ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

Διπλωματική Εργασία

«Μοντελοποίηση ατυχημάτων σε χημικούς αντιδραστήρες- Σύγκριση των μεθόδων STEP και ECF»

ΑΝΥΦΑΝΤΗ ΜΑΡΙΝΑ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Κοντογιάννης Θωμάς, Καθηγητής Π.Κ.(Επιβλέπων)

Μουστάκης Βασίλειος, Καθηγητής Π.Κ.

Ζαμπετάκης Λεωνίδας, Καθηγητής Π.Κ.

Χανιά – Μάρτιος 2009

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....4
1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....4
1.2 Ιστορική αναδρομή.....5
1.3 ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ.....8
1.3.1 Τι είναι ένα ατύχημα;.....8
1.3.2 Λόγοι για να διερευνηθεί ένα ατύχημα.....8
1.3.3 Βασικές έννοιες στη διερεύνηση ατυχημάτων.....8
1.3.4 Μερικά αποτελέσματα των ατυχημάτων γενικώς.....11
1.3.5 Εξέταση πρωταρχικού αιτίου.....12
1.3.6 Ποια βήματα περιλαμβάνει η διερεύνηση ενός ατυχήματος;.....13
1.3.7 Ποιος πρέπει να διεξάγει την έρευνα του ατυχήματος;.....13
1.3.8 Η γραπτή αναφορά.....14
1.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ.....15
1.4.1 Μέθοδοι ανάλυσης ατυχημάτων.....17
1.5 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΣΤΟΧΙΩΝ ΣΕ ΧΗΜΙΚΟΥΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΠΑΡΤΙΔΩΝ.....21
1.6 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ-ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ.....28
2. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ.....31
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....31
2.1.1 Επιμέρους τμήματα και εξαρτήματα του αντιδραστήρα.....31
2.1.2 Σημαντικοί παράγοντες.....34
2.2 ΡΟΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΠΑΡΤΙΔΩΝ.....35
2.2.1 Φόρτωση.....35
2.2.2 Επεξεργασία.....36
2.2.3 Διεργασία κένωσης αντιδραστήρα 37
2.3 ΙΕΡΑΡΧΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 39
3. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΩΝ: STEP & ECF 46
3.1 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΗΝ STEP 46
3.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΓΕΓΟΝΟΤΩΝ ΚΑΙ ΑΙΤΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ (ECF) 54
3.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΩΝ 61
3.3.1 Πλεονεκτήματα της τεχνικής STEP.....61
3.3.2 Πλεονεκτήματα της τεχνικής ECF.....61
3.3.3 Σύγκριση των μεθοδολογιών ανάλυσης ατυχημάτων, STEP και ECF 63
4. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ.....65
4.1 ΑΝΑΛΥΣΗ 1ου ΑΤΥΧΗΜΑΤΟΣ : Εσωτερική εκτόνωση ατμών. ..65
4.1.1 Περιγραφή ατυχήματος 65
4.1.2 Διαδοχή των γεγονότων.....66
4.1.3 Διάγραμμα STEP ατυχήματος Νο 1.....68

4.1.4 Διάγραμμα ECF ατυχήματος No 1 69
4.2. ΑΝΑΛΥΣΗ 2ου ΑΤΥΧΗΜΑΤΟΣ: Επικίνδυνο περιστατικό σε αντιδραστήρα.....70
4.2.1 Περιγραφή ατυχήματος 70
4.2.2 Διαδοχή των γεγονότων.....70
4.2.3 Διάγραμμα ECF ατυχήματος No 2 74
4.2.4 Διάγραμμα STEP ατυχήματος No 2.....75
4.3 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ- ΔΙΑΓΝΩΣΗ ΛΑΘΩΝ.....77
4.3.1 Παρατηρήσεις για το 1ο Ατύχημα.....77
4.3.2 Παρατηρήσεις για το 2ο Ατύχημα.....78
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....81
6. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 85
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ..... 92

1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στην εργασία αυτή, παρουσιάζονται και εφαρμόζονται δύο μεθοδολογίες ανάλυσης ατυχημάτων. Οι μεθοδολογίες είναι οι: STEP(Sequentially Timed Events Plotting) και ECFA(Events and Causal Factors Analysis) και εφαρμόζονται σε δύο ατυχήματα που συνέβησαν σε χημικούς αντιδραστήρες παρτίδων. Τα ατυχήματα που αναλύονται, αφορούν ειδικότερα χημικούς αντιδραστήρες και όχι γενικά μεταφορές, βιομηχανίες, κατασκευές. Σκοπός της εργασίας είναι να γίνει ανθρωποκεντρική προσέγγιση και ανάλυση των τεχνολογικών κινδύνων, ώστε η διοίκηση να λάβει μέτρα για την προστασία και ασφάλεια των εργαζομένων. Γενικά, τα ατυχήματα έχουν επιπτώσεις στο περιβάλλον, σε εξοπλισμό, στα συσχετιζόμενα άτομα, αλλά δεν ασχολούμαστε με αυτές. Έμφαση δίνεται στις αιτίες των ατυχημάτων ως προς τα ανθρώπινα λάθη, τα οργανωτικά επίπεδα και τις τεχνολογικές παρεμβάσεις.

Για να γίνει κατανοητή η σημαντικότητα της ανάλυσης των ατυχημάτων, στο πρώτο κεφάλαιο, γίνεται αναφορά σε βασικές έννοιες γύρω από τα ατυχήματα και τις αιτίες τους. Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται σε γενικές γραμμές η λειτουργία του αντιδραστήρα, η προβλεπόμενη ροή των εργασιών και η ιεραρχική ανάλυση της εργασίας. Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι δύο τεχνικές ανάλυσης χρησιμοποιούνται, γίνεται σύγκριση των μεθοδολογιών, παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της κάθε μίας μεθόδου, καθώς και η αποτελεσματικότητα και εμβέλεια των μεθοδολογιών. Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύονται τα ατυχήματα και εφαρμόζονται οι μέθοδοι. Με βάση την παραπάνω ανάλυση, εξάγονται συμπεράσματα για το κάθε ατύχημα. Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα τελικά συμπεράσματα της εργασίας καθώς και συμπεράσματα για την διεξαγωγή της.

1.2 Ιστορική αναδρομή

Η "εκρηκτική" πρόοδος των θετικών επιστημών και ειδικότερα του τεχνολογικού πολιτισμού, η συνεχής ανάπτυξη μεθόδων και τεχνικών παραγωγής όλο και πιο πολύπλοκων, αναπόφευκτα έχουν σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη τεχνολογικών κινδύνων. Σοβαρά βιομηχανικά ατυχήματα μεγάλης έκτασης είναι δυνατό να συμβούν κατά τη παραγωγή, χρήση, αποθήκευση, καθώς και κατά τη φορτοεκφόρτωση και μεταφορά πετρελαιοειδών ή χημικών προϊόντων και δυστυχώς δεν αποτελούν σπάνιο φαινόμενο.

Συμβάντα μεγάλης έκτασης από διαφυγές πετρελαιοειδών ή χημικών ή ακόμη και ραδιενεργών ουσιών μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές, και συχνά καταστροφικές συνέπειες στο προσωπικό μίας βιομηχανίας, στην οικονομική σταθερότητα της παραγωγικής διαδικασίας, στους πολίτες και στο περιβάλλον γενικότερα.

