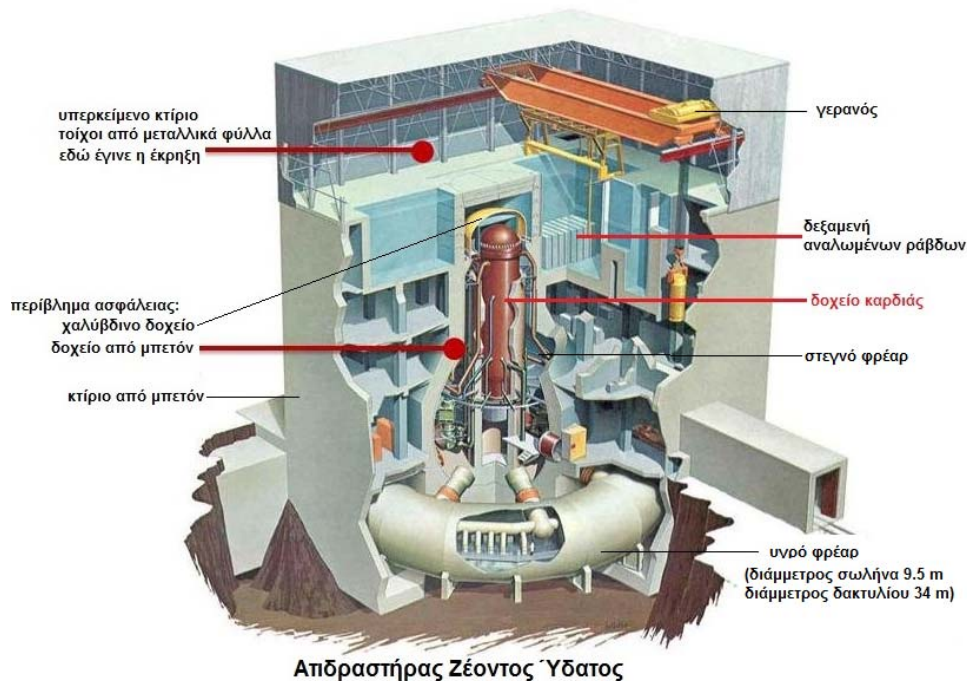


Η ασφάλεια των αντιδραστήρων ζέοντος ύδατος στην Φουκουσίμα

Το ατύχημα στον πυρηνικό σταθμό της Φουκουσίμα, τέσσερες εβδομάδες μετά το σεισμό, συνεχίζεται και ενδέχεται να διέλθουν εβδομάδες, ίσως πολλές, μέχρις ότου επιτευχθεί πλήρης ευστάθεια και τερματισμός της ρύπανσης του περιβάλλοντος. Σκοπός του άρθρου είναι η καταγραφή των ελλειμμάτων ασφαλείας που αποκαλύφθηκαν στους Αντιδραστήρες Ζέοντος Ύδατος, που είναι εγκατεστημένοι εκεί.

Στην καρδιά του αντιδραστήρα βρίσκονται οι μεταλλικές ράβδοι, οι οποίες περιέχουν το σχάσιμο υλικό, συνήθως ουράνιο. Το περίβλημα των ράβδων καυσίμου είναι κράμα ζirkονίου. Μέσα στις ράβδους παράγεται θερμότητα από τις σχάσεις και γύρω από αυτές ρέει νερό, ως ψυκτικό, με σκοπό την απαγωγή της θερμότητας και την παραγωγή ατμού, ο οποίος οδηγείται στη στρόβιλο-γεννήτρια που παράγει το ηλεκτρικό ρεύμα.



Η καρδιά βρίσκεται μέσα σε χαλύβδινο δοχείο πίεσης, σχεδιασμένο να αντέχει προδιαγεγραμμένες πιέσεις, που μπορούν να αναπτυχθούν σε περίπτωση ατυχήματος. Η πίεση λειτουργίας είναι τέτοια (70 ατμόσφαιρες), ώστε ο ατμός να παράγεται στην καρδιά. Το δοχείο πίεσης της καρδιάς περιέχεται μέσα στο «στεγνό φρέαρ». Πρόκειται για χαλύβδινο δοχείο πίεσης, περιβαλλόμενο από οπλισμένο σκυρόδεμα, το οποίο χρησιμεύει και ως θωράκιση από τις ακτινοβολίες της καρδιάς και έχει βάση από μπετόν. Συνδέεται με σωληνώσεις με το «υγρό φρέαρ», σχήματος δακτυλιοειδούς σωλήνα, γεμάτου κατά το ήμισυ με νερό. Το στεγνό και το υγρό φρέαρ συνιστούν το περίβλημα ασφαλείας, δηλαδή σύστημα εγκλωβισμού των ραδιενεργών προϊόντων της σχάσης, ώστε να μην διαφύγουν στο περιβάλλον, αν συμβεί το μεγαλύτερο δυνατό ατύχημα, δηλαδή Ατύχημα Απώλειας (σημαντικού μέρους) του Ψυκτικού (ΑΑΨ). Το ΑΑΨ αποτελεί τη βάση σχεδιασμού των αντιδραστήρων, διότι αν

