόφαση της ομοσπονδιακής γερμανικής κυβέρνησης.



Εικόνα 8: Υπόγεια εγκατάσταση *Morsleben*, Γερμανία

Στην ίδια κατηγορία ανήκει το υπόγειο συγκρότημα *Konrad* (Γερμανία), στο οποίο αποθηκεύονται πυρηνικά απόβλητα. Το εν λόγω συγκρότημα ήταν μεταλλείο σιδήρου. Το πρώην μεταλλείο ανθρακικού καλίου *Zielitz* (Εικόνα 9) στην Γερμανία , στο οποίο αποτίθενται βιομηχανικά απόβλητα. Το εν λόγω συγκρότημα ανήκει στην εταιρία *Kali und Salz Entsorgung GmbH (K+S)*, η οποία κατέχει και το υπόγειο συγκρότημα *Herfa Neurode*. Ο συγκεκριμένος χώρος έχει δυναμική αποθήκευσης της τάξης των 70.000 τόνων ετησίως.



Εικόνα 9: Zielitz, Γερμανία

Το πρώην ορυχείο ορυκτού άλατος στην περιοχή Cheshire του Ηνωμένου Βασιλείου, που βρίσκεται σε βάθος 170m υπό την επιφάνεια του εδάφους. Η εν λόγω εγκατάσταση υπόγειας αποθήκης αποβλήτων δημιουργήθηκε το 1997, ενώ η λειτουργία της ξεκίνησε ουσιαστικά το 2005 και διαθέτει χώρο ωφέλιμου όγκου 2.000.000 m³, το οποίο αντιστοιχεί σε λιγότερο από το 10% της συνολικής δυναμικότητας του μεταλλείου. Η δυναμικότητα της εγκατάστασης φτάνει στους 100.000 τόνους αποβλήτων ετησίως. Η εγκατάσταση «φιλοξενεί» 42 διαφορετικά είδη τοξικών ουσιών, τα οποία διαχωρίζονται μεταξύ τους με ειδικούς τεχνητούς φραγμούς. Η λίστα των επιτρεπόμενων αποβλήτων περιέχει κυρίως τα υπολείμματα από άλλες δραστηριότητες διαχείρισης αποβλήτων, όπως την θερμική επεξεργασία.

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΕΛΛΑΔΙΚΟΣ ΧΩΡΟΣ - ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΠΥΡΗΝΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Η επιλογή θέσεων κατάλληλων για την γεωλογική διάθεση πυρηνικών αποβλήτων απαιτεί την αναγνώριση της ευρύτερης περιοχής που προτείνεται και την προσεκτική μελέτη της περιοχής ως προς τους διάφορους παράγοντες που καταγράφονται τόσο στις συμβάσεις όσο και στην νομ οθεσία περί αποθήκευσης πυρηνικών αποβλήτων. Στην παρούσα μελέτη η χώρα αναφοράς μας είναι η Ελλάδα η οποία εντάχθηκε στον Διεθνή Οργανισμό Ατομικής Ενέργειας (IAEA - International Atomic Energy Agency) το 1957.

Η μελέτη επικεντρώθηκε στην ανάλυση γεωλογικών, γεωμορφολογικών, υδρογεωλογικών, υδρολογικών, τεκτονικών και σεισμολογικών δεδομένων. Χρησιμοποιήθηκαν ο Γεωλογικός και Σεισμοτεκτονικός Χάρτης Ελλάδας κλίμακας 1:500.000, ο χάρτης Σεισμικής Επικινδυνότητας του νέου Ελληνικού Αντσεισμικού κανονισμού, ο χάρτης με τις περιοχές NATURA, και ο Αστικός χάρτης Ελλάδας με σκοπό τον εντοπισμό περιοχών κατάλληλων σύμφωνα με τα υπάρχοντα πρότυπα και κανονισμούς για την αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων.

Για την μελέτη χρησιμοποιήθηκε το περιβάλλον Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ) το οποίο περιλαμβάνει ένα δυναμικό σύνολο εργαλείων για την συλλογή, αποθήκευση και ανάληψη των χωρικών στοιχείων από τους δεδομένους χάρτες.

Τονίζεται ότι η παρούσα Διπλωματική αποτελεί μια πιλοτικού τύπου εργασία και απαιτούνται πρόσθετες εξειδικευμένες μελέτες για την απόφαση περί καταλληλότητας ή μη μιας συγκεκριμένης περιοχής για την αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων.

1. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

Οι χάρτες σ' ολόκληρη την ιστορία της ανθρωπότητας ήταν απαραίτητα εργαλεία χωρικής ανάλυσης. Η πρόοδος των αυτόματων τρόπων παραγωγής και ανάλυσης χαρτών, συνδυάστηκε με την ταυτόχρονη ανάπτυξη των αυτόματων μεθόδων συλλογής, ανάλυσης, επεξεργασίας και παρουσίασης της πληροφορίας . Λόγω της επιτακτικής ανάγκης να καθιερωθεί ένα πλαίσιο λειτουργιών για συλλογή, ανάλυση, επεξεργασία , αποθήκευση και απόδοση της γεωγραφικής πληροφορίας δημιουργήθηκαν τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Η επιστήμη αυτή γνώρισε έκτοτε μια ευρεία σειρά εφαρμογών, σχεδόν σε κάθε ζήτημα ανάλυσης και σχεδιασμού , όπου η παράμετρος «Γεωγραφικός χώρος» εισέρχεται άμεσα ή έμμεσα.

Στην ενότητα αυτή επιχειρείται μια προσπάθεια ορισμού των Γ.Σ.Π. , περιγραφής των ειδών και των συστατικών τους τμημάτων καθώς και ανάλυσης των χαρακτηριστικών και δυνατοτήτων τους. Επίσης γίνεται αναφορά στο Arcmap το οποίο αποτελεί πακέτο Γ.Σ.Π και το οποίο θα χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια.

1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΙΔΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

Ο όρος Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών αναφέρεται σε κάθε σύστημα Η/Υ που έχει τη δυνατότητα να χειρίζεται γεωγραφικά δεδομένα . Δεν περιλαμβάνει μόνο λογισμικό και υλικό αλλά και ειδικές συσκευές για εισαγωγή και δημιουργία χαρτών, καθώς και τα συστήματα επικοινωνιών που απαιτούνται για να συνδέσουν τα διάφορα συστατικά από τα οποία αποτελούνται.

Σε σύγκριση με τους απλούς χάρτες, ένα σύστημα ΓΣΠ έχει το πλεονέκτημα ότι η αποθήκευση των δεδομένων γίνεται χωριστά από την αναπαράστασή τους. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τα ίδια δεδομένα να μπορούν να αναπαρασταθούν με διαφορετικούς τρόπους. Π.χ. μπορούμε να μμεγεθύνουμε τον (ψηφιακό πλέον) χάρτη, να εμφανίσουμε συγκεκριμένες μόνο περιοχές, να κάνουμε υπολογισμούς αποστάσεων μεταξύ τοποθεσιών, να δημιουργήσουμε πίνακες που να δείχνουν τα διάφορα χαρακτηριστικά του χάρτη και να υπερθέσουμε επιπλέον πληροφορία πάνω στο χάρτη. Επιπλέον ένα σύστημα ΓΣΠ έχει όλα εκείνα τα πλεονεκτήματα από τη χρήση των Η/Υ όπως, διαχείριση μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων εύκολα και γρήγορα.

Όλα τα δεδομένα σε ένα σύστημα ΓΣΠ είναι γεω-καταχωρημένα, δηλαδή συνδεδεμένα με μια συγκεκριμένη γεωγραφική τοποθεσία της επιφάνειας της γης μέσω ενός συστήματος συντεταγμένων. Ένα από τα πιο συνηθισμένα συστήματα γεωγραφικών συντεταγμένων είναι αυτό του γεωγραφικού μήκους και γεωγραφικού πλάτους. Σ' αυτό το σύστημα συντεταγμένων, κάθε τοποθεσία προσδιορίζεται σχετικά με τον ισημερινό και τη γραμμή μηδενικού γεωγραφικού μήκους που περνά από το αστεροσκοπείο Greenwich της Αγγλίας. Υπάρχουν πολλά άλλα γεωγραφικά συστήματα συντεταγμένων, και κάθε ΓΣΠ σύστημα θα πρέπει να μπορεί να μετατρέπει τις συντεταγμένες από το ένα σύστημα στο άλλο.

Η χωρική πληροφορία αναπαρίσταται με δυο τρόπους:

1. Διανυσματικά (vector) δεδομένα με τη μορφή σημείων, γραμμών και πολυγώνων. Κάθε μία από τις μονάδες αυτές αποτελείται από μία σειρά συντεταγμένων σημείων. Για παράδειγμα μία γραμμή είναι η σύνθεση από συσχετισμένα σημεία, ενώ ένα πολύγωνο είναι σύνθεση από συσχετισμένες γραμμές.
2. Ψηφιοποιημένα (raster) δεδομένα, οργανωμένα συστηματικά σε Κελιά (όπως π.χ. μια ψηφιακή εικόνα). Τα ψηφιοποιημένα δεδομένα δημιουργούν μία αφαίρεση του πραγματικού κόσμου κατά την οποία τα γεωγραφικά δεδομένα αναπαρίστανται με πίνακες κελιών ή εικονοστοιχείων (pixels). Κάθε περιοχή διαιρείται σε γραμμές και στήλες. Κάθε κελί πρέπει να έχει ορθογώνιο σχήμα αλλά όχι απαραίτητα κυβικό. Επιπλέον, κάθε κελί του πίνακα περιέχει συντεταγμένες και μία τιμή ιδιότητας. Η τοπολογία κάθε κελιού υπονοείται από την ταξινόμηση του πίνακα, αντίθετα προς την ανυσματική ανάλυση στην οποία η τοπολογία αποθηκεύεται ρητά. Τα γεωγραφικά δεδομένα δεν είναι συνεχόμενα αλλά διαιρεμένα σε διακριτές μονάδες, γεγονός που κάνει τα ψηφιοποιημένα δεδομένα κατάλληλα για συγκεκριμένες γεωγραφικές λειτουργίες, π.χ. επιστρώσεις (overlays) ή υπολογισμούς περιοχών (area calculations).

Επειδή τα γεωγραφικά δεδομένα συλλέγονται και αποθηκεύονται με διάφορους τρόπους, οι πηγές των δεδομένων ενδέχεται να μην είναι τελείως συμβατές μεταξύ τους. Για αυτό ένα ΓΣΠ πρέπει να έχει τη δυνατότητα μετατροπής των γεωγραφικών δεδομένων από τη μία μορφή στην άλλη. Η μετατροπή των ανυσματικών δεδομένων σε ψηφιοποιημένα είναι σαφώς απλούστερη διαδικασία από την αντίστροφη.

1.2 ARCGIS

Το ArcGIS αποτελεί μία ολοκληρωμένη προσέγγιση της ESRI (Environmental System Research Institute) στον χώρο των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Δημιουργήθηκε για να καλύψει τις ανάγκες των χρηστών των ΓΣΠ, προσφέροντας μία κλιμακωτή, περιεκτική και ενιαία πλατφόρμα εισαγωγής, ανάλυσης, επεξεργασίας, συντήρησης και διάχυσης των γεωγραφικών δεδομένων.

Το ArcGIS περιλαμβάνει μια ομάδα από ενοποιημένες εφαρμογές στις οποίες συμπεριλαμβάνονται τα ArcCatalog, ArcMap, ArcGlobe, ArcToolbox και ModelBuilder.

1.3 ARCMAP

Για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήθηκε το ArcMap.

Το ArcMap είναι ένα desktop G.I.S. πακέτο που δίνει τη δυνατότητα να δημιουργηθούν χάρτες από επίπεδα χωρικής πληροφορίας, να αναλυθούν χωρικές σχέσεις και να επιλεγούν μέσα από αναζητήσεις, χωρικά και μη χωρικά στοιχεία. Επίσης μπορούν να σχεδιαστούν και να δημιουργηθούν διαφορετικές απεικονίσεις ενός χάρτη, αλλάζοντας χρώματα και συμβολισμούς. Παρέχει ένα περιβάλλον για την εύκολη διαχείριση και τον ορισμό σχέσεων μεταξύ πινάκων και χαρτών και την όποια επεξεργασία, βάσει αυτών των σχέσεων.

1.3.1 Τα δεδομένα

Το ArcMap, όπως και οποιοδήποτε άλλο πακέτο G.I.S., απαιτεί για να λειτουργήσει παραγωγικά δεδομένα που θα εισαχθούν στο περιβάλλον του. Τα δεδομένα αυτά διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

A) Τα χωρικά δεδομένα τα οποία χαρακτηρίζονται αποκλειστικά από τη θέση τους στο χώρο σε σχέση με κάποιο σύστημα συντεταγμένων, διακρίνονται σε τέσσερις βασικές κατηγορίες:

1. Σημειακά δεδομένα: αναπαριστούν στοιχεία που έχουν συγκεκριμένη θέση στο χάρτη και εντοπίζονται ως μια κουκκίδα. π.χ. θέσεις πόλεων.
2. Γραμμικά δεδομένα: χρησιμοποιούνται για να αναπαραστήσουν τα γραμμικά στοιχεία του χάρτη. π.χ. υδρογραφικό δίκτυο, ρήγματα.

3. *Πολυγωνικά δεδομένα*: αναπαράγουν τα δεδομένα τα οποία έχουν χωρική υπόσταση και καλύπτουν μεγάλες περιοχές στο χάρτη οπότε μπορούν να ψηφιοποιηθούν και να αναπαριστώνται ως μεγάλα πολύγωνα, π.χ. νομοί, λίμνες, γεωλογικοί σχηματισμοί.
4. *Ογκομετρικά*: τα οποία καταλαμβάνουν όχι μόνο μια συγκεκριμένη επιφάνεια, αλλά εκτείνονται και στο χώρο (τρίτη διάσταση). Τέτοια περίπτωση είναι τρισδιάστατη εμφάνιση του ανάγλυφου.

B) Τα μη χωρικά ή περιγραφικά δεδομένα, τα οποία σχετίζονται ή περιγράφουν τα χαρακτηριστικά ή τις ιδιότητες της υπόψη χωρικής θέσης, π.χ. μια βάση δεδομένων στην Access, η οποία μας δίνει πληροφορίες για τον πληθυσμό ή την έκταση ενός νομού (επιφανειακό χωρικό δεδομένο).

Τα χωρικά δεδομένα, μπορούν να εισαχθούν στο ArcMap, είτε είναι σε διανυσματική μορφή (vector), είτε σε ψηφιδωτή μορφή (raster). Κατά βάση θα ασχοληθούμε με δεδομένα διανυσματικής μορφής.

1.3.2 Τύποι αποθηκευόμενων αρχείων

Στο ArcMap, το χαρτογραφικό υπόβαθρο (χωρικά δεδομένα), αποθηκεύεται στην μορφή των καλούμενων *shape files* με την κατάληξη αρχείου *.shp*. Συνήθως υπάρχουν τρία ή και περισσότερα αρχεία που συνδέονται με ένα *shape file*. Αναλυτικά έχουμε τους ακόλουθους τύπους αρχείων, αρχεία στη μορφή των οποίων αποθηκεύεται η χωρική μας πληροφορία:

1. **.shp**: Είναι το αρχείο στο οποίο αποθηκεύεται όλη η γεωμετρία του χάρτη.
2. **.shx**: Είναι το αρχείο στο οποίο αποθηκεύεται το ευρετήριο των γεωμετρικών χαρακτηριστικών.
3. **.dbf**: Είναι το αρχείο του πίνακα δεδομένων σε *format dbase* στο οποίο αποθηκεύεται όλη η πληροφορία των χαρακτηριστικών του χάρτη.
4. **.mxd**: Είναι το *project file* του ArcMap, το αρχείο που στο οποίο αποθηκεύεται όλη η πληροφορία για την τοποθεσία όλων των αρχείων. Πρέπει να τονιστεί, πως το *Project file* είναι ένα αρχείο «οδηγός», στο οποίο δεν αποθηκεύεται η χωρική πληροφορία, αλλά μόνο οι θέσεις των αρχείων, που συνθέτουν τον θεματικό χάρτη, στον σκληρό δίσκο του υπολογιστή. Γι' αυτό το λόγο τα αρχεία *.mxd* έχουν και μικρό μέγεθος της τάξης των μερικών δεκάδων *kilobytes*. Με την παραπάνω λογική, όταν αποθηκεύουμε ένα θεματικό χάρτη στον υπολογιστή, δημιουργείται αυτόματα το αρχείο

«..ονομα...».mxd. Σε περίπτωση που θέλουμε να μεταφέρουμε τον ψηφιακό χάρτη σε άλλο υπολογιστή, δεν αρκεί μόνο να μεταφέρουμε το αρχείο «..ονομα...».mxd, αλλά και όλα τα αρχεία που συνθέτουν τον χάρτη αυτό (.shp, .shx, .dbf κτλ), χωρίς φυσικά να έχουμε αλλάξει την τοποθεσία τους στον σκληρό δίσκο (data source). Απαραίτητο κρίνεται, όλα τα αρχεία να αποθηκεύονται σε ένα φάκελο (π.χ my_project), και η θέση τους να μην αλλάζει μέσα στον φάκελο αυτό. Τέλος τα ονόματα των αρχείων υποχρεωτικά πρέπει να δίδονται με λατινικούς χαρακτήρες και χωρίς κενά.

1.4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την παραγωγή των θεματικών χαρτών είναι η ακόλουθη:

Σαρώθηκαν και αποθηκεύτηκαν σε ψηφιακή μορφή οι παρακάτω χάρτες:

- Γεωλογικός χάρτης κλίμακας 1:500.000 (ΙΓΜΕ 1983)
- Τοπογραφικός χάρτης κλίμακας 1:500.000 (Γ.Υ.Σ.)
- Σεισμοτεκτονικός χάρτης κλίμακας 1:500.000 (ΙΓΜΕ, 1988)
- Χάρτης ΕΑΚ (Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός, 2003)

Στη συνέχεια στους χάρτες αυτούς έγινε γεωαναφορά στο Προβολικό Σύστημα ΕΓΣΑ του 1987. Το Ελληνικό Γαιωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς του 1987 (ΕΓΣΑ87) αποτελεί το ισχύον ΓΣΑ στην Ελλάδα, το οποίο προέκυψε από συνδυασμό κλασικών και δορυφορικών μετρήσεων. Αφετηρία του είναι τριγωνομετρικό σημείο στο Διόνυσο Αττικής, ενώ χρησιμοποιεί το γεωκεντρικό ΕΕΠ GRS 80 και την εγκάρσια Μερκατορική προβολή μιας ζώνης, με κεντρικό μεσημβρινό ($\lambda = 240$ προς Greenwich) αυτόν που διέρχεται από το Διόνυσο Αττικής, άξονα τετμημένων τον ισημερινό, προσθετική σταθερά (False Easting) $E0=500.000$ m και συντελεστή κλίμακας στον κεντρικό μεσημβρινό $m0= 0.9996$.

Ακολουθεί η ψηφιοποίηση μέσω του λογισμικού προγράμματος ArcMap ώστε όλα τα δεδομένα των χαρτών αυτών να ανήκουν σε ένα σύστημα συντεταγμένων.

Συγκεκριμένα, Ο γεωλογικός χάρτης χρησιμοποιήθηκε για την διόρθωση και επεξεργασία των υπάρχοντων ψηφιακών δεδομένων, όπου προέκυψε ένα αρχείο (shapefile) των λιθολογικών σχηματισμών (πολυγωνική οντότητα).

Ο τοπογραφικός χάρτης χρησιμοποιήθηκε για την ψηφιοποίηση των κύριων κλάδων των υδρογραφικών δικτύων καθώς και ορισμένων λιμνών, όπου προέκυψαν δύο αρχεία

(shapfiles), των υδρογραφικών δικτύων (γραμμική οντότητα) και των λιμνών (πολυγωνική οντότητα).

Ο σεσμιοτεκτονικός χάρτης χρησιμοποιήθηκε για την ψηφιοποίηση των ρηγματών όπου προέκυψε ένα αρχείο (shapfile) των ρηγμάτων (γραμμική οντότητα).

Τέλος έγινε ψηφιοποίηση του χάρτη κατά ΕΑΚ όπου προέκυψε ένα αρχείο (shapfile) των κατηγοριών σεισμικής επικινδυνότητας (πολυγωνική οντότητα).

Επιπλέον για την παραγωγή των θεματικών χαρτών χρησιμοποιήθηκαν και επεξεργάστηκαν υπάρχοντα ψηφιακά δεδομένα σε Προβολικό Σύστημα ΕΓΣΑ 87, όπως:

Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DTM) με βήμα κανάβου 100 m.

Ψηφιακά δεδομένα Σεισμικών Επικέντρων (Μακροπούλος et al (1989), Κομνηνάκης – Παπαζάχου (1986), Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του Εθνικού Αστεροσκοπείου (2005)

Ψηφιακά δεδομένα περιοχών NATURA (Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΥΠΕΚΑ)

Ψηφιακά δεδομένα Πόλεων (Οργανισμός Κτηματολογίου Χαρτογραφίσεων Ελλάδας (ΟΚΧΕ).

