



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ

Τομέας Ανθρωπιστικών Κοινωνικών Επιστημών και Δικαίου

**«Ατομική ενέργεια, ο Δ.Ο.Α.Ε. σε ρόλο εγγυητή
για την ασφαλή χρήση της»**

Διπλωματική Εργασία

Νικόλαος Κίτσος

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Ρεντετζή Μαρία

ΑΘΗΝΑ ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2018

Ευχαριστίες

Η παρούσα εργασία σηματοδοτεί το πέρας μιας επιτυχημένης περιόδου ως φοιτητής της σχολής Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών. Στο διάστημα αυτό αποκόμισα πολύτιμες γνώσεις και εμπειρίες και γι' αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω όλα τα μέλη της σχολής για τη βοήθεια του καθενός με τον τρόπο του αλλά και για τις ώρες που περάσαμε μαζί.

Ιδιαίτερος, θέλω να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα της εργασίας μου, Καθηγήτρια Μαρία Ρεντετζή, για τη καθοδήγησή της καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας και τις συμβουλές της στην επίλυση των προβλημάτων που προέκυπταν κατά την εξέλιξη της. Διαθέτει εύρος γνώσεων και είναι πάντα παρούσα για να τις προσφέρει.

Τέλος, θέλω να πω ένα ευχαριστώ στα άτομα εκτός περιβάλλοντος σχολής που με στήριξαν όλο αυτό τον καιρό, στην οικογένεια μου και τους φίλους μου, δείχνοντας κατανόηση κατά την πολύωρη ενασχόλησή μου με την εργασία και ιδιαίτερος στον πατέρα μου χωρίς την βοήθεια του οποίου δεν θα τα είχα καταφέρει.

Αφιερώνεται στην οικογένειά μου

Περιεχόμενα

ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΟΥ ΔΟΑΕ, Η ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΩΣ ΟΠΛΟ.....	2
Ποιες ήταν οι ιστορικές συγκυρίες που οδήγησαν στη σύσταση του Διεθνούς Οργανισμού Ατομικής Ενέργειας.....	2
Η πυρηνική ενέργεια όπλο εναντίον του ανθρώπου.....	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΦΥΣΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ, ΤΑ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΕΡΑ ΠΥΡΗΝΙΚΑ ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ ΚΑΙ Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΟΥ ΔΟΑΕ.....	16
Βασική φυσική ανάλυση της πυρηνικής ενέργειας.....	16
Βασική ανάλυση των επικρατέστερων τύπων πυρηνικών αντιδραστήρων.....	18
Τα σημαντικότερα πυρηνικά ατυχήματα.....	26
No 1 Κιστίμ	27
No 2 Windscale.....	29
No 3 Νησί Three Mile	35
No 4 Τσερνομπίλ	38
No 5 Tokaimura	44
No 6 Φουκουσίμα	47
Μικρότερης κλίμακας ατυχήματα.....	55
Η πυρηνική ενέργεια μοχλός ώθησης προς εναλλακτικές πηγές ενέργειας.....	58
Ενεργειακά οφέλη ή εγγενείς κίνδυνοι για την ανθρωπότητα.....	64
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - SAFEGUARDS, ΟΙ ΕΓΓΥΗΤΕΣ ΤΟΥ Δ.Ο.Α.Ε.	70
Νομικό πλαίσιο	71
Μέτρα πιστοποίησης	72
Είδη επιθεωρήσεων	72
Διατάξεις που υπάγονται στο “Επιπρόσθετο Πρωτόκολλο”	73
Ο ρόλος των safeguards στην εξόρυξη ουρανίου	74
Αποτελέσματα των safeguards κατά το έτος 2016	75

Εκπαίδευση και κατάρτιση.....	76
Υπερνικώντας τις προκλήσεις	78
Ο προσδιορισμός και η αναγνώριση των προκλήσεων.....	79
Βελτιωτικές εισηγήσεις	80
Βελτιστοποίηση του έργου των safeguards.....	82
Τα επόμενα 40 χρόνια.....	83
ΕΠΙΛΟΓΟΣ	85

ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

Στην παρούσα εργασία θα μας απασχολήσει η κοινωνική διάσταση της πυρηνικής ενέργειας. Θα μελετήσουμε τις επιστημονικές εξελίξεις που οδήγησαν στην ανακάλυψη της πυρηνικής ενέργειας και τις ιστορικές συγκυρίες που ευθύνονται για τους αρχικά καταστροφικούς σκοπούς χρήσης της. Κατόπιν, θα γίνει αναφορά στους λόγους που οδήγησαν στην ίδρυση του ΔΟΑΕ (Διεθνής Οργανισμός Ατομικής Ενέργειας) αλλά και τις προσαρμοστικές αλλαγές στις οποίες αναγκάστηκε να υποβληθεί προκειμένου να συμβαδίσει ο ρόλος του με τις παγκόσμιες εξελίξεις. Θα ερευνήσουμε τα αίτια των πυρηνικών καταστροφών στη μορφή των σημαντικότερων ατυχημάτων που προκλήθηκαν από την απόπειρα ειρηνικής τιθάσευσης της πυρηνικής ενέργειας, τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο, καθώς επίσης και τις τεχνολογικές αναβαθμίσεις που έλαβαν οι τόποι παραγωγής της.

Για την καλύτερη κατανόηση του αναγνώστη θα μεσολαβήσει μια βασική φυσική ανάλυση στοιχειωδών εννοιών και φαινομένων γύρω από την πυρηνική ενέργεια και τις τεχνικές παραγωγής της και μια απλή παρουσίαση των επικρατέστερων μοντέλων πυρηνικών αντιδραστήρων. Επίσης, στην εργασία παρεμβάλλονται διλήμματα κοινωνικής και επιστημονικής φύσης μέσω παράθεσης στατιστικών στοιχείων που στοχεύουν στην υπεύθυνη συμμετοχή του αναγνώστη, χωρίς να γίνεται προσπάθεια για καθοδήγηση της συλλογιστικής του πορείας και των συμπερασμάτων του. Στη συνέχεια, γίνεται εκτενής αναφορά στο ρόλο των safeguards, του αρμόδιου τμήματος για την εκτέλεση των δεσμεύσεων του ΔΟΑΕ. Συνοψίζοντας, παρατίθεται μια κριτική ματιά σε όλα τα παραπάνω, που στοχεύει στην αφύπνιση της συνείδησης του αναγνώστη και κυρίως στην ανάπτυξη ιδίων κριτικών εργαλείων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΟΥ ΔΟΑΕ, Η ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΩΣ ΟΠΛΟ

Ποιες ήταν οι ιστορικές συγκυρίες που οδήγησαν στη σύσταση του Διεθνούς Οργανισμού Ατομικής Ενέργειας

Αρχικά θα μελετήσουμε τον ρου της ιστορίας που δημιούργησε την ανάγκη ύπαρξης μίας ανεξάρτητης ελεγκτικής αρχής για τη χρήση της πυρηνικής ενέργειας. Κατά τις δεκαετίες 1920 και 1930 κορυφαίοι Ευρωπαίοι και Αμερικανοί φυσικοί και χημικοί επιστήμονες αποκάλυπταν σταδιακά τη δομή των στοιχείων και την δυναμική των νουκλεονίων και των υποατομικών σωματιδίων. Στις 6 Ιανουαρίου 1939, οι Γερμανοί χημικοί Otto Hahn και Fritz Strassman γνωστοποίησαν με σχετικό άρθρο τους που δημοσιεύτηκε στο περιοδικό *Naturwissenschaften* πως κατόρθωσαν, έπειτα από βομβαρδισμό ατόμου ουρανίου, τον διαχωρισμό του σε δύο ή περισσότερα πιο ελαφρά στοιχεία. Είχαν μόλις ανακαλύψει μία νέου τύπου πυρηνική αντίδραση που δεν ήταν άλλη από την πυρηνική σχάση. Η Αυστριακή συνάδελφός τους, φυσικός Lise Meitner, επεσήμανε πως η σχάση ουρανίου θα απελευθέρωνε πολύ πιθανόν ποσότητα ενέργειας σε τεράστια κλίμακα, ενέργεια ίση με εκείνη που απαιτείται για τη σύνδεση των νουκλεόνιων αναμεταξύ τους στην καθορισμένη ατομική δομή, κάτι που τελικά επιβεβαίωσε σε συνεργασία με τον ανιψιό της Otto Frisch μέσω πειραματικής εφαρμογής. Λίγες εβδομάδες αργότερα, ο Ούγγρος φυσικός Leo Szilard εργαζόμενος στη Νέα Υόρκη έδειξε πως κατά τη πυρηνική σχάση ανέκυπταν «περίπου δύο» νετρόνια κάθε φορά που ένα νετρόνιο διέφευγε και συγκρούονταν με κάποιο νετρόνιο ενός άλλου ατόμου ουρανίου (U-235). Έκτοτε, η ιδέα της αυτοσυντηρούμενης πυρηνικής σχάσης ήταν μία πιθανή πραγματικότητα. Το Μάιο του 1939, οι Jean και Irene Joliot-Curie, ο Αυστριακής-Ουγγρικής καταγωγής επιστήμονας Hans Halban και ο Πολωνός Leo Kowarski, που είχαν καταφύγει πρόσφυγες στη Γαλλία, επανέλαβαν το πείραμα του Szilard διαμορφώνοντας συγκεκριμένες διαδικασίες για την παραγωγή πυρηνικής ενέργειας αλλά και πυρηνικών εκρηκτικών υλών.

Ήταν εκείνη η χρονική συγκυρία κατά την οποία άρχισαν να αποκαλύπτονται οι προοπτικές των εφαρμογών της πυρηνικής ενέργειας τόσο σε στρατιωτικό όσο και σε πολιτικό επίπεδο. Ανησυχία προκάλεσε στην επιστημονική κοινότητα η

γνωστοποίηση της πρόθεσης αξιοποίησης εκ μέρους της Ναζιστικής Γερμανίας αυτών των διαδικασιών και το ενδεχόμενο σύνθεσης ενός πυρηνικού όπλου, όπως μαρτυρά η σχετική επιστολή προς τον πρόεδρο Ρούσβελτ στις 2 Αυγούστου του 1939 του Αϊνστάιν, ο οποίος, όπως πολλοί άλλοι Εβραίοι επιστήμονες, είχε μεταναστεύσει στην Αμερική προκειμένου να ξεφύγει από τον ζυγό του Χίτλερ και την πρόθεσή του να εκμεταλλευτεί για εγκληματικούς σκοπούς κάθε επιστημονικό επίτευγμα. Η θορύβηση του Ρούσβελτ είχε σαν αποτέλεσμα κάτι που αργότερα ονομάστηκε πρόγραμμα Manhattan, τίτλος που περιέκλειε την ευρείας κλίμακας προσπάθεια των Η.Π.Α. για τη δημιουργία της ατομικής βόμβας σε συνεργασία με Βρετανούς και άλλους επιστήμονες που εγκατέλειψαν την Ευρώπη προκειμένου να μην χρησιμοποιηθεί η έρευνα τους από τον Χίτλερ. Κατά το 1940 και 1941 οι Βρετανοί επιστήμονες είχαν σημειώσει σημαντική πρόοδο σε σχέση με τους Αμερικανούς, γεγονός που έκρινε τη συμβολή τους εξαιρετικά σημαντική στον αγώνα τους να προλάβουν τις Γερμανικές εξελίξεις στην επεξεργασία εμπλουτισμένου ουράνιου.

Την ίδια περίοδο την εμφάνιση του κάνει ένα νέο, ενεργειακά ισοδύναμο με το εμπλουτισμένο ουράνιο, τεχνητό στοιχείο. Ο λόγος για το πλουτώνιο του οποίου δείγμα κάποιας ισοτοπικής μορφής κατάφερε να παραγάγει ο επιστήμονας Glenn Seaborg μετά συναδέλφων του στο Πανεπιστήμιο της Καλιφόρνιας στα τέλη του 1940. Το όνομά του εμπνεύστηκε από τον Πλούτο, αρχαίο Έλληνα θεό του υπόκοσμου και της οικονομικής ευμάρειας.¹

Λίγα χρόνια αργότερα, στις 8 Δεκεμβρίου του 1953, ο τότε πρόεδρος των Η.Π.Α. Ντουάιτ Αϊζενχάουερ πρότεινε σε γενική συνέλευση των Ηνωμένων Εθνών τη δημιουργία ενός οργανισμού για την προώθηση της ειρηνικής χρήσης της πυρηνικής ενέργειας και την επιδίωξη της εξασφάλισης αποφυγής της εκμετάλλευσής της για στρατιωτικούς σκοπούς. Ήταν η εν λόγω πρόταση του Αϊζενχάουερ που οδήγησε στην δημιουργία του Διεθνούς Οργανισμού Ατομικής Ενέργειας και συντέλεσε στη διαμόρφωση παγκόσμιου χαρακτήρα συνεργασίας γύρω από την χρήση της πυρηνικής ενέργειας σε πολιτικό επίπεδο μέχρι και το έτος του 1978. Την ίδια χρονιά, μία καινοτόμος αλλαγή σε νομική διάταξη της Αμερικής, που συμπεριλήφθηκε στην ομιλία του κατά τη προαναφερθείσα συνέλευση με τίτλο

¹ David Ficher, September 1997, *History of the international atomic energy agency the first forty years*, chapter 2 pages 15-16, division of publication I.A.E.A. Vienna

“Atoms for Peace”, σηματοδότησε τη λήξη του παραπάνω προγράμματος του Αϊζενχάουερ. Το ρηξικέλευθο στοιχείο της παραπάνω πρότασης του συνίστατο κυρίως στην υπερκυβερνητική φύση του οργανισμού σε θέματα που είχαν να κάνουν με τη συγκέντρωση και αποθήκευση των σχάσιμων υλικών και του φυσικού ουρανίου.

Οι Η.Π.Α. στόχευαν σε κάτι παραπάνω από την αυστηρή μείωση ή πλήρη εξάλειψη της χρήσης ραδιενεργών στοιχείων για στρατιωτικούς σκοπούς. Σύμφωνα με τον Αϊζενχάουερ, απώτερος σκοπός ήταν η διάθεση των πυρηνικών τεχνολογιών σε επιδέξιους επιστήμονες, για την προσαρμογή της σε ειρηνικές τεχνικές. Ο υποφαινόμενος οργανισμός θα ήταν υπεύθυνος, εκτός των προαναφερθέντων, για την αποφυγή της μεταχείρισης της πυρηνικής ενέργειας σε σχεδιασμούς αντίστοιχους του φιλόδοξου επονομαζόμενου σχεδίου Baruch του 1946, μία πρόταση των Η.Π.Α. στον Στάλιν κατά την εκπονή του Ψυχρού πολέμου με στόχο μία παγκόσμια κυβέρνηση με την ύπαρξη παγκόσμιου στρατού και δικαστηρίου.²

Ο Διεθνής Οργανισμός Ατομικής Ενέργειας οραματίζονταν την κατάκτηση της αρετής όπως ισχυρίστηκε της ανάληψης του δύσκολου έργου διαμόρφωσης ενός καθολικά αποδεκτού συστήματος προτύπων και κανόνων γύρω από την επίβλεψη και τον έλεγχο των παραπάνω πυρηνικών διεργασιών, απαλλαγμένης από περισπασμούς και αμοιβαίες καχυποψίες. Μολαταύτα, κανείς δεν αμφέβαλλε πως ο καθεαυτό στόχος του ήταν ο σταδιακός πυρηνικός αφοπλισμός ακολουθούμενος από την ταυτόχρονη πάταξη του φόβου που επέσυρε το ενδεχόμενο πυρηνικής αντιπαράθεσης των δύο υπερδυνάμεων. Την ίδια στιγμή κοινή θλιβερή παραδοχή αποτελούσε το ενδεχόμενο πως η Αμερικάνικη πυρηνική επιχειρησιακή δυναμικότητα μπορεί να συνεχιζόταν ακόμη και για τα επόμενα σαράντα χρόνια.

² Peter Myers, September 5 2001, *The Baruch plan for world government*



President Eisenhower gives his famous Atoms for Peace Speech to the United Nations General Assembly (8 December 1953). (Photo: UN)³

Το όραμα του Αϊζενχάουερ, αφενός έλαβε ακαριαία θερμή υποστήριξη και ελάχιστη κριτική αντιμαχία, διότι περιστρέφονταν γύρω από την ιδέα πως ούτε η Αμερική ούτε η Ρωσία θα είχαν την δυνατότητα εξαπόλυσης ισοπεδωτικού χτυπήματος η μία έναντι της άλλης, αφετέρου πρόσφερε μία τεράστια ώθηση στο κλίμα αλλαγής που ξεκίνησε να λαμβάνει τόπο στις Αμερικανικές αλλά και τις παγκόσμιες πολιτικές γύρω από τη χρήση της πυρηνικής ενέργειας. Η επιτυχία του, που έγκειτο στην απανταχού αποδοχή, είχε να κάνει με την μεταστροφή από τακτικές μυστικισμού και άρνησης σε πολιτικές απρόσκοπτης πρόσβασης στη πληροφορία και απόλυτης διαφάνειας σε θέματα που αφορούν τις ειρηνικές εφαρμογές της αποδοτικότερης ενεργειακής πηγής. Ήταν ακριβώς αυτό το σημείο που έλαβε τις περισσότερες επικριτικές αντιδράσεις, καθώς το αντίπαλο στρατόπεδο επιχειρηματολογούσε γύρω από την αδυναμία κατανόησης του τρόπου με τον οποίο η εξάπλωση της τεχνικής γνώσης, γύρω από το πιο θανατηφόρο και περιβαλλοντικά επιβλαβές όπλο στα χρονικά της ιστορίας, θα μπορούσε να συμβάλλει στην παγκόσμια αρμονία, ειρήνη και ασφάλεια.

Ωστόσο, η αποτυχία προγενέστερων προσπαθειών για την αποφυγή της διάδοσης της πυρηνικής τεχνολογίας είχαν ήδη καταδείξει πως αν και ενδεχομένως επιβραδύνθηκε η εξάπλωση της καινοτόμου αυτής τεχνολογίας, η οριστική της παύση

³ IAEA Bulletin 54-4, December 2013, *Eisenhower's Atoms for Peace The Speech that Inspired the Creation of the IAEA*, page 3

ήταν αδύνατη. Το ερώτημα πλέον ήταν αν οι Η.Π.Α. θα στρέφονταν στον αγώνα για περιορισμό της διαρροής των πληροφοριών, σύμφωνα με τις προσταγές του Κογκρέσου, όπως περιγράφονταν στην πράξη McMahon του 1946, ή αν θα πρωτοστατούσαν στη διασφάλιση πως η αδιαμφισβήτητα αναπόφευκτη διάδοση της πυρηνικής τεχνολογίας θα ήταν υπόλογη ελέγχων και κανονισμών με στόχο την εξασφάλιση της ειρηνικής χρήσης της κατά τα ασφαλέστερα τεχνολογικά πρότυπα. Την ίδια στιγμή, εκτός των Η.Π.Α. κανένα άλλο κράτος δεν έδειχνε να ενδιαφέρεται για αυτή τη μεταστροφή από τον μυστικισμό στην ανοικτή πληροφορία γύρω από την τεχνολογία που αφορούσε την πυρηνική ενέργεια. Συγκεκριμένα, για αρκετά χρόνια αργότερα πολυάριθμα κράτη στην Ευρώπη και αλλού έδειχναν να αδιαφορούν για τα παγκόσμια ελεγκτικά πρότυπα, ενώ επικεντρώθηκαν στη περιφρούρηση και εξέλιξη των οπλικών αυτών συστημάτων και λιγότερο στην αποφυγή της διασποράς τους.

Μακροπρόθεσμα, οι Η.Π.Α. δεν αποπειράθηκαν να διατηρήσουν το πυρηνικό μονοπώλιο. Απ' την άλλη, ο ρόλος των ελεγκτικών κανονισμών, που πολύ αργότερα τα υπόλοιπα κράτη διαμόρφωσαν περί των πυρηνικών εξαγωγών τους, δεν ήταν καταλυτικός για τον προσδιορισμό του κατά πόσο τα εκάστοτε έθνη αξιοποιούσαν την πυρηνική ενέργεια για στρατιωτικές εφαρμογές έναντι αντίστοιχων ειρηνικών. Καθοριστικό παράγοντα έμελε να αποτελέσουν η ανάγκη για ασφάλεια και η συνειδητοποίηση του ολοένα αυξανόμενου αριθμού κρατών, τεχνικά καταρτισμένων στην πραγματοποίηση της παραπάνω επιλογής. Για τα περισσότερα κράτη η τελική επιλογή οριστικοποιήθηκε το 1995 με την υπογραφή της συνθήκης για την παύση της εξάπλωσης των πυρηνικών όπλων (NPT).⁴

Στην αρχή, ο Δ.Ο.Α.Ε. (I.A.E.A.-International Atomic Energy Agency) διατηρούσε αυτόνομο διακυβερνητικό χαρακτήρα, με κατεξοχήν στόχο του την αύξηση της συνεισφοράς της πυρηνικής ενέργειας στην παγκόσμια ειρήνη και ευημερία αλλά και την επαγρύπνηση ώστε να περιοριστούν οι στρατιωτικές εφαρμογές της. Ιδρύθηκε στις 23.10.1956 με ταυτόχρονη έγκριση του καταστατικού του, το οποίο ψηφίστηκε από 81 χώρες ομόφωνα και τέθηκε σε εφαρμογή στις 29.7.1957. Στις χώρες αυτές προστέθηκαν η Γαλλία το 1960 και η Κίνα το 1964. Την περίοδο εκείνη, παρατηρήθηκε παγκοσμίως αυξανόμενη υποστήριξη και ανάγκη για

⁴ David Ficher, September 1997, *History of the international atomic energy agency the first forty years*, chapter 1 pages 9-11, division of publication I.A.E.A. Vienna

τη θέσπιση νομικών δεσμεύσεων και αυστηρών δικλείδων ασφαλείας με αρχικό σκοπό τη διακοπή της εξάπλωσης πυρηνικών οπλικών συστημάτων και τελικά την οριστική εξάλειψή τους.

Η γενική συνέλευση του γραφείου, που συγκροτείται από όλα τα κράτη μέλη του, συντελείται μια φορά το χρόνο για να εγκρίνει τον προϋπολογισμό και τα εκάστοτε προγράμματα. Στις δραστηριότητες του συμπεριλαμβάνονται η έρευνα σχετικά με τις εφαρμογές της πυρηνικής ενέργειας στην ιατρική, στη γεωργία, στον εντοπισμό υπόγειων νερών και στη βιομηχανία, η πραγματοποίηση συνεδρίων πληροφόρησης και ευαισθητοποίησης, η οργάνωση αντίστοιχων εκπαιδευτικών προγραμμάτων, η χορήγηση υποτροφιών και η συγγραφή δημοσιεύσεων, που ως στόχο τους έχουν την προώθηση της ανταλλαγής τεχνικών πληροφοριών και επιτευγμάτων, την παροχή τεχνικής βοήθειας ιδιαίτερα στις αναπτυσσόμενες χώρες και τη θέσπιση και εφαρμογή προδιαγραφών για την προφύλαξη από τις ακτινοβολίες. Η έδρα του γραφείου βρίσκονταν στη Βιέννη με κύρια όργανά του το διοικητικό συμβούλιο, αποτελούμενο από 34 μέλη, το οποίο ευθύνεται για τη διεκπεραίωση των θεσπισμένων από το καταστατικό λειτουργιών και τη γραμματεία, η οποία με τη σειρά της αποτελείται από επιστημονικό και διοικητικό προσωπικό ευθύνεται για την ορθή εκτέλεση των προγραμμάτων του γραφείου.

Παράγοντες που κατέστησαν επιτακτική την ανάγκη για ένα παγκόσμιου χαρακτήρα δίκαιο πυρηνικής ενέργειας που θα περικλείει το σύνολο των νομικών διατάξεων όσον αφορά την παραγωγή, τη χρήση και τη διασπορά της πυρηνικής ενέργειας ήταν αφενός η πρόσφατη μνήμη των ατομικών βομβών που κατέστρεψαν την Χιροσίμα και το Ναγκασάκι και μη δημοσιοποιημένων ενδεχομένως πυρηνικών ατυχημάτων και αφετέρου το απεριόριστο των αρνητικών συνεπειών της ραδιενέργειας όταν η ίδια διαφύγει του ανθρώπινου ελέγχου, εξαιτίας πυρηνικών δοκιμών, πυρηνικού ατυχήματος, πολεμικών επιχειρήσεων ή τρομοκρατικής δράσης αποβαίνοντας βραχυπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα καταστροφική πολύ πέραν των ορίων της τοπικής χρήσης (παραδείγματα καρκινογενέσεων, γενετικών αλλοιώσεων, κλιματικών μεταβολών, ρύπανσης υδάτων και φυτών κτλ).

Έτσι, την 26^η Οκτωβρίου 1956 υπογράφηκε στη Νέα Υόρκη η σύμβαση του καταστατικού του Δ.Ο.Α.Ε. την οποία κύρωσε μεταξύ άλλων χωρών και η Ελλάδα με το νομοθετικό διάταγμα 3730 της 3/12-8-1957. Έκτοτε, η πολυσχιδής δράση του

οργανισμού περιλαμβάνει μεταξύ άλλων την έκδοση κανονισμών περί της ασφαλούς μεταφοράς ραδιενεργών υλικών και υπολειμμάτων αυτών, της σύστασης επιτροπής και ταμείου εξασφάλισης παροχής τεχνικής βοήθειας και συνεργασίας, στοχοθετώντας την διάδοση της ειρηνικής τεχνολογικής χρήσης της πυρηνικής ενέργειας, ενώ ταυτόχρονα πρωτοστατεί στη σύγκληση διεθνών διασκέψεων και την υπογραφή διεθνών συμβάσεων. Το 1968 η γενική συνέλευση των Ηνωμένων Εθνών ενέκρινε τη συνθήκη για την μη διάδοση των πυρηνικών όπλων και ακολούθησε το 1969 η εφαρμογή της συνθήκης απαγόρευσης των πυρηνικών όπλων στη λατινική Αμερική (NPT), συνθήκη που πρώτη η Ιρλανδία έθεσε σε εφαρμογή δέκα χρόνια αργότερα. Παρά τον δεσμευτικό τους χαρακτήρα, η τήρηση των παραπάνω δεν ήταν απόλυτη, αφενός λόγω της διάδοσης των επιστημονικών γνώσεων και αφετέρου λόγω ποικίλων πολιτικών και στρατιωτικών σκοπιμοτήτων.

Ωστόσο, κατά τη δεκαετία του 1970 η συνθήκη απαγόρευσης των πυρηνικών όπλων έγινε αποδεκτή από σχεδόν όλες τις χώρες με σημαντικές βιομηχανικές μονάδες και την συντριπτική πλειοψηφία των αναπτυγμένων κρατών, ενώ οι τεχνολογικές εξελίξεις από τη μία και η πετρελαϊκή κρίση του '73 από την άλλη αύξησαν κατά πολύ τις προοπτικές και τα θέλγητρα της χρήσης της πυρηνικής ενέργειας. Συνεπώς, ο ρόλος του Οργανισμού απέκτησε μεγαλύτερη σημασία και πλέον είχε διαμορφωθεί ένα κοινό παγκόσμιο συμπεριφορικό πρότυπο, σύμφωνα με το οποίο οι χώρες με αξιοσημείωτη πυρηνική δραστηριότητα είχαν την τάση να κρατούν τον Οργανισμό σε κάποια απόσταση, όσον αφορά τους ελέγχους και την πληροφόρηση, ενώ όταν οι περιστάσεις το απαιτούσαν του εκχωρούσαν πιο διεξοδικό ρόλο.

Ακολούθησε το 1975 η συγκρότηση της ομάδας πυρηνικών τροφοδοτών αποτελούμενη από 48 χώρες (ΗΠΑ, ΕΣΣΔ, Μεγάλη Βρετανία, Δυτική Γερμανία, Καναδάς, Ιαπωνία, κτλ), ύστερα από έκρηξη πυρηνικής συσκευής σε κράτος που δεν είχε οπλικές χρήσεις και τη συνειδητοποίηση του μεγάλου κινδύνου που περιείχαν ακόμη και οι ειρηνικών σκοπών πυρηνικές διαδικασίες. Η ομάδα αυτή (NSG, Nuclear Suppliers Group) αποσκοπούσε στον περιορισμό της διάδοσης των πυρηνικών όπλων μέσω του αυστηρού ελέγχου των εξαγωγών πυρηνικού εξοπλισμού, υλικών και τεχνολογίας. Κατά τη διάρκεια της πυρηνικής δοκιμής στην Ινδία τον Μάη του 1974, αποδείχθηκε πως συγκεκριμένη μη οπλικού χαρακτήρα και σκοπού πυρηνική τεχνολογία θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στην ανάπτυξη

πυρηνικών όπλων. Η επίδραση του συμβάντος αφορούσε κράτη όπως η Γαλλία που αν και τότε δεν ήταν μέλος της NPT (συνθήκη μη διάδοσης) πείστηκε και συμφώνησε στον ορισμό δεσμεύσεων που θα ακολουθούσαν οι πυρηνικές διαδικασίες. Μετά από πολυάριθμες συνδιασκέψεις στο Λονδίνο από το 1975 έως και το 1978 κατέληξαν σε συμφωνία όσον αφορά τον καθορισμό κανονισμών στους οποίους θα συνετίζονταν οι εξαγωγές πυρηνικών υλικών. Τα αναγραφόμενα αντικείμενα, όπως δημοσιεύθηκαν στο INFCIRC/254 του Δ.Ο.Α.Ε., θα μπορούσαν να μεταφερθούν σε μη πυρηνικά κράτη μόνο κατόπιν συγκατάθεσης των safeguards του Δ.Ο.Α.Ε., τους οποίους θα μελετήσουμε ενδελεχώς σε επόμενο κεφάλαιο, ή κατ' εξαίρεση κατά τη διάρκεια μείζονος σημασίας περιστατικού που αφορά την ασφάλεια.⁵

Ακολούθησε δημοσίευση, το 1978, κώδικα κατευθυντήριων οδηγιών για τη χρήση, αποθήκευση και μεταφορά των πυρηνικών όπλων. Στη συνέχεια, το 1986 υπογράφηκε η σύμβαση περί αρωγής σε περίπτωση πυρηνικού ατυχήματος ή κατάστασης έκτακτης ραδιολογικής ανάγκης και η σύμβαση περί έγκαιρης γνωστοποίησης σε κάποια από τις παραπάνω περιπτώσεις, την οποία διαδέχτηκε το 1987 η διάσκεψη του Ο.Η.Ε. με θέμα τις ειρηνικές χρήσεις της πυρηνικής ενέργειας. Το 1991, η αποκάλυψη Ιρακινού προγράμματος λαθραίας διακίνησης όπλων έγειρε σημαντικές αμφιβολίες για την αποτελεσματικότητα του Οργανισμού και συντέλεσε εξίσου στην ενδυνάμωση των αρμοδιοτήτων και των ευθυνών του, οι οποίες, ωστόσο, αμφισβητήθηκαν ξανά μετά την αποκάλυψη πως η Δημοκρατία της Κορέας ήταν η δεύτερη κατά σειρά χώρα που καταστρατηγούσε τη συνθήκη μη χρήσης πυρηνικών όπλων.

Στη συνέχεια τα ατυχήματα, που θα εξετάσουμε παρακάτω ενδελεχώς, ειδικά στο Three Mile Island και η καταστροφή στο Τσερνομπίλ οδήγησαν τις κυβερνήσεις στην ενδυνάμωση του ρόλου του Δ.Ο.Α.Ε., ιδιαιτέρως σε ότι αφορά την ενίσχυση της πυρηνικής ασφάλειας. Στις αρχές του 1990, η λήξη του Ψυχρού πολέμου και η συνεπακόλουθη βελτίωση της ασφάλειας φάνηκαν προς στιγμήν να εκμηδενίζουν παγκοσμίως την πιθανότητα πυρηνικής σύγκρουσης.

Η ευρεία αποδοχή των συνθηκών του Οργανισμού σε κρατικό επίπεδο συντέλεσε στην αποδέσμευση από τα πυρηνικά όπλα των χωρών της Λατινικής

⁵ August 16, 2017, *History of the Nuclear Suppliers Group*, ιστότοπος armscontrol.org

Αμερικής, της Αφρικής, της Νοτιοανατολικής Ασίας καθώς και του Νότιου Ειρηνικού. Ο κίνδυνος συνέχισης της ανάπτυξης πυρηνικών όπλων σε κυρίαρχα κράτη της Πρώην Σοβιετικής Ένωσης αποσοβήθηκε, με το Ιράκ και τη Δημοκρατία της Κορέας να τηρούν την συνθήκη απαγόρευσης, η οποία οριστικοποιήθηκε το 1995. Η γενική συνέλευση των Ηνωμένων Εθνών που ακολούθησε το 1996 ενέκρινε και έθεσε προς υπογραφή θέματα που αφορούσαν την οριστική απαγόρευση πυρηνικών δοκιμών.

Ενώ μέχρι πρότινος θέματα που αφορούσαν στρατιωτικές πυρηνικές δραστηριότητες κινούνταν πέραν των θεσπισμένων αρμοδιοτήτων του Οργανισμού, πλέον έγινε αποδεκτή η ενεργή συμβολή του σε προβλήματα που ανέκυψαν από τον διακρατικό ανταγωνισμό στην ανάπτυξη πυρηνικής τεχνολογίας. Οι διαδικασίες αυτές αφορούσαν την ειρηνική χρήση ή αποθήκευση ραδιενεργού υλικού που προέρχεται από την παρόπλιση πυρηνικών οπλικών συστημάτων και υποδείκνυαν τους κινδύνους που απέρρεαν από την εναπόθεση πυρηνικών απόβλητων στον Αρκτικό Ωκεανό ενώ παράλληλα πιστοποιούσαν την ασφάλεια προγενέστερων τοποθεσιών πυρηνικών δοκιμών στην Κεντρική Ασία και τον Ειρηνικό. Μέσω του Ο.Η.Ε. αναπτύχθηκε ένα πολύπλοκο συμβατικό σύστημα αποτροπής ενός τρίτου παγκόσμιου πολέμου (SALT I,II) με στόχο να αποφευχθεί το ενδεχόμενο πυρηνικού ολοκαυτώματος, η επιτυχία του οποίου όμως όσον αφορά τον έλεγχο της διασποράς της πυρηνικής τεχνολογίας και των όπλων κρίθηκε αμφίβολη μετά την κατάρρευση της ΕΣΣΔ και των φιλόδοξων ανερχόμενων τοπικών υπερδυνάμεων.

Πλέον, για πρώτη φορά μετά το 1945 ο πλανήτης έχει μία πολύ καλή ευκαιρία για την τιθάσευση της διάδοσης των πυρηνικών όπλων και την μείωση αν όχι την οριστική διακοπή στη λειτουργία πυρηνικών οπλοστασίων. Με άλλα λόγια, μετά τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο, αυτή είναι η συγκυρία στην οποία χρονοθετείται η βέλτιστη προοπτική στη κατεύθυνση της κατανόησης των δύο βασικών στόχων που απάρτιζαν τη συνθήκη απαγόρευσης των πυρηνικών καθώς και τα κυρίαρχα αντικείμενα των υπαινιγμών στις προτάσεις του Αϊζενχάουερ.⁶

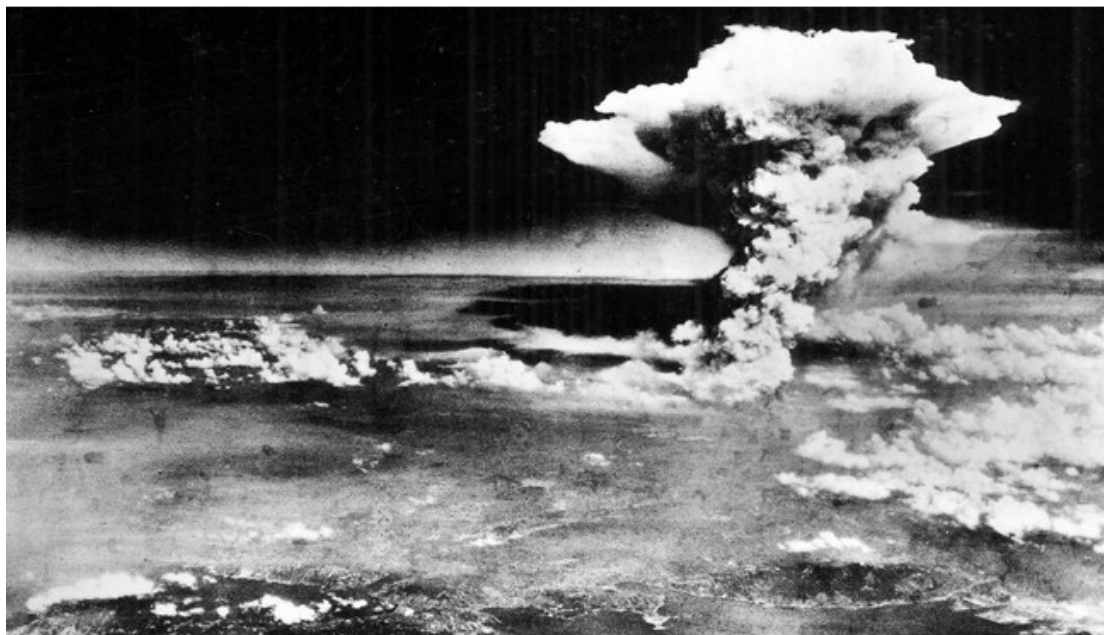
⁶ David Ficher, September 1997, *History of the international atomic energy agency the first forty years*, introduction pages 14-15, division of publication I.A.E.A. Vienna

Η πυρηνική ενέργεια όπλο εναντίον του ανθρώπου.⁷

Οι 2 μεγαλύτερες τραγωδίες της ανθρωπότητας είχαν τη μορφή πυρηνικών επιθέσεων και ταυτοχρόνως αποτελούν τις πρωταρχικές εφαρμογές της πυρηνικής ενέργειας. Ο λόγος για τις επιθέσεις στις πόλεις Χιροσίμα και Ναγκασάκι.