συμβεί το ΑΑΨ, μεγάλο μέρος του καυσίμου μπορεί να υποστεί τήξη, αν τα επιπλέον συστήματα επείγουσας ψύξης δεν λειτουργήσουν. Το τετηγμένο καύσιμο, ερχόμενο σε επαφή με νερό μπορεί να προκαλέσει έκρηξη ατμού και η πίεση που θα αναπτυχθεί μπορεί να διαρρήξει τα δοχεία, που απομονώνουν την καρδιά από το περιβάλλον και να διασπαρούν έτσι τα ραδιενεργά προϊόντα της σχάσης. Το σύστημα ασφάλειας (και τελικού εγκλωβισμού), σε αυτόν τον τύπο αντιδραστήρα, φέρει το όνομα «σύστημα καταστολής πίεσης» λόγω του τρόπου λειτουργίας του: σε περίπτωση διάρρηξης σωλήνα του ψυκτικού κυκλώματος, νερό και ατμός υψηλής πίεσης ρέει στο στεγνό φρέαρ και αυξάνει την πίεση σε αυτό, με αποτέλεσμα τη ροή ατμού και νερού υψηλής θερμοκρασίας μέσα στο ψυχρό νερό του υγρού φρέατος, με αποτέλεσμα την υγροποίηση των ατμών, και την καταστολή της πίεσης στο στεγνό φρέαρ. Κριτήριο επιλογής αυτού του σχεδιασμού είναι οικονομία κλίμακας, διότι χωρίς το σύστημα καταστολής πίεσης το περίβλημα ασφάλειας θα έπρεπε να είναι πολύ μεγαλύτερο σε όγκο ή να αντέχει σε πολύ μεγαλύτερες πιέσεις, όπως π.χ. συμβαίνει στους Αντιδραστήρες Πεπιεσμένου Ύδατος. Από τις άλλες λειτουργίες ασφάλειας του υγρού φρέατος, θα αναφερθεί εδώ μόνο η εξής: οι αντλίες του «Συστήματος Επείγουσας Ψύξης», σε τέτοιο ατύχημα, αντλούν νερό από το υγρό φρέαρ και το διοχετεύουν στην καρδιά για να αποφευχθεί υπερθέρμανση και τήξη του καυσίμου. Το περίβλημα ασφάλειας περιέχεται σε κτίριο από μπετόν. Υπερκείμενο αυτού, βρίσκεται κτίριο ελαφράς κατασκευής, με τοίχους από μεταλλικά φύλλα, το οποίο περιέχει την πλατφόρμα φόρτωσης των στοιχείων που περιέχουν τις ράβδους του πυρηνικού καυσίμου. Θα το ονομάσουμε εδώ «υπερκείμενο» κτίριο.

Αναλωμένα είναι εκείνα τα στοιχεία ράβδων καυσίμου των οποίων η περιεκτικότητα σε σχάσιμο υλικό έχει μειωθεί τόσο πολύ, από τις σχάσεις στην καρδιά, ώστε να μην είναι πλέον χρήσιμα για την παραγωγή ενέργειας. Αυτά απομακρύνονται από την καρδιά και τοποθετούνται σε δεξαμενή νερού, όπου πρέπει να ψύχονται επί έτη, διότι τα ραδιενεργά προϊόντα της σχάσης, τα οποία περιέχουν, εκπέμπουν ακτινοβολίες, η ενέργεια των οποίων μετατρέπεται σε θερμότητα. Σε αυτόν τον τύπο αντιδραστήρα, η δεξαμενή αναλωμένου καυσίμου βρίσκεται λίγο πάνω από το ύψος της καρδιάς, έξω από το περίβλημα ασφάλειας και κάτω από την πλατφόρμα φόρτωσης. Τα στοιχεία του αναλωμένου καυσίμου ανυψώνονται με τον γερανό από την καρδιά και μεταφέρονται στη δεξαμενή. Η επιλογή αυτή έγινε με κριτήρια όχι ασφάλειας, αλλά αποδοτικότητας και οικονομίας. Δεν υπάρχει σοβαρό φράγμα μεταξύ δεξαμενής και περιβάλλοντος, υπάρχει μόνο η ελαφρά κατασκευή του υπερκείμενου κτιρίου.

