

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ



**ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ
ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ**

**Η ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΤΟ ΘΑΛΑΣΣΙΟ
ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑ- ΠΥΡΗΝΙΚΑ
ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ- ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ
ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ CASE STUDY: FUKUSHIMA
DAI-ICHI ACCIDENT**

Τυράσκη Βασιλική

Διπλωματική εργασία

**Που υποβλήθηκε στο τμήμα Ναυτιλιακών σπουδών του Πανεπιστημίου
Πειραιώς ως μέρος των απαιτήσεων για την απόκτηση του μεταπτυχιακού
διπλώματος Ειδίκευσης στη Ναυτιλία**

**Πειραιάς
Ιανουάριος 2014**

Δήλωση αυθεντικότητας

«Το άτομο το οποίο εκπονεί τη διπλωματική εργασία φέρει ολόκληρη την ευθύνη προσδιορισμού της δίκαιης χρήσης του υλικού η οποία ορίζεται στη βάση των εξής παραγόντων: του σκοπού και χαρακτήρα της χρήσης (εμπορικός μη κερδοσκοπικός ή εκπαιδευτικός) της φύσης του υλικού που χρησιμοποιεί (τμήμα του κειμένου, πίνακες, σχήματα, εικόνες, χάρτες), του ποσοστού και της σημαντικότητας του τμήματος που χρησιμοποιεί σε σχέση με όλο το κείμενο υπό copyright και των πιθανών συνεπειών της χρήσης αυτής στην αγορά ή στη γενικότερη αξία του υπό copyright κειμένου»

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

«Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εγκρίθηκε ομόφωνα από Τριμελή Εξεταστική Επιτροπή που ορίστηκε από την ΓΣΕΣ του Τμήματος Ναυτιλιακών Σπουδών Πανεπιστημίου Πειραιώς σύμφωνα με τον Κανονισμό Λειτουργίας του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών στην Ναυτιλία.

Τα μέλη της Επιτροπής ήταν:

Τσελεπίδης Αναστάσιος (επιβλέπων)

Σακελλαριάδου Φανή

Τσελέντης Βασίλειος

Η έγκριση της Διπλωματικής Εργασίας από το Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών του Πανεπιστημίου Πειραιά δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα»

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια της ολοκλήρωσης των σπουδών μου στο Μεταπτυχιακό τμήμα ναυτιλιακών σπουδών του Πανεπιστημίου Πειραιά.

Πραγματοποιήθηκε μεγάλη προσπάθεια εύρεσης στοιχείων χρήσιμων για την τεκμηρίωση του περιεχομένου της μιας και μετά από κάθε πυρηνικό ατύχημα τα πρώτα χρόνια είναι ασαφή και αντικρουόμενα πολλά στοιχεία που δίνονται ως ενημέρωση. Επίσης έγινε μεγάλη προσπάθεια να μεταφραστούν και να αποδοθούν όλες οι πηγές με απλότητα λόγου χωρίς να χαθεί όμως η αρτιότητά τους.

Ευχαριστώ ιδιαίτερα τον καθηγητή και μεγάλο επιστήμονα Α. Τσελεπίδη για την καθοδήγησή του, νιώθω τυχερή που βρέθηκε στην φοιτητική μου πορεία. Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους επιβλέποντες καθηγητές για το χρόνο που αφιέρωσαν και φυσικά όλους τους καθηγητές του μεταπτυχιακού προγράμματος για όλες τις γνώσεις και εμπειρίες που μου μετέφεραν.

Τέλος ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου για την στήριξη και την συμπαράστασή της.

«Everyone talks about leaving a better planet for our kids. Let's try to leave better kids
for our planet»
-Unknown-

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η θάλασσα είναι ο χώρος εναπόθεσης πολλών αποβλήτων που προέρχονται από την ανθρώπινη δραστηριότητα. Παρόλη την μεγάλη διαλυτική ικανότητα της έχουν παρατηρηθεί βλάβες και καταστροφές θαλάσσιων οικοσυστημάτων εξαιτίας της θαλάσσιας ρύπανσης από διάφορους παράγοντες. Ένας από αυτούς τους παράγοντες είναι τα πυρηνικά ατυχήματα, των οποίων οι συνέπειες είναι βραχυπρόθεσμες αλλά και μακροπρόθεσμες εξαιτίας του μεγάλου χρόνου ημιζωής κάποιων ραδιοϊσοτόπων αλλά και της αθροιστικής συγκέντρωσής τους στους οργανισμούς. Συγκεκριμένα το ατύχημα στον πυρηνικό σταθμό της Φουκουσίμα τον Μάρτιο του 2011 προκάλεσε μεγάλη οικολογική καταστροφή στη γύρω περιοχή αλλά οι συνέπειές του στο θαλάσσιο οικοσύστημα δε σταματούν εκεί. Συνεχώς παρατηρούνται ανωμαλίες στο θαλάσσιο οικοσύστημα ακόμα και σε πιο απομακρυσμένες περιοχές από εκείνες του ατυχήματος ακόμα και 2 χρόνια μετά.

ABSTRACT

The sea is where deposition of waste derived from human activities takes place. Despite its dilution capability, damage and destruction to local ecosystems have been observed because of marine pollution due to several factors. One of these factors are nuclear accidents which have catastrophic consequences both in the short and long term. This happens because of the long half-life of certain radioisotopes and their bioaccumulation in organisms that cause mutation and death. The nuclear accident of Fukushima (March 2011) has caused significant marine ecological destruction in the vicinity of the power plants and the consequences will be long-lasting. Two years after the accident, and even in regions that are not near the power plants, new abnormalities in the marine ecosystem are continuously being observed.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ:

Κεφάλαιο 1 – Ραδιενέργεια

1.1 Ορισμός.....	9
Ιονίζουσα ακτινοβολία.....	9
Μη ιονίζουσα ακτινοβολία.....	11
1.2 Μονάδες μέτρησης ραδιενέργειας.....	11
1.2.1. Σε σχέση με ανθρώπινους ιστούς.....	11
1.3 Χρόνος ημιζωής	14
1.4. Πηγές ραδιενέργειας.....	15
1.4.1.Πηγές εξωτερικής ακτινοβόλησης.....	15
1.4.2.Πηγές εσωτερικής ακτινοβόλησης.....	16
1.4.3.Τεχνητές πηγές ακτινοβόλησης.....	17
1.5. Ραδιενεργά απόβλητα – διαχωρισμός.....	18
1.5.1.VLLW.....	18
1.5.2.LLW.....	18
1.5.3.ILW.....	18
1.5.4.HLW.....	18

Κεφάλαιο 2 - Θάλασσα και ραδιενέργεια

2.1 Θάλασσα και ρύποι.....	20
2.2 Ορισμός θαλάσσιας ρύπανσης.....	20
2.3 Ραδιενεργοί ρύποι στη θάλασσα.....	21
2.3.1.Πυρηνικές δοκιμές όπλων.....	21
2.3.1.1 Στρόντιο 90.....	23
2.3.1.2.Καίσιο 137.....	25
2.3.2. Πυρηνική επεξεργασία.....	26
2.3.2.1.Τρίτιο.....	28
2.3.2.2.Τεχνητό 99.....	29
2.3.2.3 Ιώδιο 129.....	31
2.3.3. Χρήση ραδιοϊσότοπων.....	31
2.3.4. Υποθετικά και πιθανά ραδιενεργά απόβλητα.....	33

2.3.5. Ποτάμια / Θαλάσσια απορροή.....	33
2.3.6. Θαλάσσια εναπόθεση πυρηνικών αποβλήτων.....	34
2.3.7. Πυρηνικά ατυχήματα.....	35
2.3.8. Συνολική ραδιενέργεια στους ωκεανούς.....	36

Κεφάλαιο 3^ο - Πυρηνικά ατυχήματα και θαλάσσιες επιπτώσεις

3.1. Διεθνής κλίμακα πυρηνικών γεγονότων.....	38
3.2. Τα σημαντικότερα πυρηνικά ατυχήματα και οι επιπτώσεις στο θαλάσσιο περιβάλλον.....	42
3.2.1. Windscale UK 1957.....	42
3.2.2. Kyshtym Russia 1957.....	45
3.2.3 Chernobyl 1986.....	46

Κεφάλαιο 4^ο - Fukushima-Dai-ichi

4.1. Σεισμός.....	51
4.2. Τσουνάμι.....	53
4.3. Αναδρομή ενεργειών μετά το ατύχημα και έκλυση πυρηνικής ενέργειας.....	54
4.4. Διαφυγόντα ισότοπα.....	57
4.4.1. Ιώδιο 131.....	57
4.4.2. Τελλούριο 129m.....	58
4.4.3. Καίσιιο 137.....	59
4.4.4. Στρόντιο 90.....	59
4.4.5. Ισότοπα πλουτωνίου.....	59

Κεφάλαιο 5^ο - Ραδιενέργεια και θάλασσα

5.1. Τρόποι ρύπανσης θαλάσσιου οικοσυστήματος.....	61
5.1.1. Απελευθέρωση ραδιενεργού νερού γύρω από την περιοχή.....	61
5.1.2. Ατμοσφαιρική τέφρα στην επιφάνεια της θάλασσας.....	62
5.1.3. Μεταφορά ραδιενεργού ρύπανσης που περνάει από μολυσμένο έδαφος... ..	62
5.2. Θαλάσσια διασπορά ραδιενεργών ρύπων.....	63

5.2.1. Τοπογραφία πυθμένα θαλάσσης και των θαλάσσιων ρευμάτων.....	63
5.2.2. Άμεση βραχυπρόθεσμη διασπορά.....	64
5.2.3. Ενδιάμεση διασπορά.....	66
5.2.4. Μακροπρόθεσμη διασπορά.....	67
5.3. Αντίκτυπος της ραδιενεργού ρύπανσης στα είδη διαβίωσης.....	68
5.4. Μέτρα ελέγχου.....	71
5.5. Επιπτώσεις στην αλιεία – θαλάσσια ζωή.....	72
5.6. Αντίκτυπος στη ναυτιλία.....	78
5.6.1. Λιμάνια.....	78
5.6.2. Πλοία και ναυλωτές.....	79
5.6.3. Ασφάλιση.....	80
5.6.4. Συμπέρασμα.....	81
Βιβλιογραφία.....	82
Διαδικτυακή βιβλιογραφία.....	83

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑ

1.1. ΟΡΙΣΜΟΣ

Ραδιενέργεια είναι το φαινόμενο της εκπομπής σωματιδίων ή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τους πυρήνες ορισμένων χημικών στοιχείων, που γι' αυτό το λόγο ονομάζονται ραδιενεργά. Από τα περίπου 2500 νουκλείδια που είναι γνωστά στην επιστήμη, λιγότερα από 300 είναι ραδιενεργά.

Τα άτομα των ραδιενεργών στοιχείων φέρουν ασταθείς πυρήνες. Τούτο σημαίνει πως αυτοί μπορούν να διασπασθούν αυθόρμητα, απελευθερώνοντας πυρηνική ακτινοβολία, που συνήθως λέγεται ακτινοβολία. Η ακτινοβολία συνίσταται σε σωματίδια άλφα (ή ακτίνες α), σωματίδια βήτα (ή ακτίνες β) και ακτινοβολία γάμα (ή ακτίνες γ). Η ακτινοβολία γάμα φέρει συνήθως την περισσότερη ενέργεια από τα προϊόντα των ραδιενεργών διασπάσεων. Γενικά όλα τα προϊόντα της διάσπασης μπορεί να αποδειχτούν επικίνδυνα για την ισορροπία της λειτουργίας του ανθρώπινου οργανισμού.

Ο πυρήνας του ατόμου του ραδιενεργού στοιχείου εκπέμποντας ακτίνες α ή β μεταστοιχείωνεται, δηλαδή υφίσταται αλλαγή στον ατομικό του αριθμό, οπότε ο πυρήνας που εξέπεμψε το σωματίδιο άλφα ή βήτα, μετατρέπεται σε πυρήνα κάποιου άλλου χημικού στοιχείου. (Wikipedia)

Η ακτινοβολία διακρίνεται σε *ιονίζουσα* και *μη ιονίζουσα*.

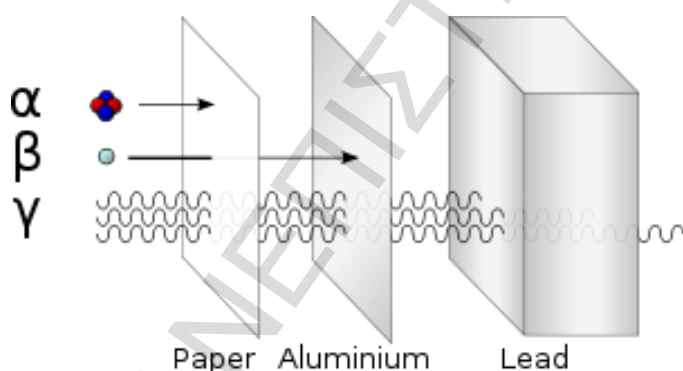
Ιονίζουσες ακτινοβολίες είναι οι ακτινοβολίες που μεταφέρουν ενέργεια ικανή να εισχωρήσει στην ύλη, (μεγαλύτερη των 2 eV) να προκαλέσει ιοντισμό των ατόμων της, να διασπάσει βίαια χημικούς δεσμούς και να προκαλέσει βιολογικές βλάβες σε ζώντες οργανισμούς.

Ο ιοντισμός του ατόμου είναι φυσικό φαινόμενο που ακολουθεί την αλληλεπίδραση της ακτινοβολίας υψηλής ενέργειας με την ύλη. Είναι η βίαιη εκδίωξη ηλεκτρονίου από το άτομο, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ζεύγους αντίθετα φορισμένων ιόντων.

Οι γνωστότερες ιοντίζουσες ακτινοβολίες είναι οι ακτίνες X που παράγονται στις λυχνίες των ακτινολογικών μηχανημάτων και χρησιμοποιούνται ευρέως στην ιατρική, καθώς και οι ακτινοβολίες α , β , και γ που εκπέμπονται από τους ασταθείς πυρήνες ατόμων. Οι ιοντίζουσες ακτινοβολίες είναι διεισδυτικές.

Η διεισδυτικότητά τους στην ύλη εξαρτάται από το είδος τους και την ενέργεια που μεταφέρουν. Τα σωματρία " α " αποκόπτονται από ένα φύλλο χαρτιού, τα σωματρία " β " από μερικά χιλιοστά plexiglass, ενώ η υψηλής ενέργειας ακτινοβολία " γ " απαιτεί σχετικά μεγάλα πάχη επιλεγμένων υλικών για να αποκοπεί (π.χ. μολύβι, σκυρόδεμα).

Η ποσότητα ενέργειας που μεταφέρεται από την ακτινοβολία στην ύλη ανά χιλιόγραμμο μάζας, καλείται δόση ακτινοβολίας. Η πιθανότητα βλάβης της υγείας σχετίζεται άμεσα με το μέτρο της δόσης ακτινοβολίας. (Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας, www.eeae.gr)



Εικόνα 1

Τα σωματρία α σταματούν στο χαρτί, τα σωματρία β σταματούν στο αλουμίνιο
ενώ τα σωματρία γ διαπερνούν και το μολύβδο.

Μη ιονίζουσα είναι η ακτινοβολία μικρότερη των 2 eV και τέτοιας κατηγορίας ακτινοβολίες είναι το ορατό φως, το υπέρυθρο, τα μικροκύματα, VLF, ELF, θερμική, μέλανος σώματος.

Την Ραδιενέργεια ανακάλυψε ο Ανρί Μπεκερέλ το 1896 τυχαία ενώ ερευνούσε τον φθορισμό στα άλατα ουρανίου. Με αυτή του την ανακάλυψη μοιράστηκε το βραβείο Νόμπελ μαζί με το ζεύγος Κιουρί το 1903.

1.2. ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Η ραδιενέργεια ή αλλιώς η ισχύς μιας ραδιενεργού πηγής μετρείται σε Becquerel

1 Bq: Ένα γεγονός εκπομπής ακτινοβολίας ανά δευτερόλεπτο.

* Είναι πολύ μικρή μονάδα, γι' αυτό χρησιμοποιούνται πολλαπλάσιά της:

1 kBq = 1.000 Bq, 1 MBq = 1.000.000 Bq, 1 GBq = 1.000.000.000 Bq

Μια πιο παλαιά μονάδα για τη μέτρηση της ραδιενέργειας είναι το Κιουρί (Curie)

1 Ci = 37.000 MBq

Πιο εύχρηστες είναι οι υποδιαιρέσεις του: millicurie, microcurie, nanocurie, picocurie. Όπου το καθένα είναι ίσο με το ένα χιλιοστό του προηγούμενου του.

Χρήσιμη σχέση: 1 Bq = 27 pCi

1.2.1. ΔΟΣΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟΥΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΥΣ ΙΣΤΟΥΣ

Όταν μια ιονίζουσα ακτινοβολία πέφτει στο ανθρώπινο σώμα, δίνει την ενέργειά της στους ιστούς και στα όργανα. Το ποσόν που απορροφάται από αυτά ανά μονάδα βάρους του ιστού ή του οργάνου εκφράζεται σε μονάδες που ονομάζονται gray (Gy). Δόση ενός gray είναι ισοδύναμη με ενέργεια ακτινοβολίας 1 Joule που απορροφάται ανά κιλό ιστού ή οργάνου του σώματος.

Rad: Είναι μια πιο παλαιά μονάδα απορροφούμενης δόσης ακτινοβολίας και ισχύει:

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rads}$$

Προσοχή: ίσες δόσεις από ακτινοβολίες διαφόρων τύπων δεν είναι το ίδιο επιβλαβείς. Η ακτινοβολία άλφα είναι πιο βλαβερή από ότι οι ακτίνες Γάμα. Για τον λόγο αυτόν υπάρχει μια μονάδα που δίνει την «ισοδύναμη δόση». Για κάθε δηλαδή ακτινοβολία υπάρχει και ένας συντελεστής και με αυτόν πολλαπλασιάζεις τη δόση που έχεις σε μονάδες Gy. Αυτή η μονάδα «ισοδύναμης δόσης» ονομάζεται Sievert.

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$$

$$1 \text{ rem} = 10 \text{ mSv}$$

Ένα Sievert είναι μεγάλη δόση. Η συνιστώμενη δόση για έναν χρόνο δεν πρέπει να ξεπερνά τα 5 mSv.

10 Sv: Κίνδυνος θανάτου από μια τέτοια δόση μέσα σε ημέρες ή εβδομάδες

1 Sv – 100 mSv: Κίνδυνος προσβολής από καρκίνο αργότερα

Ουσιαστικά το ζίμπερτ είναι η μονάδα μέτρησης της ποσότητας ενέργειας που μεταβιβάζει η ακτινοβολία στους ιστούς του σώματος.

Ο επόμενος πίνακας παρέχει τις δόσεις ακτινοβολίας που συνήθως λαμβάνονται κάθε χρόνο κατά μέσο όρο από ένα άτομο στην Ιρλανδία. Επίσης φαίνεται σε ποιες δόσεις υπάρχει κίνδυνος της ζωής και ανάπτυξης ενός θανατηφόρου καρκίνου.

1 microsievert (μSv) – η μέση ετήσια δόση από την “βαριά” κατανάλωση των θαλασσινών από τη Θάλασσα της Ιρλανδίας

8 μSv – η δόση που λαμβάνεται σε πτήση επιστροφής από το Δουβλίνο στο Λονδίνο

20 μSv – η δόση από μία ακτινογραφία θώρακος

20 μSv – 1 στο 1.000.000 δια βίου κίνδυνος θανατηφόρου καρκίνου

45 μSv – η μέση ετήσια δόση από αεροπορικά ταξίδια

240 μSv – η μέση ετήσια δόση από ραδιενέργεια στα τρόφιμα

300 μSv – η μέση ετήσια δόση από την ακτινοβολία γάμα από το έδαφος

350 μSv – η μέση ετήσια δόση από την κοσμική ακτινοβολία

540 μSv – η μέση ετήσια δόση από ιατρικές εξετάσεις

1000 μSv (1 mSv) – 1 προς 20.000 πιθανότητα ανάπτυξης θανατηφόρου καρκίνου στη διάρκεια της ζωής μας

2230 μSv (2.23 mSv) – η μέση ετήσια δόση από το ραδόνιο στο σπίτι και στο χώρο εργασίας

3950 μSv (3,95 mSv) – η μέση συνολική ετήσια δόση από όλες τις πηγές ιονίζουσας ακτινοβολίας

10.000 μSv (10 mSv) – 1 προς 2000 πιθανότητα ανάπτυξης θανατηφόρου καρκίνου στη διάρκεια της ζωής μας

Δόσεις για πάνω από 1.000.000 μSv (1 Sv) στον άνθρωπο κατά τη διάρκεια μιας σύντομης χρονικής περιόδου και η άμεση βλάβη που επιφέρει στο σώμα.

1.000.000 μSv (1 Sv) – Η έναρξη των πρόωρων επιπτώσεων της ραδιενέργειας

2.000.000 μSv (2 Sv) – Κατώφλι για πρόωρο θάνατο

4.000.000 μSv (4 Sv) – 50 % πιθανότητες επιβίωσης

6.000.000 μSv (6 Sv) – πρόωρος θάνατος.

(Radiological Protection Institute of Ireland – RPII, healthrisk)

Φάση	Σύμπτωμα	Έκθεση (Sv)				
		1-2Sv	2-6Sv	6-8Sv	8-30Sv	> 30Sv
Άμεση	Ναυτία και εμετός	5-50%	50-100%	75-100%	90-100%	100%
	Ωρα έναρξης	2-6h	1-2h	10-60m	<10m	άμεσης
	Διάρκεια	> 24h	24-48h	<48h	<48h	48h-θάνατος
	Διάρροια	Κανένας	Ελαφρά (10%)	Βαρύ (10%)	Βαρύ (90%)	Βαρύ (100%)
	Ωρα έναρξης	-	3-8h	1-2h	> 1h	<30m
	Πονοκέφαλος	Ελαφρά	Ήπια (50%)	Μέτρια (80%)	Σοβαρή (80-90%)	Σοβαρή (100%)
	Ωρα έναρξης	-	4-24h	3-4h	1-2h	<1 ώρα
	Πυρετός	Ελαφρά-Δεν υφίσταται	Μέτρια (50%)	Υψηλή (100%)	Σοβαρή (100%)	Σοβαρή (100%)
	Ωρα έναρξης	-	1-3h	> 1h	> 1h	> 30m
ΚΝΣ λειτουργία	Δεν δυσλειτουργία	Γνωστική έκπτωση 6-20 h	Γνωστική δυσλειτουργία <20 ώρες	Ταχεία αδιαθεσίας	Κατασχέσεις , Τρόμος, αταξία	
Λανθάνουσα περίοδος	28-31 ημέρες	7-28 ημέρες	> 7 ημέρες	κανένας	κανένας	
Προφανής ασθένεια	Ήπια Λευκοπενία Κόπωση Αδυναμία	Λευκοπενία Πορφύρα Αιμορραγία Λοιμώξεις Αποτρίχωση	Σοβαρή λευκοπενία Υψηλός πυρετός Διάρροια Έμετος Ζάλη και απροσανατολισμός Υπόταση Ηλεκτρολυτικές διαταραχές	Ναυτία Έμετος Σοβαρή διάρροια Υψηλός πυρετός Ηλεκτρολυτικές διαταραχές Σοκ	Θάνατος	
Θνησιμότητα χωρίς ιατρική περίθαλψη	0-5%	5-100%	95-100%	100%	100%	
Θνησιμότητα με ιατρική περίθαλψη	0-5%	5-50%	50-100%	100%	100%	

Εικόνα 2

Ραδιενέργεια και συμπτώματα (Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ))

1.3. ΧΡΟΝΟΣ ΗΜΙΖΩΗΣ

Κάθε μεμονωμένη ραδιενεργός ουσία έχει μια χαρακτηριστική περίοδο διάσπασης ή όπως λέγεται χρόνος ημιζωής δηλαδή ο χρόνος μέσα στον οποίο η αρχική ποσότητα μειώθηκε στο ήμισυ. Ο χρόνος ημιζωής ενός ισότοπου αποτελεί δομικό του χαρακτηριστικό και δεν μπορεί να αλλάξει από τη θερμοκρασία, την πίεση, τις χημικές αντιδράσεις ή οποιονδήποτε άλλο παράγοντα και γι' αυτό η ραδιενεργός χρονολόγηση αποτελεί μία αξιόπιστη μέθοδο προσδιορισμού της ηλικίας των πετρωμάτων, των οστών και των απολιθωμάτων. Η διάρκεια ημιζωής επίσης χρησιμοποιείται για να εκτιμηθεί ο χρόνος αποθήκευσης δείγματος ραδιοϊσοτόπου σε ασφαλή χώρο, πριν αυτό απορριφθεί στο περιβάλλον, διαθέτοντας πλέον ποσότητα

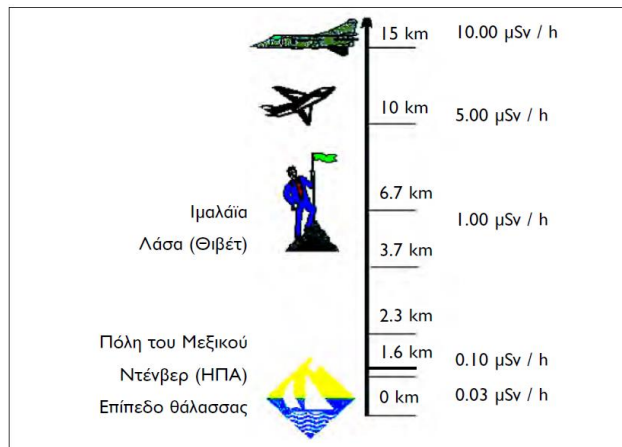
ραδιενέργειας που θεωρείται ανεκτή από τον αποδέκτη. Υπολογίζεται ότι απαιτούνται δέκα (10) ημιπερίοδοι ζωής, για να σταματήσει ένα ραδιενεργό στοιχείο να απειλεί σοβαρά το περιβάλλον.

1.4. ΠΗΓΕΣ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.4.1. ΠΗΓΕΣ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΗΣΗΣ

Ακτινοβολία του εδάφους η οποία σε ένα σημείο εξαρτάται από την γεωλογική σύσταση των πετρωμάτων της περιοχής. Από τα πλέον ραδιενεργά πετρώματα είναι τα γρανιτικά λόγω της αυξημένης περιεκτικότητας σε ουράνιο και ράδιο. Έτσι για παράδειγμα, λόγω ιδιαίτερης γεωλογικής σύστασης η μέση ετήσια δόση που δέχεται από την γήινη ακτινοβολία ο πληθυσμός των Σκανδιναβικών χωρών είναι υπερδιπλάσια αυτής στη Μεγάλη Βρετανία και την Ολλανδία.

Κοσμική ακτινοβολία η οποία προέρχεται από τον Ήλιο καθώς και άλλες αστρικές πηγές. Αύξηση της κοσμικής ακτινοβολίας έχουμε κατά τις εξάρσεις της ηλιακής δραστηριότητας. Κατά την είσοδό της στην ατμόσφαιρα αλληλεπιδρά με πυρήνες ατόμων και προκύπτουν δευτερογενή ταχέως κινούμενα υποατομικά σωματίδια τα οποία μαζί με την υψηλής ενέργειας ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία βομβαρδίζουν την επιφάνεια της γης. Πέραν αυτών των αλληλεπιδράσεων προκαλούνται στην ατμόσφαιρα και πυρηνικές αντιδράσεις που οδηγούν στην παραγωγή ελαφρών ραδιενεργών πυρήνων. Η κοσμική ακτινοβολία κατά τη διέλευση της μέσα από τα στρώματα της γήινης ατμόσφαιρας απορροφάται μερικώς και η έντασή της μειώνεται σταδιακά μέχρι που φτάνει σημαντικά εξασθενημένη πια στο επίπεδο της θάλασσας.