Τα παραδείγματα βιομηχανικών ατυχημάτων μεγάλης έκτασης που ακολουθούν, δείχνουν τη μεγάλη σοβαρότητα με την οποία πρέπει να αντιμετωπίζεται ο σχεδιασμός της εγκατάστασης, η "*ευλαβική*" τήρηση των κανόνων ασφάλειας και ο έλεγχος και τήρηση των διατάξεων ασφάλειας και η σωστή τήρηση των μέτρων ασφάλειας και του τεχνολογικού εξοπλισμού γενικότερα. Τα ατυχήματα αυτά δεν έχουν σχέση με τα ατυχήματα που θα αναλυθούν στην εργασία αυτή, έχουν σκοπό όμως να τονίσουν την έκταση των καταστροφών και απωλειών που μπορούν να προκληθούν από ανθρώπινα λάθη, οργανωτικούς παράγοντες και τεχνολογικές παρεμβάσεις. [Πηγή: Εύη Γεωργιάδου, Βιομηχανικά ατυχήματα μεγάλης έκτασης]

- Feyzin: Γαλλία, Ιανουάριος 1966. Διαρροή προπανίου από διυλιστήρια της πόλης κατά τη δειγματοληψία από μία δεξαμενή. Η αρχική αιτία ήταν λάθος ενέργεια του χειριστή κατά το άνοιγμα και το κλείσιμο των βαλβίδων. Η διαρροή δεν σταμάτησε λόγω τραυματισμού του χειριστή, ακολούθησε ανάφλεξη λόγω σπινθήρα αυτοκινήτου, η δεξαμενή περιβλήθηκε με φλόγες, σημειώθηκε έκρηξη και ακολούθησε το φαινόμενο BLEVE. Σκοτώθηκαν 18 άνθρωποι και τραυματίστηκαν άλλοι 81, ενώ προκλήθηκαν σοβαρές υλικές ζημιές.
- Flixborough: Ηνωμένο Βασίλειο, Ιούνιος 1974. Συνέβη στη χημική εγκατάσταση της Nypro Ltd. Η ανάφλεξη νέφους που εκτιμάται ότι περιείχε 30 τόνους καυσίμου(κυρίως κυκλοεξάνιο) και αέρα, οδήγησε σε μια ισχυρότατη έκρηξη που προκάλεσε την καταστροφή της εγκατάστασης και των κτιρίων της, το θάνατο 28 εργαζομένων, ενώ 140 άνθρωποι τραυματίστηκαν και περίπου 3000 απομακρύνθηκαν από την περιοχή μετά το ατύχημα. Βαριές ζημιές προκλήθηκαν και σε γειτονικά σπίτια ενώ μερικά τζάμια

παραθύρων έσπασαν ακόμη και 15 Km μακριά. Θα πρέπει να σημειωθεί πως το ατύχημα συνέβη Σάββατο, αν δηλαδή το ατύχημα είχε συμβεί μια κανονική εργάσιμη μέρα, τα θύματα ενδεχομένως θα ήταν πολύ περισσότερα.

- Το ατύχημα του Seveso: στο εργοστάσιο φαρμάκων της ICMESA το 1976,σε μία πόλη κοντά στο Μιλάνο, ο ασφαλιστικός δίσκος ενός αντιδραστήρα έσκασε και, μαζί με άλλες οργανικές ενώσεις, διέφυγαν στην ατμόσφαιρα περίπου 2 Kg διοξίνης και κάλυψαν την πόλη με λευκό νέφος το οποίο στη συνέχεια λόγω ισχυρής βροχής επικάθησε στο χώμα. Η επιχείρηση αποκατάστασης της περιοχής αποδείχθηκε εξαιρετικά δύσκολη διότι η διοξίνη είναι αδιάλυτη στο νερό.
- Three mile island: από το θερμοπυρηνικό σταθμό Three Mile Island στην Πενσυλβάνια των ΗΠΑ το 1979 διέφυγε στο περιβάλλον μικρή ποσότητα ραδιενέργειας.
- Mexico City: Μεξικό, Νοέμβριος 1984. Το ατύχημα προκλήθηκε από μεγάλη πυρκαγιά που εκδηλώθηκε στις εγκαταστάσεις υγροποιημένου αερίου (LPG) της πόλης και τις εκρήξεις που ακολούθησαν. Χαρακτηριστικό ήταν το φαινόμενο Domino που παρατηρήθηκε καθώς και η πολύ μικρή διάρκεια που εξελίχθηκε και ολοκληρώθηκε. Οι συνέπειες ήταν πολύ σοβαρές καθώς πέθαναν περισσότεροι από 500 άνθρωποι και περισσότεροι από 7000 τραυματίστηκαν.
- Chernobyl: το 1986 στο Chernobyl στην Ουκρανία λόγω παραβίασης κανονισμών ασφαλείας σε τρία βασικά σημεία, ραδιενεργά στοιχεία διέφυγαν στο περιβάλλον και αναστατώθηκε η ζωή σε ολόκληρη την Ευρώπη. Περίπου 30 άτομα έχασαν τη ζωή τους, ενώ υπολογίζεται ότι μερικές χιλιάδες ακόμη θα πεθάνουν από καρκίνο στα επόμενα 30 χρόνια.
- Το ατύχημα Bhopal: το 1984,από το εργοστάσιο παραγωγής παρασιτοκτόνων της Union Carbide στην πόλη Bhopal της Ινδίας διέφυγαν στην ατμόσφαιρα 25 τόνοι ισοκυανούχου μεθυλίου. Ο επίσημος απολογισμός είναι 1754 νεκροί ενώ συγχρόνως περισσότερα από 200,000 άτομα έπαθαν μόνιμες βλάβες υγείας. Είναι βέβαιο ότι αν υπήρχε σωστός σχεδιασμός έκτακτης ανάγκης, τα θύματα θα ήταν πολύ λιγότερα(δεν πάρθηκε κανένα προστατευτικό μέτρο και οι κάτοικοι αφαίθηκαν να προστατευθούν μόνοι τους).
- Basel: Ελβετία, Νοέμβριος 1986. Συνέβη στις εγκαταστάσεις της Sandoz όταν 1000 τόνοι χημικών προϊόντων πήραν φωτιά και κατά την προσπάθεια κατάσβεσης της, περίπου 10-30 τόνοι χημικών

έπεσαν στον ποταμό Ρήνο, δημιουργώντας τεράστια οικολογική καταστροφή.

- Nantes: Γαλλία, Οκτώβριος 1987. Το ατύχημα οφείλονταν σε πυρκαγιά από χλωριούχα και αζωτούχα λιπάσματα, προκάλεσε την αστοχία ενός γειτονικού σιλό που περιείχε 850 τόνους νιτρικής αμμωνίας και οδήγησε στη συνέχεια στη δημιουργία ενός κίτρινου δηλητηριώδους νέφους, μήκους 15 χλμ και πλάτους 5 χλμ. Το οποίο περιείχε επικίνδυνες ουσίες. Αποφασίστηκε εκκένωση 20,000 ατόμων καταρχήν, ενώ το σχέδιο προέβλεπε και την απομάκρυνση πολλών ακόμα αν αυτό κρινόταν αναγκαίο.
- Στις 19 Νοεμβρίου 1984 μία μεγάλη φωτιά σε ένα εργοστάσιο διακίνησης υγραερίων στο San Juanico προάστιο της πόλης του Μεξικού κόστισε τη ζωή σε 550 ανθρώπους.
- Στις 25 Φεβρουαρίου 1984 τουλάχιστον 508 άτομα έχασαν τη ζωή τους στο Cubatao κοντά στο Sao Paulo της Βραζιλίας, όταν ένας αγωγός βενζίνης διερράγη και πήρε φωτιά

Και στη χώρα μας δυστυχώς υπάρχει κάποιο ιστορικό ατυχημάτων μεγάλης έκτασης όπως:

- Το ατύχημα που συνέβη στο λιμένα της Σούδας Χανίων με την έκρηξη δυναμίτιδας στο πλοίο "ΠΑΝΟΡΜΙΤΗΣ" την 1-10-79, όπου είχαμε επτά νεκρούς και εκατό σαράντα τραυματίες.
- Την πυρκαγιά της JET OIL στη Θεσσαλονίκη την 24-2-86. Η φωτιά έκαιγε 7 ημέρες και προκάλεσε τεράστιες ζημιές στις εγκαταστάσεις, στις γεωργικές καλλιέργειες και το περιβάλλον.
- Την πυρκαγιά στις εγκαταστάσεις της ΠΕΤΡΟΛΑ ΕΛΛΑΣ Α.Ε. την 1-9-92, σε μονάδα διύλισης αργού πετρελαίου στην Ελευσίνα Αττικής, με τον τραγικό απολογισμό των 13 νεκρών.
- 23-11-1998: Έκρηξη σε φορτηγίδα από διαρροή καυσίμων κατά την εκφόρτωση πετρελαιοειδών στις εγκαταστάσεις της ΕΚΟ στο λιμάνι της Θεσσαλονίκης με αποτέλεσμα 4 νεκρούς.
- 30-4-1999: Το ατύχημα στην Εθνική Οδό, όταν βυτιοφόρο που μετέφερε προπάνιο τυλίχτηκε στις φλόγες λόγω σύγκρουσης με Ι.Χ. και στη συνέχεια εξερράγη(φαινόμενο BLEVE). Το αποτέλεσμα ήταν 5 άνθρωποι να χάσουν τη ζωή τους, 14 να τραυματιστούν ενώ μεγάλες ήταν οι ζημιές σε πολλά γειτονικά σπίτια στα Καμένα Βούρλα.