Τα γεγονότα της Φουκουσίμα είναι γνωστά. Όταν έγινε ο σεισμός (11-3-2011) οι αντιδραστήρες 4,5 και 6 ήταν εκτός λειτουργίας. Οι αντιδραστήρες 1, 2 και 3 έκλεισαν, όπως προβλεπόταν, με ασφάλεια. Η ψύξη των αντιδραστήρων έπρεπε να συνεχιστεί, με χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας που θα παρείχαν οι προς τούτο προβλεπόμενες νηζελογεννήτριες και μπαταρίες. Σύμφωνα με πληροφορίες, το σύστημα έκτακτης ψύξης λειτούργησε κανονικά επί μισή ώρα. Μέχρι εκείνη τη στιγμή οι αντιδραστήρες οδηγούνταν ομαλά προς ευσταθές κλείσιμο, ακολουθώντας την προβλεπόμενη ομαλή διαδικασία ασφάλειας. Το μεγάλο τσουνάμι που ακολούθησε κατέστρεψε τις νηζελο-γεννήτριες και το τμήμα του συστήματος ψύξης που βρισκόταν στην παραλία, σε υψόμετρο μόλις έξι μέτρων από την επιφάνεια της

θάλασσας. Τα συστήματα ασφάλειας έμειναν χωρίς ρεύμα και οι αντιδραστήρες χωρίς ψύξη, οπότε άρχισε το ατύχημα και στους τρεις αντιδραστήρες.

Είναι ακατανόητο γιατί, σε μια χώρα με τέτοια συχνότητα σεισμών με τσουνάμι, δε είχε γίνει σχετική πρόβλεψη: αν τα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη και συστήματα έκτακτης ψύξης ήταν σεαρκετό ύψος π.χ. τριάντα μέτρων, σήμερα δεν θα γνωρίζαμε την Φουκουσίμα. Σε άλλες χώρες, όπως π.χ. στη Γαλλία και στη Γερμανία, υπάρχει ξεχωριστό υδατοστεγές, σε περίπτωση πλημμύρας, π.χ. από ποτάμι, κτίριο με περισσότερες από μία ντηζελο-γεννήτριες, αρκετές για να τροφοδοτήσουν τους αντιδραστήρες, ακόμα και σε περίπτωση απώλειας μερικών από αυτές. Σε σταθμούς με πολλές μονάδες, συχνά προβλέπεται και επιπλέον ανεξάρτητο σύστημα βοηθητικής ηλεκτροπαραγωγής. Υπάρχει επίσης πλήρες δευτερεύον θωρακισμένο σύστημα ελέγχου του αντιδραστήρα το οποίο, σε περίπτωση ανάγκης, παρακάμπτει το σύνηθες σύστημα ελέγχου και αναλαμβάνει την ασφαλή οδήγηση του αντιδραστήρα σε ευσταθή κατάσταση. Στη Φουκουσίμα, με έξι αντιδραστήρες, αυτά τα, όντως δαπανηρά, συστήματα δεν υπάρχουν. Οι λόγοι είναι προφανείς: οικονομία χάριν του κέρδους. Δεδομένου ότι όλα αυτά ήταν γνωστά, η ρυθμιστική αρχή της Ιαπωνίας ελέγχεται ως τουλάχιστον ανεπαρκής.

Οι ράβδοι καυσίμου, στους τρεις αντιδραστήρες, γυμνώθηκαν και υπερθερμάνθηκαν. Το υπέρθερμο ζιρκόνιο των ράβδων καυσίμου οξειδώνονταν (καιγόταν) από το οξυγόνο του νερού και απελευθερώνονταν υδρογόνο. Ελεύθερο υδρογόνο κατέληξε στο υπερκείμενο κτίριο, με αποτέλεσμα εκρήξεις στα υπερκείμενα κτίρια των αντιδραστήρων 1, 3 και 2. Οι εκρήξεις διέλυσαν τους τοίχους από μεταλλικά φύλλα και αποκάλυψαν και τραυμάτισαν τις δεξαμενές αναλωμένου καυσίμου. Επίσης, από το σεισμό, το τσουνάμι ή τις εκρήξεις, καταστράφηκε, όπως φαίνεται σήμερα, μέρος του συστήματος ψύξης των αντιδραστήρων 1,2 και 3. Οι δεξαμενές του αναλωμένου καυσίμου έχασαν έτσι την ψύξη τους, μέρος των ράβδων γυμνώθηκαν, υπερθερμάνθηκαν, καίγονταν και άρχισε σημαντική διαρροή ραδιενέργειας και από αυτές. Είδαμε τις προσπάθειες να γεμίσουν αυτές τις δεξαμενές με νερό, χρησιμοποιώντας πυροσβεστικές αντλίες. Δυστυχώς, οι ανησυχίες για αυτόν τον τρόπο αποθήκευσης αναλωμένου καυσίμου στο υπερκείμενο κτίριο επιβεβαιώθηκαν στη Φουκουσίμα.

