

# ΤΣΕΡΝΟΜΠΙΛ - Η ΑΝΑΤΟΜΙΑ ΕΝΟΣ ΠΥΡΗΝΙΚΟΥ ΑΤΥΧΗΜΑΤΟΣ

Γράφει ο Κώστας Πάππας

2<sup>η</sup> Συνέχεια



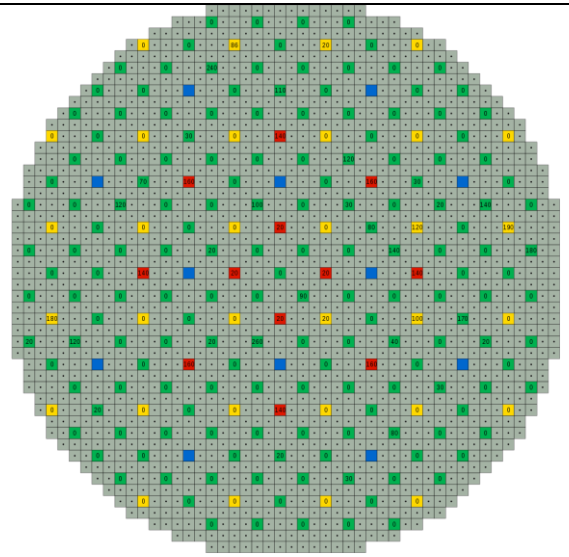
*Dr. Costas Pappas είναι πυρηνικός φυσικός και εργάζεται για την Ατομική Ενέργεια του Καναδά (AECL), στους πυρηνικούς αντιδραστήρες CANDU. Υπήρξε ο Γραμματέας του Οργανισμού Πυρηνικής Ενέργειας του Καναδά (1996-2000) και δίδαξε σε έκτακτη βάση το μάθημα της Μηχανικής Πυρηνικών αντιδραστήρων (Nuclear Engineering) στο Πανεπιστήμιο McGill του Μόντρεαλ. Απόφοιτος του Université de Montréal, συνέχισε τις μεταπτυχιακές του σπουδές στο McMaster University, Hamilton, Ontario, πλάι στον καθηγητή Bertram Brockhouse, ο οποίος το 1994 τιμήθηκε με το βραβείο Nobel για τη Φυσική, για εργασίες που έκανε πάνω στη σκέδαση ουδετερονίων. Costas μελέτησε την μαγνητική δομή της ύλης, σε κρυσταλλική μορφή, σε*

*θερμοκρασίες κοντά στο απόλυτο μηδέν (-273<sup>ο</sup> C), οδηγώντας δέσμες ουδετερονίων (neutrons) από τον πειραματικό πυρηνικό αντιδραστήρα του πανεπιστημίου McMaster. Καθ' όλη την μετέπειτα καριέρα του, για 40 χρόνια δουλεύει με την AECL και περιστασιακά στην Νότιο Αφρική σαν σύμβουλος στο PBMR (Pebble Bed Modular Reactor) project .*

Η καρδιά (the core) ενός αντιδραστήρα τύπου RBMK (Τσερνομπίλ), όπου γίνεται η πυρηνική σχάση (καύση σε συμβατό εργοστάσιο), έχει το μέγεθος ενός Καναδικού σπιτιού φορτωμένος με 800 τόνους τούβλα από γραφίτη και 50 τόνους Ουράνιο, όπου διαμπερώς, κάθετα υπάρχουν 1,660 τρύπες, που διατρέχονται από 1,460 αγωγούς πίεσης, εντός των οποίων υπάρχει ελαφρώς εμπλουτισμένο ουράνιο. Ο πυρηνικός αντιδραστήρας στο Τσερνομπίλ χρησιμοποιούσε ράβδους καυσίμων αποτελούμενο από 97.6% U-238 and 2.4% U-235 (μέγιστο), γύρω από το οποίο (μέσα στους αγωγούς πίεσης) τρέχει το ψυκτικό νερό σε πίεση. Ο αντιδραστήρας διατρέχεται επίσης από 200 ράβδους ελέγχου (στις άλλες 200 τρύπες) (σχ. 1).