Λίγο πριν τη λήξη του Β παγκόσμιου πολέμου και με επίσημη αιτιολογία την αποφυγή μεγάλης στρατιωτικής απόβασης, κρίνοντας την κίνηση αυτή ως μονόδρομο, πυροδοτήθηκε στις 6 Αυγούστου 1945 η πρώτη πυρηνική βόμβα στην ιστορία της ανθρωπότητας για λογαριασμό των Η.Π.Α. με στόχο την Ιαπωνική πόλη της Χιροσίμα. Η συγκεκριμένη βόμβα έφερε την ονομασία Little Boy και ήταν τύπου ουρανίου 235 με άγνωστα εκ των προτέρων αποτελέσματα, μιας και μέχρι τότε δεν είχε πραγματοποιηθεί δοκιμή τέτοιου τύπου βόμβας. Υπολογίζεται πως περίπου 70.000 άνθρωποι βρήκαν ακαριαίο θάνατο ενώ πολύ περισσότεροι πέθαναν αργότερα ή είχαν σοβαρά προβλήματα υγείας λόγω της ραδιενέργειας. Ο ακριβής αριθμός υπολογίζεται σε 100.000-200.000 θανάτους από τη μέρα εκείνη και για δεκαετίες αργότερα. Από την πόλη το μόνο που διασώθηκε ήταν ο θόλος της Ατομικής Βόμβας, κομμάτι ενός κτηρίου που σχεδιάστηκε από τον Τσέχο αρχιτέκτονα Γιαν Λέτζτελ το 1915 και λειτουργούσε ως εκθεσιακός χώρος βιομηχανικών προϊόντων της περιοχής. Ο θόλος του κτηρίου χαρακτηρίστηκε μνημείο παγκόσμιας κληρονομιάς από την UNESCO και παραμένει αναλλοίωτος μέχρι και σήμερα στην κατάσταση που βρίσκονταν λίγα λεπτά μετά τον βομβαρδισμό, προκειμένου να θυμίζει τις συνέπειες μιας πυρηνικής καταστροφής ενώ ταυτόχρονα αποτελεί σύμβολο ελπίδας για την ειρήνη και την εξάλειψη των πυρηνικών όπλων παγκοσμίως.

⁷ Πετρόπουλος Γιώργος, Κυριακή 4 Αυγούστου 2002, *“Η ρίψη της ατομικής βόμβας σε Χιροσίμα και Ναγκασάκι”*, Ριζοσπάστης, Ένθετη έκδοση: “7 μέρες μαζί”



Η πρώτη ατομική βόμβα "Little Boy", λίγο μετά την έκρηξη.⁸

Τρεις μέρες αργότερα στις 9 Αύγουστου 1945 ακολουθεί η δεύτερη πυρηνική επίθεση στα χρονικά της ανθρωπότητας που ισοπέδωσε το Ναγκασάκι, ενώ πρωταρχικός της στόχος ήταν η πόλη Κοκούρα, που ματαιώθηκε όμως λόγω έντονης συννεφιάς που κάλυπτε τη πόλη. Η βόμβα, που έφερε την ονομασία Fat Man, ήταν κατά 40% ισχυρότερη από αυτή της Χιροσίμα και δεν ήταν τεχνολογικά όμοια με εκείνη, καθώς αντί για ουράνιο 235 περιείχε πλουτόνιο, ένα υπερουράνιο στοιχείο που δεν απαντάται στην φύση. Την πρόσκρουση της βόμβας με το έδαφος ακολούθησε έκλυση αστρικής θερμότητας, έντονη λάμψη και ένα κύμα πύσεως που κονιορτοποίησε κάθε εμπόδιο σε επιφάνεια τριών με τεσσάρων τετραγωνικών χιλιομέτρων προκαλώντας ζημιές σε τριπλάσια απόσταση ακολουθούμενη από μια καταιγίδα φωτιάς που αποτέφρωσε τα πάντα στο διάβα της ενώ μια στήλη από καπνό, ατμό, απανθρακωμένα συντρίμια, λείψανα ανθρώπων και ζώων και ραδιενεργά υπολείμματα αναδύθηκε στον ουρανό.

Η δήλωση του τότε πρόεδρου των Η.Π.Α. Χάρρυ Τρούμαν σχετικά με τις 2 αυτές εγκληματικές επιθέσεις, που σηματοδότησαν τη λήξη του Β παγκόσμιου πολέμου, ήταν η ακόλουθη, όπως αποτυπώθηκε στον τύπο της εποχής: «Εχρησιμοποίησαμε την ατομική βόμβα εναντίον εκείνων, οι οποίοι μας

⁸ 6 Αυγούστου 2015, *Χιροσίμα: 20 συγκλονιστικές φωτογραφίες για τη ρίψη της πρώτης ατομικής βόμβας*, news247.gr

επετέθησαν προδοτικώς στο Περλ Χάρμπορ, οι οποίοι εβασάνισαν τους Αμερικανούς αιχμαλώτους πολέμου, οι οποίοι παρεβίασαν όλους τους νόμους του διεθνούς δικαίου... Εχρησιμοποίησαμε την ατομικήν βόμβαν διά να συντομεύσωμεν τον πόλεμον... Θα τη χρησιμοιήσωμεν και πάλιν. Μόνο η συνθηκολόγησις της Ιαπωνίας θα μας σταματήση. Τους ώμους μας βαραίνει τεραστία ευθύνη. Ευχαριστούμεν τον θεόν, διότι είμεθα εμείς, και όχι ο εχθρός, που τη φέρομεν. Και παρακαλούμεν τον θεόν, να μας φωτίση εις τη χρήσιν του οργάνου αυτού συμφώνως προς τας βουλήσεις του».



Το Ναγκασάκι 15 λεπτά μετά την έκρηξη⁹

Σύμφωνα με τον Ιάπωνα καθηγητή Αράτα Οσάντα, τη στιγμή της έκρηξης στη Χιροσίμα οι κάτοικοι της είχαν μόλις αρχίσει τις συνηθισμένες καθημερινές ασχολίες τους, μικρά παιδιά έπαιζαν στα σπίτια τους και έξω, άλλα έκαναν το μάθημά τους, εργάτες και δημόσιοι υπάλληλοι είχαν αρχίσει τη δουλεία τους ενώ άλλοι πολίτες

⁹ Michael Lee Lanning, 09.08.2017, *100 μεγαλύτερες μάχες όλων των εποχών*, *Ατομική βόμβα στο Ναγκασάκι: Πώς έγινε η επιχείρηση που είχε στόχο άλλη πόλη*, Μετάφραση Κουσούνελος Γ., Εκδόσεις Ενάλιος

βρίσκονταν καθοδόν. Ο συγγραφέας Ρέιμοντ Καρτιέ στο βιβλίο του «Ιστορία του δεύτερου παγκόσμιου πολέμου» αναφέρει σχετικά: «Η πόλη άρχισε την εργάσιμη ημέρα της. Σύμφωνα με τον κανόνα, δεν είχε δοθεί το σύνθημα του συναγερμού για αεροπλάνα μεμονωμένα που πετούν από πάνω της. Μία τρομακτική αστραπή την κατάπιε, αφήνοντας πίσω της μία κολοσσιαία πυρκαγιά, που άναψε και διαδόθηκε μέσα σ' ένα δευτερόλεπτο. Τα τροχιοδρομικά οχήματα έμειναν γεμάτα με τους απανθρακωμένους επιβάτες, τους στριμωγμένους στα καθίσματα ή στοιβαγμένους όρθιους στους εξώστες. Ένας άνεμος ταχύτητας 1.200 χιλιομέτρων την ώρα σηκώθηκε και γκρέμισε τους τοίχους σε μια ακτίνα 1.500 μέτρων, θρυμματίζοντας τα τζάμια των παραθύρων ακόμα και σε απόσταση 12 χιλιομέτρων από το σημείο Μηδέν. Ένας πύρινος κυκλώνας, όμοιος με αυτούς που άναψαν οι εκατοντάδες βομβαρδιστικών στη Δρέσδη, στο Αμβούργο ή στο Τόκιο, στροβιλιζόταν επί έξι ώρες. Έπειτα παράξενα φαινόμενα διαπιστώθηκαν στους επιζώντες: Εμετοί, διάρροιες εξαιρετικής εντάσεως, πλήθος μικρών αιμορραγιών στο στόμα και στο λαιμό. Πολλά από τα θύματα που παρουσίασαν τέτοια συμπτώματα ψυχορραγούν. Ο απολογισμός που θα καταρτισθεί αργότερα θα εμφανίσει 78.150 νεκρούς, 9.284 βαριά τραυματισμένους και 13.938 αφανισθέντες. Δεν υπολογίζονται μέσα σ' αυτούς οι στρατιωτικοί, 40.000 περίπου, από τους οποίους οι μισοί υπήρξαν άμεσα θύματα της εκρήξεως. Το γενικό στρατηγείο της 2ης στρατιάς, ή έδρα της περιφερειακής διοικήσεως της Δύσεως, η στρατιωτική σχολή και το στρατιωτικό νοσοκομείο εκμηδενίσθηκαν».

Σοβιετικές ιστορικές πηγές αναφέρουν πως η εικόνα της καταστροφής ήταν ακόμη μεγαλύτερη, συγκεκριμένα αναφέρει η παγκόσμια ιστορία της ακαδημίας επιστημών η πόλη σκεπάστηκε με κουβάρια καπνού σε ακτίνα 4 χιλιομέτρων από το επίκεντρο της έκρηξης, φούντωσαν πυρκαγιές και τα εννέα δέκατα των σπιτιών έγιναν στάχτη. Ο συγγραφέας Γ. Α. Ντεμπόριν στο βιβλίο του *Ο Δεύτερος Παγκόσμιος Πόλεμος* προσθέτει: «Οι ιθύνοντες κύκλοι των ΗΠΑ έδειξαν πλήρη περιφρόνηση προς τους πιο στοιχειώδεις και καθιερωμένους κανόνες του διεθνούς δικαίου, τα έθιμα του πολέμου και τις αρχές του ανθρωπισμού... Όπως αναφέρουν οι Ιάπωνες συγγραφείς, στη Χιροσίμα, πόλη με πληθυσμό 300.000, σκοτώθηκαν όχι λιγότεροι από 247 χιλιάδες άνθρωποι». Αντίστοιχα, στο Ναγκασάκι οι νεκροί υπολογίζονται από 60.000 έως 80.000 τη στιγμή που οι Η.Π.Α. προσμετρούσαν μόλις 16.000 υπολογίζοντας μόνο τα ταυτοποιημένα θύματα ενώ Σοβιετικοί μελετητές,

υπολογίζοντας τις επιπτώσεις όχι μόνο στο άμεσο χρονικό διάστημα, αναφέρουν ότι οι νεκροί και τραυματίες στο Ναγκασάκι ήταν περίπου 200.000.

Αν και η πρώτη πυρηνική βόμβα ήταν γεγονός χάρη στις εργασίες των Η.Π.Α. σε συνεργασία της Μεγάλης Βρετανίας το καλοκαίρι του 1940 και ολοκληρώθηκαν τον Απρίλη του 1945 με τον απόηχο τους, γνωστό σ' εμάς μέχρι σήμερα, η πραγματική της σημασία ήταν πολύ μεγαλύτερη. Η σημασία αυτή οδήγησε την παγκόσμια κοινότητα στην κατανόηση ότι η πυρηνική βόμβα καθώς και η χρησιμοποίησή της δεν αφορούσε τόσο στο δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο, που έφτανε το τέλος του, αλλά στην αλλαγή στο συσχετισμό δυνάμεων στον μεταπολεμικό κόσμο, μια δραματική αλλαγή σε αυτόν τον συσχετισμό προς όφελος του ιμπεριαλισμού και των Η.Π.Α..

Ακολούθησε η συνειδητοποίηση πως δεν επρόκειτο για ένα όπλο που όπως ισχυρίζονταν οι Η.Π.Α. αποσκοπούσε στην επίσπευση της λήξης του πολέμου αλλά στην επικράτηση κατά τη μεταπολεμική εποχή όπως αναφέρει ο Ουίνστον Τσόρτσιλ: «Θα ήταν λάθος να πιστέψουμε ότι η τύχη της Ιαπωνίας ερυθμίσθη από την ατομική βόμβα. Η ήττα της ήταν βεβαία πριν ριφθή η πρώτη βόμβα» κάτι που επιβεβαιώνεται αν αναλογιστούμε ότι την ίδια στιγμή η Ιαπωνία με 64 πόλεις της κατεστραμμένες από συμβατικούς βομβαρδισμούς δεν ήταν σε θέση να συνεχίσει τον πόλεμο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΦΥΣΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ, ΤΑ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΕΡΑ ΠΥΡΗΝΙΚΑ ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ ΚΑΙ Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΟΥ ΔΟΑΕ

Βασική φυσική ανάλυση της πυρηνικής ενέργειας.¹⁰

Με τον όρο ατομική ενεργεία ή πιο σωστά πυρηνική ενέργεια αναφερόμαστε στη ποσοστιαία τεράστια σε μαζικό επίπεδο ενέργεια, που εκλύεται κατά τη πυρηνική σχάση και τη πυρηνική σύντηξη. Σύμφωνα με την εξίσωση που διατύπωσε ο Einstein, $E=mc^2$ υπάρχει αναλογία ενέργειας-μάζας σε κάθε σύστημα, που σημαίνει ότι για να έχουμε απελευθέρωση ενέργειας σε ένα σύστημα απαιτείται η μείωση της μάζας του, συμπεριλαμβανομένων και πιθανών μεταστοιχειώσεων του πυρήνα. Μάλιστα, η διεξαγωγή ορισμένων τέτοιων μεταστοιχειώσεων συνδέεται άμεσα με την πυρηνική ενέργεια καθιστώντας αυτές σημαντικές πηγές αξιοποιήσιμης ενέργειας. Πριν όμως προβούμε στην ανάλυση των δυο αντιδράσεων σχάσης και σύντηξης πρέπει να έχουμε σαφή εικόνα της μορφής του πυρήνα αλλά και της ατομικής δομής του ατόμου. Πυρηνικές δυνάμεις αναμεταξύ των νουκλεονίων του πυρήνα (θετικά φορτισμένα πρωτόνια και αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια) είναι υπεύθυνες για την συνοχή του.

Στην πράξη, αντιδράσεις πυρηνικής σχάσης εφαρμόζονται με στόχο την παραγωγή ωφέλιμης πυρηνικής ενέργειας, όπως αυτές ορισμένων βαρέων πυρήνων (π.χ. των ισότοπων ουρανίου με μαζικούς αριθμούς 233 και κυρίως 235 και του ισότοπου του πλουτωνίου με μαζικό αριθμό 239). Ο βομβαρδισμός των πυρήνων τους με νετρόνια συνεισφέρει όχι μόνο στη δημιουργία θραυσμάτων τους, δηλαδή ελαφρύτερων πυρήνων, ακολουθούμενη από αντίστοιχη έκλυση πυρηνικής ενέργειας, αλλά και στην εκπομπή δύο έως τριών κατά μέσο όρο νέων νετρονίων, που παρότι ηλεκτρικά ουδέτερα, λόγω της μεγάλης κινητικής τους ενέργειας είναι ικανά να προκαλέσουν την εκ νέου σχάση άλλων βαρέων πυρήνων. Πυρηνική σχάση λοιπόν ονομάζεται το είδος της πυρηνικής αντίδρασης κατά την οποία επιτυγχάνεται η διάσπαση ενός βαρέως ατομικού πυρήνα π.χ. ουρανίου ή πλουτωνίου σε δυο εν γένει

¹⁰ *Εγκυκλοπαίδεια Πάπυρος Larousse Britannica τόμος 51*, σελίδες 165-169, έκδοση 1992, Εκδοτικός Οργανισμός Πάπυρος Κηφισίας & Ανδρ. Πουρνάρα 6, Αμαρούσιον Αττικής-Ελλάς

ελαφρύτερους πυρήνες (θραύσματα) με χονδρικά παραπλήσιες μάζες συνοδευόμενη από την απελευθέρωση μεγάλων ποσών ενέργειας.

Έτσι, προκύπτει κάτω από ορισμένες πλήρως ελεγχόμενες συνθήκες ένα αυτοσυντηρούμενο σύστημα αλυσιδωτών αντιδράσεων σχάσης. Η παραπάνω αλληλεπίδραση μεταξύ ελαφρύτερων προς βαρύτερους πυρήνες (με τον όρο αυτό αναφερόμαστε στον μαζικό τους αριθμό A δηλαδή στο άθροισμα των νετρονίων και των πρωτονίων του πυρήνα) οδηγεί σε αύξηση της ενέργειας σύνδεσης του συστήματος και κατ' επέκταση συνοδεύεται από απελευθέρωση σημαντικών ποσοτήτων ενέργειας. Ένας βαρύς ατομικός πυρήνας απελευθερώνει κατά τη σχάση ενέργεια της τάξης των 200 MeV ή $3.2 \cdot 10^{-11}$ J με τη μορφή της κινητικής ενέργειας των θραυσμάτων, η οποία τελικά μετατρέπεται σε θερμότητα που εκμεταλλευόμαστε είτε για ειρηνικούς σκοπούς με χρήση πυρηνικών αντιδραστήρων στο εσωτερικό των οποίων λαμβάνουν τόπο αλυσιδωτές αυτοσυντηρούμενες πυρηνικές σχάσεις είτε για πολεμικούς σκοπούς με την ανάπτυξη πυρηνικών όπλων που χρησιμοποιούν την απότομη και με εκρηκτικό τρόπο έκκλιση αυτής της ενέργειας. Αξίζει να αναφέρουμε πως από τη σχάση όλων των πυρήνων που περιέχονται σε ένα γραμμάριο ουρανίου εκλύονται 25 KWh, όση ενέργεια δηλαδή απελευθερώνεται κατά την καύση 3 τόνων άνθρακα.

Η διαδικασία της πυρηνικής σύντηξης από την άλλη αφορά ελαφρούς πυρήνες οι οποίοι βάλονται ο ένας προς τον άλλον με τεράστιες ταχύτητες, πραγματοποιώντας μία εξαιρετικά ισχυρή θερμική κίνηση η οποία ωθεί την θερμοκρασία του υλικού να φτάσει την τάξη των 100.000.000 °C προκειμένου να υπερνικηθεί η απωστική ηλεκτρομαγνητικής φύσης δύναμη που αναπτύσσεται ανάμεσά τους και για αυτό το λόγο οι πυρηνικές αντιδράσεις σύντηξης αναφέρονται συχνά ως θερμοπυρηνικές. Ως πυρηνική σύντηξη δηλαδή ορίζουμε την διαδικασία η οποία περιλαμβάνει σειρά πυρηνικών αντιδράσεων μεταξύ ατομικών πυρήνων ελαφρών χημικών στοιχείων, που οδηγούν στο σχηματισμό πυρήνων βαρύτερων στοιχείων.

Η πυρηνική ενέργεια που απελευθερώνεται κατά τη σύντηξη οφείλεται στην αύξηση του ελλείμματος μάζας ή αντίστοιχα της ενέργειας σύνδεσης του αντιδρώντος συστήματος και έχει αξιοποιηθεί σε στρατιωτικά πλαίσια με τη χρήση θερμοπυρηνικών όπλων, όπως οι βόμβες υδρογόνου, στα οποία η απαιτούμενη

θερμοκρασία ανάφλεξης επιτυγχάνεται μέσω της έκρηξης κατάλληλης ποσότητας σχάσιμου υλικού και σε πολιτικά πλαίσια με την εμφάνιση θερμοπυρηνικών αντιδραστήρων σύντηξης. Κύριο πλεονέκτημα της παραγωγής πυρηνικής ενέργειας με τη μέθοδο της σύντηξης έναντι εκείνης της σχάσης αποτελεί το γεγονός ότι, ενώ τα σχάσιμα και επώασιμα υλικά (θόριο και ουράνιο), που είναι απαραίτητα για τον εφοδιασμό πυρηνικών αντιδραστήρων σχάσης, κάθε άλλο παρά ανεξάντλητα είναι και πρόκειται σύντομα να αρχίσουν να εκλείπουν, το δευτέριο, μικρή ποσότητα του οποίου απαιτείται για τη λειτουργία θερμοπυρηνικών αντιδραστήρων είναι πρακτικά ανεξάντλητο καθώς αποτελεί συστατικό του νερού και συναντάται σε τεράστιες ποσότητες σε ωκεανούς, κτλ.

Με βάση τα παραπάνω, θα ήταν πολύ λογική η εναπόθεση στην πυρηνική σύντηξη των απαιτήσεων και προσδοκιών για μια ανεξάντλητη φθηνή και σχετικά καθαρή πηγή ενέργειας. Ακόμη και σε στρατιωτικό-επιχειρησιακό επίπεδο τα πυρηνικά όπλα σχάσης είναι εξαιρετικά βλαβερά για το περιβάλλον. Σε αντίθεση, τα όπλα σύντηξης δεν αφήνουν ραδιενεργά κατάλοιπα με εξαίρεση τη ρυπογόνο σχάση που απαιτείται για την ενεργοποίησή τους, για την οποία γίνονται προσπάθειες μέσα στα χρόνια ώστε να ελαχιστοποιηθεί. Εξέλιξη της βόμβας υδρογόνου, που ήταν το κατεξοχήν πυρηνικό όπλο σύντηξης, αποτέλεσε η βόμβα νετρονίων που είχε την ίδια μορφή με την πρώτη χωρίς όμως το κέλυφος ουρανίου και συγκριτικό της πλεονέκτημα αποτελούσαν τα ηλεκτρικά ουδέτερα νετρόνια τα οποία προσχωρούν απερίσπαστα στον εκάστοτε στόχο, διαπερνώντας τεθωρακισμένα οχήματα, προσβάλλοντας τα πληρώματά τους.

Βασική ανάλυση των επικρατέστερων τύπων πυρηνικών αντιδραστήρων.¹¹

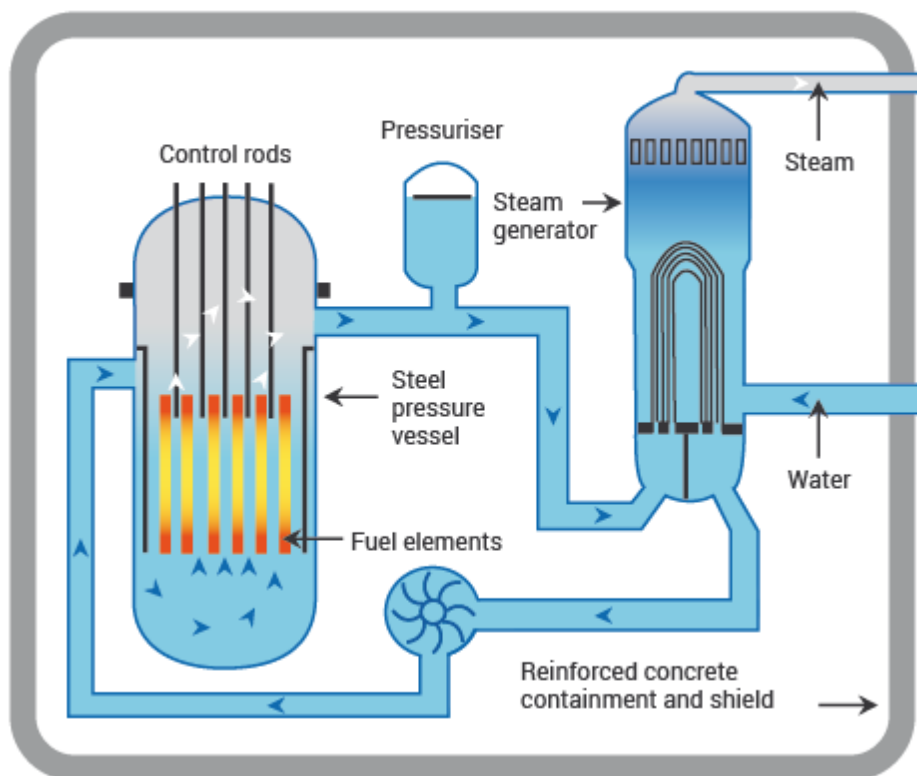
Στον πυρήνα του αντιδραστήρα λαμβάνει τόπο η ίδια αντίδραση πυρηνικής σχάσης όπως αυτή που πυροδοτείται από μια πυρηνική βόμβα. Κατά τη σχάση εκλύονται τεράστια ποσά θερμότητας που εκμεταλλευόμαστε για την υπερθέρμανση ατμού, που, όπως ο λιθάνθρακας, το αέριο ή το πετρέλαιο στα συμβατικά εργοστάσια, κινεί ατμοστρόβιλους που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια. Με την

¹¹ [Nuclear Power Reactors](http://www.world-nuclear.org), article in www.world-nuclear.org, January 2018

διαφορά πως σε περίπτωση σφάλματος ο αντιδραστήρας δεν μας δίνει την επιλογή της απενεργοποίησής του, αντ' αυτού πρέπει να εισαχθούν ράβδοι ελέγχου στον πυρήνα του ώστε να μετριάσουν και τελικά να σταματήσουν την πυρηνική αντίδραση. Η ψύξη του αντιδραστήρα μπορεί να γίνει με αέρα, κάποιο άλλο αέριο ή νερό, λόγος για τον οποίο προτιμούνται παράκτιες περιοχές ως τοποθεσίες πυρηνικών εργοστασίων καθώς σε περίπτωση που για κάποιο λόγο το σύστημα ψύξης σταματήσει να λειτουργεί ο πυρήνας θα αρχίσει να τήκεται και ενδέχεται να διαφύγει από το προστατευτικό περίβλημά του με αποτέλεσμα την έκλυση ραδιενεργού υλικού στο περιβάλλον με καταστροφικές συνέπειες οι οποίες εντός των πιο μολυσμένων περιοχών μπορεί να συνεχιστούν ακόμη και 20.000 χρόνια μετά.

Τέσσερις είναι οι επικρατέστεροι τύποι πυρηνικών αντιδραστήρων, με τον πιο συνηθισμένο αυτόν του πεπιεσμένου ύδατος (pwr-pressurised water reactor). Ο αντιδραστήρας πεπιεσμένου ύδατος διαθέτει θαλάμους καυσίμου αποτελούμενους από 200-300 ράβδους έκαστος, τοποθετημένες κατακόρυφα στον πυρήνα, ενώ ένας μεγάλος αντιδραστήρας θα μπορούσε να διαθέτει 150-250 τέτοιους θαλάμους καυσίμων με 80-100 τόνους ουράνιου.

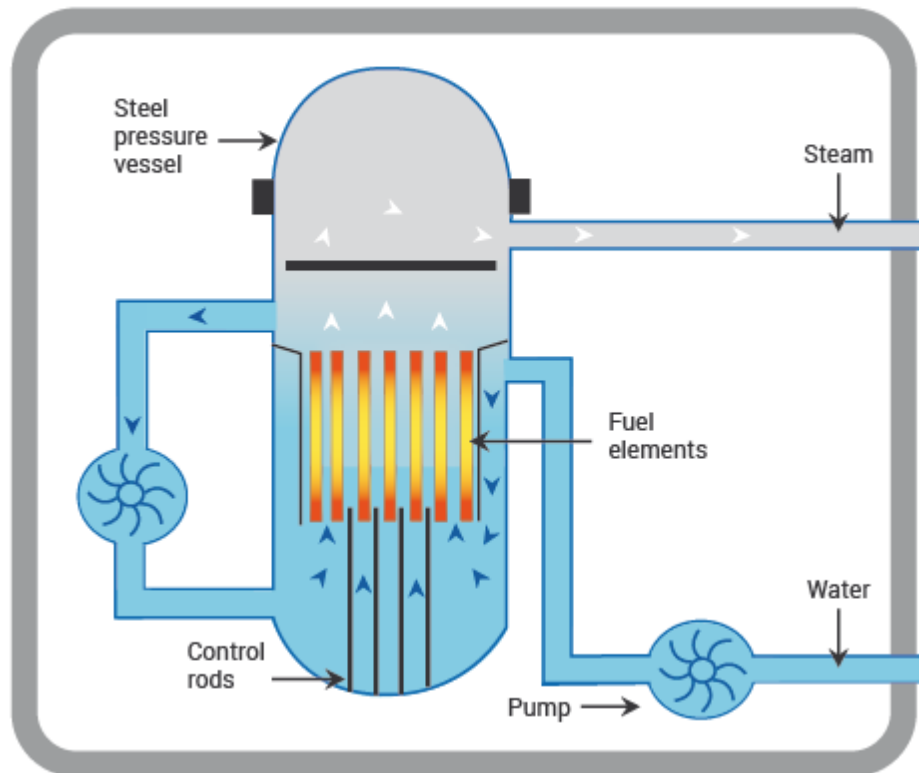
A Pressurized Water Reactor (PWR)



Το νερό στον πυρήνα του αντιδραστήρα φθάνει τους 325 βαθμούς κελσίου περίπου, γι αυτό πρέπει να διατηρείται σε, 150 φορές μικρότερη της ατμοσφαιρικής, πίεση ώστε να αποφευχθεί ο βρασμός. Η πίεση συντηρείται μέσω ατμού σε ένα διαμέρισμα υπεύθυνο για τη ρύθμιση της πίεσης (pressuriser). Στον αρχικό κύκλο ψύξης το νερό εκτελεί και ρόλο μετριαστή-επιβραδυντή(moderator) και στη περίπτωση που μέρος του μετατρέπονταν σε ατμό η σχάση θα επιβραδύνονταν. Αυτό το αρνητικό συνεπακόλουθο αποτελεί ένα από τα στοιχεία ασφάλειας των αντιδραστήρων αυτού του τύπου. Το δευτερεύον σύστημα παύσης λειτουργίας εμπλέκει τη προσθήκη βόρειου στον αρχικό κύκλο. Ο δευτερεύων κύκλος βρίσκεται σε μικρότερη πίεση και το νερό εδώ βράζει στους εναλλάκτες θερμότητας οι οποίοι επίσης εκτελούν χρέη παραγωγών ατμού. Ο ατμός κινεί τον στρόβιλο ώστε να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια και έπειτα συλλέγεται και επιστρέφει στους εναλλάκτες θερμότητας που βρίσκονται σε επαφή με τον αρχικό κύκλο.

Ο αντιδραστήρας ζέοντος ύδατος (BWR-Boiling Water Reactor) έχει πολλές ομοιότητες με αυτόν του πεπιεσμένου ύδατος, πλην του ότι εδώ υπάρχει μόνο ένας κύκλος, στη διαδρομή του οποίου το νερό βρίσκεται σε μικρότερη πίεση, περίπου 75 φορές μικρότερη της ατμοσφαιρικής, ώστε να δύναται ο βρασμός του στον πυρήνα σε θερμοκρασία 285 βαθμών κελσίου. Ο σχεδιασμός του αντιδραστήρα απαιτεί το 12-15% του νερού στο πάνω μέρος του πυρήνα σε μορφή ατμού, οπότε ο ρόλος του είναι λιγότερο επιβραδυντικός και επομένως η αποδοτικότητα είναι αυξημένη. Οι μονάδες ζέοντος ύδατος μπορούν να λειτουργούν σε βαρύ φόρτο πιο πρόθυμα από εκείνες του πεπιεσμένου ύδατος.

A Boiling Water Reactor (BWR)

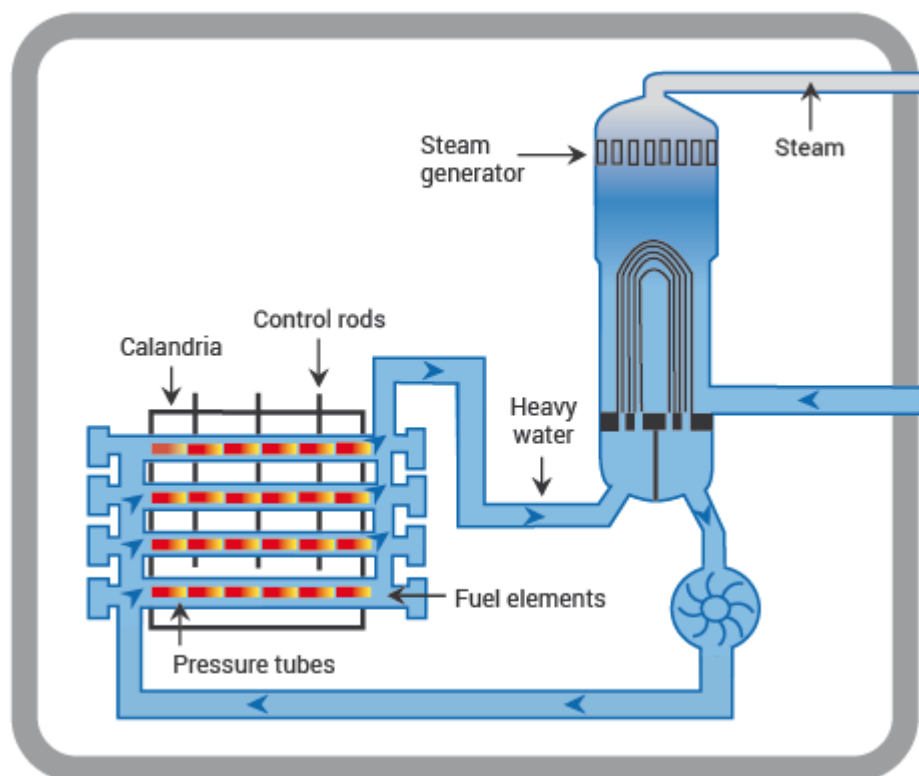


Ο ατμός περνά από ξηραντικές πλάκες (διαχωριστές ατμού) άνωθεν του πυρήνα και κατόπιν οδηγείται απευθείας στους στροβίλους, οι οποίοι ως εκ τούτου αποτελούν τμήμα του κύκλου του αντιδραστήρα. Το νερό πέριξ του πυρήνα του αντιδραστήρα είναι πάντα μολυσμένο με υπολείμματα ραδιονουκλεϊδίων, γεγονός που επιβάλλει οι στροβίλοι να είναι σφραγισμένοι και ραδιολογικά προστατευμένοι. Το κόστος της συντήρησης που απαιτεί αυτή η προστασία των στροβίλων φαίνεται να αντισταθμίζεται από τον πιο απλό σχεδιασμό λειτουργίας του αντιδραστήρα. Το μεγαλύτερο μέρος της ραδιενέργειας του νερού εξασθενεί πολύ γρήγορα, οπότε μπορούμε να έχουμε πρόσβαση στον θάλαμο του στροβίλου λίγο μετά τη παύση λειτουργίας του αντιδραστήρα. Το δευτερεύον σύστημα ελέγχου περιλαμβάνει τον περιορισμό της ροής του νερού διαμέσου του πυρήνα ώστε μεγαλύτερη ποσότητα ατμού στο πάνω μέρος του πυρήνα να συντελέσει στη μεγαλύτερη επιβράδυνσή του.

Οι αντιδραστήρες πεπιεσμένου βαρέος ύδατος (PHWR-HEAVY PRESSURIZED WATER REACTORS) αναπτύχθηκαν το 1950 στον Καναδά φέροντας την ονομασία CANDU (Canada Deuterium Uranium) και οφείλουν την ονομασία τους στη χρήση οξειδίου του δευτέρου (βαρύ ύδωρ) στους επιβραδυντές τους. Ο αντιδραστήρας πεπιεσμένου βαρέος ύδατος χρησιμοποιεί φυσικό οξύδιο του ουρανίου (0.7% U-235) ως καύσιμο και γι αυτό χρειάζεται έναν πιο αποδοτικό

επιβραδυντή, τον ρόλο του οποίου σε αυτή τη περίπτωση αναλαμβάνει το βαρύ ύδωρ (D_2O). Ο αντιδραστήρας αυτού του τύπου παράγει περισσότερη ενέργεια ανά χιλιόγραμμο εξορύξιμου ουρανίου συγκριτικά με οποιονδήποτε άλλου τύπου αντιδραστήρα, αλλά παράγει και πολύ περισσότερη ποσότητα καταναλωθέντος καυσίμου ανά μονάδα παραγωγής.

A Pressurized Heavy Water Reactor (PHWR/Candu)

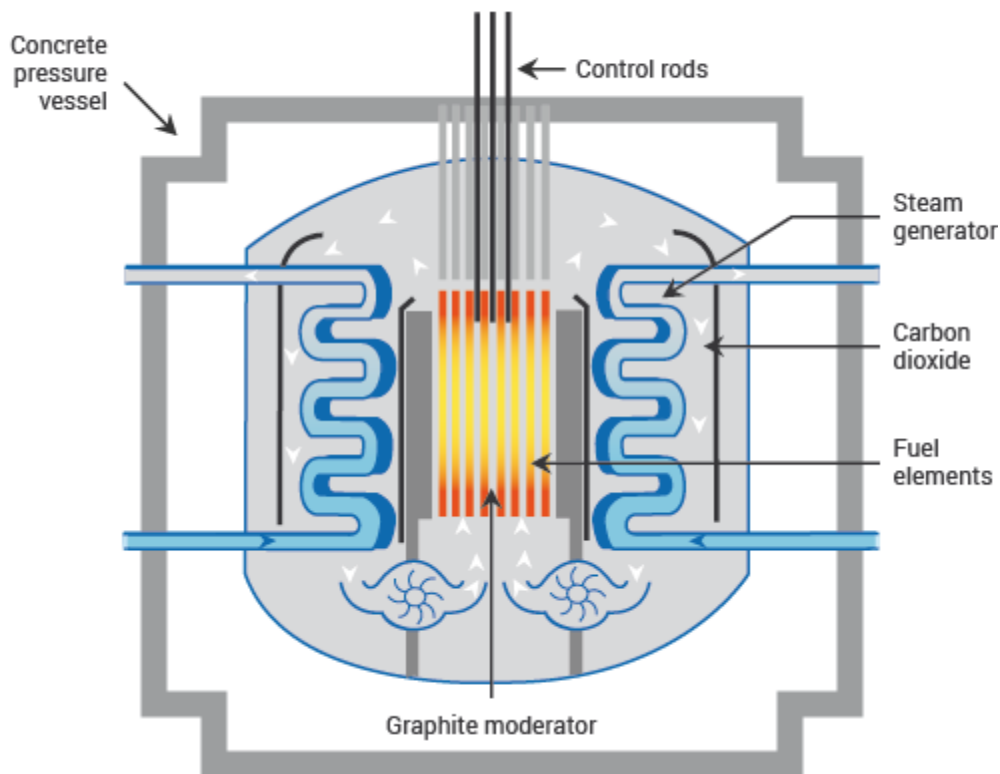


Ο επιβραδυντής βρίσκεται σε μια τεράστια δεξαμενή που φέρει την ειδική ονομασία calandria, στην οποία διεισδύουν αρκετές εκατοντάδες οριζόντιοι σωλήνες πίεσεως οι οποίοι σχηματίζουν κανάλια για το καύσιμο, και ψύχονται από μια ροή βαρέος ύδατος που βρίσκεται υπό υψηλή πίεση στον αρχικό κύκλο ψύξης, φθάνοντας τους 290 βαθμούς κελσίου. Όπως και στον αντιδραστήρα πεπιεσμένου ύδατος, το πρωτεύον σύστημα ψύξης παράγει ατμό σε έναν δεύτερο κύκλο προκειμένου να κινήσει τους στροβίλους. Ο σχεδιασμός των σωλήνων πίεσεως επιτρέπει τον προοδευτικό ανεφοδιασμό του αντιδραστήρα χωρίς να απαιτείται η απενεργοποίηση του, εισάγοντας μεμονωμένα ράβδους πίεσεως από τη μονάδα ψύξης. Είναι επίσης λιγότερο κοστοβόρος σε κατασκευή σε σχέση με σχέδια αντιδραστήρων με μεγάλους θαλάμους πίεσεως, ωστόσο οι ράβδοι ψύξης δεν έχουν αποδειχθεί εξίσου ανθεκτικοί.