1.3 ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ

Στο κεφάλαιο αυτό δίνονται κάποιοι ορισμοί που αφορούν έννοιες συνυφασμένες με τα ατυχήματα και μια γενική εικόνα για την σημασία της ανάλυσης των ατυχημάτων. Επίσης, γίνεται αναφορά στον τρόπο διεκπεραίωσης της έρευνας και την διερεύνηση των αιτιών που προκάλεσαν τα ατυχήματα.

1.3.1 Τι είναι ένα ατύχημα;

Ο όρος ατύχημα μπορεί να οριστεί ως απρογραμμάτιστο γεγονός το οποίο διακόπτει την ολοκλήρωση μιας δραστηριότητας και μπορεί (ή μη) να συμπεριλαμβάνει τραυματισμό ή ζημιά περιουσίας.

Ένα 'περιστατικό' συνήθως αναφέρεται σε ένα απροσδόκητο συμβάν το οποίο δεν προκάλεσε ατύχημα ή ζημιά στην προκειμένη περίπτωση, αλλά υπήρχε η πιθανότητα να συμβεί. [Πηγή: Electronic Library of Construction Occupational Safety and Health-eLCOSH]

1.3.2 Λόγοι για να διερευνηθεί ένα ατύχημα

• το σημαντικότερο, να γνωστοποιηθούν τα αίτια των ατυχημάτων και να εμποδιστούν όμοια ατυχήματα στο μέλλον,
• να εκπληρωθεί ο νομικός κανονισμός,
• να προσδιοριστεί το κόστος του ατυχήματος,
• να προσδιοριστεί η συμμόρφωση με εφαρμόσιμους κανόνες ασφαλείας,
• να δοθούν οι αποζημιώσεις των εργαζομένων.

Όταν ένα ατύχημα διερευνάται πρέπει να δίνεται έμφαση στην αναγνώριση του πρωταρχικού αιτίου του ατυχήματος και όχι τόσο στην διαδικασία της έρευνας για να μπορεί να αποτραπεί ένα άλλο ατύχημα στο μέλλον. Ο σκοπός είναι να αποκαλυφθούν τα γεγονότα που οδηγούν σε ενέργειες. Πάντα πρέπει να αναζητούνται τα βαθύτερα αίτια και δεν πρέπει απλά να καταγράφονται τα βήματα του γεγονότος. [Πηγή: Canadian Center for Occupational Health & Safety-CCOHS]

1.3.3 Βασικές έννοιες στη διερεύνηση ατυχημάτων

Όταν ένα ατύχημα είναι να διερευνηθεί, ακριβώς τι πρέπει να ερευνηθεί; Για να απαντηθεί αυτή η ερώτηση, οι ιδέες οι οποίες αφορούν το χαρακτήρα του φαινομένου του ατυχήματος πρέπει να εξεταστούν λεπτομερώς. [Πηγή: Hendric, K., Benner Jr., L., 1987]

Ένα ατύχημα είναι μια διαδικασία η οποία έχει ένα απροσδόκητο και ανεπιθύμητο αποτέλεσμα.

Οποιαδήποτε διαδικασία συμπεριλαμβάνει μια ποικιλία ανθρώπων, πραγμάτων, διαδικασιών, αντιλήψεων, προσδοκιών και άλλων συστατικών στοιχείων τα οποία αλληλεπιδρούν για να πραγματοποιήσουν το τελικό αποτέλεσμα. Αυτό ισχύει εάν το αποτέλεσμα είναι αναμενόμενο και επιθυμητό (όπως με τη βιομηχανική επεξεργασία), απρόβλεπτο αλλά επιθυμητό (όπως με τη νόμιμη διαδικασία ή σε διαπραγματεύσεις), ή απρόβλεπτο και ανεπιθύμητο (όπως σε ατύχημα).

Όταν τα στοιχεία της διαδικασίας και οι αλληλεπιδράσεις τους είναι κατανοητές, οι ειδικές συστηματικές σχέσεις περί αυτών μπορεί να γίνουν αντιληπτές. Τα ξεχωριστά γεγονότα τα οποία συνέβησαν κατά τη διάρκεια της διαδικασίας του ατυχήματος είναι περισσότερα από ένα σωρό τυχαίες περιστάσεις που συνέβησαν στη φύση. Όταν τα γεγονότα στη διαδικασία του ατυχήματος κατανοηθούν αρκετά, δεν είναι αρκετό να κοιτάζει κανείς τα ατυχήματα σαν μια αλυσίδα γεγονότων, επειδή αυτό υπονοεί ότι γινόταν μονό ένα πράγμα τη φορά κατά τη διάρκεια του ατυχήματος.

Η έρευνα δείχνει ότι τα ατυχήματα στην πραγματικότητα είναι μία περίπλοκη συνεχής αλληλεπίδραση ζευγαριών γεγονότων, περιλαμβάνοντας ανθρώπους και πράγματα, τα οποία επιδρούν το ένα στο άλλο με τρόπους που δεν υπήρχε πρόθεση. Αναστατώνουν την αναμενόμενη, ομαλή ροή των γεγονότων, τα οποία θα προκαλούσαν το επιθυμητό τελικό αποτέλεσμα και την μετατρέπουν σε μια εντελώς διαφορετική διαδικασία, δημιουργώντας ένα διαφορετικό αποτέλεσμα-μια απώλεια. Όταν η φυσιολογική και αναμενόμενη ροή των γεγονότων αποδιοργανώνεται και η βλαβερή κατάληξη είναι απρόβλεπτη και ανεπιθύμητη, μπορεί να ονομάζεται ατύχημα, ανωμαλία, αποτυχία, διακοπή λειτουργίας, αναποδιά, καταστροφή, ή εάν η διακοπή ήταν προμελετημένη, έγκλημα.

Τα ατυχήματα διερευνώνται επειδή κάποιος θέλει να μάθει για τη απροσχεδίαστη, ανεπιθύμητη μεταμόρφωση από ένα επιθυμητό αποτέλεσμα σε μια ανεπιθύμητη κατάληξη. Υπάρχουν και άλλοι λόγοι για να ερευνηθούν τα ατυχήματα, αλλά όλοι ξεκινούν από την ανάγκη για κατανόηση των διαδικασιών των ατυχημάτων.

Εάν ένα ατύχημα θεωρηθεί ως μια αποδιοργανωτική διαδικασία, αυτό σημαίνει ότι πρέπει να υπάρχει ένας τρόπος να κρίνουμε πότε μια συγκεκριμένη διαδικασία ατυχήματος ξεκίνησε και πότε τελείωσε έτσι ώστε το περιθώριο της έρευνας μπορεί να ορισθεί. Με την ιδέα της διαδικασίας, ένα συγκεκριμένο ατύχημα αρχίζει με την πράξη η οποία οδήγησε στη μεταμόρφωση από την επιθυμητή διαδικασία σε μια εξέλιξη

ατυχήματος, και τελειώνει με το τελευταίο συνδεόμενο, βλαβερό γεγονός της διαδικασίας αυτής.

Η αρχική πράξη ή το αρχικό γεγονός που αναζητούμε στην έρευνα ενός ατυχήματος είναι αυτό το οποίο άρχισε τη διαδικασία του ατυχήματος. Το αρχικό γεγονός είναι η δράση από κάποιο δράστη κατά τη διάρκεια μίας σταθερής, φυσιολογικής δραστηριότητας την οποία ακολούθησαν περαιτέρω αλλαγές οι οποίες κατέληξαν στην τελική βλάβη. Για να βρούμε το αρχικό γεγονός του ατυχήματος, αναζητάμε την πρώτη αθέλητη μεταβολή η οποία δεν καταπολεμήθηκε με ρυθμιστική ή προσαρμοστική αντίδραση από ανθρώπους ή πράγματα ώστε να διατηρήσει την αναμενομένη πορεία των γεγονότων.