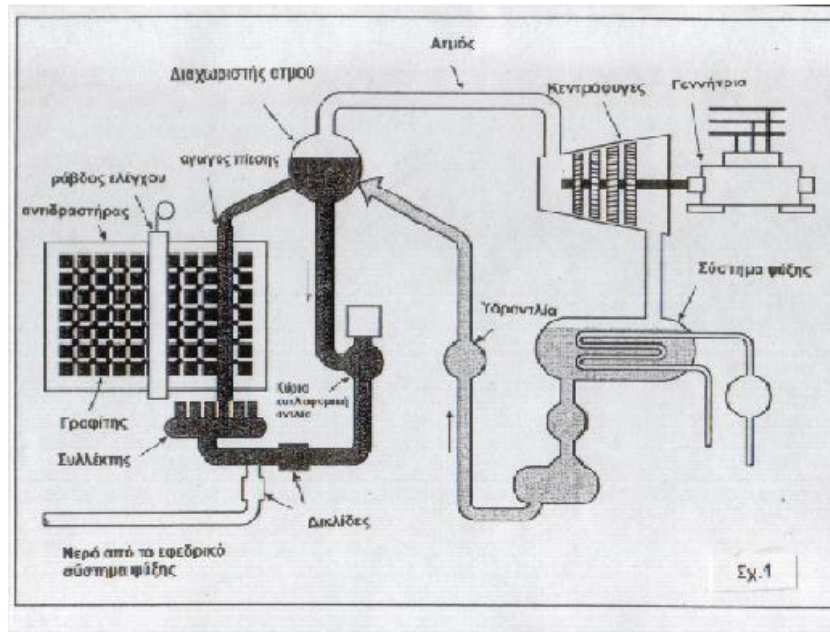
Στην επόμενη εικόνα, φαίνεται ένας ενδεικτικά, ένας αγωγός πίεσης, από τους 1460, επισημενόμενος με ένα τόξο στα αριστερά.

Καθώς λοιπόν τα ουδετερόνια κατά τρισεκατομμύρια διασπούν τα άτομα του ουρανίου, που γειτονεύουν με τον γραφίτη, το ουράνιο και ο γραφίτης θερμαίνονται από την εκλυόμενη θερμότητα που ακολουθεί κάθε σχάση.



Αριστερά το δάπεδο – επιφάνεια του αντιδραστήρα Chernobyl (πριν μπουν οι σωληνώσεις στους αυλούς). Φαίνονται οι τρύπες (1660) των αυλών, όπου στους 1460 (ανοικτό πράσινο, με τις τελίτσες στη μέση) θα μπουν οι σωληνώσεις, εγκάρσια δια μέσου της μάζας των 800 τόνων γραφίτη, που μέσα σε αυτές θα φορτωθούν 50 τόνοι ουράνιο με το ψυκτικό νερό. Οι υπόλοιπες 200 (κίτρινες, μπλε, κόκινες, γαλάζιες, πράσινες) θα χρησιμοποιηθούν για ράβδους ελέγχου (Δεξιά η Διατομή των 1660 αυλών). Η ίδια εικόνα του δαπέδου σε λεπτομέρειες.

Το νερό που κυκλοφορεί με την βοήθεια υδραντλίας (στη μέση της εικόνας) εντός των αγωγών πίεσης, που διατρέχουν το σώμα της μάζας ουρανίου-γραφίτη, εξερχόμενο θερμό, από την κορυφή του αντιδραστήρα, απορροφά αυτή την θερμότητα. Το μίγμα ατμού και νερού συναντιέται στο **Διαχωριστή ατμού**, υπό πίεση.