Εικόνα 3

Ποσότητα κοσμικής ραδιενέργειας ανάλογα με το ύψος

1.4.2. ΠΗΓΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΗΣΗΣ

Ραδιοϊσότοπα από την τροφική αλυσίδα: Μέσα από τις οδούς της τροφικής αλυσίδας ή την αναπνοή τα φυσικά ραδιενεργά στοιχεία εισχωρούν στον οργανισμό, μεταβολίζονται και ορισμένα από αυτά αποθηκεύονται στους ιστούς και μετατρέπονται σε εσωτερικές πηγές ακτινοβολίας ενώ κάποια άλλα αποβάλλονται. Σημαντικό ρόλο στην εσωτερική ακτινοβολία παίζει το ραδιενεργό κάλιο το οποίο απαντάται στα πετρώματα του εδάφους. Ο οργανισμός χρειάζεται συγκεκριμένη ποσότητα καλίου και περίσσεια ή έλλειψη του προκαλεί παθολογικές καταστάσεις. Όπως στη φύση έτσι και στον ανθρώπινο οργανισμό το κάλιο βρίσκεται σε σταθερή αναλογία με το ισότοπό του κάλιο -40. Τέτοια ραδιενεργά στοιχεία είναι το ουράνιο που απαντάται στα θαλασσινά και ο άνθρακας 14 που ενώ προέρχεται από την κοσμική ακτινοβολία απορροφάται από τα φυτά του οποίου καταναλωτής είναι ο άνθρωπος.

Ραδιοϊσότοπα και εισπνοή: Τα βασικότερα ραδιοϊσότοπα που εισπνέονται από τον άνθρωπο είναι το ραδόνιο το οποίο βρίσκεται σε πολύ μεγάλες ποσότητες στα

πετρώματα της γης, και τα υπόλοιπα θυγατρικά ραδιοϊσότοπα που προέρχονται από την κοσμική ακτινοβολία που εισέρχεται στην ατμόσφαιρα.

1.4.3. ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΠΗΓΕΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΗΣΗΣ

Πέρα από τις φυσικές πηγές ακτινοβολίας υπάρχουν και οι προερχόμενες από τον άνθρωπο πηγές, οι κυριότερες από τις οποίες είναι τα εργοστάσια, τα απόβλητα από πυρηνικούς αντιδραστήρες κυρίως παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, προϊόντα που προέρχονται από πυρηνικές δοκιμές, ρύποι από νοσοκομεία καθώς και σημαντικότετος παράγοντας έκλυσης ραδιενέργειας στο περιβάλλον είναι τα πυρηνικά ατυχήματα. («Η ακτινοβολία στη ζωή μας» – τμήμα επιθεώρησης εργασίας, Λευκωσία 2009)

1.5. ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ - ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ

Γενικότερα τα ραδιενεργά απόβλητα διαχωρίζονται σε πολύ χαμηλού επιπέδου, χαμηλού επιπέδου, μέτριου επιπέδου και υψηλού επιπέδου.

1.5.1. VLLW – VERY LOW LEVEL WASTE

Τα απαλλάξιμα απόβλητα και τα πολύ χαμηλά απόβλητα επιπέδων (VLLW) τα περιέχουν τα ραδιενεργά υλικά σε επίπεδο που δεν θεωρείται επιβλαβές στους ανθρώπους ή στο περιβάλλον. Αποτελούνται κυρίως από το κατεδαφισμένο υλικό όπως το σκυρόδεμα, το ασβεστοκονίαμα, τα τούβλα, το μέταλλο τα οποία όλα

χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια της αποκατάστασης ή αποσυναρμολόγησης των διαδικασιών στις πυρηνικές βιομηχανικές περιοχές. Άλλες βιομηχανίες όπως εκείνες της επεξεργασίας τροφίμων, χημικών ή χάλυβα, παράγουν επίσης VLLW ως αποτέλεσμα συγκέντρωσης της φυσικής ραδιενέργειας πάνω σε υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή και για τη λειτουργία τους.

1.5.2. LLW – LOW LEVEL WASTE

Τα χαμηλού επιπέδου απόβλητα παράγονται από τα νοσοκομεία και τη βιομηχανία, καθώς επίσης και τον κύκλο πυρηνικών καυσίμων. Περιλαμβάνουν ιματισμό, φίλτρα, εργαλεία κλπ τα οποία περιέχουν μικρά ποσά συνήθως βραχύβιας ραδιενέργειας. Αυτού του είδους τα απόβλητα αποτελούν το 90 % του συνολικού όγκου των συνολικών αποβλήτων αλλά μόνο το 1% της ραδιενέργειας. Είναι κατάλληλα για τον ρηχό ενταφιασμό στο έδαφος και πολλές φορές συμπιέζονται ή αποτεφρώνονται. Κατά τη μεταφορά τους δεν απαιτείται ειδικό προστατευτικό κάλυμμα.

1.5.3. ILW – INTERMEDIATE LEVEL WASTE

Τα μετρίου επιπέδου απόβλητα περιέχουν τα υψηλότερα ποσά ραδιενέργειας. Τέτοια απόβλητα είναι οι ρητίνες, οι χημικές λάσπες, όπως και μολυσμένα υλικά από τον αποπλισμό αντιδραστήρων. Τα μικρότερα στοιχεία και οποιαδήποτε μη στερεά μπορούν να σταθεροποιηθούν στο σκυρόδεμα ή την πίσσα για την απόρριψή τους. Τα ILW αποτελούν το 7% του όγκου και το 4% όλης της ραδιενέργειας.

1.5.4. HLW – HIGH LEVEL WASTE

Τα υψηλού επιπέδου απόβλητα HLW προκύπτουν από το «κάψιμο» (τέφρα) των καυσίμων ουρανίου σε έναν πυρηνικό αντιδραστήρα. HLW είναι τα προϊόντα σχάσης και τα υπερουράνια στοιχεία που παράγονται στον πυρήνα αντιδραστήρων. Αυτού

του επιπέδου τα απόβλητα αποτελούν το 95% της συνολικής ραδιενέργειας. Έχουν και μακρόβια και βραχύβια ραδιενεργά συστατικά ανάλογα με το χρόνο που χρειάζεται για να μειωθεί η περιεκτικότητά τους σε ραδιενέργεια σε ακίνδυνα για τον άνθρωπο επίπεδα. (World Nuclear Association, article: “what are the nuclear wastes and how are they managed”)

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΘΑΛΑΣΣΑ ΚΑΙ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑ

2.1. ΘΑΛΑΣΣΑ ΚΑΙ ΡΥΠΟΙ

Οι θάλασσες πάντα ήταν η εύκολη λύση για την εναπόθεση κάθε μορφής και είδους ρύπων. Μέχρι πρόσφατα επικρατούσε η άποψη της απεριόριστης δυνατότητας του βυθού να δεχτεί οτιδήποτε. Έτσι φτάσαμε σήμερα, μια σειρά από κλειστές θάλασσες όπως η Αράλη να είναι νεκρή και άλλες όπως η Βαλτική, η Μαύρη θάλασσα και η Μεσόγειος να κινδυνεύουν με ανεπανόρθωτες καταστροφές.

Μια σημαντική επίπτωση της ανθρώπινης δραστηριότητας στις θάλασσες είναι η ρύπανση. Δεν είναι μόνο η ρύπανση από διαρροές πετρελαίου και την απόρριψη τοξικών αποβλήτων. Είναι επίσης τα λύματα αποχετεύσεων, τα βιομηχανικά απόβλητα, τα αστικά και βιομηχανικά λύματα, τα βιομηχανικά ατυχήματα, την εξόρυξη μεταλλευμάτων, τις γεωργικές απορροές και τα φυτοφάρμακα και τη διαρροή ραδιενέργειας.

2.2. ΟΡΙΣΜΟΣ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Ως θαλάσσια ρύπανση ορίζεται η ανθρωπογενής είσοδος ουσιών ή ενέργειας στο θαλάσσιο περιβάλλον, με αποτέλεσμα: (α) τη δηλητηρίαση της πανίδας και της χλωρίδας, (β) τη δημιουργία επικίνδυνων συνθηκών για τη δημόσια υγεία (γ) τον περιορισμό των θαλάσσιων δραστηριοτήτων, όπως αυτή της αλιείας ή της ψυχαγωγίας και (δ) την αλλοίωση της ποιότητας του θαλασσινού νερού ώστε να καταστεί ακατάλληλο για κάθε χρήση.

Ρύποι θεωρούνται οι ουσίες εκείνες οι οποίες, όταν απορρίπτονται στο θαλάσσιο περιβάλλον, μπορεί να προκαλέσουν σημαντική αλλοίωση των φυσικών, χημικών και βιολογικών παραμέτρων (φως θερμοκρασία οξυγόνο θρεπτικά ανόργανα άλατα βόσκηση) που το χαρακτηρίζουν.

2.3.ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΟΙ ΡΥΠΟΙ ΣΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ

Ο Παγκόσμιος ωκεανός καλύπτει το 70,8% της συνολικής επιφάνειας της γης. Επόμενο είναι λοιπόν το γεγονός ότι είναι και ο αποδέκτης μεγάλων ποσών ραδιενεργών ρύπων από την ατμόσφαιρα αλλά και από υδάτινες εισόδους.

Ο Ειρηνικός ωκεανός ως μεγαλύτερος σε έκταση, αποτελεί και τον μεγαλύτερο αποδέκτη ραδιενέργειας λόγω εντοπισμένης σε αυτόν εναπόθεσης ραδιενεργών ρύπων.

Η ποσότητα των ραδιενεργών ρύπων αυξάνει με τον καιρό και αποτελείται από πολλούς ανθρωπογενείς παράγοντες. Οι τρεις βασικότεροι είναι οι πυρηνικές δοκιμές όπλων, τα πυρηνικά ατυχήματα (Chernobyl, Fukushima κλπ) και οι θαλάσσιες εναποθέσεις των τοξικών ραδιενεργών αποβλήτων από εγκαταστάσεις πυρηνικής επεξεργασίας. οι άλλες πηγές ρύπων δεν προκαλούν τόσο μεγάλο ποσοστό ρύπανσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος όσο οι τρεις προηγούμενες. Παρόλα αυτά αξίζει να αναφερθούν οι ρύποι από τα πυρηνικά εργοστάσια παραγωγής ενέργειας, από βυθισμένα πυρηνικά υποβρύχια, από χαμένα πυρηνικά όπλα, και ραδιοϊσότοπα από επιστημονικά εργαστήρια και ιατρικές εγκαταστάσεις. Τα ραδιενεργά στοιχεία με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση τα οποία μολύνουν τη θάλασσα είναι το ^{90}Sr (Στρόντιο) και το ^{137}Cs . (WOMARS IAEA, “Radionuclide levels in oceans and seas”, January 2005)

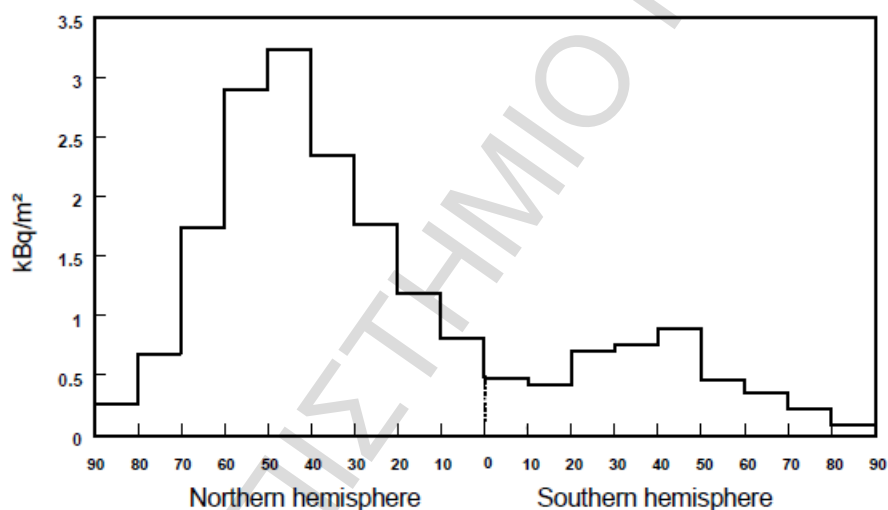
2.3.1. ΠΥΡΗΝΙΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΟΠΛΩΝ. (^{137}Cs και ^{90}Sr)

Οι πυρηνικές δοκιμές όπλων μολύνουν την ατμόσφαιρα της Γης σε παγκόσμιο επίπεδο.

Τα όπλα που δοκιμάστηκαν το 1945-1951 ήταν όπλα σχάσης 20 – 100.000 kilotons TNT. Παρήγαγαν νέφος το οποίο στεκόταν στην τροπόσφαιρα πάνω από το σημείο των εκρήξεων και δεν διαχεόταν πέρα από το γεωγραφικό πλάτος της δοκιμής.

Το 1952 οι ΗΠΑ και το 1953 η Σοβιετική ένωση δοκίμασαν τις πρώτες θερμοπυρηνικές βόμβες μεγατόνων και από αυτές η ραδιενεργός τέφρα διασκορπίστηκε σε όλο τον πλανήτη.

Την περίοδο της δεκαετίας του 1960, τα μεγαλύτερα ποσά ραδιενέργειας βρίσκονται στον Αρκτικό ωκεανό στο νησί Novaya Zemlya (80.89 Mtn) και Bikini Atoll στον Ειρηνικό Ωκεανό (42,2Mtn). Μικρότερα ποσά βρέθηκαν σε: Enewetak Johnston στο Βόρειο Ειρηνικό (26Mtn) στη Νήσο των Χριστουγέννων στον Ινδικό Ωκεανό (15,5 Mtn) Στο Lop Nor στην Κίνα (12,2Mtn) Mururoa and Fangataufa Atolls στο Νότιο Ειρηνικό (6.1 Mt) and Semipalatinsk στο Kazakhstan (3.7 Mt). (WOMARS IAEA, “Radionuclide levels in oceans and seas”, January 2005)



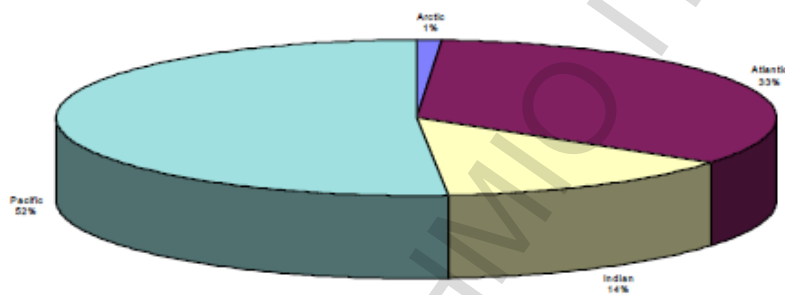
Εικόνα 4

Ποκνότητα αναπόθεσης του Στροντίου -90 σε (kBq/m²)

TABLE I. INPUTS FROM GLOBAL FALLOUT (PBq)

Summary of ⁹⁰ Sr input to the world ocean from global fallout						
Latitude	Arctic Ocean	Atlantic Ocean	Indian Ocean	Pacific Ocean	Total	Ocean area 10 ¹² m ²
N 90°-60°	4.6	10.2	0.0	1.3	16.1	17.2
N 60°-30°	0.0	57.3	0.0	71.6	128.9	46.8
N 30°-0°	0.0	30.8	13.3	65.8	109.9	90.6
S 0°-30°	0.0	10.3	14.6	26.6	51.5	98.0
S 30°-60°	0.0	15.4	22.5	25.8	63.7	88.2
S 60°-90°	0.0	1.7	2.1	3	6.8	20.4
Total	4.6	125.7	52.5	194.1	376.9	361.1

Summary of ¹³⁷ Cs input to the world ocean from global fallout						
N 90°-60°	7.4	16.3	0.0	2.1	25.8	
N 60°-30°	0.0	91.7	0.0	114.6	206.2	
N 30°-0°	0.0	49.3	21.3	105.3	175.8	
S 0°-30°	0.0	16.5	23.4	42.6	82.4	
S 30°-60°	0.0	24.6	36.0	41.3	101.9	
S 60°-90°	0.0	2.7	3.4	4.8	10.9	
Total	7.4	201.1	84.0	310.6	603.0	



Εικόνα 5

Σχετική συγκέντρωση 90-στροντίου στον παγκόσμιο ωκεανό.

Πέρα από τις θερμικές και τις υπόλοιπες άμεσες συνέπειες που έχουν οι εκρήξεις των δοκιμών οι οποίες προφανώς και καταστρέφουν τοπικά οικοσυστήματα καθιστώντας νεκροταφεία μεγάλες εκτάσεις στον παγκόσμιο ωκεανό, αυτό το οποίο αφορά το κομμάτι της ραδιενέργειας είναι η ρύπανση από τα ραδιενεργά στοιχεία που εκλύονται. Αυτά όπως είπαμε προηγουμένως είναι κατά βάση το Στρόντιο-90 και το Καίσιιο-137 αλλά και σε μικρότερες ποσότητες το Ιώδιο-129, ουράνιο, πλουτόνιο κλπ.

2.3.1.1.ΤΟ ΣΤΡΟΝΤΙΟ-90 έχει χρόνο ημιζωής 28,8 χρόνια. Συγκεντρώνεται στα οστά και δημιουργεί καρκίνο και λευχαιμία. Αποτελεί το πιο επικίνδυνο παράγωγο

των πυρηνικών δοκιμών. Έρευνα της Dr. Louise Reiss δείχνει ότι τα παιδιά τα οποία γεννήθηκαν το 1963 είχαν πενήντα φορές περισσότερο ^{90}Sr στα δόντια τους από εκείνα που γεννήθηκαν το 1950, εξαιτίας των πυρηνικών δοκιμών. (Dr.Louise Reiss, Saint Louis citizens Committee for nuclear information, baby tooth survey, 1963)

Σε αντίθεση με τη στεριά, η θάλασσα είναι καλύτερος αποδέκτης της ραδιενέργειας λόγω της διαλυτικής της ικανότητας. Η συγκέντρωση του στροντίου στα ψάρια βρέθηκε πολύ χαμηλότερη από την συγκέντρωση στο κρέας και στα γαλακτοκομικά. Το ίδιο συνέβη και με την συγκέντρωση Καισίου 137 το οποίο έχει χρόνο ημιζωής 30 χρόνια και είναι διαλυτό στο νερό.

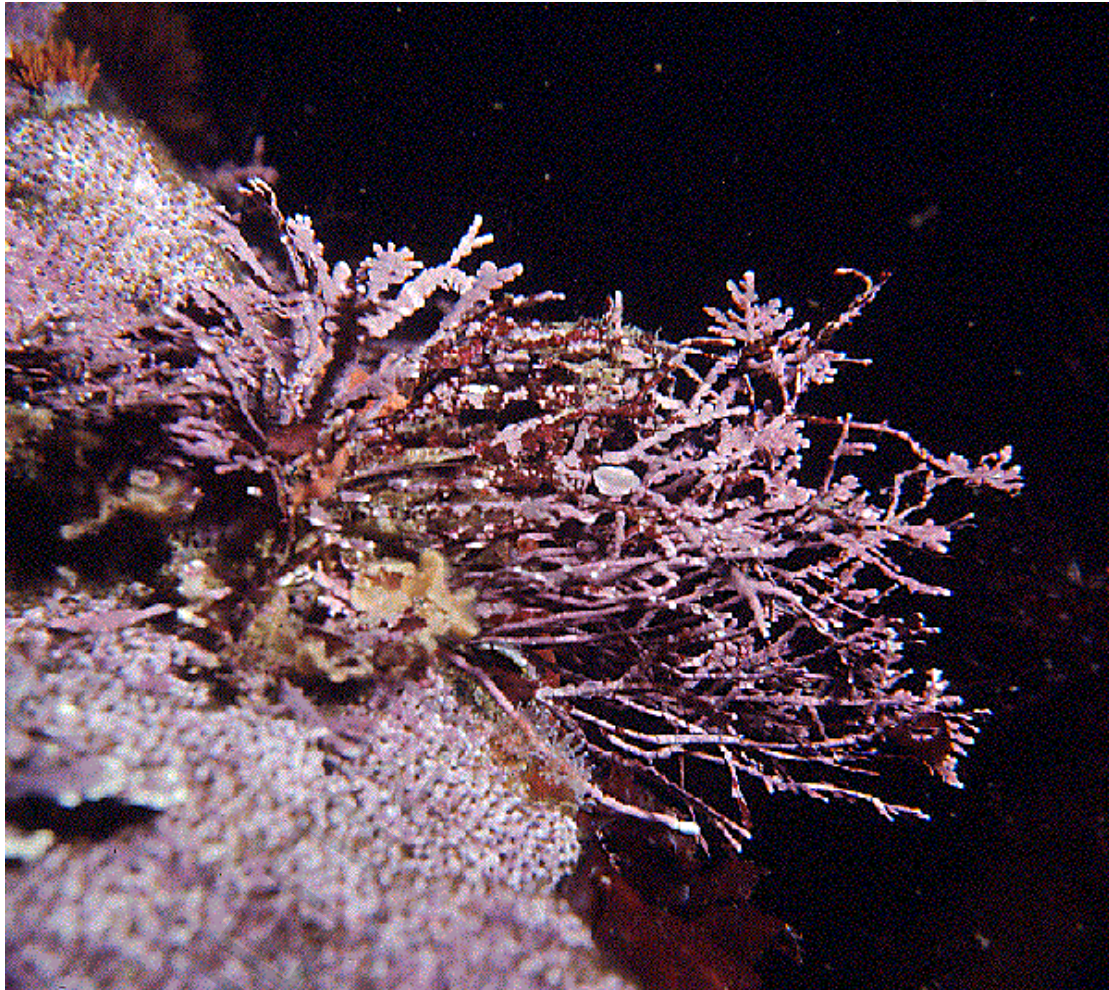
Η Επιστημονική Επιτροπή Αποτελεσμάτων Ατομικής ενέργειας των Η.Π.Α (1966) υπολόγισε ότι ο ανθρώπινος οργανισμός μπορεί να δεχτεί 0,05msv το χρόνο στροντίου-90 από την κατανάλωση τροφής. από την κατανάλωση της θαλάσσιας τροφής στα ανθρώπινα οστά διοχετεύεται μέχρι το 0,5% αυτής της ποσότητας με ένα σύνθητες μέσο όρο της κλάσης του $2.5 \cdot 10^{-4}$ msv. Για το Καίσιο η συγκέντρωση βρέθηκε στο 10% της ποσότητας αυτής του 0,05msv.

Οι ανωτέρω υπολογισμοί αναφέρονται στον παγκόσμιο πληθυσμό. Σε κάποια μέρη της γης που ο πληθυσμός τρέφεται αποκλειστικά από τη θάλασσα, τα msv ετήσιας κατανάλωσης διαφέρουν και είναι της τάξης του $3.6 \cdot 10^{-3}$ msv. Κάποιες φορές όμως τοπικά σε κάποια οστά φτάνει πολύ μεγαλύτερη συγκέντρωση της τάξης των 0,3msv (Radioactivity in the marine environment, National Research Council (U.S.). Panel on Radioactivity in the Marine Environment)

Όσον αφορά τους ωκεανούς και τα είδη της θαλάσσιας ζωής, το ισότοπο 90 του στροντίου έχει πιο αθώα αποτελέσματα. Αυτό συμβαίνει γιατί η θάλασσα ήδη έχει το στρόντιο σε αφθονία στις μαζικές θάλασσες (8ppm-parts per million), οπότε όταν εισέρχεται ένα άτομο του ισότοπου 90 στο νερό, ουσιαστικά εισέρχεται σε εκατομμύρια άτομα στροντίου.(isotope dilution) Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, οι ζωντανοί οργανισμοί οι οποίοι απορροφούν το στρόντιο να το βρίσκουν ήδη σε αφθονία με τη σταθερή του μορφή και δεν λειτουργούν επιλεκτικά ώστε να ξεχωρίσουν το ισότοπο και να το απορροφήσουν.

Οι οργανισμοί οι οποίοι απορροφούν στρόντιο είναι Acantharea τα οποία είναι πρωτόζωα και αποτελούνται από θεϊκά άλατα στροντίου , Radiolaria, και αυτά

πρωτόζωα τα οποία βρίσκονται στο ζωοπλαγκτόν, κεφαλόποδα τα οποία είναι υδρόβια μαλάκια, γαστερόποδα, - στην ομοταξία αυτή περιλαμβάνονται τα σαλιγκάρια, οι γυμνοσάλιαγκες, τα πτερόποδα, οι λεπάδες, οι πεταλίδες, τα βούκινα και άλλα μικρότερα είδη, τα κοράλια και η ασβεστούχος θαλάσσια άλγη, δηλαδή κάποια ήδη κόκκινων φυκιών.



Εικόνα 6

Algae Calcareous

2.3.1.2. ΤΟ ΚΑΙΣΙΟ -137 αποτελεί ισότοπο του Καισίου και έχει χρόνο ημιζωής 30 έτη. Το ραδιενεργό καισίο, είναι προϊόν σχάσης της πυρηνικής σχάσης ουρανίου 253

και άλλων πυρηνικών ισοτόπων και είναι πολύ κοινό προϊόν πυρηνικών αντιδραστήρων και πυρηνικών όπλων. Απλώνεται ταχύτατα και εύκολα στη φύση λόγω της διαλυτότητας του στο νερό. Η χημική του συμπεριφορά είναι παρόμοια με του καλίου και όπως και στην περίπτωση του στροντίου όταν υπάρχει έλλειψη καλίου το κενό αναπληρώνει το καίσιο. Στα ζώα συγκεντρώνεται στους μύες και στο γάλα μέσω της γαστρεντερικής απορρόφησης. Στον άνθρωπο συγκεντρώνεται στους μαλακούς ιστούς με βιολογικό χρόνο υποδιπλασιασμού που είναι συνάρτηση ηλικίας και φύλου. Κατά μέσο όρο για τους άντρες είναι 100 ημέρες για τις γυναίκες 84 ημέρες και για τα παιδιά περίπου 50 ημέρες. (Δρ. Θεόδωρος Λιδόλιος, ΕΚΕΟ,3/2011)

Το Καίσιο εκπέμπει ακτινοβολία β και γ Η βήτα ακτινοβολία ταξιδεύει τις σύντομες αποστάσεις και μπορεί να διαπεράσει το δέρμα και τους επιφανειακούς ιστούς σωμάτων ενώ η ακτινοβολία γάμα μπορεί να ταξιδέψει τις μεγάλες αποστάσεις και να διαπεράσει το ολόκληρο σώμα.

Απορροφάται από θαλάσσιους οργανισμούς και ανεβαίνει την τροφική αλυσίδα καθότι συγκεντρώνεται σε αυτούς.

Στους ωκεάνιους οργανισμούς λόγω της υψηλής συγκέντρωσης καλίου η μεταφορά του καλίου στα ψάρια μπορεί να φτάσει και τις εκατό φορές λιγότερη από αυτή των ψαριών του γλυκού νερού

2.3.2. ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΕΠΑΝΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Η πυρηνική επανεπεξεργασία γίνεται για να ανακτηθεί το ουράνιο και το πλουτόνιο από τα ξοδευμένα καύσιμα για την επαναχρησιμοποίησή τους στους πυρηνικούς αντιδραστήρες.

Τα σημαντικότερα εργοστάσια επανεπεξεργασίας είναι στο Ηνωμένο Βασίλειο (Sellafield), στη Γαλλία (Cap de la Hague) και στην Ιαπωνία (Tokai)

Το Sellafield είναι η σημαντικότερη πηγή ραδιενεργού ρύπανσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Στη δεκαετία του 1970 η British Nuclear Fuel Ltd στο Sellafield, τότε Windscale ξεκίνησε να αυξάνει σταδιακά την ποσότητα ραδιενεργών ρύπων στη θάλασσα της Ιρλανδίας. Τα ραδιενεργά στοιχεία που χύνονται στη θάλασσα της Ιρλανδίας είναι κατά βάση Cs 137 αλλά και άλλα ραδιονουκλεΐδια ειδικότερα ισότοπα πλουτωνίου, αμερίκιο και τεχνητό έχουν μετρηθεί στο μεγαλύτερο μέρος του ΝΑ Ατλαντικού και σε μεγάλο βαθμό στον Αρκτικό Ωκεανό.