Στη συνέχεια από τα πρωτογενή επίπεδα πληροφορίας προέκυψαν οι παρακάτω θεματικοί χάρτες:

- Γεωλογικός χάρτης Ελλάδας
- Γεωμορφολογικός χάρτης
- Χάρτης σεισμικών επικέντρων
- Χάρτης ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας κατά ΕΑΚ
- Χάρτης NATURA
- Χάρτης αστικού περιβάλλοντος

Από τα πρωτογενή επίπεδα πληροφορίας (θεματικοί χάρτες) προέκυψαν τα παράγωγα επίπεδα πληροφορίας όπου προέκυψαν οι Χάρτες καταλληλότητας της εφαρμοζόμενης μεθόδου.

- Χάρτης Λιθολογικής καταλληλότητας ως προς την αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων

- *Χάρτης Ζωνών Ρηγμάτων ακατάλληλων ως προς την αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων*
- *Χάρτης ζωνών υδρογραφικών και λιμνών ακατάλληλων ως προς την αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων*
- *Χάρτης κατά ΕΑΚ ακαταλληλότητας ως προς την αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων.*
- *Χάρτης ζωνών περιοχών NATURA ακατάλληλων ως προς την αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων*
- *Χάρτης οικιστικών ζωνών ακατάλληλων ως προς την αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων.*
- *Συνθετικός Χάρτης παραμέτρων για την αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων.*
- *Χάρτης καταλληλότητας για την αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων.*

2. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΠΥΡΗΝΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

2.1 ΓΕΩΛΟΓΙΑ

Οι κατάλληλες περιοχές ως προς αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων πρέπει να αξιολογούνται, όπως αναφέρθηκε, σε συνάρτηση με τη λιθοστρωματογραφική και τεκτονική δομή (πτυχώσεις, ρήγματα, διακλάσεις).

2.1.1 Λιθολογική δομή

Σύμφωνα με τα κριτήρια καταλληλότητας ως προς αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων οι λιθολογικοί σχηματισμοί που είναι κατάλληλοι, σε γενική κλίμακα, είναι το ορυκτό άλας, οι γύψοι, οι γρανίτες, οι αργιλικοί σχηματισμοί και τα μη ρηγματωμένα μεταμορφωμένα πετρώματα. Ακατάλληλοι σχηματισμοί είναι όλοι οι ανθρακικοί σχηματισμοί και γενικά όλοι οι κατακερματισμένοι και υδροπερατοί σχηματισμοί.

Κατά συνέπεια, με την χρήση του λογισμικού προγράμματος ArcMap οι λιθολογικοί σχηματισμοί της Ελλάδας όπως αυτοί εμφανίζονται στον Γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ κλίμακας 1:500.000, ταξινομήθηκαν σε δέκα λιθολογικές ομάδες ανάλογα με λιθολογικά και υδρογεωλογικά κριτήρια.

Παρακάτω περιγράφονται οι λιθολογικοί σχηματισμοί από τους νεότερους προς τους παλαιότερους:

1. Νεογενή και τεταρτογενή ιζήματα (Μεταλπικά ιζήματα)

Αποτελούνται από υλικά διαφόρων λιθολογικών τύπων. Τα πιο πρόσφατα, που είναι Τεταρτογενούς ηλικίας, προσχώσεις ποταμών, παράκτια ιζήματα και αλλουβιακές αποθέσεις, έχουν μηδενική έως μικρή συνεκτικότητα και αντίστοιχα έντονη διαπερατότητα.

Οι νεογενείς αποθέσεις (μάργες, άργιλοι, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, ψαμμίτες και κροκαλοπαγή) παρουσιάζουν λόγω της λιθολογίας τους, σε σχέση και με τον τεκτονισμό τους, ποικίλη υδρολογική συμπεριφορά.

Έτσι, οι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι έχουν από μέτρια έως χαμηλή περατότητα, ενώ οι ψαμμίτες και τα κροκαλοπαγή έχουν μεγαλύτερη. Οι μάργες παρουσιάζουν μικρή έως πολύ μικρή περατότητα, εξαρτωμένη από τη σύστασή τους. Επειδή αποτελούν μίγμα αργίλων με ανθρακικό ασβέστιο, με την αύξηση του CaCO_3 ελαττώνεται η πλαστικότητα, η απορροφητικότητα και η στεγανότητα.

2. Μολάσσα

Η μολάσσα αποτελείται από εναλλαγές στρωμάτων κροκαλοπαγών, ψαμμιτών, πηλών, ιλυολίθων και μαργών. Ο σχηματισμός της χαρακτηρίζει μία μετα-ορογενετική περίοδο. Οι μολασσικοί σχηματισμοί μπορούν να συγκριθούν με το φλύσχη, παρουσιάζοντας τυπικά χαρακτηριστικά που οφείλονται τόσο στην παρόμοια λιθολογία όσο και στο βαθμό διαγένεσης, αλλά διαφέρουν ως προς τον τύπο και το βαθμό της τεκτονικής καταπόνησης. Η μολάσσα γενικά στο σύνολό της παρουσιάζει περιορισμένη περατότητα, εκτός από τις περιοχές που επικρατούν αμιγώς χονδροκλαστικοί ορίζοντες που παρουσιάζουν σχετική περατότητα, καθώς και στις θέσεις που επηρεάζονται από ρήγματα ή συστήματα διακλάσεων.

3. Φλύσχης

Ο φλύσχης αποτελείται από διάφορα κλαστικά ιζήματα σε ποικίλη αναλογία. Συνήθως πρόκειται για μια σειρά από εναλλαγές στρωμάτων αργίλων, ψαμμιτών, μαργών, ασβεστολίθων και κροκαλοπαγών. Η εναλλαγή αυτή είναι συνήθως ρυθμική, αλλά πολλές φορές διαπιστώνεται ότι ανάλογα με την περιοχή επικρατούν είτε λεπτά στρώματα από τα αργιλικά υλικά, είτε ψαμμίτες με στρώσεις μεγάλου πάχους είτε πάγκοι κροκαλοπαγών. Γενικά όταν υπερτερούν σε πάχος οι στρώσεις των αργίλων όλος ο λιθολογικός σχηματισμός χαρακτηρίζεται από τις ιδιότητες των αργίλων (πλαστικότητα, υδατοστεγανότητα, συμπίεστικότητα και τάση για κατολίπηση). Αντίθετα όταν η σειρά αποτελείται από παχιά στρώματα ψαμμιτών χαρακτηρίζεται από ευστάθεια των κλιτύων και από υψηλή αντοχή σε φορτία. Συνήθως τα στρώματα του φλύσχη είναι πτυχωμένα και επομένως τεκτονικά καταπονημένα (πολλαπλές ρωγμές, πολλαπλοί θρυμματισμοί) και εγκλείουν υπολειμματικές τάσεις. Σημαντική εμφάνιση φλύσχη παρατηρείται στην οροσειρά της Πίνδου. Ο Αθηναϊκός σχιστόλιθος αποτελεί μία μορφή φλύσχη.

Από τη φύση του ο φλύσχης θεωρείται και είναι ένας αδιαπέρατος σχηματισμός, στις περιοχές όπου επικρατούν τα αργιλικά υλικά. Βέβαια σε περιοχές όπου το ψαμμιτικό υλικό

έχει μεγάλη εξάπλωση και αρκετό πάχος, σε συνδυασμό με ενδεχόμενο τεκτονισμό, είναι δυνατόν να συναντηθεί περιορισμένη έως μεγάλη υδροφορία.

4. Ασβεστολιθοί και δολομίτες

Οι ασβεστόλιθοι είναι ανθρακικά πετρώματα, χημικά, βιοχημικά, οργανογενή και εν μέρει κλαστικά ιζήματα. Ανάλογα με το καθαρό ποσοστό τους σε ανθρακικό ασβέστιο διαλύονται εύκολα από διαβρωτικούς παράγοντες και καρστικοποιούνται. Έτσι οι ασβεστόλιθοι αλλά και οι κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι θεωρητικά έχουν μέτρια έως υψηλή περατότητα, αν και λιθολογικά παρουσιάζεται μια μεγάλη ποικιλία συνθηκών.

Ορισμένοι ασβεστόλιθοι που χαρακτηρίζονται από εναλλαγές ασβεστολιθικών και πυριτικών στρώσεων ή περιέχουν αργιλομαργαϊκές φάσεις δεν ευνοούν την καρστικοποίηση του σχηματισμού με αποτέλεσμα να συμπεριφέρονται ως ημιπερατοί σχηματισμοί που τείνουν προς τους υδροπερατούς σε περιοχές έντονης τεκτονικής καταπόνησης και προς τους αδιαπέρατους σε περιοχές με μικρότερη τεκτονική δραστηριότητα. Αντίθετα, οι Πλακώδεις κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι που είναι ισχυρά τεκτονισμένοι και διαρρηγμένοι κατά συγκεκριμένες διευθύνσεις αποτελούν έντονα υδροπερατούς σχηματισμούς.

Ο δολομίτης είναι ανθρακικό ορυκτό του ασβεστίου και του μαγνησίου και σχηματίζεται από διαγένεση ή υδροθερμική μετασμάτωση του ασβεστίτη σε ιζηματογενείς λεκάνες.

Αποτελεί κυρίαρχο συστατικό του ομώνυμου πετρώματος, το οποίο είναι ιζηματογενούς προελεύσεως και ιδιαίτερα διαδεδομένο στον ελληνικό χώρο, κυρίως στην δυτική Ελλάδα, την Λακωνία και την Κρήτη. Απαντά είτε ως καθαρός δολομίτης (σπανιότερα) είτε ως ασβεστολιθικός δολομίτης ή και (συνηθέστερα) ως δολομιτικός ασβεστόλιθος.

Οι δολομίτες έχουν υψηλή έως μέτρια περατότητα.

5. Σχιστόλιθοι (Schists) και Σχιστοκερατόλιθοι

Ως σχιστόλιθος (schist) χαρακτηρίζεται κάθε σχιστοφυές ισχυρά μεταμορφωμένο πέτρωμα που συνίσταται από τα ορυκτά μοσχοβίτη, χλωρίτη, χαλαζία και άλλα τυπικά ορυκτά που είναι διατεταγμένα σε σχεδόν παράλληλη διάταξη λόγω της ισχυρής μεταμόρφωσης.

Στην ομάδα των σχιστολίθων κατατάσσονται και οι σχίστες (slates), τα λεπτόκοκκα δηλαδή αργιλώδη πετρώματα, πολύ χαμηλού έως χαμηλού βαθμού μεταμόρφωσης, που λόγω παράλληλης διάταξης των κρυστάλλων τους, ιδιαίτερα των κρυστάλλων μαρμαρυγία, παρουσιάζουν μια πολύ καλή σχιστότητα παράλληλα προς ένα συγκεκριμένο επίπεδο και σχίζονται σε πλάκες λεπτού πάχους και μεγάλης σχετικά επιφάνειας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην κάλυψη στεγών.

Οι σχιστόλιθοι είναι πρακτικά αδιαπέρατοι σχηματισμοί.

6. Μεταμορφωμένα πετρώματα

Τα μεταμορφωμένα ή κρυσταλλοσχιτώδη πετρώματα προήλθαν από την καθολική ή τη μερική μεταμόρφωση προϋπαρχόντων ιζηματογενών ή εκρηξιγενών πετρωμάτων.

Πιο συγκεκριμένα όταν το μητρικό πέτρωμα βρέθηκε υπό την επίδραση μεταμορφωσιγενών παραγόντων, όπως είναι οι πολύ υψηλές πιέσεις, οι μεγάλες θερμοκρασίες, η επίδραση αερίων και θερμών διαλυμάτων ή συνδυασμός των προηγούμενων, υπέστη μεταμόρφωση, δηλαδή σειρά φυσικών και γεωχημικών μεταβολών. Οι μεταβολές αυτές απαίτησαν χρόνο γεωλογικών αιώνων για να ολοκληρωθούν και ήταν πιο έντονες, δηλαδή ο βαθμός μεταμόρφωσης του πετρώματος ήταν εντονότερος, στις περιπτώσεις που το μητρικό πέτρωμα βρέθηκε για περισσότερο χρόνο υπό την επίδραση αυτών των μεταμορφωγενετικών παραγόντων.

Με τη μεταμόρφωση επήλθε μεταβολή του ιστού του μητρικού πετρώματος, καθώς και ανακρυστάλλωση των πετρογενετικών του ορυκτών που συνοδεύτηκε σε πολλές περιπτώσεις και με σχηματισμό νέων ορυκτολογικών συστατικών.

Η ομάδα αυτή περιλαμβάνει όλα τα μεταμορφωμένα πετρώματα που αναφέρονται παρακάτω.

6. 1. Γνεύσιοι – Αμφιβολίτες

Οι γνεύσιοι είναι μεταμορφωμένα σχιστώδη πετρώματα, η ορυκτολογική σύσταση των οποίων είναι παρόμοια με αυτή των γρανιτών ή άλλων εκρηξιγενών πετρωμάτων γρανιτοειδούς ιστού. Οι γνεύσιοι γενικά διακρίνονται σε:

- ορθογνεύσιους, που προέρχονται από τη μεταμόρφωση προϋπαρχόντων πυριγενών πετρωμάτων.
- παραγνεύσιους, που προέρχονται από τη μεταμόρφωση ιζηματογενών πετρωμάτων

Τα ορυκτολογικά συστατικά των γνευσίων είναι κυρίως χαλαζίας, άστριοι, μαρμαρυγίες, κερροσίλβη, αυγίτης κ.α. Η άφθονη παρουσία αστρίων, που είναι εμφανείς σε μακροσκοπική εξέταση, χαρακτηρίζει τους περισσότερους γνεύσιους και τους διαχωρίζει από τους σχιστόλιθους.

Οι αμφιβολίτες αποτελούνται κυρίως από κερροσίλβη και πλαγιόκλαστο. Οι αμφιβολιτικοί σχιστόλιθοι αποτελούνται κυρίως από αμφίβολο που αντιπροσωπεύεται από τον ακτινόλιθο. Μπορεί επίσης να περιέχει σε μικρά ποσοστά χαλαζία, πλαγιόκλαστα, χλωρίτη, βιοτίτη. Προέρχεται από γαββρικά πετρώματα, από μαγνησιούχες μάργες ή ασβεστοδολομιτικά ιζήματα.

6. 2. Μάρμαρα – Σχιστόλιθοι (Marbles-Schists)

Τα μάρμαρα είναι κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα που προήλθαν από τη μεταμόρφωση ανθρακικών ή δολομιτικών ιζημάτων και ασβεστόλιθων. Στο πρώτο στάδιο της μεταμόρφωσης των ασβεστόλιθων προέκυψαν οι κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι που με την περαιτέρω μεταμόρφωσή τους έδωσαν τα μάρμαρα. Γενικά, τα μάρμαρα είναι μονόμικτα πετρώματα, δηλαδή συνίστανται από ένα και μόνο ορυκτό, τον ασβεστίτη. Όταν το πέτρωμα περιέχει δολομίτη καλείται δολομιτικό μάρμαρο.

Γενικά οι ανθρακικοί σχηματισμοί είναι υδροπερατά πετρώματα, ανάλογα φυσικά κατά πόσο ανά περιοχή είναι καρστικοποιημένοι και κατακερματισμένοι. Ανάλογη είναι επίσης η ποσότητα νερού που κατεισδύει σ'αυτούς δημιουργώντας στα βαθύτερα μέλη τους υπόγειες υδροφορίες. Γενικά, σε συνδυασμό πάντοτε και με την τεκτονική της περιοχής, θεωρούνται ότι έχουν υψηλή έως μέτρια περατότητα.

6. 3. Φυλλίτες

Οι φυλλίτες είναι πετρώματα μεταμόρφωσης κυρίως ιζηματογενών πετρωμάτων και ιδιαίτερα αργιλικών σχιστολίθων, των οποίων αποτελούν το πρώτο στάδιο της μεταμόρφωσης. Κύρια ορυκτολογικά συστατικά των φυλλιτών είναι ο χαλαζίας και ο μαρμαρυγίας. Οι φυλλίτες έχουν συνήθως χρώμα μαύρο, καστανό, φαιό ή πράσινο. Το μαύρο χρώμα τους οφείλεται στην παρουσία ανθρακούχων ουσιών.

Οι σχιστόλιθοι και οι φυλλίτες έχουν πολύ χαμηλή έως μηδενική (εφόσον δεν είναι τεκτονισμένοι) περατότητα.

7. Οφιόλιθοι

Στη κατηγορία αυτή ανήκουν οι γάββροι, οι περιδοτίτες, οι βασάλτες και οι διαβάσες, που συχνά εμφανίζονται ως ένα σύστημα πετρωμάτων γνωστό ως οφιόλιθοι. Η ορυκτολογική τους σύσταση (άστριοι στους γάββρους, ολιβίνης στους περιδοτίτες) επιτρέπει την αποσάθρωση η οποία μπορεί να προχωρήσει και σε μεγαλύτερα βάθη λόγω της απουσίας χαλαζία, αλλά και λόγω της εντονότερης ρωγμάτωσης. Η έντονη ρωγμάτωση βοηθά στη κατείσδυση του νερού σε βάθος με συνέπεια ο περιδοτίτης να μετατρέπεται συχνά σε σερπεντινίτη χωρίς σαφή όρια μεταξύ του υγιούς και του αποσαθρωμένου τμήματος. Ο σερπεντινίτης παρουσιάζει μικρή αντοχή σε διάτμηση, έχει σαπωνοειδή υφή και είναι εύθραυστος.

Ο γάββρος όταν είναι σε υγιή κατάσταση είναι πέτρωμα πολύ υψηλών αντοχών, αλλά με την εμφάνιση αλλοιώσεων στους άστριους που αποτελούν συστατικό του, χάνει την αντοχή του. Επιπλέον επειδή είναι σκληρό πέτρωμα, ρωγματώνεται εύκολα και δημιουργείται στη μάζα του σημαντικό δευτερογενές πορώδες που επιτρέπει υπόγεια κυκλοφορία νερού και ρευστών.

Ο βασάλτης έχει υαλώδη μάζα ενώ ο διαβάσης έχει μικροκρυσταλλική. Έχουν γκριζο ή μαύρο χρώμα και είναι πολύ σκληρά πετρώματα που εξαλλοιώνονται δύσκολα άρα εμφανίζουν αντοχή σε αποσάθρωση.

8. Γρανίτες - Γρανοδιορίτες

Ο γρανίτης αποτελείται από αστρίους, χαλαζία και μαρμαρυγία. Η αντοχή του γρανίτη κυμαίνεται, εξαρτώμενη κυρίως από το μέγεθος των κρυστάλλων του και το βαθμό εξαλλοίωσης και διαρρήξεως του. Οι γρανίτες αποσαθρώνονται εύκολα, ειδικά αν περιέχουν βιοτίτη, με τελικό στάδιο τη δημιουργία χαλαζιακής άμμου. Επιπλέον χαρακτηριστικό τους είναι η κατάτμηση τους σε τρεις επιφάνειες διαχωρισμού περίπου ορθογώνιες μεταξύ τους που αυξάνουν από το τεκτονισμό που υφίσταται το πέτρωμα και που κοντά στην επιφάνεια είναι αρκετά ανοικτές, διευκολύνοντας τη γρήγορη αποσάθρωση του πετρώματος. Έτσι τα γρανιτικά τεμάχια αποχωρίζονται, προοδευτικά αποχτούν σφαιρική μορφή για να καταλήξουν και αυτά σε γρανιτικά εδάφη.

Γενικά, ο γρανίτης όταν είναι υγιής είναι πέτρωμα πολύ υψηλών αντοχών που παρουσιάζει πλήρως ελαστική συμπεριφορά με ψαθυρή θραύση. Αντιθέτως η αντοχή του μειώνεται πολύ όταν εμφανίζεται αποσαθρωμένος.

Στην Ελλάδα απαντάται στη Μύκονο, την Τήνο, τη Δήλο, τη Σέριφο, τη Νάξο, την Ικαρία, την Πάρο, την Καβάλα, την Ξάνθη κ.α.

Ο γρανοδιορίτης περιέχει περισσότερα πλαγιόκλαστα από το γρανίτη αλλά σχετικά με τα τεχνικά του χαρακτηριστικά παρουσιάζει την ίδια συμπεριφορά με αυτόν.

9. Ηφαιστειακά πετρώματα

Στη κατηγορία αυτή ανήκουν ο ρυόλιθος, ο τραχείτης, ο ανδεσίτης, και οι ηφαιστειακοί τόφφοι. Γενικά είναι σκληρά πετρώματα κατάλληλα για θεμελιώσεις τεχνικών έργων, αλλά παρουσιάζουν πρωτογενή κενά που οφείλονται στη διαδικασία ψύξης της λάβας καθώς έρχεται σε επαφή με την ατμόσφαιρα. Η ύπαρξη των κενών αυτών μειώνει την αντοχή και την στεγανότητα των πετρωμάτων. Άλλο χαρακτηριστικό είναι η παρουσία μεγάλων κρυστάλλων που είναι ευπρόσβλητοι στην αποσάθρωση, με συνέπεια τη μείωση της ποιότητας και των μηχανικών χαρακτηριστικών.