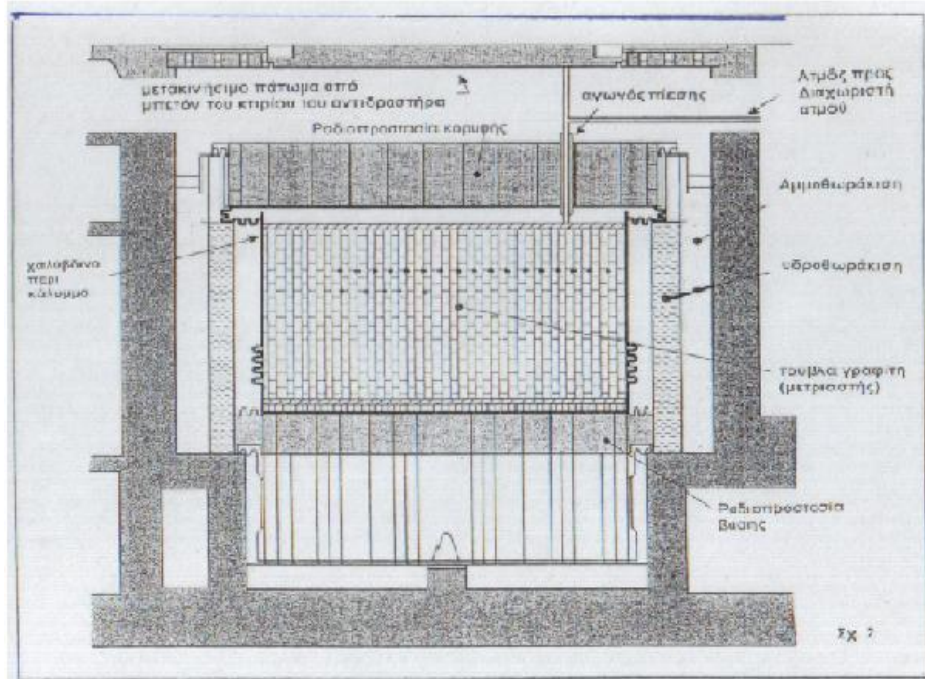


Από κει, ο ατμός πηγαίνει σε δύο μεγάλες κεντρόφυγες (τουρμπίνες), που βρίσκονται στο πλαϊνό κτίριο, όπου η ενέργεια του υπό πίεση ατμού, τις περιστρέφει, μετατρέποντας την θερμική ενέργεια σε κινητική. Ο ατμός έπειτα αφήνοντας τις κεντρόφυγες περνάει από το σύστημα ψύξης (στο δεξί μέρος), μετατρέπεται πάλι σε νερό και με την βοήθεια της υδραντλίας πάει πάλι πίσω στον αντιδραστήρα, συμπληρώνοντας το κύκλωμα. Οι κεντρόφυγες με την σειρά τους περιστρέφουν την γεννήτρια μετατρέποντας την κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική.

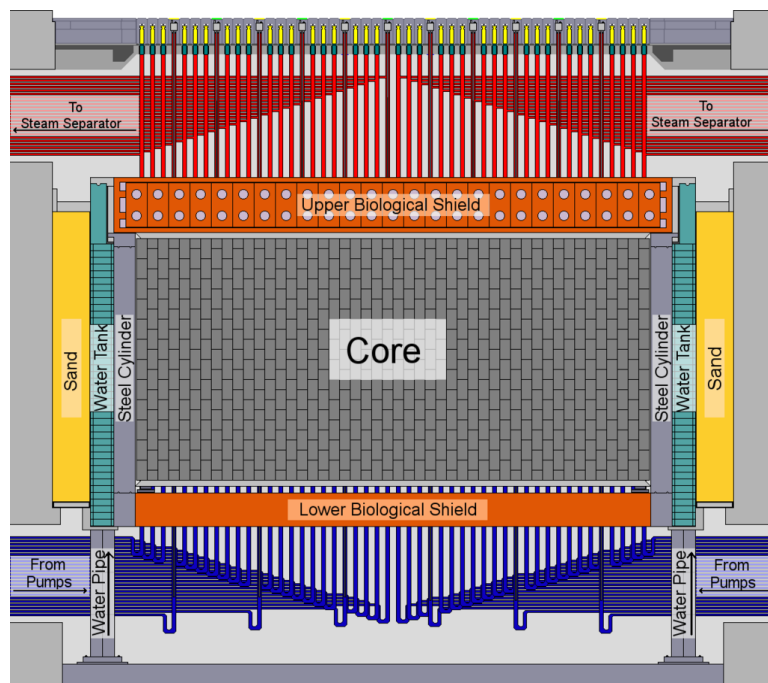
Γύρω στα 5% της θερμότητας που δημιουργείται στο καύσιμο του ουρανίου κατά την διάσπαση, μεταφέρεται στον γειτονικό γραφίτη που ανεβάζει την θερμοκρασία του στους 7,000 Κελσίου, κάνοντας τον μετριστή να ακτινοβολεί με ένα φαντασμαγορικό - εξωτικό θαμπό κοκκινωπό χρώμα. Το πρόβλημα τώρα είναι, ότι ο γραφίτης σε μεγάλες θερμοκρασίες καίγεται αργά, όπως και τα κοινά κάρβουνα, που χρησιμοποιούνται στα πικνίκ, όταν είναι εκτεθειμένα στον αέρα. Για τον λόγο αυτό, είναι πολύ σπουδαίο στους RBMK αντιδραστήρες, να κρατηθεί ο αέρας μακριά από τον γραφίτη. Οι Σοβιετικοί προνόησαν να περικαλύψουν ολόκληρη την καρδιά του αντιδραστήρα (γραφίτη και ουράνιο) με μεταλλικό περίβλημα. Η υπόλοιπη δομή συνίσταται από θωράκιση που αποτελείται από νερό, άμμο και μπετόν για περιορισμό των ακτινοβολιών γύρω από τον αντιδραστήρα, όπου υπάρχει το λειτουργικό προσωπικό, όταν ο αντιδραστήρας είναι εν ενεργεία ή ακόμα και εκτός (σχ.2). Το επάνω μέρος του αντιδραστήρα καλύπτονταν από μπετόν με μεταλλική ενδοκάλυψη, στο οποίο ήσαν εξαρτημένοι όλοι οι αγωγοί πίεσης και οι δίαυλοι από όπου περνούσαν οι ράβδοι ελέγχου. Το μπετονένιο αυτό περικάλυμμα κατά την στιγμή του ατυχήματος έπαιξε το ρόλο του, όπως θα δούμε πάρα κάτω. Σε κάθε αντιδραστήρα, εάν ένας αγωγός πίεσης (μέσα στον οποίο συνυπάρχει το νερό με το ουράνιο, κυκλοφορεί ραδιενεργός ατμός ή νερό), που ψύχει το ουράνιο σπάσει, ορισμένα προκαθορισμένα γεγονότα μπορούν να συμβούν:

- Ποσότητα ραδιενέργειας θα διαφύγει από τον σωλήνα και θα μολύνει την μονάδα.
- Εφ' όσον το ουράνιο χάνει μέρος του ψυκτικού του, θα θερμανθεί, ακόμα και μέχρι ερυθρότητας και θα πάθει ζημιά.

- Ραδιενεργά κατάλοιπα (τα προϊόντα σχάσεως), που βρίσκονται εγκλωβισμένα μέσα στο καύσιμο ουράνιο, διαφεύγουν ελεύθερα στο περιβάλλον, μέσα και έξω από τον χώρο της μονάδας.



Το διάγραμμα απο το δικό μας Report της AECL (Τα ελληνικά δικά μου)



Εγκάρσια Τομή του Chernobyl σε καινούργια απεικόνιση

Αυτά τα γεγονότα είναι απαράδεκτα, αφ' ενός για λόγους δημόσιας προστασίας και ασφάλειας και αφ' ετέρου για λόγους οικονομίας.

Για να ελαττώσουν τις πιθανότητες διαφυγής ραδιενεργού υλικού στον περιβάλλοντα χώρο, οι σχεδιαστές πυρηνικών αντιδραστήρων παρέχουν διάφορες "γραμμές άμυνας":

- a. Ιδιαίτερως υψηλής ποιότητας σωλήνωση, με επιπρόσθετη συχνή επιθεώρηση, για την πρόληψη αναπάντεχης ποιοτικής κατάρπτωσης. Δηλαδή η αρχή του ότι η πρόληψη είναι καλύτερη της θεραπείας.
- b. Πρωτεύοντα συστήματα ελέγχου τα οποία σε περίπτωση που ένας σωλήνας σπάσει, να μπορέσουν να "σβήσουν" τον αντιδραστήρα και στις περισσότερες περιπτώσεις να αντικαταστήσουν το νερό που χάνεται, αποφεύγοντας την καταστροφή του καυσίμου από την υπερβολική θερμότητα.
- c. Επιπρόσθετα συστήματα ασφαλείας που ενεργούν, μόνο σε περίπτωση ατυχήματος και αντικαθιστούν (back up) τα πρωτεύοντα συστήματα ελέγχου, που αναφέραμε πιο πάνω. Αυτά μπορούν να "σβήσουν" τον αντιδραστήρα και να αντικαταστήσουν το νερό, σε οποιονδήποτε σωλήνα σπάσει. Το σύστημα που αντικαθιστά το νερό, που χάνεται όταν συμβεί ατύχημα, λέγεται Εφεδρικό Σύστημα Ψύξης του αντιδραστήρα (Emergency Core Cooling system ή ECC).
- d. Ισχυρό στεγανό κτίριο, που περιβάλλει τις σωλήνες, όταν αυτοί σπάσουν και ακόμα όταν ραδιενεργό υλικό διαφύγει. Ο ατμός και η ραδιενέργεια περιορίζονται στο κτίριο. Το στεγανό αυτό κτίριο δεν εμποδίζει ένα ατύχημα από του να συμβεί, αλλά προστατεύει το κοινό με το να περιορίσει εντός του κτιρίου τα αποτελέσματα του ατυχήματος.