Η διάταξη καυσίμων σε έναν αντιδραστήρα CANDU αποτελείται από μια δέσμη ράβδων ύψους τριανταεφτάμιση μέτρων, που περιέχουν κεραμικά σφαιρίδια καυσίμου μέσα σε σωλήνες κατασκευασμένους από ζirkόνιο, καθώς και από μια υποστηρικτική κατασκευή με δώδεκα δέσμες οι οποίες εδράζονται απ' άκρη σ' άκρη στο κανάλι των καυσίμων. Ο επιβραδυντής βαρέος ύδατος, κατά τη διαδρομή του διαμέσου του θαλάμου Calandria, απορροφά ποσότητα θερμότητας παρόλο που κάτι τέτοιο δεν φαίνεται στο παραπάνω σχήμα. Πιο σύγχρονα σχέδια αντιδραστήρα πεπεισμένου βαρέος ύδατος όπως αυτό του ανεπτυγμένου αντιδραστήρα CANDU (ACR-Advanced Candu Reactor) περιλαμβάνουν ελαφρύ ύδωρ σε ρόλο ψυκτικού και ελαφρώς εμπλουτισμένο καύσιμο. Οι αντιδραστήρες Candu μπορούν να λειτουργήσουν με χρήση ποικιλίας καυσίμων, όπως είναι το ανακυκλωμένο ουράνιο προερχόμενο από την επανεπεξεργασία χρησιμοποιηθέντος καυσίμου προερχόμενο από αντιδραστήρα ελαφρού ύδατος, ή μια μίξη του ιδίου με υπολείμματα απεμπλουτισμένου ουρανίου προερχόμενο από διεργασίες εμπλουτισμού του. Συγκεκριμένα 4000 MWe (MegaWatt electric) προερχόμενα από αντιδραστήρα πεπεισμένου ύδατος μπορούν να τροφοδοτήσουν ποσότητα 1000 MWe σε αντιδραστήρα Candu σε συνδυασμό με απεμπλουτισμένο ουράνιο. Το θόριο αποτελεί άλλο ένα πιθανό καύσιμο για τον εν λόγω αντιδραστήρα.

Οι προηγμένοι αερόψυκτοι αντιδραστήρες (AGR-Advanced gas-cooled reactor) αποτελούν τη δεύτερη γενιά βρετανικών αερόψυκτων αντιδραστήρων, χρησιμοποιώντας γραφίτη ως υλικό επιβράδυνσης και διοξείδιο του άνθρακα ως πρωτεύον υλικό ψύξης. Το καύσιμο τους είναι σφαιρίδια οξειδίου του ουρανίου, εμπλουτισμένο σε ποσοστό 2.5-3.5%, που εσωκλείονται σε ατσάλινες ράβδους.

An Advanced Gas-cooled Reactor (AGR)



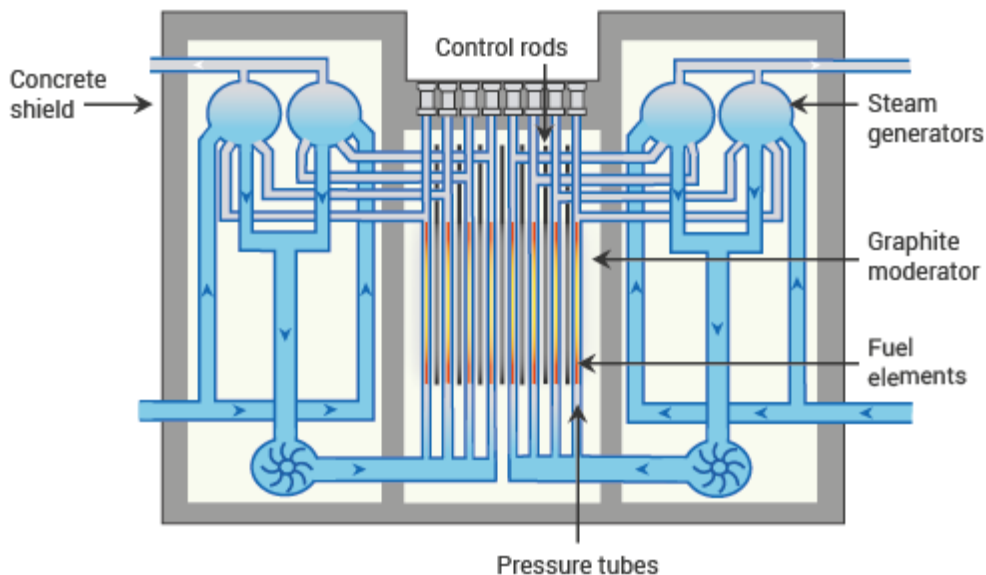
Το διοξείδιο του άνθρακα κατά τη διαδρομή του διαμέσου του πυρήνα φθάνει σε θερμοκρασία 650 βαθμών κελσίου και έπειτα αφού περάσει τις στήλες παραγωγής ατμού εξέρχεται του πυρήνα, παραμένοντας ωστόσο εντός της κατασκευής από τσιμέντο και τον ασάλινο θάλαμο πίεσης. Οι προηγμένοι αερόψυκτοι αντιδραστήρες προέρχονται από την εξέλιξη των αντιδραστήρων τύπου Magnox, οι οποίοι ήταν επίσης αντιδραστήρες που χρησιμοποιούσαν γραφίτη ως υλικό επιβράδυνσης, διοξείδιο του άνθρακα ως υλικό ψύξης, φυσικό ουράνιο σε μεταλλική μορφή ως καύσιμο υλικό και ύδωρ ως δευτερεύον υλικό ψύξης. Ο τελευταίος τέτοιου τύπου αντιδραστήρας στο Η.Β. έκλεισε κατά τα τέλη του 2015.¹²

Ο αντιδραστήρας Ελαφρού ύδατος-γραφίτη (RBMK-Reaktor Bolshoy Moshchnosty Kanalny, high power channel reactor) αποτελεί σοβιετικό σχεδιασμό που προέκυψε από αντιδραστήρες παραγωγής πλουτωνίου και κατά το παρελθόν χρησιμοποιούνταν στη Ρωσία για την παραγωγή ουρανίου καθώς και πλουτωνίου.

¹² *Nuclear Power Reactors*, article in www.world-nuclear.org, January 2018

Είναι επίσης γνωστός με την ονομασία LWGR(Light Water graphite - moderated reactor). Δέχεται ως καύσιμο σφαιρίδια οξειδίου ελαφρώς εμπλουτισμένου ουρανίου, τα οποία εσωκλείονται σε στήλες από ζιρκόνιο μήκους 3.65 μέτρων σχηματίζοντας τις στήλες καυσίμου.

A Light Water Graphite-moderated Reactor (LWGR/RBMK)



Το μοναδικό του χαρακτηριστικό είναι πως κανείς άλλος αντιδραστήρας δεν χρησιμοποιεί αμφότερα τον γραφίτη και το ύδωρ κατά τη διαδικασία ψύξης του πυρήνα. Με τον επιβραδυντή να βασίζεται κυρίως στον γραφίτη, ο συνεχής βρασμός ελαττώνει την ψύξη του συστήματος και την απορρόφηση νετρονίων χωρίς τελικά να αναστέλλει τη διαδικασία της σχάσης, γεγονός που εγείρει προβληματισμούς και ανησυχία καθώς επίσης αποτελεί τον κυρίαρχο λόγο που δεν έχουν χρησιμοποιηθεί ποτέ σε περιοχές εκτός της σοβιετικής ένωσης.¹³

¹³ RBMK Reactors, Appendix to Nuclear Power Reactors, World Nuclear Association, June 2016,

Τα σημαντικότερα πυρηνικά ατυχήματα

Τις εγκληματικές επιθέσεις που σηματοδότησαν το τέλος του Β' Παγκοσμίου Πολέμου διαδέχτηκε η παγκόσμια συνειδητοποίηση για τα καταστροφικά αποτελέσματα που έχει η χρήση πυρηνικών όπλων και στοχοθετήθηκε ο, κατά το δυνατόν, περιορισμός της χρήσης τους.

Οι απόπειρες όμως έλεγχου και εκμετάλλευσης της πυρηνικής ενέργειας έμελλαν να επιφέρουν ισοδύναμες και πολλές φορές μεγαλύτερες καταστροφές για το περιβάλλον λόγω πυρηνικών ατυχημάτων στους πυρηνικούς αντιδραστήρες και αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο τους συγκαταλέγουμε στις πιο επικίνδυνες μηχανές που έχει επινοήσει και κατασκευάσει ο άνθρωπος.

Το πρώτο ατύχημα με διαρροή ραδιενέργειας στο περιβάλλον έλαβε τόπο στον Καναδά το 1952 το οποίο όμως δεν προκάλεσε θύματα ή αξιόλογη ρύπανση λόγω της μικρής του κλίμακας. Έκτοτε έχουν σημειωθεί τουλάχιστον 25 ατυχήματα, με τα σοβαρότερα αυτών να είναι εκείνα του Τσερνομπίλ στις 26 Απριλίου 1986 και της Φουκουσίμα στις 11 Μαρτίου 2011. Σε αυτό το σημείο θα γίνει αναφορά στα έξι χειρότερα ατυχήματα βάση της καταστροφής που προκάλεσαν στον άνθρωπο και το περιβάλλον έτσι όπως έχουν ταξινομηθεί από την Διεθνή Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας συνοδευόμενα και από τον χαρακτηρισμό του μεγέθους της ρύπανσης που προκάλεσαν σε μια κλίμακα από το 1 έως το 7. Η σειρά κατάταξης, με τους αντίστοιχους χαρακτηρισμούς κατά φθίνουσα σειρά, έχει ως εξής: μέγεθος 7: «πολύ σοβαρό ατύχημα», μέγεθος 6: «σοβαρό ατύχημα», μέγεθος 5: «ατύχημα με ευρύτερες επιπτώσεις», μέγεθος 4: «ατύχημα με τοπικές επιπτώσεις», μέγεθος 3: «σοβαρό περιστατικό», μέγεθος 2: «περιστατικό», μέγεθος 1: «ανωμαλία», μέγεθος 0: «απόκλιση».¹⁴

¹⁴ *INES THE INTERNATIONAL NUCLEAR AND RADIOLOGICAL EVENT SCALE, International Atomic Energy Agency, Information Series / Division of Public Information, 08-26941 / E*

No 1 Κιστίμ¹⁵

Το τρίτο πιο καταστροφικό ατύχημα παγκοσμίως, επιπέδου 6, έλαβε τόπο στην πόλη Κιστίμ της Ρωσίας στις 29 Σεπτεμβρίου 1957 σε εργοστάσιο που απαρτίζονταν από 6 αντιδραστήρες επεξεργασίας πυρηνικών υλικών για την ανάπτυξη πλουτωνίου για στρατιωτική χρήση.

Μετά το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο η Σοβιετική Ένωση έχοντας μείνει πίσω σε σχέση με τις Η.Π.Α., στην ανάπτυξη πυρηνικών όπλων άρχισε να επενδύει στην έρευνα και την ανάπτυξη προγραμμάτων υλοποίησης οπλικών συστημάτων με αρχή λειτουργίας το ουράνιο και το πλουτώνιο. Ωστόσο, τα πολλά κενά στο γνωστικό αντικείμενο των φυσικών περί της πυρηνικής ενέργειας δεν βοήθησε στην ορθή κρίση και αξιολόγηση της ασφάλειας πολλών επιλογών κατά την εσπευσμένη κατασκευή του εργοστασίου στη τριετία από το 1945 έως το 1948. Αρχικά ο σταθμός απέρριπτε τα πυρηνικά απόβλητα σε έναν κοντινό ποταμό ο οποίος κατέληγε στον ποταμό Ομπ (Ob), ο οποίος με τη σειρά του τα οδηγούσε στον Αρκτικό Ωκεανό όπου κείτονταν οι εκβολές του. Οι 6 αντιδραστήρες του εργοστασίου που βρίσκονταν στη λίμνη Κίζιλτας (Kyzyltash) χρησιμοποιούσαν ένα σύστημα ψύξης ανοικτού τύπου, που προέβλεπε την απόρριψη μολυσμένου νερού στη λίμνη. Σαν αποτέλεσμα η μόλυνση της λίμνης Κίζιλτας ήταν αναπόφευκτη. Η λίμνη Καρατσεί (Karachay) που βρίσκονταν πλησίον του σταθμού και χρησιμοποιούνταν από του ιθύνοντες για αποθηκευτικούς σκοπούς ραδιενεργού υλικού σε άμεση επαφή με τον αέρα και το περιβάλλον δεν άργησε να χαρακτηριστεί ως η πιο μολυσμένη περιοχή παγκοσμίως

Το 1953 προστέθηκε μια διάταξη με σκοπό την αποθήκευση του ραδιενεργού υλικού αποτελούμενη από ατσάλινες δεξαμενές σε τσιμεντένια βάση 8.2 μέτρα κάτω από το έδαφος. Λόγω της υψηλής ραδιενέργειας του αποθηκευμένου υλικού τα συγκεντρωμένα απόβλητα θερμαίνονταν. Αυτός ήταν ο λόγος για την κατασκευή 20 δεξαμενών περιμετρικά του χώρου αποθήκευσης με σκοπό την ψύξη. Ωστόσο, οι υποδομές και ο σχεδιασμός για την επίβλεψη της ψύξης και της συμπεριφοράς του ραδιενεργού υλικού ήταν ανεπαρκείς.¹⁶

¹⁵ Diane M. Soran and Danny B. Stillman, January 1982, *An Analysis of the Alleged Kyshtym Disaster*

¹⁶ *Kyshtym disaster*, Wikipedia

Η βλάβη στο σύστημα ψύξης μιας δεξαμενής που περιείχε 70 τόνους ραδιενεργών απόβλητων και η αδυναμία έγκαιρης επιδιόρθωσης της είχαν σαν αποτέλεσμα έκρηξη που ισοδυναμούσε με αυτή 70-100 τόνων TNT και τον σχηματισμό ραδιενεργού νέφους με κατεύθυνση προς τα βόρειο-ανατολικά, το οποίο τελικά εξαπλώθηκε σε μια απόσταση 300-350 χιλιομέτρων μακριά, καταλαμβάνοντας επιφάνεια 20.000 τετραγωνικών χιλιομέτρων. Παρά την απουσία άμεσων θυμάτων εκτιμάται πως 300 άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους από δηλητηρίαση ραδιενέργειας τις επόμενες μέρες ενώ 10.000 άνθρωποι απομακρύνθηκαν από τις εστίες στους. Ωστόσο, το εργοστάσιο ήταν επικίνδυνο από την αρχή καθώς αναφερόμαστε σε μια εποχή που οι κίνδυνοι από την μόλυνση της ραδιενέργειας δεν ήταν ακόμη γνωστοί αλλά και οι μέχρι τότε γνωστοί κανόνες ασφαλούς λειτουργίας τέθηκαν σε δεύτερη μοίρα από τους Σοβιετικούς κατά τη διάρκεια του ψυχρού πολέμου. Τα παραπάνω συντέλεσαν στην χωρίς έλεγχο διαφυγή των καύσιμων υλικών στην ατμόσφαιρα, την απόρριψη στερεών ραδιενεργών απόβλητων στον παραπλήσιο ποταμό Τέτσα αλλά και τη στοιχειώδη και κατ' επέκταση ελλιπή προστασία των εργαζομένων όσον αφορά τον απαραίτητο εξοπλισμό.

Παρά τους 270.000 ανθρώπους που ζούσαν στην περιοχή γύρω από το πυρηνικό εργοστάσιο μόλις 11.000 απομακρύνθηκαν σε χρονικό διάστημα δυο χρόνων, ενώ οι εναπομείναντες συνέχισαν να εργάζονται με σκοπό τον καθαρισμό των συντριμμιών και την καταστροφή των μολυσμένων καλλιεργειών χωρίς κάποια ιδιαίτερη προστασία από την ακτινοβολία. Η ανεύθυνη στάση της Σοβιετικής Ένωσης συνεχίστηκε ως είχε, με αποτέλεσμα 50 χρόνια μετά τα ποσοστά καρκίνου στο χωριό Korabolka να είναι 5 φορές μεγαλύτερα συγκριτικά με τα αντίστοιχα ενός αμόλυντου χωριού, ενώ και άλλα χωριά γύρω από την περιοχή αναφέρουν αυξημένα ποσοστά καρκίνου, γενετικών ανωμαλιών και λοιπών νοσημάτων.

Το 1992 ,μετά την σταδιακή αποκάλυψη των στοιχείων που αφορούσαν την καταστροφή, ένας παιδίατρος κάνει λόγο για ποσοστό υγείων παιδιών μόλις 7% στο Muslumono, ένα γειτονικό χωριό ,κάτι που για πολλούς δεν οφείλεται τόσο στην μόλυνση που επέφερε η έκρηξη όσο στη γενικότερη μόλυνση που επέφερε συνολικά η βιομηχανική δραστηριότητα. Πιο συγκεκριμένα, η περιοχή γύρω από τον αντιδραστήρα έχει χαρακτηριστεί ως η πιο μολυσμένη περιοχή στον πλανήτη. Μέχρι και σήμερα ομάδες κατοίκων που επλήγησαν αγωνίζονται για την αποζημίωση και τη μετεγκατάστασή τους ενώ η πρόσβαση στην έρευνα δεν είναι απρόσκοπτη από

πλευράς της κυβέρνησης. Παράλληλα, ο χρόνος δυσχεραίνει ακόμη περισσότερο τις όποιες προσπάθειες για επιστημονική έρευνα του τι συνέβη μισό αιώνα πριν. Το πυρηνικό εργοστάσιο σταμάτησε τη λειτουργία του το 1987 αλλά εξακολουθεί να λειτουργεί για την επανεπεξεργασία χρησιμοποιημένων πυρηνικών καυσίμων από όλη τη Ρωσία.¹⁷

No 2 Windscale¹⁸

Μετά τον δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο η βρετανική κυβέρνηση συμμετείχε σε πρόγραμμα κατασκευής πυρηνικών όπλων παρακάμπτοντας το χαμηλής απόδοσης ουράνιο προτιμώντας το σχεδιασμό όπλων βασισμένα στο πλουτώνιο, σχεδιάζοντας αντιδραστήρες παράγωγης πλουτωνίου. Ο σχεδιασμός βασιζόταν στο μοντέλο Β αντιδραστήρα γραφίτη που είχε κατασκευαστεί στο Hanford Site, το οποίο είχε γνωστοποιηθεί στους Βρετανούς επιστήμονες που συμμετείχαν στο έργο του Manhattan κατά τη διάρκεια του πολέμου.

Στις 10 Οκτωβρίου 1957 στο πυρηνικό εργοστάσιο της κομητείας Cumberland στη βορειοδυτική Αγγλία σημειώθηκε το πιο σοβαρό πυρηνικό ατύχημα στα χρονικά της χώρας που χαρακτηρίστηκε κλίμακας 5. Ο πυρήνας του αντιδραστήρα αποτελούνταν από ένα μεγάλο κομμάτι γραφίτη με οριζόντιες οπές για το καύσιμο. Κάθε οπή περιέκλειε μια στήλη ουρανίου περίπου 30 εκατοστών σε μήκος, την οποία ενθυλάκωναν σε περίβλημα αλουμινίου για την αποφυγή επαφής με τον αέρα καθώς το ουράνιο γίνεται ιδιαίτερος ενεργό όταν θερμαίνεται και μπορεί να αναφλεχθεί. Ο σχεδιασμός επέτρεπε την ανταλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον προκειμένου να ψυχθούν οι στήλες καυσίμου ενώ βρίσκονταν μέσα στον αντιδραστήρα.

Στήλες εισάγονταν στο εμπρόσθιο κομμάτι του αντιδραστήρα ακολουθούμενες με νέες σε προβλεπόμενα χρονικά διαστήματα. Αυτό οδηγούσε τις άλλες στήλες σε ένα κανάλι στο πίσω μέρος του αντιδραστήρα, όπου γίνονταν ανενεργές μέσω του ψυκτικού νερού στο οποίο τοποθετούνταν και από το οποίο τελικά συλλέγονταν.

¹⁷ *The Kyshtym Disaster: The Largest Nuclear Disaster You've Never Heard Of*, mentalfloss.com, November 12, 2015, By Miss Cellania

An analysis of the alleged Kyshtym diasaster, by Diane M. Soran, Danny B. Stillman, Issued: January 1982, www.stanford.edu/, Los Alamos National Laboratory, New Mexico

¹⁸ J. F. Loutit, W. G. Marley, R. S. Russell, October 1957, *The Nuclear Reactor Accident at Windscale, October 1957: Environmental Aspects*, IAEA

Αυτή η αλυσιδωτή αντίδραση στον αντιδραστήρα μετέτρεπε το ουράνιο σε μια ποικιλία ισότοπων συμπεριλαμβανομένης κάποιας ποσότητας πλουτόνιου το οποίο διαχωρίζονταν από τα υπόλοιπα προϊόντα της αντίδρασης με χημική επεξεργασία. Η καύση του πυρηνικού καυσίμου συντηρούνταν σε χαμηλά επίπεδα προκειμένου να μειωθεί η παραγωγή βαρέων ισότοπων πλουτόνιου (^{240}Pu , ^{241}Pu , κτλ) καθώς το πλουτόνιο αυτό προοριζόταν για οπλικούς στρατιωτικούς σκοπούς.

Ο αρχικός σχεδιασμός προέβλεπε την τήξη του πυρήνα του αντιδραστήρα με τρόπο όμοιο αυτού σε τύπου Β αντιδραστήρα, δηλαδή με συνεχή τροφοδοσία νερού που θα έρρεε μέσω των οπών στο γραφίτη. Το σχέδιο αυτό προκάλεσε ανησυχίες καθώς ένα τέτοιο σύστημα θα ήταν ευάλωτο σε περίπτωση σφάλματος ή απώλειας στο σύστημα υδρόψυξης προκαλώντας την εντός δευτερόλεπτων ανεξέλεγκτη λειτουργία του και κατά συνέπεια τον κίνδυνο ενδεχόμενης έκρηξης. Στο Hanford ένα τέτοιο σενάριο αντιμετωπίστηκε με την κατασκευή ενός δρόμου διαφυγής του προσωπικού μήκους 48 χιλιομέτρων προκειμένου να εγκαταλείψουν τις εγκαταστάσεις. Απουσία αντίστοιχης τοποθεσίας, οι κατασκευαστές του αντιδραστήρα σχεδίασαν ένα παθητικό σύστημα ασφαλούς ψύξης όπου τη θέση του νερού για τη ψύξη έπαιρνε αέρας ο οποίος θα διοχετεύονταν στον πυρήνα μέσω μιας καπνοδόχου ύψους 120 μέτρων, η οποία θα ήταν σε θέση να τροφοδοτήσει τον αντιδραστήρα με παροχή αέρα ικανή για την ψύξη του κάτω από φυσιολογικές συνθήκες λειτουργίας. Η καπνοδόχος θα απορροφούσε αέρα μέσω των οπών του πυρήνα ψύχοντας το πυρηνικό καύσιμο μέσω κατάλληλα τοποθετημένων πτερυγίων.

Για την περαιτέρω ψύξη τεράστιοι ανεμιστήρες είχαν τοποθετηθεί στην εμπρόσθια πλευρά του πυρήνα ικανοί για σημαντική αύξηση στη ροή του αέρα. Τελικά, οι όποιες ανησυχίες αγνοήθηκαν με αποτέλεσμα κανάλια νερού να λείπουν από αρκετές υποδοχές, οπότε το προσωπικό κινούνταν στον αγωγό της καπνοδόχου με φτυάρια προκειμένου να οδηγήσουν τις στήλες πίσω στο ψυκτικό νερό ενώ σε άλλες περιπτώσεις οι καύσιμες στήλες κολλούσαν στις διόδους των καναλιών και παρέμεναν εκτεθειμένες ενώ ήταν ακόμη στον πυρήνα.

Παρά τα μέτρα προστασίας και τον εξοπλισμό ασφάλειας του προσωπικού ο επιστήμονας Frank Leslie είχε εντοπίσει ραδιενέργεια γύρω από το σημείο και το διπλανό χωριό, διαπίστωση που αποσιωπήθηκε ακόμη και από τα άτομα του προσωπικού. Από τη στιγμή που τέθηκε σε λειτουργία ο αντιδραστήρας 2

αντιμετώπιζε προβλήματα αυξημένης θερμοκρασίας στον πυρήνα που οι άπειροι, σε σχέση με τους Αμερικανούς και Σοβιετικούς συναδέλφους τους, Βρετανοί επιστήμονες δεν μπορούσαν να εξηγήσουν.

Ο Ούγγρο-Αμερικανός φυσικός Eugene Wigner είχε ανακαλύψει πως κατά τον βομβαρδισμό του γραφίτη με νετρόνια μπορεί να προκληθεί αλλοίωση στη κρυσταλλική δομή του με άμεση συνέπεια τη συσσώρευση ενέργειας, η οποία αν δεν αντιμετωπιστεί μπορεί να διαρρεύσει ακαριαία με τη μορφή ισχυρής φλόγας. Η μονή βιώσιμη λύση στο πρόβλημα που ταλάνιζε τους επιστήμονες ήταν η περαιτέρω θέρμανση καθώς ο γραφίτης, όταν θερμαίνεται περάν των 250°C, φέρει την ιδιότητα να γίνεται πλαστικός και οι παραμορφώσεις στη κρυσταλλική δομή που περιέγραφε ο Wigner θα μπορούσαν να υποχωρήσουν επιτρέποντας του να επανέλθει στη πρότερη μορφή του. Η διαδικασία ήταν σταδιακή και προκαλούσε μια ομοιόμορφη χαλάρωση που διαχέονταν σε όλο τον πυρήνα.

Ο Winston Churchill ανέθεσε δημοσίως στο Ηνωμένο Βασίλειο τη παραγωγή βόμβας υδρογόνου και έδωσε στους επιστήμονες ένα ασφυκτικό χρονοδιάγραμμα για την υλοποίηση αυτής. Τη περαιτέρω βράχυνση του χρονοδιαγράμματος αυτού προκάλεσε το γεγονός ότι οι Ηνωμένες Πολιτείες ξεκίνησαν τις εργασίες αφοπλισμών και απαγόρευσης δοκιμών οι οποίες θα τίθεντο σε εφαρμογή το 1958. Για να προλάβουν τις διορίες, εγκατέλειψαν τα σχέδια κατασκευής καινούριου αντιδραστήρα για την παραγωγή της απαιτούμενης ποσότητας τρίτιου. Η εισαγωγή πυρηνικού καυσίμου στον αντιδραστήρα pile 1 του Windscale τροποποιήθηκε προσθέτοντας εμπλουτισμένο ουράνιο και μαγνήσιο του λιθίου, στοιχεία που δίνουν τρίτιο όταν βομβαρδίζονται με νετρόνια. Όλα αυτά τα στοιχεία ήταν εξαιρετικά εύφλεκτα και μεγάλος αριθμός του προσωπικού στο Windscale έθιξε το θέμα κινδύνου που ενείχε η εισαγωγή των νέων πυρηνικών καυσίμων, ανησυχίες όμως που τελικά αγνοήθηκαν.

Όταν η πρώτη δοκιμή υδρογονοβόμβας απέτυχε αποφασίστηκε η κατασκευή ενός τεράστιου, σχάσης ωθούμενου πυρηνικού όπλου, στη θέση του πρώτου, το οποίο απαιτούσε την τροφοδοσία πενταπλάσιας ποσότητας τρίτιου το συντομότερο δυνατόν καθώς η ημερομηνία των δοκιμών πλησίαζε. Για να αυξήσουν τους ρυθμούς παραγωγής χρησιμοποίησαν ένα τέχνασμα το οποίο στο παρελθόν είχε μεγάλη επιτυχία στην αύξηση της παραγωγής πλουτωνίου. Μειώνοντας το μέγεθος των

ψυκτικών πτερυγίων στις οπές του καυσίμου η θερμοκρασία του εισαχθέντος καυσίμου αυξάνονταν και με τη σειρά της προκαλούσε μικρή αλλά χρήσιμη αύξηση στον ρυθμό παραγωγής εμπλουτισμού νετρονίου. Την ίδια στιγμή κατόρθωσαν τη μείωση στο μέγεθος των πτερυγίων κατασκευάζοντας μεγαλύτερα, σε μέγεθος, εσωτερικά τοιχώματα στις οπές επιτρέποντας την εισαγωγή περισσότερης ποσότητας καυσίμου σε κάθε μία εξ αυτών. Οι αλλαγές αυτές γέννησαν μεγαλύτερες ανησυχίες από πλευράς του εργατικού δυναμικού που για ακόμη μια φορά παραβλέφθηκαν από τον διευθυντή του Windscale, Christopher Hinton, ο οποίος βρισκόταν σε κατάσταση σύγχυσης.

Μετά την πρώτη επιτυχημένη παραγωγή τριτίου στον pile 1, το πρόβλημα θέρμανσης θεωρήθηκε αμελητέο και ξεκίνησε η μεγάλη κλίμακας παραγωγή του. Ωστόσο με την αύξηση της θερμοκρασίας εκτός των σχεδιαστικών προδιαγραφών, οι επιστήμονες είχαν αλλοιώσει τη κανονική κατανομή της θερμότητας στον πυρήνα επιτρέποντας την εμφάνιση σημείων συσσώρευσης θερμότητας στο εσωτερικό του πυρήνα τα οποία δεν μπορούσαν να ανιχνευτούν καθώς τα όργανα που χρησιμοποιούσαν για τη μέτρηση της θερμοκρασίας ήταν τοποθετημένα σύμφωνα με την, κατά το σχεδιασμό, κατανομή της θερμότητας και συνεπώς ήταν ανέκδοτο να μετρήσουν τα θερμότερα πλέον σημεία του αντιδραστήρα.

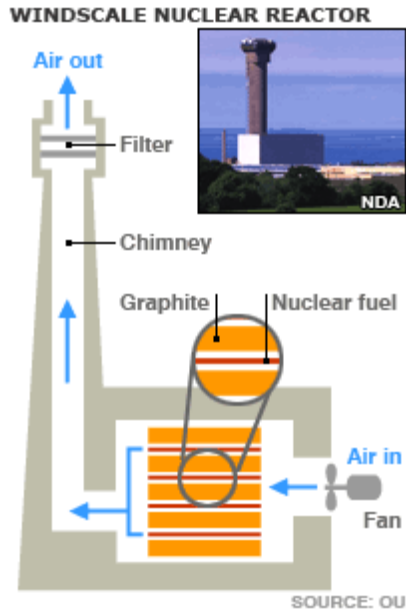
Στις 7 Οκτωβρίου, οι χειριστές του pile 1 παρατήρησαν πέραν του φυσιολογικού αύξηση της θερμοκρασίας και διατάχθηκε εκτόνωση κατά τα πρότυπα του Wigner, μια διαδικασία που είχαν επαναλάβει 8 φορές στο παρελθόν και γνώριζαν πως θα προκαλούσε την αύξηση της θερμοκρασίας ολοκλήρου του πυρήνα. Κατά τη διάρκεια της απόπειρας αυτής η θερμοκρασία άρχισε να πέφτει ανομοιόμορφα σε όλο τον πυρήνα πλην μιας συγκεκριμένης περιοχής του στο κανάλι 2053, του οποίου η θερμοκρασία συνέχισε να αυξάνει. Συμπεραίνοντας πως, σε αντίθεση με τον υπόλοιπο αντιδραστήρα, το κανάλι 2053 συνέχισε την απόδοση ενέργειας το πρωί της 8^{ης} Οκτωβρίου αποπειράθηκε δεύτερη εκτόνωση κατά τον Wigner η οποία προκάλεσε περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας σε ολόκληρο τον πυρήνα με τους ιθύνοντες να υποθέτουν πως η εκτόνωση ήταν επιτυχής. Νωρίς το πρωί της 10^{ης} Οκτωβρίου διαπιστώθηκε πως κάτι δεν πήγαινε σύμφωνα με τα προβλεπόμενα, καθώς η θερμοκρασία του πυρήνα αυξάνονταν αντί να μειώνεται. Η θερμοκρασία συνέχισε να αυξάνεται φθάνοντας τους 400°C. Σε μια προσπάθεια μείωσης της θερμοκρασίας τα πτερύγια άνοιξαν και η ροή του αέρα αυξήθηκε. Οι

αισθητήρες ραδιενέργειας στην καπνοδόχο υποδείκνυαν διαρροή και οι επιστήμονες υπέθεσαν πως η στήλη κάποιας οπής είχε λιώσει, ένα πρόβλημα που είχαν αντιμετωπίσει ξανά στο παρελθόν. Τουναντίον, η στήλη δεν είχε λιώσει αλλά είχε πιάσει φωτιά, της οποίας αίτιο ήταν η ανομοιόμορφη θέρμανση κι όχι η εκτόνωση κατά Wigner όπως υπέθεταν.

Η αυξημένη ροή αέρα επιδείνωσε την κατάσταση και η φλόγα μεταδόθηκε στα περιβάλλοντα κανάλια καυσίμου προκαλώντας την γρήγορη αύξηση της ραδιενέργειας στη καπνοδόχο. Ένας εργατής στο δρόμο προς τη δουλειά παρατήρησε φωτιά να εξέρχεται της καπνοδόχου την ώρα που η θερμοκρασία στον πυρήνα συνέχιζε να αυξάνει και οι χειριστές άρχισαν να υποψιάζονται πως ο πυρήνας είχε πιάσει φωτιά. Το πρωί της 11^{ης} Οκτωβρίου προτάθηκε η χρήση νερού καθώς πλέον η φωτιά ήταν στο χειρότερο της σημείο με 11 φλεγόμενους τόνους ουράνιου. Η θερμοκρασία είχε φτάσει σε κάποια σημεία τους 1300°C και η ασπίδα που κάλυπτε τον αντιδραστήρα διέτρεχε τον κίνδυνο κατάρρευσης. Ωστόσο, κάτι τέτοιο ήταν εξαιρετικά επίφοβο καθώς τα λειωμένα οξειδία του μετάλλου σε επαφή με το νερό θα απομόνωναν το υδρογόνο που περιείχε το νερό και το οποίο σε επαφή με τον εισαγόμενο αέρα θα οδηγούσε σε έκρηξη.

Εντούτοις, το σχέδιο προχώρησε με χρήση νερού, μια κίνηση ωστόσο ανίκανη όπως αποδείχτηκε να σβήσει τη φωτιά απαιτώντας περαιτέρω μέτρα. Εκείνη τη στιγμή διατάχτηκε η εγκατάλειψη της τοποθεσίας με μόνους παραμένοντες τους τρεις χειριστές που στόχευαν την παύση κάθε ροής αέρα στον αντιδραστήρα είτε μέσω του εξαερισμού είτε μέσω του συστήματος ψύξης. Αρχικά η φωτιά τέθηκε υπό έλεγχο και σταδιακά έσβησε, ενώ η ροή του νερού συνεχίστηκε για ακόμη ένα 24ωρο μέχρι τη πλήρη ψύξη του πυρήνα.¹⁹

¹⁹ [Windscale fire, Wikipedia](#)



- Ο γραφίτης υπερθερμάνθηκε και ξέσπασε φωτιά
- Ο αέρας από τον εξαερισμό τροφοδότησε τη φωτιά
- Τα πυρηνικά κατάλοιπα βρήκαν δρόμο προς την καπνοδόχο
- Συστάδα φίλτρων συγκράτησε μέρος αλλά όχι το σύνολο των ραδιενεργών κατάλοιπων
- Ραδιενεργό νέφος διασκορπίστηκε στο Η.Β. και την Ευρώπη²⁰

Η αρχική φωτιά που ξέσπασε στον πυρήνα του αντιδραστήρα έκαιγε ανεξέλεγκτη για 48 ολόκληρες ώρες, με αποτέλεσμα την περιορισμένη απελευθέρωση ραδιενέργειας στο Ηνωμένο Βασίλειο και την Ευρώπη, γεγονός που οδήγησε την κυβέρνηση στην απαγόρευση για ένα μήνα της πώλησης γάλακτος που προέρχεται από γειτονικές γεωργικές εγκαταστάσεις σε απόσταση 500 τετραγωνικών χιλιομέτρων. Η ίδια η κυβέρνηση κυκλοφόρησε πρόχειρες μόνο λεπτομέρειες του ατυχήματος, προσπαθώντας να μειώσει τη σοβαρότητα του στα ματιά της κοινής γνώμης.