Ιδιαίτερα αναφέρεται ο μοντμοριλλονίτης, προϊόν αποσάθρωσης τόφφων, που μπορεί να παρουσιάσει φαινόμενα διόγκωσης με ταυτόχρονη παρουσία νερού, ως ένα κακής συμπεριφοράς αργιλικό υλικό.

10. Γύψοι

Οι γύψοι είναι θειικά και χλωριούχα ιζήματα που προκύπτουν κατά την εξάτμιση αλατούχου νερού. Ο σχηματισμός τους γίνεται σε θερμά και ξηρά κλίματα κατά την έντονη εξάτμιση των νερών σε αλατούχες λίμνες ή θάλασσες που έχουν λίγο ή καθόλου επικοινωνία με την ανοικτή θάλασσα. Οι γύψοι ανήκουν στην κατηγορία των εβαποριτών, όπως το ορυκτό αλάτι που είναι ένα πέτρωμα πολύ μεγάλης καταλληλότητας για την αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων, όπως είδαμε και από τα παραδείγματα χρήσης του σε διάφορες ευρωπαϊκές χώρες. Υπολογίστηκε ότι για να αποθεθεί η γύψος και το ορυκτό αλάτι χρειάζεται να εξατμιστούν τα 2/3 και τα 9/10 του νερού μίας θαλάσσιας λεκάνης αντίστοιχα. Τα ιζήματα αυτά έχουν συνήθως μεγάλα πάχη, έως και 2.000 m.

Ο τρόπος γειτονίας των εβαποριτών με τα περιβάλλοντα πετρώματα είναι πολλές φορές ιδιαίτερα πολύπλοκος. Λόγω της μεγάλης πλαστικότητας τους, που εκδηλώνεται με πολύπλοκες εσωτερικές δομές, και του μικρότερου ειδικού βάρους τους, σε σχέση με τα περιβάλλοντα πετρώματα, αυτοί σχηματίζουν τους γνωστούς αλατούχους δόμους, χαρακτηριστικά ενδεικτικές δομές στην έρευνα υδρογονανθράκων.

2.1.2 Τεκτονική δομή

Σύμφωνα με τα κριτήρια καταλληλότητας ως προς αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων τα ρήγματα κυρίως τα σεισμικά και τα ενεργά, που εντοπίζονται σε μία περιοχή θα πρέπει να αξιολογούνται, ώστε να καθοριστεί η συσχέτιση του ρήγματος με την καταγεγραμμένη ή μελλοντική σεισμική δραστηριότητα καθώς και ο πιθανό αντίκτυπος στη σταθερότητα της περιοχής.

Για το σκοπό αυτό και σύμφωνα με τις υπάρχουσες προδιαγραφές, με την χρήση του ArcMap ψηφιοποιήθηκαν και ταξινομήθηκαν σε 6 κατηγορίες τα ρήγματα του ελληνικού χώρου: 1) σεισμικά, 2) ενεργά, 3) ενεργά πιθανά ή καλυμμένα, 4) δυνητικώς ενεργά, 5) δυνητικώς ενεργά πιθανά ή καλυμμένα και 6) κοινά ρήγματα. Θα πρέπει να τονιστεί ότι χρειάζεται πολύ προσοχή και συνδυασμός δεδομένων για το χαρακτηρισμό ενός ρήγματος ως ενεργού. Κι αυτό, επειδή ορισμένα ρήγματα που χαρακτηρίστηκαν ως τεκτονικά αδρανή, αιφνιδίασαν στο παρελθόν. Χαρακτηριστικά τέτοια παραδείγματα υπάρχουν πολλά στη διεθνή βιβλιογραφία. Από την άλλη πλευρά, δεν είναι απαραίτητα όλα τα ενεργά ρήγματα ή υποψήφια για να δώσουν σεισμούς.

Οι ορισμοί για την δράση των ρηγμάτων (σεισμικά, ενεργά ρήγματα κ.ά.), έχουν δοθεί από ειδικές επιτροπές στις Η.Π.Α, στην Ιαπωνία, Κίνα, τη Νέα Ζηλανδία και άλλες χώρες με μεγάλη σεισμικότητα, και τηρούνται αυστηρά στην κατασκευή μεγάλων τεχνικών έργων κυρίως πυρηνικών αντιδραστήρων.

Ακολουθεί σύντομη περιγραφή για τις διάφορες κατηγορίες ρηγμάτων:

1. Σεισμικά ρήγματα

Είναι εκείνα που συνδέονται άμεσα με ισχυρούς σεισμούς (πρόσφατους ή ιστορικούς) και κατά μήκος τους έχουν παρατηρηθεί επιφανειακές σεισμικές διαρρήξεις.

2 και 3. Ενεργά ρήγματα – Ενεργά ρήγματα (πιθανά ή καλυμμένα)

Είναι τα ρήγματα που παρουσιάζουν μικρή αλλά συνεχή μετακίνηση των δύο τεμαχών τους και κόβουν σχηματισμούς του Ανώτερου Πλειστόκαινου ή και νεότερους. Επίσης όταν είναι συνδεδεμένα με ορισμένα ειδικά γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά (αναβαθμίδες τεκτονικής προέλευσης, νεοτεκτονικά εξάρματα, νεοσχηματισθείσες τεκτονικές κοιλάδες, απότομη αλλαγή διεύθυνσης χειμάρρων, τεκτονικά πρηνή με μεγάλες κλίσεις) ή θερμομεταλλικές πηγές ή συνδέονται άμεσα με ευθυγράμμιση επικέντρων ή μικροσεισμούς.

4 και 5. Δυνητικώς ενεργά ρήγματα - Δυνητικώς ενεργά ρήγματα (πιθανά ή καλυμμένα)

Χαρακτηρίζονται εκείνα που συνδέονται με μικρό βαθμό συσχέτισης με μεγάλους σεισμούς ή συνηθέστερα μόνο με μικροσεισμούς. Επίσης εκείνα τα ρήγματα για τα οποία δεν υπάρχουν ιστορικές πληροφορίες για σεισμούς και εδαφικές μετακινήσεις, επηρεάζουν νέα ιζήματα, αλλά δε φαίνεται να έχουν επαναδραστηριοποιηθεί στο πολύ πρόσφατο παρελθόν. Τέλος και εκείνα τα ρήγματα όπου τα νέα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά με τα οποία συνδέονται έχουν διαβρωθεί ή δεν διακρίνονται ευκρινώς. Χαρακτηρίζονται γενικά τα ρήγματα για τα οποία όλα τα πάρα πάνω κριτήρια δεν δίνουν ικανοποιητικό βαθμό αξιοπιστίας.

6. Κοινά ρήγματα

Είναι όλα τα υπόλοιπα ρήγματα, που συνήθως έχουν δημιουργηθεί σε παλαιότερη γεωλογική ηλικία και για τα οποία δεν υπάρχουν γεωλογικές, γεωμορφολογικές, σεισμολογικές και ιστορικές ενδείξεις για επαναδραστηριοποίηση τους κατά τη διάρκεια του Πλειο-Τεταρτογενούς.

2.2 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

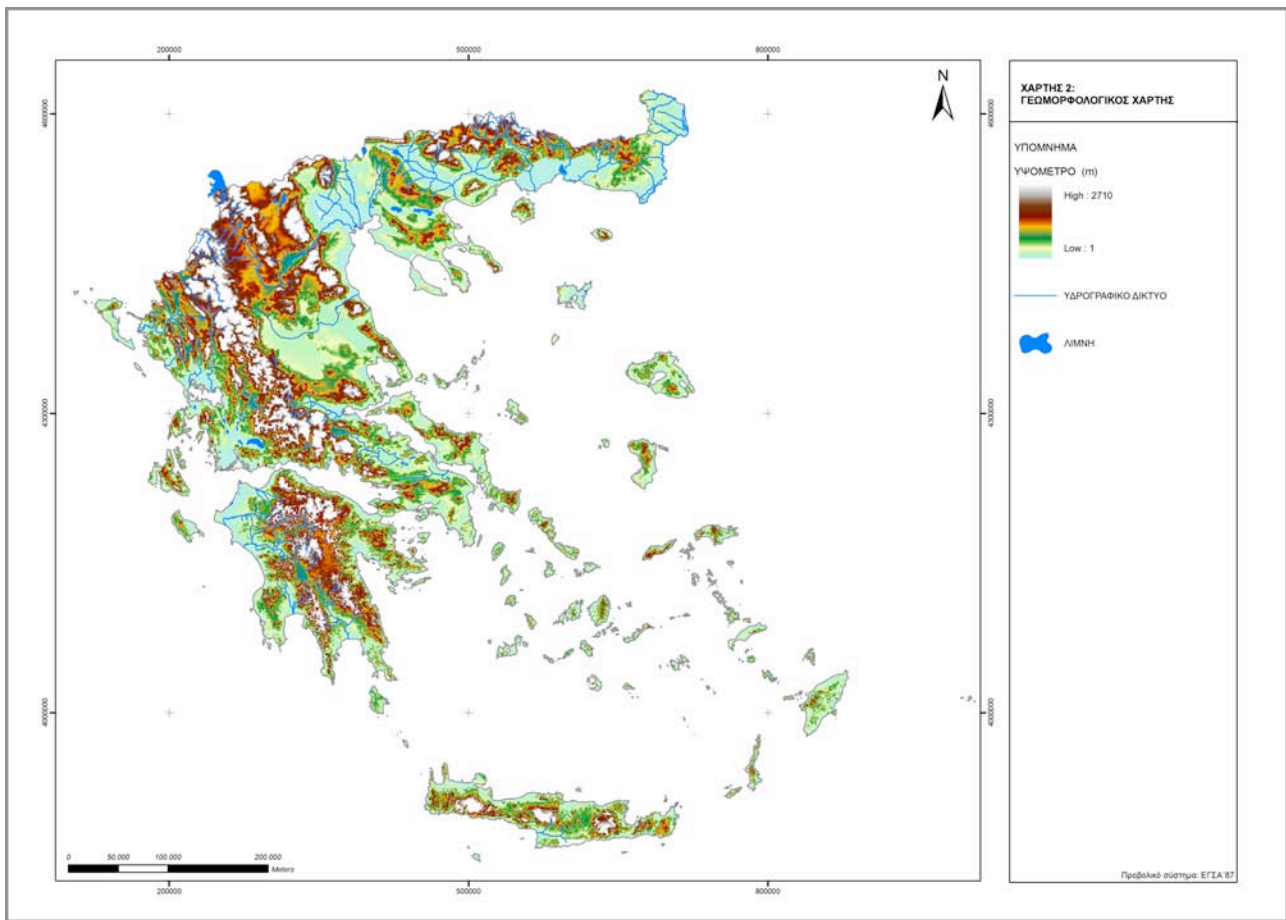
Ένας εξίσου σημαντικός παράγοντας που εξετάστηκε στην παρούσα εργασία αφορά στα υψομετρικά χαρακτηριστικά του εδάφους τα οποία εμπλέκουν περιοριστικούς παράγοντες ως προς την κλίση των πρηνών καθώς επίσης και η ύπαρξη υδρογραφικών δικτύων και λιμνών, παράγοντες που ευνοούν κινδύνους διαρροής και εξάπλωσης ραδιενεργών στοιχείων σε ενδεχόμενη τοποθέτηση πυρηνικών αποβλήτων στα όρια τους.

Σύμφωνα με τα κριτήρια αποκλεισμού περιοχών ως προς την αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων, οι αξιολογήσεις για πιθανώς κατάλληλες περιοχές θα πρέπει να διερευνούν και να αναφέρουν τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα της περιοχής ως προς την σταθερότητα και τις διασυνδέσεις μεταξύ των περιφερειακών και των τοπικών χαρακτηριστικών.

Οι περιοχές που αποκλείονται είναι αυτές όπου υπάρχουν κλίσεις μεγαλύτερες από 15% από περιοχές αποθήκευσης όπου υπάρχουν αποθηκευτικές μονάδες όπως καθορίζονται στο USGS 7.5-minute quadrangles με κλίμακα 1:24000 με ένα διάστημα περιγράμματος 10 ποδιών ή 20 ποδιών ή αντίθετα σε έναν τοπογραφικό χάρτη με κλίμακα 1:50.000 και διάστημα περιγράμματος 20 ποδιών. Στην παρούσα διπλωματική εργασία ο χάρτης των μορφολογικών κλίσεων (βλ. χάρτης 2) δεν συναξιολογήθηκε στον τελικό χάρτη καταλληλότητας διότι αυτός προέκυψε από ψηφιακά δεδομένα μικρότερης κλίμακας από 1:50.000.

Επίσης αποκλείονται όλοι οι υγρότοποι (υδρογραφικά δίκτυα, λίμνες και πηγές που συνδέονται με υπόγεια νερά).

Για την παραγωγή του Μορφολογικού χάρτη χρησιμοποιήθηκε το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DTM) με βήμα καννάβου 100 m. Στον Γεωμορφολογικό χάρτη φαίνονται με κλίμακα χρωμάτων τα υψομετρικά χαρακτηριστικά της Ελλάδας όπως και το υδρογραφικό δίκτυο και οι λίμνες.



Εικόνα 11: Γεωμορφολογικός Χάρτης της Ελλάδος (βλ. Παράρτημα Χάρτης 2)

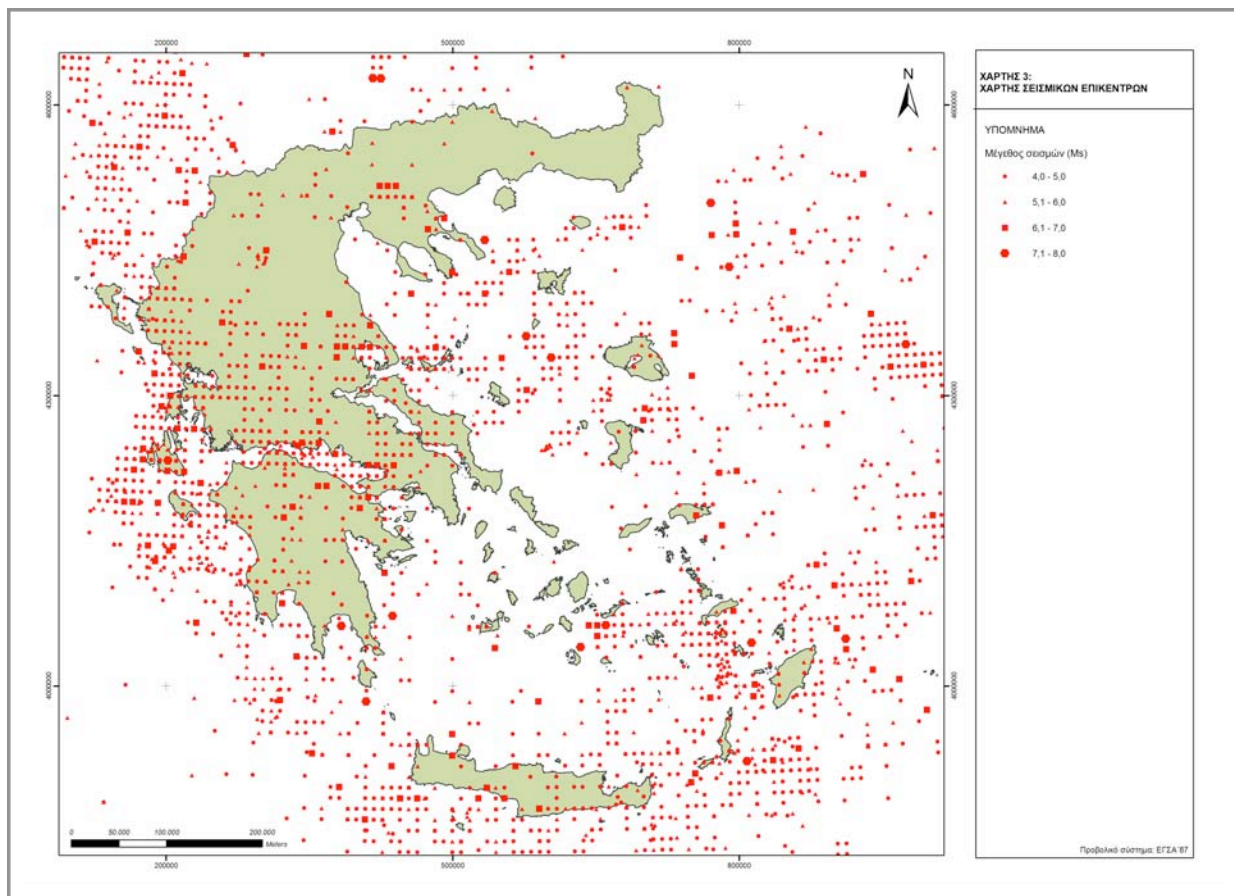
2.3 ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ - ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ

Ο σεισμός είναι ένα φυσικό φαινόμενο που εκδηλώνεται συχνά σε πολλές χώρες του κόσμου και ιδιαίτερα στην χώρα μας. Η Ελλάδα είναι η πρώτη σε σεισμικότητα χώρα στην Ευρώπης και η έκτη σε παγκόσμιο επίπεδο . Αυτό και μόνο το γεγονός κατατάσσει την Ελλάδα ως χώρο υψηλής επικινδυνότητας για την αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων.

2.3.1 Σεισμικότητα

Επίκεντρα σεισμών που εντοπίζονται κοντά σε μία περιοχή θα πρέπει να αξιολογούνται ώστε να καθοριστεί η συσχέτιση του σεισμού με την μελλοντική σεισμική δραστηριότητα καθώς και ο πιθανός αντίκτυπος στη σταθερότητα της περιοχής.

Ο Χάρτης Σεισμικών Επικέντρων κατασκευάστηκε με τη βοήθεια του Arcmap από δεδομένα τριών καταλόγων. Από ένα συνολικό κατάλογο που περιλαμβάνει σεισμούς από 1900 – 2005, αποτελούμενος από στοιχεία του καταλόγου των Makropoulos et al (1989) και τον Κατάλογο σεισμών των Κομνηνάκη – Παπαζάχου (1986) για την περίοδο 1901-1985, αλλά στη συνέχεια από το 1988 - 2005 από δεδομένα του καταλόγου του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου του Εθνικού Αστεροσκοπείου. Στα δεδομένα του καταλόγου του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου έγινε αναγωγή από την κλίμακα ML στην κλίμακα μεγεθών Ms, ώστε να είναι συμβατά με τα δεδομένα του καταλόγου των Makropoulos et al (1989).



Εικόνα 12: Χάρτης Σεισμικών Επίκεντρων της Ελλάδος (βλ. Παράρτημα Χάρτης 3)

2.3.2 Σεισμική επικινδυνότητα

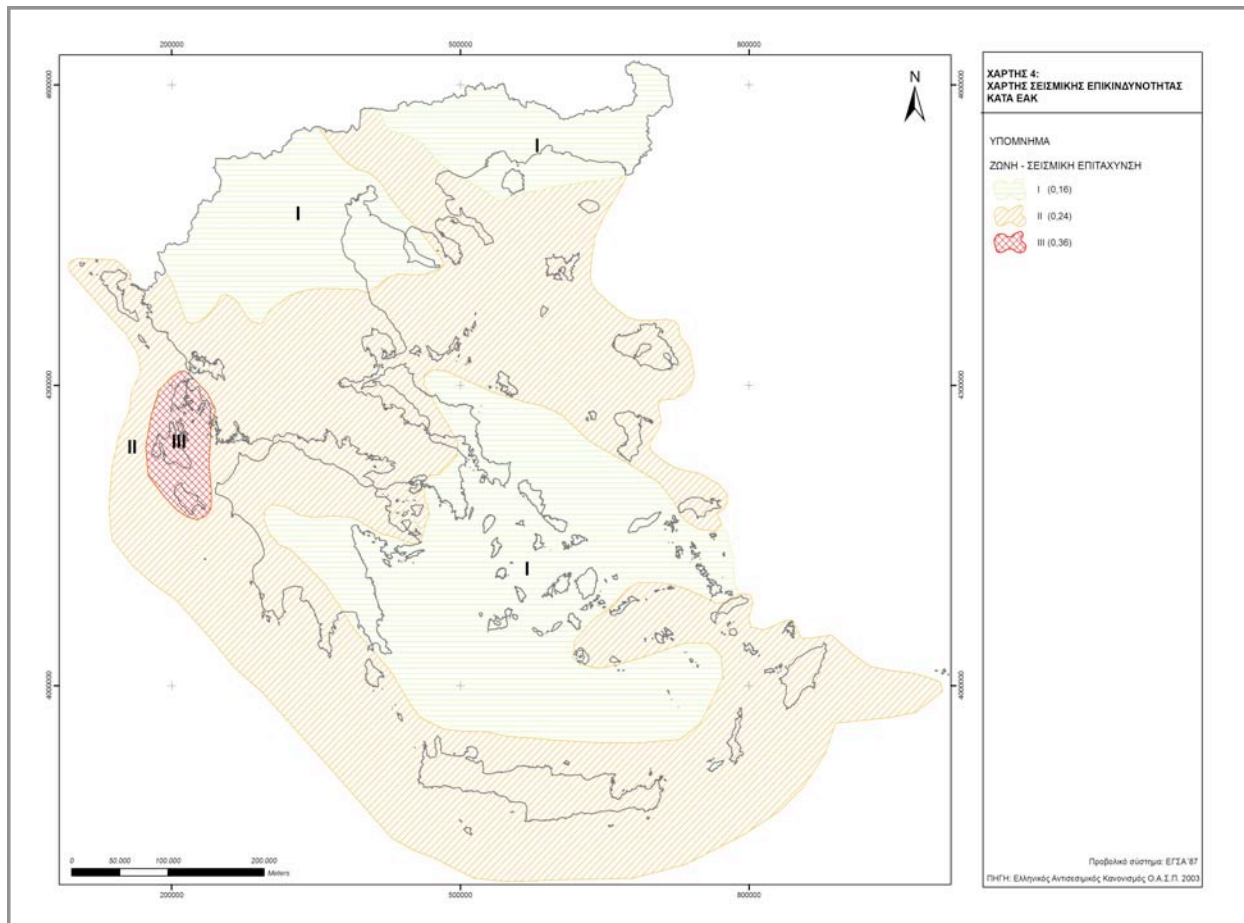
Σε συνδυασμό με την ευστάθεια των πετρωμάτων του υπό μελέτη χώρου είναι απαραίτητο να συνυπολογιστεί και η σεισμική δραστηριότητα των περιοχών με βάση τις προηγούμενες καταγραφές των σεισμικών επίκεντρων. Καταγράφονται δηλαδή οι «αντοχές» των πετρωμάτων σε ενδεχόμενη σεισμική δραστηριότητα.