Year	Sellafield				Cap de la Hague			
	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs ac	⁹⁰ Sr ac	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs ac	⁹⁰ Sr ac
1970	1200	230	600	112	89	2	45	1
1971	1300	460	665	229	243	8	124	4
1972	1289	562	675	286	33	16	17	8
1973	770	280	413	146	69	19	37	10
1974	4100	390	2249	208	56	52	31	28
1975	5230	466	2936	255	34	38	19	21
1976	4289	381	2464	214	35	20	20	11
1977	4480	427	2634	245	51	36	30	21
1978	4090	597	2460	351	39	70	23	41
1979	2600	250	1601	151	23	56	14	34
1980	2970	352	1871	217	27	29	17	18
1981	2360	277	1522	175	39	27	25	17
1982	2000	319	1320	207	51	86	34	56
1983	1200	204	810	135	23	142	16	94
1984	434	72	300	49	30	110	21	75
1985	325	52	230	36	29	47	21	33
1986	18	18	13	13	10	69	7	49
1987	12	15	9	11	8	57	6	42
1988	13	10	10	7	9	40	7	30
1989	29	9	22	7	13	29	10	22
1990	24	4	19	3	13	16	10	13
1991	15	4	12	3	6	30	5	24
1992	15	4	12	3	3	18	2	15
1993	22	17	19	14	4	25	3	21
1994	14	29	12	25	11	16	10	14
1995	12	28	11	25	5	30	4	27
1996	10	16	9	15	2	11	2	10
1997	8	37	7	34	3	4	3	4
1998	8	18	7	17	3	3	3	3
Total	38837	5528	22911	3195	961	1106	566	744

Note: **ac** is the actual activity by the year 2000.

Εικόνα 7

Ραδιενεργά απόβλητα από Sellafield και La Cap de la Hague

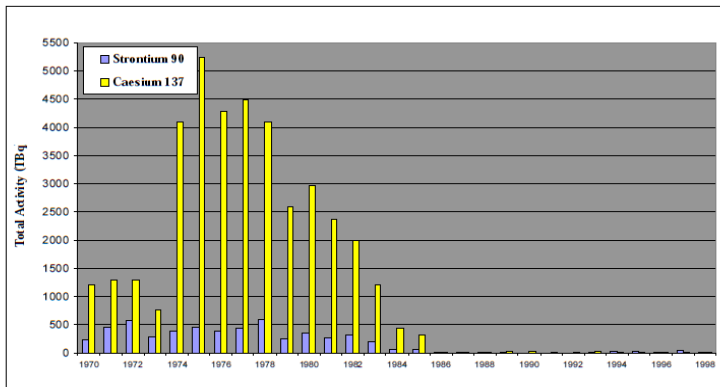


FIG. 4. Radioactive discharges from Sellafield, 1986-1998 in TBq

Ραδιενεργά απόβλητα από το εργοστάσιο Sellafield σε TBq την περίοδο από 1986-1998

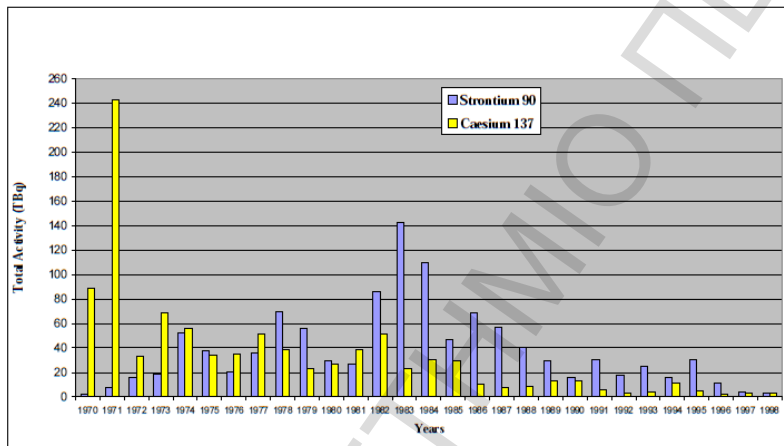


FIG. 5. Radioactive discharges from Cap de la Hague, 1970-1998 in TBq.

Εικόνα 9

Ραδιενεργά απόβλητα από το εργοστάσιο Cap de la Hague στην περίοδο 1970-1998 σε TBq.

Οι εικόνες 6,7 και 8 δείχνουν τις ετήσιες απορρίψεις ^{137}Cs και ^{90}Sr από το Sellafield και το Cap de la Hague αντίστοιχα. Επιπλέον εμφανίζονται τα διορθωμένα-φθίνοντα ποσά (έως το έτος 2000). Ενώ το Στρόντιο-90 από το cap de la Hague φτάνει το 20% του Στροντίου-90 από το Sellafield, το Καίσιο του Cap de la Hague φτάνει περίπου το 3% του Sellafield.

Εκτός από 40 PBq ^{137}Cs και 6,5 PBq ^{90}Sr τα δύο αυτά εργοστάσια ρυπαίνουν και με 126 PBq ^3H (Tritium) , 1 PBq ^{99}Te (Technetium) και 0.015 PBq ^{129}I και μάλιστα συνεισφέρουν πολύ στην ρύπανση του ΝΑ Ατλαντικού. Αυτά τα ραδιονουκλεΐδια έχουν 213.000 και 15.700.000 χρόνια ημιζωή, οπότε θα υπάρχουν ακόμα και όταν όλα τα άλλα ραδιονουκλεΐδια του πίνακα της εικόνας 6 έχουν εξαφανιστεί.

2.3.2.1. ΤΟ ^3H ή αλλιώς T, Τρίτιο, έχει χρόνο ημιζωής 12,35 χρόνια. Δεσμεύεται με υδροξύλιο OH και παράγει το τριτιωμένο νερό (HTO). Αυτό είναι χαμηλός εκπομπός βήτα ακτινοβολίας συνεπώς δεν είναι επικίνδυνο εξωτερικά μιας και δεν διαπερνά το δέρμα, αλλά όταν εισπνέεται ή εισάγεται στον οργανισμό με την τροφή ή το νερό αποτελεί κίνδυνο. Η βιολογική του ημιζωή στο ανθρώπινο σώμα είναι 7-14 ημέρες. Η χαμηλή εκπομπή σε ακτινοβολία β μαζί με το μικρό χρόνο βιολογικής ημιζωής εμποδίζει το Τρίτιο να εξαπλωθεί στο περιβάλλον.

Στο θαλάσσιο περιβάλλον το τρίτιο παρατηρείται στην άλγη σε μικρότερες ποσότητες από ότι στο θαλασσινό νερό και αυτό συμβαίνει εξαιτίας της μικρότερης κινητικής του σε οργανισμούς σε αντίθεση με το νερό, το ίδιο συμβαίνει και σε ανώτερους ζωικούς θαλάσσιους οργανισμούς. Τοξικολογικά το τρίτιο μπορεί να επέμβει στο DNA. Η ακτινοβολία ιονισμού εκπεμπόμενη μπορεί να προκαλέσει τα διάφορα “τραύματα” DNA που εμφανίζονται στον εκτεθειμένο οργανισμό ως φυσιολογικά αποτελέσματα (συμπεριφορά, αναπαραγωγή, γενετική ζημία, κ.λπ.) (Straume και Carsen, 1993). Για το τρίτιο αυτά τα τραύματα είναι βασικά ρήξεις DNA στα δύο σκέλη του μορίου, που καλούνται τα σπασίματα διπλών-σκελών (Moiseenko και λοιποί, 2001), και αποτελούν μια πηγή αυξανόμενου κινδύνου και τις γενετικές μεταλλαγές μεταξύ των γενεών.

2.3.2.2. ΤΟ ΤΕΧΝΗΤΙΟ ^{99}Tc είναι ένα μακρόβιο ανθρωπογενές ραδιονουκλεΐδιο το οποίο παράγεται σε σημαντικές ποσότητες από πυρηνικά εργοστάσια επανεπεξεργασίας. Ο χρόνος ημιζωής του είναι 213.000 χρόνια πράγμα το οποίο σημαίνει ότι παραμένει στο περιβάλλον με την ίδια ισχύ για χιλιάδες γενιές. Παράλληλα η τάση του να παραμένει σε υγρή μορφή στις συνθήκες που βρίσκεται στους ωκεανούς το κάνουν να είναι διαθέσιμο για πρόσληψη από τους οργανισμούς

για μακρόχρονες περιόδους. Μέχρι πρόσφατα ελάχιστα είναι γνωστά για τους θαλάσσιους οργανισμούς και το 99-Τεχνητίο. (Technetium-99 Contamination in the North Sea and in Norwegian Coastal Areas 1996 and 1997 Justin Brown, Anne Kathrine Kolstad, Bjørn Lind, Anne Liv Rudjord og Per Strand)

Το 85% της παγκόσμιας ποσότητας Τεχνητίου προέρχεται από παράκτιους ρύπους και το 15% από πυρηνικές δοκιμές. Η μεγαλύτερη ποσότητα του ραδιονουκλεΐδιου προέρχεται από τα δύο εργοστάσια la Hague και Sellafield και μολύνει κατά βάση τη Νορβηγική θάλασσα αλλά και τη θάλασσα της Ιρλανδίας και της Μεγάλης Βρετανίας.

Στον πίνακα που ακολουθεί απεικονίζονται τα επίπεδα τε 99 στο θαλάσσιο περιβάλλον περιοχές της νορβηγικής και βόρειας θάλασσας.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΑΙΑΩΝ

Sample	Sample date	Sample place	⁹⁹ Tc-concentration	
			Bq kg ⁻¹ dry weight	Bq kg ⁻¹ wet weight
Seaweed (<i>Fucus serratus</i>) No.96030/1-1 to 5	November 1996	Onsøy, Fredrikstad	36 ± 4	
Seaweed (<i>Fucus serratus</i>) No.97085/2-1 to 3	November 1997	Onsøy, Fredrikstad	170 ± 20	
Seaweed (<i>Fucus vesiculosus</i>) No.98086/1	December 1997	Hillesøy, Troms	79 ± 8	
Seaweed (<i>Fucus vesiculosus</i>) No.98086/2	January 1998	Hillesøy, Troms	124 ± 12	
Shrimps No.97085/1-1 and 2	November 1997	Outer Oslofjord	2.2 ± 0.2	0.54 ± 0.05
Lobster (<i>Homarus gammarus</i>) No.97085/5-1 and 2	November 1997	Outer Oslofjord	56 ± 6	11.2 ± 1.1
Lobster (<i>Homarus gammarus</i>) No.98087/1	December 1997	Sunnhordaland	180 ± 20	35 ± 4
Lobster (<i>Homarus gammarus</i>) No.98087/2	December 1997	Sunnhordaland	270 ± 30	42 ± 4
Mussels (<i>Mytilus edulis</i>) No.98086/3	July 1997	Hillesøy Troms	2.4 ± 0.2	0.53 ± 0.05
Mussels (<i>Mytilus edulis</i>) No.97085/3-1	November 1997	Onsøy Fredrikstad	7.6 ± 0.8	0.68 ± 0.07

Εικόνα 10

⁹⁹Tc επίπεδα στο θαλάσσιο περιβάλλον των περιοχών που αναγράφονται 1996-1997 και 1998.

Όπως φαίνεται από τον παραπάνω πίνακα οι αστακοί και τα φύκη συγκεντρώνουν μεγαλύτερες ποσότητες από το τεχνητό ⁹⁹Tc. Κάποιες άλλες μελέτες στην θάλασσα

Ιρλανδίας δείχνουν επίσης ότι η συγκέντρωση τεχνητίου είναι μεγαλύτερη σε αυτά τα είδη της θαλάσσιας ζώης.

Τα παρατηρηθέντα στοιχεία του ^{99}Tc στην θαλάσσια πανίδα και χλωρίδα είναι 30 φορές μικρότερα (πχ η μέγιστη συγκέντρωση στον αστακό 42Bq/Kg)

από τα επιτρεπόμενα σε περίπτωση ατυχήματος (και υπό συνθήκες) όπως αυτά ορίζονται από την Ευρωπαϊκή επιτροπή. Τέλος το ^{99}Tc έχει εξαπλωθεί πλέον μέχρι την Αρκτική θάλασσα.

2.3.2.3. ΤΟ ΙΩΔΙΟ ^{129}I έχει χρόνο ημιζωής 15,7 εκατομμύρια χρόνια υπάρχει στη φύση όταν επιδρούν οι κοσμική ακτινοβολία με ισότοπα ξένου. από το 1945 και με αποκορύφωμα το 1963 τα επίπεδα Ιωδίου αυξήθηκαν κατά πολύ από τα αντίστοιχα που υπήρχαν στη φύση. Όταν δε άρχισε η διοχέτευση Ιωδίου από τα εργοστάσια πυρηνικής επανεπεξεργασίας η αύξηση των επιπέδων ραδιενεργού Ιωδίου ^{129}I έγινε κατακόρυφα τόσο στην ατμόσφαιρα όσο και στην επιφάνεια της θάλασσας. Οι εγκαταστάσεις του Sellafield και La Hague έχουν συσσωρευτικά απελευθερώσει 1440 kgf μέχρι σήμερα. Από το 1994 και μετά η απευθείας εναπόθεση μόνο στον ωκεανό του Ιωδίου ^{129}I είναι 200 kgf/χρόνο. (Jean E. Moran, Atmospheric Dispersion of ^{129}I -Iodine from Nuclear Fuel Reprocessing Facilities, 1999) Το Ιώδιο-129 εκπέμπει χαμηλή βήτα ακτινοβολία και δεν είναι τόσο επικίνδυνο όσο το Ιώδιο 131 αλλά αν αναλογιστεί κανείς τα εκατομμύρια χρόνια ημιζωής του τότε ο κίνδυνος μεγαλώνει. Το Ιώδιο συσσωρεύεται στον θυρεοειδή αδένα του ανθρώπου και η συνεχής έκθεσή του οργανισμού σε αυτό μπορεί να προκαλέσει ακόμα και καρκίνο.

2.3.3. ΧΡΗΣΗ ΡΑΔΙΟΙΣΟΤΟΠΩΝ

Τα ραδιοϊσότοπα χρησιμοποιούνται και στην ιατρική, την έρευνα και στη βιομηχανία. Στην ιατρική τα ραδιοϊσότοπα είναι μικρής ημιζωής, κατά βάση ^{131}I και $^{99\text{m}}\text{Tc}$. Η εναπόθεσή τους στον παγκόσμιο ωκεανό προερχόμενη από ιατρικούς σκοπούς είναι αμελητέα. (0.6PBq I-131). Στην έρευνα χρησιμοποιούνται ραδιοϊσότοπα με μεγαλύτερο χρόνο ημιζωής, εκείνα είναι τα ^{14}C και ^3H και πάλι είναι αμελητέα η ποσότητα ραδιενεργών ρύπων που προέρχεται από την έρευνα.

2.3.4. ΥΠΟΘΕΤΙΚΑ ΚΑΙ ΠΙΘΑΝΑ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

Κατά τη διάρκεια 1949-1951 ILW και LLW (μεσαίου επιπέδου και χαμηλού επιπέδου) ραδιενεργά απόβλητα απελευθερώθηκαν από Σοβιετικό πυρηνικό εργοστάσιο Mayak στα Νότια Ουράλια στο ποτάμι Tech. Η συνολική ποσότητα είναι περίπου 100PBq ^{90}Sr και ^{137}Cs . Το ποτάμι αυτό ανήκει σε ένα σύμπλεγμα ποταμών το Ob και παρόλο που το Mayak απέχει από τις εκβολές του συμπλέγματος αυτού στον Αρκτικό ωκεανό κάπου στα 2000 km δεν μπορεί να αποκλειστεί ότι ^{90}Sr που είναι πιο ευκίνητο από ^{137}Cs , μπορεί να είχε φθάσει στον αρκτικό ωκεανό κατά το 1950. Η ρύπανση υπολογίζεται ότι ήταν της τάξεως του 1 PBq.

Από το 1951 η λίμνη Karachay του Mayak έχει χρησιμοποιηθεί ως χώρος εναπόθεσης ραδιενεργών αποβλήτων. 3,6 PBq ^{137}Cs και 0,74 EBq ^{90}Sr εκχύθηκαν στη λίμνη και έτσι η τελευταία αποτελεί πηγή μελλοντικής ρύπανσης του συστήματος Ob και εν τέλει του Αρκτικού Ωκεανού.

Το συγκρότημα Krasnoyarsk εξαγωγής μεταλλευμάτων και χημικής επεξεργασίας είναι άλλη μια πιθανή πηγή ραδιενεργού ρύπανσης του Αρκτικού ωκεανού. Άλλες πυρηνικές εγκαταστάσεις της πρώην Σοβιετικής ένωσης θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν όπως εκείνες του Murmansk και του Vladivostok αλλά και ραδιενεργά απόβλητα από στρατιωτικές ναυτικές βάσεις.

Οι Σιβηριανές ακτογραμμές έχουν φάρους σε όλο τους το μήκος οι οποίοι λειτουργούν με γεννήτριες στροντίου ^{90}Sr . Η κάθε μια από αυτές έχει περιεκτικότητα 10 PBq και σε περίπτωση ατυχήματος είναι σοβαρότατη η πιθανότητα της ρύπανσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος.

2.3.5. ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΑΠΟΡΡΟΗ

Τα ραδιονουκλεΐδια που κατατίθεται στο επίγειο περιβάλλον μπορούν να μεταφερθούν μέσω υπογείων νερών, λιμνών, ποταμιών στη θάλασσα. Η απορροή είναι δευτεροβάθμια μεταφορά ραδιενέργειας στη θάλασσα. Περίπου το 9% του ^{90}Sr του εδάφους θα αφαιρεθεί από την απορροή. Για το ^{132}Cs το ποσοστό πάει στο 2%.

Δεδομένου ότι η συνολική ατμοσφαιρική ραδιενεργή τέφρα είναι 622PBq ^{90}Sr και 948 PBq ^{137}Cs και η συνολική ποσότητα που εναποτίθεται στη θάλασσα είναι 377 PBq ^{90}Sr και 603PBq ^{137}Cs Στο έδαφος η ποσότητα είναι 245PBq ^{90}Sr και 345PBq ^{137}Cs . Προφανώς σε σύγκριση με τις συνολικές ποσότητες ραδιενέργειας εκείνες της απορροής είναι σχετικά ασήμαντες. Ως εκ τούτου η απορροή δε θεωρείται να επηρεάζει σημαντικά την παγκόσμια ποσότητα ραδιενεργού ρύπανσης.

2.3.6. ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΕΝΑΠΟΘΕΣΗ ΠΥΡΗΝΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Η εναπόθεση πυρηνικών αποβλήτων στο δυτικό κόσμο συνέβαινε σε εθνική βάση από το 1940 μέχρι τα μέσα του 1960 κυρίως από τις ΗΠΑ στον Ατλαντικό και τον Ειρηνικό ωκεανό και από το Ηνωμένο Βασίλειο στο Βορειοανατολικό Ατλαντικό. Στο 1967 η NEA (Τότε European Nuclear Energy Agency) οργάνωσε μια διεθνή επιχείρηση όπου περίπου 0,3PBq στερεών ρύπων εναποτίθεται σε βάθος 5Km στον ανατολικό Ατλαντικό ωκεανό. Παρόμοιες διεθνείς επιχειρήσεις συνεχίστηκαν μέχρι το 1982. Μέχρι τότε είχαν τοποθετηθεί 0,7PBq α -ακτινοβολίας, 42PBq β -ακτινοβολίας και 15 PBq τριτίου στο Βόρειο Ατλαντικό.

Η πρώην σοβιετική ένωση (FSU) απέρριψε ραδιενεργά απόβλητα σε διάστημα 3^{ων} δεκαετιών στην θάλασσα Kara και Barents. Η συνολική ποσότητα των αποβλήτων που απορρίφθηκαν στις Αρκτικές θάλασσες υπολογίζονταν στα 90PBq. Το διεθνές πρόγραμμα εκτίμησης των Αρκτικών θαλασσών (IASAP) με μελέτη του εκτίμησε ότι το απόθεμα μειώθηκε σε 4,7PBq. Υπολογισμοί έδειξαν ότι η συνολική αθροιστική δόση για τα επόμενα 1000 χρόνια στον παγκόσμιο πληθυσμό από τις απορρίψεις της Ρωσίας είναι 300 φορές μικρότερη από την αντίστοιχη δόση των απορριμμάτων του Βορειοανατολικού Ατλαντικού ωκεανού.

2.3.7. ΠΥΡΗΝΙΚΑ ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ

Λίγα πυρηνικά ατυχήματα έχουν απελευθερώσει ραδιονουκλεΐδια κατευθείαν στη θάλασσα. Τα περισσότερα ατυχήματα έχουν να κάνουν με ρύπανση της ατμόσφαιρας. Σε αυτή την περίπτωση η ραδιενεργός ρύπανση της θάλασσας γίνεται σε δεύτερο βαθμό από την ατμόσφαιρα ή από το έδαφος με απορροή.

Τα δύο μεγάλα πυρηνικά ατυχήματα του 1957 Kyshtym και Windscale δεν θεωρείται ότι επιβάρυναν σε μεγάλο βαθμό τη ρύπανση του θαλάσσιου περιβάλλοντος.

Το 1968 ένα αμερικάνικο βομβαρδιστικό B-52 έπεσε κάνοντας αναγκαστική προσγείωση στη βάση Thule στη Γροιλανδία. Παρόμοιο ατύχημα είχε συμβεί στη Νοτιοανατολική Ισπανία. Στην Ισπανία η ρύπανση συνέβη στη θάλασσα. Αντίθετα στη Γροιλανδία 1TBq 239,240 Pu έπεσε στη θάλασσα.

Πολλά πυρηνικά υποβρύχια τόσο Ρωσικά όσο και Αμερικάνικα χάθηκαν στον παγκόσμιο ωκεανό. Η πιο πρόσφατη απώλεια ήταν το Ρωσικό υποβρύχιο “Kursk” στη θάλασσα Barents στον Αρκτικό ωκεανό τον Αύγουστο του 2000. Το υποβρύχιο αυτό ανασύρθηκε ένα χρόνο αργότερα το 2001 και δεν παρατηρήθηκε κάποια διαρροή ραδιενεργών στοιχείων. Άλλη απώλεια ήταν το Ρωσικό υποβρύχιο “Komsomolets” το οποίο βυθίστηκε σε βάθος 1700m στο νησί Bear στο ανατολικό κομμάτι της Νορβηγικής θάλασσας. Η ραδιενεργός δραστηριότητα υπολογίζεται σε 2,8PBq 90Sr και 3PBq 137 Cs και οι πυρηνικές κεφαλές περιείχαν 16TBq 239,240 Pu. Γύρω από το “Komsomolets” παρατηρήθηκε αυξημένο επίπεδο 137 Cs στο θαλάσσιο νερό αλλά γενικότερα τα βυθισμένα πυρηνικά υποβρύχια θεωρούνται πιθανές πηγές ρύπανσης του ωκεανού.

Κάποιοι δορυφόροι λειτουργούν με πυρηνική ενέργεια. Σε μερικές περιπτώσεις τέτοιοι δορυφόροι έχουν καεί στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας και έτσι έμμεσα συμβάλλουν στη ρύπανση του ωκεανού. Μια τέτοια περίπτωση ήταν το 1964 όταν μια πυρηνική γεννήτρια SNAP-9A τοποθετημένη σε έναν Αμερικάνικο δορυφόρο, μπήκε στην ατμόσφαιρα στο Νότιο Ημισφαίριο. Η γεννήτρια αυτή περιείχε 0,6PBq 238 Pu. Από τότε τα δείγματα από το Νότιο Ημισφαίριο έχουν μεγαλύτερη συγκέντρωση σε 238Pu και 239,240 Pu σε σύγκριση με τα δείγματα που λαμβάνονται από το Βόρειο Ημισφαίριο.

2.3.8. ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΤΟΥΣ ΩΚΕΑΝΟΥΣ

Η συνολική ποσότητα ραδιενέργειας από όλες τις πηγές, στον θαλάσσιο ωκεανό του στοιχείου ^{90}Sr εκτιμάται στα 383PBq (377PBq από παγκόσμιες απορρίψεις τέφρας και 6,5 PBq από επανεπεξεργασία). Η αντίστοιχη ποσότητα του ^{137}Cs ήταν 659PBq (604PBq από ραδιενεργό τέφρα και 40PBq από επανεπεξεργασία και 16 PBq από το Τσέρνομπιλ) Σε αυτές τις ποσότητες θα πρέπει να προστεθούν και τοπικές εισαγωγές στο Βόρειο Ειρηνικό ωκεανό που είναι περίπου 100 PBq από το ένα και 100 PBq από το άλλο στοιχείο. Ο Παρακάτω πίνακας μας δείχνει τη συνολική απόρριψη ραδιενέργειας στον παγκόσμιο ωκεανό.

Arctic & Atlantic Oceans						Indian & Pacific Oceans			World
Latitude	Global fallout	Local fallout	Repro-cessing	Chernoby 1	Subtotal	Global fallout	Local fallout	Subtotal	ALL SOURCE S
^{90}Sr									
N 90°-30°	28.8	0.0	3.9	0.0	32.7	29.2	0.0	29.2	61.9
N 30°-0°	12.3	0.0	0.0	0.0	12.3	31.6	22.5	54.1	66.5
S 0°-30°	4.1	0.0	0.0	0.0	4.1	16.5	22.5	39.0	43.1
S 30°-90°	6.8	0.0	0.0	0.0	6.8	21.4	0.0	21.4	28.2
TOTAL	52.1	0.0	3.9	0.0	56.0	98.6	45.0	143.6	199.7
^{137}Cs									
N 90°-30°	46.1	0.0	23.5	11.5	81.1	46.7	0.0	46.7	127.8
N 30°-0°	19.7	0.0	0.0	0.0	19.7	50.6	36.0	86.6	106.3
S 0°-30°	6.6	0.0	0.0	0.0	6.6	26.4	36.0	62.4	69.0
S 30°-90°	10.9	0.0	0.0	0.0	10.9	34.2	0.0	34.2	45.1
TOTAL	83.4	0.0	23.5	11.5	118.4	157.8	72.0	229.8	348.2
$^{239,240}\text{Pu}$									
N 90°-30°	1.3	0.0	0.0	0.0	1.3	1.3	0.0	1.3	2.5
N 30°-0°	0.5	0.0	0.0	0.0	0.5	1.4	1.0	2.4	2.9
S 0°-30°	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.7	1.0	1.7	1.9
S 30°-90°	0.3	0.0	0.0	0.0	0.3	0.9	0.0	0.9	1.2
TOTAL	2.3	0.0	0.0	0.0	2.3	4.3	2.0	6.3	8.6

Εικόνα 11

Ραδιενεργή περιεκτικότητα του παγκόσμιου ωκεανού το έτος 2000 (σε PBq)

Εκτιμάται ότι η εισαγωγή συνολικής ραδιενεργού τέφρας από τις μελέτες που έγιναν στον Ειρηνικό ωκεανό ήταν 113PBq ^{90}Sr , 181 PBq ^{137}Cs και 2 PBq $^{239,240}\text{Pu}$. Επίσης εκτιμάται ότι αυτή η τέφρα διαμοιράστηκε στα δύο μεταξύ γεωγραφικού

πλάτους N30-0 μοίρες και S0-30 μοίρες. Μέχρι το 2000 οι ποσότητες Στροντίου και καισίου μειώθηκαν σε 45PBq και 72PBq αντίστοιχα.

Οι σημαντικότερες εισαγωγές από τη σφαιρική ραδιενεργό τέφρα εμφανίστηκαν προς το τέλος της δεκαετίας του '50 και των αρχών της δεκαετίας του εξήντα, οι απορρίψεις λόγω επανεπεξεργασίας αυξήθηκαν στο τελευταίο μισό της δεκαετίας του '70 και σχεδόν όλη η ραδιενεργός τέφρα από το Τσέρνομπιλ κατατέθηκε το 1986. Έχει υπάρξει κάποια ανακατανομή από ραδιονουκλεΐδια στον ωκεανό λόγω τόσο της μετατόπισης όσο και του συνδυασμού των διαδικασιών. Πλωτές απελευθερώσεις από την επανεπεξεργασία στη δυτική Ευρώπη και τη σφαιρική ραδιενεργό τέφρα έχει διασκορπιστεί έτσι στην Αρκτική. Ο ωκεανός και η ρύπανση από τη θάλασσα της Βαλτικής, λόγω του ατυχήματος του Τσέρνομπιλ, έχουν φθάσει στο Βόρειο Ατλαντικό και στον Αρκτικό ωκεανό.