Ένα ή περισσότερα από τα στοιχειά της διαδικασίας μπορεί να επηρεάζονται από το πρώτο αποδιοργανωτικό γεγονός. Μπορεί να υπάρχουν μερικές απρομελέτητες αλλαγές που συμβαίνουν σχεδόν ταυτοχρόνως.

Οι ερευνητές χρησιμοποιούν τακτικά τον όρο 'γεγονός' κατά τη διάρκεια μιας έρευνας. Μια καθαρή ιδέα και μια σταθερή κατανόηση για το τι είναι ένα γεγονός είναι απαραίτητο στη διεξαγωγή μιας καλής έρευνας. Η ανάπλαση των πληροφοριών που μαζεύτηκαν κατά τη διάρκεια της έρευνας των γεγονότων είναι η δεύτερη μεταμορφωτική διαδικασία που συνδέεται με ατυχήματα τα οποία πρέπει να κατανοηθούν. Εάν τα στοιχειά του ατυχήματος δεν μεταφραστούν σωστά σε γεγονότα, δεν θα παραχθεί μια καλή ερεύνα.

Τι είναι ένα γεγονός;

Στη πιο σύντομη μορφή του, ένα γεγονός είναι ένας δράστης που εκτελεί μια πράξη. Ο δράστης έχει ένα όνομα το οποίο είναι μοναδικό. Η κατανόηση του τι είναι ένας δράστης, τι κάνουν οι δράστες και τι είναι μια πράξη είναι μια αναγκαία προϋπόθεση για να είναι κάποιος ικανός να αναγνωρίσει ένα γεγονός και να παράγει καλές έρευνες.

Τι είναι ένας δράστης;

Για το σκοπό της κατανόησης ενός ατυχήματος, ένας δράστης μπορεί να είναι ένα πρόσωπο ή ένα πράγμα. Ο ορός 'δράστης' χρησιμοποιείται για να προσδιοριστεί η ταυτότητα των ανθρώπων ή πραγμάτων που επηρεάζουν άμεσα τη ροή των γεγονότων που απαρτίζουν τη διαδικασία του ατυχήματος. Οι άνθρωποι μπορεί είτε να είναι μέρος της διαδικασίας του ατυχήματος ή απλώς παρατηρητές. Πράγματα, μπορούν είτε να είναι μπλεγμένα άμεσα στη διαδικασία του ατυχήματος ή να παρατηρούν (ή να καταγράφουν) τα γεγονότα της διαδικασίας. Είτε οι δράστες συμμετέχουν είτε είναι παρατηρητές της διαδικασίας του ατυχήματος, πρέπει να περιλαμβάνονται στην έρευνα.

Οι δράστες μπορούν να εμπλέκονται σε δυο είδους αλλαγών: προσαρμοστικές αλλαγές ή αυτές που προκαλούν αλλαγές. Μπορούν είτε να αλλάζουν αντιδραστικά για να διατηρήσουν τη δυναμική ισορροπία είτε μπορούν να εισάγουν τις αλλαγές στις οποίες άλλοι δράστες πρέπει να προσαρμοστούν.

Το δεύτερο είδος αλλαγών στο οποίο δράστες εμπλέκονται είναι εγκαινιαστικές αλλαγές στις οποίες άλλοι δράστες πρέπει να αντιδρούν. Οι ερευνητές μαθαίνουν να συγκεντρώνονται στις αλλαγές τις οποίες ένας δράστης εισήγαγε για να αρχίσει μια αλλαγή σε άλλο δράστη. Οι δράστες οι οποίοι ξεκινούν αλλαγές στους άλλους δράστες έχουν πρωταρχικό ενδιαφέρουν επειδή καθιερώνουν την πορεία των γεγονότων που συμβαίνουν, άσχετο πως οι αλλαγές ή οι επιδράσεις είναι εφήμερες.

Τι είναι μία πράξη;

Μια πράξη είναι κάτι καμωμένο από το δράστη. Μπορεί να είναι φυσικό και αισθητό, ή μπορεί να είναι νοητικό εάν ο δράστης είναι άνθρωπος. Οτιδήποτε και αν είναι η πράξη, προκαλείται από κάποιο δράστη. Μια πράξη είναι κάτι το οποίο 'κάνει' ο δράστης και πρέπει να δηλώνεται σε ενεργητική φωνή. Οι δράστες μπορούν να ενεργούν σε αντικείμενα.

1.3.4 Μερικά αποτελέσματα των ατυχημάτων γενικώς

- Αρνητικές όψεις
  - Τραύματα και πιθανός θάνατος
  - Αρρώστια
  - Ζημιές σε εξοπλισμό και περιουσία
  - Κόστος δικαστικών αγώνων, ενδεχόμενες μηνύσεις
  - Χαμένη παραγωγικότητα
  - Ηθικό
  - Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

- Θετικές όψεις
  - Έρευνα ατυχήματος
  - Πρόληψη επανάληψης
  - Αλλαγές στο πρόγραμμα ασφαλείας
  - Αλλαγές στη μεθόδευση
  - Αλλαγές στα σχέδια εξοπλισμού

[Πηγή: Electronic Library of Construction Occupational Safety and Health-eLCOSH]

1.3.5 Εξέταση πρωταρχικού αιτίου

Ένας ερευνητής που πιστεύει ότι τα ατυχήματα προκαλούνται από ανασφαλείς καταστάσεις, πιθανώς να προσπαθεί να αποκαλύψει καταστάσεις ως αιτίες. Απ'την άλλη μεριά, κάποιος που πιστεύει ότι το ατύχημα προκλήθηκε από ανασφαλείς ενέργειες, θα προσπαθήσει να αποκαλύψει ανθρώπινα λάθη ως αιτίες. Συνεπώς είναι απαραίτητο να εξεταστούν μερικά βαθύτερα αίτια σε μια αλυσίδα γεγονότων που καταλήγουν σε ένα ατύχημα.

Το σημαντικό σημείο είναι ότι ακόμα και στα πιο φανερά και ξεκάθαρα ατυχήματα, σπάνια, αν ποτέ, υπάρχει ένα και μοναδικό αίτιο. Για παράδειγμα, μία 'έρευνα' που καταλήγει στο ότι το ατύχημα προκλήθηκε από εργατική απροσεξία και δεν προχωρεί περαιτέρω, παραλείπει να ζητήσει απαντήσεις για μερικές σημαντικές ερωτήσεις όπως:

• ο εργάτης ήταν παραζαλισμένος; Αν ναι, γιατί;
• ακολουθούνταν ασφαλής διαδικασία εργασίας; Αν όχι, γιατί;
• υπήρχαν οι απαραίτητοι μηχανισμοί ασφαλείας; Αν όχι, γιατί;
• ήταν εκπαιδευμένος ο εργάτης; Αν όχι, γιατί;

Μία έρευνα που απαντά σε αυτές και άλλες σχετικές ερωτήσεις, πιθανώς να αποκαλύψει καταστάσεις πιο ανοικτές σε διορθώσεις παρά προσπάθειες να αποτραπούν απροσεξίες.

Για την διερεύνηση του ατυχήματος, οι ερευνητές συλλέγουν πληροφορίες, τις αναλύουν, βγάζουν συμπεράσματα και κάνουν συστάσεις.