Η Ελλάδα χωρίζεται με βάση τον ΕΑΚ (Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός) σε τρεις χαρακτηριστικές ζώνες ανάλογα με τις τιμές εδαφικών επιταχύνσεων σχεδιασμού. Μονάδα μέτρησης που χρησιμοποιείται είναι το ποσοστό της επιτάχυνσης της βαρύτητας (g).

Οι τιμές εδαφικών επιταχύνσεων σχεδιασμού είναι $0,16g$ (ποσοστό της επιτάχυνσης της βαρύτητας g) για την πρώτη ζώνη, $0,24g$ για τη δεύτερη ζώνη και $0,36g$ για την τρίτη ζώνη (Ε.Α.Κ., 2000, τροποποίηση 2003 ΦΕΚ 11546/12-8-03), με σεισμική επιτάχυνση εδάφους $A = \alpha \times g$, όπου $\alpha = 0.24$.

Η κατασκευή του Χάρτη Σεισμικής επικινδυνότητας έγινε με τη βοήθεια του προγράμματος Arcstar. Με το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε ψηφιοποιήθηκαν οι τρεις

ζώνες για να εξεταστεί η καταλληλότητα των τιμών τους αργότερα ως προς την αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων (βλ. χάρτης 10).



Εικόνα 13: Χάρτης Σεισμικής Επικυνδυνότητας κατά ΕΑΚ (βλ. Παράρτημα Χάρτης 4)

2.4 ΠΕΡΙΟΧΕΣ NATURA

Για τον εντοπισμό κατάλληλων περιοχών αποθήκευσης πυρηνικών αποβλήτων θα πρέπει πρώτα να καθοριστεί και η ύπαρξη καθώς και οι μελλοντικές συνθήκες ύπαρξης βιοτόπων, να αναγνωριστούν οι υπό κίνδυνο ή υπό απειλή σπάνιοι ή μοναδικοί βιότοποι και να καθοριστεί η ύπαρξη και οι μελλοντικές συνθήκες ύπαρξης ειδών προς εξαφάνιση. Τέτοιες περιοχές οι οποίες περιλαμβάνονται στις ζώνες NATURA είναι τα συστήματα εθνικών πάρκων, τα εθνικά δάση, οι φυσικές περιοχές που σχεδιάστηκαν από τις υπηρεσίες εθνικών πάρκων, τα εθνικά καταφύγια άγριας πανίδας, τα εθνικά εκκολαπτήρια ψαριών, τα εθνικά άγρια και φυσικά συστήματα ποταμών, τα εθνικά συστήματα συντήρησης αγριοτόπων, οι αξιόλογες πηγές νερού, οι ιστορικές περιοχές καταγεγραμμένες στα εθνικά ιστορικά αρχεία, οι περιοχές που προστατεύονται από το άγριο και φυσικό πρόγραμμα ποταμών, οι περιοχές που έχουν σχεδιαστεί για φυσικά και άγρια τοπία κ.ά.

Αναλυτικότερα περιοχές NATURA ονομάζονται οι προστατευόμενες περιοχές όπου συναντούμε την χλωρίδα και την πανίδα ενός τόπου. Οι περιοχές αυτές είναι εξαιρετικής σημασίας καθώς χαρακτηρίζουν την ζωή ενός τόπου και προστατεύονται από τα κράτη από οτιδήποτε απειλεί την ακεραιότητά τους.

Η τοποθέτηση πυρηνικών αποβλήτων σε σημεία που θα επηρέαζαν στο παραμικρό τις περιοχές αυτές θα σήμαινε την οριστική καταστροφή των πνευμόνων της χώρας.

Η βάση δεδομένων των περιοχών NATURA προήλθε από το Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΥΠΕΚΑ) και η επεξεργασία και κατασκευή του αντίστοιχου χάρτη έγινε με τη βοήθεια του λογισμικού προγράμματος Arcmap. Οι περιοχές αυτές φαίνονται στον χάρτη με τρία διαφορετικά χρώματα τα οποία αντιπροσωπεύουν τους «Τόπους Κοινοτικής Σημασίας (TKΣ)» («Sites of Community Importance - SCI»), τις Ζώνες Ειδικής Προστασίας (ΖΕΠ) («Special Protection Areas - SPA») και ο συνδυασμός των δύο «SCI- SPA».

Παρακάτω παρατίθενται πληροφορίες για το Δίκτυο NATURA, τις περιοχές NATURA, τις διαδικασίες κατάρτησης μιας περιοχής στο δίκτυο NATURA και ο κατάλογος των περιοχών που βρίσκονται στο δίκτυο στην Ελλάδα.

2.4.1 Δίκτυο NATURA

Το Δίκτυο Natura 2000 αποτελεί ένα Ευρωπαϊκό Οικολογικό Δίκτυο περιοχών, οι οποίες φιλοξενούν φυσικούς τύπους οικοτόπων και οικοτόπους ειδών που είναι σημαντικοί

σε ευρωπαϊκό επίπεδο . Αποτελείται από δύο κατηγορίες περιοχών: Τις «Ζώνες Ειδικής Προστασίας (ΖΕΠ)» (Special Protection Areas - SPA) για την Ορνιθοπανίδα, όπως ορίζονται στην Οδηγία 79/409/ΕΚ και τους «Τόπους Κοινοτικής Σημασίας (ΤΚΣ)» (Sites of Community Importance - SCI) όπως ορίζονται στην Οδηγία 92/43/ΕΟΚ. Η Οδηγία 92/43/ΕΟΚ «για τη διατήρηση των φυσικών οικοτόπων καθώς και της άγριας πανίδας και χλωρίδας» θεσμοθετήθηκε από το Συμβούλιο των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων με σκοπό να συμβάλλει στην προστασία της βιολογικής ποικιλότητας, μέσω της διατήρησης των φυσικών οικοτόπων, καθώς και της άγριας πανίδας και χλωρίδας στο ευρωπαϊκό έδαφος των κρατών μελών που εφαρμόζεται η συνθήκη . Η Οδηγία 79/409/ΕΚ εναρμονίστηκε στο ελληνικό Δίκαιο με τις Κοινές Υπουργικές Αποφάσεις 414985/29-11-85 (ΦΕΚ 757/Β/18-12-85), 366599/16-12-96 (ΦΕΚ 1188/Β/31-12-96), 294283/23-12-97 (ΦΕΚ 68/Β/4-2-98). Η Οδηγία 92/43/ΕΚ εναρμονίστηκε στο ελληνικό Δίκαιο με την Κοινή Υπουργική Απόφαση 33318/3028/11-12-98 (ΦΕΚ 1289/Β/28-12-98)

2.4.2 Περιοχές NATURA (Το Δίκτυο NATURA)

Το Άρθρο 3 της Κοινοτικής Οδηγίας 92/43/ΕΟΚ αναφέρεται στη δημιουργία ενός «συνεκτικού ευρωπαϊκού οικολογικού δικτύου ειδικών ζωνών διατήρησης», που είναι πλέον γνωστό διεθνώς σαν Δίκτυο NATURA 2000. Στο ίδιο άρθρο γίνεται λόγος για τον έλεγχο των επιπτώσεων της οικονομικής ανάπτυξης των περιοχών του δικτύου . Το Άρθρο 6 αναφέρεται στη διατήρηση και αποκατάσταση των περιοχών του δικτύου, ενώ στο Άρθρο 10 θεσμοθετείται η προστασία των κύριων χαρακτηριστικών των τόπων που λειτουργούν ως διάδρομοι μεταξύ των περιοχών του δικτύου. Η ανάπτυξη του Δικτύου ακολούθησε τρεις φάσεις.

Κατά τη διάρκεια της πρώτης φάσης (1994-96) καταγράφηκαν οι περιοχές και σε κάθε μια από αυτές υποδείχθηκαν οι συγκεκριμένοι τύποι οικοτόπων με την έκταση που καταλαμβάνουν (εντός της περιοχής), καθώς και τα συγκεκριμένα είδη χλωρίδας με τα πληθυσμιακά δεδομένα τους.

Βασικός στόχος της δεύτερης φάσης (1996-2000) ήταν η δημιουργία ενός Καταλόγου Τόπων Κοινοτικής Σημασίας (ΤΚΣ- List of Sites of Community Importance). Στη συνέχεια και με τη συνεργασία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής και με μια διαδικασία αξιολόγησης σε επιστημονικά βιογεωγραφικά σεμινάρια , ορίζεται ο τελικός κατάλογος περιοχών του δικτύου. Οι περιοχές αυτές χαρακτηρίζονται από τα κράτη – μέλη ως Ειδικές Ζώνες Διατήρησης (ΕΖΔ, Special Areas for Conservation ή αλλιώς SACs). Σύμφωνα με το Άρθρο

5 της Οδηγίας, όταν η Ευρωπαϊκή Επιτροπή διαπιστώσει ότι ένας τόπος στον οποίο υπάρχει οικοτόπος ή είδος προτεραιότητας δεν έχει συμπεριληφθεί στον αντίστοιχο εθνικό κατάλογο, ενώ φαίνεται απαραίτητη η διατήρησή του, τότε κινεί μια ειδική διαδικασία για την ένταξη του. Επίσης, σε περίπτωση που οι τόποι του καταλόγου αντιπροσωπεύουν ποσοστό μεγαλύτερο του 5% του εθνικού εδάφους της χώρας, το κράτος – μέλος μπορεί να ζητήσει ελαστικότερη εφαρμογή των κριτηρίων.

Η Τρίτη και τελευταία φάση της διαδικασίας περιλαμβάνει τον χαρακτηρισμό από τα κράτη – μέλη των Τόπων Κοινοτικής Σημασίας σαν Ειδικές Ζώνες Διατήρησης, καθώς και τον καθορισμό των δράσεων προτεραιότητας για τη διατήρηση ή αποκατάσταση των αναφερόμενων στα παραρτήματα τύπων οικοτόπων και των ειδών που υπάρχουν σε αυτές.

2.4.3 Διαδικασία κατάρτισης Εθνικού Καταλόγου για την Ελλάδα

Για την υλοποίηση της Οδηγίας 92/43/ΕΟΚ (1η φάση), ανατέθηκε αρχικά στο Μουσείο Γουλανδρή Φυσικής Ιστορίας το Πρόγραμμα LIFE με τίτλο «Καταγραφή, Αναγνώριση, Χαρτογράφηση και Εκτίμηση των Τύπων Οικοτόπων και των Ειδών Χλωρίδας και Πανίδας των Παραρτημάτων I και II της Οδηγίας». Η διεκπεραίωση του προγράμματος αυτού πραγματοποιήθηκε από το Εθνικό Κέντρο Βιοτόπων – Υγροτόπων (ΕΚΒΥ) σε συνεργασία με τα Τμήματα Βιολογίας των Πανεπιστημίων Αθηνών, Θεσσαλονίκης, Πατρών και Κρήτης, ενώ τα Υπουργεία ΠΕΧΩΔΕ και Γεωργίας συνεισέφεραν το 25% του προγράμματος και επέβλεψαν την εξέλιξη του. Τα αποτελέσματα εστάλησαν κατευθείαν στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή τον Μάρτιο του 1996.

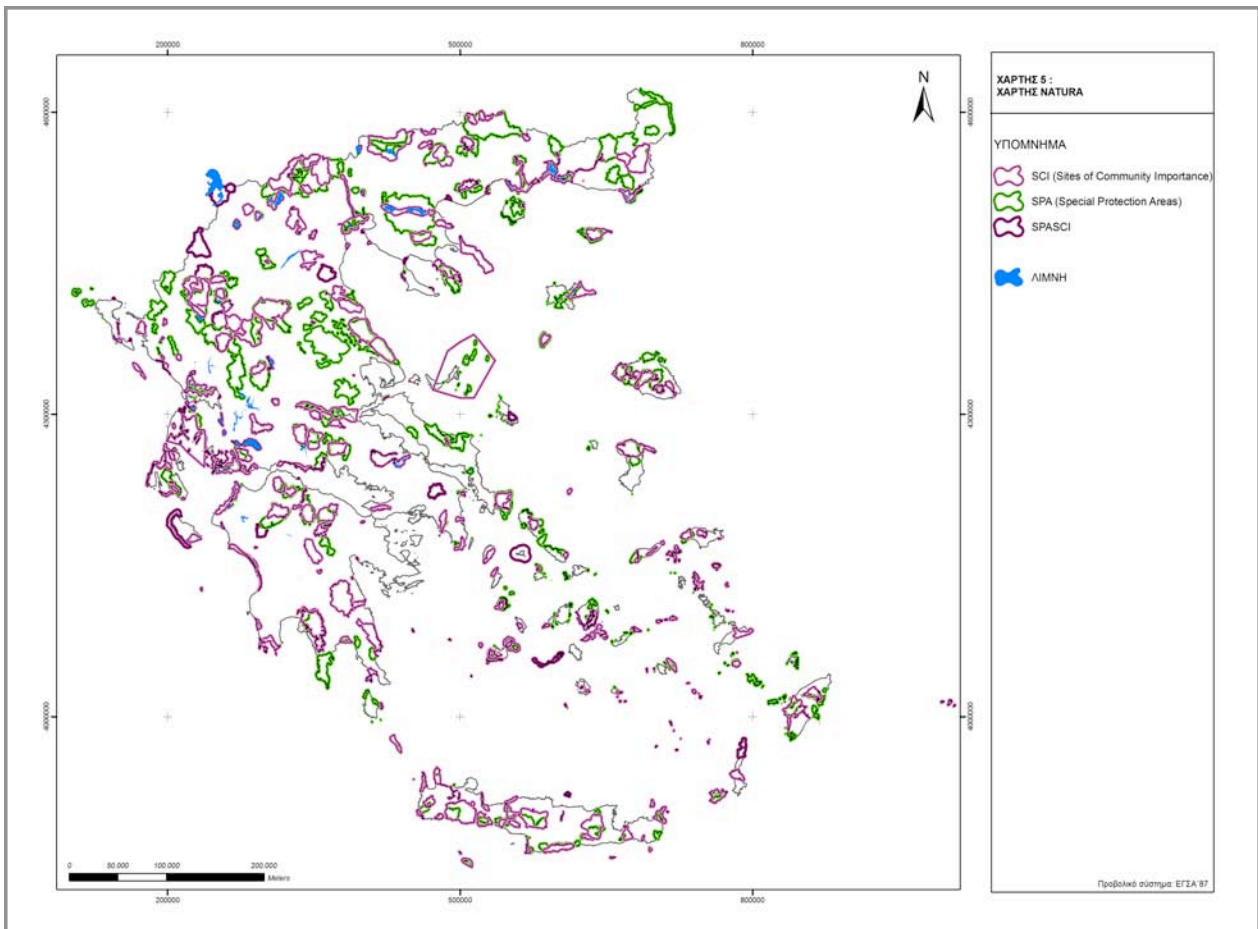
Συνολικά καταγράφηκαν 110 τύποι οικοτόπων (26 προτεραιότητας) 39 είδη φυτών (26 προτεραιότητας) και 76 είδη ζώων (10 προτεραιότητας), που απαντώνται στην Ελλάδα. Κατόπιν δημιουργήθηκε ένας κατάλογος 296 περιοχών (συνολικής έκτασης περίπου 30.000.000 στρεμμάτων), που περιείχαν τύπους οικοτόπων και είδη της Οδηγίας, μετά από σχετική αξιολόγηση σύμφωνα. Ο κατάλογος αυτών των περιοχών, γνωστός και ως «Επιστημονικός Κατάλογος» αποτέλεσε την επιστημονική βάση αναφοράς για τον Εθνικό Κατάλογο. Οι περισσότερες από τις 296 περιοχές που περιλήφθηκαν στο έργο ήταν ήδη προστατευόμενες σε εθνικό, περιφερειακό ή διεθνές επίπεδο.

Πρέπει να σημειωθεί ότι στην έκταση των 30.000.000 στρεμμάτων συμπεριλαμβάνονται περί τα 6.000.000 στρέμματα θαλασσίων εκτάσεων και 1.500.000 στρέμματα εσωτερικών υδάτων. Το χερσαίο τμήμα, συμπεριλαμβανομένων και των

εσωτερικών υδάτων, εκτιμάται περίπου στο 18,2% της συνολικής γεωγραφικής επιφάνειας της χώρας.

Ομάδα Εργασίας των Υπουργείων ΠΕΧΩΔΕ (Τμήμα Διαχείρισης Φυσικού Περιβάλλοντος και Δ/νση Χωροταξίας) και Γεωργίας (Δ/νση Αισθητικών Δασών, Δρυμών και Θήρας) ανέλαβε τη συγκέντρωση των γνωμ οδοτήσεων των διαφόρων αρμόδιων υπηρεσιών, καθώς και την εκπόνηση της τελικής πρότασης. Έτσι στις 22/7/1996 εστάλη στη Μόνιμη Ελληνική Αντιπροσωπεία το Α' Τμήμα του Εθνικού Καταλόγου με 164 περιοχές προτεινόμενες σαν Τόποι Κοινοτικής Σημ ασίας (SCIs), καθώς και 29 Ζώνες Ειδικής Προστασίας (SPAs).