Το κτίριο αυτό λέγεται Containment, στα Ελληνικά θα δώσω μια δική μου ελεύθερη μετάφραση, "Κτιριακή Θωράκιση". Κάτι δηλαδή σαν το κουτί της Πανδώρας, σε περίπτωση που ανοίξει έπειτα από σοβαρό ατύχημα.

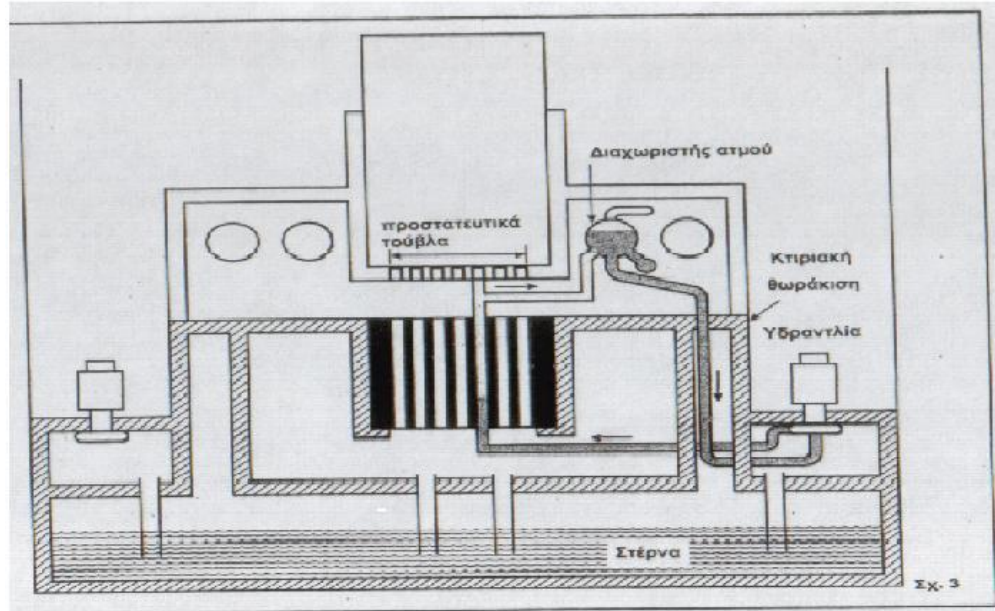
Η μονάδα 4 του Τσερνομπίλ είχε επιπρόσθετα συστήματα ασφαλείας που αναφέραμε πάρα πάνω και σύστημα ECC, αλλά είχε μερική Κτιριακή Θωράκιση και αυτό υπήρξε μοιραίο.

Οι σωληνώσεις κάτω από τον αντιδραστήρα περιέχονται σε αυτό το κατασκεύασμα, που οι Σοβιετικοί ονομάζουν "υδατοστεγείς θύλακες".

Οι θύλακες αυτοί ή τα στεγανά, συγκοινωνούν με μία τεράστια υπόγεια στέρνα. Εάν κάποια από τις σωλήνες, σε κάποιο θύλακα σπάσει, ο ατμός θα οδηγηθεί στην στέρνα, όπου οτιδήποτε ραδιενεργά σωματίδια περιέχονται σ' αυτόν, θα παγιδευτούν από το νερό. Οι σωληνώσεις όμως πάνω από τον αντιδραστήρα περιβάλλονται από κοινό βιομηχανικό κτίριο (σχ. 3).