Συγκεκριμένα σύμφωνα με τους επιστήμονες υγείας το πρόβλημα απέκτησε δυο διαστάσεις. Αρχικά, οι εργαζόμενοι που επιχειρούσαν στα διαμερίσματα του αντιδραστήρα και ιδιαίτερος εκείνοι που ήταν αρμόδιοι για τον καθαρισμό των κατεστραμμένων καναλιών, που ήταν υπεύθυνα για τη διαχείριση της πυρκαγιάς, εκτέθηκαν σε σημαντικά υψηλές δόσεις ραδιενέργειας μέσω της εισπνοής. Ήσσανος σημασίας κατά τη διάρκεια της μόλυνσης ήταν το ραδιενεργό ισότοπο ιώδιο-131 το οποίο συνδέεται με το καρκίνο του θυρεοειδή. Υπολογίζεται πως το συμβάν ευθύνεται για 240 επιπρόσθετες περιπτώσεις καρκίνου, παρόλο που μελέτη του 2010 καταδείκνυε την απουσία κάποιας μακροπρόθεσμης επίπτωσης στο εργατικό

²⁰ Paul Dwyer, Friday 5 October 2007, *Windscale: A nuclear disaster*, bbc news

δυναμικό που απάρτιζε την ομάδα καθαρισμού του χώρου μετά το ατύχημα. Μετρήσεις του Θυρεοειδή σε 96 εργαζόμενους έδειξαν μέγιστη δόση 9.5 ραντ, οι αμέσως επόμενες ανέρχονταν σε 2.1 ραντ, ενώ κατά μέσο όρο οι μετρήσεις έδειχναν τιμές των 0.4 ραντ.

Το δεύτερο σκέλος ανησυχίας σύμφωνα με τους επιστήμονες αφορούσε στην ευρύτερη μόλυνση περιοχών που οφείλεται σε εισπνοή και κατάποση ραδιενεργού υλικού. Συγκεκριμένα μετρήσεις ρουτίνας πριν το ατύχημα στη περιοχή του δυτικού Κάμπερλαντ με χρήση θαλάμων ιονισμού πακτωμένους σε οχήματα παρακολούθησης καταδείκνυαν τιμές από 4 έως 10 μικρό ρενγκενς ανά ώρα με μέση τιμή 7 ρενγκενς ανά ώρα. Κατόπιν του ατυχήματος, οι επιστήμονες εκτίμησαν πως η δόση γαμμα ραδιενέργειας των κατοίκων που ζούσαν στην περιοχή θα έφθαναν το μέγιστο των 30 με 50 μιλιρενγκενς. Ωστόσο, μετρήσεις το 1958 κατέληγαν στην τιμή των 75 milliroentgens.

Κανείς δεν απομακρύνθηκε από τις γύρω περιοχές. Ο μολυσμένος αντιδραστήρας που περιείχε 15 τόνους ουράνιου σφραγίστηκε μέχρι τα τέλη του 1980, όταν άρχισε η εκκαθάριση. Σύμφωνα με μελέτες ο αντιδραστήρας θα είναι ακατάλληλος της όποιας διεργασίας μέχρι το 2037.²¹

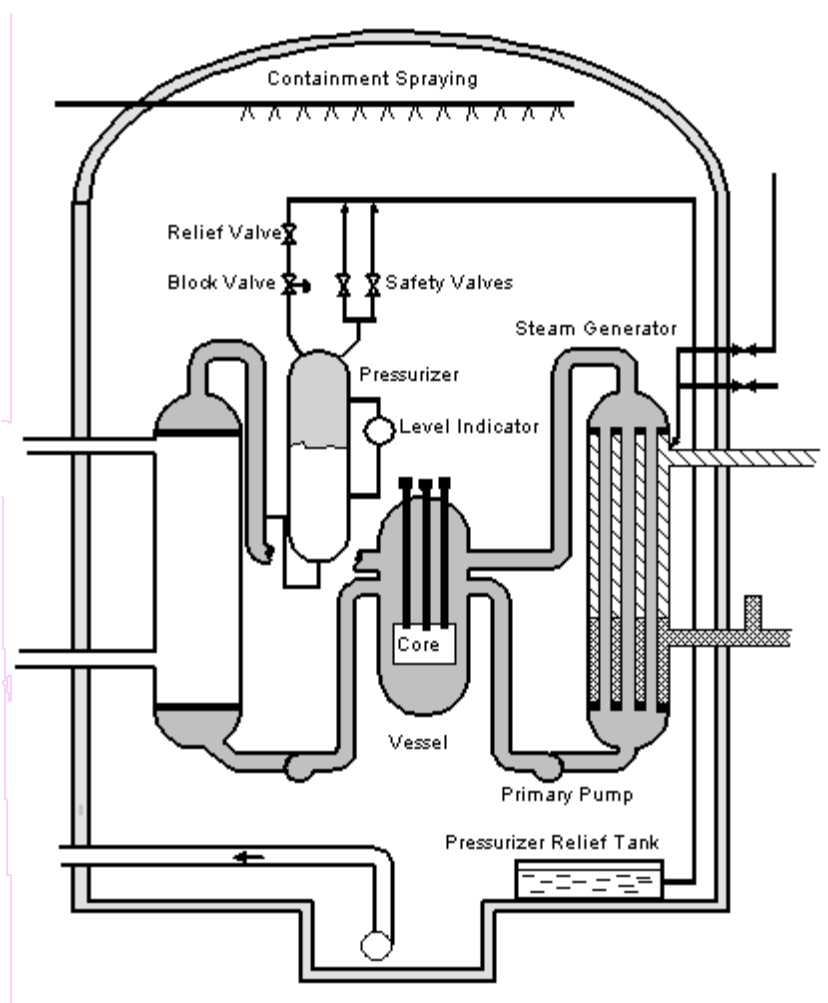
No 3 Νησί Three Mile²²

Τη τέταρτη θέση στη λίστα κατέχει το μεγαλύτερο και σοβαρότερο ατύχημα εμπορικού αντιδραστήρα στην ιστορία των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής που συνέβη στις 18 Μαρτίου 1979 στο πυρηνικό εργοστάσιο παραγωγής ατομικής ενέργειας του Three Mile Island στην Pennsylvania μόλις 16 χιλιόμετρα απ την πρωτεύουσα της πολιτείας το Χαρισμπεργκ (Harrisburg) πόλη 90000 κατοίκων, 300 χιλιόμετρα από τη Νέα Υόρκη. Το συμβάν αποτέλεσε αφορμή για να ακυρωθούν περίπου 14 παραγγελίες κατασκευής καινούριων αντιδραστήρων ενώ μέχρι και σήμερα δεν έχουν κατασκευαστεί νέα πυρηνικά εργοστάσια. Διαθέτει δυο αντιδραστήρες πεπιεσμένου ύδατος ισχύος 900MW σχεδιασμένους από τους Babcock και Wilcox. Η δεύτερη μονάδα τέθηκε σε λειτουργία στις 30 Δεκεμβρίου 1978.

²¹ J. F. Loutit, W. G. Marley, R. S. Russell, October 1957, *The Nuclear Reactor Accident at Windscale, October 1957: Environmental Aspects*, IAEA

²² Bonnie A. Osif, Anthony J. Baratta and Thomas W. Conkling, 2004, *The Three Mile Island Nuclear Power Plant Accident and Its Impact*

Ο σχεδιασμός των αντιδραστήρων προβλέπει δυο γεννήτριες ατμού μήκους 28 μέτρων. Η διεπαφή στο άκρο των γεννητριών βρίσκεται χαμηλότερα απ το επίπεδο του πυρήνα. Το γεγονός αυτό κάνει τη μετάβαση στη φυσική μεταγωγή ψύξης πιο δύσκολη. Επιπροσθέτως η μικρή ποσότητα χωρητικότητα νερού του δευτερεύοντος συστήματος ψύξης κάνει τη κατασκευή πιο ευαίσθητη σε ορισμένες συνθήκες. Στη περίπτωση απώλειας στη τροφοδοσία νερού του συστήματος, σημειώνεται άνοδος της θερμοκρασίας, και κατ επέκταση της πίεσης. Τότε το πρωτεύον σύστημα ψύξης ανοίγει τη βαλβίδα ανακούφισης της πίεσης μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα.²³



Πρόκειται για μια σειρά από ανθρώπινα και τεχνικά σφάλματα που οδήγησαν στη μερική τήξη του καύσιμου του αντιδραστήρα νο 2 του εργοστάσιου ο οποίος υπερθερμάνθηκε. Μια απλή βλάβη στην τροφοδοσία ατμογεννητριών με νερό

²³ 3.2.3.3. Safety Case Study: the Three Mile Island accident, IAEA, Assessment of safety

φαίνεται να είναι το αρχικό αίτιο του δυστυχήματος. Η πυρηνική αντίδραση διακόπηκε από τα αυτόματα συστήματα ασφάλειας τα οποία ενεργοποίησαν τις αντλίες ασφαλείας, οι οποίες όμως δεν κατάφεραν να λειτουργήσουν καθώς μια βάνα είχε παραμείνει κατά λάθος ανοικτή. Έτσι, το σύστημα είχε παραμείνει για 4 ώρες χωρίς νερό πριν αποκατασταθεί το σύστημα ψύξης προκαλώντας την υπερθέρμανση του αντιδραστήρα. Δέκα ώρες περίπου μετά την εκδήλωση του ατυχήματος 300 κιλά υδρογόνου από το πυρηνικό καύσιμο το οποίο είχε κυριολεκτικά λιώσει εξερράγησαν χωρίς όμως την ύπαρξη άμεσων θυμάτων. Όπως γνωστοποιήθηκε περίπου το 45% των καυσίμων υπέστη τήξη σχηματίζοντας μαζί με άλλα στοιχεία της δομής του αντιδραστήρα ένα μάγμα γνωστό ως “corium”. Περίπου 20 τόνοι από αυτό το μάγμα διέρρευσαν στο πυθμένα της δεξαμενής. Το περίβλημα του αντιδραστήρα ευθύνεται για τον περιορισμό της καταστροφής καθώς η ανθεκτικότητα του ήταν ο κύριος λόγος για τον οποίο αποφεύχθηκε η απευθείας έκλυση ραδιενεργών υλικών στο περιβάλλον. Χάος ακολούθησε την έκρηξη με τους κατοίκους να σπεύδουν σε εγκατάλειψη της περιοχής τη στιγμή που τα στελέχη της εταιρίας προσπαθούσαν να μειώσουν στο ελάχιστο τη σημαντικότητα του ατυχήματος.

Χρειάστηκαν έξι χρόνια για να προσδιοριστούν πλήρως οι συνέπειες του ατυχήματος όσον αφορά την έκταση των ζημιών και της μόλυνσης που προκλήθηκε. Καούρες στο δέρμα, κάψιμο και δυνατοί πόνοι στα μάτια, ναυτία, εμετοί, διάρροια, εμφάνιση εξανθημάτων, αύξηση των αιμοσφαιρίων στο αίμα, λοιμώξεις του Θυρεοειδούς και καρκίνος είναι καταγεγραμμένα συμπτώματα τα οποία έκαναν την εμφάνιση τους μετά την ραδιενεργό μόλυνση καθώς επίσης παρατηρήθηκε δραματική αύξηση της βρεφικής θνησιμότητας αλλά και πολλαπλάσια ποσοστά θανάτων από καρκίνο σε περιοχές γύρω από το σταθμό συγκριτικά με τον εθνικό μέσο όρο. Το ατύχημα χαρακτηρίστηκε ως βαθμού 5 κάτι που το κατατάσσει ανάμεσα στα σημαντικότερα της ιστορίας, ενώ το 2011 καταγράφηκε μια ακόμη ραδιενεργός διαρροή μικρής έκτασης αυτή τη φορά η οποία, αν και περιορίστηκε γρήγορα, προκάλεσε την μόλυνση από ραδιενέργεια μικρής ομάδας εργαζομένων σύμφωνα με την Εθνική Ρυθμιστική Αρχή Πυρηνικών των Η.Π.Α..²⁴

²⁴ *Three Mile Island accident*, Wikipedia

№ 4 Τσερνομπίλ²⁵

Θεωρείται η χειρότερη πυρηνική τραγωδία στην υψηλότερη βαθμίδα μεγέθους 7 της διεθνούς κλίμακας πυρηνικού γεγονότος και περιγράφεται ως «πολύ σημαντική έκλυση ραδιενεργού υλικού με καθολικές επιπτώσεις στην υγεία και το περιβάλλον που απαιτεί εφαρμογή οργανωμένων και εκτεταμένων μέτρων αντιμετώπισης».

Στο πυρηνικό εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του Τσερνομπίλ λειτουργούσαν τέσσερις αντιδραστήρες RBMK, ένα από τα πρώτα μοντέλα Σοβιετικής σχεδίασης και το παλαιότερο μοντέλο που βρίσκεται σήμερα σε χρήση. Το πρωί της 26^{ης} Απριλίου 1986 αλυσιδωτή πυρηνική αντίδραση ξεκίνησε στον αντιδραστήρα νούμερο 4, το πάνω μέρος του οποίου εξερράγη κατά τη διάρκεια δοκιμής των χειριστών στους ατμοστρόβιλους, ώστε να βεβαιωθούν ότι σε περίπτωση αναγκαστικής διακοπής της λειτουργίας του αντιδραστήρα το σύστημα ψύξης θα συνέχιζε να λειτουργεί κανονικά.

Ο αντιδραστήρας αυτού του τύπου ψύχεται με ελαφρύ ύδωρ και σε περίπτωση διακοπής σταματά η τροφοδοσία ρεύματος στις αντλίες ψύξης, ακολουθούμενη από την παύση λειτουργίας του αντιδραστήρα. Υπεύθυνες για τη τροφοδοσία των αντλιών με ρεύμα ήταν 4 εφεδρικές ντιζελογεννήτριες οι οποίες όμως χρειάζονταν από 1 λεπτό μέχρι ένα λεπτό και 15 δευτερόλεπτα για να αποδώσουν τη μέγιστη ισχύ τους, χρονική καθυστέρηση αρκετά μεγάλη βάσει του τεράστιου ποσού θερμότητας που παρήγαγε ο αντιδραστήρας. Το κενό αυτό καλούνταν να καλύψει η ενέργεια που θα παραγόταν από την περιστροφή των στροβίλων κατά το σβήσιμο τους. Τη συγκεκριμένη θεωρία προσπάθησαν να επιβεβαιώσουν σε συνθήκες όσο πιο κοντά στις πραγματικές γίνεται οι τεχνικοί που ήταν υπεύθυνοι για τη συντήρηση του αντιδραστήρα με ένα πείραμα, στόχος του οποίου ήταν η αύξηση της ασφάλειας επιλέγοντας τον αντιδραστήρα νο4 καθώς είχε κατασκευαστεί μόλις 3 χρόνια πριν με την πιο σύγχρονη Σοβιετική τεχνολογία. Οι τεχνικοί, δηλαδή, θα επιχειρούσαν την αξιοποίηση του ατμού που παράγει ο πυρηνικός αντιδραστήρας ακόμη και κλειστός με στόχο την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ικανή να κινήσει τις αντλίες που ευθύνονται για την διακίνηση 28 τόνων νερού που απαιτεί το σύστημα ψύξης του πυρήνα για τη λειτουργία του.

²⁵ *Chernobyl disaster*, Wikipedia

Ξεκινώντας τη προγραμματισμένη δοκιμή κατέβασαν την ισχύ του αντιδραστήρα στα 700MW. Η μείωση αυτή οδήγησε στον σχηματισμό μεγάλης ποσότητας αερίου xenon-135, ισότοπο με την ιδιότητα να απορροφά νετρόνια, προκαλώντας περαιτέρω μείωση της ισχύος. Λάθος στον χειρισμό των ράβδων ελέγχου οδήγησε σε ακόμη μεγαλύτερη μείωση ισχύος φθάνοντας τα 30 MW, προκαλώντας ακόμη μεγαλύτερη μόλυνση του αντιδραστήρα με xenon-135. Οι τεχνικοί προκειμένου να επαναφέρουν στα επιθυμητά επίπεδα την ισχύ αποφάσισαν να εξάγουν τις περισσότερες ράβδους ελέγχου από τον αντιδραστήρα, μια κίνηση που οδήγησε την ισχύ στα 200MW πολύ πιο κάτω από το όριο των 700 MW που προέβλεπε το σχέδιο. Το πείραμα συνεχίστηκε με την ενεργοποίηση κι άλλων αντλιών νερού αυξάνοντας την παροχή στο σύστημα ψύξης αγνοώντας όλες τις ενδείξεις που υποδείκνυαν ασταθή λειτουργία του αντιδραστήρα λόγω της «δηλητηρίασης» του με αέριο xenon-135 και μετά από 14 λεπτά ο ρυθμός ροής νερού στον αντιδραστήρα ήταν μεγαλύτερος από το επιτρεπτό όριο. Σύμφωνα με το πρόγραμμα, το πείραμα ξεκίνησε με το κέντρο ελέγχου να διακόπτει τη παροχή ατμού στη τουρμπίνα που παράγει ρεύμα ενεργοποιώντας τις 4 εφεδρικές γεννήτριες ντίζελ.

Ωστόσο, ενώ η τουρμπίνα μείωνε την ισχύ της, λόγω της διακοπής παροχής ατμού, η ροή νερού στο σύστημα ψύξης μειωνόταν με αποτέλεσμα τη δυσανάλογη αύξηση στη θερμική ισχύ του αντιδραστήρα ουρανίου-γραφίτη, δηλαδή την γρήγορη μετατροπή του νερού σε ατμό, αυξάνοντας την ισχύ σε μη επιτρεπτά όρια. Μη έχοντας άλλη επιλογή το κέντρο ελέγχου ξεκίνησε τη διαδικασία επείγουσας διακοπής της λειτουργίας του αντιδραστήρα που προέβλεπε την άμεση είσοδο στον πυρήνα του αντιδραστήρα των 235 ράβδων ελέγχου, μια κίνηση που έφερε το αντίθετο αποτέλεσμα καθώς το κάτω άκρο των ράβδων ήταν κατασκευασμένο από γραφίτη και αντί να επιβραδυνθεί, η αλυσιδωτή αντίδραση επιταχύνθηκε με την ισχύ να φθάνει στα 530 MW προκαλώντας την υπερθέρμανση του πυρήνα και συνεπώς την αρχική έκρηξη. Η πρώτη αυτή έκρηξη διέλυσε έναν αριθμό στηλών καυσίμου που με τη σειρά τους οδήγησαν στην αδυναμία λειτουργίας των ράβδων ελέγχου, οπότε σημειώθηκε περαιτέρω αύξηση ισχύος και θερμοκρασίας στον πυρήνα δημιουργώντας τεράστιες ποσότητες ατμού.

Απουσία καταγραφής στοιχείων στο κέντρο ελέγχου, οι επιστήμονες εικάζουν ότι εκείνο ήταν το χρονικό σημείο στο οποίο πραγματοποιήθηκε η τεράστια έκρηξη

ατμού που κατέστρεψε το περίβλημα του αντιδραστήρα και ανασήκωσε το βάρους 2000 τόνων κάλυμμά του. Στιγμή κατά την οποία ο αντιδραστήρας πρέπει να είχε φτάσει τα 33GW, δέκα φορές πάνω από την προβλεπόμενη ισχύ κατά το σχεδιασμό του. Τα ραδιενεργά καύσιμα που πλέον συμπεριφέρονταν ανεξέλεγκτα προκάλεσαν μια ακόμη έκρηξη η οποία σταμάτησε τη σχάση αλλά απελευθέρωσε 40 GJoules, ποσότητα ενέργειας που ισοδυναμεί με την εκτυρσοκρότηση 10 τόνων TNT. Τα φλεγόμενα ραδιενεργά υλικά που εκτοξεύτηκαν έξω από τον αντιδραστήρα δημιούργησαν ένα εισερχόμενο ρεύμα αέρα που λόγω της υψηλής θερμοκρασίας του πυρήνα έβαλε φωτιά στον καυτό γραφίτη που βρίσκονταν στον πυρήνα.



Ρίψη άμμου και αργίλου από ελικόπτερα που προσπαθούσαν να κατασβήσουν τη φωτιά. Μάιος 1986. Φωτογράφος: Ιγκόρ Κόστιν/Sputnik Images ²⁶

Η ραδιενέργεια στο εσωτερικό του αντιδραστήρα βρίσκονταν πλέον σε επίπεδα εκτός κλίμακας των οργάνων μέτρησης του εργοστάσιου, γεγονός που οδήγησε τους ιθύνοντες στο κέντρο έλεγχου στην εικασία ενδεχόμενης δυσλειτουργίας τους οπότε, αγνοώντας τις ενδείξεις, κάλεσαν το προσωπικό να παραμείνει στον αντιδραστήρα προκειμένου να τον τροφοδοτήσει με νερό ψύξης γεγονός που ευθύνεται για τον θάνατο τους μέσα σε 2-3 εβδομάδες λόγω υπερβολικής έκθεσης τους στη

²⁶ Serhii Plokyh, wednesday 9 may 2018, *Chernobyl: History of a Tragedy review – Europe nearly became uninhabitable*, Daniel Beer, the guardian

ραδιενέργεια. Δυο από τους εργάτες του σταθμού έχασαν τη ζωή τους ακαριαία ενώ μέσα σε τέσσερις μήνες έχασαν τη ζωή τους 28 πυροσβέστες και διαπιστώθηκαν 19 επιπλέον θάνατοι. Τα επίπεδα ραδιενέργειας στις πλέον μολυσμένες περιοχές του εργοστάσιου υπολογίστηκε πως έφταναν τα 5.6 Ρέντγκεν ανά δευτερόλεπτο δηλαδή 20.000 Ρέντγκεν ανά ώρα ενώ η θανάσιμη δόση ανέρχεται σε μόλις 100 Ρέντγκεν ανά ώρα, με αποτέλεσμα μη προστατευμένοι εργαζόμενοι να λάβουν μοιραίες δόσεις μέσα σε μερικά λεπτά.²⁷

Δυο άνθρωποι είχαν χάσει τη ζωή τους και 52 βρίσκονταν στο νοσοκομείο από τα 200 συνολικά άτομα που βρίσκονταν στο εργοστάσιο μέχρι το απόγευμα της 26^{ης} Απριλίου. Τότε κατέφθασε στο σημείο η κυβερνητική επιτροπή που ερευνούσε το συμβάν, η οποία παρά την αρχική προσπάθεια συγκάλυψης, 24 ώρες μετά το συμβάν αντιμετώπιζε με πλήθος αποδείξεων για ιδιαίτερα αυξημένα επίπεδα ραδιενέργειας, μεγάλη έκθεση σ αυτή καθώς και ραδιενεργό νέφος, το οποίο άνεμοι κατεύθυναν στη δυτική Ευρώπη, αναγκάστηκε να παραδεχτεί τη καταστροφή του αντιδραστήρα.

Ακολούθησε εντολή για εκκένωση της κοντινής πόλης του Πριπυάτ, όπου 45.000 άνθρωποι κλήθηκαν να εγκαταλείψουν τα σπίτια τους και δεν επέστρεψαν ποτέ. Συγκεκριμένα, ηγεσία του κομμουνιστικού κόμματος σε μια προσπάθεια να προστατεύει το σοβιετικό γόητρο δεν προέβη σε ενημέρωση των διεθνών υπηρεσιών ατομικής ενέργειας, ενώ ο ευρύτερος πληθυσμός ενημερώθηκε για το ατύχημα δυο μέρες μετά, με ένα ρεπορτάζ συνολικής διάρκειας 20 δευτερολέπτων στην κρατική τηλεόραση, όταν πλέον η ραδιενέργεια ήταν ανιχνεύσιμη στο ατομικό εργοστάσιο Forshmark της Σουηδίας χίλια χιλιόμετρα μακριά από το Τσερνομπίλ από επιστήμονες κατά τη διάρκεια ελέγχου ρουτίνας.

Στις 28 Απριλίου το Κρεμλίνο επιβεβαιώνει την είδηση ενώ στην Ευρώπη ακολουθεί πολυδιάστατη τακτική αντιμετώπισης, με την Γερμανία από τη μια να προβαίνει σε ελέγχους τροφίμων και υδάτινων πόρων και τις Γαλλικές αρχές από την άλλη να συντηρούν ανεύθυνη στάση, επιμένοντας στην απουσία λόγων ανησυχίας σε προσπάθεια αποφυγής πανικού. Επί 10 μέρες τα φλεγόμενα πυρηνικά καύσιμα απελευθέρωναν στην ατμόσφαιρα εκατομμύρια ραδιενεργά στοιχεία σε ποσότητα που

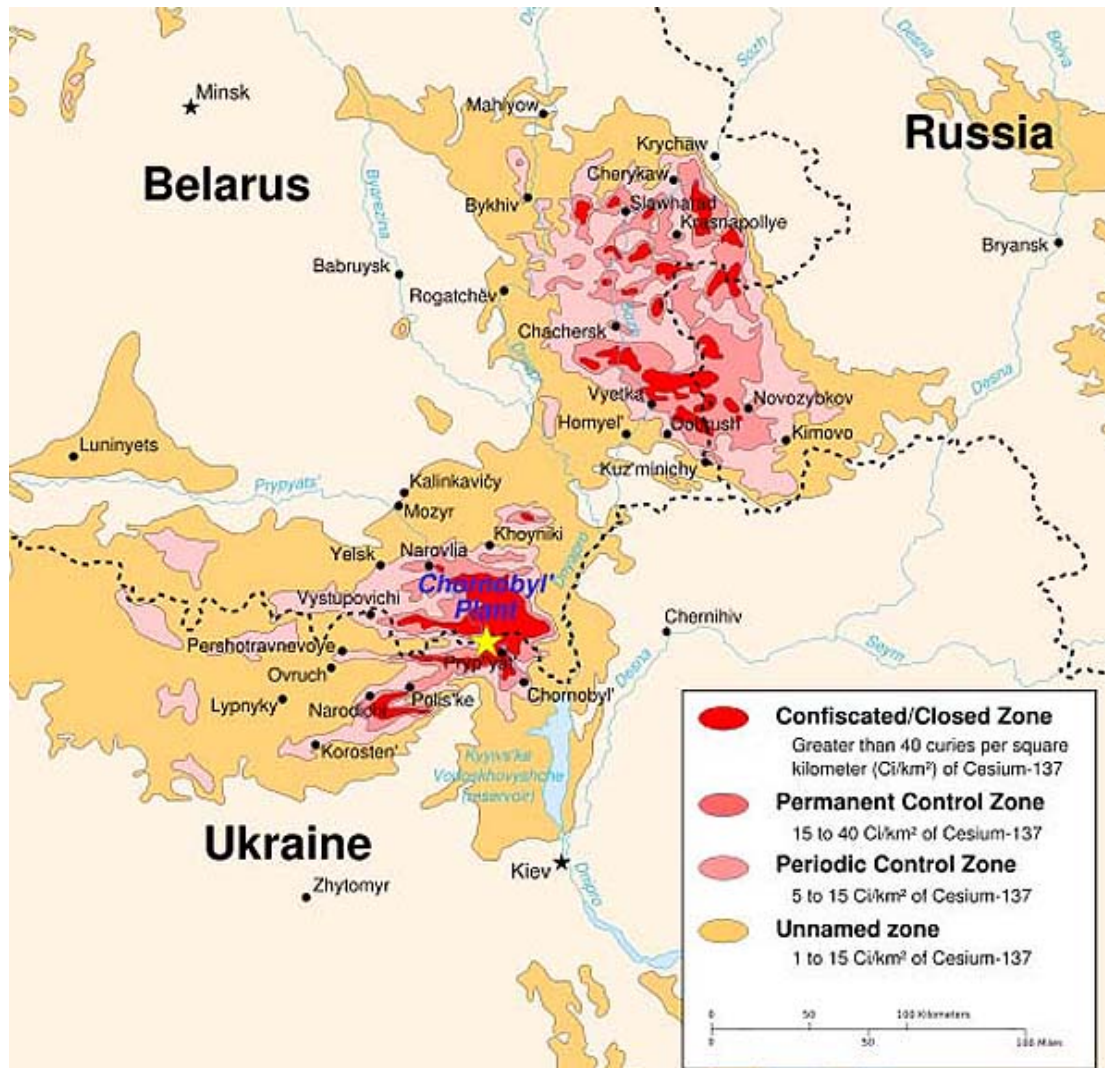
²⁷ *Chernobyl disaster*, Wikipedia

ισοδυναμεί με 200 βόμβες σαν αυτή της Χιροσίμα προκαλώντας την εξάπλωση ραδιενεργού σκόνης πάνω από την Ευρώπη και μέχρι τον Βόρειο Πόλο.

Επισήμως, 61 άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους, εκτιμάται όμως ότι τα θύματα είναι έως και 200.000, σύμφωνα με την Greenpeace. Το 2007 εκδόθηκε στη Ρωσία το βιβλίο Chernobyl οι συγγραφείς του οποίου, έπειτα από ενδελεχή ανάλυση των δημοσιεύσεων σε επιστημονικά περιοδικά, μιλούν για 985.000 θανάτους από το 1986 μέχρι το 2004 οι οποίοι σχετίζονται με το ατύχημα. Συγκεκριμένα πλην των 237 ατόμων που απάρτιζαν το προσωπικό και ομάδες σωστικών συνεργείων, η Σοβιετική Ένωση δεν έδωσε ποτέ στοιχεία, αλλά ακόμη και πέντε χρόνια μετά όπου ακολούθησε η διάλυσή της ήταν τέτοια η οικονομική και κοινωνική κατάσταση της ανεξάρτητης πλέον Ουκρανίας που δεν επέτρεψε ποτέ την οργανωμένη προσπάθεια καταγραφής των συνεπειών του ατυχήματος.

Μάρτυρας του καταστροφικού ατυχήματος αποτελεί το επονομαζόμενο “κόκκινο δάσος”, μια περιοχή 4 τετραγωνικών χιλιομέτρων πυκνού πευκοδάσους γύρω από τον αντιδραστήρα, όπου τα πεύκα έγιναν κόκκινα και ξεράθηκαν και τα ζώα εκτός κάποιων που μεταφέρθηκαν μακριά πέθαναν πολύ γρήγορα, όπως τα άλογα που υπήρχαν σε ένα νησάκι στον ποταμό Πριπιάτ. Σύμφωνα με έκθεση του 'Τσερνομπίλ Φόρουμ' το 2005 , οι μεγαλύτερες συνέπειες αφορούν σε πάνω από 4000 περιπτώσεις παιδιών, που εμφάνισαν καρκίνο του θυρεοειδούς. Η ίδια έκθεση τόνιζε πως δεν μπορεί να υπάρξει αξιόπιστη καταγραφή των θανάτων που προκλήθηκαν από καρκίνο που συνδέεται άμεσα με το ατύχημα. Παράλληλα η έκθεση περιέγραφε την ελλιπή ενημέρωση και την ανεύθυνη στάση του κρατικού μηχανισμού, υπεύθυνες για πολλές περιπτώσεις επιζώντων που θεωρούσαν τον εαυτό τους καταδικασμένο από τη ραδιενέργεια και οδήγησε σε ψυχολογικές διαταραχές.²⁸

²⁸ Καλαμαράς Δημήτρης, 26/4/2012, *Πώς ένα πείραμα οδήγησε στην τραγωδία του Τσερνομπίλ*, iefimerida



Χάρτης της μόλυνσης με ραδιενέργεια, 10 χρόνια μετά(1996)

Στην Ελλάδα, η ραδιενέργεια έφτασε μετά από μερικές μέρες στη μορφή νέφους που ταξίδεψε από το Τσερνομπίλ επηρεάζοντας κυρίως τη Βόρεια Ελλάδα και τη Θεσσαλία. Την δεκαετία 1986-1996 καταγράφηκαν 1500 περιπτώσεις καρκίνου που δεν δικαιολογούνταν από το ιστορικό του ασθενούς και 2.500 εκτρώσεις από φόβο για επιπλοκές κατά την εγκυμοσύνη. Οι αρχές αντιμετώπισαν τον πανικό που προκλήθηκε εκδίδοντας ειδικές οδηγίες για το πως να πλένονται σωστά τα λαχανικά αλλά και να αποφεύγεται το γάλα.²⁹

²⁹ 25/4/2018, Σαν σήμερα: Το πυρηνικό ατύχημα του Τσερνομπιλ, Η μεγαλύτερη πυρηνική καταστροφή στην ιστορία της ανθρωπότητας, e-daily

Ακόμη και σήμερα μια περιοχή 31 χιλιομέτρων γύρω από το εργοστάσιο είναι απαγορευμένη ζώνη με τις αρχές να εκτιμούν πως δεν θα είναι κατάλληλη για τον άνθρωπο για τα επόμενα 20.000 χρόνια. Το 2016 μετά από 4 χρόνια εργασιών ολοκληρώθηκε η τοποθέτηση του νέου μεταλλικού θόλου που περιβάλλει τον κατεστραμμένο πυρηνικό αντιδραστήρα, ο οποίος ευθύνεται για την μόλυνση μέχρι και των τριών τετάρτων της έκτασης της Ευρώπης και τον θάνατο χιλιάδων. Το στέγαστρο που καλύπτει την τσιμεντένια σαρκοφάγο η οποία χτίστηκε εσπευσμένα αμέσως μετά το ατύχημα, με μήκος 275 μέτρα και πλάτος 108 μέτρα, υπολογίζεται πως θα παρέχει ασφάλεια για 100 χρόνια .Περίπου 800 άτομα εξακολουθούν να διαμένουν σήμερα στις πιο μολυσμένες από ραδιενέργεια περιοχές στις οποίες ο μέσος όρος ζωής δεν ξεπερνά τα 50 χρόνια.

Σχετική διεθνής συνθήκη η οποία υπογράφηκε και υιοθετήθηκε αμέσως μετά το εφιαλτικό ατύχημα του Τσερνομπίλ το 1986 υποχρεώνει κάθε κράτος να ενημερώσει άμεσα την Υπηρεσία Ατομικής Ενέργειας για οποιοδήποτε ατύχημα σε πυρηνικό σταθμό που μπορεί να έχει αντίκτυπο σε άλλες χώρες.³⁰

No 5 Tokaimura

Ανθρώπινο λάθος και σοβαρή παραβίαση των αρχών ασφαλούς λειτουργίας σύμφωνα με τον Δ.Ο.Α.Ε. φαίνεται να ήταν τα αίτια του ατυχήματος που συνέβη στην πόλη Tokaimura της Ιαπωνίας στις 30 Σεπτεμβρίου 1999 σε ένα εργοστάσιο επεξεργασίας πυρηνικού καύσιμου που προορίζονταν για έρευνα με πειραματικούς αντιδραστήρες όταν εργάτες αναμίγνυαν υγρό ουράνιο σε ακατάλληλη δεξαμενή. Η υψηλή συγκέντρωση μεγάλης ποσότητας εμπλουτισμένου ουράνιου προκάλεσε αλυσιδωτές πυρηνικές αντιδράσεις οι οποίες συνεχίστηκαν απερίσπαστες για 20 ώρες. Συνολικά 119 άνθρωποι έλαβαν δόση ραδιενέργειας μεγαλύτερη των 1mSv (millisieverts) με αυτή των τριών χειριστών να είναι υψηλότερη των επιτρεπτών ορίων και τελικά θανατηφόρα για τους δυο εξ αυτών. Στο εν λόγω εργοστάσιο γίνονταν η επεξεργασία τριών τόνων ουράνιου το χρόνο εμπλουτισμένο σε ποσοστό 20% U-235, τιμή πολύ υψηλότερη από αυτό που εφοδιάζει τους περισσότερους πυρηνικούς αντιδραστήρες.

³⁰ *Εγκυκλοπαίδεια Πάπυρος Larousse Britannica τόμος 58, σελίδες 205, έκδοση 1992, Εκδοτικός Οργανισμός Πάπυρος Κηφισίας & Ανδρ. Πουρνάρα 6, Αμαρούσιον Αττικής-Ελλάς*

Η εγκεκριμένη διαδικασία παρασκευής πυρηνικού καύσιμου απαιτεί τη διάλυση σε μια δεξαμενή σκόνης οξειδίου του ουρανίου U-3O8 σε νιτρικό οξύ και κατόπιν τη μεταφορά του πλέον καθαρού διαλύματος νιτρικού ουρανυλίου σε στήλη αποθήκευσης για τη μεταφορά του και την τελική εναπόθεση του σε δεξαμενή καθίζησης. Η δεξαμενή αυτή περιβάλλεται από ένα χιτώνιο υγρόψυξης για την απομάκρυνση της θερμότητας που παρήχθη από την εξώθερμη πυρηνική αντίδραση. Η αποφυγή ενδεχόμενης κρίσιμης κατάστασης επιτυγχάνεται μέσω των προδιαγραφών αδειοδότησης οι οποίες αναφέρονται στον όγκο, την μάζα καθώς και τον σχεδιασμό της διαδικασίας. Σημείο κλειδί του σχεδιασμού αυτού φαίνεται πως ήταν η γεωμετρία της στήλης μεταφοράς η οποία επέτρεπε τον λεπτομερή έλεγχο της ποσότητας του υλικού προς μεταφορά.

Ωστόσο η διαδικασία εργασίας της εταιρίας τροποποιήθηκε 3 χρόνια πριν το ατύχημα χωρίς κάποια αντίστοιχη άδεια από τις αρμόδιες αρχές και περιελάμβανε τη διάλυση του οξειδίου του ουρανίου σε ασάλινες προθήκες αντί της δεξαμενής, ενώ στη συνέχεια επανατροποποιήθηκε στο βωμό της επιτάχυνσης της διαδικασίας, τοποθετώντας το καθαρό διάλυμα απευθείας στη δεξαμενή καθίζησης. Η ανάμειξη που είχε σχεδιαστεί να πραγματοποιείται στη στήλη αποθήκευσης τώρα θα γίνονταν με μηχανικό τρόπο απευθείας στη δεξαμενή καθίζησης παρακάμπτοντας τους προβλεπόμενους ελέγχους ασφαλείας. Στην απουσία αυστηρού ελέγχου της ποσότητας που θα εισέρρεε στην χωρητικότητας εκατοντάδων λίτρων δεξαμενή καθίζησης προστέθηκε το ακατάλληλο σχήμα της κατασκευής (450 mm διάμετρος και 660mm ύψος), που ενίσχυσε τις πιθανότητες εκδήλωσης κρίσιμης κατάστασης.