Ο Βορειοανατολικός Ατλαντικός είναι το μέρος του παγκόσμιου ωκεανού που μολύνεται από τα ραδιονουκλεΐδια λόγω ^{137}Cs που εισάγεται και από τις τρεις σημαντικές πηγές: παγκόσμια ραδιενεργός τέφρα, εργοστάσια επανεπεξεργασίας και Τσέρνομπιλ.

Η χαμηλότερη εισαγωγή των ανθρωπογενών ραδιονουκλεϊδίων ήταν στα νερά που περιβάλλουν την Ανταρκτική ήπειρο. Σε αυτά τα νότια μέρη του Ειρηνικού, του Ινδικού και του Ατλαντικού, οι συγκεντρώσεις ^{137}Cs είναι περίπου 40 φορές χαμηλότερες από εκείνες που βρίσκονται στο Βορειοανατολικό Ατλαντικό. Αν και ο ωκεανός περιέχει τα περισσότερα από τα ανθρωπογενή ραδιονουκλεΐδια που απελευθερώνονται στο περιβάλλον, ο ραδιολογικός αντίκτυπος αυτής της ρύπανσης είναι χαμηλός.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΠΥΡΗΝΙΚΑ ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

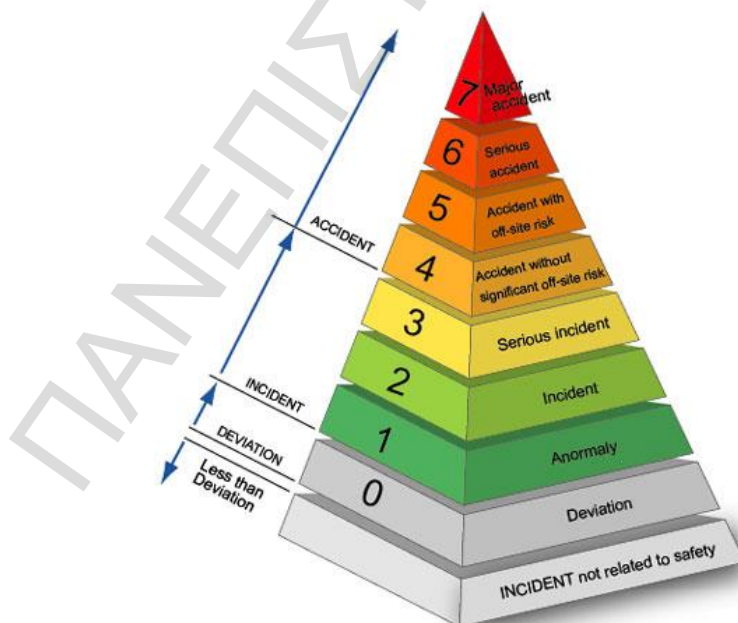
3.1. ΔΙΕΘΝΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑ ΠΥΡΗΝΙΚΩΝ ΓΕΓΟΝΟΤΩΝ

Μια από τις μεγαλύτερες πηγές ραδιενεργού ρύπανσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος είναι τα πυρηνικά ατυχήματα.

Ο Διεθνής Οργανισμός Ατομικής Ενέργειας (ΙΑΕΑ)- International Atomic Energy Agency θυγατρικός του ΟΗΕ που εδρεύει στη Βιέννη θέσπισε τη διεθνή κλίμακα πυρηνικών γεγονότων. International Nuclear Event Scale – INES

Η INES κλίμακα είναι ένα εργαλείο για άμεση ενημέρωση του κοινού, με συνεπείς όρους, της σημασίας όσον αφορά την ασφάλεια, των πυρηνικών γεγονότων (iaea.org) και ατυχημάτων εξαιρώντας τα φυσικά φαινόμενα (ραδόνιο)

Η κλίμακα αυτή μπορεί να εφαρμοσθεί σε κάθε γεγονός που συνδέεται με πυρηνικές εγκαταστάσεις όπως και για μεταφορά, αποθήκευση και χρήση ραδιενεργών υλικών και πηγών ραδιενέργειας.



Εικόνα 12
Κλίμακα INES

- Το πρώτο επίπεδο χαρακτηρίζεται ως ανωμαλία. Ανωμαλία είναι η υπέρβαση προκαθορισμένων ορίων ασφαλείας λόγω αστοχίας υλικού, ανθρώπινου σφάλματος ή λειτουργικών αδυναμιών.
- Το δεύτερο επίπεδο είναι συμβάν. Συμβάν είναι η παραβίαση ορίων ασφαλείας αλλά με ανοχή ως προς τη σωρευτικότητα, δηλαδή με δυνατότητα αντιστάθμισης της δόσης με το χρόνο. Συμβάν που οδηγεί σε υπέρβαση ορίων ραδιενέργειας σε περιοχές όπου αυτό δεν προβλέπεται.
- Το τρίτο επίπεδο είναι σοβαρό συμβάν. Σοβαρό συμβάν συνεπάγεται διαρροή ραδιενέργειας στο περιβάλλον με δυσμενέστερη δόση της τάξης των δεκάτων mSv χωρίς να απαιτείται η λήψη μέτρων. Μέσα στην εγκατάσταση οι δόσεις ενδεχομένως οδηγούν σε ντετερμινιστικές συνέπειες με διαρροή ενέργειας μερικές χιλιάδες TBq και ρύπανση σε υλικά τα οποία πρέπει να αποσυρθούν και να αποθηκευτούν κατάλληλα. (Vandellos NPP, Spain 1989)
- Το τέταρτο επίπεδο είναι για ατύχημα χωρίς σημαντικές περιβαλλοντικές συνέπειες. Συνεπάγεται διαρροή ραδιενέργειας στο περιβάλλον με δυσμενέστερη δόση της τάξεως μερικών mSv. Η λήψη μέτρων ενδεχομένως περιορίζεται σε έλεγχο τροφίμων. Σημαντικές ζημιές στην εγκατάσταση ενδεχομένως μερική τήξη του πυρήνα. Δόση σε εργαζόμενους με υψηλή πιθανότητα ντετερμινιστικών συνεπειών, μέχρι θανάτου. (Saint Laurent, NPP France, 1980 Tokai Mura, Japan 1999)
- Το πέμπτο επίπεδο αναφέρεται σε ατυχήματα με περιβαλλοντικές συνέπειες. Συνεπάγεται διαφυγή ραδιενεργού υλικού στο περιβάλλον σε ποσότητες ραδιολογικά ισοδύναμες 100-1000 TBq I-131 Επιβάλλεται λήψη μέτρων για τον πληθυσμό ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι συνέπειες. Σοβαρές ζημιές στην εγκατάσταση με εκτεταμένη τήξη του πυρήνα ή και πυρκαγιά. Δόση σε εργαζόμενους με ντετερμινιστικές συνέπειες (Windscale Pile, UK, 1957 Three mile island, USA, 1979)
- Το έκτο επίπεδο έχει να κάνει με σημαντική έκκλιση ραδιενεργού υλικού που πιθανώς να χρειαστεί να ληφθούν μέτρα για την αποκατάσταση της περιοχής.

Στην κατηγορία αυτή ανήκει το ατύχημα στο εργοστάσιο Mayak κοντά στο Kyshtym στην Ρωσία.

- Το έβδομο επίπεδο έχει να κάνει με τεράστια έκκλιση ραδιενεργών υλικών με ευρύτερες επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων και στο περιβάλλον. Απαραίτητη η λήψη μέτρων για την αποκατάσταση της περιοχής. Στην κατηγορία αυτή ανήκει το ατύχημα στο Τσέρνομπιλ όπου είχαμε τα παρακάτω σημαντικά στοιχεία: α) Ο αντιδραστήρας ήταν σε λειτουργία με χαμηλή απόδοση όταν, κατά την διάρκεια προγραμματισμένης δοκιμής, η αντίδραση στον πυρήνα του αντιδραστήρα ξέφυγε από τον έλεγχο (λόγω εγγενούς σχεδιαστικού προβλήματος που οδηγούσε σε θετική ανάδραση στην απόδοση του αντιδραστήρα στην περίπτωση που κάποιος επιχειρούσε να την μειώσει). β) Αυτό οδήγησε αρχικά σε μια έκρηξη ατμού που κατέστρεψε το δοχείο στο οποίο βρισκόταν το καύσιμο και μετά σε μια δεύτερη έκρηξη που μάλλον ήταν πυρηνικής φύσης. Οι δύο εκρήξεις είχαν ως αποτέλεσμα να εκτιναχθεί υλικό από τον πυρήνα σε απόσταση από τον αντιδραστήρα. γ) Μετά την έκθεση του πυρήνα, ο γραφίτης που υπήρχε στον αντιδραστήρα πήρε φωτιά με αποτέλεσμα ο καπνός να διασπείρει τεράστιες ποσότητες ραδιενεργών σωματιδίων.

Συνεπάγεται διαφυγή μεγάλης ποσότητας ραδιενεργού υλικού μιας μεγάλης εγκαταστάσεως, πχ. ενός ΠΑΙ. Διαφυγή ραδιολογικά ισοδύναμη της τάξης των δεκάδων χιλιάδων TBq I-131. Αναμένονται ντετερμινιστικές συνέπειες στον εγγύς πληθυσμό και μεγάλης έκτασης μακροχρόνιες ραδιοπεριβαλλοντικές συνέπειες.

Επίπεδα και Περιγραφή	Άνθρωποι και περιβάλλον	Ραδιολογικά όρια και μέτρα στις εγκαταστάσεις	Ελαστική άμυνα
Επίπεδο 7- Μεγάλο ατύχημα	Μεγάλη απελευθέρωση ραδιενεργών υλικών με διαδεδομένη δράση κατά της υγείας και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που απαιτούν την εφαρμογή των προγραμματισμένων ενεργειών αντιμετώπισης		
Επίπεδο 6 – Σοβαρό ατύχημα	Σημαντική απελευθέρωση του ραδιενεργού υλικού πιθανή να απαιτήσει την εφαρμογή των προγραμματισμένων μέτρων αντιμετώπισης		
Επίπεδο 5 – Ατύχημα με ευρύτερες συνέπειες	Περιορισμένη απελευθέρωση ραδιενεργών υλικών πιθανόν να απαιτήσουν την εφαρμογή μερικών προγραμματισμένων μέτρων. Αρκετοί θάνατοι από ακτινοβολία	Σοβαρή βλάβη στον πυρηνικό αντιδραστήρα Απελευθέρωση μεγάλων ποσοτήτων ραδιενεργών υλικών μέσα σε μια εγκατάσταση με μια υψηλή πιθανότητα της σημαντικής δημόσιας έκθεσης. Λιώσιμο ή βλάβη καυσίμων με συνέπεια την απελευθέρωση περισσότερο από 0,1% του περιεχομένου του πυρήνα. Απελευθέρωση σημαντικών ποσοτήτων ραδιενεργού υλικού μέσα σε μια εγκατάσταση με μια υψηλή πιθανότητα της σημαντικής δημόσιας έκθεσης	Γειτονικό ατύχημα σε ένα πυρηνικό εργοστάσιο χωρίς παροχές ασφαλείας. Χαμένη ή κλεμμένη σφραγισμένη ραδιενεργός πηγή Λάθος παραδομένη ραδιενεργή πηγή χωρίς επαρκείς τρόπους σε εκείνο το μέρος για αντιμετώπιση του
Επίπεδο 4 – Ατύχημα με τοπικές συνέπειες	Ελάχιστη απελευθέρωση ραδιενεργού υλικού όχι ικανού να μπουν σε εφαρμογή τα προγραμματισμένα μέτρα, εκτός από κάποιους ελέγχους τροφίμων τοπικά Τουλάχιστον ένας θάνατος από ακτινοβολία	Εκθεση περισσότερη από 1Sv/h σε μια περιοχή Σοβαρή ρύπανση σε περιοχή αναμενόμενη με μια χαμηλή πιθανότητα δημόσιας έκθεσης	Σημαντικές αποτυχίες σε παροχές ασφαλείας αλλά χωρίς πρακτικές συνέπειες Εύρεση ορφανής υψηλής ραδιενεργού πηγής, συσκευής ή πακέτου μεταφερόμενου με άθικτους κανόνες ασφαλείας Ανεπαρκής σφράγιση ραδιενεργού πηγής
Επίπεδο 3 – Σοβαρό περιστατικό	Έκθεση παραπάνω από δέκα φορές το νόμιμο ετήσιο όριο για τους εργαζόμενους. Μη θανατηφόρα επίπτωση στην υγεία	Εκθεση περισσότερη από 1Sv/h σε μια περιοχή Σοβαρή ρύπανση σε περιοχή αναμενόμενη με μια χαμηλή πιθανότητα δημόσιας έκθεσης	Υπερέκθεση ενός πολίτη σε μεγαλύτερη από τα νόμιμα όρια ακτινοβολία Μικρά προβλήματα ασφαλείας με σημαντική άμυνα σε βάθος Χαμένη ή κλεμμένη πηγή ή συσκευή ή μεταφερόμενου πακέτου.
Επίπεδο 2 - Περιστατικό	Έκθεση ενός ανθρώπου – πολίτη σε παραπάνω από 10 mSv Έκθεση ενός έστω εργάτη σε περισσότερα από τα νόμιμα ετήσια όρια	Επίπεδα ακτινοβολίας σε περιοχές εργασίας περισσότερο από 50 mSv/h Ρύπανση μέσα στις εγκαταστάσεις σε περιοχή μη προβλεπόμενη από το σχέδιο	
Επίπεδο 1 - Ανωμαλία	Καμία επίπτωση		

Εικόνα 13
Πίνακας κλίμακας Ines (IAEA)

3.2. ΤΑ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΕΡΑ ΠΥΡΗΝΙΚΑ ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΘΑΛΑΣΣΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Τα σημαντικότερα πυρηνικά ατυχήματα είναι στο Windscale της Μεγάλης Βρετανίας το 1954, στο Kyshtym της Ρωσίας το ίδιο έτος στο Chernobyl της Ουκρανίας το 1986 και στη Fukushima το 2011.

3.2.1. WINDSCALE 1957 (UK).

Η φωτιά στο εργοστάσιο Windscale ήταν το χειρότερο πυρηνικό ατύχημα που συνέβη στην ιστορία της Μεγάλης Βρετανίας και χαρακτηρίστηκε ως 5^ο βαθμού της κλίμακας INES. Οι δύο στήλες του εργοστασίου ήταν κατασκευασμένες βιαστικά ως τμήμα του βρετανικού



ατομικού προγράμματος βομβών. Η στήλη νούμερο 1 λειτούργησε το 1950 τον Οκτώβρη και ακολουθήθηκε από τη στήλη 2 τον Ιούνιο του 1951. Το ατύχημα συνέβη όταν έπιασε φωτιά ο πυρήνας της πρώτης μονάδας Cumberland (Τώρα Sellafield Cumbria). Έτσι αποδεσμεύτηκαν ποσά ραδιενέργειας στην περιβάλλουσα περιοχή. Το Ιώδιο -131 που αποδεσμεύτηκε έχει υπολογιστεί ότι προκάλεσε 240 περιπτώσεις καρκίνου. Όμως πρόσφατες μελέτες έδειξαν ότι αυτός ο αριθμός ήταν πολύ μεγαλύτερος (Wakeford, R., *The Windscale Reactor Incident-50 Years on*. Journal of Radiological Protection), Όπως και ότι η συνολική ποσότητα ραδιενέργειας ήταν 18.6PBq. Εκ των οποίων τα 1.8PBq Ιώδιο και 42TBq of Πολώνιο-210. (Garland, J.A., *Atmospheric Emissions from the Windscale Accident of October, 1957*. Atmospheric Environment. (2007)) Δεν έγινε εκκένωση της γύρω περιοχής αν και υπήρξαν ανησυχίες για τη μόλυνση του γάλατος. Έτσι και σε ακτίνα 500km² της κοντινής επαρχίας ήταν αραιωμένο για ένα μήνα.

Μια μελέτη του 2010 αναφέρει ότι οι εργάτες που συμμετείχαν άμεσα στον καθαρισμό, δεν είχαν καμία σημαντική μακροπρόθεσμη επίπτωση στην υγεία τους από τη συμμετοχή τους. (McGeoghegan, D.; Whaley, S.; Binks, K.; Gillies, M.; Thompson, K.; McElvenny, D. M. (2010). "Mortality and cancer registration experience of the Sellafield workers known to have been involved in the 1957 Windscale accident: 50 year follow-up". *Journal of Radiological Protection*)

Rating nuclear danger			
Selected events, INES* scale, 7=maximum			
Level	Place	Year	Incident
7	Chernobyl, Ukraine	1986	An explosion and a fire in the reactor core at the Chernobyl nuclear power plant sent a radioactive plume across large swathes of Europe. Chernobyl remains easily the worst nuclear accident in history
7	Fukushima, Japan	2011	Following an earthquake and a tsunami, a series of partial core meltdowns and a fire in a fuel pond at the Japanese Fukushima Dai-ichi plant caused fluctuating releases of radiation into the sea and the surrounding countryside
6	Kyshtym, Russia	1957	A failed cooling system caused an explosion that destroyed a tank containing 70-80 tonnes of liquid radioactive waste at a waste-reprocessing plant. Current best estimates suggest that more than 10,000 people received significant doses of radiation
5	Windscale, Britain	1957	The core of a reactor at Windscale in Cumbria (now called Sellafield) caught fire; the plume of smoke deposited radiation across the surrounding countryside and parts of Europe
5	Three Mile Island, United States	1979	A stuck valve led to a partial core meltdown at a Pennsylvania nuclear power plant. Despite the severity of the accident, comparatively little radiation was released
5	Goiânia, Brazil	1987	Thieves stole a canister of highly radioactive caesium chloride used in nuclear medicine from an abandoned hospital. It ended up in a scrapyard, exposing many people to high doses. Four subsequently died from radiation sickness
4	Tokaimura, Japan	1999	Nuclear workers were preparing a batch of fuel for an experimental reactor. Fuel stored in a tank accidentally reached "critical mass", began undergoing nuclear reactions and emitted enough radiation to kill two workers
3	Sellafield, Britain	2005	Over 20 tonnes of nuclear fuel, dissolved in nitric acid, leaked from a pipe at a nuclear reprocessing plant, on the same site as the 1957 Windscale fire. None made it out into the wider environment
2	Forsmark, Sweden	2006	A reactor was shut down following an electrical fault. Two of four back-up diesel generators, designed to power the cooling systems in an emergency, failed to start properly
1	Gravelines, France	2009	A bundle of nuclear fuel got stuck during an operation to replace fuel in the core of a reactor. The reactor building was evacuated, but no radiation was released

Sources: IAEA; *The Economist* *International Nuclear and Radiological Event Scale

Εικόνα 14

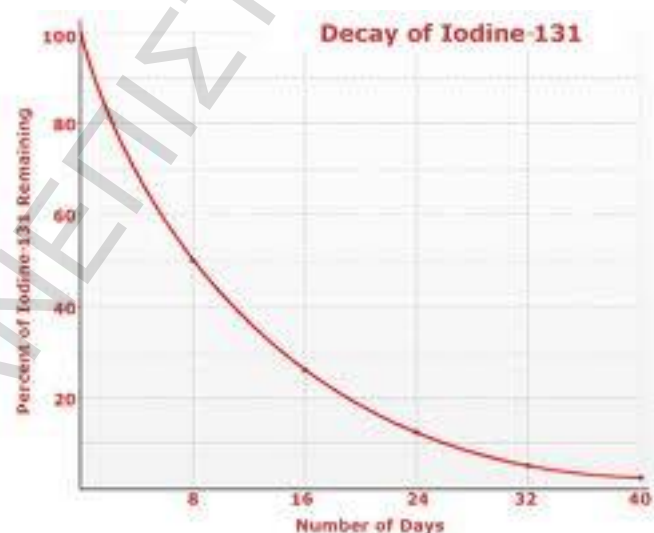
Γεγονότα με βάση την κλίμακα INES

Τα διαφυγόντα ραδιενεργά στοιχεία προκάλεσαν μεγάλη καταστροφή στην Ιρλανδική θάλασσα όπου και η περισσότερη ραδιενεργός τέφρα διασκορπίστηκε. Σύμφωνα με την IAEA ένα μεγάλο μέρος ρύπανσης της θάλασσας αυτής και μέρους του Αρκτικού ωκεανού οφείλεται σε εκείνο το ατύχημα.

Το πολώνιο 210 είναι ραδιοϊσότοπο α-ακτινοβολίας, έχει χρόνο ημιζωής 140 ημέρες. Στη φύση υπάρχει σε πολύ μικρές ποσότητες ώστε δεν είναι επικίνδυνο για άνθρωπο ή για ζώα. Με το ατύχημα στο Windscale όμως οι ποσότητες του πολωνίου ήταν αρκετή για να δημιουργηθούν αναταραχές στη θαλάσσια ζωή μιας και το πολώνιο συγκεντρώνεται σε μύες, ήπαρ και πάγκρεας των καρκινοειδών και των μαλάκιων και κεφαλόποδων, τα οποία είναι αντιπροσωπευτικά είδη πελάγιας και βενθικής τροφικής αλυσίδας. Το ίδιο ραδιενεργό στοιχείο έχει βρεθεί και μετρηθεί στο συκώτι και σε άλλα εσωτερικά όργανα του τόνου. Υψηλότερους παράγοντες συγκέντρωσης έχουν οι γαρίδες του γένους *Sergestes*. (triscience.com)

Το Πολώνιο 210 είναι ακίνδυνο έξω από το σώμα εφόσον είναι α- εκπομπέας ακτινοβολίας. Όσο όμως μπαίνει στο σώμα είτε από αναπνοή είτε από τροφή είτε από πληγή, είναι ιδιαίτερα καρκινογόνο. Επομένως με την αλιεία και την κατανάλωση θαλασσινών της θάλασσας της Ιρλανδίας, ο άνθρωπος γίνεται δέκτης τέτοιου είδους ραδιενέργειας.

Άλλο ραδιενεργό στοιχείο που διέφυγε με το πυρηνικό ατύχημα του Windscale είναι το Ιώδιο – 131.



Εικόνα 15

Εξασθένηση του Ιωδίου -131

Το Ιώδιο 131 έχει χρόνο ημιζωής 8 ημέρες. Απορροφάται από τα θαλάσσια είδη και συγκεντρώνεται σε μεγάλες ποσότητες στο καφέ φύκι. Ο χρόνος ημιζωής του είναι μικρός όμως οι ζημιές που προκαλεί στους ιστούς είναι αθροιστική.

3.2.2 KYSHTYM RUSSIA 1957

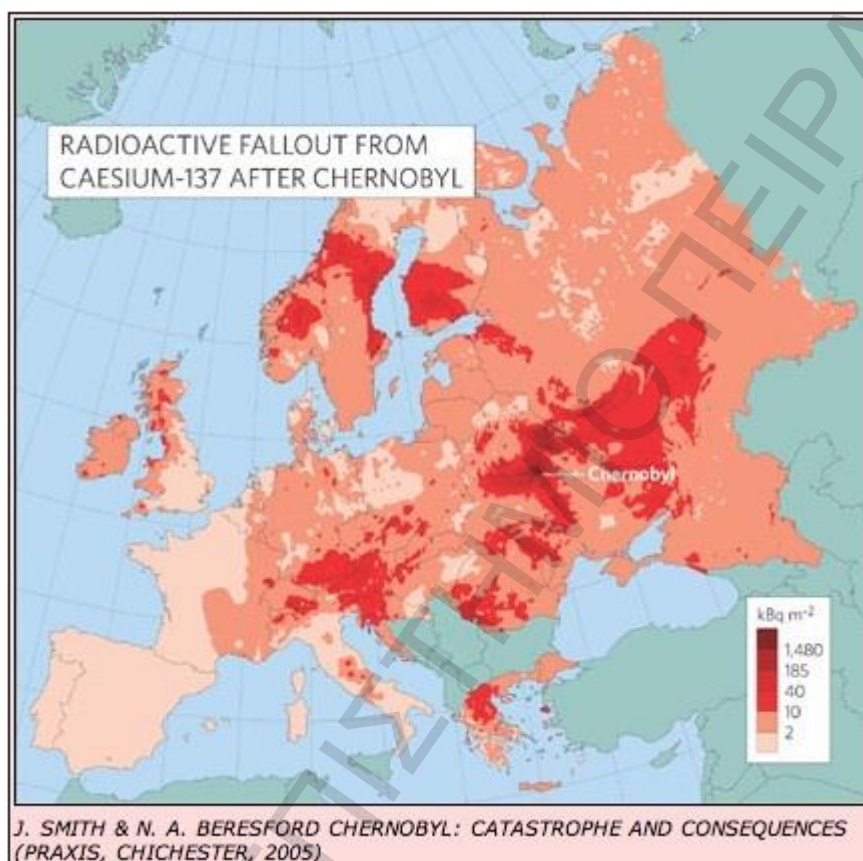
Το ατύχημα του Kysthym συνέβει στις 29 Σεπτεμβρίου 1957 στο Mayak εργοστάσιο πυρηνικής επανεπεξεργασίας. Είναι το τρίτο σε σοβαρότητα ατύχημα βαθμού 6^{ου} στην κλίμακα INES.

Στις 29 Σεπτεμβρίου 1957 το σύστημα ψύξης σε μια δεξαμενή που περιείχε 70-80 τόνους υγρά ραδιενεργά απόβλητα χάλασε και δεν επισκευάστηκε. Η θερμοκρασία άρχισε να ανεβαίνει με συνέπεια την εξάτμιση και τελικά έκρηξη αποβλήτων που αποτελούνται κυρίως από νιτρικό αμμώνιο. Η έκρηξη υπολογίστηκε στους 70-100 τόνους TNT και απελευθερώθηκαν 800 PBq ραδιενέργειας. Το μεγαλύτερο μέρος της ρύπανσης εντοπίζεται στη γύρω περιοχή και κυρίως στον ποταμό Techa ο οποίος όμως δεν ήταν παρθένος μιας και εκεί γινόταν η εναπόθεση αποβλήτων (100PBq) Τις επόμενες 10 με 11 ώρες το ραδιενεργό σύννεφο κινήθηκε προς τα ΒΑ σε απόσταση 300-350 χιλιομέτρα. Η ραδιενεργός τέφρα από το σύννεφο αυτό οδήγησε στη μακροπρόθεσμη ρύπανση μιας περιοχής περισσότερο από 800 έως 20.000 τετραγωνικά χιλιόμετρα με καίσιο 137 και στρόντιο 90. Ο αριθμός θανάτων από την ραδιενέργεια παραμένει αβέβαιος μιας και ο καρκίνος που προέρχεται από την έκθεση σε ακτινοβολία παρουσιάζει ίδια κλινική εικόνα με τους καρκίνους που προέρχονται από άλλες αιτίες. Το 1992 μια μελέτη που πραγματοποιήθηκε από το ίδρυμα βιοφυσικής της πρώην Σοβιετικής Ένωσης (Υπουργείου υγείας) διαπίστωσε ότι 8015 είχαν πεθάνει στα προηγούμενα 32 έτη λόγω του ατυχήματος αυτού.

3.2.3. CHERNOBYL 1986

Το πυρηνικό ατύχημα του Τσέρνομπιλ τον Απρίλιο του 1986 είχε πολύ σοβαρές επιπτώσεις τόσο το χερσαίο όσο και στο θαλάσσιο περιβάλλον.

Η συνολική ραδιενέργεια ήταν τόσο υψηλή ($1-2 \cdot 10^{18}$ Bq) που η ραδιενεργός τέφρα επηρέασε πολλά οικοσυστήματα μιας και διασκορπίστηκε σε τεράστιες εκτάσεις.