Πριν προχωρήσω θα ήθελα να υπερτονίσω τρία βασικά στοιχεία που ήδη προανέφερα στο πρώτο μου άρθρο, αλλά που θεωρώ σκόπιμο να τα επαναλάβω και θα ήθελα να τα κρατήσετε στη μνήμη σας στο υπόλοιπο της ανάλυσης.

- Στοιχείο 1. Η ισχύς ενός αντιδραστήρα ελέγχεται (αυξομειώνεται) με την κίνηση των ράβδων ελέγχου μέσα-έξω από τον χώρο καύσης (διάσπασης) του αντιδραστήρα. Κινώντας μια ράβδο ελέγχου **εντός** του αντιδραστήρα, προσθέτουμε περισσότερη απορροφητική επιφάνεια για τα ουδετερόνια και επομένως η **ισχύς ελαττώνεται**, κινώντας την ράβδο προς **εκτός** αντιδραστήρα, η **ισχύς αυξάνεται**. Επίσης όσο περισσότερες ράβδους έχουμε μέσα στο χώρο καύσης τόσο η ισχύς ελαττώνεται. Όσο περισσότερες ράβδους έχουμε έξω από το χώρο καύσης τόσο η ισχύς αυξάνει.
- Στοιχείο 2. (Ισχύει **ΜΟΝΟ ΣΕ RBMK λόγω γραφίτη και λάθους, το αντίθετο σε Δυτικούς αντιδραστήρες**). Το νερό σε υγρή μορφή ενεργεί σχεδόν σαν μια ράβδο ελέγχου μέσα στον αντιδραστήρα (σε μικρότερη βέβαια κλίμακα), απορροφά τα ουδετερόνια **μειώνοντας την ισχύ**. Σε κατάσταση **βρασμού** (ατμός) του νερού, λιγότερα ουδετερόνια απορροφώνται από το νερό, επομένως **αυξάνει** η ισχύς.
- Στοιχείο 3. Ο γραφίτης δεν απορροφά τα ουδετερόνια, τουναντίον σαν μετριαστής ελαττώνει την ταχύτητα τους, κάνοντας τα έτσι, πιο αποτελεσματικά να δημιουργήσουν διάσπαση. Έχουμε ήδη τονίσει, ότι τα ουδετερόνια έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να απορροφηθούν από το ουράνιο, όσο η ταχύτητά τους μειώνεται. Επομένως η **είσοδος γραφίτη** μέσα στον χώρο διάσπασης, **αυξάνει την ισχύ** του αντιδραστήρα.



Η ανάλυση που ακολουθεί είναι αποτέλεσμα συνεργασίας της Ατομικής Ενέργειας του Καναδά (AECL) και της U.S. Electrical Power Research Institute (EPRI) και αποτελεί την επίσημα παραδεκτή άποψη από την παγκόσμια πυρηνική κοινότητα για το ατύχημα του Τσερνομπίλ.

Στις γραμμές που ακολουθούν, θα προσπαθήσω να απλουστεύσω την ανάλυση, όσο το δυνατό περισσότερο, για να γίνει κατανοητή από τον απλό και ανειδίκευτο αναγνώστη. Πιστεύω, ότι θα βοηθήσει και επαγγελματίες, που πιθανόν να μην ήσαν ενήμεροι των πραγματικών γεγονότων ή να είχαν υπ' όψιν τους άλλα σενάρια, που πιθανόν να μην εκφράζουν την πραγματικότητα.

### Στήνεται το Σκηνικό του Ατυχήματος

Είναι πράγματι μια από τις ειρωνείες της τύχης, ότι το σοβαρότερο πυρηνικό ατύχημα του αιώνα άρχισε σαν ένα πείραμα (τεστ) που είχε μοναδικό σκοπό να βελτιώσει την ασφάλεια του πυρηνικού αυτού σταθμού.

Τα γεγονότα της 26ης Απριλίου άρχισαν σαν ένα πείραμα να εξακριβώσουν το για πόσο χρονικό διάστημα μια περιστρεφόμενη κεντρόφυγα θα συνέχιζε να περιστρέφεται με την κεκτημένη ταχύτητα της, παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια, εάν ξαφνικά σταματούσε η παροχή ατμού από τον αντιδραστήρα που την περιστρέφει.