Στις 30 Σεπτεμβρίου οι τρεις εργάτες προετοίμαζαν μικρή ποσότητα καύσιμου για τον πειραματικό ταχείας διάλυσης αντιδραστήρα JOYO χρησιμοποιώντας 18.8% εμπλουτισμένο ουράνιο. Ήταν η πρώτη φορά μέσα σε τρία χρόνια που ανατέθηκε η εν λόγω διαδικασία στην εταιρία και δεν υπήρχε επαρκής κατάρτιση και εκπαίδευση του προσωπικού που ανέλαβε το εγχείρημα, το οποίο μέχρι εκείνη τη στιγμή είχε επαναλάβει πολλές φορές τη διαδικασία με πολύ χαμηλότερης περιεκτικότητας εμπλουτισμένο ουράνιο (λιγότερο από 5%) και δεν είχε γνώση των επιπτώσεων που θα επέφερε η αυξημένη περιεκτικότητα.

Τη στιγμή που ο όγκος του καύσιμου στη δεξαμενή έφτασε τα 40 λίτρα, περιλαμβάνοντας περίπου 16 κιλά ουράνιο, η αλυσιδωτή πυρηνική αντίδραση

διάλυσης έγινε αυτοσυντηρούμενη και άρχισε να εκπέμπει ακτινοβολία γάμμα και νετρονίων πυροδοτώντας την ανησυχία. Δεν υπήρξε έκρηξη λόγω της κλιμακούμενης απελευθέρωσης προϊόντων της πυρηνικής αντίδρασης εντός του κτηρίου. Η σημασία της υδρόψυξης έγκειτο στον έλεγχο των νετρονίων της αντίδρασης που πρόσφερε το νερό στην εξίσωση. Η διαδικασία συνεχίστηκε για 20 ώρες, ενώ κενά σχηματίζονταν λόγω της εσπευσμένης τήξης και εξαφανίζονταν καθώς η αντίδραση συνεχιζόταν μέχρις ότου το ψυκτικό νερό που περιέβαλλε τη δεξαμενή εξαντλήθηκε καθώς το νερό αυτό εξουδετέρωνε τα νετρόνια της αντίδρασης. Τότε βορικό οξύ ,με την ιδιότητα να απορροφά νετρόνια, προστέθηκε στη δεξαμενή ώστε να εξασφαλιστεί ότι τα στοιχεία θα παρέμεναν σε υποκρίσιμο σημείο. Οι διεργασίες αυτές εξέθεσαν 27 εργάτες σε κάποιο βαθμό ραδιενέργειας. Το επόμενο μέτρο αντιμετώπισης ήταν η εισαγωγή θωράκισης προκειμένου να προστατευτούν οι άνθρωποι εκτός των εγκαταστάσεων από γάμμα ακτινοβολία που προέρχονταν από τα προϊόντα της αντίδρασης στο εσωτερικό της δεξαμενής, ενώ η ακτινοβολία νετρονίων είχε παύσει. Η ακτινοβολία προέρχονταν σχεδόν απευθείας από την δεξαμενή και όχι από υλικά προς διάλυση.

Τα κτήρια που φιλοξενούν πυρηνική επεξεργασία όπως το προκείμενο διατηρούνται συνήθως σε πίεση χαμηλότερη της ατμοσφαιρικής ούτως ώστε η όποια διαρροή να παραμένει εσωτερικά του κτηρίου και η μόλυνση τελικά να περιορίζεται και να διοχετεύεται με χρήση φίλτρων αέρα σε μια εξωτερική μονάδα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση ραδιονουκλίδια που παρήχθησαν κατά τη σύντηξη συλλέχτηκαν από τα φίλτρα ενώ ευγενή αέρια πέρασαν από τα φίλτρα ανεμπόδιστα. Σε δοκιμή που είχε πραγματοποιηθεί στις 5 Οκτώβριου είχε εξασφαλιστεί πως η αρνητική πίεση διατηρείται, κάτι που αναδείκνυε την ακεραιότητα της κατασκευής, και πως το σύστημα εξαερισμού δούλευε ακριβώς κατά τον προβλεπόμενο σχεδιασμό. Ωστόσο, η παρατήρηση χαμηλού επιπέδου ιώδιου-131 που διέρρεε στο περιβάλλον μέσω του εξαερισμού ανάγκασε το προσωπικό να τον σταματήσει και να βασίζεται αποκλειστικά στον παθητικό περιορισμό που το κτήριο παρείχε.

Πέντε ώρες μετά την αρχή της κρίσιμότητας, ξεκίνησε η εκκένωση 39 κατοικιών και συνολικά η απομάκρυνση 161 ανθρώπων σε ακτίνα 350 μέτρων από τις εγκαταστάσεις, στους οποίους τελικά επιτράπη η επιστροφή μετά από δυο μέρες καθώς αμμόσακοι και άλλα μέτρα οχύρωσης εξασφάλιζαν την απουσία κινδύνου μόλυνσης από κατάλοιπα ακτινοβολίας γάμμα. Δώδεκα ώρες μετά το περιστατικό

ζητήθηκε προληπτικά από τους κατοίκους σε ακτίνα 10 χιλιομέτρων να παραμείνουν εντός των σπιτιών τους ενώ το επόμενο απόγευμα επήλθε άρση του μέτρου. Το συμβάν αξιολογήθηκε από τις Ιαπωνικές αρχές ως βαθμού 4 στη παγκόσμια κλίμακα ατομικού κινδύνου της Δ.Υ.Α.Ε.. Η εταιρία παραδέχτηκε πως είχε παρακάμψει συμβατικά πρότυπα ασφάλειας και νομικές δεσμεύσεις και της αποδόθηκαν ευθύνες εγκληματικής αμέλειας, ενώ σύμφωνα με τα καταγεγραμμένα αρχεία ο κρατικός ελεγκτής επισκέπτονταν 2 φορές το χρόνο το εργοστάσιο το οποίο σε καμιά εξ αυτών δεν βρισκόνταν σε λειτουργία.³¹

Νο 6 Φουκουσίμα

Στις 11 Μαρτίου 2011 ο καταστροφικός σεισμός των 9 ρίχτερ στην Ιαπωνία προκάλεσε ένα παλιρροϊκό κύμα που έπληξε τις ανατολικές ακτές της. Εκτός του πυρηνικού εργοστασίου στο Νταϊτσί ζημιές υπέστησαν και το πυρηνικό εργοστάσιο Ζέοντος ύδατος στο Νταϊνί, 12 χιλιόμετρα βόρεια του Νταϊτσί, το οποίο όμως μετά από δυο μέρες ήταν σε θέση να παύσει ελεγχόμενα τη λειτουργία του και δεν έχει λειτουργήσει έκτοτε.³²

Το πυρηνικό εργοστάσιο ζέοντος ύδατος στην πόλη Οναγκαγουα (Onagawa) βρίσκεται στα βορειοανατολικά παράλια της Ιαπωνίας με θέα στον Ειρηνικό Ωκεανό και ήταν το πιο κοντινό στο επίκεντρο του σεισμού, στη μισή απόσταση σε σχέση με τον σταθμό στο Νταϊτσί. Αποτελεί παγκοσμίως το πιο γρήγορο στην ανοικοδόμηση πυρηνικό εργοστάσιο. Οι ταλαντώσεις που προκλήθηκαν από το σεισμό ήταν εξαιρετικά ισχυρές και αρκετά σημεία του πλημμύρισαν λόγω του Τσουνάμι, χωρίς ωστόσο καμιά ανεπανόρθωτη αστοχία. Σύμφωνα με την αναφορά του Δ.Ο.Α.Ε. το 2012, είναι αξιοσημείωτο πως τα δομικά υλικά του σταθμού έμειναν ανέπαφα δεδομένων της εδαφιαίας κινητικότητας, της διάρκειας και του μεγέθους του σεισμού. Σύμφωνα με την εταιρία Tohoku Electric ο τρίτος όροφος του δεύτερου αντιδραστήρα έχασε το 70% της δομικής ακαμψίας του, ενώ ο πρώτος όροφος το 25%. Χάρη στον ύψους 14.8 m κυματοθραύστη και την πρόβλεψη για σχεδιασμό

³¹ Tokaimura nuclear accident, wikipedia

Report on the preliminary fact finding mission following the accident at the nuclear fuel processing facility in Tokaimura. Japan, IAEA, Printed by the IAEA in Austria, November 1999, IAEA-TOAC

³² Fukushima Daini Nuclear Power Plant, wikipedia

συστήματος υδρόψυξης, που θα μπορεί να λειτουργήσει κατά τα πρώτα στάδια ενός τσουνάμι, όπου η στάθμη του νερού υποχωρεί, δεν υπήρξαν μη διαχειρίσιμες φθορές. Η πόλη της Οναγκαγουα υπέστη τεράστιες καταστροφές. Περίπου διακόσιοι με τριακόσιοι πολίτες, που έχασαν τις οικίες τους, βρήκαν καταφύγιο στις εγκαταστάσεις του σταθμού, καθώς το συγκρότημα του εργοστασίου ήταν ο μόνος ασφαλής χώρος στην περιοχή και ο μόνος προορισμός προς άμεση εκκένωση. Οι εργαζόμενοι του εργοστασίου παρείχαν φαγητό και κουβέρτες στους πληγέντες, ενώ το Ρόιτερς ανέφερε την περίπτωση του συγκεκριμένου σταθμού ως παράδειγμα όσον αφορά την πρόβλεψη των κατασκευασμένων υποδομών έναντι των μεγαλύτερων φυσικών καταστροφών αλλά και την εναπόθεση της εμπιστοσύνης της κοινής γνώμης. Το εργοστάσιο έπαυσε να λειτουργεί αμέσως μετά το σεισμό και το τσουνάμι.³³

Ο σταθμός στο Τοκάι (Tōkai) αποτελεί τον πρώτο σταθμό αντικείμενο διαφήμισης από πλευράς της Ιαπωνίας. Η πρώτη μονάδα κατασκευάστηκε στις αρχές του 1960, σύμφωνα με το Βρετανικό σχέδιο Magnox, και παρήγαγε ηλεκτρική ενέργεια από το 1966 έως το 1998. Μια δεύτερη μονάδα που κατασκευάστηκε το 1970 ήταν η πρώτη Ιαπωνική μονάδα που παρήγαγε πάνω από 1000 MW ηλεκτρικής ενέργειας. Τα κύματα που έπληξαν το πυρηνικό εργοστάσιο του Τοκάι ήταν ύψους 5.3-5.4 μέτρων, πιο υψηλά σε σχέση με παλιότερες εκτιμήσεις και κατά 30-40 εκατοστά χαμηλότερα σε σχέση με τους πιο πρόσφατους υπολογισμούς έως και την ημέρα του σεισμού. Υπήρξε έλλειμμα ηλεκτρικής παροχής, ωστόσο μόνο μια εκ των τριών υδραντλιών αστόχησε και οι αντιδραστήρες σταθεροποιήθηκαν και τέθηκαν εκτός λειτουργίας με την ενεργοποίηση των ντιζελογεννητριών οι οποίες εκμεταλλεύτηκαν τις 2 εν ενεργεία υδραντλίες. Ο σταθμός έπαυσε να λειτουργεί μετά το συμβάν του Μάρτη 2011.³⁴

Το πυρηνικό εργοστάσιο επανεπεξεργασίας καυσίμων στο Ροκάσο (Rokkasho) έχει ετήσια δυνητικότητα 800 τόνων ουρανίου και 8 τόνων πλουτωνίου. Είναι τμήμα του συγκροτήματος Ροκάσο στο χωριό Ροκάσο στα βορειότερα της νομαρχίας Αομόρι (Aomori) στον Ειρηνικό Ωκεανό του βορειότερου τμήματος του νησιού

³³ *Onagawa Nuclear Power Plant, wikipedia*

³⁴ *Tōkai Nuclear Power Plant, wikipedia*

Χονσού (Honshu) της Ιαπωνίας και αποτελεί ιδιοκτησία της εταιρίας JNFL (Japan Nuclear Fuel Limited). Τον Ιούνιο του 2008 αρκετοί επιστήμονες ισχυρίζονταν ότι ο σταθμός βρίσκεται πάνω από ενεργό γεωλογικό ρήγμα που θα μπορούσε να παράγει σεισμό μεγέθους έως και 8 ρίχτερ. Η εταιρία απάντησε πως δεν υπάρχει λόγος ανησυχίας για ενδεχόμενο σεισμό μεγαλύτερο των 6.5 ρίχτερ και πως ο σχεδιασμός του σταθμού προέβλεπε την αντοχή του έναντι σε σεισμό μεγέθους 6.9 ρίχτερ. Μετά τον σεισμό τον Μάρτη του 2011, ο σταθμός τροφοδοτήθηκε από 2 εφεδρικές ντιζελογεννήτριες, οι οποίες δεν είχαν σχεδιαστεί για εκτεταμένη χρήση μακράς διάρκειας. Την συγκεκριμένη στιγμή στο εργοστάσιο βρίσκονταν αποθηκευμένοι περίπου 3000 τόνοι ισχυρά ραδιενεργού χρησιμοποιημένου καυσίμου. Το Ιαπωνικό ραδιόφωνο ειδοποίησε πως στις 13 Μαρτίου περίπου 600 λίτρα νερού διέρρευσαν εντός δεξαμενής αποθήκευσης χρησιμοποιημένων καυσίμων. Σύμφωνα με την εφημερίδα New York Times η παροχή ρεύματος επανήλθε πλήρως στις 14 Μαρτίου. Ο μετασεισμός της 7ης Απριλίου προκάλεσε την απώλεια ρευματοδότησης μέχρι και την επομένη μέρα.³⁵

Ο σεισμός που ήταν ο μεγαλύτερος στην ιστορία της χώρας οδήγησε στην διακοπή της παροχής ρεύματος στην μονάδα παραγωγής πυρηνικής ενέργειας του Νταϊτσι στη Φουκουσίμα, τη στιγμή που λειτουργούσαν οι 3 από τους 6 αντιδραστήρες ζέοντος ύδατος. Παρά την εισαγωγή των ράβδων ελέγχου ώστε να διακοπεί η άμεση θέρμανση του νερού, τα καύσιμα στον πυρήνα λόγω αλυσιδωτών αντιδράσεων είχαν ανάγκη για περαιτέρω ψύξη λίγων ημερών τουλάχιστον ώστε να αποφευχθεί η τήξη της κατασκευής από την αύξηση της θερμοκρασίας και κατ'επέκταση η διαρροή ραδιενέργειας.

Η διακοπή της ηλεκτροδότησης έθεσε εκτός λειτουργίας τις αντλίες νερού που χρησιμοποιούσε το σύστημα ψύξης και τέθηκαν σε λειτουργία οι ντιζελοηλεκτρογεννήτριες οι οποίες συντηρούσαν το σύστημα ψύξης για μερικές ώρες μέχρι τη στιγμή που το τσουνάμι προκάλεσε την παύση λειτουργίας τους. Τότε οι υπεύθυνοι πήραν την απόφαση να εκτονώσουν την ολοένα αυξανόμενη πίεση στον πυρήνα των αντιδραστήρων 1 και 3, αφήνοντας να διαφύγει ραδιενεργός ατμός προκειμένου να αποσοβήσουν τον κίνδυνο ενδεχόμενης έκρηξης που θα συνεπάγονταν την τήξη του κελύφους τους. Παρ' όλα αυτά οι ενέργειες δεν ήταν

³⁵ *Rokkasho Reprocessing Plant, wikipedia*

επαρκείς με αποτέλεσμα οι ράβδοι ελέγχου των πυρηνικών καυσίμων από ζιρκόνιο να φτάσουν τους 1200°C και το ζιρκόνιο να αντιδράσει με το νερό δίνοντας οξειδίο του ζιρκονίου και υδρογόνο.

Κατά τη διαφυγή του ραδιενεργού ατμού το υδρογόνο αντέδρασε με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας και του νερού και προκάλεσε την έκρηξη, η οποία παρότι δεν προκάλεσε τη καταστροφή του κελύφους του πυρήνα οδήγησε στη μερική ρήξη του εξωτερικού περιβλήματος που είχε σχεδιαστεί κατάλληλα ώστε να απομακρύνει την πίεση. Απουσία ηλεκτρικής ισχύος και του συστήματος σωληνώσεων και αντλιών, που καταστράφηκε από την έκρηξη του περιβλήματος και με το υπόγειο, όπου βρίσκονταν οι ηλεκτρικοί πίνακες για τη λειτουργία των ντιζελογεννητριών, πλημμυρισμένο, οι αρχές αποφάσισαν να ψύξουν τα υπέρθερμα πυρηνικά καύσιμα με την εισαγωγή θαλασσινού νερού σε μια ύστατη προσπάθεια προς αποφυγή της πλήρους τήξης του κελύφους του πυρήνα των αντιδραστήρων. Ωστόσο όπως φαίνεται είχε ήδη επέλθει τήξη στο εσωτερικό των πυρήνων καταστρέφοντας τα πυρηνικά καύσιμα με αποτέλεσμα τον εμπλουτισμό του ραδιενεργού ατμού, που αναγκαστικά εκτονώνονταν, με καίσιο-137 και ιώδιο-131, στοιχεία με χρόνο ημιζωής 30 χρόνια και 8 ημέρες αντίστοιχα γεγονός που τα καθιστά άκρως επικίνδυνα.

Ο Δ.Ο.Α.Ε. ζήτησε επείγοντως ενημέρωση για την κατάσταση με τους Ιάπωνες να ισχυρίζονται πως δεν είχε εμφανιστεί ζημιά στο ασφάλινο κέλυφος του αντιδραστήρα ώστε να υπάρχει κίνδυνος πυρηνικής καταστροφής αντίστοιχης με εκείνη του Τσερνομπίλ. Στη διεθνή κλίμακα η έκρηξη στο εργοστάσιο της Φουκουσίμα αξιολογήθηκε αρχικά ως επίπεδο 4 αλλά σύντομα μετά την αξιολόγηση των πορισμάτων κατέληξε στην κλίμακα 7 δηλαδή τον ανώτατο δυνατό βαθμό επικινδυνότητας που μέχρι τότε χαρακτήριζε αποκλειστικά και μονό το Τσερνομπίλ.

Στις 13 Μάρτιου η Δ.Υ.Α.Ε. ανακοίνωσε πως κρίθηκε σε κατάσταση έκτακτης ανάγκης το πυρηνικό εργοστάσιο της Οναγκάουα, κατόπιν καταγραφής επιπέδων ραδιενέργειας που ξεπερνούσαν τα επιτρεπόμενα όρια σε ζώνη κοντά στον πυρηνικό σταθμό. Στις 14 Μαρτίου ισχυρός μετασεισμός μεγέθους 6.2 βαθμών προκάλεσε δυο νέες εκρήξεις αυτή τη φορά στον αντιδραστήρα 3 και λίγο αργότερα ακολούθησε ανακοίνωση πως πρόβλημα ψύξης αντιμετώπιζε και ο τρίτος αντιδραστήρας ο νο2. Στις 15 Μαρτίου το εσωτερικό χαλύβδινο περίβλημα του αντιδραστήρα υπέστη βλάβη από νέα έκρηξη, η οποία διαδέχτηκε πρότερη πυρκαγιά στον αντιδραστήρα 4.

Σύμφωνα με τις αρχές η ποσότητα του ραδιενεργού καισίου που διέφυγε στην ατμόσφαιρα ισοδυναμεί με 168 πυρηνικές κεφαλές σαν αυτήν της Χιροσίμα ενώ σύμφωνα με τη Greenpeace, έπειτα από ενδελεχή έρευνα και συνεργασία ανεξάρτητων εμπειρογνομόνων, η ευθύνη για την αποτυχία αναγνώρισης των κινδύνων από τη λειτουργία των αντιδραστήρων, την εφαρμογή κατάλληλων προτύπων ασφάλειας και εν τέλει την προστασία του πληθυσμού βαραίνει τα θεσμικά όργανα, καθώς είχαν διαθέσιμες όλες τις απαιτούμενες πληροφορίες καιρό πριν.

Συγκεκριμένα, η πιθανότητα τήξης των αντιδραστήρων σε περίπτωση πλήγματος από τσουνάμι είχε προβλεφτεί από τον Ιαπωνικό Οργανισμό Πυρηνικής Ενέργειας (Japan Nuclear Energy Safety Organization) σύμφωνα με δημοσιοποιημένα έγγραφα από το 2008 ,κάτι το οποίο επέλεξε να αγνοήσει η ιδιοκτήτρια εταιρία TEPCO που δεν προέβη σε καμιά προσπάθεια για περαιτέρω οχύρωση των εγκαταστάσεων, γνωρίζοντας πως τα μέτρα προστασίας του σταθμού απέναντι στο ενδεχόμενο υψηλού παλιρροϊκού κύματος ήταν ανεπαρκή. Η ζώνη εκκένωσης ανέρχεται σε 20 χιλιόμετρα περιμετρικά του σταθμού και υπολογίζεται να παραμείνει ακατοίκητη για πολλές δεκαετίες ακόμη ακολουθώντας την τύχη αυτής στο Τσερνομπίλ, ενώ 19.000 άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους και περισσότεροι από 160.000 κάτοικοι αναγκάστηκαν να εγκαταλείψουν εκτάσεις σε ακτίνα 50 χιλιομέτρων από τον πυρηνικό σταθμό.

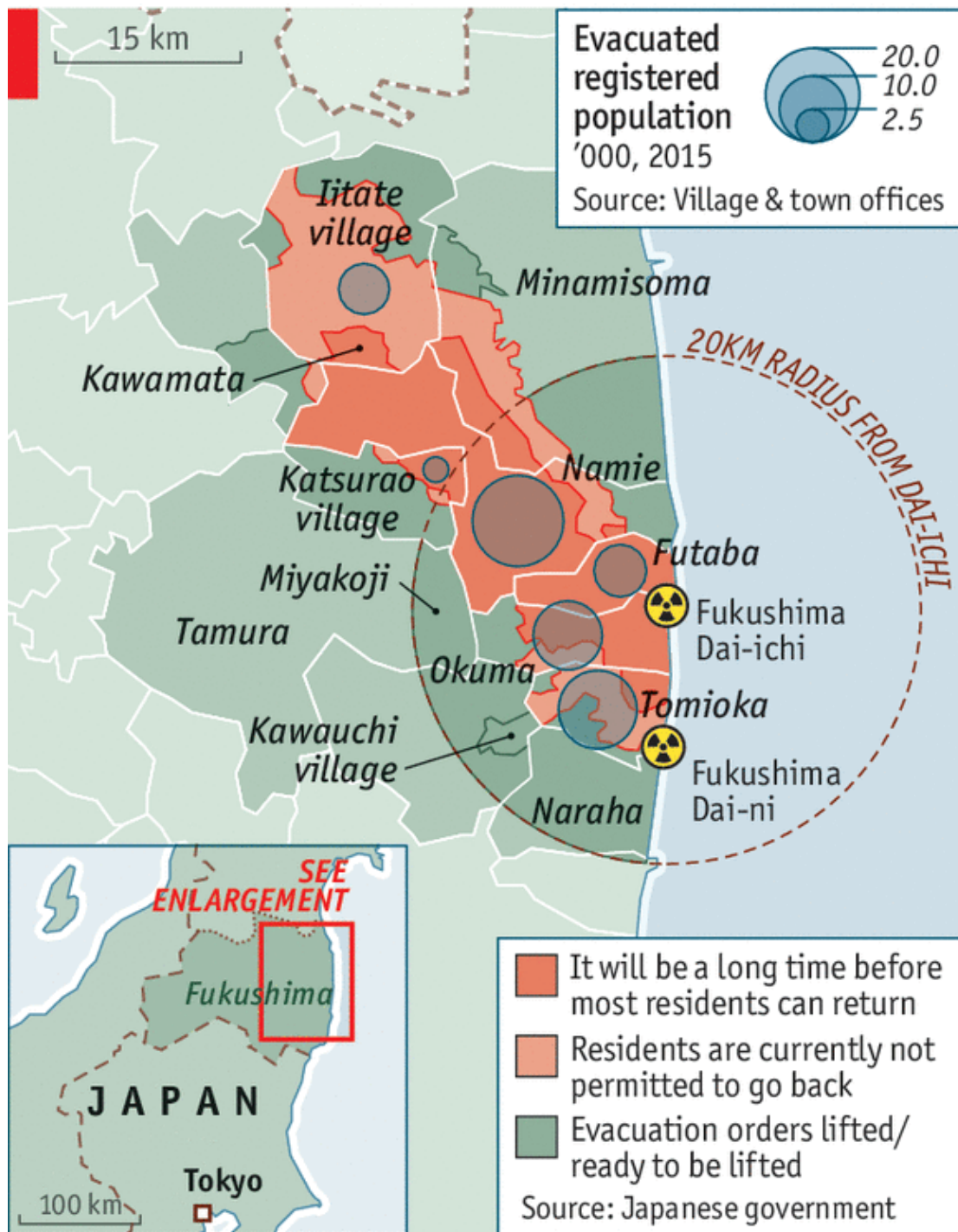
Από τη πρώτη ώρα της έκρηξης, μια μέρα δηλαδή μετά το τσουνάμι, οι μετρήσεις ραδιενέργειας στην περιοχή κατέγραφαν τιμές 400 φορές μεγαλύτερες από τη μέγιστη επιτρεπόμενη δόση ανά έτος. Δειγματοληπτικοί έλεγχοι στη θάλασσα έκαναν λόγο για επίπεδα ραδιενέργειας σε ψάρια 5.000 φορές μεγαλύτερη από τα θεσμοθετημένα όρια που προέβλεπε η κυβέρνηση. Σύμφωνα με μελέτη της Ωκεανογραφικής εταιρίας Woods Hole το ατύχημα της Φουκουσίμα αποτελεί τη μεγαλύτερη κατά λάθος απελευθέρωση ραδιενέργειας σε θάλασσα στην ιστορία. Ένα μήνα μετά το ατύχημα τα επίπεδα καισίου-137 που μετρήθηκαν στη θάλασσα ήταν 50 εκατομμύρια φορές υψηλότερα ενώ υψηλά επίπεδα ραδιενέργειας ανιχνεύτηκαν σε ψάρια, φύκια αλλά και σε αγροτικά προϊόντα όπως ρύζι ,μοσχάρι, φρούτα και λαχανικά.

Ανάλυση της Asashi News, μίας εκ των μεγαλύτερων σε κυκλοφορία εφημερίδες της Ιαπωνίας, κατέδειξε ότι 462 T_{Bq} (ένα τρις Μπεκερέλ) ραδιενεργού

στροντίου έχουν απελευθερωθεί στον Ειρηνικό Ωκεανό, ενώ λίγο καιρό αργότερα διαπιστώθηκε πως το νερό που παγιδεύτηκε στη βάση των αντιδραστήρων δεν είναι στάσιμο αλλά ρέει στον ωκεανό με ρυθμό 300 τόνων την ημέρα. Αμέσως μετά το ατύχημα το Τόκυο ανέστειλε τη λειτουργία 48 πυρηνικών αντιδραστήρων της χώρας με μελλοντική πρόθεση επαναλειτουργίας που προκάλεσε βέβαια πλείστες αντιδράσεις με πολλούς να επισημαίνουν ότι είναι αδύνατη η διαχείριση του κινδύνου σε πυρηνικές εγκαταστάσεις. Παράλληλα η Ιαπωνική κυβέρνηση παραδέχτηκε ότι χρησιμοποίησε ραδιενεργά μπάζα κυρίως αμμοχάλικο για την κατασκευή νέων κατοικιών και την επισκευή δρόμων και άλλων υποδομών που επλήγησαν από το σεισμό απώσης της όποιας μέριμνας για τη μέτρηση της ακτινοβολίας σε πέτρες και χαλίκια ενώ παράλληλα περίπου 29 δις κυβικά μέτρα ραδιενεργού χώματος πρέπει να αφαιρεθούν μονό από τη περιφέρεια της Φουκουσίμα για να προστατεύουν σπίτια σχολεία και δημοτικές εκτάσεις από τη ραδιενεργό ρύπανση.

Σε παγκόσμιο επίπεδο πολλά κράτη αναθεώρησαν την ικανότητα των δικών τους αντιδραστήρων να ανταπεξέλθουν σε μια αντίστοιχη φυσική καταστροφή. Η Γερμανία απέσυρε από τη λειτουργία κάποιους από τους αντιδραστήρες της και ανακοίνωσε οριστική απεξάρτηση μέσα στα επόμενα δέκα χρόνια ενώ και η Ιταλία είτε όχι στη πυρηνική ενέργεια. Το ατύχημα έφερε στην επιφάνεια σημαντική διαφθορά στον τομέα της πυρηνικής ενέργειας, συμπεριλαμβάνοντας ενέργειες αποπροσανατολισμού της κοινής γνώμης και αναδεικνύοντας περιπτώσεις ευνοιοκρατικών σχέσεων μεταξύ των ενεργειακών εταιριών και των κρατικών μηχανισμών που τις εποπτεύουν. Με πάνω από το 90% των πυρηνικών αντιδραστήρων εκτός λειτουργίας πολλοί τοπικοί κυβερνητικοί αξιωματούχοι δήλωσαν την άρνηση αδειοδότησης επαναλειτουργίας των αντιδραστήρων, καθώς κόντρα στις βαρύγδουπες προειδοποιήσεις της πυρηνικής βιομηχανίας δεν υπάρχουν σημαντικά προβλήματα στην ηλεκτροδότηση της χώρας και η Ιαπωνία αποδεδειγμένα μπορεί να σταθεί ενεργειακά χωρίς την πυρηνική ενέργεια. Δυο χρόνια αργότερα πραγματοποιήθηκε επιχείρηση για την απομάκρυνση 1.000 ράβδων πυρηνικού καύσιμου από τον αντιδραστήρα 4 λόγω ζημιάς εξαιτίας της έκρηξης υδρογόνου, προκειμένου να ψυχθούν τοποθετημένες σε κατάλληλα διαμορφωμένες δεξαμενές.³⁶

³⁶ *Fukushima Daiichi nuclear disaster, wikipedia*



Economist.com

Σύμφωνα με το παραπάνω σχέδιο εκκένωσης και τις ενδείξεις που ανταποκρίνονται σε μετρήσεις του 2015, η αρχική ακτίνα 20 χιλιομέτρων αυξήθηκε σημαντικά. Συγκεκριμένα, με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται οι περιοχές όπου οι κάτοικοι δεν μπορούν να επιστρέψουν ακόμη, με σκούρο κόκκινο εκείνες όπου οι κάτοικοι θα μπορέσουν να επιστρέψουν μετά από αρκετό καιρό και με σκούρο πράσινο χρώμα απεικονίζονται περιοχές όπου έχει αρθεί ή θα αρθεί η εκκένωση.

Τέσσερα χρόνια αργότερα η διαρροή μολυσμένου με ραδιενέργεια νερού συνεχιζόταν ενώ διαδηλώσεις διαμαρτυρίας από δεκάδες χιλιάδες πολιτών λάμβαναν χώρα στο Τόκυο με σκοπό την παύση στα σχέδια της κυβέρνησης να επαναλειτουργήσει κάποιους από τους πυρηνικούς αντιδραστήρες της Φουκουσίμα. Πέντε χρόνια μετά το ατύχημα οι επιστήμονες κάνουν λόγο για ποσοστό 7% της πόλης που εμφανίζει υψηλά επίπεδα ραδιενέργειας. Το έδαφος κυρίως στη περιοχή κάτω από το πυρηνικό εργοστάσιο παραμένει επικίνδυνο για τη δημόσια υγεία. Τα προβλήματα διαρροής μολυσμένου νερού από τις εγκαταστάσεις δεν έχουν σταματήσει καθώς, εκτός του νερού του συστήματος ψύξης και των τεχνητών δεξαμενών επεξεργασίας του ήδη μολυσμένου νερού, παρατηρείται ροή νερού που προέρχεται από πηγές των γύρω λόφων. Το νερό εισρέει στο υπόγειο του εργοστασίου όπου την μόλυνση του με ραδιενέργεια διαδέχεται η συνέχιση της πορείας του προς τον ωκεανό. Στο κομμάτι της αντιμετώπισης η διαχειρίστρια εταιρία κατασκεύασε τεχνητό υπόγειο φράγμα από πάγο μέσω βύθισης στο υπέδαφος σωλήνων, στο εσωτερικό των οποίων κυκλοφορεί ψυκτικό υγρό παγώνοντας το και δημιουργώντας ουσιαστικά ένα υπόγειο τείχος μήκους 1.5 χιλιομέτρων και όγκου 70.000 κυβικών μέτρων περιμετρικά των αντιδραστήρων 1-4.³⁷

Χαρακτηριστικό έλλειψης εμπιστοσύνης αλλά και απόδειξη δυσπιστίας απέναντι στους κρατικούς φορείς ενημέρωσης και προστασίας αποτελεί η γέννηση μιας ιδιαίτερης δράσης πολιτών. Το safecast ξεκίνησε από τον Ιάπωνα ιερέα Sadamaru Okano και αποσκοπεί στην ικανότητα κάθε πολίτη να πληροφορείται αξιόπιστα και να είναι σε θέση να μετρήσει τα ποσοστά ραδιενέργειας στις περιοχές που τον ενδιαφέρουν. Ο ιερέας και εμπνευστής του safecast είχε ασχοληθεί από το 2008 ερασιτεχνικά με την πυρηνική ενέργεια. Μετρήσεις του μετά το ατύχημα ήταν 50 φορές υψηλότερες σε σχέση με αντίστοιχες πριν από αρκετό καιρό, ενώ οι Ιαπωνικές αρχές έλεγαν στους πολίτες να μην ανησυχούν. Ο ίδιος δήλωσε πως η κυβέρνηση τους έλεγε ψέματα καθώς δεν ανακοίνωνε στους πολίτες τις αληθινές τιμές. Η τελική μορφή του safecast ήρθε με την πρωτοβουλία του φυσικού Pieter Franken και αρκετών πολιτών, οι οποίοι εγκατέστησαν μετρητές ραδιενέργειας τύπου Geiger στα αυτοκίνητά τους με σκοπό τη συλλογή δεδομένων από την περιοχή. Χάρη στο safecast ο καθένας έχει πρόσβαση στις μετρήσεις και μπορεί να κρίνει ποσό

³⁷ 23 August 2017, *Last part of Fukushima ice wall being frozen*, World Nuclear News

ασφαλής είναι στην περιοχή που βρίσκεται ή πρόκειται να επισκεφτεί. Η απήχηση του safecast ήταν τέτοια, ώστε σήμερα υπάρχουν πάνω από 3000 μετρητές σε 90 χώρες.³⁸

Μικρότερης κλίμακας ατυχήματα

Στο σημείο αυτό ακολουθεί ενδεικτική αναφορά ορισμένων μικρότερης κλίμακας ατυχημάτων, πέραν των παραπάνω πιο σοβαρών και ευρέως γνωστών, ως επί το πλείστον, ατυχημάτων.

Συναγερμός είχε σημάνει στις αμερικανικές αρχές τον Φεβρουάριο του 2013 από τη διαρροή σε έξι υπόγειες δεξαμενές πυρηνικών απόβλητων στο Χάνφορντ της πολιτείας της Ουάσινγκτον. Ο κυβερνήτης Τζέι Ίνσλι δήλωσε πως το συμβάν δεν σηματοδότησε άμεσο κίνδυνο για τη δημόσια υγεία μολονότι οι τέσσερις δεξαμενές, μεταξύ των οποίων και οι δυο μεγαλύτερες των εγκαταστάσεων, έχουν παρουσιάσει ξανά διαρροή κατά το παρελθόν προκαλώντας πολλαπλούς πονοκέφαλους στους ιθύνοντες σχετικά με τη δυνατότητα ασφαλούς συνέχισης λειτουργίας της μονάδας.

Αυτή τη φορά η ανακοίνωση αφορούσε σε μια δεξαμενή στην οποία διαπιστώθηκε διαρροή κατά μέσο όρο 150 με 300 γαλόνια ραδιενεργών αποβλήτων το χρόνο. Την ανακοίνωση διαδέχτηκε στις 22 Φεβρουαρίου μια δεύτερη που έκανε λόγο για ακόμη 6 δεξαμενές στις οποίες υπήρχε διαρροή, από τις συνολικά 177 εκ των οποίων οι 149 είναι δεξαμενές μονού περιβλήματος. Οι δεξαμενές μονού περιβλήματος ή πιο σωστά μονής οχύρωσης είναι σχεδιασμένες να αντέχουν για 20 χρόνια. Το 2005 σημαντικός όγκος υγρών αποβλήτων μετακινήθηκε από δεξαμενές μονής οχύρωσης σε πιο ασφαλείς διπλής οχύρωσης. Ωστόσο, ο όγκος των υπολειμμάτων στις κατά τα άλλα άδειες δεξαμενές μονής οχύρωσης εκτιμάται πως ανέρχεται σε 447.000 γαλόνια (1700 m³) ραδιενεργών λυμάτων. Η ανακοινωθείσα διαρροή αφορούσε σε 6 άδειες δεξαμενές, εκ των οποίων οι 2 διαρρέουν ραδιενεργό υλικό με ρυθμό 300 γαλόνια (1136 λίτρα) το χρόνο έκαστος, ενώ οι υπόλοιπες 4 με ρυθμό 15 γαλόνια (57 λίτρα) το χρόνο.

³⁸ Καπαξίδου Ζωή, 23/3/2018, *Fukushima: το χρονικό ενός πυρηνικού ολέθρου*, maxmag.gr/science

Το συγκρότημα του Χανφορντ λειτουργεί από το 1943, είναι σε έκταση το μισό της Ρόδου, είναι υπεύθυνο για την κατασκευή της ατομικής βόμβας στο Ναγκασάκι και συχνά αναφέρεται ως η πιο μολυσμένη περιοχή στις Η.Π.Α.. Μέχρι και το 1987 όταν έπαυσε να λειτουργεί και ο τελευταίος πυρηνικός αντιδραστήρας είχε κατασκευάσει πλουτώνιο για περίπου 70.000 πυρηνικά όπλα των Ηνωμένων Πολιτειών.