Ακολούθησε σύσταση (προειδοποιητική επιστολή, βάσει του Άρθρου 169 της Συνθήκης του Μάαστριχ) από την Ευρωπαϊκή Κοινότητα για την ολοκλήρωση του Εθνικού Καταλόγου και στη συνέχεια η ίδια Ομάδα Εργασίας των Υπουργείων ΠΕΧΩΔΕ και Γεωργίας προχώρησε στην αποστολή (4/4/1997) και του Β' Τμήματος του Εθνικού Καταλόγου με 81 περιοχές ΤΚΣ (SCIs) και 23 ΖΕΠ (SPAs). Μετά από κάποιες μετατροπές ο Εθνικός Κατάλογος έφθασε να περιλαμβάνει 264 περιοχές (230 SCIs και 52 SPAs, περίπου 26.500.000 στρέμματα). Τον Οκτώβριο του 1999 και με βάση τα αποτελέσματα του Α' Βιογεωγραφικού Σεμ ιναρίου για τη Μεσογειακή Ζώνη, υποβλήθηκαν στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή αρκετές επιπλέον περιοχές και επεκτάθηκαν τα όρια κάποιων άλλων. Στην παρούσα φάση έχει πλέον οριστικοποιηθεί ο Εθνικός Κατάλογος που περιλαμβάνει συνολικά 150 περιοχές ΖΕΠ (SPAs) και 239 περιοχές ΤΚΣ (SCIs) (ορισμένες από αυτές είναι στο σύνολο τους ή μερικά και περιοχές SPAs). Οι ΖΕΠ που έχουν κοινοποιηθεί στην Ευρωπαϊκή Ένωση από την Ελλάδα εντάσσονται αυτόματα βάσει της Οδηγίας 92/43/ΕΟΚ στο Δίκτυο NATURA 2000, χωρίς να συμβαίνει όμως το ίδιο και με τους ΤΚΣ (SCIs), που θα κριθούν στη δεύτερη φάση της διαδικασίας

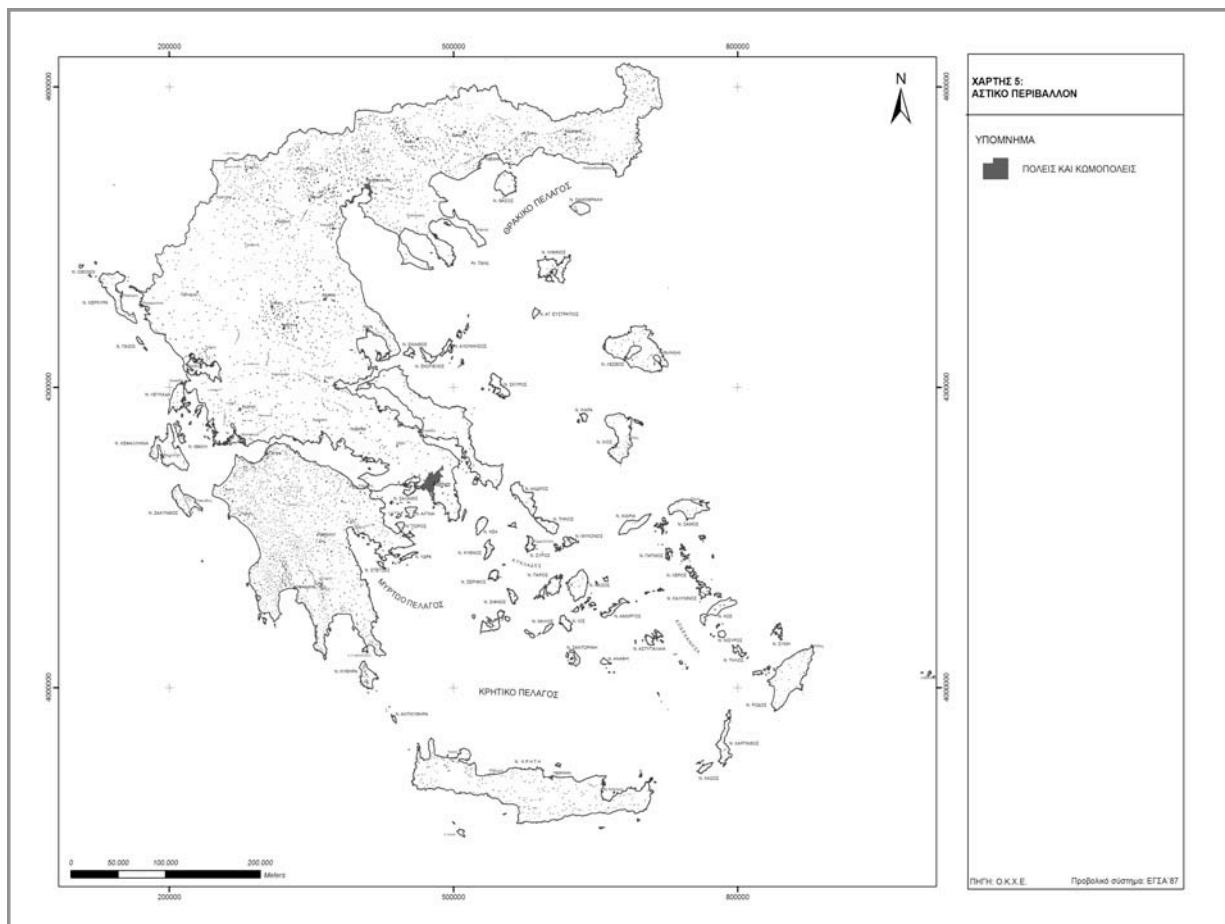


Εικόνα 14: Χάρτης NATURA (βλ. Παράρτημα Χάρτης 5)

2.5 ΑΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Ο άνθρωπος και η υγεία του είναι από τους σημαντικότερους παράγοντες που απασχολούν έρευνες όπως της συγκεκριμένης Διπλωματικής. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε και ο Αστικός χάρτης της Ελλάδας όπου αναγράφονται τα σημεία διαβίωσης του πληθυσμού και οποιαδήποτε οικιστική περιοχή, ώστε να χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια σε συνδυασμό με τα μέτρα ασφαλείας για τη δημιουργία ζωνών προστασίας σύμφωνα με τους κανονισμούς για την υπόγεια αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων (βλ. χάρτη 12).

Τα δεδομένα προήλθαν από τον Οργανισμό Κτηματολογίου και Χαρτογραφίσεων Ελλάδας (ΟΚΧΕ) και η ψηφιακή τους απεικόνιση έγινε με τη βοήθεια του λογισμικού προγράμματος Arcmap.



Εικόνα 15: Αστικός Χάρτης της Ελλάδος (βλ. Παράρτημα Χάρτης 6)

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η επιλογή θέσεων κατάλληλων για την αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων είναι άμεσα συνδεδεμένη με την διασφάλιση της δημόσιας υγείας, την διαφύλαξη του περιβάλλοντος καθώς και με κοινωνικούς και οικονομικούς παράγοντες. Τα κριτήρια για την επιλογή των θέσεων αυτών αφορούν σαφείς εκτιμήσεις για την υγεία και την ασφάλεια των πολιτών, καθώς και εκτιμήσεις οι οποίες αφορούν σε γεωλογικές, υδρογεωλογικές, υδρολογικές, σεισμολογικές και περιβαλλοντικές παραμέτρους (τοπογραφία της περιοχής, πλημμύρες, περατότητα σχηματισμών, σεισμοί, ρήγματα, προστασία και εκμετάλλευση φυσικών πόρων, του περιβάλλοντος και της άγριας ζωής).

Αρχικά όλες οι περιοχές θεωρούνται κατάλληλες για την αποθήκευση των αποβλήτων. Η διαδικασία για την εύρεση κατάλληλων θέσεων για την δημιουργία αποθηκευτικών υποδομών για πυρηνικά απόβλητα ξεκινά κατά την πρώτη φάση έρευνας, αποκλείοντας αρχικά τις ακατάλληλες περιοχές με βάση τα παραπάνω κριτήρια. Στη συνέχεια επανεξετάζονται συγκριτικά οι υπόλοιπες «κατάλληλες» περιοχές που προέκυψαν από την πρώτη φάση για την δημιουργία αποθηκευτικών χώρων.

Κατά την δεύτερη φάση μελετώνται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια και χαρακτηρίζονται συγκριτικά οι «κατάλληλες» περιοχές που προέκυψαν από την πρώτη φάση εξετάζοντας τις θέσεις αυτές και η διαδικασία καταλήγει στην πρόταση μιας από αυτές για να αποδώσει άδεια ώστε να αποτελέσει χώρο για την αποθήκευση των αποβλήτων.

3.1.1 Περιγραφή Μεθόδου Ανάλυσης

Στη παρούσα διπλωματική εργασία αναπτύχθηκε μία μέθοδος ανάλυσης όπου εξετάζεται και εκτιμάται η καταλληλότητα περιοχών για την αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων, με διαδοχική ανάλυση και επεξεργασία των λιθολογικών, γεωμορφολογικών, υδρολογικών, υδρογεωλογικών, σεισμικών, περιβαλλοντικών και αστικού περιβάλλοντος στοιχείων του ελληνικού χώρου.

Η μέθοδος αυτή αφορά στην δημιουργία θεματικών χαρτών οι οποίοι εμφανίζουν περιοχές κατάλληλες για την αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων, όπου από την συσχέτιση των χαρτών αυτών μεταξύ τους να προκύπτει ένας τελικός θεματικός χάρτης, στον οποίο παρουσιάζονται οι περιοχές ταξινομημένες σε τρεις κατηγορίες ως προς την καταλληλότητα τους για την αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων.

Σημειώνεται επιπλέον ότι η παρούσα μεθοδολογία αφορά μια πρώτη προσέγγιση στο θέμα που εφαρμόζεται πιλοτικά στην κλίμακα ολόκληρου του ελληνικού χώρου, ενώ για την εξέταση καταλληλότητας συγκεκριμένων περιοχών απαιτούνται λεπτομερέστερες έρευνες που θα περιλαμβάνουν εκτός από την έρευνα πεδίου και ένα αριθμό εργαστηριακών δοκιμών.

3.2 ΧΑΡΤΗΣ ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΠΥΡΗΝΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Οι γεωλογικές θέσεις που επιλέγονται σαν χώροι αποθήκευσης εξετάζονται από άποψη φυσικής ευστάθειας, θερμικής αγωγιμότητας, μηχανικής αντίστασης, χαμηλής διαπερατότητας κ.α.

Η επιλογή της κατάλληλης τοποθεσίας έχει να κάνει με τα διάφορα χαρακτηριστικά της περιοχής, το είδος των αποβλήτων καθώς και με το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας. Περιοχές που κατά κανόνα επιλέγονται είναι βαθιά σπήλαια σε συμπαγή γρανιτικά πετρώματα, εγκαταλελειμμένα ορυχεία, βαθιά γεωλογικά στρώματα κ.α.

Παρακάτω αναλύονται τα χαρακτηριστικά των πετρωμάτων που τα καθιστούν κατάλληλα για την αποθήκευση των πυρηνικών αποβλήτων.

(α) Άργιλος.

Την άργιλο τη συναντάμε στους νεογενείς και τεταρτογενείς σχηματισμούς. Ως “άργιλος” (clay) χαρακτηρίζεται κάθε ιζηματογενές πέτρωμα με διάμετρο κόκκων $d < 2 \mu\text{m}$. Σε κάθε αργιλικό σχηματισμό, εκτός από το “αργιλικό κλάσμα”, απαντούν και “λύς” και “άμμος”.

Οι ιδιότητες οι οποίες καθιστούν την άργιλο ως κατάλληλο σχηματισμό για την αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων είναι:

Υδατοπερατότητα

Δεδομένου του πολύ μικρού μεγέθους των κόκκων των αργιλικών ορυκτών, όπως και της διόγκωσης που δημιουργείται σ' αυτά έπειτα από προσρόφηση νερού, τα στρώματα τα οποία αποτελούνται από αργιλικά ορυκτά είναι μη υδατοπερατά.

Πλαστικότητα

Είναι η ιδιότητα του μείγματος αργίλου-νερού να μορφοποιείται κάτω από την επίδραση εξωτερικών δυνάμεων και να διατηρεί αυτή τη μορφή μετά την ξήρανση και το ψήσιμο. Κατά την επαφή με το νερό τα αργιλικά ορυκτά, περιβάλλονται από ένα λεπτό υδάτινο υμένιο, εξ αιτίας του οποίου εξασθενίζουν οι δυνάμεις συνοχής και ελαττώνεται η τριβή, με αποτέλεσμα το μίγμα αργίλου-νερού να γίνεται πλαστικό. Η πλαστικότητα εξαρτάται από:

- i. Τη μορφή των σωματιδίων (φυλλώδης ή πρισματική).
- ii. Τις δυνάμεις που συνδέουν τα σωματίδια μεταξύ τους (ασθενέστερες στον μοντμοριλλονίτη, ισχυρότερες στον каоλινίτη).
- iii. Το είδος των προσροφημένων ιόντων (Na^{1+} , Ca^{2+} ,...).
- iv. Το πάχος των υδάτινων υμενίων.

Μέτρο της πλαστικότητας είναι η ποσότητα του νερού που χρειάζεται μια άργιλος για ν' αποκτήσει τη μέγιστη πλαστικότητά της. Λέγεται νερό πλαστικότητας και εκφράζεται σε cm^3 επί τοις $\%$. Η πλαστικότητα μιας αργίλου ποικίλλει ανάλογα με την περιεκτικότητά της σε αργιλικό κλάσμα, σε μοντμοριλλονίτη, σε οργανική ουσία κλπ.

Ιοντοανταλλακτική ικανότητα

Είναι η ικανότητα που έχουν τα αργιλικά ορυκτά να προσροφούν και να συγκρατούν ορισμένα ιόντα, τα οποία κάτω από ειδικές συνθήκες είναι δυνατό ν' ανταλλάγουν με ιόντα άλλων στοιχείων που βρίσκονται στο περιβάλλον τους.

Θιξοτροπία

Αν αναμιχθεί κάποια άργιλος με περίσσεια νερού, είναι δυνατόν εφ' όσον το μέγεθος των αργιλικών ορυκτών είναι μικρό, να σχηματισθεί ένα αιώρημα, το οποίο μετά από λίγο πήζει, δημιουργώντας ένα πήκτωμα. Το πήκτωμα αυτό δεν ρέει όταν υποστεί κλίση, εάν όμως ανακινηθεί, μετατρέπεται ξανά σε αιώρημα.

Η ιδιότητα αυτή, αναστρέψιμη και χρονοεπηρεαζόμενη είναι γνωστή ως θιξοτροπία και οφείλεται στο ότι, τα αιωρούμενα αργιλικά σωματίδια, σταδιακά, παίρνουν τέτοιες θέσεις,

έτσι ώστε τα μόρια του νερού εγκλωβίζονται στα κενά που δημιουργούνται ανάμεσα στα αργιλικά ορυκτά και δεν μπορούν να κινηθούν ελεύθερα.

Προσρόφηση του ύδατος

Τα αργιλικά ορυκτά έχουν την ικανότητα να προσροφούν H_2O στο διαστρωματικό τους χώρο και να διογκώνονται. Το ποσοστό του H_2O που προσροφάται εξαρτάται, κύρια, από το είδος του αργιλικού ορυκτού και από την κοκκομετρία του. Είναι π.χ. μεγάλο για τον μοντμοριλλονίτη, λόγω των ασθενών δεσμών που αναπτύσσονται μεταξύ των διαδοχικών του στρωμάτων, σε αντίθεση με τον καολινίτη μεταξύ των στρωμάτων του οποίου αναπτύσσονται ισχυροί δεσμοί, που δεν επιτρέπουν την προσρόφηση του νερού.

Διασπορά και θρόμβωση

Με την προσθήκη ορισμένων ηλεκτρολυτών είναι δυνατό, ένα αιώρημα αργιλικών ορυκτών να διατηρηθεί σε διασπορά, ή να θρομβωθεί και να καθιζήσει ως ίζημα.

(β) Γύψοι - Ορυκτό αλάτι

Το ορυκτό αλάτι έχει σχηματιστεί από την βαθμιαία εξάτμιση του θαλασσινού νερού και συναντάται μαζί με γύψο, ανυδρίτη, άργιλο, ψαμμίτη και ασβεσίτη. Το πάχος των στρωμάτων κυμαίνεται από μερικά εκατοστά μέχρι μερικές εκατοντάδες μέτρα. Σε πολλές περιπτώσεις το ορυκτό αλάτι σχηματίζει διαπυρικές μορφές- διεισδύσεις στα ανώτερα γεωλογικά στρώματα, που οφείλονται κυρίως στην μεγάλη πλαστικότητα και την χαμηλή πυκνότητα ($2,2 \text{ gr/cm}^3$). Η επαφή του ορυκτού άλατος με ελάχιστες ποσότητες νερού αυξάνει πολύ την πλαστικότητά του, το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό σαν "φαινόμενο Joffe." Το γεγονός ότι πολλές εμφανίσεις ορυκτού άλατος έχουν επιζήσει για μεγάλες γεωλογικές περιόδους, φανερώνει την έλλειψη επαφής με το υπεδάφικό νερό. Πρέπει όμως να τονισθεί ότι το ορυκτό αλάτι που βρίσκεται σε σχετικά μικρό βάθος και ξηρή κατάσταση παρουσιάζει σημαντική περατότητα στα υγρά, επομένως και στα ραδιενεργά απόβλητα. Η κυκλοφορία αυτή των υγρών γίνεται διαμέσου των επιφανειών επαφής των κρυστάλλων και κυρίως κατά μήκος των επιφανειών ασυνέχειας του υλικού. Αντίθετα σε μεγαλύτερα βάθη, σε περίπτωση εισδοχής υγρών στη μάζα του, η κυκλοφορία είναι μικρή λόγω του ελαττωμένου δευτερογενούς πορώδους του υλικού. Αυτό οφείλεται στη μεγάλη πλαστικότητα που παρουσιάζει λόγω των μεγάλων πιέσεων που εξασκούνται από τα υπερκείμενα στρώματα.

Η μεγάλη θερμική αγωγιμότητα που έχει το ορυκτό αλάτι ευνοεί την απαγωγή της θερμότητας από τα ραδιενεργά απόβλητα. Το γεγονός αυτό οδηγεί στη βαθμιαία πτώση της θερμοκρασίας των αποβλήτων με αποτέλεσμα την αύξηση της φέρουσας ικανότητας σε φόρτιση του ορυκτού άλατος. Επίσης η ραδιενέργεια που εκλύεται από τα ραδιενεργά απόβλητα επιδρά στα μηχανικά χαρακτηριστικά του ορυκτού άλατος. Έχει υπολογισθεί ότι η ραδιενεργός δόση $5 \cdot 10^8 \text{ R}$ προκαλεί μείωση της αντοχής του σε θλίψη κατά 30-40%. Το ορυκτό αλάτι είναι σχεδόν ισοδύναμο προς το τσιμέντο όσο αφορά την απορροφητικότητα σε γ-ακτινοβολία.

Το ορυκτό αλάτι στην Ελλάδα είναι από τα αρχαιότερα ιζηματογενή κοιτάσματα. Η ηλικία του τοποθετείται στο Τριαδικό. Από τις μέχρι τώρα έρευνες, μόνο στη δυτική Ελλάδα και συγκεκριμένα στις ζώνες Αδριατικοιονίου και Παξών απαντά ορυκτό άλας και κυρίως γύψος.

Η αναζήτηση με βαθιές γεωτρήσεις αποκάλυψε την παρουσία άλατος και γύψου στους Παξούς, τους Φιλιάτες Ηπείρου (μετά τα 1100 μέτρα), την Κλεισούρα Μεσολογγίου (πέραν των 3000 μέτρων), στον Αστακό Αιτωλοακαρνανίας (μετά τα 1500 μέτρα). Ειδικότερα στους Φιλιάτες αποκαλύφθηκαν σε μεγάλα βάθη στρώματα καθαρού άλατος μεγάλου πάχους, χωρίς αναμειξίσεις με γύψο.

Σοβαρές ενδείξεις υπάρξεως άλατος σε μικρά βάθη από την επιφάνεια παρουσιάζονται στην περιοχή Κατούνας Αιτωλοακαρνανίας και Καλπακίου Ιωαννίνων.

Τα μεγαλύτερα κοιτάσματα-εμφανίσεις γύψου εντάσσονται στην σειρά των Τριαδικών εβαποριτών, κατά την πτύχωση και απολεπίωση των οποίων η γύψος ενέργησε με την κινητικότητα της σαν λιπαντικό στρώμα. Οι εμφανίσεις αυτές (λατυποπαγή, ασβεστόλιθοι, γύψος) πιστεύεται ότι προέρχονται από τους ευρισκόμενους στο βάθος εβαπορίτες που ήρθαν στην επιφάνεια κατά μήκος ζωνών επωθήσεως. Άλλωστε οι περιοχές αυτές είναι ενδεικτικές για την έρευνα και εντοπισμό των σωμάτων ορυκτού άλατος, τα οποία θεωρούνται σήμερα από τους καλύτερους αποδέκτες των ραδιενεργών αποβλήτων.

Άλλες περιοχές που πρέπει να ληφθούν υπόψη για εμφανίσεις γύψου στον Ελληνικό χώρο είναι στην δυτική Πελοπόννησο και την Κρήτη.

(γ) Γρανίτες

Ο γρανίτης είναι πλουτώνιο πέτρωμα. Σχηματίστηκε από την άνοδο και ψύξη του μάγματος σε μεγάλο βάθος από την επιφάνεια της γης και εμφανίζεται σήμερα στην επιφάνεια σαν γρανιτικά κοιτάσματα εξαιτίας της διάβρωσης.

Τα ορυκτολογικά συστατικά του γρανίτη είναι: χαλαζίας, αλκαλιούχοι άστριοι (ορθόκλαστο) και μαρμαρυγίας (κυρίως βιοτίτης) ή κεροστίλβη ή αυγίτης. Η μέση αναλογία επί τοις εκατό ενός τυπικού γρανιτικού πετρώματος στα παραπάνω ορυκτά είναι: ορθόκλαστο 45%, αλβίτης 15%, χαλαζίας 30% και βιοτίτης 10% (οι γρανίτες στη χημική τους σύσταση περιέχουν μεγάλη ποσότητα SiO₂ που κυμαίνεται μεταξύ 61-82%). Στην ορυκτολογική σύσταση του γρανίτη συμμετέχουν κατά περίπτωση σε μικρή αναλογία και τα ορυκτά μαγνησίτης, αιματίτης, απατίτης, ζirkόνιο και τουρμαλίνης. Οι κρύσταλλοι των ορυκτών είναι κατά κανόνα ισομεγέθεις (εικόνα ισομεγέθων κόκκων).

Ο γρανίτης είναι κατάλληλο πέτρωμα για αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων όταν είναι συμπαγής διότι είναι πέτρωμα πολύ υψηλών αντοχών που παρουσιάζει πλήρως ελαστική συμπεριφορά με ψαθυρή θραύση. Αντιθέτως όταν η αντοχή του μειώνεται πολύ και εμφανίζεται αποσαθρωμένος, οπότε καθίσταται ακατάλληλος.