Το να γίνονται συστάσεις είναι ο πιο σημαντικός λόγος για τον οποίο λαμβάνει χώρα η έρευνα. Είναι το τελικό βήμα και σε αυτό, γίνονται μια σειρά από συστάσεις προερχόμενες από ώριμη σκέψη και είναι σχεδιασμένες ώστε να αποτρέπουν την επανάληψη όμοιων περιστατικών. Όταν είναι γνωστές οι διαδικασίες της εργασίας και η γενική κατάσταση της οργάνωσης, δεν είναι πλέον δύσκολο να γίνουν ρεαλιστικές συστάσεις. Οι συστάσεις πρέπει:

• να είναι συγκεκριμένες
• να είναι εποικοδομητικές
• να φτάσουν στις πρωταρχικές αιτίες
• να αναγνωρίσουν συγγενείς παράγοντες

[Πηγή: Canadian Center for Occupational Health & Safety-CCOHS]

1.3.6 Ποια βήματα περιλαμβάνει η διερεύνηση ενός ατυχήματος;

Η διαδικασία της έρευνας του ατυχήματος περιλαμβάνει τα εξής βήματα:

• Αναφορά του συμβάντος σε διορισμένο πρόσωπο μέσα στον οργανισμό
• Εξασφάλιση πρώτων βοηθειών και ιατρικής περίθαλψης στα τραυματισμένα άτομα και αποτροπή περαιτέρω τραυματισμών και ζημιών
• Διερεύνηση του ατυχήματος
• Εξακρίβωση των αιτιών
• Αναφορά των πορισμάτων
• Ανάπτυξη σχεδίου για διορθωτική δράση
• Εφαρμογή του σχεδίου
• Αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της διορθωτικής δράσης
• Αλλαγές για συνεχή βελτίωση

[Πηγή: Canadian Center for Occupational Health & Safety-CCOHS]

1.3.7 Ποιος πρέπει να διεξάγει την έρευνα του ατυχήματος;

Ιδανικά, η διερεύνηση θα πρέπει να διεξάγεται από κάποιον με εμπειρία στην πρόκληση ατυχημάτων, μεθόδους έρευνας, με πλήρη γνώση των μηχανισμών της εργασίας, μεθόδους, άτομα και βιομηχανικές σχέσεις που περιβάλλουν μια συγκεκριμένη κατάσταση.

Μερικές αρμοδιότητες εξασφαλίζουν καθοδήγηση, όπως η απαίτηση του να διεξάγεται από κοινού με τους εκπροσώπους των εργαζομένων και την διοίκηση ή την απαίτηση ότι οι ερευνητές πρέπει να έχουν βαθιά γνώση των μηχανισμών της εργασίας.

Στις περισσότερες περιπτώσεις κρίνεται απαραίτητο να βοηθήσει την διερεύνηση του συμβάντος ο επικεφαλής της εργασίας. Άλλα μέλη που μπορεί να συμμετέχουν στην έρευνα είναι:

• υπάλληλοι με γνώση της δουλειάς,
• στέλεχος ασφαλείας,
• η επιτροπή υγείας και ασφάλειας,
• συνδικαλιστικός αντιπρόσωπος,
• ειδικός εξωτερικός συνεργάτης
• αντιπρόσωπος από τοπική αρχή.

[Πηγή: Canadian Center for Occupational Health & Safety-CCOHS]

Ο σκοπός της έρευνας ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΝΑ:

- Αθωώνει άτομα ή τη διοίκηση

- Ικανοποιεί απαιτήσεις ασφαλιστικών εταιριών
- Υπερασπίζει μία στάση για νομική επιχειρηματολογία
- Ή να εκχωρεί ευθύνες

[Πηγή: Electronic Library of Construction Occupational Safety and Health-eLCOSH]

1.3.8 Η γραπτή αναφορά

Εάν η οργάνωση έχει ένα πρότυπο έντυπο που πρέπει να χρησιμοποιείται, τότε δεν υπάρχει ευελιξία στην μορφή που θα έχει η γραπτή αναφορά. Παρόλα αυτά, πρέπει να είναι αντιληπτό και να γίνεται προσπάθεια να ξεπεραστούν τα τυχόν μειονεκτήματα. Οι αναγνώστες της αναφοράς πιθανόν να μην έχουν βαθιά γνώση του ατυχήματος, οπότε πρέπει ο ερευνητής να κάνει λεπτομερή αναφορά. Οι αιτίες για τα συμπεράσματα πρέπει να δηλώνονται. [Πηγή: Canadian Center for Occupational Health & Safety-CCOHS]

1.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ

Για την ανάλυση ατυχημάτων υπάρχουν διάφορες τεχνικές οι οποίες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με το αρχικό σημείο εστίασης:
1. κρίσιμα γεγονότα και τεχνολογικές παρεμβάσεις.
2. ανθρώπινα λάθη και οι μηχανισμοί τους.
3. αιτιολογικοί παράγοντες στο χώρο εργασίας και στα οργανωτικά επίπεδα. [Πηγή: Κοντογιάννης Θ., Χανιά 1997]

Στην πρώτη τεχνική, κρίσιμα γεγονότα και τεχνολογικές παρεμβάσεις, δίνεται έμφαση στις αστοχίες των εξοπλισμών, των υλικών, των τεχνολογικών συστημάτων, των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου, στους μηχανισμούς φραγμών και στα συστήματα διαφυγής. Τα τελευταία χρόνια δίνεται έμφαση στην εσφαλμένη ανθρώπινη έρευνα η οποία απέτυχε στο να ελέγξει ή να επιδεινώσει την ακολουθία του ατυχήματος. Επίσης, το φυσικό περιβάλλον και ειδικότερα αιφνίδιες αλλαγές στο περιβάλλον αυτό, είναι παράγοντες που πρέπει να προσδιοριστούν. Η κατάσταση την ώρα του ατυχήματος είναι σημαντική και όχι οι κανονικές συνθήκες: θόρυβος, φωτισμός, θερμοκρασιακές συνθήκες, ατμοσφαιρικές συνθήκες.

Τα ανθρώπινα λάθη μπορεί να προέρχονται από ενδογενείς ή εξωγενείς αιτίες. Οι ενδογενείς αιτίες αποτελούνται από τα λάθη παράληψης (μία πληροφορία που θα έπρεπε να συλληφθεί, παραβλέπεται και αγνοείται), τα λάθη λόγω σύγχυσης (μία πληροφορία εκλαμβάνεται ως μία άλλη) και τα λάθη παρερμηνείας(σε μία πληροφορία αποδίδεται μία σημασία διαφορετική από αυτή που πραγματικά έχει). Οι εξωγενείς αιτίες αφορούν τη μη παροχή αναγκαίων πληροφοριών για την εκτέλεση μιας εργασίας. Η φυσική και ψυχική κατάσταση των εργαζομένων που είναι άμεσα εμπλεκόμενα με το γεγονός, θα πρέπει να εξεταστούν. Σκοπός δεν είναι να καταχωρηθούν ευθύνες, αλλά αν δεν μελετηθούν προσωπικά χαρακτηριστικά, η έρευνα δεν είναι ολοκληρωμένη. Κάποιοι παράγοντες θα παραμένουν σταθεροί ενώ κάποιοι άλλοι θα ποικίλουν από την μία μέρα στην άλλη: ωράρια εργασίας και διαλείμματα ανάπαυσης, εναλλαγή βάρδιας και νυχτερινή εργασία.

Υπάρχουν δύο τύποι λαθών: τα ολισθήματα (π.χ. σωστή επιλογή αλλά λάθος εκτέλεση) και τα σφάλματα (π.χ. λάθος επιλογή). Οι ενδογενείς αιτίες των ολισθημάτων είναι απροσεξία, πρότυπα συνήθειας, λησμόνηση και εσπευσμένη αντίδραση, ενώ οι εξωγενείς παράγοντες είναι πίνακες ελέγχου, επιγραφές, επικοινωνίες και κατανομή των ευθυνών. Για τα σφάλματα, οι ενδογενείς αιτίες είναι ανεπαρκείς γνώσεις, εστίαση ερμηνείας, επιλεκτικότητα, ενώ οι εξωγενείς αιτίες είναι η εκπαίδευση, η εμπειρία και η υποστήριξη εργασίας.

Στην Τρίτη τεχνική, η εστίαση γίνεται στις ευθύνες της διοίκησης για τις εργασιακές συνθήκες και τις τεχνικές βλάβες που οδηγούν σε ατυχήματα. Η διοίκηση έχει την νομική ευθύνη για την ασφάλεια του χώρου εργασίας, οπότε ο ρόλος των επιστατών και των ανώτερων διοικητικών στελεχών, όπως και ο ρόλος της παρουσίας συστημάτων διοίκησης, πρέπει πάντα να εξετάζεται στην έρευνα ενός ατυχήματος. Αποτυχίες στα συστήματα διοίκησης είναι συχνά άμεσοι ή έμμεσοι παράγοντες στα ατυχήματα. Εξετάζονται διάφοροι παράγοντες αναφορικά με την ομαδική απόδοση και τους διοικητικούς χειρισμούς σχετικά με την ασφάλεια. Εξετάζονται τα οργανωτικά συστήματα και μηχανισμοί οι οποίοι ευθύνονται για τον έλεγχο και τη διατήρηση των επιδιωκόμενων λειτουργιών, που όμως επέτρεψαν το ατύχημα ή την παραλίγο αστοχία να συμβεί. Ανεπάρκειες ή αστοχίες των οργανωτικών συστημάτων μπορούν να δώσουν πρόοδο σε πολλές αφανείς αστοχίες (π.χ. προβλήματα συντήρησης, ανεπάρκεια εκπαίδευσης, διαδικασίες) οι οποίες είναι πιθανό να προκαλέσουν ατύχημα αργά ή γρήγορα.