Στις 9 Μαΐου 2017, εργαζόμενοι ανακάλυψαν μια τρύπα διαμέτρου 20 μέτρων. Η οροφή είχε καταρρεύσει σε σφραγισμένο τούνελ από το 1965, που περιείχε παλιές αμαξοστοιχίες και λοιπό μολυσμένο με ραδιενέργεια εξοπλισμό. Οι υψηλές τιμές ραδιενέργειας έκαναν αναγκαστική την τήρηση των πιο αυστηρών κανονισμών ασφάλειας κατά τη διάρκεια των εργασιών σφράγισης και επιδιόρθωσης του σημείου. Η ιστορικός Kate Brown στο βιβλίο της Πλουτοπία (Plutopia), κάνοντας αναφορά στις πάμπολλες ομοιότητες της εν λόγω τοποθεσίας και του αντίστοιχου Σοβιετικού σταθμού στο Ozersk, περιγράφει τον σταθμό του Χανφορντ ως μια αργή περιβαλλοντική καταστροφή από την αρχή της λειτουργίας του, καθώς απέδιδε διαρκώς ραδιενεργά κατάλοιπα σε νερό και αέρα.

Ωστόσο, η μεγαλύτερη επικινδυνότητα έγκειται όχι τόσο στις εγκαταλελειμμένες και υπό κατάρρευση υποδομές και εγκαταστάσεις όσο στις ραδιενεργές δεξαμενές υγρού πυρηνικού υλικού. Υπολογίζεται πως οι συνολικά 177 δεξαμενές περιέχουν 56 εκατομμύρια γαλόνια ραδιενεργών υλικών των οποίων η σύσταση είναι γνωστή μόνο κατά προσέγγιση. Κάποιες δεξαμενές πρέπει να αποστειρωθούν, προκειμένου να αποφευχθεί το ενδεχόμενο εμφάνισης φουσκαλίδων υδρογόνου που θα οδηγούσαν σε έκρηξη των εν λόγω δεξαμενών. Άλλες εμφανίζουν ήδη διαρροές, οι οποίες οφείλονται στην διάρκεια ζωής τους η οποία εκ κατασκευής δεν ξεπερνούσε τα 20 χρόνια.

Εκτιμάται πως 1 εκατομμύριο γαλόνια ραδιενεργών αποβλήτων έχουν ήδη διαρρεύσει των εν λόγω δεξαμενών στο υπέδαφος. Η κυβέρνηση των Η.Π.Α. υπολογίζει πως το κόστος εκκαθάρισης της τοποθεσίας θα ξεπερνά τα 107

δισεκατομμύρια δολάρια και η ολοκλήρωση των εργασιών αποκατάστασης δεν θα έρθει νωρίτερα από το 2060.³⁹

Πυρηνικά ατυχήματα έχουν επίσης σημειωθεί όχι μόνο κατά την παραγωγή της πυρηνικής ενέργειας αλλά και κατά τη μεταφορά ή αποθήκευση των ραδιενεργών υλικών και καυσίμων. Χαρακτηριστικά αναφέρεται το παράδειγμα εκτροχιασμού της εμπορικής αμαξοστοιχίας τον Δεκέμβριο του 2013 τρία χιλιόμετρα βορειοανατολικά του Παρισιού, η οποία μετέφερε πυρηνικά απόβλητα. Οι υπεύθυνοι της εταιρίας, που φέρει την ευθύνη της μεταφοράς των υλικών, δήλωσαν πως δεν υπήρξε διαρροή του επικίνδυνου για την υγεία υλικού. Ωστόσο, κινητοποιήσεις πραγματοποιούνται από πλευράς των Πρασίνων της Γαλλίας αλλά και ανεξάρτητων επιστημόνων, καθώς οι ίδιοι εγείρουν την ανησυχία σχετικά με τη μεταφορά πυρηνικών απόβλητων μέσα από κατοικημένες περιοχές.⁴⁰

Τον Δεκέμβρη του 2014 ο πρωθυπουργός της Ουκρανίας, Αρσένι Γιατσεινιούκ, αποκάλυψε το ατύχημα που έλαβε τόπο στην πόλη Ζαπορίζιε της νοτιο-ανατολικής Ουκρανίας και το οποίο σύμφωνα με τον υπουργό ενέργειας της Ουκρανίας προκλήθηκε από τεχνικό πρόβλημα που συνέβαλλε στη δημιουργία ενέργειας. Με την Δ.Υ.Α.Ε. να μην προβαίνει σε κάποιο άμεσο σχόλιο για το ατύχημα ο Βολοντιμίρ Ντεμτσίσιν δήλωσε την ίδια μέρα του ατυχήματος πως οι έλεγχοι θα συνεχιστούν με στόχο την συνέχιση της ομαλής λειτουργίας καθώς δεν υπήρξε πρόβλημα με τον αντιδραστήρα και πως το ατύχημα δεν σχετίζεται με τον ίδιο.⁴¹

Τον Απρίλιο του 2015 Ρωσικό πυρηνικό υποβρύχιο που βρίσκονταν για επισκευή στο ναυπηγείο Ζβεζντότσκο της πόλης Σεβεροντβίνσκ στην επαρχία του Αρχάγγελσκ της βορειοδυτικής Ρωσίας τυλίχθηκε στις φλόγες. Οι σχετικές πληροφορίες δεν κάνουν λόγο για θύματα ούτε για την οποιαδήποτε διαρροή καθώς το υποβρύχιο δεν έφερε οπλισμό. Τελικά μετά από πολλές ώρες η φωτιά

³⁹ Hugh Gusterson, May 17, 2017, *A predictable nuclear accident at Hanford*, ιστοτοπος Bulletin of the Atomic Scientists

⁴⁰ James Regan, 23 December, 2013, *Freight wagon with nuclear waste derails at depot near Paris, no leak*, Reuters ιστοτοπος

⁴¹ Oliver Carroll, Sunday 28 December 2014, *Ukraine turns off reactor at its most powerful nuclear plant after 'accident'*, the independent

κατασβέστηκε, όταν οι υπεύθυνοι αποφάσισαν να πλημμυρίσουν με θαλασσινό νερό την αποβάθρα στην οποία βρίσκονταν το υποβρύχιο για επισκευή.⁴²

Μια ακόμη πυρκαγιά σημειώθηκε τον Μάρτιο του 2015 αυτή τη φορά σε πυρηνικό εργοστάσιο των Η.Π.Α., μόλις μερικές δεκάδες χιλιόμετρα από τη Νέα Υόρκη με τους υπεύθυνους της διαχειρίστριας εταιρίας να εμφανίζονται καθησυχαστικοί τονίζοντας πως δεν υπήρξε κάποιος τραυματισμός ή κίνδυνος για τους εργαζόμενους και τους πολίτες.⁴³

Τέλη του 2016 συναγερμός σήμανε και για τις αρχές της Νορβηγίας μετά την διαρροή ραδιενέργειας στον αντιδραστήρα ζέοντος ύδατος του Χάλντεν στα νοτιοανατολικά της χώρας, ο οποίος λειτουργεί από το 1958 αποκλειστικά για ερευνητικούς σκοπούς. Η Νορβηγική Αρχή Ραδιολογικής Προστασίας σε σχετική της ανακοίνωση έκανε γνωστό πως διέρρευσαν μικρές ποσότητες ραδιενεργού ιωδίου λόγω τεχνικής αστοχίας κατά τη διάρκεια επεξεργασίας των καυσίμων, διευκρινίζοντας παράλληλα πως δεν απειλείται η ανθρωπινή υγεία ή το περιβάλλον εκτός της εγκατάστασης.⁴⁴

Η πυρηνική ενέργεια μοχλός ώθησης προς εναλλακτικές πηγές ενέργειας

Στον αντίποδα των ενεργειακών ωφελειών που προκύπτουν από τη τιθάσευση της πυρηνικής ενέργειας, σημειώθηκαν σημαντικές πρωτοβουλίες με στόχο τη στροφή σε άλλες ακίνδυνες πηγές ενέργειας.

Συγκεκριμένα στην Ιαπωνία με αφορμή τη καταστροφική μόλυνση που επέφερε το ατύχημα στο εργοστάσιο της Φουκουσίμα ξεκίνησε δυο μόλις χρόνια αργότερα η

⁴² Tuesday 7 April 2015, *Russian nuclear submarine catches fire in Arkhangelsk shipyard*, reuters in Moscow, theguardian.com/

⁴³ Sam Thielman, Monday 9 January 2017, *Indian Point nuclear plant in New York will close after dozens of 'safety events'*, theguardian.com/

⁴⁴ October 25 2016, *Leak at nuclear reactor in Norway is contained: operator*, reuters.com

κατασκευή ενός πλωτού αιολικού πάρκου ανοικτά των ακτών της. Η πρώτη γιγαντιαίου μεγέθους ανεμογεννήτρια ισχύος 7 MW μεταφέρθηκε από το Τόκιο στην περιοχή με στόχο την ολοκλήρωση των εργασιών το 2020 και την εγκαινίαση του πρώτου αιολικού πάρκου για τη Φουκουσίμα και μεγαλύτερου στον κόσμο. Η ολοκλήρωση της εγκατάστασης της πρώτης ανεμογεννήτριας περίπου ίσου ύψους με τον καθεδρικό ναό του Αγ. Παύλου στο Λονδίνο καθυστέρησε λόγω αλληπάλληλων τυφώνων στην περιοχή. Ωστόσο, ο υπεύθυνος αρχιμηχανικός του εγχειρήματος Katsunobu Shimizu υποστηρίζει πως το σχέδιο της κατασκευής έχει μελετηθεί ώστε να αντέχει τις πιο ακραίες καιρικές συνθήκες. Η πρωτοβουλία θέλει τρεις στο σύνολο πλωτές ανεμογεννήτριες συνδεδεμένες σε ένα υποθαλάσσιο σταθμό. Η κίνηση αυτή αποσκοπεί στη μείωση της ανεργίας και την τόνωση της οικονομίας της πολύπαθης περιοχής. Σχετική δήλωση του εκπροσώπου του υπουργείου ενέργειας της Ιαπωνίας Κεϊσούκε Μουρακάμι χαρακτηρίζει το εγχείρημα ως τον άσσο στο μανίκι για τη στροφή σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και τη σηματοδότηση μιας περιόδου ανάκαμψης.⁴⁵

Την ίδια χρονιά παύση λειτουργίας επήλθε σε 50 πυρηνικά εργοστάσια της Ιαπωνίας για προληπτικούς λόγους, γεγονός που αναζωπύρωσε τις ελπίδες της κοινής γνώμης για οριστική παύση της όποιας πυρηνικής δραστηριότητας στη χώρα. Τις αντιδράσεις αυτές έρχεται να συμπληρώσει η πρωτοφανής για τα πολιτικά ήθη της χώρας επιστολή του Ιάπωνα βουλευτή Τάρο Γιαμαμάτο στον αυτοκράτορα Ακιχίτο κατά τη διάρκεια δεξίωσης στους κήπους του παλατιού. Στο γράμμα αυτό, που προκάλεσε θύελλα αντιδράσεων, ο τολμηρός βουλευτής εκφράζει τις ανησυχίες του για τις συνέπειες της καταστροφής στη Φουκουσίμα. Προκειμένου να δικαιολογήσει την καταστρατήγηση του πρωτόκολλου αλλά και να απαντήσει σε πολιτικούς αντίπαλους και μέσα μαζικής ενημέρωσης που του ζητούσαν να παραιτηθεί λόγω της προσβλητικής του κίνησης, ο ίδιος δήλωσε πως στην ανατολική Ιαπωνία πολλά παιδιά αντιμετωπίζουν προβλήματα υγείας ενώ χιλιάδες άνθρωποι εργάζονται κάτω από δύσκολες συνθήκες σε περιοχές υψηλής ραδιενέργειας και πως μόνη πρόθεσή του ήταν να μεταφέρει την σκληρή αυτή πραγματικότητα στον αυτοκράτορα. Ωστόσο, τις ελπίδες των πολιτών διαδέχεται η ανησυχία σχετικά με τις κινήσεις αυτές καθώς πολλοί τις αποδίδουν σε βραχυπρόθεσμες απόπειρες της κυβέρνησης για

⁴⁵ Arata Tamamoto, Aug.03.2015, *Japan Builds World's Largest Floating Wind Turbine off Fukushima*, by nbcnews.com

εντυπωσιασμό ενόψει των Ολυμπιακών Αγώνων που θα φιλοξενήσει η χώρα το 2020. Σε σχετική του δήλωση, ο Ιάπωνας πρωθυπουργός, φάνηκε διατεθειμένος να αναλάβει κάθε ευθύνη προκειμένου να διαχειριστεί την κατάσταση και το μολυσμένο νερό.

Ωστόσο, από το σχέδιο για το κλείσιμο πυρηνικών μονάδων εξαιρέθηκαν αρχικά οι αντιδραστήρες πέντε και έξι του Ντάι-Ιτσι. Οι προσπάθειες για ψύξη των εν λόγω αντιδραστήρων, έπειτα από σχετική διαταγή του Ιάπωνα πρωθυπουργού για την άμεση διάλυση τους, απειλούν να μολύνουν ανεπανόρθωτα τον υδροφόρο ορίζοντα, εξέλιξη που καθιστά τη παύση λειτουργίας τους επιβεβλημένη. Ταυτόχρονα, η κυβέρνηση του πρωθυπουργού Σίνζο Άμπε πιέζει για την επαναφορά κάποιων αντιδραστήρων σε λειτουργία επιχειρηματολογώντας υπέρ της κομβική τους σημασίας για την οικονομική ανάπτυξη της χώρας.⁴⁶

Στα τέλη του 2015 τέσσερις πυρηνικοί αντιδραστήρες της εταιρίας Κανσάι στις περιοχές Τακαχάμα και Όχι της κεντρικής Ιαπωνίας πήραν το πράσινο φως επαναλειτουργίας έπειτα από την σχετική απόφαση του δικαστηρίου. Κόντρα στις δηλώσεις ακτιβιστών πως θα ασκήσουν έφεση στη δικαστική απόφαση αλλά και ενάντια στις αντίστοιχες δικαστικές κινήσεις περιβαλλοντικών οργανώσεων κατά της λειτουργίας σχεδόν όλων των πυρηνικών αντιδραστήρων της χώρας, η διαχειρίστρια εταιρία δήλωσε πως τουλάχιστον ένας από τους αντιδραστήρες στην Τακαχάμα θα επαναλειτουργήσει το συντομότερο δυνατόν.⁴⁷

Απόρροια του απόηχου που είχε το τραγικό ατύχημα της Φουκουσίμα αποτελεί η πρώτη διήμερη άσκηση ασφάλειας υπό το σενάριο ενός σεισμού εντάσεως 8 βαθμών της κλίμακας ρίχτερ παρόντος του Ιάπωνα πρωθυπουργού, ο οποίος κήρυξε κατάσταση εκτάκτου ανάγκης τη δεύτερη μέρα. Το σενάριο της άσκησης προέβλεπε την κατάρρευση του συστήματος ψύξης σε πυρηνικό αντιδραστήρα και τη διαρροή ραδιενεργού υλικού. Η άσκηση έλαβε χώρα στο πυρηνικό εργοστάσιο του Σενταϊ στη νότια επαρχία Καγκοσίμα με τη συμμετοχή 3.300 ατόμων ενώ η εξομοίωση

⁴⁶ 31 Oct. 2013, *Fukushima taboo? Politician draws Japanese Emperor into nuclear controversy*,rt.com

⁴⁷ July 2018, *Nuclear Power in Japan / Nuclear plant restarts and retirements*, world nuclear association

περιελάμβανε συνέντευξη τύπου , διαδικασίες εκκένωσης πολιτών αλλά και πληθώρα διαφόρων σεναρίων πυρηνικής απολύμανσης.⁴⁸

Ακόμη μία, αντίστοιχα σημαντική, πρωτοβουλία στην ίδια κατεύθυνση αποτελεί η χορήγηση από πλευράς της Βελγικής κυβέρνησης χαπιών ιωδίνης στο σύνολο του πληθυσμού το 2016. Η κίνηση αυτή, αν και χαρακτηρίζεται ως προληπτική, ενέχει στοιχεία ανησυχίας για πυρηνικό ατύχημα ή ακόμη και για δολιοφθορά καθώς δυο εργοστάσια, στην Ντουλ κοντά στην πόλη της Αμβέρσας και στο Τιχάνζ πλησίον των Βρυξελλών έχουν βρεθεί στο στόχαστρο εδώ και αρκετό καιρό για το αν και σε ποιο βαθμό πληρούν τις συνθήκες ασφάλειας. Σχετικό ερώτημα έχει απευθύνει και η Γερμανία για τις, ηλικίας 40 ετών, πυρηνικές εγκαταστάσεις της.

Πλην των κινδύνων λόγω παλαιότητας, μετά τη τρομοκρατική επίθεση των Βρυξελλών τον Μάρτιο του 2016 αποκαλύφθηκε σύμφωνα με την αναφορά του *Dernier Heure* πως οι βομβιστές Khalid και Ibrahim El Bakraoui είχαν σχέδια επίθεσης σε Βέλγικους πυρηνικούς σταθμούς. Ωστόσο, το Βέλγιο δεν είναι η μόνη χώρα, η Ολλανδική κυβέρνηση παρήγγειλε το 2016 εκατομμύρια χάπια για τους πολίτες της σε περίπτωση πυρηνικού ολέθρου, ενώ και οι Γερμανικές αρχές προμήθευσαν τους 500.000 κατοίκους του Άαχεν περίπου 70 χιλιόμετρα από τον πυρηνικό σταθμό Tihange του Βελγίου φοβούμενοι την πιθανότητα διαρροής. Τα εν λόγω χάπια περιορίζουν τις συνέπειες από έκθεση σε ραδιενέργεια ενώ όπως διευκρίνισε η Μάγκι ντε Μπλοκ, Υπουργός Υγείας του Βελγίου, χάπια ιωδίνης λάμβαναν στο παρελθόν κάτοικοι που ζούσαν σε ακτίνα 20 χλμ ενώ τώρα θα χορηγηθούν σε ολόκληρη τη χώρα μεριμνώντας για τον κόσμο σε ακτίνα 100 χλμ.⁴⁹

Εν έτει 2016, το πυρηνικό εργοστάσιο της Ζαμπορόζιε, ίδιας χρονολογικά και τεχνολογικά κατασκευής με εκείνο του Τσερνομπίλ, αποτελεί μια από τις τέσσερις ενεργές πυρηνικές εγκαταστάσεις της Ουκρανίας διαθέτοντας έξι συνολικά αντιδραστήρες. Ο Όλεχ Ντουντάρ, επικεφαλής του τεχνικού τμήματος ξεκίνησε την καριέρα του στο εργοστάσιο το 1986, χρονιά της μεγάλης καταστροφής. Ο ίδιος

⁴⁸ November 2013, *Nuclear disaster drill aims for more realism*, the Japan times

⁴⁹ Francois Lenoir, 7 March 2018, *Nuclear alert? Belgium distributes millions of iodine pills, yet claims 'no risk'*, Reuters , rt.com

υποστηρίζει πως κάτι αντίστοιχο είναι αδύνατον να συμβεί καθώς σύμφωνα με τα μέτρα ασφάλειας οι αντιδραστήρες, που μοιάζουν με κέλυφος, περιβάλλονται από μια ειδική επιφάνεια, αποστολή της οποίας αποτελεί η συγκράτηση ραδιενεργών ουσιών σε περίπτωση ανάγκης σε αντίθεση με τις απλές πλάκες από σκυρόδεμα που περιέβαλλαν τους αντιδραστήρες του Τσερνομπίλ. Η διοίκηση του εργοστάσιου αποφάσισε να παρατείνει τη διάρκεια ζωής δυο εκ των έξι αντιδραστήρων υποστηρίζοντας πως οι μονάδες αναβαθμίζονται ώστε να μπορούν να λειτουργήσουν ασφαλώς για τουλάχιστον δέκα χρόνια ακόμη. Όπως οι ίδιοι υποστηρίζουν είναι πολύ φθηνότερη η αναβάθμιση και η επέκταση της διάρκειας ζωής μιας παλιάς μονάδας, έναντι μιας άκρως δαπανηρής εκ νέου κατασκευής.

Το έργο αναβάθμισης εγκρίθηκε και υποστηρίζεται οικονομικά από την Ευρωπαϊκή Τράπεζα Ανασυγκρότησης και Ανάπτυξης και από την Euratom ,την πυρηνική υπηρεσία της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ενώ πίσω στο Κίεβο οι οικολόγοι αμφιβάλλουν για το αν και κατά ποσό οι αναβαθμίσεις ακολουθούν τους κανόνες ασφάλειας σύμφωνα με τους ισχυρισμούς της κυβέρνησης. Υποστηρίζουν πως η πυρηνική ενέργεια δεν μπορεί να είναι ασφαλής λόγω των τεχνολογικών κινδύνων και ως εκ τούτου όταν μια μονάδα φτάνει στο τέλος ζωής της σημαίνει πως μέρος του εξοπλισμού έχει πεθάνει. Δεν μπορούν όλα να αντικατασταθούν, γεγονός που εντείνει τον κίνδυνο ατυχήματος, υποστηρίζει ο Ολεξέι Πασούκ, ερευνητής του Εθνικού Οικολογικού Κέντρου της Ουκρανίας. Ο ίδιος εκφράζει τις ανησυχίες και αμφιβολίες του σχετικά με την τεχνική ασφάλεια του αντιδραστήρα και την αντοχή του σε περίπτωση στρατιωτικής σύγκρουσης, σενάριο διόλου απίθανο αν λάβουμε υπόψη πως 300 χλμ μακριά από το εργοστάσιο ξεκίνησε η σύγκρουση της ανατολικής Ουκρανίας. Ο Πασούκ, επιχειρηματολογώντας γύρω από τις θέσεις του, δήλωσε πως «όταν έγιναν οι υπολογισμοί ασφάλειας υπήρχε μια συγκεκριμένη αντίληψη για το ποια αεροσκάφη μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα. Από τότε όμως ο κόσμος έχει αλλάξει και πλέον Boeing κάνουν υπερατλαντικά ταξίδια ενώ αν ανατρέξουμε στους ενδεχομένους κινδύνους που εξεταστήκαν 15 χρόνια πριν στην Ουκρανία θα διαπιστώσουμε πως το ενδεχόμενο στρατιωτικής σύγκρουσης απουσιάζει ενώ σήμερα είναι πραγματικότητα.»⁵⁰

⁵⁰ 22/04/2016, Ζαπορόζιε: «Δεν πρόκειται να γίνουμε το επόμενο Τσερνόμπιλ», euronews.com

Εκτός του οποιουδήποτε ατυχήματος, αστοχία σε πυρηνικό εργοστάσιο μπορεί να επέλθει και εξαιτίας τρομοκρατικού χτυπήματος. Μετά τις επιθέσεις της 11^{ης} Σεπτεμβρίου στη Νέα Υόρκη ο Λίο Σέρερ, επικεφαλής μυστικής αποστολής της Greenpeace, «πολιόρκησε» το παλαιότερο πυρηνικό εργοστάσιο στον κόσμο, στο Μπέτσναου της Ελβετίας. Ο ίδιος σχημάτισε μια οργάνωση, σκοπός της οποίας ήταν να δείξει στον κόσμο τι μπορεί να συμβεί αν οι τρομοκράτες χτυπήσουν εργοστάσια πυρηνικής ενέργειας. Χάρη στη δράση του ίδιου και της ομάδας του και την πεποίθησή τους πως οι πλημμύρες απειλούν το εργοστάσιο που είναι χτισμένο σε νησί μέσα σε ποταμό, η εταιρεία ενίσχυσε τα μέτρα ασφάλειας κατά της τρομοκρατίας παρά τους ισχυρισμούς αναφορικά με την απουσία κινδύνου από πλευράς της Επιθεώρησης Πυρηνικής Ασφάλειας.

Η έκθεση χαρακτηρίστηκε από μερίδα ακτιβιστών ως λανθασμένη και γεμάτη ψευδείς ισχυρισμούς κάνοντας λόγο για λάθος υπολογισμούς ενώ οι ίδιοι επιμένουν πως ο πυρηνικός σταθμός Μπέτσναου μπορεί να πλημμυρίσει ανά πασα στιγμή. Τα τελευταία χρόνια η εταιρεία Axpo έχει δαπανήσει 700 εκατομμύρια ελβετικά φράγκα για την αναβάθμιση του εργοστασίου ύστερα από εντολή της Ελβετικής επιθεώρησης πυρηνικής ασφάλειας στη διεύθυνση του εργοστασίου για δημιουργία αντιπλημμυρικού συστήματος ασφάλειας.⁵¹ Καταλήγοντας, ο Σέρερ έπειτα από αντιπαραβολή αρχιτεκτονικών στοιχείων και μελετών βάσει πρότερων πλημμυρίδων που έπληξαν κατά καιρούς την Μπρουγκ, μια μικρή πόλη μόλις 10 χιλιόμετρα μακριά από τη πυρηνική μονάδα του Μπέτσναου, υποστηρίζει πως το εν λόγω εργοστάσιο είναι παλιό και πρέπει να κλείσει καθώς δεν μπορεί να ανταπεξέλθει σε επικείμενες πλημμύρες ή σεισμούς τονίζοντας πως πολύ πρόσφατα ανακάλυψαν αδύναμα σημεία στο εσωτερικό του δοχείου πίεσης του αντιδραστήρα.⁵²

⁵¹ 22/04/2016, *Safety fears surround the world's oldest atomic power plant*, Euronews

⁵² Jan Haverkamp, March 2014, *Lifetime extension of ageing nuclear power plants: Entering a new era of risk*, Report commissioned by Greenpeace, Greenpeace Switzerland

Ενεργειακά οφέλη ή εγγενείς κίνδυνοι για την ανθρωπότητα⁵³

Ο σταθμός του Χανφορντ, του οποίου λόγος ύπαρξης μαζί με εκείνον του Οξερσκ ήταν ο Ψυχρός Πόλεμος, είναι ο περισσότερο μολυσμένος αλλά όχι ο μόνος. Στις εγκαταστάσεις Rocky Flats έξω από το Ντένβερ οι εργάτες είχαν αναλάβει τον σχηματισμό των “πυρήνων” από πλουτώνιο που παρήγαγε ο σταθμός του Χανφορντ. Κατά τη διάρκεια πυρκαγιών το 1957 και το 1969 μεγάλες ποσότητες ραδιενεργού καπνού είχε διαρρεύσει προκαλώντας, επί σειρά ετών, την ανησυχία γύρω από το ενδεχόμενο ατυχήματος με μορφή αλυσιδωτής πυρηνικής αντίδρασης με κέντρο την μεγάλη ποσότητα σκόνης πλουτωνίου αποθηκευμένη στις εγκαταστάσεις του σταθμού. Έπειτα από σχετική έρευνα του FBI, ο σταθμός έκλεισε το 1992 με απόφαση του προέδρου George H. W. Bush ύστερα από τεκμήρια για την κρυφή και παράνομη καύση πυρηνικών αποβλήτων κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Στο πυρηνικό εργοστάσιο Φέρναλντ του Οχάιο, που είχε σκοπό την επεξεργασία ουρανίου για οπλικούς σκοπούς, οι υπεύθυνοι απέρριπταν πυρηνικά απόβλητα σε πρόχειρους λάκκους με αποτέλεσμα την μόλυνση των υπόγειων υδάτων και ελευθέρωναν σκόνη ουρανίου από τις καπνοδόχους κάθε φορά που τα φίλτρα αστοχούσαν, γεγονός όχι σπάνιο. Αντίστοιχες αναφορές θα μπορούσαν να περιγράψουν τις πυρηνικές εγκαταστάσεις στον ποταμό Σαβάννα στη Βόρεια Καρολίνα και στο Όουκ Ριτζ στο Τεννέσι, όπου αποσιωπήθηκε πληθώρα ατυχημάτων με αποτέλεσμα την μόλυνση αέρα και νερού.

Οι λόγοι για τους οποίους οι εγκαταστάσεις παραγωγής και επεξεργασίας πυρηνικού υλικού που χρονολογούνται στη περίοδο του Ψυχρού πολέμου είχαν τόσο καταστροφικές συνέπειες για το περιβάλλον είναι τρεις. Αφενός το Αμερικανικό κράτος εκείνη την περίοδο είχε εστιάσει στη νίκη του αγώνα δρόμου παραγωγής πυρηνικών οπλών, στοχεύοντας την κατατρόπωση των Σοβιετικών πάση θυσία. Η παραγωγή ουρανίου, πλουτωνίου και οπλικού εξοπλισμού είχε μεγαλύτερη προτεραιότητα έναντι της υγείας. Ο μεγάλος αριθμός θανάτων από καρκίνο κατοίκων γειτονικών περιοχών ή των εργαζομένων των πυρηνικών σταθμών μαρτυρά πως τα

⁵³ Hugh Gusterson, 17 May 2017, *A predictable nuclear accident at Hanford*, ιστοτοπος Bulletin of the Atomic Scientists

πυρηνικά όπλα που κατασκεύαζαν από το 1945 οι Αμερικανοί για να προστατεύσουν τη χώρα τους, τελικά σκότωσαν κυρίως Αμερικανούς.

Ο δεύτερος λόγος αφορά τον κρατικό μυστικισμό. Σύμφωνα με τους κορυφαίους διανοούμενους και ερευνητές του Ψυχρού Πολέμου, Daniel Patrick Moynihan και Edward Shils, η ανομία θριαμβεύει στο σκοτάδι, και η μυστικότητα του Ψυχρού Πολέμου πρόσφερε κάλυψη του σκότους που κάλυπτε τοποθεσίες όπως εκείνη του Χανφορντ. Για δεκαετίες, κυβερνητικοί και κατασκευαστές που ήταν αρμόδιοι για τη λειτουργία των σταθμών ήταν σε θέση να απωθούν την προσοχή της κοινής γνώμης, επίμονων δημοσιογράφων, ντόπιων πολιτών ακόμη και μελών του κογκρέσου επικαλούμενοι την εθνική ασφάλεια. Οι ίδιοι καθόριζαν ποιες ζωτικής σημασίας λεπτομέρειες θα συγκαταλέγονται σε αυτά τα κρατικά μυστικά και ποιες όχι.

Γίνεται αναφορά για λεπτομέρειες πυρηνικής φύσης που δεν αφορούσαν μόνο τα σχέδια και την υλοποίηση όπλων αλλά και τους κινδύνους που προέκυπταν απ' τη παραγωγή τους. Οποιοσδήποτε αποκάλυπτε την έκταση της μόλυνσης ή δεν συμμορφωνόταν με τις οδηγίες, αυτομάτως έχανε την θέση του ή συλλαμβάνονταν. Οι κίνδυνοι στις τοποθεσίες παραγωγής πυρηνικών συνήθως ήταν απόρροια ατυχήματος ή εκούσιας κρατικής αμέλειας με εξαίρεση ορισμένα περιστατικά ηθελημένης μόλυνσης όπως το "Green Run" του 1949, όπου ο σταθμός του Χανφορντ ελευθέρωσε επίτηδες ένα αόρατο σύννεφο ραδιενεργού ιωδίου και ζίνου με σκοπό την παρακολούθηση της συμπεριφοράς του κατά την εξάπλωση.

Κατά τη διάρκεια των πρώτων δεκαετιών του Ψυχρού Πολέμου η πυρηνική τεχνολογία ήταν κάτι ρηξικέλευθο και σύνθετο. Φυσικοί, μηχανικοί και τεχνικοί εκπαιδεύονταν και ανακάλυπταν βασικές αρχές λειτουργίας, την συμπεριφορά εσωτερικών ραδιενεργών υλικών σε κάθε συνθήκη και πως απορροφούνταν τα πυρηνικά απόβλητα από το περιβάλλον. Όπως και σε κάθε άλλη καινοτομία, οι άνθρωποι έμαθαν μέσα από τα λάθη τους. Δυστυχώς, στη προκειμένη περίπτωση τα λάθη αυτά αντιστοιχούν σε υψηλής μόλυνσης περιοχές παραγωγής που με τα χρόνια κερδίζουν τον χαρακτηρισμό τους ως περιοχές εθνικής θυσίας. Ο τίτλος "Θα μπορέσει ποτέ το Χάνφορντ να καθαρίσει" του άρθρου το 2013 στην εφημερίδα Seattle Times επισημαίνει τις ανησυχίες που προκύπτουν αν αναλογιστούμε πόση

λίγη διαφορά στα επίπεδα μόλυνσης της περιοχής έχει επιφέρει η ύψους 36 δισεκατομμυρίων επιχείρηση καθαρισμού.

Τότε η παθολογία του Ψυχρού Πολέμου ήταν απόκρυφη σε μια ατμόσφαιρα συναγερμού. Τώρα είναι ακριβώς αντίθετα, ο λόγος έγκειται στο γεγονός πως όσο περισσότερο μολυσμένη είναι μια περιοχή τόσο περισσότερο πόρους θα κληθεί το Κογκρέσο να διαθέσει για την επαναφορά της υγείας του οικοσυστήματος. Η πλειοψηφία των επίσημων απαιτούμενων επιχειρησιακών χρονοδιαγραμμάτων εκτείνονται πέραν του χρόνου ζωής πολλών πολιτών. Με δυο λόγια το θέμα της ραδιολογικής έκθεσης και ταυτόχρονα εξυγίανσης έχει γίνει από αντικείμενο ντροπής, μυστικισμού και αποσιώπησης αντικείμενο προς εκμετάλλευση. Κάθε νέα πρόταση για διαδικασίες εκκαθάρισης δίνει πνοή σε προωθητικές εκστρατείες, προσφέρει θέσεις εργασίας και όραμα σε επιστήμονες και κατασκευαστές. Δυστυχώς, προς το παρόν, παρά τις τόσες και άρτια ενημερωμένες βάσεις δεδομένων με τα αντίστοιχα ενημερωτικά και ερευνητικά εργαλεία ο κανόνας θέλει ακόμη την πλειοψηφία πρωτοβουλιών ανοικοδόμησης και εκκαθάρισης να ξεκινούν με αφορμή αστοχίες, δυσλειτουργίες απρόοπτα και ατυχήματα.⁵⁴

Ωστόσο, τα ενεργειακά οφέλη είναι τεράστια συγκριτικά με οποιαδήποτε άλλη μορφή ενέργειας και αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο συνεχίστηκε η προσπάθεια εκμετάλλευσης της πυρηνικής ενέργειας από τον άνθρωπο για ειρηνικούς σκοπούς παρά το πλήθος παραδειγμάτων περί των καταστροφικών συνεπειών που μπορεί να επιφέρουν οι εφαρμογές της. Μετά τη καταστροφή το 2011 στη Φουκουσίμα, πολλές οικονομίες και ιδιαιτέρως οι ανεπτυγμένες αναθεώρησαν και περιόρισαν τα επεκτατικά σχέδια που αφορούσαν στη χρήση της πυρηνικής ενέργειας.⁵⁵

Το 2012 η παραγωγή πυρηνικής ενέργειας ανήλθε στο 4.5% της κατανάλωσης παγκοσμίως, τη μικρότερη τιμή από το 1984, ενώ υπολογίζεται πως ήταν η δεύτερη κατά σειρά χρονιά μείωσης στη παγκόσμια παραγωγή-κατανάλωση πυρηνικής ενέργειας με πρωτοφανή ποσοστά που αντιστοιχούν σε πτώση 6.9% ετησίως σε ένα ισοδύναμο 560 εκατομμυρίων τόνων πετρελαίου και οφείλεται στη κατά 90%

⁵⁴ Hugh Gusterson, 17 May 2017, *A predictable nuclear accident at Hanford*, ιστοτοπος Bulletin of the Atomic Scientists

⁵⁵ January 14, 2014, Special Report: Global Dependence on Nuclear Energy Drops , Euromonitor Research

μειωμένη παραγωγή της Ιαπωνίας. Η Γερμανία προέβη σε παύση λειτουργίας οκτώ πυρηνικών αντιδραστήρων, με την κρατική παραγωγή να σημειώνει μείωση από το 25%, που κατείχε τον Μάρτη του 2011, στο 18.0% επί της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Παγκοσμίως οι πυρηνικοί αντιδραστήρες σε λειτουργία αριθμούσαν σε 434 το 2012 από 442 που ήταν σε λειτουργία το 2010. Από την άλλη η Ιαπωνία, κατέχοντας την τρίτη θέση παγκοσμίως σε παράγωγη πυρηνικής ενέργειας το 2010 που ισοδυναμούσε με 66.2 εκατομμύρια τόνους πετρελαίου, έφθασε το 2012 τους 4.1 εκατομμύρια τόνους πετρελαίου, ενώ στο μεσοδιάστημα έπαυσαν την λειτουργία τους 5 πυρηνικοί αντιδραστήρες της.

Σε εθνολογική βάση κατά το 2012, η Ευρώπη και η Ευρασία εξακολουθούν να σημειώνουν τη μεγαλύτερη κατανάλωση παγκοσμίως, ένα ισοδύναμο της τάξης περίπου 267 εκατομμύρια τόνων πετρελαίου, που αποτελεί το 47.6% της παγκόσμιας κατανάλωσης πυρηνικής ενέργειας, με τα ποσοστά για την Βόρεια Αμερική και την Ασία να ανέρχονται σε 36.9% και 13.9% αντιστοίχως. Στον αντίποδα Κεντρική και Νότια Αμερική κατέχουν μερίδιο 5.0% ενώ τα χαμηλότερα ποσοστά κατέχουν η Κεντρική Ασία και η Αφρική με 3.5% επί της παγκόσμιας πυρηνικής κατανάλωσης, καθώς Νότια Αφρική και Ιράν είναι οι μόνες χώρες που παράγουν και χρησιμοποιούν πυρηνική ενέργεια.