δ) Μεταμορφωμένα πετρώματα

Κατάλληλα μεταμορφωμένα πετρώματα για αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων είναι οι χαλαζίτες. Πρόκειται για κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα τα οποία προέρχονται από τη μεταμόρφωση χαλαζιακών ψαμμιτών. Τα πετρώματα αυτά είναι συνήθως συμπαγή και πολύ σκληρά. Στην περίπτωση που οι χαλαζίτες προέρχονται από μεταμόρφωση αργιλικών ψαμμιτών (χαλαζιτικοί σχιστόλιθοι), αυτοί συνοδεύονται από μαρμαρυγίες, η παρουσία των οποίων οφείλεται στη μεταμόρφωση των εν αναμίξει αργιλικών προϊόντων του ψαμμίτη. Οι χαλαζίτες αυτοί, λόγω της παρουσίας των μαρμαρυγιών είναι ασθενέστεροι των προηγούμενων.

Επίσης κατάλληλα πετρώματα είναι οι γνεύσιοι. Εξαιτίας του μεγάλου βαθμού μεταμόρφωσης είναι σκληρά πετρώματα ανάλογα όμως με το επικρατέστερο ορυκτολογικό τους όπως είναι τα φυλοπυριτικά, η σχιστότητά τους υποβιβάζει αυτούς ως προς την σκληρότητά τους σε σχέση με τους γρανίτες.

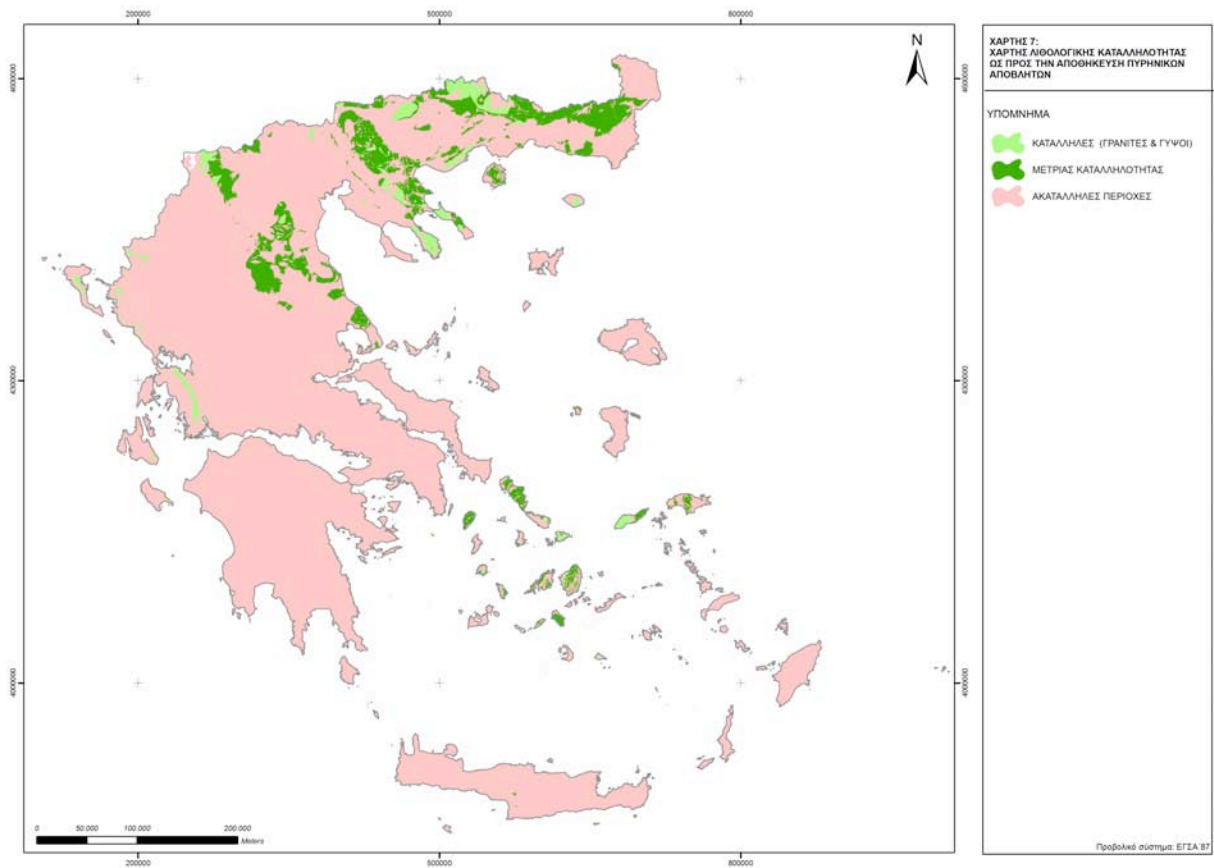
Άλλα μεταμορφωμένα πετρώματα κατάλληλα ως προς την αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων είναι οι φυλλίτες, οι σερπεντινίτες, οι αμφιβολίτες και οι πρασινόλιθοι λόγω της πολύ χαμηλής υδροπερατότητάς τους, όταν εμφανίζονται υγιή.

Όταν στα μεταμορφωμένα πετρώματα υπάρχουν σημαντικές εμφανίσεις μαρμάρων, λόγω της υψηλής υδροπερατότητάς τους, τα πετρώματα αυτά είναι ακατάλληλα για αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων.

3.2.1 Αξιολόγηση καταλληλότητας ως προς την λιθολογία

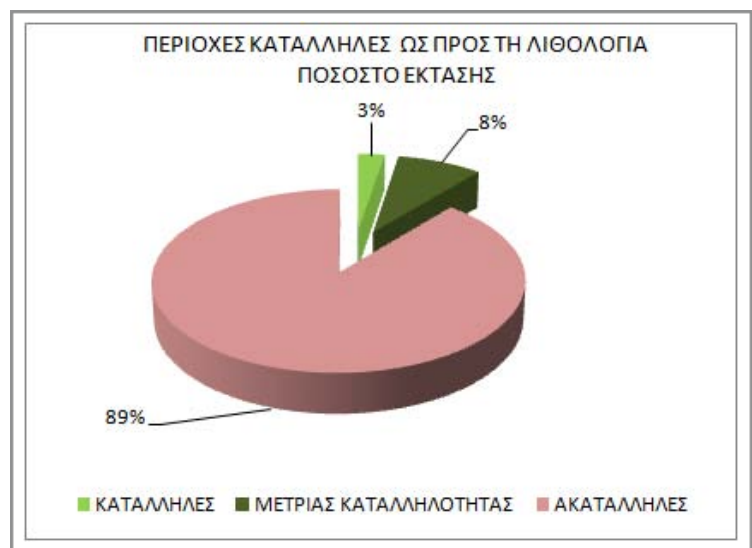
Με κατάλληλη επεξεργασία των λιθολογικών ομάδων όπως αυτές φαίνονται στον Γεωλογικό χάρτη (βλ. χάρτης 1) και με τη βοήθεια του λογισμικού προγράμματος Arcstar, προέκυψε ο «Χάρτης της λιθολογικής καταλληλότητας ως προς την αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων». Οι δέκα λιθολογικές ομάδες της Ελλάδας (βλ. χάρτης 1) αξιολογήθηκαν ως προς την καταλληλότητα τους για αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων. Από την αξιολόγηση αυτή προέκυψαν τρεις κατηγορίες:

- Σχηματισμοί «κατάλληλοι» για αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων. Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει γύψους και γρανίτες. Οι αργιλικοί σχηματισμοί οι οποίοι εμφανίζονται στους νεογενείς και τεταρτογενείς σχηματισμούς δεν περιλαμβάνονται στην κατηγορία αυτή, λόγω αφενός του μικρού πάχους τους και αφετέρου της κοκκομετρικής και λιθολογικής ετερογένειας των σχηματισμών αυτών από τις συχνές εναλλαγές κατά την οριζόντια και κατακόρυφη εξάπλωση. Οι γρανίτες θεωρούνται κατάλληλοι όταν βρίσκονται σε υγιή κατάσταση.
- Σχηματισμοί «μέτριας καταλληλότητας». Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει μεταμορφωμένα πετρώματα. Ιδιαίτερα θα πρέπει να ερευνηθεί η παρουσία μαρμάρων των οποίων η εμφάνιση καθιστά την λιθολογική αυτή ομάδα ακατάλληλη.
- Σχηματισμοί «ακατάλληλοι». Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει τα νεογενή-τεταρτογενή ιζήματα, τη μολάσσα, τον φλύσχη (επειδή παρουσιάζει συχνές εναλλαγές της λεπτομερούς-αργιλικής με την αδρομερή φάση- κροκαλοπαγή ενώ εξάλλου στους υπάρχοντες γεωλογικούς χάρτες δεν έχουν διαχωριστεί οι φάσεις του φλύσχη), τους ασβεστόλιθους και δολομίτες, τους σχιστόλιθους και σχιστοκερατόλιθους με εναλλαγές μαρμάρων, τους οφιόλιθους και τα ηφαιστειακά πετρώματα.

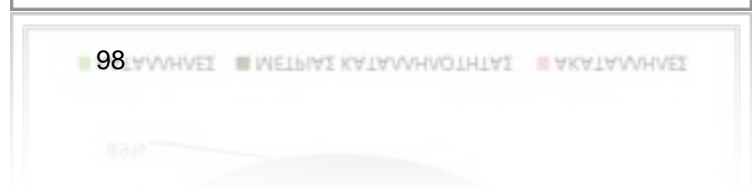


Εικόνα 16: Χάρτης Λιθολογικής καταλληλότητας ως προς την απόθεση πυρηνικών αποβλήτων (βλ. Παράρτημα Χάρτης 7)

Από τον «Χάρτης της λιθολογικής καταλληλότητας ως προς την αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων» διαφαίνεται ότι οι κατάλληλες και μέτριας καταλληλότητας περιοχές για αποθήκευση Πυρηνικών αποβλήτων στον ελλαδικό χώρο, είναι αρκετά περιορισμένης έκτασης. Οι περιοχές αυτές εντοπίζονται κυρίως στην ευρύτερη περιοχή της Θράκης, της Μακεδονίας, της Θεσσαλίας και των νησιών του Αιγαίου.



Εικόνα 17: Περιοχές κατάλληλες ως προς τη λιθολογία - Ποσοστό έκτασης



Η έκταση που καταλαμβάνουν οι κατάλληλες περιοχές είναι 3.500 km², οι μέτριας καταλληλότητας περιοχές 11000 km² και οι ακατάλληλες περιοχές 117,500 km², έναντι της συνολικής έκτασης της Ελλάδας που είναι 132.000 km².

3.3 ΧΑΡΤΗΣ ΖΩΝΩΝ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΑΚΑΤΑΛΛΗΛΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΠΥΡΗΝΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Όπως αναφέρθηκε, τα ρήγματα που εντοπίζονται σε μία περιοχή θα πρέπει να αξιολογούνται, ώστε να καθοριστεί η συσχέτιση αυτών με την καταγεγραμμένη ή μελλοντική σεισμική δραστηριότητα και το πιθανό αντίκτυπο στη σταθερότητα της περιοχής.

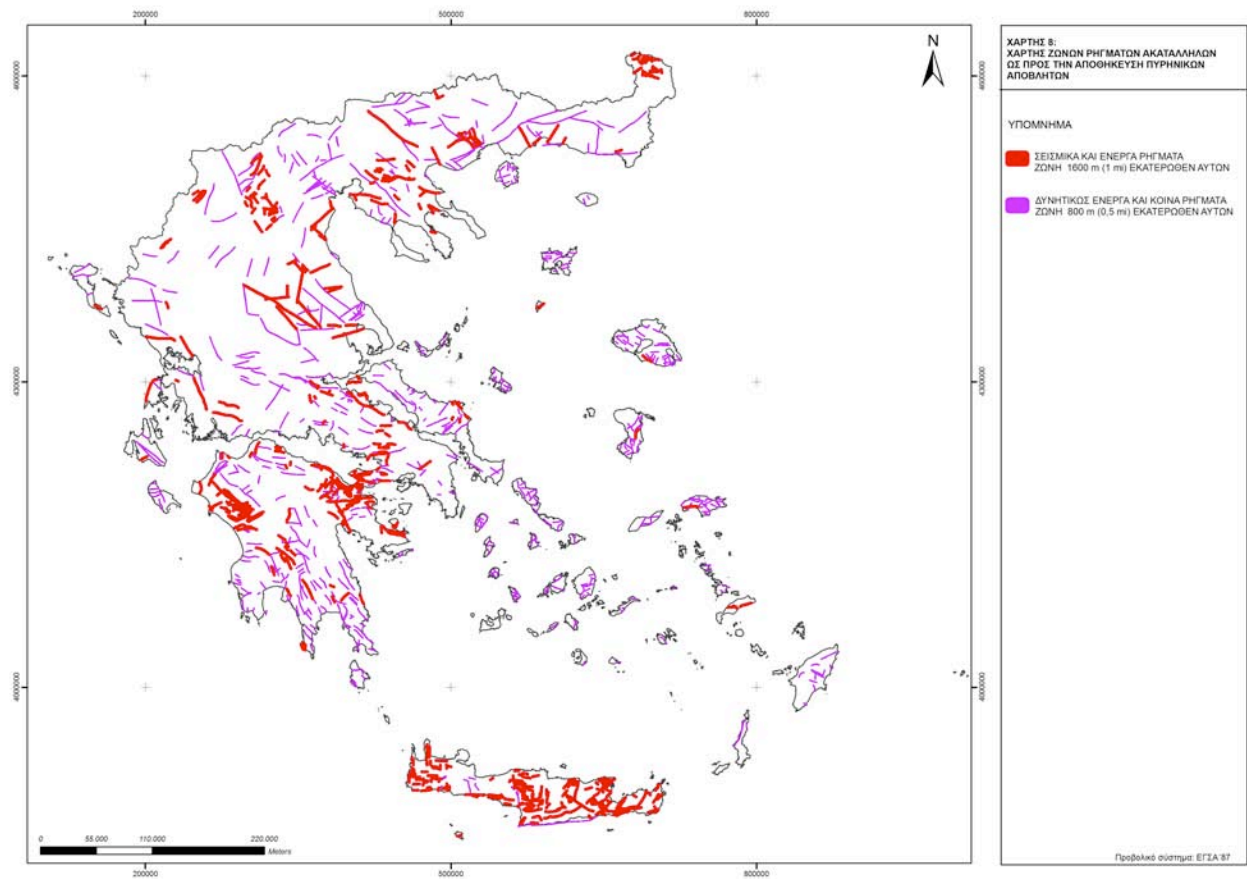
Με κατάλληλη επεξεργασία οι έξι τύποι ρηγμάτων: σεισμικά, ενεργά (ορατά, πιθανά ή καλυμμένα), δυνητικώς ενεργά (ορατά, πιθανά ή καλυμμένα) και κοινά, όπως αυτά φαίνονται στον γεωλογικό χάρτη (βλ. Χάρτης 1) κατατάσσονται σε δύο ομάδες.

Στην πρώτη ομάδα ανήκουν τα σεισμικά και ενεργά ρήγματα (ορατά, πιθανά ή καλυμμένα) τα οποία σχετίζονται με σεισμική δραστηριότητα.

Στην δεύτερη ομάδες ανήκουν τα δυνητικώς ενεργά (ορατά, πιθανά ή καλυμμένα) και τα κοινά ρήγματα. Τα ρήγματα αυτά δεν σχετίζονται άμεσα με σεισμική δραστηριότητα αλλά δεν αποκλείεται η πιθανή μελλοντική τους δράση. Επιπλέον αυτά πρέπει να μελετηθούν περαιτέρω, διότι και ως επιφάνειες ασυνέχειας μπορεί να αποτελέσουν ανοιχτή δίοδο μεταφοράς του πυρηνικού υλικού.

Στην κάθε μία ομάδα ρηγμάτων και με τη βοήθεια του λογισμικού προγράμματος Arcmap, ορίστηκε μία ζώνη ακαταλληλότητας όπως φαίνεται στον «Χάρτη ζωνών ρηγμάτων ακατάλληλων ως προς την αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων». Στον χάρτη αυτό εμφανίζονται δύο κατηγορίες ζωνών ακαταλληλότητας, όπως απαιτείται από την Νομοθεσία:

- Ζώνη πλάτους 3.200 m σεισμικών και ενεργών ρηγμάτων.
- Ζώνη πλάτους 1.600 m δυνητικώς ενεργών και κοινών ρηγμάτων.



Εικόνα 18: Χάρτης Ζωνών Ρηγμάτων ακατάλληλων ως προς την απόθεση Πυρηνικών αποβλήτων (βλ. Παράρτημα Χάρτης 8)

Παρατηρώντας τον «Χάρτη ζωνών ρηγμάτων ακατάλληλων ως προς την αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων» διαφαίνεται ότι σε ολόκληρο τον ελλαδικό χώρο εμ φανίζεται πληθώρα ρηγμάτων, οπότε περιορίζονται σημαντικά οι κατάλληλες περιοχές για αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων.

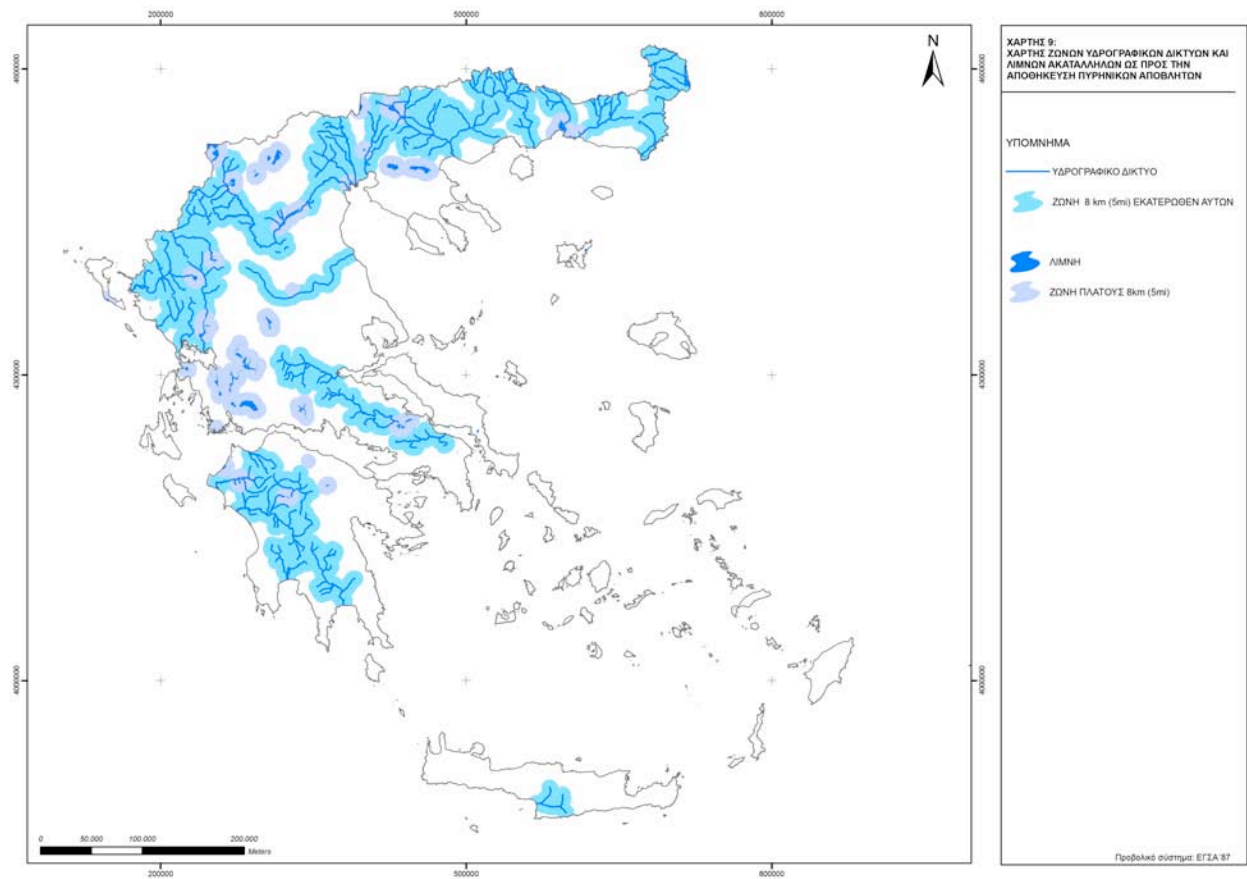
Τέλος πρέπει να γίνει, σε επόμενη φάση, περαιτέρω έλεγχος των ρηγμάτων ως προς την ακριβή τους θέση και το βαθμό ενεργότητάς τους.

3.4 ΧΑΡΤΗΣ ΖΩΝΩΝ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΚΑΙ ΛΙΜΝΩΝ ΑΚΑΤΑΛΛΗΛΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΠΥΡΗΝΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Ένα βασικό κριτήριο αποκλεισμού μιας περιοχής για αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων είναι οι περιοχές εμφάνισης επιφανειακών υδάτων (ποτάμια, λίμνες, τεχνητές λίμνες κ.ά.). Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν οι κύριοι κλάδοι των ποταμών και όχι ολόκληρο το υδρογραφικό δίκτυο. Τα δευτερεύοντα υδρογραφικά δίκτυα θα πρέπει να μελετώνται στην οριστική φάση έρευνας μιας συγκεκριμένης περιοχής.