<u>Οργανωτικοί παράγοντες:</u>

- Ομαδική εργασία και επικοινωνίες: καταμερισμός φόρτου εργασίας, σαφήνεια των ευθυνών, επικοινωνίες, εξουσία και ηγεσία-αντιφάσεις ανάμεσα στην άτυπη και την τυπική μορφή ιεραρχίας, ομαδικός προγραμματισμός και προσανατολισμός.
- Πολιτικές διοίκησης: πολιτική γενικής ασφάλειας, συστήματα εργασίας, εκμάθηση από λειτουργική εμπειρία, πολιτικές για κανονισμούς και εκπαίδευση, πολιτικές σχεδιασμού, ομαδικός προγραμματισμός και προσανατολισμός σε κατάσταση έκτακτης ανάγκης.

<u>Εργασιακοί παράγοντες:</u>

Εδώ ερευνάται η διαδικασία της εργασίας που εφαρμόστηκε στην πραγματικότητα στην ώρα του ατυχήματος

- Σχεδίαση εξοπλισμού: χωροθέτηση/πρόσβαση, εντοπισμός εξοπλισμού-επιγραφές, προσωπικός εξοπλισμός προστασίας.
- Σχεδίαση πίνακα ελέγχου: περιεκτικότητα και σχετικότητα των πληροφοριών, εντοπισμός των ενδεικτικών σημάτων και χειριστηρίων, συμβατότητα με τα πρότυπα του χρήστη, ομαδοποίηση πληροφοριών, συνοπτική παρουσίαση των κρίσιμων μεταβλητών και συναγερμοί.
- Βοηθήματα / Εγχειρίδια εργασίας: σαφήνεια οδηγιών, επίπεδο περιγραφής, καθορισμός συνθηκών εισόδου/εξόδου, ποιότητα ελέγχων και προειδοποιήσεων, βαθμός υποστήριξης και διάγνωσης

σφαλμάτων, εναρμόνιση με λειτουργική εμπειρία, συχνότητα ενημέρωσης.

- Εκπαίδευση: σαφήνεια απαιτήσεων ασφαλείας και παραγωγής, εκπαίδευση στη χρήση νέου εξοπλισμού, εξάσκηση σε ασυνήθιστες καταστάσεις, εκπαίδευση στη χρήση εγχειριδίων για καταστάσεις ανάγκης, εκπαίδευση στη χρήση συστημάτων αυτομάτου ελέγχου.

1.4.1 Μέθοδοι ανάλυσης ατυχημάτων

Έχει αναπτυχθεί ένας μεγάλος αριθμός μεθόδων για την ανάλυση των ατυχημάτων, η κάθε μία μέθοδος με τα δυνατά της σημεία και τις αδυναμίες της. Κάποιες μέθοδοι μεγάλης σημασίας έχουν επιλεγεί για περεταίρω ανάλυση σε επόμενα κεφάλαια.
Παρακάτω ακολουθεί μία λίστα με μεθοδολογίες όπως τις παρουσιάζει το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ (DOE 1999):

Πυρήνας αναλυτικών τεχνικών
Διαγράμματα και ανάλυση γεγονότων και αιτιολογικών παραγόντων
Ανάλυση φραγμών
Ανάλυση πρωταρχικού αιτίου

Σύνθετες τεχνικές ανάλυσης
Για σύνθετα ατυχήματα με πολλαπλές αποτυχίες συστήματος, μπορεί επιπρόσθετα να χρήζουν αναλυτικών τεχνικών όπως λεπτομερής ανάλυση δέντρου.
Ανάλυση δέντρου αποτυχιών
MORT (Management Oversight and Risk Tree: Διοικητική αβλεψία και δέντρο ρίσκου)
PET (Project Evaluation Tree Analysis: Έργο αξιολόγησης ανάλυση δέντρου)

Ιδιαίτερες αναλυτικές τεχνικές
Ανάλυση ανθρωπίνων παραγόντων
Ενιαίος πίνακας γεγονότων ατυχήματος
Μοντέλα αποτυχιών και ανάλυση επιδράσεων
Ανάλυση κινδύνων λογισμικού
Ανάλυση κοινών αιτιών αποτυχίας
Ανάλυση αιφνιδιαστικού γύρου
Προφίλ 72 ωρών
Ανάλυση υλικών και κατασκευών

Επιστημονική μοντελοποίηση

Το κέντρο για την Ασφάλεια Χημικών Διεργασιών (CCPS 1992) προτείνει κάποιες μεθοδολογίες διερεύνησης, μερικές είναι ίδιες με αυτές που προτείνει το Υπουργείο Ενεργείας των ΗΠΑ, αλλά δεν αποτελεί πλήρη λίστα των μεθοδολογιών.

- Μέθοδος ανατομίας ατυχήματος (AAM: Accident Anatomy method)
- Ανάλυση σφαλμάτων δράσης (AEA: Action Error Analysis)
- Ανάλυση εξέλιξης ατυχημάτων και φραγμών (AEB: Accident Evolution and Barrier Analysis)
- Ανάλυση/αξιολόγησης αλλαγών (Change Evaluation/Analysis)
- Λογικό διάγραμμα αιτίου-αποτελέσματος (CELD: Cause- Effect Logic Diagram)
- Μέθοδος δέντρου αιτιών (CTM: Causal Tree Method)
- Ανάλυση δέντρου αποτυχιών (FTA: Fault Tree Analysis)
- Μελέτη κινδύνων και εφαρμοσιμότητας (HAZOP: Hazard and Operability Study)
- Σύστημα βελτίωσης ανθρώπινης αξιοπιστίας (HPES: Human Performance Enhancement System)
- Ανάλυση δέντρου γεγονότων ανθρώπινης αξιοπιστίας (HRA-ET: Human Reliability Analysis Event Tree)
- Έρευνα συμβάντων πολλαπλών αιτιών προσανατολισμένη στα συστήματα (MCSOII: Multiple-Cause, System-oriented Incident Investigation)
- Πολλυγραμμική αλληλουχία γεγονότων (MES: Multilinear Events Sequencing)
- Διοικητική αβλεψία και δέντρο ρίσκου (MORT: Management Oversight Risk Tree)
- Τεχνική ανάλυσης συστηματικών αιτιών (SCAT: Systematic Cause Analysis Technique)
- Διάγραμμα επακόλουθων χρονικών γεγονότων (STEP: Sequentially Timed Events Plotting)
- TapRoot™ σύστημα διερεύνησης συμβάντων (TapRoot™ Incident Investigation System)
- Τεχνική ανασκόπησης της λειτουργίας (TOR: Technique of Operations Review)
- Ανάλυση ασφάλειας της εργασίας (Work Safety Analysis)

Ανάλυση δέντρου αστοχιών (Fault tree analysis)

Η μέθοδος αυτή εστιάζει την ανάλυση στα ανθρώπινα λάθη που συνέβησαν. Το δέντρο αστοχιών είναι ένα λογικό διάγραμμα, το οποίο δείχνει την αλληλεπίδραση μεταξύ των υπεύθυνων αιτιών για την εμφάνιση ενός ανεπιθύμητου γεγονότος. Επιλέγεται ένα ανεπιθύμητο γεγονός και όλοι οι πιθανοί παράγοντες που συμβάλλουν στη δημιουργία του, παρουσιάζονται με τη μορφή ενός δέντρου. Ξεκινώντας από το ανεπιθύμητο γεγονός, η ανάλυση του δέντρου αστοχιών εκτελεί μία "προς τα πίσω" πορεία, ανιχνεύοντας όλα τα πιθανά τα πιθανά γεγονότα που μπορεί να μας οδήγησαν στο ανεπιθύμητο γεγονός.
Τα γεγονότα του δέντρου διέπονται από μία συγκεκριμένη ιεραρχία, όπως παρουσιάζεται παρακάτω:

1. Κορυφαίο γεγονός: Τοποθετείται στην κορυφή του δέντρου, η ανάλυση του οποίου οδηγεί στη δημιουργία του υπόλοιπου δέντρου.
2. Πρωτεύον γεγονός: Είναι το πρωτεύον και βασικό λάθος στο οποίο οφείλεται η δυσλειτουργία του στοιχείου.
3. Δευτερεύον γεγονός: Είναι ένα δευτερεύον λάθος ή επίδραση που προέρχεται από ένα άλλο στοιχείο ή συσκευή, ή από κάποια εξωτερική κατάσταση.
4. Βασικό γεγονός: Είναι ένα γεγονός στο επίπεδο της μικρότερης μονάδας από την οποία αποτελείται το υπό εξέταση σύστημα και τοποθετείται στη βάση του δέντρου.