Εικόνα 16

Συγκέντρωση ραδιενέργειας από το Chernobyl

Οι συγκεντρώσεις ραδιενέργειας από ανθρώπινη δραστηριότητα ποικίλουν από περιοχή σε περιοχή ανάλογα με την τοποθεσία της πηγής της ρύπανσης. Σε κάποιες περιοχές όπως στην Ιρλανδία και στη Βόρεια Θάλασσα οι συγκεντρώσεις καϊσίου 137 και πλουτωνίου 239 στο θαλάσσιο περιβάλλον έχουν αυξηθεί από τα απόβλητα των ευρωπαϊκών εργοστασίων επανεπεξεργασίας. Από την άλλη όμως η Βαλτική και η Μαύρη θάλασσα έχουν επηρεαστεί από το ατύχημα του Chernobyl.

Από τα 20 και πλέον ραδιονουκλεΐδια που απελευθερώθηκαν σε σημαντικές ποσότητες με το ατύχημα του Chernobyl μόνο μερικά έχουν μελετηθεί εκτενώς στο θαλάσσιο περιβάλλον. Μεταξύ των σημαντικότερων είναι το στρόντιο 90, το καΐσιο 134, το καΐσιο 137 και το πλουτώνιο 239 και 240. Άλλα ραδιονουκλεΐδια όπως το ιώδιο 131 έχουν χρόνο ημιζωής πολύ μικρό για να μελετηθεί, ή έχουν πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις. (I-129)

Το στρόντιο 90 και το καΐσιο 137 είναι τυπικοί εκπρόσωποι διαλυτών στοιχείων στο νερό με χαμηλή ικανότητα άμεσου αντίδρασης των μορίων τους σε σύγκριση με τα ισότοπα πλουτωνίου, τα οποία ανήκουν σε μια ομάδα στοιχείων με χαμηλή διαλυτότητα και υψηλή ικανότητα άμεσου αντίδρασης.

Τα ισότοπα πλουτωνίου δεν ταξιδεύουν πολλαποστάσεις από την πηγή επειδή κατακάθονται στο ίζημα, οπότε ο ωκεανός είναι και το μέρος που συγκεντρώνεται κατά βάση το πλουτώνιο. Όσον αφορά το Chernobyl και το πλουτώνιο, το ατύχημα ήταν μικρό και εντοπισμένο. Αντίθετα τα ισότοπα καϊσίου ήταν και τα πιο διαδεδομένα και άφθονα στο ατύχημα αυτό. Η συμπεριφορά του καϊσίου στους ωκεανούς έχει μελετηθεί κατά τη διάρκεια μιας μεγάλης περιόδου με την αναφορά στη ραδιενεργό τέφρα από τις πυρηνικές δοκιμές βομβών και από τα απορρίμματα από τα πυρηνικά εργοστάσια επανεπεξεργασίας, ιδιαίτερος του Sellafield στο Ηνωμένο Βασίλειο.

Το καΐσιο 137 προέρχεται κυρίως από τα όπλα. Το καΐσιο 134 βρίσκεται στα απορρίμματα του Sellafield και του Chernobyl τα συντρίμια.

Η θάλασσα που επηρεάστηκε ραδιολογικά πιο πολύ ήταν η Βαλτική από τη ραδιενεργό τέφρα που ταξίδεψε από το Chernobyl στο Βορρά και προκάλεσε υψηλή απόθεση πάνω από τη Σκανδιναβία.

Η ατμοσφαιρική απόθεση έπαιξε έναν κυρίαρχο ρόλο στον καθορισμό της ραδιενέργειας της θάλασσας αυτής. Η μέση συγκέντρωση καϊσίου 137 στα νερά επιφάνειας το 1990 ήταν μέγιστο στη Βαλτική. Εξαιτίας της κλειστής φύσης της θάλασσας αυτής και της μικρής ανταλλαγής νερού με τη Βόρεια θάλασσα τα επίπεδα καϊσίου 137 σ'αυτή τη θάλασσα παρέμειναν τα μεγαλύτερα στην Ευρώπη.

Η επόμενη διαταραγμένη θάλασσα μετά τη Βαλτική από το ατύχημα του Chernobyl ήταν η Μαύρη θάλασσα. Εκεί η συγκέντρωση καϊσίου 137 στο νερό της θάλασσας

(Pavel Povinec, IAEA 1/1996) το 1990 ήταν 52 Bq/m^3 , τιμή συγκρίσιμη με τη θάλασσα της Ιρλανδίας. Η υψηλότερη δραστηριότητα παρατηρήθηκε το 1986 σε βόρεια περιοχή 500 Bq/m^3 , δηλαδή τριάντα φορές πιο πολύ από τις τιμές πριν το ατύχημα. Η δραστηριότητα του στροντίου-90 που μετρείται στα νερά επιφάνειας στη δυτική Μαύρη θάλασσα το 1988 ήταν μεταξύ 10 και 50 Bq/m^3 .

Παρόμοια κατανομή παρατηρήθηκε το 1988 για το καίσιο 137 αλλά τα επίπεδα ήταν διπλάσια. Τα επίπεδα στροντίου-90 και καϊσίου-137 στο Αιγαίο ήταν πολύ χαμηλότερα μεταξύ 5 και 11 Bq/m^3 .

Η διασπορά στροντίου 90 και καϊσίου 137 στα νερά επιφάνειας της Μαύρης θάλασσας έχουν δύο πηγές. Η πρώτη πηγή και βραχυπρόθεσμη είναι η ατμοσφαιρική εναπόθεση η οποία συνέβη αμέσως μόλις έγινε το ατύχημα. Η άλλη πηγή είναι η μακροπρόθεσμη μεταφορά από τη δεξαμενή του Κιέβου και τα ποτάμια, Δούναβη κλπ.

Για τη Μεσόγειο η συμβολή του Chernobyl έφτασε από τη Μαύρη θάλασσα η οποία λειτούργησε ως πηγή ραδιενέργειας. Η ατμοσφαιρική εναπόθεση και η μεταφορά μέσω ποταμιών έπαιξαν μικρότερο ρόλο.

Η βιοσυσσώρευση του καϊσίου 137 και του στροντίου 90 στη θαλάσσια ζωή είναι χαμηλότερη από αυτή των λιμνών λόγω της μεγαλύτερης διαλυτικής ικανότητας της θάλασσας αλλά και της σύστασής της λόγω ύπαρξης ιόντων. Στον παρακάτω πίνακα βλέπουμε στοιχεία συγκέντρωσης των ραδιενεργών αυτών στοιχείων στη Μαύρη θάλασσα.

TABLE 3.8. RADIONUCLIDES IN VARIOUS SAMPLES TAKEN FROM THE BLACK SEA COAST DURING 1998–2001 [3.96]

Environmental sample	Caesium-137	Strontium-90	Plutonium-239, 240
Sea water (Bq/m^3)	14–29	12–28	$(2.4–28) \times 10^{-3}$
Beach sand and shells (Bq/kg)	0.9–8.0	0.5–60 (shell)	$(80–140) \times 10^{-3}$
Seaweeds, <i>Cystoseira barbata</i> (Bq/kg fresh weight)	0.2–2.3	0.4–0.9	$(9.0–14) \times 10^{-3}$
Mussels, <i>Mytilus galloprovincialis</i> (tissue, Bq/kg fresh weight)	0.3–1.7	0.02–3.2	$(1.5–2.5) \times 10^{-3}$
Fish, <i>Sprattus sprattus</i> , <i>Trachurus</i> (Bq/kg fresh weight)	0.2–6.0	0.02–0.7	$(0.3–0.5) \times 10^{-3}$

Εικόνα 17

Ραδιονουκλεΐδια σε δείγματα από το βυθό της Μαύρης θάλασσας στην περίοδο 1998-2001

Ιώδιο -131 στα ψάρια του γλυκού νερού

Τα στοιχεία για το Ιώδιο 131 στα ψάρια του γλυκού νερού είναι περιορισμένα αφού το Ιώδιο απορροφήθηκε ταχύτατα από τα ψάρια στη λεκάνη του Κιέβου με μέγιστη συγκέντρωση παρατηρούμενη στις αρχές Μαΐου του 1986 η οποία ήταν 6000Bq/kg την 1^η Μαΐου και στη συνέχεια μειώθηκε σε 50 bq/kg στη μέτρηση που έγινε στις 20 Ιουνίου του ίδιου έτους, γεγονός το οποίο έρχεται σε συμφωνία με το μικρό χρόνο ημιζωής του στοιχείου αυτού.

Καίσιο 137 στα ψάρια του γλυκού νερού

Κατά τη διάρκεια των ετών που ακολούθησαν το ατύχημα στο Chernobyl υπήρξαν πολλές έρευνες όσον αφορά τα επίπεδα του ραδιενεργού καισίου στα ψάρια και την υδάτινη πανίδα. Λόγω της υψηλής βιοσυσσώρευσης του καισίου τα ψάρια παρέμειναν μολυσμένα σε κάποιες περιοχές παρόλη τη χαμηλή συσσώρευση του καισίου στο νερό.

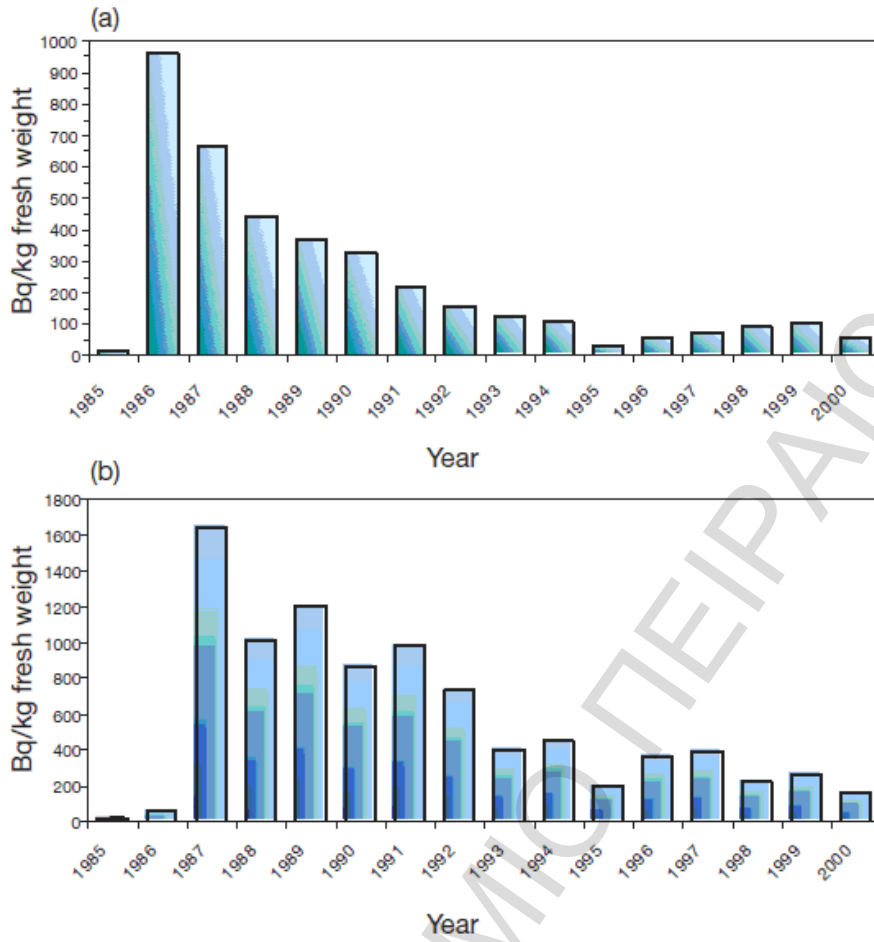
Η λήψη του ραδιενεργού αυτού στοιχείου στα μικρά ψάρια ήταν σχετικά ταχεία με μέγιστη συγκέντρωση τις πρώτες εβδομάδες μετά το ατύχημα.

Λόγω των αργών ποσοστών λήψης ραδιοκαισίου από τα μεγάλα αρπακτικά ψάρια (Λούτσοι Χέλια) οι μέγιστες συγκεντρώσεις του βρέθηκαν 6-12 μήνες μετά το ατύχημα.

Στη λίμνη του Chernobyl η συγκέντρωση του καισίου στον κυπρίνο την πέρκα και τον λούτσο ήταν 100kBq/kg το 1986 και μειώθηκε κατά κάποιες δεκάδες το 1990 και 2-6 kbq/ kgr το 2001.

Στις γειτονικές λίμνες του εργοστασίου του Chernobyl η δραστηριότητα της συγκέντρωσης στα αρπακτικά μεγάλα ψάρια ήταν 10-27 Bq/kgr

Στη δεξαμενή του Κιέβου η συγκέντρωση στα ψάρια ήταν 0.6-1.6 kbq/kgr στο 1987 και 0.2-0.8 kbq/kgr το 1995. (Report of the UN Chernobyl forum, August 2009)



Εικόνα 18

Μέση συγκέντρωση Καισίου 137 σε μη αρπακτικά και αρπακτικά ψάρια (a) και (b) αντίστοιχα της δεξαμενής του Κίβου.

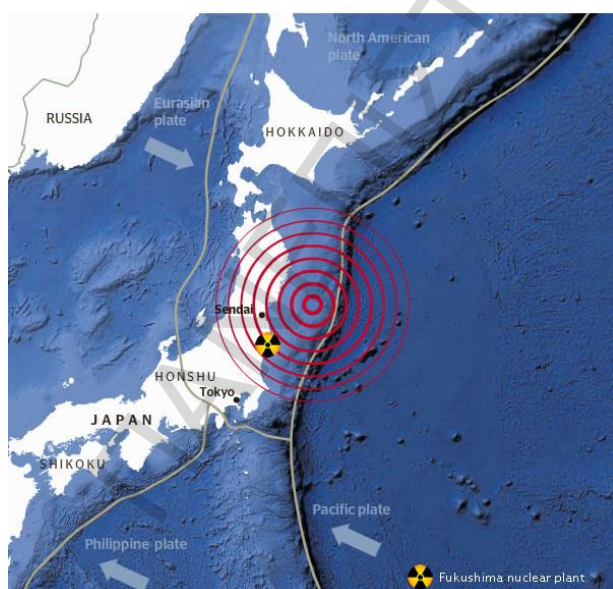
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΑΤΥΧΗΜΑ ΣΤΟ ΣΤΑΘΜΟ ΤΗΣ FUKUSHIMA

4.1.ΣΕΙΣΜΟΣ

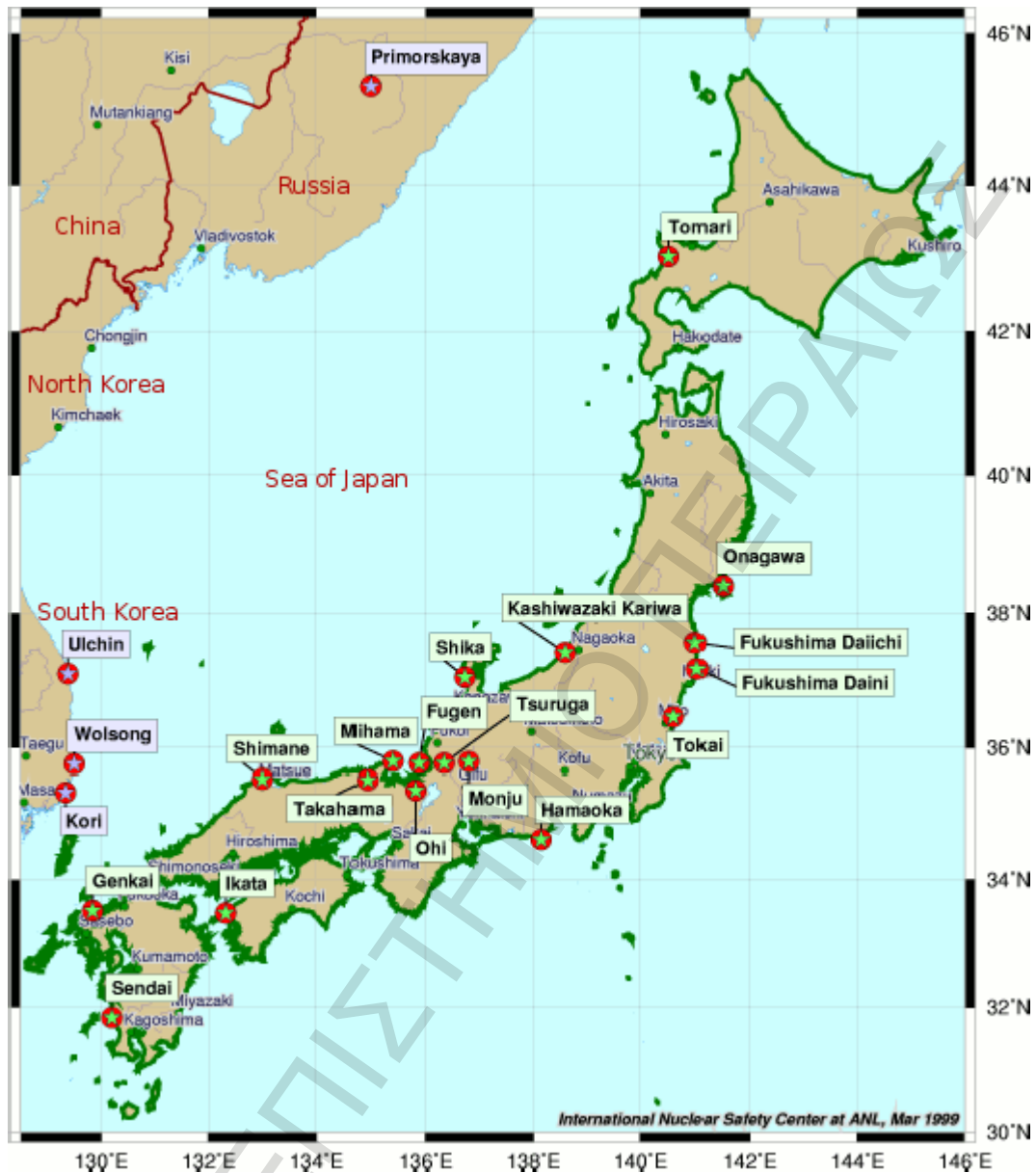
Ο μεγάλος σεισμός της ανατολικής Ιαπωνίας μεγέθους 9 βαθμών της κλίμακας Ρίχτερ, ο οποίος συνέβη την Παρασκευή 11 Μαρτίου 2011 και ώρα 2.46μ.μ. προκάλεσε μεγάλες ζημιές στην περιοχή και το τσουνάμι το οποίο ακολούθησε προκάλεσε ακόμα περισσότερες.

Ο σεισμός είχε επίκεντρο 130 km από τις ακτές της πόλης Sendai στο νησί Honshu (το κεντρικό νησί) της Ιαπωνίας και βάθος 13 km. Πρόκειται για έναν διπλό σεισμό (εξαιρετικά σπάνιο φαινόμενο) ο οποίος συνολικά διήρκησε 3 λεπτά, διάστημα πολύ μεγάλο και καταστροφικό για έναν σεισμό τέτοιου μεγέθους. Η Ιαπωνία μετακινήθηκε μερικά μέτρα ενώ η τοπική ακτογραμμή υποχώρησε μισό μέτρο. Το τσουνάμι πλημμύρισε περίπου 560 τετραγωνικά χιλιόμετρα και προκάλεσε πάνω από 20.000 θανάτους.



Στην γύρω περιοχή υπήρχαν 4 συγκροτήματα πυρηνικών εγκαταστάσεων με συνολικά δεκατέσσερις πυρηνικούς αντιδραστήρες εκ των οποίων οι έντεκα ήταν σε λειτουργία τη στιγμή του σεισμού. (Fukushima –Daiichi units 4,5,6 βρίσκονταν εκτός λειτουργίας)

Εικόνα 19
Σεισμός Ιαπωνία 2011



Εικόνα 20

Συγκροτήματα εγκαταστάσεων

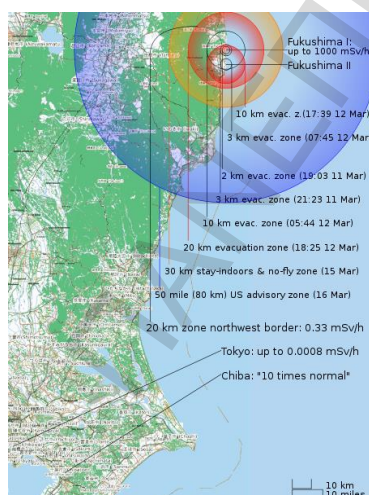
Τα 4 συγκροτήματα εγκαταστάσεων είναι τα : Onagawa (3 μονάδες), Fukushima Daiichi (6 μονάδες) Fukushima Daini (4 μονάδες) και Japco's Tokai.

Και οι έντεκα πυρηνικοί αντιδραστήρες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας άντεξαν στον μεγάλο αυτό σεισμό και σταμάτησαν τη λειτουργία τους. Περαιτέρω διερεύνηση έδειξε ότι δεν υπήρξε κάποια σημαντική βλάβη από το σεισμό ούτε στους αντιδραστήρες που ήταν σε συντήρηση εκείνη τη στιγμή και ήταν ήδη κλειστοί.

4.2 ΤΣΟΥΝΑΜΙ

Στις 15.27 το τσουνάμι χτυπάει τις εγκαταστάσεις, οι οποίες αποδεικνύονται ευάλωτες σε τέτοιου είδους καταστροφές. Το ρεύμα από τις εφεδρικές γεννήτριες ήταν ικανό για να λειτουργήσουν τα συστήματα ψύξης (residual heat removal R.H.R) σε οκτώ από τις 11 μονάδες και παρά τα προβλήματα που προέκυψαν μέσα σε τέσσερις ημέρες επιτευχθεί το ασφαλές κλείσιμό τους. Οι υπόλοιποι τρεις αντιδραστήρες στο συγκρότημα Fukushima- Daiichi (units 1,2,3) έμειναν χωρίς ισχύ στις 15.42 περίπου μια ώρα μετά το σεισμό όταν όλη η περιοχή είχε πλημμυρίσει από το 15 μέτρων παλιρροϊκό κύμα . Αυτό απενεργοποίησε 12 από τις 13 εφεδρικές γεννήτριες, οι οποίες βρίσκονταν στις υπόγειες εγκαταστάσεις του συγκροτήματος. Αυτό είχε ως συνέπεια να μην είναι δυνατή η κυκλοφορία νερού και η ψύξη του συστήματος.

Την Παρασκευή 11 Μαρτίου και ώρα 19.03 το περιστατικό χαρακτηρίστηκε «πυρηνικό ατύχημα» και στις 20.50 εκδόθηκε δελτίο εκκένωσης της περιοχής σε ακτίνα 2 χιλιομέτρων από την περιοχή στην οποία συνέβη το ατύχημα. Στις 21.23 ο πρωθυπουργός της χώρας επαύξησε τη ζώνη ασφαλείας στα 3 χιλιόμετρα και στις 5.44 της επόμενης ημέρας (12/3/2011) στα 10 χιλιόμετρα. Μετά την επίσκεψή του στην περιοχή το Σάββατο και ώρα 18.25 η ζώνη εκκένωσης επεκτάθηκε στα 20 χιλιόμετρα.



Εικόνα 21

Ζώνες εκκένωσης (πηγή Wikipedia)

Μέσα σε τρεις μέρες και οι 3 μονάδες έλιωσαν κατά ένα μεγάλο μέρος. Το ατύχημα ενώ στην αρχή θεωρήθηκε μικρού βαθμού, τελικά αργότερα κατατάχθηκε επίσημα σε 7μου βαθμού της κλίμακας INES, λόγω των εξαιρετικά υψηλών ποσών ραδιενέργειας που εκλύθηκαν τις δύο πρώτες ημέρες. Την πέμπτη ημέρα παρουσίασε πρόβλημα και η

τέταρτη μονάδα του συγκροτήματος Fukushima- Daiichi.

Για τον επόμενο μήνα δεν υπήρξε σταθεροποίηση όσον αφορά την απορρόφηση θερμότητας από τα καύσιμα. Τον Ιούλιο πλέον η θερμοκρασία άρχισε να έχει σημαντική πτώση και τέλος Οκτώβρη έφτασε στους 80 βαθμούς C. Επίσημα η ολοκληρωτική ψύξη του συστήματος επετεύχθη στα μέσα Δεκεμβρίου.

4.3. ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΕΝΕΡΓΕΙΩΝ ΜΕΤΑ ΤΟ ΑΤΥΧΗΜΑ ΚΑΙ ΕΚΛΥΣΗΣ ΠΥΡΗΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

- Στις 11 Μαρτίου οι Ιαπωνικές αρχές ανακοίνωσαν ότι δεν υπήρξε απελευθέρωση ακτινοβολίας από οποιοδήποτε εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.
- Στις 12 Μαρτίου δηλαδή την ημέρα μετά το σεισμό μετρήθηκαν αυξημένα επίπεδα Ιωδίου 131 και Καισίου 137 αναφέρθηκαν κοντά στην μονάδα 1
- Στις 13 Μαρτίου, ρεύμα αέρα απελευθερωμένης πίεσης άρχισε να παρατηρείται σε διάφορους αντιδραστήρες προκαλώντας την απελευθέρωση ραδιενεργών στοιχείων.
- από 12-15 Μαρτίου οι κάτοικοι της Namie κατόπιν εντολής των τοπικών αρχών μετακινήθηκαν σε μια περιοχή βόρεια της πόλης γιατί η περιοχή τους είχε ευθέως επηρεαστεί από νέφος ραδιενεργών στοιχείων προερχόμενων εκ του πυρηνικού εργοστασίου.
- Στις 15 Μαρτίου του 2011 ο αρμόδιος γραμματέας του Υπουργείου Yukio Edano ανακοίνωσε ότι τα επίπεδα ακτινοβολίας είχαν μετρηθεί σε 30mSv/h στην πλευρά του εργοστασίου μεταξύ μονάδων 2 και 3, 400mSv/h μεταξύ μονάδων 3 και 4, και 100 mSv/h κοντά στη μονάδα 4. Είπε: «Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι αντίθετα με το παρελθόν, οι αριθμοί έχουν φτάσει σε τέτοια επίπεδα που δύναται να επηρεαστεί η ανθρώπινη υγεία.»
- Στις 16 Μαρτίου το προσωπικό του εργοστασίου εκκένωσε το χώρο μετά από εμφάνιση ροζ καπνού πάνω απ'αυτό και τα επίπεδα ραδιενέργειας που μετρήθηκαν στην πύλη του εργοστασίου αυξήθηκαν σε 10 mSv/h. Η ραδιενέργεια 20 χιλιόμετρα βορειοδυτικά από το εργοστάσιο μετρήθηκε στα 0,33mSv/h. Η Ιαπωνική επιτροπή πυρηνικής ασφάλειας έδωσε οδηγίες στους εγκαταλείποντες την περιοχή να απομακρυνθούν 20 χιλιόμετρα μακριά και να καταναλώσουν ταμπλέτες μη ραδιενεργού Ιωδίου.
- Στις 17 Μαρτίου η ΙΑΕΑ μέτρησε τη ραδιενέργεια σε πάνω από 47 πόλεις, η εν λόγω παρακολούθηση έδειξε ότι τα επίπεδα ραδιενέργειας στο Τόκιο δεν είχαν

αυξηθεί. Αν και σε μερικές τοποθεσίες περί τα 30 χιλιόμετρα από το εργοστάσιο της Fukushima οι αναλογίες των δόσεων είχαν αυξηθεί σημαντικά στις επόμενες 24 ώρες. (από 80-170 $\mu\text{Sv/h}$ και σε άλλες από 26 έως 95 $\mu\text{Sv/h}$, τα επίπεδα ραδιενέργειας ποικίλουν αναλόγως τη θέση της περιοχής σε σχέση με το εργοστάσιο.) Στα 75 χιλιόμετρα από το εργοστάσιο υπήρξε αυξημένη ποσότητα Ιωδίου και Καισίου στο σπανάκι που καλλιεργείτο εκεί.

- Στις 18 Μαρτίου η ΙΑΕΑ δήλωσε ότι σε αντίθεση με διάφορες νέες αναφορές η ΙΑΕΑ δεν είχε λάβει οποιαδήποτε ειδοποίηση από τις Ιαπωνικές αρχές όσον αφορά τη ραδιενεργό ρύπανση.