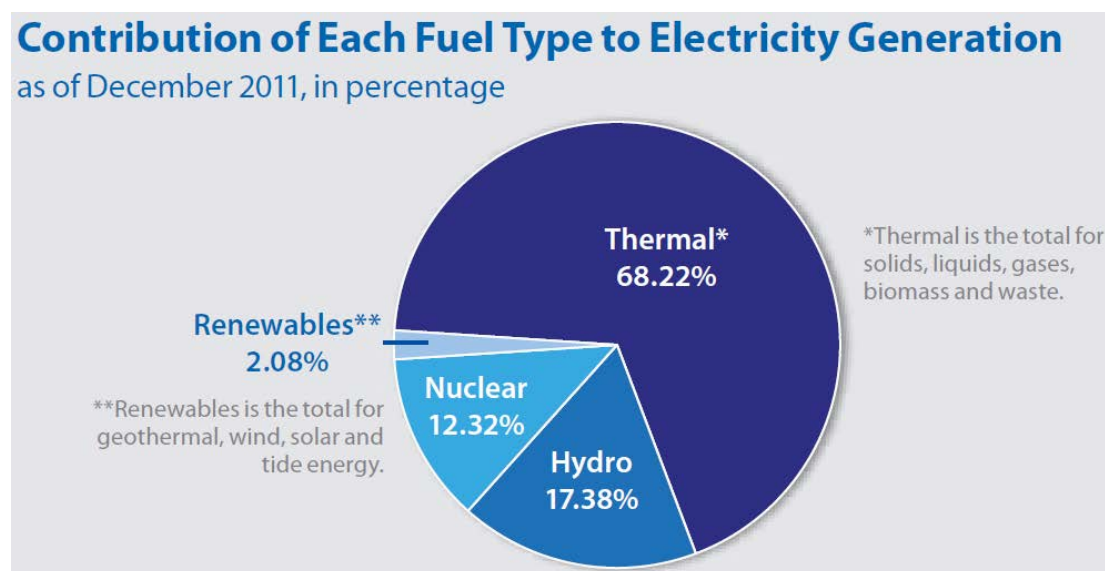
Σε κρατικό επίπεδο, εκ των 30 χωρών παγκοσμίως τα πρωτεία κατέχουν οι Η.Π.Α. με παραγωγή που ανέρχεται σε 8.313 εκτοβάτς (1hW=100W) ηλεκτρισμού και κατανάλωση που αντιστοιχεί σε 183 εκατομμύρια τόνους πετρελαίου ή 32.7% της παγκόσμιας κατανάλωσης πυρηνικής ενέργειας. Τις Η.Π.Α. ακολουθούν Γαλλία και Νότια Κορέα προσμετρώντας 17.2% και 6.1% αντίστοιχα, με τη Γαλλία να κατέχει το μεγαλύτερο δίκτυο εξαγωγής ηλεκτρισμού παγκοσμίως ενώ το 75.0% της κρατικής ηλεκτροδότησης προέρχεται από τη χρήση εφαρμογών της πυρηνικής ενέργειας. Συγκεκριμένα σύμφωνα με την World Atomic Association το έτος 2013, 442



αντιδραστήρες παγκοσμίως κάλυπταν το 15% των ενεργειακών αναγκών του πλανήτη.

Η αυξανόμενη τιμή των ορυκτών καυσίμων καθώς και οι αυξανόμενες ενεργειακές απαιτήσεις οδηγούν σε σημαντικές επεκτάσεις των εφαρμογών της πυρηνικής ενέργειας σε ανερχόμενες οικονομίες όπως αυτές της Νότιας Αφρικής, της Κίνας, της Ινδίας, της Ρωσίας και της Βραζιλίας, με τις 4 τελευταίες να κατέχουν τους 44 από τους 62 παγκοσμίως αντιδραστήρες υπό κατασκευή για το έτος 2012. Η ίδια χρονιά βρίσκει την Κίνα με τον μεγαλύτερο αριθμό αντιδραστήρων υπό κατασκευή, 26 συνολικά, ενώ σε λειτουργία βρίσκονται ήδη 15 πυρηνικοί αντιδραστήρες και τα σχέδια της περιλαμβάνουν τον τετραπλάσιο αριθμό μέχρι το 2020.

Επιστημονικό τεκμήριο αποτελεί το γεγονός ότι η πυρηνική ενέργεια συγκαταλέγεται στις πιο καθαρές μορφές ενέργειας καθώς κατά την παραγωγή 2518TWh ηλεκτρικής ενέργειας σημειώνονται εκπομπές 73.0 εκατομμυρίων τόνων διοξειδίου του άνθρακα, έναντι 2236 και 1256 που θα σημείωνε η ίδια παράγωγή προερχόμενη από γαιάνθρακα ή φυσικό αέριο. Τα τελευταία στοιχεία παραπέμπουν στην περιβαλλοντική διάσταση καθώς αφορούν τον ευεργετικό αντίκτυπο που έχει η αύξηση στη χρήση της πυρηνικής ενέργειας για το φαινόμενο του θερμοκηπίου και τη κλιματική αλλαγή.



Η ποσοστιαία συμβολή κάθε τύπου καυσίμου στη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.⁵⁶

⁵⁶ March 2013, IAEA Bulletin 54-1

Παρά τους κινδύνους που έχουν να κάνουν με την ασφάλεια, τα αντιπυρηνικά κινήματα παγκοσμίως και την χαμηλή τιμή του φυσικού αερίου, μόνο η Γερμανία και η Σουηδία φαίνεται να στοχεύουν στη παύση της χρήσης της πυρηνικής ενέργειας. Οι Η.Π.Α με τη σειρά τους κάνουν στροφή στο φυσικό αέριο κυρίως λόγω τιμής και πρόσβασης, ενώ λόγοι προβληματισμού παραμένουν η ασφάλεια των πυρηνικών αντιδραστήρων και η ασφαλής απόρριψη των πυρηνικών αποβλήτων για αρκετές οικονομίες όπως αυτή της Αυστραλίας, Νέας Ζηλανδίας, της Ιταλίας, της Ελλάδας, της Δανίας και της Νορβηγίας. Την ίδια στιγμή, το Η.Β υπογράφει συμφωνία με την Γαλλική εταιρία ηλεκτρικής ενέργειας EDF που θέλει την κατασκευή νέου πυρηνικού αντιδραστήρα μέχρι το 2023.⁵⁷

⁵⁷ January 14, 2014, *Special Report: Global Dependence on Nuclear Energy Drops* , Euromonitor Research

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - SAFEGUARDS, ΟΙ ΕΓΓΥΗΤΕΣ ΤΟΥ Δ.Ο.Α.Ε.⁵⁸

Το τμήμα του Δ.Ο.Α.Ε. που αναφέρεται στους safeguards ουσιαστικά αφορά ένα σύστημα ανθρώπων και γνωστικού αντικειμένου, με σκοπό τον έλεγχο και την πιστοποίηση των ειρηνικών χρήσεων των πυρηνικών υλικών σε συμφωνία με την NPT (Nuclear Non-Proliferation Treaty), της συνθήκης μη διάδοσης των πυρηνικών οπλών, υπό την επίβλεψη και την καθοδήγηση του Δ.Ο.Α.Ε.. Διευθυντής του τμήματος των safeguards είναι ο αναπληρωτής γενικός διευθυντής του Δ.Ο.Α.Ε. Massimo Arago, σύμφωνα με τον οποίο αποστολή του τμήματος είναι “η διαχείριση και η ενσωμάτωση των safeguards του Δ.Ο.Α.Ε. σε κρατικά πλαίσια , η συνεισφορά στον έλεγχο και τον αφοπλισμό των πυρηνικών οπλών, κάτι που κατορθώνεται με την άμεση απόκριση σε αιτήσεις που αφορούν εκτιμήσεις, επαληθεύσεις και τεχνική υποστήριξη σχετικών συμφωνιών και σχεδιασμών.”

Το τμήμα διαρθρώνεται από το υποτμήμα των επιχειρήσεων και εκείνο της υποστήριξης. Το τμήμα των επιχειρήσεων έχει ευθύνη την επιθεώρηση με τη διεξαγωγή ελέγχων στα κράτη μέλη του Δ.Ο.Α.Ε. και την τελική επιβεβαίωση πως τηρούν τις υποχρεώσεις και δεσμεύσεις της NPT, της συνθήκης μη διάδοσης των πυρηνικών οπλών. Το τμήμα της υποστήριξης προσφέρει τα εργαλεία και τις υπηρεσίες ώστε να ολοκληρωθούν οι έλεγχοι του τμήματος αποστολών, καθώς των ελέγχων έπεται σύγκριση στοιχείων έναντι εκείνων του κρατικού πυρηνικού προγράμματος, όπως το ίδιο δηλώνεται στον Δ.Ο.Α.Ε., και την παρατήρηση των πραγματικών συνθηκών.

Η ομιλία του Ντουάιτ Αϊζενχάουαρ το 1953 ήταν το πρώτο βήμα στην εγκαθίδρυση κανονισμών γύρω από την πυρηνική δραστηριότητα, ώστε να διασφαλιστεί ο αποκλειστικά ειρηνικός σκοπός της επιστημονικής έρευνας σχετικά με την πυρηνική τεχνολογία. Βασική ιδέα του Αϊζενχάουαρ ήταν πως κράτη με εναπομείναν πυρηνικό υλικό θα συνεισέφεραν στην υλοποίηση μιας παγκόσμιας τράπεζας καυσίμων, ώστε να επιτευχθεί ο έλεγχος της διάθεσης και της διανομής χρησιμοποιημένου πυρηνικού υλικού.

⁵⁸ *IAEA safeguards*, Wikipedia

Οι διαπραγματεύσεις των safeguards ήταν αμφιλεγόμενες λόγω της ιδέας που περιέκλειαν γύρω από την προώθηση της πυρηνικής ενεργείας. Ωστόσο, τελικά βοήθησαν στην αποσαφήνιση της λεπτής διαχωριστικής γραμμής μεταξύ της χρήσης της πυρηνικής τεχνολογίας για ειρηνικούς σκοπούς και εκείνης για τη δημιουργία οπλικής τάξης υλικού, που πιθανώς θα μπορούσε να αξιοποιηθεί σε στρατιωτικούς σκοπούς. Τελικά προσφέρουν εγγυήσεις σχετικά με την τήρηση της συνθήκης όχι μόνο των κρατών με γνωστές πυρηνικές οπλικές υποδομές και δραστηριότητες αλλά και εκείνων που δεν διαθέτουν πυρηνικά όπλα.⁵⁹

Νομικό πλαίσιο

Η συνθήκη Information Circular 66(INFCIRC 66) αποτελεί μια συμφωνία των κρατών μελών που υπόσχεται την οριστικοποιημένη δράση των safeguards και τον σαφή ορισμό των εγκαταστάσεων που κάθε κράτος αναγνωρίζει ότι άπτονται των αρμοδιοτήτων και της δικαιοδοσίας των safeguards. Η NPT υπογράφηκε το 1968 και τέθηκε σε εφαρμογή το 1970. Η συνθήκη καθορίζει τα κράτη έχοντες πυρηνικά όπλα, και τα δεσμεύει σε υποχρεωτικές ενέργειες υπέρ της αφοπλισής. Επίσης, υποχρεώνει εκείνα που δεν έχουν πυρηνικά όπλα σε συμμόρφωση με τους κανονισμούς του Δ.Ο.Α.Ε. και τις προσταγές των safeguards. Σύμφωνα με την INFCIRC/153 τα κράτη μέλη υποχρεώνονται να δεχτούν τους safeguards σε κάθε πηγή πυρηνικού υλικού σε όλες τις ειρηνικές πυρηνικές δραστηριότητες εντός των συνόρων τους, στην κατεύθυνση της εξασφάλισης πως δεν πρόκειται να διατεθούν για οπλικούς σκοπούς ή για τη δημιουργία πυρηνικών εκρηκτικών συσκευών.⁶⁰

⁵⁹ IAEA safeguards, Wikipedia

⁶⁰ Austria June 1972, *THE STRUCTURE AND CONTENT OF AGREEMENTS BETWEEN THE AGENCY AND STATES REQUIRED IN CONNECTION WITH THE TREATY ON THE NON-PROLIFERATION OF NUCLEAR WEAPONS*, IAEA

Μέτρα πιστοποίησης⁶¹

Η δράση των safeguards στηρίζεται σε εκτιμήσεις της πληρότητας και της ορθότητας στη χρήση πυρηνικού υλικού και τις δραστηριότητες σχετικές με τη πυρηνική ενέργεια του εκάστοτε κράτους, σύμφωνα με τις πρότερες διακηρύξεις του. Περιλαμβάνουν επιτόπιες αυτοψίες μέσω επισκέψεων σε αναφερόμενους χώρους και τη διεξαγωγή επίβλεψης και εκτιμήσεων. Ουσιαστικά τα μέτρα πιστοποίησης αναλύονται σε δυο βασικά μέρη. Το πρώτο σχετίζεται με τη πιστοποίηση της ισχύος των κρατικών εκθέσεων του δηλωθέντος πυρηνικού υλικού και αντίστοιχων εργασιών. Οι εκθέσεις αυτές αφορούν τη λογιστική καταγραφή του πυρηνικού υλικού καθώς και τις τεχνικές αποθήκευσης και επιτήρησης, όπως σφραγίδες που εξασφαλίζουν το απαραβίαστο και κάμερες παρακολούθησης που εγκαθιστά ο Δ.Ο.Α.Ε..

Το δεύτερο μέρος αφορά στην ενίσχυση των ελεγκτικών δυνατοτήτων του Δ.Ο.Α.Ε., μέτρα γνωστά ως “Επιπρόσθετο Πρωτόκολλο”. Αποτελούν συμπληρωματικά νομικά έγγραφα σχετικά με την αναλυτική δράση και τις αρμοδιότητες των safeguards. Κύριος στόχος τους είναι εκτός της μη παρέκκλισης σε αρχές λειτουργίας που αφορούν τη χρήση του πυρηνικού υλικού, η παροχή εχεγγών για την απουσία αδήλωτου πυρηνικού υλικού ή πυρηνικής δραστηριότητας σε κρατικά επίπεδα.

Είδη επιθεωρήσεων

Ο Δ.Ο.Α.Ε. πραγματοποιεί ποικίλες επιτόπιες επιθεωρήσεις, αυστηρά ορισμένες από υπογεγραμμένες δεσμεύσεις και συμφωνίες. Οι εξειδικευμένες επιθεωρήσεις στοχεύουν στην επικύρωση ή μη των αρχικών εκθέσεων του κάθε κράτους και τον έλεγχο των πυρηνικών υλικών που συμμετέχουν σε διακρατικές μεταφορές. Οι έλεγχοι ρουτίνας αποτελούν την πιο συχνή μορφή ελέγχου και ως επί το πλείστον διεξάγονται είτε σύμφωνα με εξαγγελθέν πρόγραμμα είτε ξαφνικά ακολουθώντας βραχυπρόθεσμες ειδοποιήσεις.

⁶¹ IAEA Safeguards Overview, iaea.org

Το δικαίωμα ελέγχου της υπηρεσίας εξαντλείται στις τοποθεσίες που είναι γνωστό πως εμπλέκονται στη χρήση αποθήκευση ή μεταφορά πυρηνικού υλικού. Ειδικές επιθεωρήσεις μπορεί να διεξαχθούν υπό συνθήκες, σύμφωνα με σαφώς ορισμένες διαδικασίες. Έγκριση τέτοιων ελέγχων γίνεται όταν διαπιστωθεί πως οι διαθέσιμες από το κράτος πληροφορίες σε παραλληλία με εκείνες που συλλέχτηκαν από τους ελέγχους ρουτίνας δεν επαρκούν ώστε η υπηρεσία να ανταποκριθεί στις αρμοδιότητες και τις δεσμεύσεις της. Οι επισκέψεις των safeguards στις δηλωθείσες τοποθεσίες σε κατάλληλους χρόνους μπορεί να στοχεύουν στην επαλήθευση πληροφοριών σχεδιασμού. Για παράδειγμα, κατά τη κατασκευή μιας υποδομής προκειμένου να εξακριβωθεί αν ακολουθείται ο αρχικός σχεδιασμός, κατά τη διάρκεια λειτουργιών ρουτίνας, κατά τη διάρκεια λειτουργιών συντήρησης ώστε να βεβαιωθούν πως δεν λαμβάνει χώρα παρέκκλιση ικανή να επιτρέψει μη εξουσιοδοτημένες ενέργειες ή κατά τον παροπλισμό μιας εγκατάστασης για να εγγραφεί πως ο εξοπλισμός θα περιοριστεί κατάλληλα. Οι έλεγχοι του Δ.Ο.Α.Ε. μπορεί να περιλαμβάνουν και την επέμβαση σε λογιστικά και λειτουργικά στοιχεία καταγραφών ώστε να είναι εφικτή η σύγκρισή τους με τα επίσημα στοιχεία στις εκθέσεις του κράτους.

Διατάξεις που υπάγονται στο “Επιπρόσθετο Πρωτόκολλο”

Το επιπρόσθετο πρωτόκολλο είναι ένα νομικό έγγραφο που εξασφαλίζει την συμπληρωματική δράση του Δ.Ο.Α.Ε., που παρέχεται από τις συμφωνίες των safeguards. Πρωταρχικός στόχος αποτελεί η δυνατότητα παροχής από μέρους του Δ.Ο.Α.Ε. εγγυήσεων που αφορούν αμφοτέρως τις δηλωθείσες και μη δράσεις. Υπό το Επιπρόσθετο πρωτόκολλο ο Δ.Ο.Α.Ε. αποκτά εκτεταμένα δικαιώματα πρόσβασης σε πληροφορίες και τοποθεσίες. Αφορά σε κρατικές πληροφορίες επιτήρησης καθ’ όλον τον κύκλο των πυρηνικών καυσίμων, συμπεριλαμβανομένων της εξόρυξης ουρανίου, της κατασκευής των καυσίμων των εγκαταστάσεων εμπλουτισμού και των εγκαταστάσεων αποθήκευσης πυρηνικών αποβλήτων, δηλαδή εν γένει οποιαδήποτε τοποθεσία έχει ή δύναται να έχει μελλοντικά σχέση με πυρηνικό υλικό. Στοχεύει στην διευκρίνιση απροσδιοριστιών κατά τη κρατική πληροφόρηση. Της ξαφνικής επιθεώρησης προηγείται βραχυπρόθεσμη ειδοποίηση, συνήθως 24 ωρών πριν την επίσκεψη. Το χρονικό περιθώριο μειώνεται και μπορεί να φθάσει ακόμη και τις δυο

ώρες πριν σε περιπτώσεις όπου πραγματοποιείται έλεγχος ρουτίνας ή συλλογή πληροφοριών κατά τον αναγγελλμένο προγραμματισμό.

Οι δραστηριότητες ελέγχου των safeguards μπορεί να περιλαμβάνουν έλεγχο των αρχείων καταγραφής, οπτική παρατήρηση, περιβαλλοντολογική συλλογή δειγμάτων και δραστηριότητες ανίχνευσης ραδιενέργειας. Τα περιβαλλοντικά δείγματα ευρύτερης περιοχής απαιτούν έγκριση του συμβούλιου του Δ.Ο.Α.Ε., το οποίο αποφαιίνεται συμβουλευόμενο τις κρατικές θέσεις. Η ανάλυση των δειγμάτων γίνεται στο Clean Laboratory του Δ.Ο.Α.Ε. και/ή στο χημείο του κάθε κράτους. Οι safeguards έχουν πρόσβαση σε διεθνώς αναγνωρισμένα και καθιερωμένα δορυφορικά συστήματα τηλεπικοινωνιών και τους παρέχονται απρόσκοπτα άδειες εισόδου σε όλα τα επίπεδα των εγκαταστάσεων.⁶²

Ο ρόλος των safeguards στην εξόρυξη ουρανίου⁶³

Τα εργοστάσια εξόρυξης και επεξεργασίας ουρανίου διαχειρίζονται τεράστιες ποσότητες ουρανίου και είναι υπόλογα στον Δ.Ο.Α.Ε. μέσω του επιπρόσθετου πρωτόκολλου που συνεισφέρει στις ήδη αυξημένες αρμοδιότητες των safeguards. Σύμφωνα με τον Ράσελ Λέσλι (Russell Leslie), ειδικό που απαρτίζει την ομάδα των safeguards «Η πιστοποίηση στα εργοστάσια παραγωγής ουρανίου προκύπτει μέσα από εμπειριστάωμένη ανάλυση. Η πληροφορία που προκύπτει από τις τοποθεσίες παραγωγής και επεξεργασίας ουρανίου διασταυρώνεται με τα διαπιστευτήρια του Κράτους και συγκρίνεται με το υπόλοιπο σχετικό υλικό των safeguards, ώστε να εξασφαλίσει η τήρηση των συμφωνηθέντων.»

Τα Κράτη-μέλη του Δ.Ο.Α.Ε. αποδέχονται την απρόσκοπτη δράση των safeguards, οι οποίοι εξετάζουν τα εργοστάσια παραγωγής ουρανίου στα κράτη όπου βρίσκεται σε ισχύ το επιπρόσθετο πρωτόκολλο. Το επιπρόσθετο πρωτόκολλο προσφέρει προνόμια που σχετίζονται με την αυξημένη πληροφόρηση γύρω από τον κύκλο παραγωγής καυσίμου, εργοστάσια παραγωγής ουρανίου και συγκέντρωσης θορίου, και τη φυσική πρόσβαση σε αντίστοιχες κρατικές εγκαταστάσεις. Μέχρι και

⁶² IAEA Safeguards Overview, iaea.org

⁶³ Matt Fisher, June 2018, *safeguards at uranium mines provide more complete picture of countries' nuclear activities*, IAEA Bulletin

σήμερα, 132 κράτη-μέλη έχουν θέσει σε ισχύ το επιπρόσθετο πρωτόκολλο, στις οποίες συμπεριλαμβάνεται το σύνολο των χωρών με λειτουργικά εργοστάσια παραγωγής ουρανίου. Η παραχώρηση επαυξημένων ελευθεριών και αρμοδιοτήτων στους safeguards συνεισφέρει στην εμπιστοσύνη για την ειρηνική φύση των προγραμμάτων πυρηνικής ενέργειας του εκάστοτε κράτους.

Στην Αυστραλία, μια από τις μεγαλύτερες παραγωγούς ουρανίου παγκοσμίως, ο Δ.Ο.Α.Ε. πραγματοποιεί κατά μέσο όρο μία συμπληρωματική αυτοψία σε κάποιο ενεργό εργοστάσιο παραγωγής ουρανίου κάθε χρόνο. Κατά τις συμπληρωματικές αυτοψίες οι διακρατικοί επιθεωρητές συνοδεύονται από προσωπικό του τμήματος των safeguards της Αυστραλίας και του γραφείου για την NPT σε δραστηριότητες που συμπεριλαμβάνουν οπτική παρατήρηση, μη συμπερασματική ανάλυση και ενδελεχή έλεγχο των αρχείων καταγραφής για την παράγωγη και αποστολή του ουρανίου. Η συλλογή δειγμάτων προϋποθέτει τη συλλογή ουρανίου πριν και μετά την επεξεργασία του αλλά και εκείνου σε διάθεση προς περισυλλογή από το εργοστάσιο. Στη συνέχεια εφαρμόζουν ειδικό βαμβάκι σε συγκεκριμένες επιφάνειες των εγκαταστάσεων οι οποίες θα ήταν σε θέση να μαρτυρήσουν ίχνη παράνομης δραστηριότητας κατά την ανάλυση.⁶⁴

Αποτελέσματα των safeguards κατά το έτος 2016

Το 2016, ο Δ.Ο.Α.Ε. συμπερασματολόγησε για την καθολική ειρηνική χρήση της πυρηνικής ενέργειας σε 60 κράτη και την ειρηνική χρήση του δηλωθέντος πυρηνικού υλικού άλλων 104 κρατών. Τα ευρήματα παρουσιάστηκαν στο συμβούλιο των κυβερνητών του Δ.Ο.Α.Ε., κατά την ετήσια έκθεση των safeguards (SIR-Safeguards Implementation Report) στις 14 Ιουνίου 2017. “Τα ευρήματα βασίζονται σε εμπεριστατωμένη αξιολόγηση πληροφοριών που συλλέχτηκαν στις τοποθεσίες και την εξειδικευμένη ανάλυση στις εγκαταστάσεις μας κατά τη διάρκεια της προηγούμενης χρονιάς” δήλωσε ο γενικός διευθυντής του Δ.Ο.Α.Ε. Yukiya Amano.

Ο τύπος των συμπερασμάτων ποικίλει αναλόγως των αρχικών δεσμεύσεων του εκάστοτε κράτους απέναντι στους safeguards. Μόνο στις περιπτώσεις κρατών με

⁶⁴ Matt Fisher, June 2018, *safeguards at uranium mines provide more complete picture of countries' nuclear activities*, IAEA Bulletin

ισχύουσες ενδεδειγμένες δεσμεύσεις στους safeguards και το επιπρόσθετο πρωτόκολλο εν ενέργεια υπάρχει επαρκής πληροφορία ώστε να είναι σε θέση η υπηρεσία να εξαγάγει αξιόπιστα διαπιστευτήρια προς γνώση της διεθνούς κοινότητας για τη μη παρέκκλιση στη χρήση του παραγόμενου πυρηνικού υλικού και την απουσία μη δηλωθείσας πυρηνικής δραστηριότητας.⁶⁵



Εκπαίδευση και κατάρτιση⁶⁶

Μετά από 3μηνη εκπαίδευση οι σπουδαστές καλούνται να εξεταστούν ώστε να ξεκινήσει η πρακτική τους άσκηση με τις πρώτες επιθεωρήσεις σε πυρηνικές εγκαταστάσεις ανά τον κόσμο. Η υπηρεσία εφαρμόζει τα μέτρα των safeguards σε πάνω από 170 χώρες, με διερεύνηση πάνω από 900 χώρων παραγωγής αποθήκευσης επεξεργασίας ή μεταφοράς πυρηνικού υλικού. Υπάρχουν περίπου 250 επιθεωρητές

⁶⁵ September 2017, *Nuclear safeguards conclusions presented in 2016 Safeguards Implementation Report*, IAEA Bulletin

⁶⁶ Louise Potterton, April 2010, *Training the newly recruited safeguards inspectors*, page 36, IAEA Bulletin 51-2

και κάθε χρόνο πραγματοποιούνται εισαγωγικά μαθήματα και διαγωνισμοί για τον διορισμό νέων.

Η Therese Renis, έμπειρη επιθεωρήτρια και αρμόδια κάποιων εισαγωγικών μαθημάτων δήλωσε πως “Οι safeguards πιστοποιούν δηλωμένο πυρηνικό υλικό σε δηλωθείσες τοποθεσίες και επιπροσθέτως των μετρήσεων αναθεωρούν τα λογιστικά στοιχεία και επιθεωρούν τα βιβλία γυρεύοντας στοιχεία και υποδείξεις πιθανής αδήλωτης πυρηνικής δραστηριότητας. Υπάρχουν αρκετά έτοιμα εργαλεία και τεχνολογίες που θα πρέπει να μάθουν οι νέοι επίδοξοι επιθεωρητές. Πρέπει να κατανοήσουν τη δομή ολοκλήρου του συστήματος των safeguards για αρχή, το νομικό υπόβαθρο και τις υποσημειώσεις για τις διεργασίες που πραγματοποιούμε.” Πρόσθεσε πως θα πρέπει να μάθουν να αξιοποιούν και να χειρίζονται τον εξοπλισμό αλλά και να εξοικειωθούν με την καταγραφή των ευρημάτων κατά την επιστροφή τους στη βάση του Δ.Ο.Α.Ε., ύστερα από κάποια επιθεώρηση.

Μέρος στον διαγωνισμό του 2010 πήραν 13 άτομα από όλο τον κόσμο. Εξετάστηκαν γραπτά και προφορικά, ολοκληρώνοντας την αξιολόγησή τους μέσω πρακτικής άσκησης. Ένας μελλοντικός επιθεωρητής από το Μεξικό δήλωσε πως οι εξετάσεις ήταν πολύ απαιτητικές αλλά και ενδιαφέρουσες και πως ο ίδιος βλέπει την αποστολή των safeguards ως πρόκληση αλλά και προνόμιο ταυτόχρονα, καθώς του δίνεται η ευκαιρία να γίνει μέρος ενός συστήματος που εργάζεται υπέρ της παγκόσμιας ειρήνης και ασφάλειας. Φυσικός που εργάζεται για την Εθνική Επιτροπή Πυρηνικής Ενεργείας και τους safeguards στο Μεξικό πρόσθεσε πως “ανεξάρτητα από τη μητρική γλώσσά του καθενός στο τέλος όλοι μιλούσαν την ίδια γλώσσα και ήταν εκείνη των επιθεωρητών των safeguards”.

Υποψήφιος από τη Νιγηρία που επιμορφώθηκε σε κομμάτια πυρηνικής φυσικής και εργάζονταν μέχρι πρότινος για λογαριασμό της Βρετανικής υπηρεσίας πυρηνικών καυσίμων δήλωσε πως η δουλειά τον προσέλκυσε επειδή θέλει να εκπροσωπήσει την Αφρική στο παγκόσμιο γίγνεσθαι και να γίνει μέλος της ομάδας που «κάνει τον κόσμο ένα ασφαλέστερο μέρος». Πρόσθεσε «ως επιθεωρητής του Δ.Ο.Α.Ε. πρέπει να βεβαιωθούμε πως οι κρατικοί φορείς εκμεταλλεύονται τη πυρηνική ενέργεια για ειρηνικούς κατ’ αποκλειστικότητα σκοπούς».

Γενικά οι επιθεωρητές ταξιδεύουν περίπου 100 μέρες το χρόνο και αναλόγως της τοποθεσίας μπορεί να λείπουν ακόμη και για 4 εβδομάδες. Το 2009

πραγματοποιήθηκαν περισσότερες από 2000 επιθεωρήσεις. Θέσεις για νέους επιθεωρητές ανακοινώνονται περιοδικά στον ισότοπο της υπηρεσίας. Οι υποψήφιοι πρέπει να είναι απόφοιτοι πανεπιστήμιου στην μηχανική ή την επιστήμη και γνώστες της πυρηνικής ενεργείας.⁶⁷



Πριν και μετά: περιβαλλοντική αποκατάσταση πρώην εργοστάσιου εξόρυξης ουρανίου στην Γαλλική περιφέρεια Λιμουζίν. Ο Δ.Ο.Α.Ε. προάγει και θεμελιώνει την διακρατική συνεργασία και συντονισμό στον διαμοιρασμό της γνώσης και την ένταξη καινοτομιών σε μελέτες αποκατάστασης.⁶⁸

Υπερνικώντας τις προκλήσεις⁶⁹

Ο γενικός διευθυντής του τμήματος των safeguards το 2016 Herman Nackaerts μίλησε για τις κυριότερες προκλήσεις που αντιμετωπίζει η υπηρεσία κατά την εφαρμογή των μέτρων και για το σχέδιο αντιμετώπισης κατά τις επόμενες δεκαετίες.

Η κυριότερη πρόκληση στο κοντινό μέλλον των επόμενων ετών παραμένει η κατανόηση των πυρηνικών προγραμμάτων και δραστηριοτήτων των κρατών μελών. Τέτοια κατανόηση επιτυγχάνεται μέσω της πιστοποίησης των δραστηριοτήτων, της

⁶⁷ Louise Potterton, April 2010, *Training the newly recruited safeguards inspectors*, page 36, IAEA Bulletin 51-2

⁶⁸ September 2016, *Nuclear Safety and Security*, IAEA Bulletin, 60th anniversary special edition, page 23

⁶⁹ Sasha Henriques, *Overcoming Safeguards Challenges*, IAEA Bulletin 52-2-2011, page 50, chapter 8:safeguards

συλλογής πληροφοριών και την ανάλυση τους, η οποία εξασφαλίζει μια έγκυρη συμπερασματολογία σχετικά με τις πυρηνικές υποδομές των κρατών, την απουσία παράτυπου υλικού και δραστηριότητας και ως εκ τούτου την ειρηνική φύση των προγραμμάτων.

Χώρες που μέχρι πρότινος δεν κατείχαν πυρηνική βιομηχανία, εγκαταστάσεις ή εξειδίκευση δείχνουν τώρα ενδιαφέρον στην ανάπτυξη πυρηνικών προγραμμάτων. Αυτή η τάση θα επηρεάσει τους safeguards όχι μόνο στο βαθμό του αυξημένου αριθμού εγκαταστάσεων προς επιθεώρηση αλλά και στην κατάρτιση των χωρών αυτών ώστε να επιτευχθεί η κατανόηση των υποχρεώσεων τους, το πρωτόκολλο που θα ακολουθείται κατά τις επιθεωρήσεις αλλά και τελικά τις απαιτήσεις και προσδοκίες που η υπηρεσία θα αναπτύξει απέναντι τους.

Στις περιπτώσεις χωρών υπόπτων για αμφιλεγόμενες δραστηριότητες και όχι τόσο ξεκάθαρη τήρηση των συμφωνιών τους, η πρόκληση έγκειται στην τελεσιδικία σε ένα επίπεδο φιλικό και προσοδοφόρο και προς τις δυο πλευρές. Πρέπει να αυξηθεί η αποδοτικότητα, κάτι που επιβάλλει να επιστήσουμε τη προσοχή μας στα πραγματικά ρίσκα και κινδύνους. Για να επιτευχθεί το προαναφερθέν απαιτείται η καλύτερη διαθέσιμη τεχνολογία. Έτσι η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών παραμένει πρώτη προτεραιότητα της υπηρεσίας.

Ο προσδιορισμός και η αναγνώριση των προκλήσεων

Μακροπρόθεσμα, έχει καταστρωθεί στρατηγικό σχέδιο, το οποίο εγκρίθηκε πρόσφατα, υποδεικνύοντας τον τρόπο με τον οποίο προτίθενται οι ιθύνοντες να ξεπεράσουν τους μελλοντικούς σκοπέλους. Έγινε προσπάθεια αναγνώρισης των κενών και των ελλείψεων, καθώς και των τρόπων κάλυψής τους, συνειδητοποιώντας την ανάγκη δημιουργίας και καθιέρωσης νέων έργων και εγχειρημάτων ή ανακατανομή των προϋπαρχόντων.

Σ' αυτή τη κατεύθυνση, διατίθεται έρευνα και ανάπτυξη προγραμμάτων με σκοπό την κατάδειξη τεχνικών αναγκών, με τελικό αποδέκτη τα κράτη μέλη, τα οποία είναι σε ετοιμότητα για την παροχή υποστήριξης. Μέσω του Προγράμματος Υποστήριξης Κρατών Μελών (Member State Support Programmes) παρέχεται βοήθεια στην ανάπτυξη τεχνολογιών και δεξιοτήτων καθώς και στην ανάπτυξη

σχεδίων και προσεγγίσεων με σκοπό την αναγνώριση των αναγκών αυτών. Τέλος υπάρχει ένα τεράστιο δίκτυο ιδιωτών, πολιτών και εξωτερικών οργανώσεων οι οποίοι έχουν πρόθεση την πρόσφορα των δεξιοτήτων τους.⁷⁰

Βελτιωτικές εισηγήσεις⁷¹

Τρεις εκθέσεις που εσωκλείουν καινοτόμες και ενεργητικές προτάσεις ενδυνάμωσης της πυρηνικής ασφάλειας μέσω εντατικότερων συνοριακών ελέγχων, πιο στενή διεθνή συνεργασία και δημόσια εκπαίδευση ήρθαν πρώτες στον μοναδικό στα χρονικά του ΔΟΑΕ διαγωνισμό έκθεσης με θέμα τη πυρηνική ασφάλεια.

Σύμφωνα με τον Tim Andrews, επικεφαλής του προγράμματος ανάπτυξης και του τομέα διακρατικής συνεργασίας “ οι εκθέσεις αυτές αναδεικνύουν την ξεκάθαρη και απαιτητική κατανόηση της πυρηνικής ασφάλειας και των ιδιαιτεροτήτων της, με μάτια προς το μέλλον.”

Ενόψει της Διεθνούς Σύσκεψης για την πυρηνική ασφάλεια, Δεσμεύσεις και Δράσεις, ο ΔΟΑΕ προσκάλεσε μαθητές και φοιτητές να στείλουν εκθέσεις με επίκεντρο τις προκλήσεις και προτάσεις ενδυνάμωσης της πυρηνικής ασφάλειας. Επιτροπή εμπειρογνομόνων του ΔΟΑΕ και του Διεθνούς Εκπαιδευτικού Δικτύου Πυρηνικής Ασφάλειας (International Nuclear Security Education Network) επέλεξε τρεις νικητές ανάμεσα σε 353 διεκδικητές. Οι νικητές κλήθηκαν να παρουσιάσουν τις εργασίες τους στη σύσκεψη που έλαβε τόπο στη Βιέννη το Δεκέμβριο του 2016.

Η οπτική γωνία και οι προσεγγίσεις των νέων επαγγελματιών έχουν τη δυναμική να συνεισφέρουν πρωτότυπες και απαιτητικές εννοήσεις για το μέλλον της πυρηνικής ενεργείας. Οι τρεις νικητές έλαβαν έπαθλο 2000 ευρώ, συστατική επιστολή υπογεγραμμένη από τον Γενικό Διευθυντή του ΔΟΑΕ Yukiya Amano καθώς και την κάλυψη των εξόδων συμμετοχής στο συνέδριο.

⁷⁰ Sasha Henriques, *Overcoming Safeguards Challenges*, IAEA Bulletin 52-2-2011, page 50, chapter 8:safeguards

⁷¹ December 2016, *Nuclear Security Commitments and Actions*, IAEA Bulletin, page 23

Η κοινωνική συνεισφορά στην Πυρηνική Ασφάλεια

Ένας εκ των τριών νικητών είναι η Abeer Mohamed, φοιτήτρια από το Σουδάν που σπουδάζει στο Πανεπιστήμιο Ritsumeikan της Ιαπωνίας. Το γράμμα της με τίτλο «Η ενθάρρυνση της κοινωνικής συμμετοχής ως στρατηγική στην ενίσχυση της πυρηνικής ασφάλειας στα σύνορα μας» υπογραμμίζει τους κινδύνους και τις προκλήσεις στις αναπτυσσόμενες χώρες με θολά σύνορα και περιορισμένους ελέγχους ασφάλειας εξαιτίας των ελλείψεων σε εξοπλισμό και χρηματοδότηση. Για να βελτιώσουμε την ασφάλεια των συνόρων, η ίδια προτείνει να συμπεριλάβουμε τις κοινωνίες που κατοικούν σε αυτές τις περιοχές, μέσω της εκπαίδευσης, των αυτόχθονων πολιτικών και της εγκαθίδρυσης πιο αποδοτικής επικοινωνίας αναμεταξύ των μελών της και των φορέων επιβολής των νόμων.