Οι πιθανές αιτίες της διαρροής υδρογόνου στα υπερκείμενα κτήρια έχουν ως εξής. Όταν η πίεση στο δοχείο πίεσης της καρδιάς και στο περίβλημα ασφάλειας άρχισε να αυξάνεται επικίνδυνα, λόγω των ατμών και του υδρογόνου, το προσωπικό διοχέτευσε αέρια από το περίβλημα ασφάλειας στο περιβάλλον. Μέρος αυτών φαίνεται πως διέρρευσε και συσσωρεύθηκε στο υπερκείμενο κτίριο. Καθώς η πίεση στο περίβλημα ασφάλειας αυξανόταν, το προσωπικό πραγματοποίησε, ορθώς και όπως προβλέπεται, μία ή περισσότερες ελεγχόμενες εκτονώσεις αερίων στην ατμόσφαιρα, συμπεριλαμβανομένου υδρογόνου και ραδιενεργών αερίων, προκειμένου να μειωθεί η πίεση. Οι χειριστές στην Φουκουσίμα, προκειμένου να μειώσουν την εκροή ραδιενεργών αερίων στην ατμόσφαιρα, επέτρεψαν την αύξηση της πίεσης του συστήματος εγκλωβισμού αρκετά πάνω από την πίεση λειτουργίας, οπότε προέκυψε διαρροή αερίων υψηλής πίεσης από το σύστημα εγκλωβισμού στο υπερκείμενο κτίριο. Οι συνέπειες των εκρήξεων είναι πλέον σαφείς: διαρροή ραδιενέργειας στο περιβάλλον από τις δεξαμενές αναλωμένου καυσίμου, βλάβες στον εξοπλισμό ψύξης και ηλεκτροδότησης στις αίθουσες των στρόβιλο-γεννητριών, άρα δυσκολία αποκατάστασης επαρκούς ψύξης της καρδιάς, με συνέπεια την επί εβδομάδες, μέχρι σήμερα, αδυναμία αποκατάστασης

ευσταθούς ασφάλειας. Η συγκεκριμένη τοποθέτηση των δεξαμενών αναλωμένου καυσίμου, απεδείχθη ότι είναι συμβιβασμός εις βάρος της ασφάλειας, χάριν της οικονομίας.

Το 2002 απεκαλύφθη το σκάνδαλο παραποίησης εκθέσεων ασφάλειας, προς την ρυθμιστική αρχή, και απόκρυψης σοβαρών συμβάντων ασφάλειας επί πολλά έτη, από τον ενεργειακό κολοσσό ΤΕΡСО, ιδιοκτήτη του σταθμού της Φουκουσίμα και άλλων πυρηνικών σταθμών. Οι παραποιήσεις αφορούσαν, μεταξύ άλλων, και τις ρωγμές στις συγκολλήσεις του «περιβλήματος» (shroud) της καρδιάς των αντιδραστήρων, γεγονός εξαιρετικά σοβαρό για την ασφάλεια. Π.χ. η γερμανική ρυθμιστική αρχή απέρριψε την επισκευή, αντί πλήρους αντικατάστασης, του περιβλήματος της καρδιάς του αντιδραστήρα Wuergassen και επέβαλε το κλείσιμο του αντιδραστήρα το 1995. Μετά την αποκάλυψη του σκανδάλου επεβλήθη δωδεκάμηνη διακοπή της λειτουργίας του αντιδραστήρα Ι.

Είναι σαφές ότι: (i)οι αντιδραστήρες άντεξαν το μεγάλο σεισμό, έκλεισαν όπως προβλεπόταν και όδευαν ομαλά προς ευσταθές κλείσιμο, (ii)το ατύχημα προέκυψε από το εξαιρετικά μεγάλο τσουνάμι, για το μέγεθος του οποίου δεν είχαν λάβει μέτρα ασφάλειας, ως όφειλαν, (iii) στο συγκεκριμένο σταθμό υπήρχαν απαράδεκτες ελλείψεις, όντως δαπανηρών, εγκαταστάσεων ασφάλειας, (iv)προτεραιότητα της ΤΕΡСО υπήρξε το κέρδος, μέχρι βαθμού αβελτηρίας, εις βάρος της ασφάλειας, (v) η ρυθμιστική αρχή απεδείχθη, τουλάχιστον, ανεπαρκής και (vi)ενώ οι αντιδραστήρες είναι τεχνολογίας και προδιαγραφών που ίσχυαν προ πενήντα ετών, στη Φουκουσίμα δεν προέβησαν, ως όφειλαν, στις εξαιρετικά σημαντικές βελτιώσεις της ασφάλειας αντίστοιχων αντιδραστήρων, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν σε άλλες χώρες, όπως π.χ. στην Ευρώπη και τις ΗΠΑ.

Μ. Αντωνόπουλος-Ντόμης