-Στις 19 Μαρτίου το Ιαπωνικό Υπουργείο Επιστημών δήλωσε ότι ίχνη ποσότητας ραδιενεργών στοιχείων ανευρέθησαν στο νερό ύδρευσης του Τόκιο και άλλων περιοχών. Μετρήσεις έδειξαν αυξημένη ραδιενέργεια στο γάλα στις γύρω περιοχές αλλά και σε κάποια λαχανικά γύρω επαρχιών. Αυξημένη ποσότητα Ιωδίου 131 και Καισίου 137 μετρήθηκε στο έδαφος.

- Στις 23 Μαρτίου το Ιαπωνικό Υπουργείο Επιστημών ανακοίνωσε νέα περιβαλλοντικά δεδομένα. Οι ενδείξεις της ραδιενέργειας στο έδαφος και τα δείγματα των λιμνών ήταν πολύ υψηλά σε κάποια τοποθεσία που βρίσκεται 40 χιλιόμετρα βορειοδυτικά των εργοστασίων. Στις 19 Μαρτίου τα ορεινά εδάφη εκεί περιείχαν 28,1 kBq/Kg Καισίου 137 και 300 kBq/Kg Ιωδίου 131. Μια μέρα αργότερα οι ίδιες εικόνες ήταν 163kBq/Kg καισίου 137 και 1.170kBq/Kg Ιωδίου 131. Το καισίο τάξης 163kBq/kg είναι ισοδύναμο με 3260kBq/m^2 .

- Στις 24 Μαρτίου τρεις εργάτες εξετέθησαν σε υψηλού επιπέδου ραδιενέργεια η οποία προκάλεσε στους 2 εξ αυτών ανάγκη νοσοκομειακής περίθαλψης ύστερα από διαρροή νερού μέσω των προστατευτικών τους ρούχων, την ώρα που εργάζονταν στην μονάδα 3. Στο Τόκιο έβρεξε από τις 21 Μαρτίου το πρωί μέχρι τις 24 Μαρτίου 2011. Το νερό είχε ραδιενέργεια η οποία κατακάθισε εκεί. Στη Shinjuku ύστερα από έρευνα του Μητροπολιτικού Ινστιτούτου δημόσιας υγείας του Τόκιο 83900Bq/m^2 Ιωδίου 131, 6310Bq/m^2 καισίου 134 και 6350Bq/m^2 καισίου 137 ανιχνεύτηκαν για αυτές τις μέρες.

- Στις 25 Μαρτίου το Γερμανικό υπουργείο περιβάλλοντος ανακοίνωσε ότι μικρές ποσότητες Ιωδίου 131 παρατηρήθηκαν σε 3 περιοχές τις γερμανικής ατμόσφαιρας.

- Στις 26 Μαρτίου το γραφείο πυρηνικής ασφάλειας της Ιαπωνίας ανακοίνωσε ότι η ακτινοβολία για το Ιώδιο 131 στο θαλάσσιο νερό πλησίον του τόπου διαρροής είχε αυξηθεί κατά 1850 φορές του επιτρεπόμενου ορίου.
- Στις 26 Μαρτίου επίπεδα πάνω από 1000 δηλαδή το ανώτατο όριο της συσκευής μέτρησης και 750mSv/h αναφέρθηκαν για το νερό εντός της μονάδας 2 αλλά εκτός της κατασκευής περιορισμού-κέλυφος.
- Στις 29 Μαρτίου τα επίπεδα Ιωδίου 131 στο θαλάσσιο νερό 330μίλια νότια του μέρους έκχυσης του νερού από τους αντιδραστήρες είχε φτάσει τα 138Bq/ml δηλαδή 3,355 φορές πάνω από τα προκαθορισμένα όρια.
- Στις 30 Μαρτίου οι συγκεντρώσεις Ιωδίου 131 στο θαλασσινό νερό είχε φτάσει τα 180 Bq/ml στην τοποθεσία 330 μιλίων νότια του μέρους διαρροής, δηλαδή 4,385 φορές το προκαθορισμένο όριο. Δοκιμές που έδειξαν 3,7 MBq/m² καισίου 137 έκανε την ΙΑΕΑ να δηλώσει ότι τα κριτήρια εκκένωσης του χωριού Litate Fukushima επεκτάθηκαν σε 30χιλιόμετρα.
- Στις 31 Μαρτίου η ΙΑΕΑ διόρθωσε την τιμή Ιωδίου 131 που είχε βρεθεί στο χωριό Litate σε 20 εκατομμύρια Bq/m² . Η τιμή που τελικά ανακοινώθηκε στον τύπο ήταν 2 εκατομμύρια Bq/m²
- Στην 1^η Απριλίου εκτός από τα λαχανικά και τα σέλινα και τους μαϊντανούς εντοπίστηκε ιώδιο-131, καίσιο 134 και καίσιο 137 σε μοσχαρίσιο κρέας σε υψηλότερα των κανονικών όρια.
- Στις 3 Απριλίου αρμόδιοι υγείας ανέφεραν ότι ραδιενεργές ουσίες σε περισσότερα από τα κανονικά επίπεδα βρέθηκαν στα μανιτάρια. Η Ιαπωνική κυβέρνηση δήλωσε ότι είναι αναμενόμενη η περαιτέρω αποδέσμευση ραδιενεργών στοιχείων για «μήνες» ακόμα λέγοντας ότι λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα για αυτό.
- από τις 4 έως τις 10 Απριλίου η εταιρεία Terco ανήγγειλε ότι άρχισε τη διαδικασία απόρριψης 9100 τόνων νερού που υπερέβαινε 100 φορές τα θεσπιζόμενα όρια ρύπανσης μέσα στα πλαίσια μιας διαδικασίας αποβολής νερού στη θάλασσα διάρκειας 6 ημερών.
- Στις 5 Απριλίου τα ψάρια που αλειεύτηκαν έξω από τις ακτές της Ιαπωνίας σε απόσταση 50 μιλίων βρέθηκαν να έχουν ραδιενέργεια που υπερέβαινε τα επιτρεπτά όρια.
- Στις 15 Απριλίου το Ιώδιο 131 έφτασε σε 6.500 φορές πάνω από τα επιτρεπτά όρια, ενώ τα επίπεδα Καισίου 134 και 137 αυξήθηκαν σχεδόν στο τετραπλάσιο, πιθανόν

λόγω της εγκατάστασης πλακών ατσαλιού μέσο που μείωσε την πιθανότητα διαρροής νερού στον ωκεανό.

- Στις 18 Απριλίου βρέθηκαν υψηλά επίπεδα στροντίου 90 στο χώμα της περιοχής των εργοστασίων.

- Στις 22 Απριλίου η Ιαπωνική κυβέρνηση ζήτησε από τους κατοίκους του Litate και άλλων τεσσάρων χωριών να τα εκκενώσουν λόγω αυξημένης ακτινοβολίας.

Σύμφωνα με την Terco οι εκπομπές μετά το ατύχημα ήταν περί τα 800 τρισεκατομμύρια Bq ανά ώρα και οι ενδείξεις χαμήλωσαν μετά από αυτό και το Νοέμβριο και Δεκέμβριο έπεσαν στα 60 εκατομμύρια bq ανά ώρα. Παρόλα αυτά όμως τον Ιανουάριο του 2012 λόγω ανθρωπίνων δραστηριοτήτων οι εκπομπές αυξήθηκαν πάλι στα 70 εκατομμύρια Bq/h. Αυτό συνέβη επειδή μπαινόβγαιναν οι εργάτες και έτσι δεν ήταν σφραγισμένος ο χώρος.

4.4. ΔΙΑΦΥΓΟΝΤΑ ΙΣΟΤΟΠΑ

Με το πυρηνικό ατύχημα στους αντιδραστήρες του συγκροτήματος fukushima Dai-ichi απελευθερώθηκαν στον αέρα μεγάλες ποσότητες ραδιοϊσοτόπων σε ακτίνα μεγαλύτερη από 30 χιλιόμετρα. Τα ραδιοϊσότοπα που ανιχνεύτηκαν ήταν Ιώδιο 131, Καίσιο 137, Τελλούριο 129m, Στρόντιο 90 και ισότοπα Πλουτωνίου.

4.4.1.ΙΩΔΙΟ-131 :

Μια αναφορά της αξιόπιστης και γνωστής μετεωρολογικής υπηρεσίας της Αυστρίας αναφέρει τον υπολογισμό της ποσότητας Ιωδίου 131 που εκλύθηκε στην ατμόσφαιρα τις 10 πρώτες ημέρες από το ατύχημα παίρνοντας μετρήσεις από εγκαταστάσεις μέτρησης ραδιενέργειας-σταθμούς ανα τον κόσμο, (Freiburg Γερμανίας, Stockholm Σουηδίας, Takasaki Ιαπωνίας και Sacramento των ΗΠΑ.) κατά την διάρκεια των δέκα πρώτων ημερών από το ατύχημα. Η ποσότητα κυμαινόταν από 10 PBq σε 700PBq

peta (P) $1,000,000,000,000,000 = 10^{15} = 1$ quadrillion. Αυτή η εκτίμηση ήταν το 1%-40% της ποσότητας που υπολογίζεται ότι αποδεσμεύτηκε από το Chernobyl.

Δείγματα εδάφους ελήφθησαν από 2.200 τοποθεσίες της περιοχής της Ιαπωνίας, τον Ιούλιο και τον Ιούνιο του 2011 και μόνο οι 400 βρέθηκαν θετικές στην ύπαρξη ιωδίου πράγμα το οποίο ήταν αναμενόμενο μιας και το Ιώδιο 131 έχει χρόνο ημιζωής 8 ημερών.

Γενικότερα το Ιώδιο -131 εξαπλώθηκε βορειοδυτικά του εργοστασίου όπως και το Καίσιιο137, αλλά βρέθηκε και σε παράκτιες περιοχές νότια του εργοστασίου σε αρκετά υψηλά επίπεδα. Σύμφωνα με το υπουργείο νέφη κινούμενα προς το νότο μετέφεραν μεγάλες ποσότητες ιωδίου 131 που απελευθεωνόταν εκείνη τη στιγμή στον αέρα.

4.4.2. ΤΕΛΛΟΥΡΙΟ - 129m

Υψηλές συγκεντρώσεις από τελλούριο 129 –υποπροϊόν της σχάσης ουρανίου- βρέθηκαν βορειοδυτικά του εργοστασίου και επίσης στα 28 χιλιόμετρα πλησίον της ακτής στις πόλεις Iwaki, Fukushima και Kitaibaraki. Πιθανολογείται ότι το τελλούριο κατακάθισε μαζί με το Ιώδιο γι αυτό και βρέθηκε στις ίδιες περιοχές.

Η υψηλότερη συγκέντρωση που βρέθηκε ήταν 22,66 εκατομμύρια Bq ανά τετραγωνικό μέτρο, και αυτό βρέθηκε 2 χιλιόμετρα από το εργοστάσιο στην κενή πόλη της Okuma. Το τελλούριο 129m έχει χρόνο ημιζωής 6 ημέρες, έτσι τα επίπεδα όσο περνούν οι μήνες μηδενίζονται. Επίσης το Τελλούριο δεν παίρνει μέρος σε βιολογικές διεργασίες έτσι ακόμα και όταν οτιδήποτε μολυσμένο από αυτό πίνεται ή τρώγεται δεν συσσωρεύεται στους ζώντες οργανισμούς. Σε αντίθεση με το Ιώδιο το οποίο προκαλεί καρκίνο στο θυρεοειδή αδένια.

4.4.3. ΚΑΙΣΙΟ - 137

Η μετεωρολογική υπηρεσία της Αυστρίας υπολόγισε παίρνοντας στοιχεία και από άλλους σταθμούς ανά τον κόσμο, την ποσότητα ραδιενέργειας από το Καίσιο 137. Η ποσότητα υπολογίστηκε σε, 5.000TBq περίπου ημερησίως. Μεταγενέστερες αναφορές όμως κάνουν λόγο για 6.100TBq με 12.000TBq, συνολικά.

Το καίσιο 137 έχει χρόνο ημιζωής 30 χρόνια κατακάθεται στο έδαφος και μπαίνει στη διατροφική αλυσίδα.

4.4.4. ΣΤΡΟΝΤΙΟ - 90

Στις 12 Οκτωβρίου 2011 βρέθηκε σε ένα ίζημα στην οροφή μιας πολυκατοικίας στην Yokohama 210 km από το ατύχημα , στρόντιο 90 σε συγκέντρωση 195Bq ανά χιλιόγραμμα.

4.4.5. ΙΣΟΤΟΠΑ ΠΛΟΥΤΩΝΙΟΥ

Στις 30 Σεπτεμβρίου 2011 το Ιαπωνικό υπουργείο εκπαίδευσης και επιστημών δημοσίευσε αποτελέσματα μιας εμπλεκόμενης επισκόπησης πλουτωνίου κατά την οποία τους μήνες Ιούνιο και Ιούλιο δείγματα εδάφους είχαν συλλεχθεί σε μια ακτίνα περίπου 80 χιλιομέτρων γύρω από το εργοστάσιο της Φουκουσίμα. Το πλουτώνιο βρέθηκε σε όλα τα δείγματα (συνδυασμός πλουτωνίου 239 και 240). Η συγκέντρωση ήταν 15 bq ανά τετραγωνικό μέτρο στην επαρχία της Φουκουσίμα και 9,4Bq στην επαρχία Ibaraki. Τα εξαιρετικά ασταθή ενεργά ισότοπα πλουτωνίου 241 δεν ανεβρέθηκαν.

Το πλουτώνιο 239 έχει χρόνο ημιζωής 24.200 χρόνια και το πλουτώνιο 240 έχει 6.560.

Το πλουτώνιο σε μεγάλες συγκεντρώσεις προκαλεί καρκίνο στα οστά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΡΑΔΙΟΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΑ

Αντίκτυπο της απελευθέρωσης ραδιενέργειας από το πυρηνικό ατύχημα στη Fukushima, στο θαλάσσιο περιβάλλον.

Μετρήσεις διάφορων ημερών στο θαλάσσιο νερό στη γειτονική περιοχή του πυρηνικού σταθμού, αποκάλυψαν σοβαρή ρύπανση του θαλάσσιου περιβάλλοντος από ποικίλα ραδιονουκλεΐδια που απελευθερώθηκαν από το ατύχημα του πυρηνικού σταθμού Fukushima – Daiichi. Γενικότερα η ραδιενεργός ρύπανση της θάλασσας προκλήθηκε εν μέρει από απευθείας απελευθέρωση μολυσμένου νερού από τον σταθμό ενέργειας, εν μέρει με τη μεταβίβαση μέσω ποταμιών των ραδιενεργών στοιχείων τα οποία βρέθηκαν στο έδαφος όταν κατακάθισε η ραδιενεργός τέφρα είτε από μόνη της είτε με τη βροχή, και εν μέρει τελικά λόγω της ραδιενεργού τέφρας που βρίσκεται πάνω από τον ωκεανό, η οποία εν τέλει πέφτει στο νερό και διασκορπίζεται από τα θαλάσσια ρεύματα αν τα στοιχεία που περιέχει είναι ευδιάλυτα ή αν είναι δυσδιάλυτα κατακάθεται στο βυθό.

Τα ραδιενεργά στοιχεία με μικρό χρόνο ημιζωής όπως οχ το Ιώδιο 131 είναι ανιχνεύσιμα για μόλις μερικούς μήνες. Άλλα όπως το ρουθένιο 106 (^{106}Ru) και το καΐσιο 134 (^{134}Cs) θα μείνουν στο θαλάσσιο περιβάλλον για αρκετά χρόνια.

Το Καΐσιο 137 έχει μεγάλο χρόνο ημιζωής (30 χρόνια). Αυτό χωρίς αμφιβολία δικαιολογεί μακράς διάρκειας παρακολούθηση των Ιαπωνικών ακτών σε δείγματα στο βυθό. Το ίδιο ισχύει και για το πλουτόνιο.

Ανάλογα λοιπόν με την ημιζωή και το βαθμό συγκέντρωσης των ραδιενεργών στοιχείων, κάποια φυτά και είδη ζώων της θάλασσας μολύνονται σε σημαντικό βαθμό, δικαιώνοντας την ύπαρξη προγράμματος μέτρησης ραδιενέργειας στα θαλασσινά είδη τροφής που προέρχονται από τις επικίνδυνες περιοχές των Ιαπωνικών ακτών. (Impact on marine environment of radioactive releases resulting from the Fukushima Dai-ichi nuclear accident, IRSN, 4th April 2011)

5.1. ΤΡΟΠΟΙ ΜΟΛΥΝΣΗΣ ΤΟΥ ΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.

Οι τρόποι ρύπανσης του θαλάσσιου οικοσυστήματος στις ακτές της Ιαπωνίας είναι τρεις. Η απελευθέρωση ραδιενεργού νερού στη γύρω περιοχή από τους αντιδραστήρες, η ατμοσφαιρική τέφρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας και η μεταφορά ραδιενεργού ρύπανσης από βρόχινο νερό από το μολυσμένο έδαφος.

5.1.1. ΑΠΕΛΕΥΘΕΡΩΣΗ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΟΥ ΝΕΡΟΥ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ

Οι υψηλές συγκεντρώσεις ραδιενέργειας που μετρήθηκαν στο θαλασσινό νερό στη γειτονική περιοχή του πυρηνικού σταθμού της Fukushima δείχνουν ότι υπάρχουν μια ή περισσότερες εισροές ραδιενεργού υγρού που διέρρευσαν από τον πυρηνικό σταθμό. Πιθανότατα αποτελούνται από το νερό που χρησιμοποιήθηκε για να κρυσταλλώσει τους αντιδραστήρες που υπέστησαν ζημιά, μέρος του οποίου είχε ξεπλύνει επιφάνειες μολυσμένες από ραδιενεργό τέφρα που είχε κατακάσει στις εγκαταστάσεις. Ισοπίθανο είναι το ενδεχόμενο μέρος του νερού που ήταν στους αντιδραστήρες και συγκεκριμένα στον 2^ο ο οποίος υπέστη ρήξη τοιχώματος να διαρρέυσει από το κτίριο και να κατευθυνθεί προς τη θάλασσα. Δεν είναι δυνατός ο ακριβής υπολογισμός της ποσότητας του ραδιενεργού νερού που έπεσε στη θάλασσα όμως τα αποτελέσματα των υγρών εισροών παρατηρήθηκαν από τις 21 Μαρτίου γύρω από το σταθμό ήταν 1484 Bq/Lt του στοιχείου ¹³⁷Cs και 5066 Bq/Lt ¹³¹I) Οι συγκεντρώσεις στο θαλασσινό νερό αυξήθηκαν από τις 25 μέχρι τις 28 Μαρτίου στα 12000 Bq/Lt του ¹³⁷Cs και 74000 Bq/Lt του ¹³¹I) Περαιτέρω αύξηση καταγράφηκε στις 29 και 30 του Μαρτίου σε 47000 Bq/Lt του ¹³⁷Cs και 180000 Bq/Lt του ¹³¹I) Πριν το ατύχημα στη Fukushima οι συγκεντρώσεις ¹³⁷Cs και ¹³¹I στη θάλασσα αυτή της Ιαπωνίας ήταν μερικά mBq/Lt και καθόλου ¹³¹I.

Αυτή η παράκτια ραδιενεργός ρύπανση που διαδίδεται προς τα νότια μεταξύ 25^{ης} και 28^{ης} Μαρτίου με μια αύξηση στις συγκεντρώσεις του Ιωδίου και του καισίου της τάξης του 10 στην περιοχή Iwasawa (περίπου 20 Km νότια του σταθμού παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος.) Η αύξηση των συγκεντρώσεων σε αυτή τη θέση οφείλεται στην παλίρροια που προκαλεί εναλλαγή στα θαλάσσια ρεύματα παράλληλα στην ακτή. Η ρύπανση αυτή αδιαμφισβήτητα διαδίδεται και στα βόρεια του σταθμού.

5.1.2. ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΤΕΦΡΑ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ

από τις 12 Μαρτίου οι ατμοσφαιρικοί ρύποι που προκλήθηκαν από τις εκρήξεις και τις αποσυμπιέσεις των κτιρίων του πυρηνικού σταθμού της Fukushima – Daiichi εξαπλώθηκαν πάνω από τη θάλασσα γρήγορα δημιουργώντας ραδιενεργό ρύπανση του νερού της επιφάνειας της θάλασσας πολλά χιλιόμετρα από την πηγή.

Αυτό συνεχίστηκε και τους επόμενους μήνες σε λιγότερη βέβαια έκταση από αυτή των πρώτων ημερών.

Οι συγκεντρώσεις που μετρήθηκαν 30 km από την ακτή οφείλονται σε αυτό τον τρόπο εισόδου ραδιονουκλεϊδίων στη θάλασσα. Εκείνες κυμαίνονταν μεταξύ 2 και 27 Bq/Lt για το καίσιο 137 και μεταξύ 3 και 57 Bq/Lt για το ιώδιο 131.

Οι τιμές που μετρήθηκαν στις 25 Μαρτίου τείνουν να δείξουν μια μείωση της συγκέντρωσης. Αυτό γίνεται ως αποτέλεσμα μίξης με βαθύτερο νερό (φαινόμενο διάλυσης) ή ως αποτέλεσμα ανανέωσης του νερού επιφανείας από θαλάσσια ρεύματα. Πιο πιθανή είναι η πρώτη υπόθεση.

5.1.3. ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΟΥ ΜΟΛΥΝΣΗΣ ΑΠΟ ΒΡΟΧΙΝΟ ΝΕΡΟ ΠΟΥ ΠΕΡΝΑΕΙ ΑΠΟ ΜΟΛΥΣΜΕΝΟ ΕΛΛΑΦΟΣ.

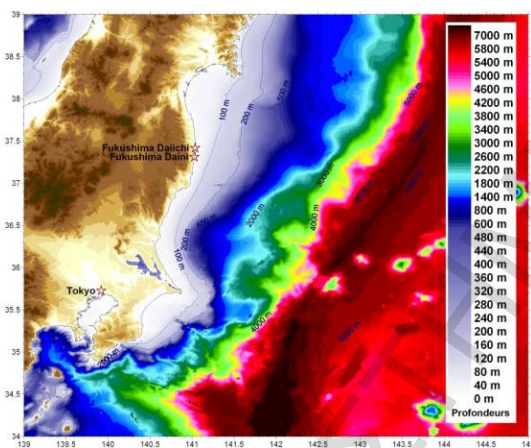
Η ραδιενεργός τέφρα που έκατσε στο έδαφος τη στιγμή του ατυχήματος ξεπλύθηκε από τη βροχή και μεταφέρθηκε στη θάλασσα απευθείας ή μέσω άλλων υδάτινων οδών. Η μολυσμένη στεριά είναι έκτασης πολλών km^2 . Οι μετρήσεις όμως δεν μπορούν να διαχωρίσουν επακριβώς την ποσότητα των στοιχείων που βρέθηκαν από αυτή την πηγή σε σχέση με τις άλλες.

5.2. ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΔΙΑΣΠΟΡΑ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΩΝ ΡΥΠΩΝ.

5.2.1. ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑ ΤΟΥ ΠΥΘΜΕΝΑ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΡΕΥΜΑΤΩΝ

Ο σταθμός παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος της Fukushima βρίσκεται στην ανατολική ακτή του νησιού Honshu, 200 km βορειοανατολικά από το Τόκιο. Η ακτή από βόρεια μέχρι νότια βρέχεται από τον Ειρηνικό ωκεανό. Το βάθος αυξάνεται σταθερά παράκτια φθάνοντας τα 200m σε 50km από την ακτή και έπειτα αυξάνεται απότομα στα 5000m στα 100km από την ακτή.

Στη ζώνη που επηρεάζεται από τη ραδιενεργό ρύπανση, τα ρεύματα παράγονται από την παλίρροια τον άνεμο και τα θαλάσσια ρεύματα της κυκλοφορίας του Ειρηνικού ωκεανού.



Βραχυπρόθεσμα η παλίρροια είναι κυρίαρχη και κινεί μάζες νερού σε μια εναλλασσόμενη κίνηση από βορρά σε νότο παράλληλα με τις ακτές σε ταχύτητες ενός μέτρου το δευτερόλεπτο σε μια περιοδικότητα 12 ωρών. Ο άνεμος επηρεάζει την κυκλοφορία του νερού επιφανείας.

Εικόνα 22

Τοπογραφία βυθού Fukushima (IRSN)

Η γενική κυκλοφορία μεγαλύτερης κλίμακας είναι αποτέλεσμα αλληλεπίδρασης δύο θαλάσσιων ρευμάτων του Ωκεανού. Του ρεύματος Kuroshio που προέρχεται από το νότο και τρέχει κατά μήκος της Ιαπωνικής ακτής και του ρεύματος Horyashio το οποίο δεν είναι τόσο δυνατό και ρέει από το βορρά. Η δύναμη και έκταση του ρεύματος του είναι ανάλογη του Gulf Stream. Τα παράκτια νερά στη γειτονική περιοχή της Fukushima – Daiichi είναι στη ζώνη αλληλεπίδρασης των δύο ρευμάτων δημιουργώντας ήπιας δύναμης μεταβαλλόμενα περιστροφικά ρεύματα. Αυτά τα ρεύματα καθόρισαν και τη διασπορά της ραδιενεργού ρύπανσης. (Ken Buesseler, Massachusetts, 2011)

5.2.2. ΑΜΕΣΗ ΒΡΑΧΥΠΡΟΘΕΣΜΗ ΔΙΑΣΠΟΡΑ

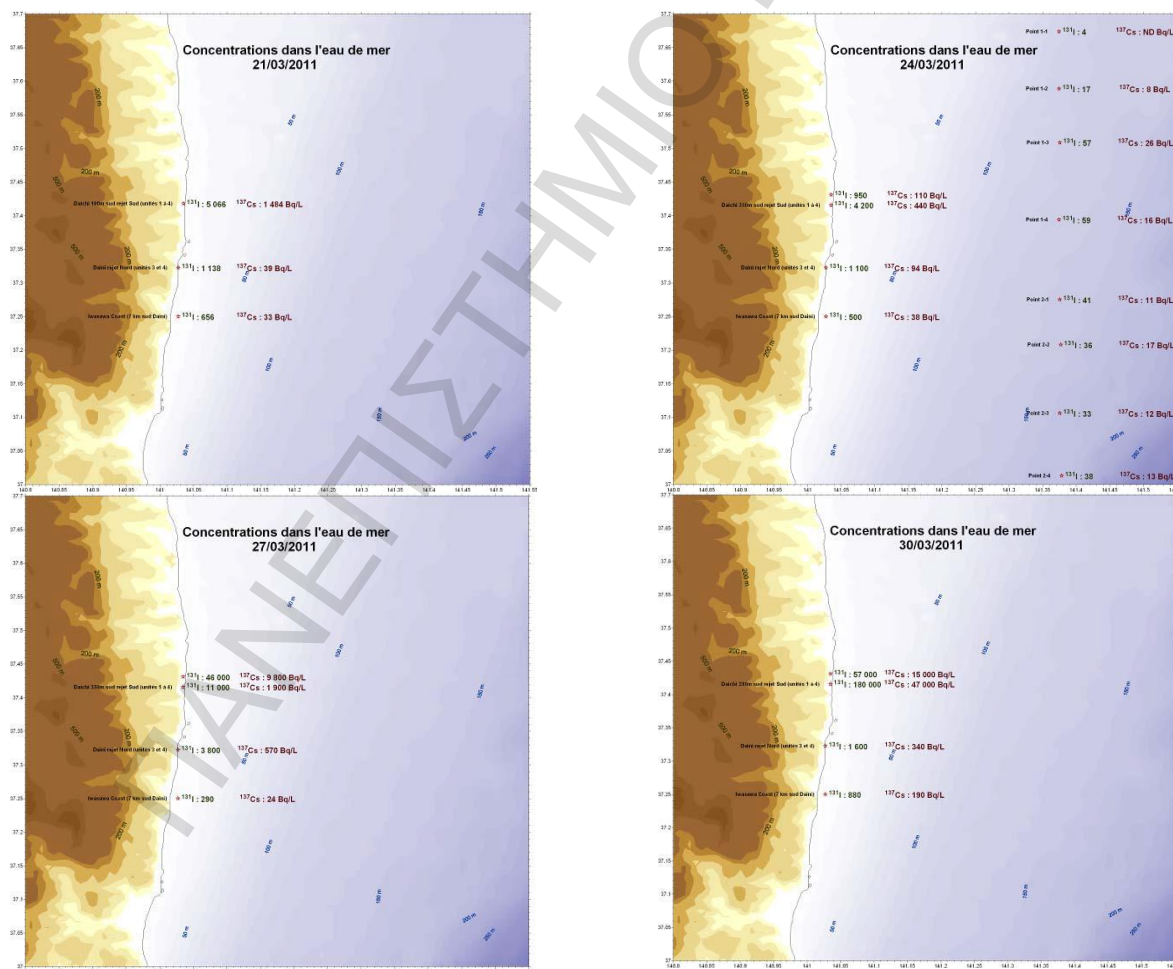
Οι συγκεντρώσεις ^{131}I και ^{137}Cs είναι αντιπροσωπευτικές άλλων ραδιονουκλεϊδίων που μετριούνται στη θάλασσα. Οι παρακάτω χάρτες δείχνουν τα αποτελέσματα μετρήσεων για αυτά τα δύο ραδιονουκλεΐδια.