Από τον Γεωμορφολογικό (βλ. χάρτης 2) χάρτη αντλήθηκε η πληροφορία των υδρογραφικών δικτύων και λιμνών. Με τη βοήθεια του προγράμματος Arcmap και εφαρμόζοντας τους κανόνες ασφαλείας των υπόγειων και μή υδάτων ορίστηκε περιμετρική ζώνη αυτών 8.000 m όπως απαιτείται από τη Νομοθεσία. Η ζώνη αυτή απαιτείται για την αποφυγή διαρροών και εξάπλωσης ραδιενεργών στοιχείων σε ενδεχόμενη τοποθέτηση πυρηνικών αποβλήτων στο υδάτινο περιβάλλον.

Η περιμετρική αυτή ζώνη ακαταλληλότητας φαίνεται στο «χάρτη ζωνών υδρογραφικών δικτύων ακατάλληλων ως προς την αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων»



Εικόνα 19: Χάρτης Ζωνών Υδρογραφικών Δικτύων και Λιμνών ακατάλληλων ως προς την απόθεση πυρηνικών αποβλήτων (βλ. Παράρτημα Χάρτης 9)

Παρατηρώντας τον «Χάρτη ζωνών υδρογραφικών δικτύων ακατάλληλων ως προς την αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων» διαφαίνεται ότι σε ολόκληρο τον ελλαδικό χώρο εμφανίζεται πληθώρα υδρογραφικών δικτύων και λιμνών, οπότε περιορίζονται σημαντικά οι κατάλληλες περιοχές για αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων.

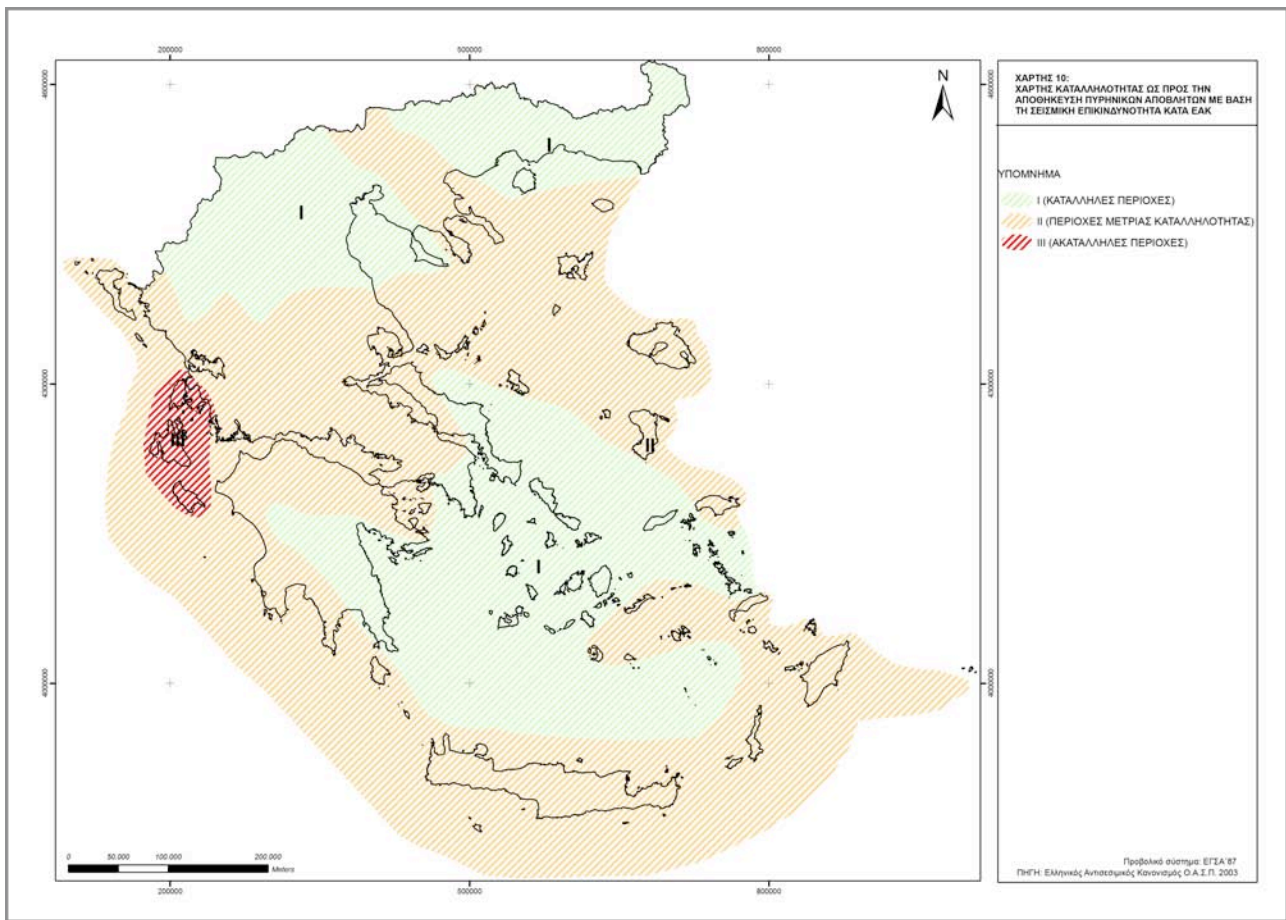
3.5 ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΠΥΡΗΝΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΚΑΤΑ ΕΑΚ

Η σεισμική επικινδυνότητα είναι ένας από τους βασικούς παράγοντες για τον χαρακτηρισμό μιας περιοχής ως προς την καταλληλότητα της για την αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων για δύο κυρίως λόγους. Αφενός γιατί μας δίνει στοιχεία για την σεισμικότητα της περιοχής και αφετέρου για να παρθούν μέτρα αντισεισμικής δόμησης στα έργα υποδομής.

Από Χάρτη Σεισμικής Επικινδυνότητας (βλ. χάρτης 4) και με τη βοήθεια του λογισμικού προγράμματος Arcmap, προέκυψε ο «Χάρτης κατά ΕΑΚ ακαταλληλότητας ως προς την αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων». Οι τρεις χαρακτηριστικές ζώνες ανάλογα των εδαφικών επιταχύνσεων σχεδιασμού του Χάρτη Σεισμικής Επικινδυνότητας ορίστηκαν ως προς την καταλληλότητα για αποθήκευση πυρηνικά απόβλητα σε τρεις αντίστοιχες κατηγορίες:

- Κατάλληλες περιοχές. Οι περιοχές αυτές αντιστοιχούν στη ζώνη I κατά ΕΑΚ, με σεισμική επιτάχυνση $a=0,16g$.
- Περιοχές μέτριας καταλληλότητας. Οι περιοχές αυτές αντιστοιχούν στη ζώνη II κατά ΕΑΚ, με σεισμική επιτάχυνση $a=0,24g$. Στη κατηγορία αυτή σε επόμενη φάση πρέπει να πραγματοποιηθεί Μικροσεισμική μελέτη για τον προσδιορισμό της σεισμικής δραστηριότητας και της σχέσης της προς τις τεκτονικές δομές της περιοχής ενδιαφέροντος που η εμφάνισή τους δεν επιτρέπει κατηγορηματική γνώμη ως προς το σεισμολογικό χαρακτήρα τους.
- Ακατάλληλες περιοχές. Οι περιοχές αυτές αντιστοιχούν στη ζώνη III κατά ΕΑΚ, με σεισμική επιτάχυνση $a=0,36g$.

Σημαντικός παράγοντας για τον χαρακτηρισμό μιας περιοχής ως προς την καταλληλότητα αποθήκευσης πυρηνικών αποβλήτων είναι η καταγραφή σεισμών με ένταση πάνω από 4.5 R. Επειδή όμως σύμφωνα με τη διεθνή Νομοθεσία οι ενδεχομένως κατάλληλες περιοχές, θα πρέπει να καθορίζονται σε απόσταση 200 και πάνω μιλίων από γνωστά καταγεγραμμένα σεισμικά επίκεντρα και σε σχέση με την μεγάλη σεισμικότητα της χώρας αποκλείεται ολόκληρη η Ελλάδα, ο παράγοντας αυτός δεν αξιολογήθηκε στην παρούσα εργασία.



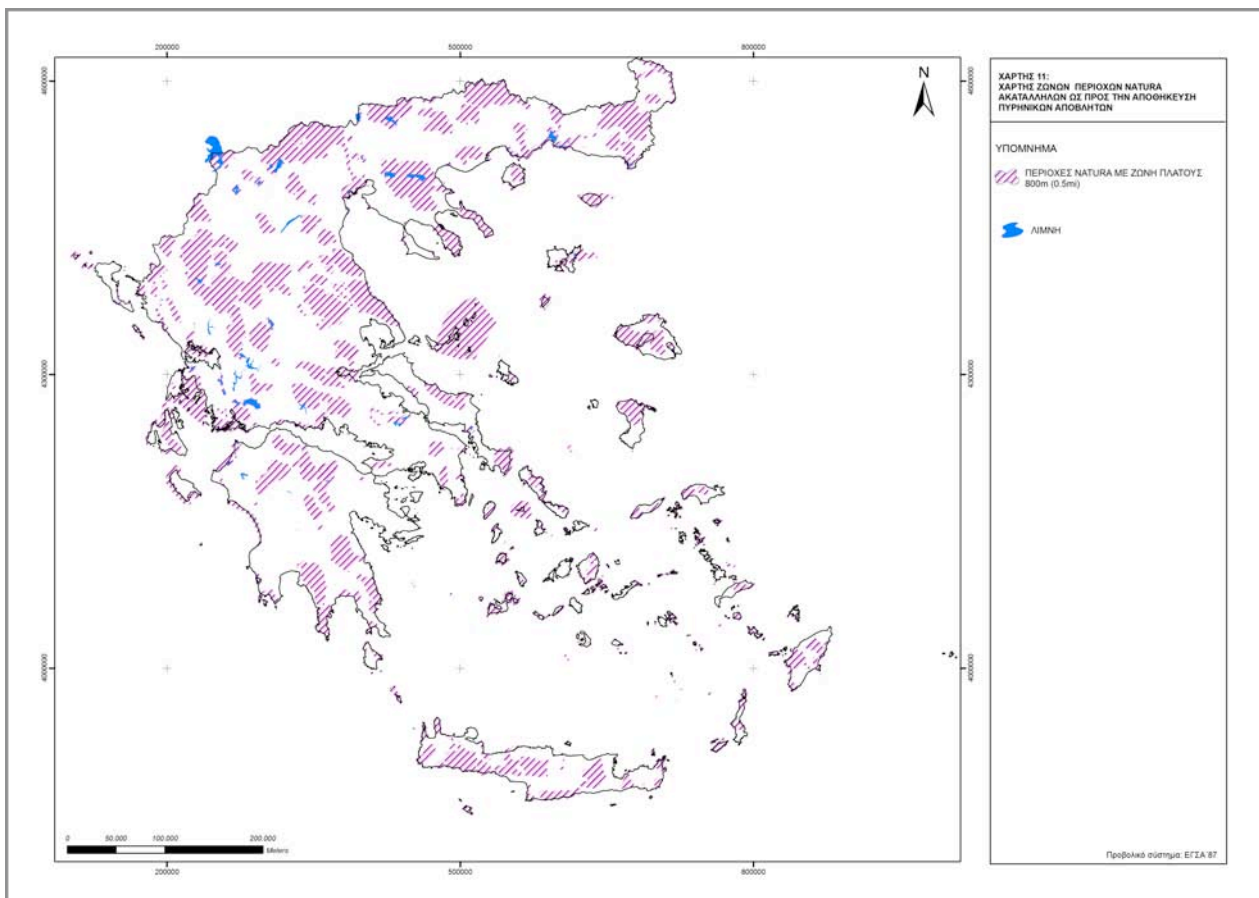
Εικόνα 20: Χάρτης καταλληλότητας ως προς την αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων με βάση τη σεισμική επικινδυνότητα κατά ΕΑΚ (βλ. Παράρτημα Χάρτης 10)

3.6 ΧΑΡΤΗΣ ΖΩΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ NATURA ΑΚΑΤΑΛΛΗΛΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΠΥΡΗΝΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Κριτήρια αποκλεισμού μιας περιοχής ως προς την καταλληλότητα αποθήκευσης πυρηνικών αποβλήτων είναι οι προστατευόμενες περιοχές φυσικής βιοποικιλότητας και άγριας πανίδας.

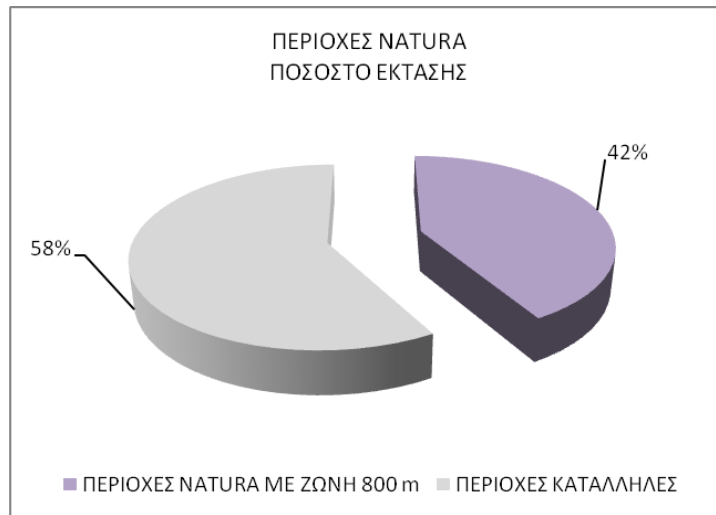
Από τον χάρτη NATURA (βλ. χάρτης 5) όπου εμφανίζονται τρεις κατηγορίες προστατευόμενων περιοχών α) Τόπιοι Κοινοτικής Σημασίας (SCI), β) Ζώνες Ειδικής Προστασίας (SPA) και γ) ο συνδυασμός των δύο SCI- SPA, προέκυψε ο «χάρτης ζωνών περιοχών NATURA ακατάλληλων ως προς την αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων. Στον χάρτη αυτό και με τη βοήθεια του λογισμικού προγράμματος Arcmap, ορίστηκε ζώνη 800 m περιμετρικά και των τριών παραπάνω κατηγοριών, όπως προβλέπεται από την Ευρωπαϊκή Νομοθεσία.

Επίσης στον χάρτη αυτό εμφανίζονται και οι λίμνες, ορισμένες από τις οποίες ανήκουν στο δίκτυο NATURA.



Εικόνα 21: Χάρτης ζωνών περιοχών NATURA ακατάλληλων ως προς την αποθήκευση πυρηνικών (βλ. Παράρτημα Χάρτης 11)

Η έκταση που καταλαμβάνουν οι περιοχές NATURA είναι 55.000 km² έναντι της συνολικής έκτασης της Ελλάδας που είναι 132.000 km².



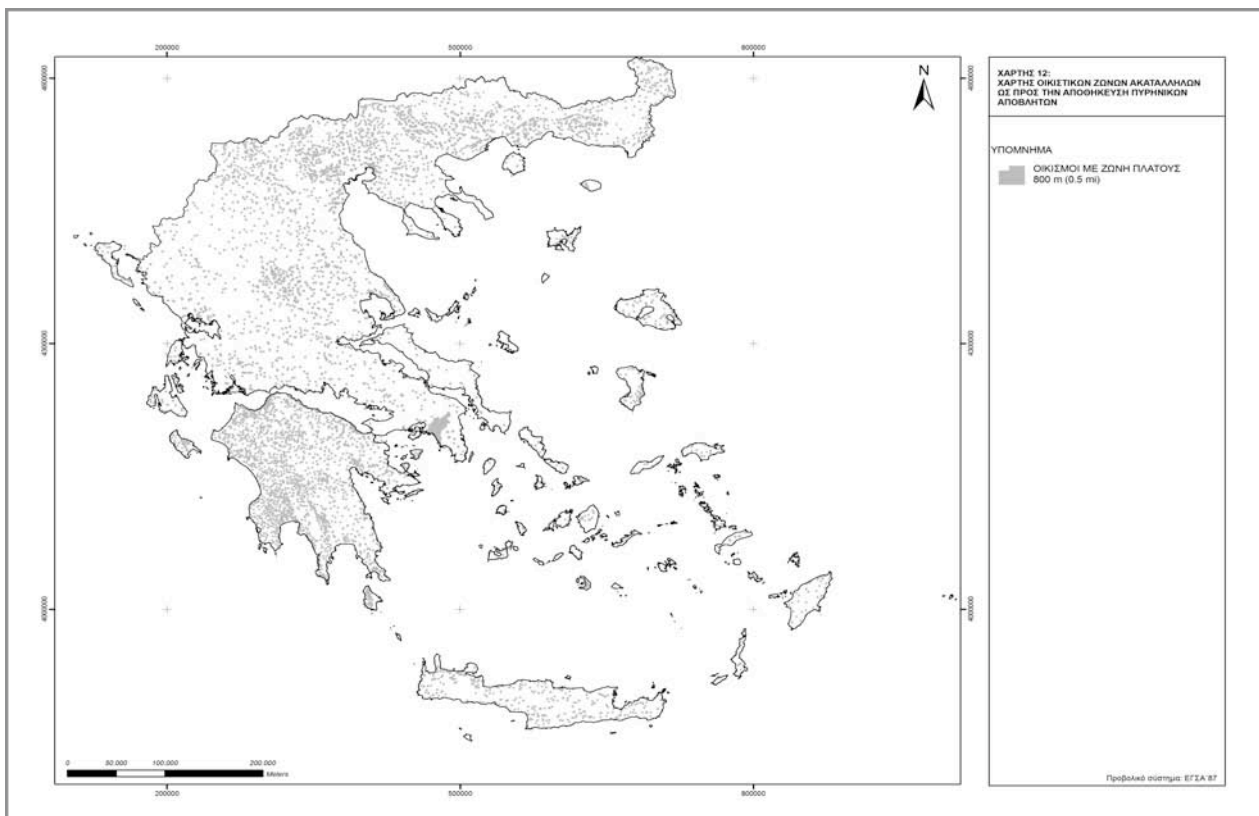
Εικόνα 22: Περιοχές Natura - Ποσοστό έκτασης

3.7 ΧΑΡΤΗΣ ΟΙΚΙΣΤΙΚΩΝ ΖΩΝΩΝ ΑΚΑΤΑΛΛΗΛΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΠΥΡΙΝΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Οι κατάλληλες περιοχές ως προς την αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων δεν μπορούν να βρισκονται κοντά σε οποιοσδήποτε εγκαταστάσεις ή χώρους όπου εκτελούνται δραστηριότητες, κοντά σε πληθυσμό ή κοντά σε περιοχές με δυνατότητες επέκτασης και ανάπτυξης γιατί κάτι τέτοιο θα επηρέαζε την λειτουργία των υποδομών και της οικονομικής και κοινωνικής ζωής.

Από τον Χάρτη Αστικού περιβάλλοντος (βλ. χάρτης 6) όπου παρουσιάζονται οι πόλεις και κωμοπόλεις προέκυψε ο «Χάρτης οικιστικών ζωνών ακατάλληλων ως προς την αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων».

Στον χάρτη αυτό και με τη βοήθεια του λογισμικού προγράμματος Arcmap, ορίστηκε ζώνη 800 m περιμετρικά και των πόλεων και κωμοπόλεων, όπως προβλέπεται από την Νομοθεσία.