Η σημαντικότητα της τοπικής συνεργασίας

Μια άλλη αξιόλογη συμμετοχή είναι εκείνη της φοιτήτριας Noor Azura Zuhairah Binte Abdul Aziz από τη Σιγκαπούρη που σπουδάζει στο πανεπιστήμιο του Λονδίνου. Η εργασία της έχει τίτλο “Το μέλλον της πυρηνικής ασφάλειας στην Ανατολική Ασία: Δεσμεύσεις και δράσεις” και εστιάζει στη σημαντικότητα και τις επιπτώσεις της πυρηνικής ασφάλειας σε περιοχές της Βόρειο-Ανατολικής Ασίας. Πραγματεύεται τοπικά προβλήματα αποκήρυξης της τρομοκρατίας, της πειρατείας στην ναυτιλία και των ανεπαρκών συνοριακών ελέγχων. Προκειμένου να αναγνωριστούν οι εν λόγω προκλήσεις, η ίδια προτείνει την εγκαθίδρυση στενότερης διεθνούς συνεργασίας, ιδιαίτερας ανάμεσα σε κράτη μέλη όπως η ένωση των ανατολικών ασιατικών εθνών, την ενίσχυση των δεξιοτήτων ανοικοδόμησης και τη δημιουργία εκπαιδευτικών προγραμμάτων που θα απευθύνονται σε όλα τα κράτη της περιοχής αλλά και στην καθιέρωση ενός πλαισίου ενδεδειγμένων και συστηματικών δομών.

Η οπτική ενός φυσικού υγείας

Η Katharine Thomson από το νοσοκομείο Musgrove Park στο Ηνωμένο Βασίλειο εστιάζει στον παραλληλισμό ανάμεσα στις κοινές προκλήσεις των ιατρικών εφαρμογών και των υπολοίπων εφαρμογών της ραδιενέργειας. Μέσα από το γράμμα της με τίτλο “το μέλλον της πυρηνικής ασφάλειας: Δεσμεύσεις και δράσεις-Η οπτική ενός φυσικού υγείας” εστιάζει σε τρεις προσεγγίσεις, ώστε να ανταπεξέλθουμε στις προκλήσεις της πυρηνικής ασφάλειας. Η ίδια προτείνει την ενεργοποίηση των

δημοσίων δομών μέσω εκπαιδευτικών προγραμμάτων, την ελεγχόμενη πρόσβαση σε επικίνδυνα υλικά και ως εκ τούτου την εξάλειψη του κίνδυνου εσωτερικών απειλών, ενισχύοντας την διαδικτυακή ασφάλεια και ανοικοδομώντας απαιτητικά, εύχρηστα και ευυπόληπτα συστήματα διαδικτυακής προστασίας.⁷²

Βελτιστοποίηση του έργου των safeguards⁷³

Οι safeguards του Δ.Ο.Α.Ε. παρέχουν μια ζωτικής σημασίας συνεισφορά στην παγκόσμια ασφάλεια. Μέσω των safeguards, ο ΔΟΑΕ αποτρέπει τη διάδοση των πυρηνικών οπλών και παρέχει έγκυρα διαπιστευτήρια περί της τήρησης των διεθνών υποχρεώσεων των κρατών μελών για τη χρήση της πυρηνικής ενεργείας μόνο για ειρηνικούς σκοπούς. Η ανεξάρτητη δράση τους επιτρέπει στον ΔΟΑΕ την ανοικοδόμηση διεθνούς εμπιστοσύνης και την ενδυνάμωση της συλλογικής ασφάλειας με αποδέκτες όλους μας.

Ο τομέας της πυρηνικής τεχνολογίας δεν είναι αυτόνομος και αποκομμένος. Στα προηγούμενα πέντε χρόνια, τέθηκαν σε ισχύ επτά νέες συμφωνίες των safeguards και ενεργοποιήθηκαν 23 νέα επιπρόσθετα πρωτόκολλα. Η ποσότητα πυρηνικού υλικού υπό την επίβλεψη των safeguards έχει αυξηθεί κατά 17% και ο αριθμός των πυρηνικών εγκαταστάσεων κατά 5%. Καθώς τα πολιτικά πυρηνικά προγράμματα συνεχίζουν να επεκτείνονται, τα παραπάνω στατιστικά στοιχεία είναι αναγκαίο να αυξηθούν.

Ωστόσο, ενώ οι απαιτήσεις οδηγούμενες από τα αυστηρά ορισμένα νομικά πλαίσια συνεχίζουν να αυξάνονται, δεν συμβαίνει το ίδιο και με τους πόρους και την χρηματοδότηση. Προκειμένου να επιτευχτεί καλύτερη εκμετάλλευση των δράσεων πρέπει να ενισχυθεί η αποδοτικότητα. Αυτό μπορεί να γίνει με τρεις τρόπους. Αρχικά, η πλήρης αξιοποίηση των διαθέσιμων νέων τεχνολογιών. Δεύτερον, η βελτιστοποίηση των εσωτερικών δομών. Τρίτον, η ενθάρρυνση των κρατών όπου αυτό είναι απαραίτητο υπέρ της βελτίωσης της συνεργασίας τους.

⁷² December 2016, *Nuclear Security Commitments and Actions*, IAEA Bulletin, page 23

⁷³ June 2016, *IAEA Safeguards Preventing the spread of nuclear weapons*, IAEA Bulletin, page 25

Επιπροσθέτως, η πυρηνική συμφωνία ανάμεσα στο Ιράν και μεγάλες δυνάμεις τον Ιούλιο του 2015 υπογράμμισε την σημαντικότητα της ικανότητας του τμήματος των safeguards να ανταποκριθούν επαρκώς και ακαριαία σε απαιτήσεις νέων πιστοποιήσεων σε κράτη μέλη του ΔΟΑΕ. Ο Tero Varjoranta, αναπληρωτής γενικός διευθυντής και επικεφαλής του τμήματος των safeguards, δηλώνει αισιόδοξος για το μέλλον του θεσμού και την συνεισφορά του στη παγκόσμια ασφάλεια. Την αισιοδοξία του βασίζει στις σαφείς νομικές εντολές, την ευρείας αποδοχής πολιτική στήριξη και τις τεχνικές δεξιότητες. Χάρη στα παραπάνω θα επιτραπεί η παροχή διαπιστευτηρίων στον κόσμο πως όλο το διαθέσιμο πυρηνικό υλικό αξιοποιείται για ειρηνικούς σκοπούς. Όπως συμπληρώνει ο ίδιος, το όραμά του προϋποθέτει την παραδοχή εκ μέρους των κρατών και της πυρηνικής βιομηχανίας της συμβολής και της αξίας των safeguards, σύμφωνα με τις οποίες η υπηρεσία θα είναι σε θέση να συνεχίσει απερίσπαστα το έργο της με αξιόπιστα πορίσματα, προϊόντα ανεξάρτητου χαρακτήρα και αυτόνομης δράσης.⁷⁴

Τα επόμενα 40 χρόνια⁷⁵

Έξι δεκαετίες έχουν περάσει από όταν η διεθνής συνθήκη μη διάδοσης των πυρηνικών όπλων τέθηκε προς υπογραφή, τον Ιούλιο του 1968. Έκτοτε, η NPT έγινε ένα από τα σχέδια με τον μέγιστο αντίκτυπο στην πολυεπίπεδη δράση του υπέρ της μη διάδοσης και του ελέγχου των οπλών και την συνθήκη απόπλισης. Ο ΔΟΑΕ, στον οποίο τα κράτη μέλη έχουν επενδύσει και παραχωρήσει την ευθύνη ελεγκτικού φορέα, διανύει την έβδομη δεκαετία του.

Η αποδοτική δράση του τμήματος των safeguards εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τους απαραίτητους οικονομικούς πόρους. Το 2008, ο ΔΟΑΕ επιτηρούσε περίπου 950 εγκαταστάσεις σε περισσότερες από 70 χώρες με τον ετήσιο προϋπολογισμό να ανέρχεται στα 110 εκατομμύρια ευρώ. Κοινή παραδοχή αποτελεί το γεγονός πως προκειμένου να συνεχιστεί η απερίσπαστη αυτόνομη και αξιόπιστη δράση του ΔΟΑΕ

⁷⁴ June 2016, *IAEA Safeguards Preventing the spread of nuclear weapons*, IAEA Bulletin, page 25

⁷⁵ September 2008, *IAEA Bulletin 50-1*, page 10

καθώς αυξάνονται οι απαιτήσεις και οι περιπλοκές μέσα στα χρόνια θα πρέπει να υπάρχει αντιστοιχία με τους απαραίτητους πόρους. Τα ευρήματα και τα πορίσματα του τμήματος των safeguards, βασιζόμενα σε όλες τις διαθέσιμες στον ΔΟΑΕ πληροφορίες, ανακοινώνονται κάθε χρόνο στην Αναφορά Εκτέλεσης των Safeguards (Safeguards Implementation Report).

Οι δραστηριότητες του ΔΟΑΕ που αφορούν στη πυρηνική ασφάλεια οργανώνονται σε τρία προγράμματα, την εγκατάσταση αντικειμένων πυρηνικής ασφάλειας, τον συντονισμό και συνεργασία για την πυρηνική ασφάλεια και την ασφάλεια διαχείρισης της ραδιενέργειας και των πυρηνικών αποβλήτων. Το πρώτο ρόλο στην ασφάλεια και την προστασία έχουν οι κυβερνητικοί φορείς, μολονότι αστοχίες και λάθη έχουν αντίκτυπο που δεν περιορίζεται σε κρατικά σύνορα.

Η παράνομη διακίνηση πυρηνικού υλικού παραμένει φλέγον ζήτημα. Το 1995, εγκαινιάστηκε η βάση δεδομένων παράνομης διακίνησης του ΔΟΑΕ, που ωφελείται στη εθελοντικής συνεργασίας περίπου 100 κρατών. Έως τον Απρίλη του 2008 είχαν καταχωρηθεί 1416 περιστατικά εκ των οποίων τα 322 αφορούσαν κλοπή πυρηνικού υλικού ή πηγών ραδιενέργειας.

Οι δραστηριότητες του ΔΟΑΕ, που αφορούν την πυρηνική τεχνολογία, διέπονται από το εκτενές εύρος τους. Μερικές σημαντικές αναφορές έχουν να κάνουν περάν της χρήσης της πυρηνικής ενεργείας για την παραγωγή ηλεκτρισμού, και με χρήση ραδιοακτινοβολίας για την εξάλειψη εντόμων, τη χρήση ισοτοπικών εφαρμογών στη διατροφή και την επεξεργασία του νερού και του φαγητού.

Μέχρι πρότινος η αξιοποίηση της πυρηνικής ενεργείας απασχολούσε κυρίως εκβιομηχανοποιημένες χώρες. Το τοπίο αλλάζει καθώς πλέον εκ των 35 νέων αντιδραστήρων υπό κατασκευή οι 17 εδράζουν σε αναπτυσσόμενες χώρες με επίκεντρο την Ασία και την Ανατολική Ευρώπη. Ωστόσο, δεν είναι μόνο στις δυο αυτές περιοχές που παρατηρείται αναζωπύρωση του ενδιαφέροντος γύρω από την πυρηνική ενέργεια. Σωρεία χωρών, όπως στη Μέση Ανατολή, λαμβάνουν πολύ σοβαρά υπόψη την πιθανότητα εισαγωγής τους σε προγράμματα πυρηνικής ενεργείας, ενώ χώρες που διαθέτουν πυρηνικά προγράμματα εργάζονται για την επέκταση της πυρηνικής τεχνολογίας σε χρήση, είτε μέσω της κατασκευής νέων αντιδραστήρων είτε με την επέκταση της ζωής των ήδη υπαρχόντων. Ζωτικής σημασίας είναι η σωστή διαχείριση της αυξανόμενης χρήσης της πυρηνικής

ενέργειας, λαμβάνοντας σοβαρά υπόψη θέματα που αφορούν την οικονομία, την ασφάλεια, την προστασία και την μη διάδοση οπλικών εφαρμογών.

Είναι στην ευχέρεια του κάθε κράτους η επιλογή του τρόπου με τον οποίο θα ανταποκριθεί στις απαιτήσεις που συνοδεύουν την αύξηση της χρήσης της πυρηνικής ενέργειας, ιδίως σε θέματα που αφορούν τον κύκλο των καυσίμων. Μέχρι στιγμής, υπάρχουν 12 διαφορετικές προτάσεις στα γραφεία του ΔΟΑΕ που αφορούν σε διαφορετικούς τρόπους διανομής και τροφοδοσίας πυρηνικών καυσίμων. Οι εισηγήσεις αυτές καλύπτουν ένα μεγάλο εύρος, από την καθιέρωση ενός τελικού σταθμού που θα ελέγχεται από τον ΔΟΑΕ, ώστε να προσφέρεται η ασφάλεια εφεδρικής τροφοδοσίας, έως την δημιουργία διεθνών σταθμών εμπλουτισμού ουρανίου.

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Για περισσότερα από 60 χρόνια ο ΔΟΑΕ εργάζεται για την προσφορά των ευεργετικών ιδιοτήτων που απορρέουν από τη χρήση της πυρηνικής ενέργειας στην ανθρωπότητα και την παράλληλη εκμηδένιση των κινδύνων της. Παρόλο που ο πρωταρχικός ρόλος του ΔΟΑΕ αφορά την προσφορά εγγυήσεων τήρησης της NPT και εκχειρίδες για ζώνες απαλλαγμένες από πυρηνικά όπλα, το καταστατικό του απαιτεί και την ενεργό δράση της υπηρεσίας σε θέματα πυρηνικών οπλικών αφοπλισμών.

Η ασφάλεια και η προστασία απαιτούν διαρκή επαγρύπνηση και πρέπει να θεωρούμε πάντα ότι είναι έργο υπό ανάπτυξη. Για παράδειγμα ακόμη και σήμερα υπάρχουν κενά σε θέματα διεθνών συγκαλύψεων και κωδικών διεξαγωγής ανάπτυξης και εφαρμογής τυποποιημένων δομών. Επίσης, ο αριθμός των χωρών που έχουν προσυπογράψει στα διεθνή ελεγκτικά όργανα πρέπει να αυξηθεί. Ωστόσο, πρώτη προτεραιότητα πρέπει να δοθεί στην κάλυψη των προαναφερθέντων κενών. Καθώς οι κρατικές απαιτήσεις και προσδοκίες για αυξημένες εφαρμογές πυρηνικής ενέργειας θα πληθαίνουν, τόσο θα πληθαίνει και η ανάγκη της αρωγής του Δ.Ο.Α.Ε. στη προώθηση ενσωματωμένων και πιο αποδοτικών προσεγγίσεων υπέρ της ενίσχυσης της πυρηνικής ασφάλειας και προστασίας.⁷⁶

⁷⁶ September 2008, IAEA Bulletin 50-1, page 10

Ο παροπλισμός των πυρηνικών σταθμών και η μη χρήση της πυρηνικής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας δεν μπορεί να είναι λύση ή τρόπος αντιμετώπισης των κινδύνων σε περιπτώσεις ελλιπούς σχεδιασμού ασφάλειας. Στον αντίποδα αυτών που αντιμάχονται την πυρηνική ενέργεια βρίσκονται μελέτες που συμπερασματολογούν γύρω από τα οφέλη που προκύπτουν από την εκτενή χρήση της για το οικοσύστημα. Σε περιβαλλοντολογικό επίπεδο, με δεδομένη την αναμενόμενη αύξηση σε εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), που σχετίζονται με την ενέργεια, από το επίπεδο του 2013 κατά περίπου 20% έως το 2040, η κλιματική αλλαγή αποτελεί φλέγον ζήτημα. Η διπλή πρόκληση για την ενέργεια και το κλίμα, κατά τα επόμενα 10 έως 20 χρόνια, είναι να αυξηθεί σε σημαντικό βαθμό η ποσότητα ασφαλούς, οικονομικά προσιτής ενέργειας, μειώνοντας δραστικά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (GHG). Η πυρηνική ενέργεια μαζί με την αιολική και την ηλιακή συγκαταλέγονται στις λιγότερο ρυπογόνες κατά την παραγωγή τους, καθώς οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου από πυρηνικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής είναι αμελητέες ενώ προβλέπεται ότι έως το 2050, η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται μέσω της πυρηνικής ενέργειας θα μπορούσε να συμβάλει στην εξάλειψη περίπου 3 γιγατόνων εκπομπών CO₂ ετησίως.⁷⁷

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σταθούμε με κριτική ματιά απέναντι στη δράση του Δ.Ο.Α.Ε., έτσι όπως τη γνωρίσαμε στα προηγούμενα κεφάλαια και όχι μόνο. Στις 10 Μαρτίου 1961, ο ΔΟΑΕ σύνηψε συμφωνία με το Πριγκηπάτο του Μονακό και το Ωκεανογραφικό Ινστιτούτο και στη συνέχεια με επικεφαλής τον κ. Jacques Cousteau, εγκαινιάστηκε ένα ερευνητικό πρόγραμμα σχετικά με τις επιπτώσεις της ραδιενέργειας στη θάλασσα. Το άνοιγμα των θαλάσσιων εργαστηρίων του ΔΟΑΕ στο Μονακό τον ίδιο χρόνο σηματοδότησε την έναρξη μιας νέας εποχής για την έρευνα σχετικά με το θαλάσσιο περιβάλλον. Η μεγάλη πρόκληση για το νέο αυτό πεδίο δράσης ήρθε το 2011, όταν σημαντική ποσότητα ραδιενεργών ουσιών εισήλθε στον Ειρηνικό Ωκεανό μετά το πυρηνικό ατύχημα στη Fukushima και συνέχισε να εισρέει μέσω βροχοπτώσεων για αρκετά χρόνια μετέπειτα.

Οι χώρες σε ολόκληρη την περιοχή ξεκίνησαν ένα έργο τεχνικής συνεργασίας μαζί με τον ΔΟΑΕ για την εναρμόνιση των μετρήσεων διάφορων ραδιοϊσοτόπων στα θαλάσσια ύδατα, τους ζώντες οργανισμούς, τα ιζήματα και την αιωρούμενη ύλη,

⁷⁷ May Fawaz-Huber, September 2016, *IAEA BULLETIN*

προκειμένου να προσδιορίσουν τις επιπτώσεις στο θαλάσσιο περιβάλλον. Η ομοιόμορφη μέτρηση των ραδιοϊσοτόπων στον ωκεανό θα διασφάλιζε ότι οποιαδήποτε εκτίμηση των επιπτώσεων είναι συγκρίσιμη και επαληθεύσιμη στον τεράστιο όγκο του Ειρηνικού Ωκεανού. Η συγκεκριμένη διεθνής συνεργασία θα ενίσχυε τις εθνικές δυνατότητες, οι οποίες με τη σειρά τους θα συνέβαλαν στη βελτίωση και στην ανταλλαγή δεδομένων και πληροφοριών, που σχετίζονται με τις δυνητικές επιπτώσεις αυτών των ραδιοϊσοτόπων, αλλά και ενημέρωση των κινδύνων για τους θαλάσσιους οργανισμούς και τους ανθρώπους, μέσω της κατανάλωσης θαλάσσιων τροφίμων. Εικοσιένα κράτη μέλη του ΔΟΑΕ και τρία κράτη μη μέλη συμμετείχαν ενεργά σε αυτό το σχέδιο.⁷⁸

Την δαιδαλώδη αυτή προσπάθεια σε στεριά και θάλασσα, για τον περιορισμό της μόλυνση και τη προστασία του ανθρώπου μέσω της έγκυρης πληροφόρησης για τα τρόφιμα που μπορεί να καταναλώσει ασφαλώς και τα σημεία που μπορεί να επισκεφθεί χωρίς κίνδυνο της υγείας του, ακολουθούν κάποια μεγάλα και σημαντικά ερωτήματα, τα οποία αποτελούν αντικείμενο έντονου προβληματισμού.

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο δράση πολιτών και επιστημόνων οι οποίοι λειτούργησαν ανεξάρτητα από οποιαδήποτε κρατική ή λοιπή οργανωτική αρχή αποδείκνυε με ερασιτεχνικά μέσα και προφανώς μη συγκρίσιμους πόρους πως τα πορίσματα και οι καθημερινές ανακοινωθείσες τιμές των επιμέρους κρατών και φορέων που ενεργούσαν υπό τις υποδείξεις του ΔΟΑΕ ήταν εσφαλμένες. Σε περιπτώσεις πρόσκαιρης συγκάλυψης και των πρώτων προσπαθειών κάθε κυβέρνησης για μείωση της σημασίας ή ακόμη και απόκρυψη του εκάστοτε πυρηνικού γεγονότος, θα μπορούσαμε να αποδώσουμε ελαφρυντικά στον ΔΟΑΕ αν αναλογιστούμε την ενδεχομένως ετεροχρονισμένη μοιραία αντίδραση, τις δυσκολίες πρόσβασης και έγκαιρης ενημέρωσης ή τα κρατικά εμπόδια που ίσως αντιμετώπισε.

Ωστόσο, κάθε αντίστοιχη διάθεση δικαιολόγησης απορρίπτεται στην περίπτωση του safecast, όπου ακόμη και χρόνια μετά, οι επίσημες τιμές ραδιενέργειας τις οποίες συμβουλευόνταν κάθε πολίτης για την απόφασή του αν θα επισκεφθεί ή όχι το εκάστοτε σημείο, αν θα κολυπήσει σε μία θάλασσα ή αν θα καταναλώσει την εκάστοτε τροφή ήταν πολύ χαμηλότερες από τις πραγματικές. Δεν μπορεί να

⁷⁸ Aabha Dixit & Peter Kaiser., September 2013, *IAEA BULLETIN*

υπάρχουν επιχειρήματα γύρω από το πώς ομάδα πολιτών και επιστημόνων που δρουν εθελοντικά σε ερασιτεχνικά επίπεδα καταφέρνουν ακριβέστερα αποτελέσματα από εκείνους των οποίων η ύπαρξη στοχοθετείται γύρω από την προστασία και την ενημέρωση απαλλαγμένες από κάθε προσχηματική ή συμφεροντολογική τακτική.

Στη συνέχεια, μόλις λίγα χρόνια μετά τη καταστροφή στην Ιαπωνία παρατηρείται μία στροφή στην δράση και το περιεχόμενο των πρωτοβουλιών του ΔΟΑΕ. Θέματα διατροφής και ιατρικού εξοπλισμού αποκτούν πρώτιστη σημασία, κράτη μέλη του ΔΟΑΕ χρησιμοποιούν πυρηνικές μεθόδους για να προωθήσουν τα προγράμματα διατροφής τους, που περιλαμβάνουν τη χρήση σταθερών ισοτόπων (που δεν έχουν ραδιενέργεια) για την καλύτερη κατανόηση του τρόπου με τον οποίο απορροφώνται, χρησιμοποιούνται, ή αποθηκεύονται τα θρεπτικά συστατικά στο σώμα.

Γίνεται αναφορά στην επιδημία υπερβολικού βάρους και παχυσαρκίας που εμφανίζεται σε πιο ευημερούσες χώρες καθώς και σε χώρες που βρίσκονται σε οικονομική μετάβαση. Μελέτες δείχνουν πως χώρες με μεσαίο και χαμηλό εισόδημα επιβαρύνονται με το 86% των πρόωρων θανάτων που οφείλονται σε NCDs (Non-communicable diseases), με αποτέλεσμα τεράστιες οικονομικές απώλειες και εκατομμύρια ανθρώπων παγιδευμένους στη φτώχεια. Συνεπώς, η επένδυση στον τομέα της διατροφής έχει καθοριστική συμβολή στη διάλυση του κύκλου της φτώχειας, αυξάνοντας κατά τουλάχιστον 2-3% ετησίως το ακαθάριστο εγχώριο προϊόν μιας χώρας. Συγκεκριμένα, μια επένδυση \$1 στον τομέα της διατροφής, ενδεχομένως να μπορεί να οδηγήσει σε απόδοση έως και \$30.⁷⁹

Η ανακάλυψη της ακτινοβολίας και των ραδιονουκλεϊδίων για χρήση στην ιατρική επέτρεψαν σε ασθένειες, όπως ο καρκίνος, την έγκαιρη διάγνωση και συνεπώς την αποτελεσματικότερη αντιμετώπιση με τη βοήθεια πυρηνικών τεχνικών.

Ο αυξανόμενος αριθμός ατόμων που προσβάλλονται κάθε χρόνο από μη μεταδοτικές ασθένειες, όπως ο καρκίνος και οι νευρολογικές και καρδιαγγειακές διαταραχές, ασκεί μεγάλη πίεση στα συστήματα υγειονομικής περίθαλψης και στους ηγέτες σε όλο τον κόσμο για την παροχή αποτελεσματικών λύσεων, ενώ την ίδια στιγμή οι πόροι για τη διάγνωση και τη θεραπεία αυτών μπορεί να είναι μηδαμικοί ή

⁷⁹ March 2014, *IAEA Bulletin*

και συχνά μη διαθέσιμοι. Η έλλειψη κατάλληλου εξοπλισμού και εγκαταστάσεων φροντίδας του καρκίνου στις αναπτυσσόμενες χώρες σημαίνει ότι πολλοί ασθενείς παραμένουν χωρίς θεραπεία. Οι μηχανές ακτινοθεραπείας αποτελούν ουσιαστικό μέρος της αποτελεσματικής θεραπείας του καρκίνου, αλλά είναι δαπανηρές για την απόκτηση και τη συντήρησή τους. Αυτά είναι σημεία στα οποία η συμβολή του ΔΟΑΕ είναι μεγάλη με δωρεές μηχανημάτων και την παροχή εκπαίδευσης σε επαγγελματίες υγείας πάνω σε νέες τεχνικές και εξοπλισμό.⁸⁰

Ωστόσο, αυτή αποτελεί άλλη μια περίπτωση έντονου προβληματισμού για την ανεξάρτητη και απρόσκοπτη δράση του ΔΟΑΕ. Είναι πολύ σημαντικές αυτού του είδους οι πρωτοβουλίες, αλλά φαίνεται άκαιρη η προσέγγιση του οργανισμού αν κινηθούμε σε μία αυστηρή βάση προτεραιοτήτων που θα ήταν σύμφωνη με το καταστατικό ίδρυσης και λειτουργίας του. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με καταγγελίες ανεξάρτητων εθελοντικών οργανώσεων υπάρχουν ελλείψεις σε μέτρα ασφάλειας σε λειτουργικούς τόπους παραγωγής, επεξεργασίας ή μεταφοράς πυρηνικών υλικών, όπου η πιθανότητα αστοχίας μπορεί να ισοδυναμεί σε ανυπολόγιστες απώλειες ανθρώπινων ζωών και αντίστοιχες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Σύμφωνα με προηγούμενα κεφάλαια ο ρόλος του Δ.Ο.Α.Ε. αφορά τον έλεγχο και τη διασφάλιση των συνθηκών ασφαλούς λειτουργίας σε θέματα πυρηνικής ενέργειας.

Ακόμη και σήμερα υπάρχουν σταθμοί που λειτουργούν με βάση τεχνικές μελέτες και υποδομές ηλικίας πολλών δεκαετιών, σταθμοί που έκλεισαν και σφραγίστηκαν εσπευσμένα χωρίς την τήρηση κάποιας διαδικασίας και άλλοι που ακόμη και ύστερα από πολλές δεκαετίες παύσης της λειτουργίας τους αποτελούν εστίες μεγάλης μόλυνσης για το περιβάλλον. Σε μια κοινωνική βάση προτεραιοτήτων, το πρόβλημα του κινδύνου που αντιμετωπίζει ο άνθρωπος και το περιβάλλον από την πυρηνική ενέργεια θα έπρεπε να αντιμετωπιστεί αρχικά σε κατασταλακτικό επίπεδο και κατόπιν να δοθεί αντίστοιχη σημασία στο κομμάτι της πρόληψης. Με απλά λόγια όταν ακόμη και σήμερα υπάρχουν άνθρωποι που ζουν σε ακτίνα δράσης μίας πιθανής βόμβας ή σε ένα μόνιμο τόπο κατοικίας που αποτελεί κοιτίδα αδιάκοπης μόλυνσης, ίσως θα έπρεπε να δοθεί μεγαλύτερη έμφαση από πλευράς του Δ.Ο.Α.Ε. στη διαφύλαξη των ανθρώπων που κινδυνεύουν άμεσα λόγω της πυρηνικής ενέργειας και ύστερα να γίνει η όποια επένδυση πόρων και ανθρώπινου δυναμικού στη προστασία

⁸⁰Jeremy Li, September 2017, *IAEA BULLETIN*

εκείνων που μπορεί να σώσει η πυρηνική ενέργεια από τις διατροφικές τους συνήθειες ή την ελλιπή ιατρική περίθαλψη.

Κλείνοντας είναι σπουδαίο το πώς ο ΔΟΑΕ καταφέρνει να αλληλεπιδράσει με χώρες που είτε έχουν παύσει είτε δεν είχαν ποτέ διπλωματικές σχέσεις μεταξύ τους, ενώ αξίζει να αναλογιστούμε το αναπόσπαστο δικαίωμα δράσης που του έχει παραχωρηθεί σε κράτη που κατά καιρούς αποτέλεσαν πόλο έλξης για τη γενέτειρα του οργανισμού. Τέλος άξιοι λόγου και εστίασης ήταν, είναι και θα είναι σίγουρα στο μέλλον οι λεπτοί χειρισμοί που επιβάλλεται να ακολουθήσει ο Οργανισμός για να αποτάξει τα κακώς κείμενα και τις αδυναμίες του Ο.Η.Ε..

ΠΗΓΕΣ

- Nuclear Power Reactors*, article in www.world-nuclear.org/, January 2018
- Aabha Dixit & Peter Kaiser., September 2013, *IAEA BULLETIN*
- An analysis of the alleged Kyshtym diasaster*, by Diane M. Soran, Danny B. Stillman, Issued: January 1982, www.stanford.edu/, Los Alamos National Laboratory, New Mexico
- Arata Tamamoto, Aug.03.2015, *Japan Builds World's Largest Floating Wind Turbine off Fukushima*, by nbcnews.com
- Bonnie A. Osif, Anthony J. Baratta and Thomas W. Conkling, 2004, *The Three Mile Island Nuclear Power Plant Accident and Its Impact Chernobyl disaster*, Wikipedia
- Diane M. Soran and Danny B. Stillman, January 1982, *An Analysis of the Alleged Kyshtym Disaster*
- Ficher David, September 1997, *History of the international atomic energy agency the first forty years*, division of publication I.A.E.A. Vienna
- Francois Lenoir, 7 March 2018, *Nuclear alert? Belgium distributes millions of iodine pills, yet claims 'no risk'*, Reuters , rt.com
- Fukushima Daiichi nuclear disaster*, Wikipedia
- Fukushima Daini Nuclear Power Plant*, Wikipedia
- Fukushima taboo? Politician draws Japanese Emperor into nuclear controversy*, rt.com, 31 Oct. 2013
- History of the Nuclear Suppliers Group*, [ιστότοπος armscontrol.org](http://ιστότοπος.armscontrol.org), August 16, 2017,
- Hugh Gusterson, 17 May 2017, *A predictable nuclear accident at Hanford*, ιστότοπος Bulletin of the Atomic Scientists
- IAEA Bulletin 50-1*, September 2008
- IAEA Bulletin 54-1*, March 2013
- IAEA Bulletin 54-4*, December 2013, *Eisenhower's Atoms for Peace The Speech that Inspired the Creation of the IAEA*
- IAEA Safeguards Overview*, iaea.org
- IAEA Safeguards Preventing the spread of nuclear weapons*, IAEA Bulletin, June 2016
- IAEA safeguards*, Wikipedia
- INES THE INTERNATIONAL NUCLEAR AND RADIOLOGICAL EVENT SCALE*, International Atomic Energy Agency, Information Series / Division of Public Information, 08-26941 / E
- J. F. Loutit, W. G. Marley, R. S. Russell, October 1957, *The Nuclear Reactor Accident at Windscale, October 1957: Environmental Aspects*, IAEA
- James Regan, 23 December, 2013, *Freight wagon with nuclear waste derails at depot near Paris, no leak*, Reuters ιστοτοπος
- Jan Haverkamp, March 2014, *Lifetime extension of ageing nuclear power plants: Entering a new era of risk*, Report commissioned by Greenpeace, Greenpeace Switzerland
- Jeremy Li, September 2017, *IAEA BULLETIN*
- Kyshtym disaster*, Wikipedia
- Last part of Fukushima ice wall being frozen*, World Nuclear News, 23 August 2017
- Leak at nuclear reactor in Norway is contained: operator*, reuters.com, October 25 2016
- Louise Potterton, April 2010, *Training the newly recruited safeguards inspectors*, IAEA Bulletin 51-2
- Matt Fisher, June 2018, *saeguards at uranium mines provide more complete picture of countries' nuclear activities*, IAEA Bulletin
- May Fawaz-Huber, September 2016, *IAEA BULLETIN*
- Michael Lee Lanning, 09.08.2017, *100 μεγαλύτερες μάχες όλων των εποχών , Ατομική βόμβα στο Ναγκασάκι: Πώς έγινε η επιχείρηση που είχε στόχο άλλη πόλη, Μετάφραση Κουσούνελος Γ., Εκδόσεις Ενάλιος*
- Nuclear disaster drill aims for more realism*, the Japan times, November 2013
- Nuclear Power in Japan / Nuclear plant restarts and retirements*, world nuclear association, July 2018
- Nuclear safeguards conclusions presented in 2016 Safeguards Implementation Report*, IAEA Bulletin, September 2017
- Nuclear Safety and Security*, IAEA Bulletin, 60th anniversary special edition, September 2016
- Nuclear Security Commitments and Actions*, IAEA Bulletin, December 2016
- Oliver Carroll, Sunday 28 December 2014, *Ukraine turns off reactor at its most powerful nuclear plant after 'accident'*, the independent
- Onagawa Nuclear Power Plant*, wikipedia
- Paul Dwyer, Friday 5 October 2007, *Windscale: A nuclear disaster*, bbc news
- Peter Myers, September 5 2001, *The Baruch plan for world government*
- RBMK Reactors, Appendix to Nuclear Power Reactors*, World Nuclear Association, June 2016,

Report on the preliminary fact finding mission following the accident at the nuclear fuel processing facility in Tokaimura. Japan, IAEA, Printed by the IAEA in Austria, November 1999, IAEA-TOAC

Rokkasho Reprocessing Plant, wikipedia

Russian nuclear submarine catches fire in Arkhangelsk shipyard, reuters in Moscow, theguardian.com, Tuesday 7 April 2015

Safety Case Study: the Three Mile Island accident, IAEA, Assessment of safety

Safety fears surround the world's oldest atomic power plant, Euronews, 22/04/2016,

Sam Thielman, Monday 9 January 2017, Indian Point nuclear plant in New York will close after dozens of 'safety events', theguardian.com/

Sasha Henriques, Overcoming Safeguards Challenges, IAEA Bulletin 52-2-2011, chapter 8:safeguards

Serhii Plokhyy, wednesday 9 may 2018, Chernobyl: History of a Tragedy review – Europe nearly became uninhabitable, Daniel Beer, the guardian

Special Report: Global Dependence on Nuclear Energy Drops , Euromonitor Research, January 14, 2014

The Kyshtym Disaster: The Largest Nuclear Disaster You've Never Heard Of, mentalfloss.com, November 12, 2015, By Miss Cellania

THE STRUCTURE ANDCONTENT OF AGREEMENTSBETWEENTHE AGENCY AND STATESREQUIRED IN CONNECTIONWITH THE TREATYON THENON-PROLIFERATIONOF NUCLEAR WEAPONS, IAEA, Austria June 1972,

Three Mile Island accident, Wikipedia

Tōkai Nuclear Power Plant, wikipedia

Tokaimura nuclear accident, wikipedia

Εγκυκλοπαίδεια Πάπυρος Larousse Britannica, έκδοση 1992, Εκδοτικός Οργανισμός Πάπυρος Κηφισίας & Ανδρ. Πουρνάρα 6, Αμαρούσιον Αττικής-Ελλάς

Ζαπορόζιε: «Δεν πρόκειται να γίνουμε το επόμενο Τσερνόμπιλ», euronews.com, 22/04/2016, IAEA Bulletin, March 2014

Καλαμαράς Δημήτρης, 26/4/2012, Πώς ένα πείραμα οδήγησε στην τραγωδία του Τσερνόμπιλ, iefimerida

Καπαζίδου Ζωή, 23/3/2018, Fukushima: το χρονικό ενός πυρηνικού ολέθρου, maxmag.gr/science

Πετρόπουλος Γιώργος, Κυριακή 4 Αυγούστου 2002, “Η ρίψη της ατομικής βόμβας σε Χιροσίμα και Ναγκασάκι” , Ριζοσπάστης, Ένθετη έκδοση: “7 μέρες μαζί”

Ρεντετζή Μαρία, Determining Nuclear Fingerprints: Glove Boxes, Radiation Protection, and the International Atomic Energy Agency, Published by Elsevier Ltd., 2017

Ρεντετζή Μαρία, Living with Radiation or Why we Need a diplomatic Turn in History of Science, Kjemi, June 2017

Σαν σήμερα: Το πυρηνικό ατύχημα του Τσερνόμπιλ, Η μεγαλύτερη πυρηνική καταστροφή στην ιστορία της ανθρωπότητας, e-daily, 25/4/2018

Χιροσίμα: 20 συγκλονιστικές φωτογραφίες για τη ρίψη της πρώτης ατομικής βόμβας, news247.gr, 06 Αυγούστου 2015