Το μεγάλο βάθος της θάλασσας δίπλα από την ακτή και τα αδύναμα ρεύματα έχουν ως συνέπεια τη στρωματοποίηση του νερού.

Ένα στρώμα στην επιφάνεια 20-50m βαθύ δίπλα στην ακτή έχει αναμεμιγμένα τα δύο αυτά στοιχεία σε όλο του το πάχος. Αυτό το στρώμα φτάνει και τα 100m βάθος όσο απομακρύνεται από την ακτή. Διαχωρίζεται από τα υπόλοιπα στρώματα που βρίσκονται βαθύτερα από ένα πυκνό στρώμα που εμποδίζει τη μίξη.

Η διασπορά των διαλυτών ραδιονουκλεϊδίων εμφανίζεται πρώτιστα στην επιφάνεια.

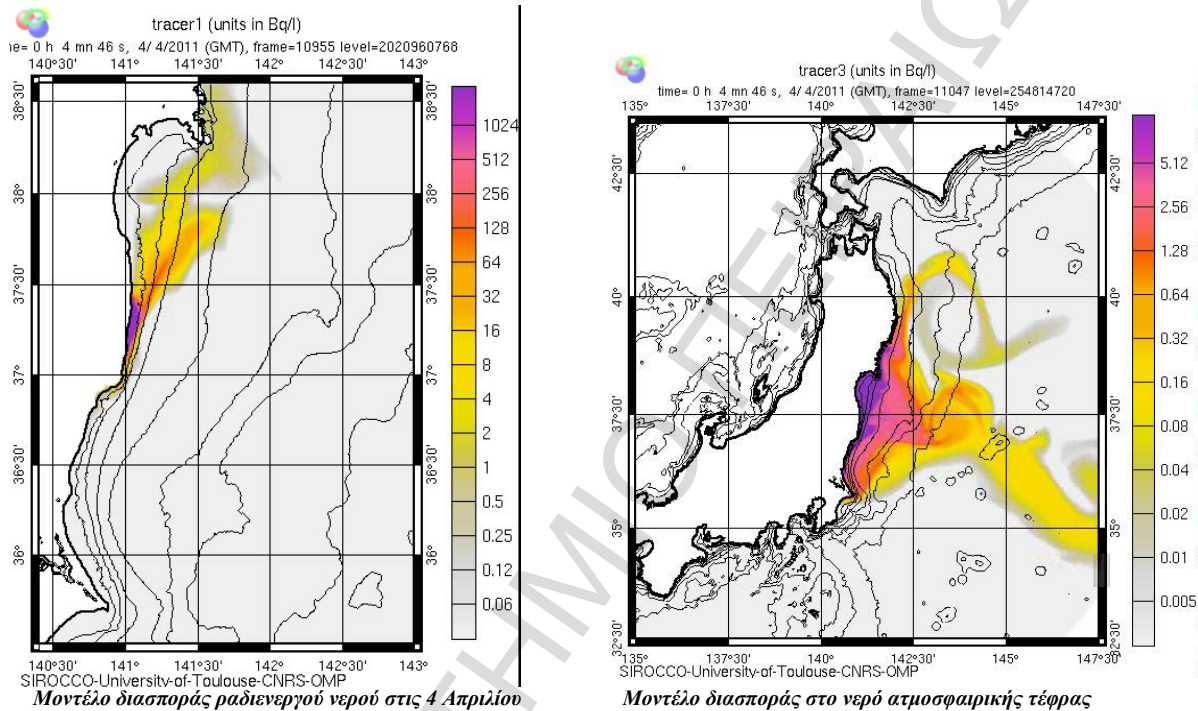
Τα ραδιενεργά μόρια μπορούν να μεταναστεύσουν στο βυθό από ιζηματογένεση.



Εικόνα 23

Συγκέντρωση Cs 137 και I 131 στο νερό της θάλασσας (IRSN)

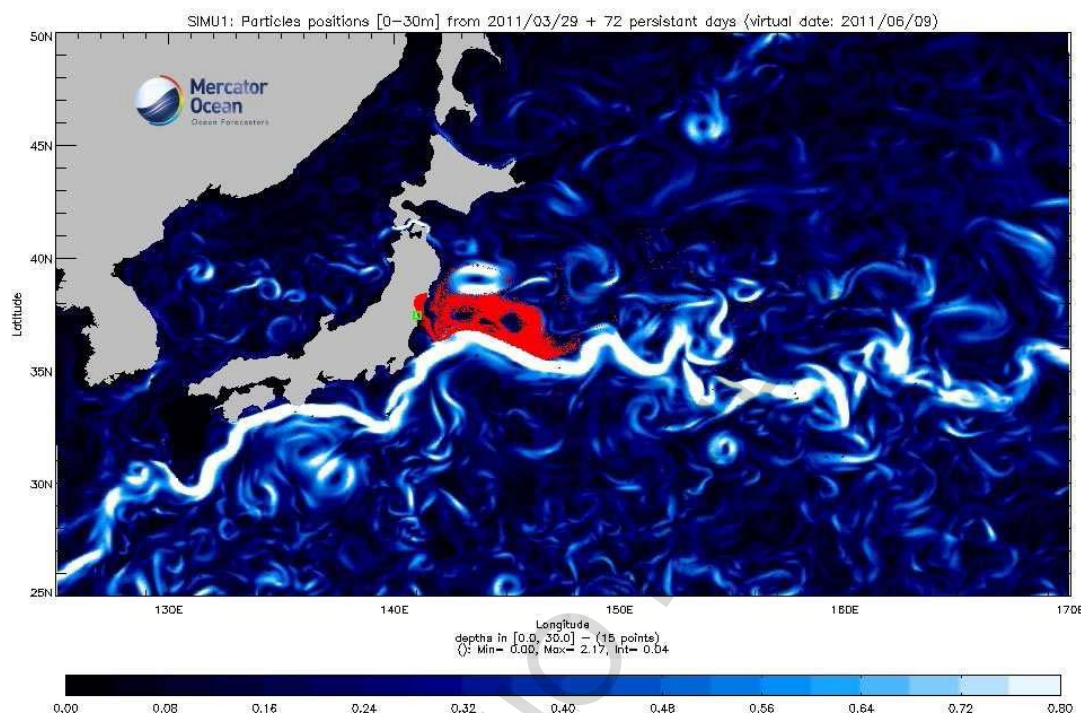
Εξομοιώσεις έχουν γίνει για τη διασπορά της θαλάσσιας ραδιενεργού ρύπανσης στην περίοδο μεταξύ 14 Μαρτίου και 5^{ης} Απριλίου. (CNRS Toulouse University). Δείχνουν τις ζώνες που επηρεάστηκαν από τη διασπορά των ραδιονουκλεϊδίων. Οι συγκεντρώσεις που φαίνονται εκεί είναι ενδεικτικές. (Impact on marine environment of radioactive releases resulting from the Fukushima-Daiichi nuclear accident, IRSN, April 4)



Εικόνα 24

Μοντέλα διασποράς ραδιενεργού νερού και ραδιενεργού τέφρας στο νερό (IRSN)

5.2.3. ΕΝΔΙΑΜΕΣΗ ΔΙΑΣΠΟΡΑ (ΕΒΔΟΜΑΔΕΣ-ΜΗΝΕΣ)



Εικόνα 25

Εξομοίωση μετανάστευσης ρύπανσης (Mercator-Ocean)

Οι στροβιλισμένες δομές που είναι παρούσες στα ανατολικά της Fukushima αναμιγνύουν τα νερά επιφανείας μεταξύ γεωγραφικών πλατών $35^{\circ} 30' N$ και $38^{\circ} 30' N$ εικόνα πάνω

Αναμένεται ότι οι παράκτιες ζώνες μεταξύ αυτών των γεωγραφικών πλατών είναι αυτές που επηρεάζονται πολύ από τη διασπορά των ραδιενεργών αυτών στοιχείων. Μακροπρόθεσμα η μετανάστευση νερών επιφανείας είναι προς νότια αλλά δεν θα απομακρυνθούν πέρα από το γεωγραφικό μήκος του Τόκιο. Τότε το ρεύμα του Kuroshio θα μεταφέρει τα νερά προς το κέντρο του Ειρηνικού ωκεανού.

Μια εξομοίωση αυτής της μετανάστευσης της ραδιενεργού ρύπανσης δημιουργήθηκε από Mercator-Ocean. Σύμφωνα με αυτό το μοντέλο διασποράς στο θαλάσσιο περιβάλλον γύρω από το Fukushima – Daiichi σταθμό πυρηνικής ενέργειας (πράσινη κουκίδα στην εικόνα) θα περιπλανηθεί 90 μέρες κατά μήκος της κόκκινης τροχιάς

του χάρτη. Η εξομοίωση δείχνει ότι τα παράκτια θαλάσσια ρεύματα μεταφέρουν το μολυσμένο νερό μέχρι το ρεύμα Kuroshio (χοντρή άσπρη γραμμή) και το διασκορπίζουν στο Βορρά. Η διάλυση είναι σχετικά ταραχώδης αλλά τα διαλυμένα ραδιονουκλεΐδια βρίσκονται στο ρεύμα Kuroshio.

5.2.4. ΜΑΚΡΟΠΡΟΘΕΣΜΗ ΔΙΑΣΠΟΡΑ ΜΕΓΑΛΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ

- Χρόνος διαμονής στα νερά επιφανείας.

Τα ραδιονουκλεΐδια με μικρό χρόνο ημιζωής (λιγότερο από μερικές δεκάδες ημερών) παύουν να είναι ανιχνεύσιμα μετά από μερικούς μήνες κι έτσι δεν έχουν μακροπρόθεσμες επιδράσεις μεγάλης κλίμακας. Άλλα όπως το ρουθένιο 106 και το καΐσιο 134 θα μείνουν στο θαλάσσιο περιβάλλον για αρκετά έτη και θα εξαφανισθούν με τη ραδιενεργό αποσύνθεση. Ο χρόνος εμμόνης του καϊσίου 137 στα νερά επιφανείας του Ειρηνικού ωκεανού ποικίλουν μεταξύ 11 και 30 ετών ανάλογα με την περιοχή. (10 έτη για τα μέσα γεωγραφικά πλάτη και 30 έτη για την Ισημερινή ζώνη). Για τα ισότοπα πλουτωνίου ο χρόνος ανίχνευσής τους ποικίλει από 5 σε 17 χρόνια. Ο λιγότερος χρόνος παρατηρείται σε μέσα γεωγραφικά πλάτη. Οι χρόνοι αυτοί εξαρτώνται από τη συγγένεια των ραδιονουκλεϊδίων με τα μόρια του νερού επιφανείας τα οποία είναι πιθανό να φέρουν τα ραδιονουκλεΐδια στο βυθό.

- Χρόνοι διέλευσης

Οι χρόνοι διέλευσης μεταξύ βορειοδυτικού ειρηνικού και της Ισημερινής ζώνης υπολογίζονται για να είναι περίπου 10 έως 15 έτη. Μέρος της ροής των νερών του Βόρειου Ειρηνικού και της ζώνης του ισημερινού στον Ινδικό ωκεανό μέσω των

ινδονησιακών θαλασσών και έπειτα προς το νότο του Ατλαντικού ωκεανού έχει υπολογιστεί στα 30-40 έτη.

Μέχρι πρόσφατα οι επιστήμονες θεωρούσαν ότι δεν υπάρχει ανταλλαγή μεταξύ βορείου και νοτίου Ειρηνικού λόγω του σημαντικότερου εμποδίου που διαμορφώνεται από το ισημερινό σύστημα ρευμάτων. Μετρήσεις για ίχνη καισίου 137 (ραδιενεργός τέφρα από πυρηνικές δοκιμές του Βορείου Ημισφαιρίου) στην Τασμανική θάλασσα έχει δείξει ότι αυτό το εμπόδιο δεν είναι απολύτως υδατοστεγές και αυτές οι εναλλαγές είναι δυνατές μεταξύ βορρά και νότου στο δυτικό μέρος του Ειρηνικού. (IRSN,report 4th April 2011)

5.3. ΑΝΤΙΚΤΥΠΟΣ ΤΗΣ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΟΥ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΤΑ ΕΙΔΗ ΔΙΑΒΙΩΣΗΣ

- Βραχυπρόθεσμα όλα τα είδη στις θαλάσσιες τροφικές αλυσίδες στις παραλιακές περιοχές κοντά στο σταθμό παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος Fukushima- Daiichi χτυπήθηκαν από τη ραδιενεργό ρύπανση της θάλασσας. Είναι δύσκολο να ποσολογηθεί το μέγεθος αυτού του αντίκτυπου το οποίο μπορεί να ποικίλει – σύμφωνα με το μέγεθος της συνεχόμενης απελευθέρωσης ραδιενεργού νερού από τις πυρηνικές εγκαταστάσεις.
- Την ατμοσφαιρική ραδιενεργό τέφρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας
- Την ποσότητα ραδιονουκλεϊδίων που παρουσιάζονται από το ξέπλυμα των μολυσμένων περιοχών
- Την ανανέωση θαλάσσιων μαζών κατά μήκος της ακτής. Κλπ

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να στραφεί στις υδρόβιες εγκαταστάσεις (αγροκτήματα φυκιών, μαλάκια, αλιεία) που είναι τοποθετημένες στην ακτή κοντά στις πυρηνικές εγκαταστάσεις, ακόμα και αν αυτές οι εγκαταστάσεις έχουν βλαφτεί σοβαρά από το τσουνάμι της 11^{ης} Μαρτίου.

Το Ιώδιο σχετίζεται με το καφέ φύκι που είναι μια σημαντική συγκομιδή για την Ιαπωνία. Υπάρχει λοιπόν μεγάλο ρίσκο μόλυνσης αυτού του φυκιού από

τα ραδιενεργά ιώδια, κυρίως I131. Εντούτοις λαμβάνοντας υπόψιν τον μικρό χρόνο ημιζωής του Ιωδίου 131 ο κίνδυνος θα είναι σημαντικός για μόλις μερικούς μήνες.

- Μακροπρόθεσμα είναι η παράκτια ζώνη που υποβάλλεται στη ρύπανση λόγω των όμβριων που προέρχονται από μολυσμένες περιοχές διαρκούς ρύπανσης. Τα φαινόμενα τα οποία συνέβαλαν στη βύθιση και μίξη των ραδιονουκλεϊδίων με το βυθό συμβάλλουν στο να διατηρήσουν σημαντικά επίπεδα συγκέντρωσης συγκεκριμένων ραδιονουκλεϊδίων στο νερό σε συγκεκριμένα είδη ζωής.

Τα φαινόμενα συσσώρευσης σε ζωντανά είδη μπορεί να φτάσουν σε υψηλότερα επίπεδα από αυτά που μετριούνται στο νερό, της τάξης των 10 μέχρι αρκετών χιλιάδων ανάλογα με το ραδιονουκλεϊδιο και τους οργανισμούς. (βάρος και συγκέντρωση σε είδη και νερό)

Η ικανότητα συσσώρευσης εξαρτάται από το μεταβολισμό κάθε είδους.

Στην περίπτωση του καισίου οι παράγοντες συγκέντρωσης ποικίλουν. από πενήντα για τα μαλάκια και τετρακόσια για τα ψάρια. Για το ιώδιο η συγκέντρωση ποικίλει μεταξύ 15 για τα ψάρια και 10.000 για το φύκι. (IRSN, 4th April 2011)

Άπαξ και η ραδιενέργεια εισβάλλει στο νερό μπορεί να βλάψει τη θαλάσσια ζωή με πολλούς τρόπους. Με κατευθείαν θανάτωσή τους, με τη δημιουργία περιεργων μεταλλάξεων των μικρών τους ή περνώντας ραδιενεργά στοιχεία στην τροφική αλυσίδα (Joseph Rachlin director of Lehman College's Lab for marine and estuarine research in NY city)

Ο ίδιος ανέφερε ότι η θνησιμότητα κάποιων οργανισμών είναι λιγότερο σημαντικό σε σχέση με τις γενετικές μεταλλάξεις.

Το πυρηνικό ατύχημα στη Fukushima και η είσοδος ραδιενεργού νερού στην ακτή γύρω από την περιοχή σίγουρα προκαλεί μείωση των ψαριών. Οι θαλάσσιοι οργανισμοί, αυγά και προνύμφες είναι πολύ ευαίσθητα στη ραδιενέργεια μιας και ραδιενεργά άτομα μπορούν να αντικαταστήσουν άτομα του σώματός τους πράγμα το οποίο μεταλλάσσει το DNA τους. (Ward Whicker radioecologist-national

geographic). Όταν συμβαίνει αυτό οι περισσότεροι οργανισμοί δεν επιβιώνουν αλλά κάποιοι που επιβιώνουν περνούν τις ανωμαλίες τους στις επόμενες γενιές. Έτσι επηρεάζεται και μελλοντικά ο πληθυσμός αυτών των ειδών.

Περισσότερη ευαισθησία έχουν τα μαλάκια, οι ανεμώνες οι μέδουσες και γενικότερα οι οργανισμοί με μαλακά σώματα και τα ψάρια σε σχέση με τα οστρακοειδή.

Από την άλλη ποσότητα ραδιενέργειας μπορεί να κάψει τα ψάρια περνώντας από κάποια περιοχή σαν ρεύμα ζεματιστού νερού. Έτσι κάποια είδη θηρευτές του Ειρηνικού ωκεανού, όπως ο τόνος και οι ιστιοφόροι (ξιφίες) ήδη θύματα υπεραλίευσης, κινδυνεύουν ακόμα περισσότερο και λόγω ραδιενέργειας. (National Geographic, Christine Dell'Amore April 1, 2011)

Η ραδιενέργεια ανεβαίνει στην τροφική αλυσίδα με την κατανάλωση μολυσμένων οργανισμών ως τροφή.

Οι Ιαπωνικές αρχές επέβαλλαν προσωρινά όρια στους κανονισμούς για τα ραδιονουκλεΐδια καθώς και άλλους περιορισμούς για τα τρόφιμα συμπεριλαμβανομένων των θαλασσινών και παρακολουθούν τα ψάρια που αλιεύονται στις περιοχές τριγύρω από τον κατεστραμμένο πυρηνικό αντιδραστήρα.

Το αμμόχελο προσβλήθηκε πρώτο από όλα, πέρα των ορίων αλλά δεν εξάγεται. Τα μολυσμένα ψάρια δεν μπόρεσαν στην αγορά της Ιαπωνίας. Κάποια μεταναστευτικά ψάρια όπως ο νεαρός τόνος βορείου Ειρηνικού ή ο σολομός της Αλάσκας, ξοδεύουν το μεγαλύτερο μέρος της υπερωκεάνιας περιόδου μετανάστευσής τους έξω από τα παράκτια νερά της Ιαπωνίας. Επιπλέον λόγω του χρόνου που απαιτείται για τα ψάρια να αλιευθούν και να μεταφερθούν – πουληθούν, το επίπεδο των βραχύβιων ραδιονουκλεϊδίων όπως I-131 θα μειωνόταν σημαντικά, μέσω της φυσικής ραδιενεργού αποσύνθεσης. Το ραδιενεργό καΐσιο θα μειωθεί όταν το ψάρι φύγει από τα μολυσμένα νερά μιας και δε συγκεντρώνεται στον οργανισμό του. Η βιολογική ημιζωή του καϊσίου στα ψάρια θάλασσας είναι μεταξύ 5 και 100 ημερών.

Σύμφωνα με τις Ιαπωνικές πηγές ειδήσεων τα Ιαπωνικά σκάφη μελέτης φαλαινών εξέτασαν 6 από 17 φάλαινες που συνελήφθησαν 650km βορειοανατολικά του πυρηνικού αντιδραστήρα της Φουκουσίμα. Από τις 6 φάλαινες οι 2 βρέθηκαν να έχουν καΐσιο προερχόμενο από τον αντιδραστήρα. Η πρώτη φάλαινα περιείχε 31Bq/Kgr και η δεύτερη 24,3 Bq/Kgr.

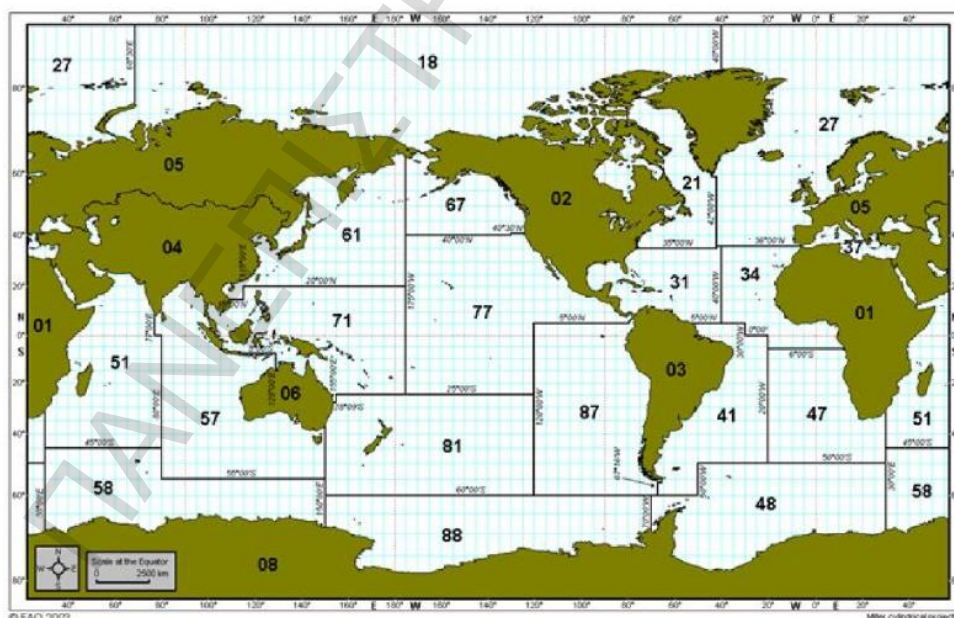
Σε άλλα μέρη του κόσμου τα επίπεδα ραδιενέργειας στα θαλασσινά που συλλέγονται μακριά από τα νερά της Ιαπωνίας είναι κάτω από το όριο για τη δημόσια υγεία. Οποιαδήποτε ρύπανση αραιώνεται και διασκορπίζεται και παίρνει μήνες- χρόνια για να φτάσει στον παρόχθιο ειρηνικό.

5.4. ΜΕΤΡΑ ΕΛΕΓΧΟΥ

Τα όρια για τα διάφορα ραδιονουκλεΐδια στα ψάρια έχουν εφαρμοστεί από διάφορες αρχές. Η Ιαπωνική κυβέρνηση ελέγχει την παρουσία των I-131., Cs-134, Cs- 137 στα τοπικά θαλασσινά. Η κανονική δειγματοληψία του νερού της θάλασσας πραγματοποιείται επί 16 διαφορετικών τόπων. (παράκτια, 3km, 8km,15km).

Η καθιέρωση των πρόσθετων σημείων δειγματοληψίας ήταν αναγγελθείσα από την Ιαπωνική κυβέρνηση.

Επιπλέον μέτρα έχουν ληφθεί για να αποτρέψουν περαιτέρω διάδοση μολυσμένου νερού στη θάλασσα, όπως η εγκατάσταση των πιάτων χάλυβα, βούρκος, φράχτες, σακιά άμμου στις πυρηνικές εγκαταστάσεις.



Εικόνα 26
Περιοχές αλιείας

Κάποιες χώρες και περιοχές έξω από την Ιαπωνία έχουν βάλει μέτρα ελέγχου σε ισχύ για τα θαλασσινά είτε αυτά είναι εισαγόμενα από την Ιαπωνία είτε πιάστηκαν στις συγκεκριμένες περιοχές. Για παράδειγμα η Ευρωπαϊκή επιτροπή συστήνει στα κράτη μέλη της να ελέγχουν προϊόντα της περιοχής 61,67,71,77.

Σύμφωνα με το congressional research service, η ραδιενέργεια από Fukushima έχει ανιχνευθεί σε Αμερικανικό έδαφος μέσω ατμόσφαιρας αλλά και ωκεάνιας μεταφοράς. Η μεταφορά από τα θαλάσσια ρεύματα είναι πιο αργή όμως το καίσινο το οποίο έχει μεγάλο χρόνο ημιζωής αποτελεί ορατό κίνδυνο.

Σύμφωνα με μετρήσεις της Greenpeace τον Μάιο του 2011 φύκια βρέθηκαν μολυσμένα 50 φορές πάνω από το όριο ασφαλείας. Τα περισσότερα ψάρια και οστρακοειδή περιείχαν περισσότερη ραδιενέργεια από τα επιτρεπτά όρια. Τον Απρίλιο οι αρχές αύξησαν το όριο ασφαλείας σε 20mSv/χρόνο για όλους ακόμα και για τα παιδιά. Παρόλα αυτά αυτό αφορά την εξωτερική έκθεση στη ραδιενέργεια. Η επικινδυνότητα όμως βρίσκεται στην εισπνοή και κατανάλωση μολυσμένων ραδιενεργά τροφών καθώς και στην ακτινοβολία που διαπερνά το δέρμα. Άρα πολλαπλασιάζεται ο κίνδυνος.

5.5 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΛΙΕΙΑ – ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΖΩΗ

Δεκαέξι μήνες μετά το πυρηνικό ατύχημα οι κυβερνήσεις και κάποιοι επιστήμονες υποστηρίζουν ότι είναι ασφαλές να καταναλωθούν τα ψάρια που προέρχονται από την αλίευση στην Ιαπωνική θάλασσα. Όμως η μεγαλύτερη συγκομιδή στοιχείων αναφορικά με τη ραδιενέργεια στη θαλάσσια ζωή υποστηρίζει το αντίθετο.

Τον Ιούνιο του 2012 το 56% της Ιαπωνικής αλιείας που εξετάστηκε από την Ιαπωνική κυβέρνηση ήταν μολυσμένο με Cs 134 και Cs 137. Το 9,3% βρέθηκε πάνω από το όριο της Ιαπωνίας το οποίο είναι 100Bq/Kgr. Τα επίπεδα ακτινοβολίας παραμένουν ιδιαίτερα υψηλά σε πολλά είδη που η Ιαπωνία εξάγει στον Καναδά τα τελευταία χρόνια όπως είναι ο βακαλάος, ο κυπρίνος η πέστροφα το χέλι, κάποια είδη σολομού και η γλώσσα.

Από αυτά τα είδη , ο βακαλάος και η γλώσσα είναι ωκεάνια είδη και μπορούν να αλιευθούν από άλλα έθνη που έχουν αλιευτική δραστηριότητα στον Ειρηνικό ωκεανό και τα εξάγουν στον Καναδά. Οι αποκαλύψεις αυτές προέρχονται από το Ιαπωνικό πρακτορείο αλιείας με tests που έγιναν σε 14.000 ψαριές στα Ιαπωνικά αλλά και διεθνή ύδατα από τις 11/3/11.