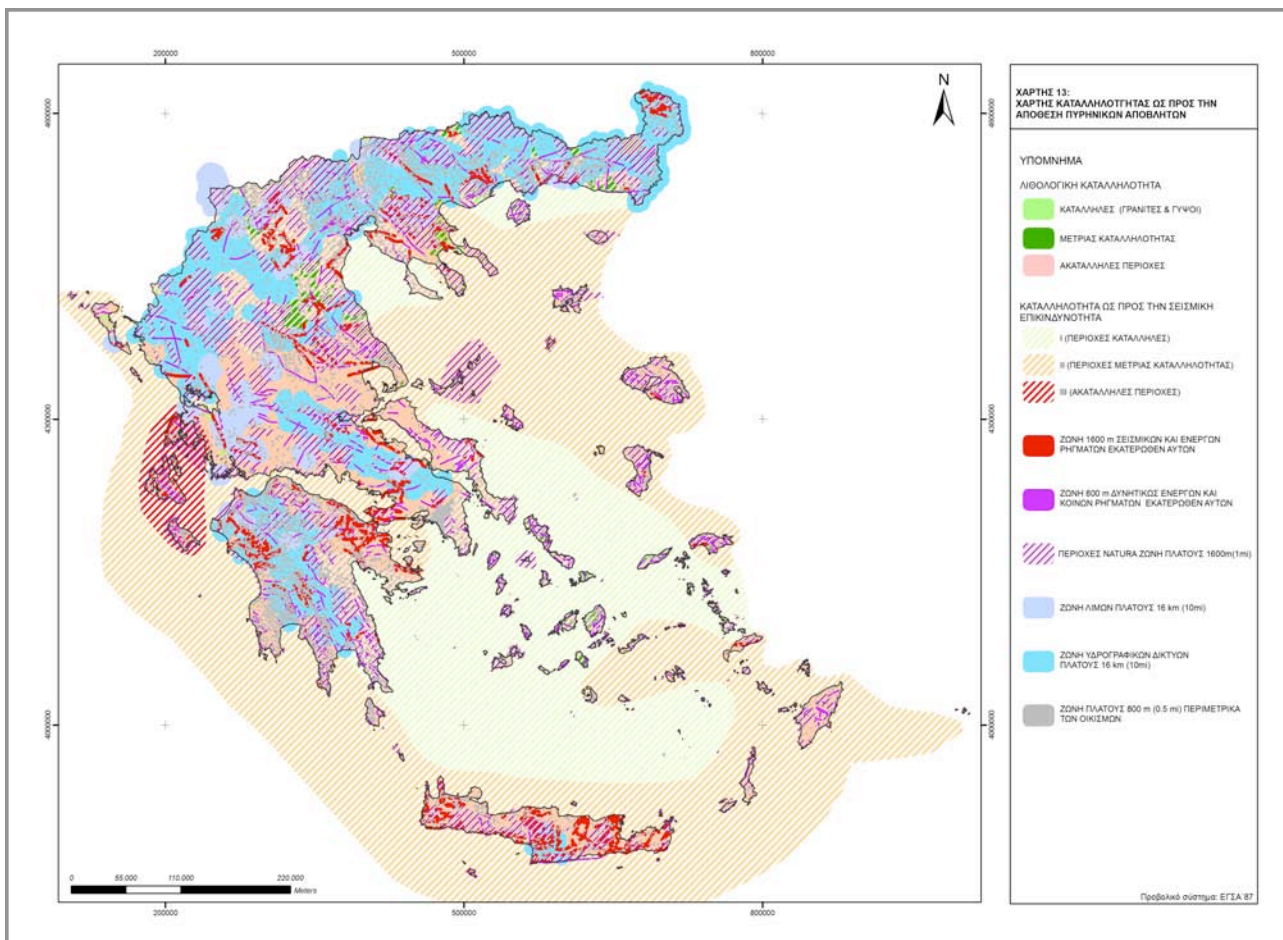
Εικόνα 23: Χάρτης οικιστικών ζωνών ακατάλληλων ως προς την αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων (βλ. Παράρτημα Χάρτης 12)

3.8 ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΠΥΡΗΝΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Από τη συναξιολόγηση των παραπάνω θεματικών χαρτών:

1. *«Χάρτης της λιθολογικής καταλληλότητας ως προς την αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων»*
2. *«Χάρτη ζωνών ρηγμάτων ακατάλληλων ως προς την αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων».*
3. *«Χάρτη ζωνών υδρογραφικών δικτύων ακατάλληλων ως προς την αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων»*
4. *«Χάρτης κατά ΕΑΚ ακαταλληλότητας ως προς την αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων»*
5. *«Χάρτης ζωνών περιοχών NATURA ακατάλληλων ως προς την αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων»*
6. *«Χάρτης οικιστικών ζωνών ακατάλληλων ως προς την αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων»*

προέκυψε ο «Συνθετικός χάρτης καταλληλότητας ως προς την αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων», με βάση, όπως αναλύθηκε σε προηγούμενα κεφάλαια, κριτήρια (γεωλογικά, γεωμορφολογικά, σεισμικά, περιβαλλοντικά και αστικού περιβάλλοντος) και τον αντίστοιχο χαρακτηρισμό των περιοχών τους ως προς την καταλληλότητα (βλ. χάρτης 13Α).

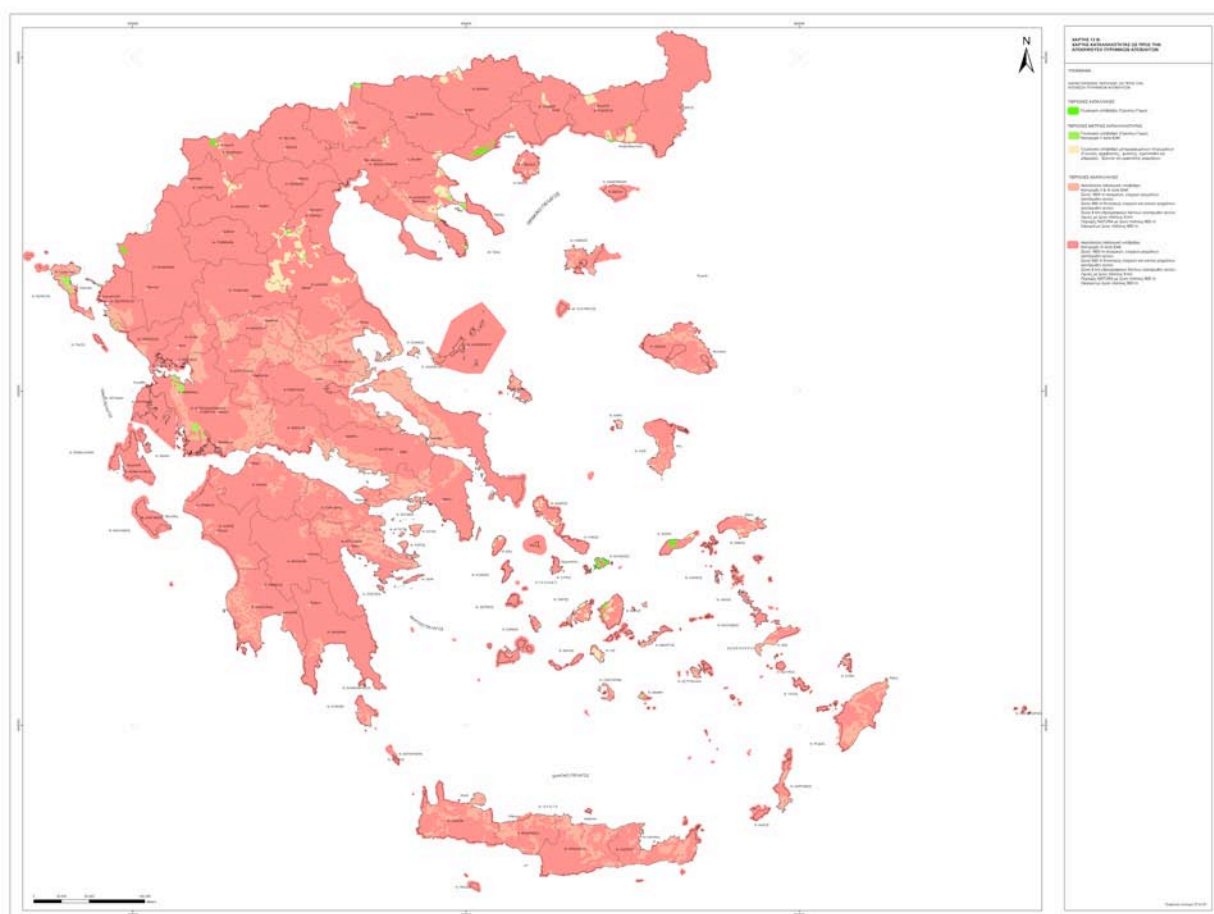


Εικόνα 24: Συνθετικός Χάρτης καταλληλότητας ως προς την αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων (βλ. Παράρτημα Χάρτης 13Α)

Από τον συνδυασμό όλων των παραπάνω κριτηρίων, για την καταλληλότητα αποθήκευσης πυρηνικών αποβλήτων στον ελλαδικό χώρο, με τον αντίστοιχο χαρακτηρισμό των περιοχών ως προς την καταλληλότητα κατασκευάστηκε ο τελικός «Χάρτης καταλληλότητας ως προς την αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων» στον οποίο φαίνονται οι εξής κατηγορίες:

- Περιοχές κατάλληλες ως προς αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται περιοχές όπου απαντούν γύψοι και γρανίτες.
- Περιοχές μέτριας καταλληλότητας ως προς αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται περιοχές με μεταμορφωμένα πετρώματα και οι περιοχές με γρανίτες και γύψους, αλλά σε συνδυασμό με την σεισμική επικινδυνότητα (περιοχή κατηγορίας II).
- Περιοχές ακατάλληλες ως προς αποθήκευσης πυρηνικών αποβλήτων. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται περιοχές με νεογενή-τεταρτογενή ιζήματα, μολάσσα,

φλύσχη, ασβεστόλιθους και δολομίτες, σχιστόλιθους και σχιστοκερατόλιθους με εναλλαγές μαρμάρων, οφιόλιθους και ηφαιστειακά πετρώματα. Επίσης περιλαμβάνεται η περιοχή III της σεισμικής επικινδυνότητας, οι ζώνες των σεισμικών και ενεργών ρηγμάτων πλάτους 1600 m εκατέρωθεν αυτών, οι ζώνες των δυνητικώς ενεργών και κοινών ρηγμάτων με πλάτος 800 m εκατέρωθεν αυτών, οι περιοχές NATURA με ζώνη πλάτους 800 m, οι λίμνες με ζώνη πλάτους 8 km, τα υδρογραφικά δίκτυα με ζώνη 8 km εκατέρωθεν αυτών, και οι οικισμοί με ζώνη πλάτους 800 m. Επιπλέον περιλαμβάνονται και οι περιοχές κατηγορίας II του Χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας, σε συνδυασμό με όλους τους παραπάνω ακατάλληλους χαρακτηρισμούς κριτηρίων.



Εικόνα 25: Χάρτης καταλληλότητας ως προς την αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων (βλ. Παράρτημα Χάρτης 13B)

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Βασικός σκοπός της παρούσης διπλωματικής εργασίας είναι ο εντοπισμός κατάλληλων περιοχών για την αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων στον Ελλαδικό χώρο.

Τα κριτήρια για την επιλογή των περιοχών αυτών αφορούν σαφείς εκτιμήσεις για την υγεία και την ασφάλεια των πολιτών, καθώς και εκτιμήσεις οι οποίες αφορούν σε γεωλογικές, υδρογεωλογικές, υδρολογικές, σεισμολογικές και περιβαλλοντικές παραμέτρους (τοπογραφία της περιοχής, πλημμύρες, περατότητα σχηματισμών, σεισμοί, ρήγματα, προστασία και εκμετάλλευση φυσικών πόρων, του περιβάλλοντος και της άγριας ζωής). Για κάθε ένα από τα κριτήρια αυτά ελήφθη υπόψη η σχετική Νομοθεσία και οι αντίστοιχοι συγκεκριμένοι ποσοτικοί περιορισμοί που αυτή θέτει.

Ο εντοπισμός των κατάλληλων περιοχών επιτυγχάνεται με τη εφαρμογή ενός μοντέλου που επεξεργάζεται δεδομένα σχετικά με κριτήρια καταλληλότητας, με τη βοήθεια του λογισμικού προγράμματος Arcmap, και δίνει χωρικά αποτελέσματα. Το μοντέλο που παρουσιάζεται στην παρούσα εργασία, έχει τη δυνατότητα να προσαρμόζεται στις ανάγκες παραμετρικής ανάλυσης σε τυχόν μελλοντικές αλλαγές. Η μέθοδος αυτή είναι απλή στη χρήση, και δύναται να εφαρμοστεί και σε άλλες έρευνες. Επιπλέον η συλλογή των δεδομένων γίνεται χωρίς ιδιαίτερα προβλήματα.

Τα δεδομένα παρουσιάστηκαν σε θεματικούς χάρτες από τους οποίους προέκυψε ο τελικός χάρτης καταλληλότητας για αποθήκευση Πυρηνικών Αποβλήτων.

Κατάλληλες περιοχές εντοπίστηκαν, στο νοτιοδυτικό τμήμα του νομού Καβάλας, στα νησιά Μύκονο, Ικαρία και μικρότερης έκτασης περιοχές εντοπίστηκαν στο νησί της Νάξου, στο βόρειο τμήμα του νομού Φλώρινας και στα βορειοδυτικά του νομού Ιωαννίνων.

Όπως διαφαίνεται η καταλληλότητα αφορά περιοχές νησιών που είναι τουριστικά αξιοποιημένα καθώς και δυσπρόσιτες περιοχές, γεγονός που δυσχεραίνει και την μεταφορά των πυρηνικών αποβλήτων. Επιπλέον αφορούν εκτάσεις μικρού μεγέθους, οπότε θεωρούμε σχεδόν αδύνατη την αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων.

Οι περιοχές μέτριας καταλληλότητας χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης α) ως προς το λιθολογικό τους υπόβαθρο όπου θα πρέπει να ερευνηθεί η παρουσία και η έκταση των μαρμάρων στην ομάδα των μεταμορφωμένων σχηματισμών, που καθιστούν την περιοχή ακατάλληλη και β) ως την σεισμική τους επικινδυνότητα της ζώνης II κατά ΕΑΚ, όπου θα πρέπει να πραγματοποιηθούν μικροσεισμικές έρευνες για τον προσδιορισμό της σεισμικής δραστηριότητας και της σχέσης της προς τις τεκτονικές δομές της περιοχής ενδιαφέροντος,

που η εμφάνισή τους δεν επιτρέπει κατηγορηματική γνώμη ως προς το σεισμολογικό χαρακτήρα τους.

Σε δεύτερη φάση θα πρέπει να αξιολογηθούν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των κατάλληλων και μέτριας καταλληλότητας περιοχών σε επόμενη ερευνητική φάση ως προς την λιθολογική και τεκτονική τους δομή, τα γεωμορφολογικά, γεωτεχνικά, υδρογεωλογικά, υδρολογικά, σεισμοτεκτονικά περιβαλλοντικά και κοινωνικοοικονομικά στοιχεία.

Επιπλέον σε επόμενη φάση θα πρέπει να διερευνηθούν και άλλοι παράγοντες οι οποίοι δεν έχουν μελετηθεί στην παρούσα διπλωματική εργασία όπως, μετεωρολογικές και κλιματολογικές συνθήκες (ακραία και βίαια καιρικά φαινόμενα όπως ανεμοστρόβιλοι, καταιγίδες κ.ά.), χώροι εκμετάλλευσης φυσικών πόρων (νερό, μεταλλεύματα κ.ά.), δημογραφικά στοιχεία και χρήση της γης (μελλοντική ανάπτυξη της περιοχής και του πληθυσμού) καθώς και τρόπος μεταφοράς των πυρηνικών αποβλήτων στους χώρους αποθήκευσης.

Τέλος θα πρέπει να τονιστεί ότι η παρούσα εργασία αποτελεί μια πιλοτική μελέτη σε γενική κλίμακα για όλο τον ελληνικό χώρο και για την εξέταση συγκεκριμένων περιοχών απαιτούνται πιο λεπτομερείς έρευνες πεδίου και εργαστηρίου.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ :

Χάρτης 1: Γεωλογικός Χάρτης της Ελλάδος.

Χάρτης 2: Γεωμορφολογικός Χάρτης της Ελλάδος.

Χάρτης 3: Χάρτης Σεισμικών Επίκεντρων της Ελλάδος.

Χάρτης 4: Χάρτης Σεισμικής Επικινδυνότητας κατά ΕΑΚ.

Χάρτης 5: Χάρτης NATURA.

Χάρτης 6: Αστικός Χάρτης της Ελλάδος.

Χάρτης 7: Χάρτης Λιθολογικής καταλληλότητας ως προς την απόθεση πυρηνικών αποβλήτων.

Χάρτης 8: Χάρτης Ζωνών Ρηγμάτων ακατάλληλων ως προς την απόθεση Πυρηνικών αποβλήτων.

Χάρτης 9: Χάρτης Ζωνών Υδρογραφικών Δικτύων και Λιμνών ακατάλληλων ως προς την απόθεση πυρηνικών αποβλήτων.

Χάρτης 10: Χάρτης καταλληλότητας ως προς την αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων με βάση τη σεισμική επικινδυνότητα κατά ΕΑΚ.

Χάρτης 11: Χάρτης ζωνών περιοχών NATURA ακατάλληλων ως προς την αποθήκευση πυρηνικών.

Χάρτης 12: Χάρτης οικιστικών ζωνών ακατάλληλων ως προς την αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων.

Χάρτης 13Α: Συνθετικός Χάρτης καταλληλότητας ως προς την αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων.

Χάρτης 13Β: Χάρτης καταλληλότητας ως προς την αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

- [1] http://europa.eu/legislation_summaries/energy/index_el.htm
- [2] http://europa.eu/legislation_summaries/energy/nuclear_energy/index_el.htm#
- [3] http://ec.europa.eu/eu_law/introduction/what_regulation_el.htm
- [4] http://ec.europa.eu/eu_law/introduction/what_directive_el.htm
- [5] http://ec.europa.eu/eu_law/introduction/what_decision_el.htm
- [6] http://ec.europa.eu/eu_law/introduction/commission_role_el.htm
- [7] http://europa.eu/legislation_summaries/energy/nuclear_energy/treaties_euratom_el.htm
- [8] http://europa.eu/legislation_summaries/energy/nuclear_energy/l27053_en.htm
- [9] http://europa.eu/legislation_summaries/energy/nuclear_energy/en0010_en.htm
- [10] http://europa.eu/legislation_summaries/energy/nuclear_energy/c11142_en.htm
- [11] http://europa.eu/legislation_summaries/energy/nuclear_energy/l27049_el.htm
- [12] http://europa.eu/legislation_summaries/energy/nuclear_energy/l27080_el.htm
- [13] http://europa.eu/legislation_summaries/energy/nuclear_energy/l27054_en.htm
- [14] http://europa.eu/legislation_summaries/energy/nuclear_energy/l27051_en.htm
- [15] http://europa.eu/legislation_summaries/energy/nuclear_energy/l27073_el.htm
- [16] http://europa.eu/legislation_summaries/energy/nuclear_energy/l11020_el.htm
- [17] http://europa.eu/legislation_summaries/energy/nuclear_energy/l28099_el.htm
- [18] www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/LTS-RW_web.pdf
- [19] http://www.pacode.com/secure/data/025/chapter236/025_0236.pdf
- [20] http://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_waste_disposal
- [21] http://pangea.gr/gr/natural_stones2.shtml
- [22] <http://www.scribd.com/doc/36057111/5a-IZHMATOGENESH>
- [23] <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A6%CE%BB%CF%8D%CF%83%CF%87%CE%B7%CF%82>

- [24] <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%94%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%BC%CE%AF%CF%84%CE%B7%CF%82>
- [25] http://pangea.gr/gr/pet_igneous.shtml
- [26] http://pangea.gr/gr/natural_stones4.shtml
- [27] <http://www.arcgisacademy.gr/arcgis.html>
- [28] <http://www.epa.gov/radiation/docs/radwaste/>
- [29] <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/rwmp-3/INTRODUCTION.pdf>
- [30] <http://www.oasp.gr/sites/default/files/01-60.pdf>
- [31] <http://www.rules.utah.gov/publicat/code/r313/r313-025.htm>
- [32] http://pangea.gr/gr/natural_stones3.shtml
- [33] <http://kireas.org/smf/index.php?PHPSESSID=20b3237422c14d6319c95e28dfa510c2&topic=297.msg393#msg393>
- [34] Κούκη Γ, Τσιαμπάου Γ, Φυσικές –Μηχανικές ιδιότητες του ορυκτού άλατος και δυνατότητα χρησιμοποίησής του σαν αποδέκτη των ραδιενεργών αποβλήτων.
- [35]] Κούκη Γ, Τσιαμπάου Γ, Τεχνικογεωλογικές συνθήκες για την εγκατάσταση πυρηνοληλεκτρικών σταθμών στον Ελληνικό χώρο.
- [36] Παυλίδης Β.Σ, Γεωλογία των σεισμών. Εισαγωγή στη νεοτεκτονική μορφοτεκτονική και παλαιοσεισμολογία. 2003
- [37] J.R.Clifton, James M. Pommersheim, Kenneth Snyder, "Long-Term Performance of Engineered Concrete Barriers, 1995
- [38] Μπορνόβας Ι και Ροντογιάννη Θ., 1983. Γεωλογικός χάρτης Ελλάδας, κλίμακας 1:500.000 (ΙΓΜΕ)
- [39] Τοπογραφικός χάρτη κλίμακας 1:500.000 (Γ.Υ.Σ.)
- [40] Σεισμοτεκτονικός χάρτης (ΙΓΜΕ, 1988)
- [41] Χάρτης ΕΑΚ (Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός, 2003)
- [42] Ψηφιακά δεδομένα Σεισμικών Επικέντρων (Μακροπούλος et al (1989), Κομνηνάκης – Παπαζάχου (1986), Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του Εθνικού Αστεροσκοπείου (2005)
- [43] Ψηφιακά δεδομένα περιοχών NATURA (Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΥΠΕΚΑ)

[44] Ψηφιακά δεδομένα Πόλεων (Οργανισμός Κτηματολογίου Χαρτογραφήσεων Ελλάδας (ΟΚΧΕ)).