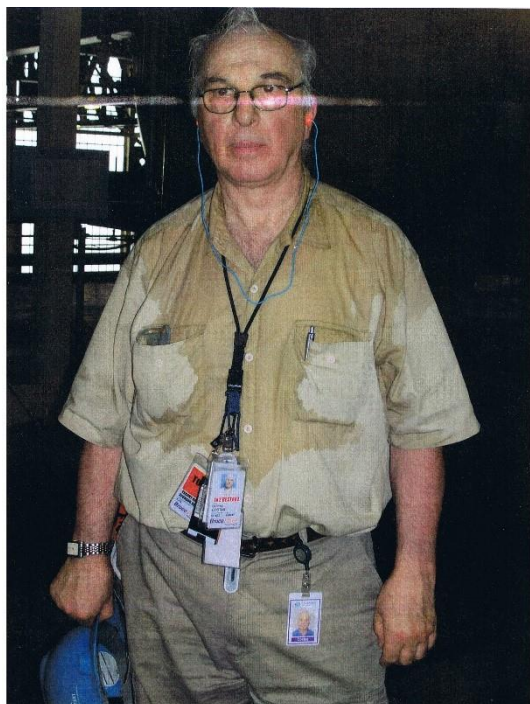
Οι πυρηνικοί σταθμοί έχουν ορισμένα συστήματα που πρέπει να δουλεύουν αδιάκοπα. Για τον λόγο αυτό οι σχεδιαστές έχουν προνοήσει Εφεδρικά συστήματα (stand by) με την χρήση πετρελαιογεννητριών (Diesel), όπως στα νοσοκομεία, που παράγουν ηλεκτρική ισχύ σε περίπτωση ανάγκης.

Παίρνει όμως γύρω στα 30 δευτερόλεπτα σε μια τέτοια πετρελαιογεννήτρια να αρχίσει την περιστροφή της και να φτάσει σε πλήρη ισχύ. Υπάρχουν όμως ορισμένα ζωτικά συστήματα, που απαιτούν συνεχή και αδιάκοπη ηλεκτρική παροχή για να λειτουργήσουν και τα 30", αν και χρόνος σύντομος για μερικά συστήματα, είναι απαράδεκτος για άλλα.

Αποφασίστηκε λοιπόν, χρησιμοποιώντας το γεγονός, του ότι θα έσβηναν την μονάδα για την ετήσια συντήρηση ρουτίνας, να εκμεταλλευτούν το γεγονός της ελάττωσης της ισχύος, για να πιστοποιήσουν αν σε περίπτωση απώλειας του αντιδραστήρα, η κεκτημένη ταχύτητα της κεντρόφυγος, προτού σταματήσει τελείως να περιστρέφεται, θα μπορούσε να συμπληρώσει αυτό το κενό, παράγοντας την απαραίτητη ηλεκτρική ενέργεια, πριν αναλάβει τη δουλειά αυτή η πετρελαιογεννήτρια (θυμηθείτε ότι χρειάζεται περίπου 30").

Οι Σοβιετικοί ήθελαν να εξακριβώσουν όχι μόνο πως ήταν δυνατό να αντεπεξέλθουν με ένα ατύχημα,

αλλά και με την απώλεια ηλεκτρικής ισχύος στην μονάδα. Αυτό το τελευταίο μπορεί να φαίνεται λίγο



Ο γράφων, στο Boiler room του Πυρηνικού Αντιδραστήρα BRUCE A-1 in Western Ontario, 830 MW gross (830 εκατ. Watts) πλαι στη Λίμνη Huron. Το τι βλέπετε είναι ιδρώτας, ενώ η εξωτερική θερμοκρασία είναι 30 βαθμούς κάτω από το ΜΗΔΕΝ.

παράξενο στον αναγνώστη, να μείνει δηλαδή κανείς από ηλεκτρική ισχύ σε ένα εργοστάσιο παραγωγής της. Είναι απλό, μετά από ένα ατύχημα το αυτόματο σύστημα ελέγχου σβήνει τον αντιδραστήρα αμέσως, επομένως δεν μπορεί πλέον να παράγει ηλεκτρική ενέργεια, για να κινήσει τις υδραντλίες που κυκλοφορούν το ψυκτικό νερό. Τώρα και με τον αντιδραστήρα "σβηστό" πρέπει να αφαιρεθεί η υπάρχουσα θερμότητα από τον αντιδραστήρα.