Η καταστροφή του πυρηνικού αντιδραστήρα διοχέτευσε στη θάλασσα κοντά στην ακτή της fukushima καίσιο 45 εκατομμύρια φορές περισσότερο από την ποσότητα πριν από το ατύχημα. Τα στοιχεία της έρευνας του Ιαπωνικού Οργανισμού αλιείας (Japan fishing agency) είναι τα πιο αντιπροσωπευτικά και περιεκτικά όσον αφορά τη ραδιενεργό ρύπανση από το πυρηνικό ατύχημα στη Φουκουσίμα, του Ειρηνικού ωκεανού, σπιτιού της παγκόσμιας αλιείας, σημαντική πηγή τροφής εκατομμυρίων ανθρώπων.

Οι αριθμοί δείχνουν ότι παρόλη τη διαλυτική ικανότητα της θάλασσας και το πέρασμα του χρόνου, τα επίπεδα ραδιενέργειας στα ψάρια εμμένουν να βρίσκονται σε υψηλά επίπεδα σε αντίθεση με τις προβλέψεις της Ιαπωνικής κυβέρνησης αλλά και πολλών επιστημόνων.

Τον Ιούνιο του 2012 η μέση ποσότητα ραδιενέργειας σε μια μολυσμένη ψαριά είναι 65Bq/kgr πολύ περισσότερη από την αντίστοιχη ποσότητα των 5Bq/kgr που βρέθηκε τις ημέρες μετά το ατύχημα στη γύρω περιοχή, πριν διαδοθεί δηλαδή το καίσιο μέσω της τροφικής αλυσίδας της περιοχής. Το πιο υψηλό επίπεδο καισίου βρέθηκε τον Μάρτιο του 2012 ένα χρόνο μετά το ατύχημα σε ένα είδος σολομού που πιάστηκε σε Ιαπωνικό ποταμό (18.700 Bq/kgr Cs) ενώ το όριο ήταν 187 Bq/kgr.

Ο Nicholas Fisher είναι ένας από τους λίγους Αμερικανούς επιστήμονες που μελετούν τις συνέπειες της fukushima στα μεταναστευτικά ψάρια του Ειρηνικού ωκεανού. Ο τελευταίος δήλωσε έκπληκτος για τα επίπεδα καισίου στα δεδομένα που συλλέχθηκαν από τον Ιαπωνικό οργανισμό αλιείας.

Τα δεδομένα δείχνουν ότι η ρύπανση έχει παραμείνει υψηλή τόσο στα ψάρια του αλμυρού όσο και του γλυκού νερού που βρίσκονται σε ποτάμια και λίμνες της Ιαπωνίας. Ιδιαίτερα υψηλά επίπεδα καισίου έχουν βρεθεί ένα χρόνο μετά το ατύχημα στα είδη του αλμυρού νερού Halibut (Ιππόγλωσσος)- Μάιος του 2012 στα 570Bq/kg,

στη γλώσσα – Ιανουάριος 2010 στα 180 Bq/kg και βακαλάος το Φεβρουάριο του 2012 στα 260 Bq/kg.

Τα είδη του γλυκού νερού όπως η πέστροφα, ο κυπρίνος και ο σολομός masu έχουν παρουσιάσει την ίδια περίοδο πολύ υψηλά επίπεδα καισίου όπως και τα χέλια τα οποία ζουν σε φρέσκο και θαλασσινό νερό. Εκτός από τη γλώσσα και το βακαλάο τα υπόλοιπα είδη έχουν υψηλότερη ποσότητα καισίου το 2012 από ότι το 2011.

Τα Ιαπωνικά δεδομένα μας αναφέρουν για κάποια είδη σολομού που έχουν επηρεαστεί.

Μισοί από τους 10 σολομούς Coho που πιάστηκαν από την πυρηνική καταστροφή και μετά είναι μολυσμένοι με καίσιο. Ένας εξ'αυτών πιάστηκε στα παράκτια της Ιαπωνίας τον Οκτώβρη του 2011 και είχε περιεκτικότητα 114 Bq/Kgr σε καίσιο, το οποίο ξεπέρασε το ανώτατο όριο.

Ο σολομός Chum από την άλλη έδειξε πολύ λιγότερη μόλυνση από τον Coho Με μόλις 9 μολυσμένες ψαριές από τις 257 και με ανώτατο επίπεδο μόλυνσης τα 8 Bq/Kgr. Τον Νοέμβριο του 2011.

Ο σολομός Kokanee χτυπήθηκε πιο πολύ από τη ραδιενεργό ρύπανση. Κάθε ένα από τα 40 δείγματα που εξετάστηκαν από το Μάρτιο του 2011 είχαν έστω και ελάχιστη μόλυνση. Η Ιαπωνία εξήγαγε \$430,000 από αυτό το σολομό στον Καναδά τους 4 πρώτους μήνες του 2012, άρα στατιστικά κάπου στα \$1,290,000 το χρόνο αυτό. Ένας kokanee σολομός τον Απρίλιο του 2012 βρέθηκε με 200Bq/Kgr. Τον Μάιο και Ιούνιο βρέθηκε ποσότητα 180 Bq/Kgr.

Η μεγαλύτερη ποσότητα καισίου βρίσκεται στον σολομό το είδους masu (Δυτικός ειρηνικός) 18,000 Bq/Kgr τον Μάρτιο του 2012.

Το είδος αυτό σύμφωνα με το Ιαπωνικό υπουργείο οικονομικών εξήχθηκε σε ποσότητα 120Kgr στον Καναδά τον Απρίλιο του 2011 αμέσως μετά το ατύχημα.

Τα δεδομένα των τεστ που έγιναν σε άλλα είδη ψαριών δείχνουν λιγότερη ραδιενέργεια. Ο τόνος, το χταπόδι, οι αντσούγιες όπως και τα φύκια παρουσιάζουν

λιγότερη σταδιακά ραδιενέργεια σε καίσιο κατά το πέρασμα του χρόνου. Παρόλα αυτά το 69% των αντσούγιων παρουσίασαν τον Ιούνιο του 2012 μόλυνση από το καίσιο. Το υψηλότερο επίπεδο ήταν 5.5 Bq/Kgr. Το ίδιο και το 32% του τόνου. (μεγαλύτερη ποσότητα ήταν 1.9 Bq/Kgr)

Οι ποσότητες είναι κάτω από τα ανώτατα όρια αλλά οποιαδήποτε ποσότητα ραδιενέργειας ακόμα και η ελάχιστη δεν είναι ασφαλής.

Η Ιαπωνία εξήγαγε 6.9 εκατομμύρια δολάρια ψάρια και καρκινοειδή στον Καναδά τους 4 πρώτους μήνες του 2012, το οποίο στατιστικά ανέρχεται σε ποσό 20,7 εκατομμυρίων δολαρίων το χρόνο. Περισσότερο δηλαδή από το 2011 που ήταν 16,3 εκατομμύρια δολάρια και τα 15,4 του 2010.

Από την άλλη όμως άλλες χώρες όπως η νότια Κορέα απαγόρευσε τον Ιούνιο του 2012 την εισαγωγή Ιαπωνικών θαλασσινών εξαιτίας της ραδιενέργειας.

Είδη ψαριών	Βακαλάος	Masu σολομός	Kokanee (aka sockeye) landlocked	Πέστροφα	Κυπρίνος	Γλώσσα	Ιππόγλωσσος	Χέλι	Καρχαρίας	Κολιός	Όλες οι ψαριές
Μέση ποσότητα καϊσίου – Ιούνιος 2012	36	59	61	40	58	24	39	80	13	16	65
Ποσοστό δειγμάτων με καίσιο τον Ιούνιο	80	44	86	38	78	21	93	89	86	47	56
Ποσοστό δειγμάτων πάνω από το όριο	4.3	6.2	29	3.4	8.7	0	6.7	29.7	0	0	9.3
Μέγιστα επίπεδα καϊσίου το 2012 σε bq/kg (Μήνας)	260 (Φεβ)	18,700 (Μαρ)	200 (Απρ)	280 (Μαρ)	400 (Μαρ)	180 (Ιαν)	570 (Μαϊ)	390 (Ιουν)	40 (Μαρ)	57 (Ιαν)	18,700 (Μαρ)

Εικόνα 27

Είδη ψαριών και ποσότητες Καϊσίου

Την Άνοιξη του 2010 για πρώτη φορά μετά το σεισμό στην Ιαπωνία που προκάλεσε και το πυρηνικό ατύχημα στο εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, και στο

πλαίσιο δοκιμαστικής πώλησης, οι έμποροι διέθεσαν στην αγορά δύο είδη χταποδιού και κάποια θαλάσσια σαλιγκάρια στα οποία δεν ανιχνεύθηκε ραδιενέργεια.

Μετά το ατύχημα οι αλιείς σταμάτησαν εθελοντικά να ψαρεύουν ανοιχτά των ακτών της Φουκουσίμα.

Εκτός από τις ψαραγορές, σούπερ μάρκετ στην πόλη Σόμα διέθεσαν τα θαλασσινά με έκπτωση 40% προκειμένου να προσελκύσουν πελάτες. Η επαναφορά 163 ειδών στην αγορά εκτιμάται ότι θα πάρει χρόνια. Ο Νουμπουγιούκι Γιάγκι καθηγητής πανεπιστημίου του Τόκιο ο οποίος μελετά την αλιευτική βιομηχανία μετά από την καταστροφή του 2011 εκτιμά ότι οι ψαράδες της περιοχής δύσκολα θα ξανακερδίσουν την εμπιστοσύνη των καταναλωτών. Όπως λει, καταλυτικός θα είναι ο ρόλος των ψαριών στα οποία δεν βρέθηκαν ραδιενεργά στοιχεία.



Εικόνα 28

Ραδιενεργό νέφος τις 10 πρώτες ημέρες μετά το ατύχημα.

Οι τρεις εκρήξεις στις πυρηνικές εγκαταστάσεις του Φουκουσίμα Daiichi στην Ιαπωνία έχουν καταστήσει τον οικονομικό αντίκτυπο της φυσικής καταστροφής πολύ

δυσκολότερο να αξιολογηθεί από τα δύο πρότυπα που χρησιμοποιούνται από τους αναλυτές τα οποία είναι – ο σεισμός του Kobe το 1995 και Τυφώνας Κατρίνα μια δεκαετία αργότερα-. Κανονικά, οι φυσικές καταστροφές ακολουθούνται από τις v-shaped πτώσεις . Η παραγωγή επηρεάζεται άσχημα βραχυπρόθεσμα, καθώς χτυπιέται η υποδομή και οι άνθρωποι δεν μπορούν να εργαστούν ή να ψωνίσουν. Η παραγωγή μειώνεται αισθητά για τρεις έως έξι μήνες, αλλά αφ' ετέρου αναπηδά καθώς η αναδημιουργία αρχίζει. Τα κυβερνητικά χρήματα δίνονται στις επηρεασμένες περιοχές, που οδηγούν σε έναν βραχίονα μίνι-κατασκευής σπιτιών, οι δρόμοι και οι παροχές ηλεκτρικού ρεύματος επανοικοδομούνται. Τα έξοδα από την περίοδο αμέσως μετά από την κρίση μεγαλώνουν. Παρά τα αδύνατα δημόσια οικονομικά της Ιαπωνίας, οι αναλυτές θα περίμεναν το Τόκιο να βρει τα χρήματα να επανοικοδομηθούν τα βορειοανατολικά μέρη της χώρας που επηρεάστηκαν από τον σεισμό και το τσουνάμι.

Αυτό που καθιστά αυτήν την κρίση διαφορετική είναι η πυρηνική της διάσταση. Οι τρεις εκρήξεις στις εγκαταστάσεις του Φουκουσίμα Daiichi βάζουν αυτό το γεγονός σε μια διαφορετική κατηγορία από το Κιότο και τη Katrina. Έχει υπάρξει διαταραχή στις παροχές ηλεκτρικού ρεύματος και οι άνθρωποι έχουν εκκενώσει μια ζώνη αποκλεισμού 20 χιλιομέτρων γύρω από τις εγκαταστάσεις, αλλά μπόρεσε ενδεχομένως να γίνει πολύ πιο διαδεδομένη εκτός αν οι Ιάπωνες μπορούν να κλείσουν τις εγκαταστάσεις κάτω ακίνδυνα και γρήγορα.

Στην Ευρώπη η κρίση της Ιαπωνίας ασκεί ήδη επίδραση. Η Άνγκελα Μέρκελ έχει διατάξει ένα προσωρινό κλείσιμο των πυρηνικών σταθμών της προ-δεκαετίας του '80 της Γερμανίας, οι οποίοι σύμφωνα με τις εκτιμήσεις αποτελούν 7% της δύναμης της χώρας. Αυτή είναι μια σημαντική ενεργειακή απώλεια για μια χώρα που αναπτύσσεται γοργά .Ο δεύτερος παράγοντας είναι το αντίκτυπο που ο σεισμός του Σεντάι θα έχει στους καταναλωτές και στην επιχειρησιακή εμπιστοσύνη. Αυτή τη στιγμή η συνολική παγκόσμια οικονομία χαρακτηρίζεται από έναν υψηλό βαθμό της αβεβαιότητας, πέρα από την κατάσταση στη Βόρεια Αφρική και τη Μέση Ανατολή και τώρα πέρα από την Ιαπωνία. Οι οικονομολόγοι ενώ, θεωρητικά, είναι δυνατό να γίνει μια πραγματικού μεγέθους αξιολόγηση του κινδύνου του αντίκτυπου της Ιαπωνίας, για παράδειγμα, στο Ηνωμένο Βασίλειο, δεν είναι πραγματικά δυνατό. Θεωρητικά, τα αποτελέσματα πρέπει να περιοριστούν, επειδή η Ιαπωνία δεν είναι

σημαντικός εμπορικός εταίρος για το UK και οι ημέρες της εντατικής ιαπωνικής εσωτερικής επένδυσης τελειώνουν. Η πολυπλοκότητα των παγκόσμιων αλυσίδων εφοδιασμού για τα αγαθά στα οποία η Ιαπωνία είναι παγκόσμιος ηγέτης θα μπορούσε να σημάνει τις καθυστερήσεις και τις διασπάσεις σε μερικούς τομείς, – όπως τα καταναλωτικά ηλεκτρονικά και τα αυτοκίνητα – ανάλογα με πόσο άσχημα οι σημαντικότερες ιαπωνικές πολυεθνικές επηρεάζονται από τις ελλείψεις της ενέργειας και των υλικών. Υπολογίζεται ότι η κρίση της Ιαπωνίας το 2011 θα μειώσει ίσως 0.1% ή 0.2% από τη παγκόσμια αύξηση φέτος, με μια παρόμοια αναπήδηση το 2012.

5.6. ΑΝΤΙΚΤΥΠΟΣ ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ

5.6.1. ΛΙΜΑΝΙΑ

Τόσο μέσα όσο και έξω από την Ιαπωνία οι λιμενικές αρχές θα πρέπει να εξετάσουν ποιες ενέργειες θα απαιτήσουν από τους ιδιοκτήτες και διαχειριστές των πλοίων για να δηλώσουν ενδεχομένως ραδιενεργό φορτίο ή να εξασφαλίσουν ότι τα σκάφη και το φορτίο έχουν υποβληθεί στον κατάλληλο καθαρισμό.

Όλο και περισσότεροι λιμένες ανά τον κόσμο αναπτύσσουν και δημοσιεύουν τις διαδικασίες. Το Ρότερνταμ το οποίο είναι και ο μεγαλύτερος λιμένας εμπορευματοκιβωτίων στην Ευρώπη και κατά τη διάρκεια του Σαββατοκύριακου τις 3-4 Απριλίου 2011 επιβεβαίωσε ότι θα πραγματοποιήσει τους ελέγχους ακτινοβολίας σε όλα τα πλοία που έρχονται από την Ιαπωνία.

Ποιοι λιμένες μπορούν ή όχι να πάρουν μέτρα τέτοια εξαρτάται από τη νομοθεσία της κάθε χώρας στην οποία υπάγεται το λιμάνι, αν και οι περισσότεροι μπορούν να πάρουν μέτρα τέτοια λόγω ασφάλειας.

Στη Γερμανία οι αρχές του λιμένα του Αμβούργου εργάζονται στα σχέδια εκτάκτου ανάγκης και εξετάζουν τη δυνατότητα πρόσβασης ή όχι μολυσμένου πλοίου στο λιμένα. Μια τέτοια απαγόρευση ελλιμενισμού θα μπορούσε να βασιστεί νόμιμα στο γενικό νόμο για τη δημόσια υγεία και ασφάλεια στη Γερμανία που δίνει το δικαίωμα

στις αρχές να απαγορεύσουν την είσοδο στο λιμάνι σε περίπτωση απειλής για τη δημόσια υγεία.

Τα σχέδια εκτάκτου ανάγκης περιέχουν επίπεδο κατώτατων ορίων χαμηλότερο από τη χαρακτηριστική δόση ακτινοβολίας που λαμβάνει ένα πρόσωπο κατά τη διάρκεια μεγάλης απόστασης πτήση.

Οι κυβερνήσεις μπορούν επίσης να είναι σε θέση να επιβάλλουν τους συγκεκριμένους κανονισμούς για τα ίδια μέτρα προστασίας.

Σύμφωνα με το νόμο εμπορικής ναυτιλίας του 1995 στο Ηνωμένο Βασίλειο, παρέχεται διακριτικότητα στον Υπουργό Εξωτερικών για να δώσει ορισμένες κατευθύνσεις ασφαλείας στα πρόσωπα όπως ο πλοιοκτήτης, ο καπετάνιος και η λιμενική αρχή αν υπάρχει κάποιος κίνδυνος για την ασφάλεια ή ρύπανση από μια επικίνδυνη ουσία που περιλαμβάνει και ραδιενεργά υλικά επί ενός σκάφους. Οι κατευθύνσεις περιλαμβάνουν τις οδηγίες για το αν ένα φορτίο πρόκειται ή όχι να πα φορτωθεί, να ξεφορτωθεί ή να πεταχτεί και εάν ένα πλοίο πρόκειται ή όχι να κινηθεί. Αυτό θα είχε επιπτώσεις σε ένα σκάφος ή και ένα φορτίο που μολύνεται από την ακτινοβολία εάν τα επίπεδα ακτινοβολίας είναι αρκετά υψηλά να παρουσιάσουν έναν δημόσιο κίνδυνο υγείας και ασφάλειας.

5.6.2. ΠΛΟΙΑ ΚΑΙ ΝΑΥΛΩΤΕΣ

Οι λιμένες που επηρεάζονται άμεσα από τον σεισμό, το τσουνάμι και την ραδιενέργεια κλείνουν για κάποιο διάστημα. Η ανησυχία για τους πλοιοκτήτες και τους ναυλωτές είναι για τους λιμένες που είναι μεν ανοιχτοί αλλά μπορεί να έχουν εκτεθεί σε ακτινοβολία στο μέρος της φορτοεκφόρτωσης. Έτσι χρειάζεται να επαναπροσδιορίσουν τη θαλάσσια πορεία και τα λιμάνια που θα προσεγγίσει το καράβι ώστε να αποφευχθούν τα Ιαπωνικά νερά. Το πρόγραμμα των γραμμών εμπορευματοκιβωτίων πρέπει να αναθεωρηθεί και να γίνει συνεννόηση με τους υπεργολάβους και τους διαχειριστές πλοίων τροφοδοσίας ώστε να συντηρηθεί η Ιαπωνική αγορά. Αναπόφευκτα οι πλοιοκτήτες λαμβάνουν υπόψιν τους αν μπορούν νόμιμα να αρνηθούν τις οδηγίες προσέλευσης σε Ιαπωνικά λιμάνια βάσει των όρων για τα επισφαλή λιμάνια των ναυλοσύμφωνων. Εντούτοις οι πλοιοκτήτες πρέπει να

προσέξουν πριν αρνηθούν τις διαταγές των ναυλωτών να μπου σε λιμάνια που βρίσκονται εκτός της ζώνης αποκλεισμού. Σε αυτή την περίπτωση οι ναυλωτές θα μπορούσαν να επικαλεσθούν το αδικαιολόγητο της άρνησης των πλοιοκτητών και να σταματήσουν τη συνεργασία ή να ξαναμπούν στην αγορά με ευνοϊκότερος προς αυτούς όρους, κεφαλαιοποιώντας ουσιαστικά την άρνηση των πλοιοκτητών. Αφετέρου σε περίπτωση που οι ναυλωτές έχουν διατάξει προσέγγιση σε ένα λιμάνι στο οποίο υπάρχει κίνδυνος έκθεσης σε ακτινοβολία, τότε θα μπορούσαν να βρεθούν υπόλογοι λόγω του όρου της προσέγγισης σε ασφαλή λιμάνια, των ναυλοσύμφωνων. Αν ένα λιμάνι είναι ή δεν είναι ασφαλές εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως και από τον χρόνο. Για παράδειγμα κάποιοι λιμένες που δε βρίσκονταν στις 10 Απριλίου 2011 στη ζώνη αποκλεισμού, μπορεί ένα μήνα μετά να βρίσκονται. Οπότε χρειάζεται συνεχής ενημέρωση και τροποποίηση διαδρομών. Αναπόφευκτες είναι οι διαφωνίες μεταξύ ναυλωτών και πλοιοκτητών γι αυτό το θέμα, όπως και για το ποιος θα πληρώσει τυχούσες καθυστερήσεις- αποζημιώσεις και έξοδα που προκύπτουν από την κράτηση του πλοίου σε ένα λιμάνι.

5.6.3. ΑΣΦΑΛΙΣΗ

Οι περισσότερες ασφαλιστικές συμβάσεις φορτίου hull και P&I περιέχουν τις εξαιρέσεις για τη ζημιά ή την καθυστέρηση από τους πυρηνικούς κινδύνους συμπεριλαμβανομένης της ακτινοβολίας.

Η ασφαλιστική θέση μπορεί να είναι σχετικά απλή για οποιαδήποτε φορτία και σκάφη που πραγματικά έχουν προσβληθεί από ραδιενέργεια, αλλά οι διαφωνίες κάλυψης θα μπορούσαν εύκολα να προκύψουν σε άλλες καταστάσεις, ειδικά στην εξέταση των περιπτώσεων που δεν περιλαμβάνουν την πραγματική ρύπανση. Για παράδειγμα εάν ένα λιμάνι θεωρείται επισφαλές λόγω του φόβου ύπαρξης ρύπανσης από τη ραδιενεργό τέφρα του πυρηνικού σταθμού της Φουκουσίμα, θα πρέπει να εκτιμηθούν κατάλληλα οι όροι σε συνδυασμό με τα αίτια της ζημιάς που έχει προκληθεί.

5.6.4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Η θάλασσα παρόλη τη μεγάλη διαλυτική της ικανότητα πλήγεται σοβαρά απο τα προϊόντα της χρήσης της πυρηνικής ενέργειας απο όλους τους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας. Αν όλα αυτά τα προϊόντα αποτελούν ένα μετρήσιμο μέγεθος το οποίο μπορεί να προβλεφθεί να αναγνωριστεί και άρα με μέτρα κατάλληλα να περιοριστεί, ο κίνδυνος των πυρηνικών ατυχημάτων δεν ανήκει σε αυτή την κατηγορία. Τα αποτελέσματα πυρηνικών ατυχημάτων ειδικά στη θάλασσα δεν μπορούν να υπολογιστούν και σε καμία περίπτωση να προβλεφθούν. Αυτό καθιστά τον κίνδυνο καταστροφής θαλάσσιου περιβάλλοντος πιθανότερο σε περίπτωση πυρηνικού ατυχήματος.

Τα μέτρα ασφαλείας μετά το πυρηνικό ατύχημα στο Chernobyl πολλαπλασιάστηκαν ανα τον κόσμο, όμως ο ανθρώπινος παράγοντας καθώς και ο παράγοντας φύση είναι δύο παράμετροι οι οποίες κλονίζουν τη σιγουριά των μέτρων ασφαλείας των πυρηνικών εργοστασίων. Όσο και να μειωθούν οι πιθανότητες πυρηνικού ατυχήματος, οι συνέπειές του όταν αυτό συμβεί μπορούν να είναι ολέθριες.

Οι συνέπειες στο θαλάσσιο περιβάλλον από το πυρηνικό ατύχημα στη Fukushima έχουν μέχρι ενός σημείου μετρηθεί, όμως συνεχώς εμφανίζονται νέα δεδομένα διαρροής, πράγμα το οποίο καθιστά την ύπαρξη ραδιενέργειας μόνιμη στους θαλάσσιους οργανισμούς και επικίνδυνη για τον τελικό καταναλωτή τον άνθρωπο.

Η χρήση πυρηνικής ενέργειας είναι φθηνότερη απο τα συμβατικά καύσιμα, όμως με ποιό ρίσκο? Μπορούμε να αντισταθμίσουμε θαλάσσια οικοσυστήματα ή ανθρώπινες ζωές απο τη μια και απο την άλλη χαμηλότερο κόστος ενέργειας?

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

1. Impact on marine environment of radioactive releases resulting from the Fukushima- Daiichi nuclear accident, IRSN, April 4,2011
2. Ken Buesseler, Michio Aoyama, Masao Fukasawa, Impacts of the Fukushima Nuclear Power plants on marine radioactivity, Environmentan Science and technology, ACS Publications 2011.
3. Justin Brown, Anne Katherine Kolstad, Bjorn Lind, Anne Liv Rudjord og Per-Strand, Technetium-99 Contamination in the North sea and Norwegian Coastal areas 1996,1997. Dahlgard 1995
4. Jean E. Moran, Sarah Oktay, Peter H. Santshci and David R. Schink, Atmospheric Dispersal of 129- Iodine from Nuclear Fuel Reprocessing Facilities, Dpt of Oceanography Texas A&M University, June 30, 1999)
5. Dominique P. Calmet, Ocean disposal of radioactive waste, Status report, IAEA, April 1989
6. WOMARS IAEA, "Radionuclide levels in oceans and seas", January 2005
7. McGeoghegan, D.; Whaley, S.; Binks, K.; Gillies, M.; Thompson, K.; McElvenny, D. M. (2010). "Mortality and cancer registration experience of the Sellafield workers known to have been involved in the 1957 Windscale accident: 50 year follow-up". *Journal of Radiological Protection*.
8. H.J.M Bowen, "Strontium and Barium in the sea water and marine organisms", Radiological Research Unit A.E.R.E., Harwekk Berks, UK 1956
9. V.M. Efremenkoy, "Radioactive waste management at nuclear power plants" IAEA, April 1989
10. Pavel Povinec, Scott Fowler, Murdoc Baxter, "Chernobyl & the marine environment: The radiological impact in context", IAEA, January, 1996
11. Straume και Carsen, Tritium and the Environment , IRSN 1993
12. Report of the UN Chernobyl forum, August 2009
13. Pub.1239 IAEA, Environmental Consequences of the Chernobyl accident and their Remediation: Twenty years of experience, Vienna, April 2006
14. C.L.Osterberg, Waste Management, Why not the Ocean, IAEA, vol 24, no2
14. «Η ακτινοβολία στη ζωή μας», τμήμα επιθεώρησης εργασίας, Λευκωσία 2009

ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. www.eeae.gr (ελληνική επιτροπή ατομικής ενέργειας)
2. ikaros.teipir.gr
3. www.iaea.com
4. www.irsn.com
5. www.rpii.ie
6. www.nrc.gov (National Research Council (U.S.). Panel on Radioactivity in the Marine Environment, Radioactivity in the marine environment)
7. <http://toxnet.nlm.nih.gov>
8. triscience.com
9. www.world-nuclear.org
10. www.cnrs.fr
11. www.nationalgeographic.com
12. www.who.int
13. japandailynews.com/tag/fisheries-agency/
14. ([fukushima implications for the shipping industry](#)) www.nortonrose.com
15. Bimco (www.bimco.org – special circulars)
16. Tepco (www.tepco.co.jp)
17. www.guardian.co.uk/world/2011/mar/15/fukushima-factor-economic-fallout-japan
18. www.stripes.com/news/lawsuit-expands-over-radiation-exposure-during-fukushima-disaster-1.211889
19. oilprice.com/Finance/the-Economy/Global-Shipping-Industry-The-Latest-casualty-Of-Japans-Nuclear-Disaster.html