Τα βασικά βήματα της ανάλυσης είναι τα ακόλουθα:

I. Επιλογή κορυφαίου γεγονότος.
II. Καθορισμός των πρωτευόντων και δευτερευόντων λαθών που προκαλούν το ατύχημα.
III. Καθορισμός των συσχετίσεων μεταξύ των αιτιών και του κορυφαίου γεγονότος, με τη μεθοδολογία και βοήθεια των OR, AND πυλών.

Αφού καθοριστεί το κορυφαίο γεγονός, καταγράφονται όλοι οι εμπλεκόμενοι παράγοντες και συνδέονται με αυτό με τη βοήθεια των OR, AND πυλών.
Η αποτελεσματική χρήση του δέντρου προϋποθέτει την άριστη γνώση της δομής και χρησιμότητας της υπό εξέταση εργασίας. [Πηγή: Κοντογιάννης Θ., Χανιά 1997]

Μελέτη κινδύνων και λειτουργικότητας (HAZOP:Hazard and Operability Study)

Η τεχνική HAZOP αρχικά αναπτύχθηκε για να αναλύει συστήματα χημικών διεργασιών, αλλά αργότερα επεκτάθηκε σε άλλους τύπους συστημάτων και επίσης σε σύνθετες εργασίες και σε συστήματα λογισμικού.
Είναι ποιοτική τεχνική που βασίζεται σε λέξεις-οδηγούς και υλοποιείται από πολύ-πειθαρχική ομάδα κατά τη διάρκεια συνόλου συναντήσεων. Στην ομάδα θα υπάρχει ένας ηγέτης που θα επιλέξει τα μέλη της ομάδας και θα συντονίσει τις συναντήσεις της. Τη βασική ομάδα για την ανάλυση θα την αποτελούν: μηχανικός μελέτης, διευθυντικό στέλεχος-αντιπρόσωπος, μηχανικός επεξεργασίας, ηλεκτρολόγος μηχανικός, μηχανικός ασφαλείας.
Για να διεξαχθεί η έρευνα, η ομάδα πρέπει να έχει στα χέρια της όλα τα δεδομένα που αφορούν τη ροή εργασιών, διαγράμματα οργάνων και σωληνώσεων, χωροταξικά σχεδιαγράμματα, φύλλα με δεδομένα ασφάλειας υλικών(MSDS), ισορροπίες θερμότητας και υλικών και άλλα.

Διαδικασία HAZOP:

1. διαίρεση συστήματος σε τμήματα
2. επιλογή κόμβου μελέτης
3. περιγραφή παράγοντα σχεδίασης
4. επιλογή παραμέτρου διαδικασίας
5. χρήση λέξης-οδηγού
6. προσδιορισμός αιτιών
7. εκτίμηση επιπτώσεων/προβλημάτων
8. προτεινόμενη δράση
9. καταγραφή πληροφοριών
10. επανάληψη διαδικασίας (από βήμα 2)

Οι πληροφορίες και παρατηρήσεις που συλλέγονται καταγράφονται σε ένα φύλλο εργασίας που περιέχει τις παρακάτω στήλες:
Κόμβος, παράγοντες σχεδίασης, απόκλιση, παράμετροι, λέξη-οδηγός(No, more, less, early/late, before/after), αιτία, επίπτωση, φύλαξη ασφαλείας.
Τέλος, συντάσσεται μία αναφορά που περιέχει τα φύλλα εργασίας, τη μεθοδολογία, αρχεία, τα μέλη της ομάδας και τα βασικά συμπεράσματα.
(Πηγή: Marvin Rausand, October 7, 2005, RSSO)

1.5 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΣΤΟΧΙΩΝ ΣΕ ΧΗΜΙΚΟΥΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΠΑΡΤΙΔΩΝ

Παρουσιάζεται μία ανάλυση 142 βιομηχανικών περιστατικών σε αντιδραστήρες παρτίδων που περιλαμβάνουν χημικές αντιδράσεις τύπου A + B→προϊόντα (συμβάντα που εμπεριέχουν προβλήματα θερμικής ισορροπίας με ένα μόνο συστατικό δεν περιλαμβάνονται). Τα περιστατικά έλαβαν χώρα στο Ηνωμένο Βασίλειο κατά την περίοδο 1962-1984 και τράβηξαν το ενδιαφέρον ανώτερων στελεχών Υγείας και Ασφάλειας. Σκοπός ήταν να αναζητηθούν τυχόν εμφανείς τάσεις με σκοπό να εξαχθούν γενικά διδάγματα από προηγούμενα λάθη. [Πηγή: Philip F. Nolan, John A. Barton, Journal of Hazardous Materials, 1987.]

Η πλειοψηφία των βιομηχανικών διαδικασιών για την παραγωγή χημικών είναι εξώθερμες αντιδράσεις και γι'αυτό υπάρχει το ενδεχόμενο να δημιουργηθεί θερμική ανεξέλεγκτη κατάσταση, που χαρακτηρίζεται από προοδευτικές αυξήσεις στον ρυθμό παραγωγής της θερμότητας, στη θερμοκρασία και πίεση (γενικά προκαλείται από στοιχεία της αντίδρασης τα οποία εξαερώνονται και/ ή διαλύονται για να παράξουν αέρια προϊόντα στις υψηλές θερμοκρασίες που συνεπάγονται).

Η ανεξέλεγκτη κατάσταση ξεκινάει όταν η θερμότητα η οποία παράγεται από μία αντίδραση υπερβαίνει την δυνατότητα της συσκευής όπου η αντίδραση εκτελείται, να απάγει τη θερμότητα αυτή. Καταρχήν, η συσσωρευμένη θερμότητα προκαλεί βαθμιαία αύξηση της θερμοκρασίας στη μάζα της αντίδρασης η οποία προκαλεί αύξηση στο ρυθμό της αντίδρασης. Αυτή η διαδικασία που επιταχύνεται μόνη της μπορεί να οδηγήσει τελικά σε έκρηξη. Το πρόβλημα είναι ότι η αύξηση της θερμοκρασίας έχει γραμμική επίδραση στο ρυθμό της μετάδοσης της θερμότητας αλλά ασκεί εκθετική αύξηση στο ρυθμό της αντίδρασης και συνεπώς στο ρυθμό παραγωγής της θερμότητας από μία αντίδραση.

Με σκοπό να προβληθούν τα θέματα τα οποία απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή, οι Barton και Nolan σε μία προηγούμενη ανάλυση πολυάριθμων περιστατικών από δημοσιεύσεις, βιομηχανικές πηγές και τα αρχεία του βρετανικού σώματος επιθεωρητών βιομηχανιών, παρουσίασαν γενικές ταξινομήσεις των γεγονότων υπό το πρίσμα των διαδικασιών των μονάδων, των παραγόντων που ξεκινούν τις διαδικασίες και των βιομηχανιών που συνεπάγονται.