Οι Σοβιετικοί λοιπόν, σκέφτηκαν να χρησιμοποιήσουν την ηλεκτρική ενέργεια της περιστρεφόμενης από κεκτημένη ταχύτητα κεντρόφυγος, που λόγω της μεγάλης μάζας της, παίρνει αρκετό χρόνο να ελαττωθεί η κεκτημένη ταχύτητα και να σταματήσει τελείως, μετά από ένα ατυχές "σβήσιμο" του αντιδραστήρα, για να τροφοδοτήσουν με ηλεκτρική ενέργεια τις εφεδρικές υδραντλίες και να στείλουν νερό στο Εφεδρικό Σύστημα Ψύξης (ECC) μέχρι να αρχίσουν οι Ντίτζελ.

Το πείραμα λοιπόν της μοιραίας ημέρας, συνίστατο στο να διαπιστώσουν, για πόσο χρόνο ο ηλεκτρισμός της γεννήτριας μπορούσε να τροφοδοτήσει τις εφεδρικές υδραντλίες, που κυκλοφορούν το νερό μέσα από το θερμό καύσιμο, πριν αρχίσουν οι Ντίτζελ να παράγουν την

εφεδρική ηλεκτρική ενέργεια.

Το ίδιο πείραμα είχε γίνει προηγουμένως στην μονάδα 3, χωρίς ιδιαίτερα παρατάγους. Αλλά η ηλεκτρική ισχύ εκεί, έπεσε γρηγορότερα από 30" σε χαμηλά επίπεδα.

Αποφασίστηκε λοιπόν το πείραμα στην μονάδα 4 να γίνει,

αφού πρώτα είχαν τελειοποιήσει τις ηλεκτρικές συσκευές. Το σκεπτικό αυτό προέβλεπε ελάττωση της ισχύος του αντιδραστήρα στο μισό (50%) της μέγιστης ισχύος, έτσι που να μπορούσε ο ατμός να οδηγηθεί σε μία μόνο από τις δύο κεντρόφυγες, ενώ η άλλη θα έβγαινε εκτός κυκλώματος και θα απομονώνονταν, ώστε με την κεκτημένη ταχύτητα, πριν σταματήσει τελείως, θα τροφοδοτούσε τις εφεδρικές υδραντλίες μέχρις ότου αρχίσουν οι Ντίτζελ.

Πολύ αργότερα στη Βιέννη, η Ρωσική αντιπροσωπεία είχε πολύ μεγάλη δυσκολία να δικαιολογήσει στους δυτικούς, τις συνθήκες κάτω από τις οποίες ενήργησαν το πείραμα.

1. Το πείραμα αποφασίστηκε να γίνει ακριβώς πριν από ένα προγραμματισμένο "σβήσιμο" του αντιδραστήρα για συντήρηση ρουτίνας. Εάν το πείραμα δεν γίνονταν, τότε έπρεπε να περιμένουν ένα ολόκληρο χρόνο για το επόμενο προγραμματισμένο "σβήσιμο" (που γίνονται κάθε χρόνο). Επομένως ενήργησαν υπό πίεση για να γίνει το πείραμα.

2. Η Μονάδα - 4 του Τσερνομπίλ, ήταν πρότυπο αντιδραστήρα-τύπου RBMK-1000. Δούλευε άριστα. Οι χειριστές αποτελούσαν, ότι το καλύτερο διέθετε η Σοβιετική ένωση σε ανθρώπινο δυναμικό (ελίτ) χειριστών πυρηνικών σταθμών και ήταν υπέρ αισιόδοξοι.

3. Το πείραμα αυτό, κακώς θεωρήθηκε μόνον σαν ηλεκτρικό τεστ, επομένως οι χειριστές δεν σκέφθηκαν τον πυρηνικό παράγοντα. Υπάρχουν πληροφορίες, ότι την επίβλεψη του πειράματος ανάλαβαν αντιπρόσωποι των κατασκευαστών της γεννήτριας, επομένως ηλεκτρολόγοι, αντί οι κανονικοί και έμπειροι χειριστές του Πυρηνικού σταθμού.

*Συνεχίζεται...*