ΤΑ ΓΕΓΟΝΟΤΑ

Μεταξύ 1962 και 1984, 142 γεγονότα τα οποία συνέβησαν σε βιομηχανικούς αντιδραστήρες παρτίδων αναφέρθηκαν στις ελεγχτικές

αρχές. Αντιδράσεις πολυμερισμού πρωταγωνίστησαν με 42 περιστατικά συμπεριλαμβανομένων 13 συμπυκνώσεων φορμαλδεΰδης ακολουθούμενες από νίτρωση (11), σουλφονίωση (8), προετοιμασία αντιδραστηρίου Grignard [αλκυλαλογονίδια μαγνησίου, χρησιμοποιούνται σε οργανικές συνθέσεις] (3) και αλκυλίωση χρησιμοποιώντας τη σύνθεση των Friedel και Crafts [σύνθεση αρωματικών υδρογονανθράκων με αντίδραση αλκυλαλογονιδίων με βενζολικά παράγωγα, παρουσία χλωριδίου του αλουμινίου ως καταλύτη] (2).

Δέκα κύριες διαδικασίες των μονάδων είναι: αλκυλίωση, αμίνωση, διαζώτωση, αλογόνωση (χλωρίωση και βρωμίωση), υδρόλυση, νίτρωση, οξείδωση, πολυμερισμός (συνεπάγοντας συμπύκνωση), σχηματισμός αλάτων, σουλφονίωση.

ΑΝΑΛΥΣΗ

Στα 16 από τα 142 περιστατικά δεν υπήρχαν επαρκείς πληροφορίες, όμως για τα υπόλοιπα 126 τα πρωταρχικά τους αίτια έχουν κατηγοριοποιηθεί σε δύο κύριες κατηγορίες. Η παρακάτω παρουσίαση σε πίνακες περιλαμβάνει των αριθμό των ατυχημάτων που οφείλονται στις υπό κατηγορίες, με αναλυτική αναφορά σε επιμέρους κατηγορίες αιτιών:

Α. Χημική διεργασία
    1. Χημεία αντίδρασης/ θερμοχημεία
    2. Έλεγχος ποιότητας πρώτων υλών
Β. Σχεδιασμός και λειτουργία εγκαταστάσεων
    1. Έλεγχος θερμοκρασίας
    2. Ανάδευση
    3. Αστοχία φόρτωσης αντιδρώντων
    4. Συντήρηση
    5. Άλλοι παράγοντες

Α .Χημική διεργασία

Αφορά τα περιστατικά που αποδίδονται σε έλλειψη γνώσης των διαδικασιών της διεργασίας, την μη κατανόηση των οδηγιών εργασίας (Πίνακας 1) και τη χρήση μη εξουσιοδοτημένων υλικών (Πίνακας 2).

(1)ΧΗΜΕΙΑ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ/ΘΕΡΜΟΧΗΜΕΙΑ

Σε 27 από τα 126 ατυχήματα, σε ποσοστό 21%, τα προϊόντα που παράχθηκαν ήταν προβληματικά γιατί δεν ακολουθήθηκαν οι σωστές διαδικασίες.

Το μείγμα των προϊόντων υπέστη αποσύνθεση	7
καμία αντίληψη της θερμότητας της αντίδρασης στην οποία βασίζονται οι προϋποθέσεις ψύξης του αντιδραστήρα	6
παρήχθησαν ασταθή και ευαίσθητα σε κραδασμούς υπό-προϊόντα	5
η αντίδραση συνέβη μαζικά (όλα τα αντιδραστήρια προστέθηκαν ταυτόχρονα στην αρχή)ενώ σταδιακή φόρτωση θα ήταν καταλληλότερη	3
συνέβη απρομελέτητη οξείδωση αντί για νίτρωση	3
η αντίδραση επιταχύνθηκε λόγω: -κατάλυση από δομικά υλικά του αντιδραστήρα -αναπάντεχη αυτοκατάλυση	 1 1
συνέβη αλλαγή φάσης του προϊόντος (στην κατάσταση ατμού)	1
Σύνολο περιστατικών:	27

Πίνακας 1.Χημεία αντίδρασης/Θερμοχημεία

(2) ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ

Δέκα από τα συμβάντα, ποσοστό 8%, αποδίδονται σε χρήση μη εξουσιοδοτημένων υλικών ή λάθος υλικών για την συγκεκριμένη περίσταση.

απορρόφηση υγρασίας	6
άλλες ακαθαρσίες	3
αλλαγή προδιαγραφών: θα έπρεπε στην αρχή του εφοδιασμού να έχει χρησιμοποιηθεί ένας μεσολαβητής όμως αυτή η αλλαγή δεν είχε καταγραφεί στις οδηγίες	1
Σύνολο περιστατικών:	10

Πίνακας 2.Έλεγχος ποιότητας πρώτων υλών

<u>Β. Σχεδιασμός και λειτουργία εγκαταστάσεων</u>

Αφορά τα περιστατικά που αποδίδονται σε εργασιακούς παράγοντες, ανθρώπινα λάθη και τεχνολογικές παρεμβάσεις. Ειδικότερα, σε αστοχίες εξοπλισμού, βλάβες οργάνων, μη τήρηση των γραπτών οδηγιών σε εργασίες ανάδευσης, φόρτωσης και παρακολούθησης της θερμοκρασίας.

(1) ΕΛΕΓΧΟΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

Σε 28 από τα περιστατικά, ποσοστό 22%, η αστοχία συνδέεται με τον έλεγχο, την καταγραφή, και την αυξομείωση της θερμοκρασίας.

ανεπάρκεια ελέγχου της πίεσης ατμών ή του χρόνου εφαρμογής (περιλαμβάνει μία περίπτωση ακατάλληλης χρήσης ατμού για την απελευθέρωση δοχείου εξόδου, προκαλώντας αποσύνθεση του προϊόντος	6
διερεύνηση λανθασμένης κατάστασης σε όργανο παρακολούθησης της θερμοκρασίας της αντίδρασης	5
αποτυχία συστήματος καταγραφής θερμοκρασίας (που οδηγεί για παράδειγμα σε αυτόματο κλείσιμο του νερού ψύξης ή υπερθέρμανση του πετρελαίου θέρμανσης)	5
απώλεια νερού ψύξης	5
λάθος κατά την ανάγνωση των οδηγιών για το θερμόμετρο ή για τον καταγραφέα διαγραμμάτων	4
αποτυχία στη διασφάλιση επαρκής διαχωριστικής απόστασης μεταξύ αντιδραστήρα και γειτονικής εγκατάστασης	2
υπερβολικά ραγδαία θέρμανση στην αρχή της αντίδρασης	1
Σύνολο περιστατικών:	28

Πίνακας 3.Έλέγχος θερμοκρασίας

(2) ΑΝΑΔΕΥΣΗ

Τα 12 από τα περιστατικά, σε ποσοστό 10%, σχετίζονται με ανεπαρκής προδιαγραφές, απώλεια και μειωμένο χρόνο ανάδευσης.

ανεπαρκής προδιαγραφές ανάδευσης	4
μηχανική βλάβη (π.χ.: αποκοπή πτερυγίου αναδευτήρα)	2
απώλεια παροχής ρεύματος	2
χειριστής σταμάτησε τον αναδευτήρα για να κάνει προσθήκη (τοπικά υψηλή συγκέντρωση προκάλεσε βράση του υδατικού διαλύματος και έκρηξη)	2
χειριστής δεν μπόρεσε να ανάψει τον αναδευτήρα, το καθαρό αποτέλεσμα ήταν μαζική αντίδραση	2
Σύνολο περιστατικών:	12

Πίνακας 4.Ανάδευση

(3) ΑΣΤΟΧΙΑ ΦΟΡΤΩΣΗΣ ΑΝΤΙΔΡΩΝΤΩΝ

Τα 27 από τα 126 περιστατικά, ποσοστό 17%, αφορούν υπερφόρτωση, υπό-φόρτωση, ταχύτητα και συχνότητα φόρτωσης και είδος αντιδρώντων.

υπερφόρτωση (περιλαμβάνει μία περίπτωση υπερφόρτωσης καταλύτη και μία όπου το όργανο μέτρησης όγκου ήταν ελαττωματικό)	8
υπερβολικά γρήγορη φόρτωση (περιλαμβάνει έναν καταλύτη)	5
λανθασμένη συχνότητα προσθήκης	3
υπό-φόρτωση	2
πολύ αργή φόρτωση	1
λάθος υλικό	1
Ελλιπής έλεγχος (χρήση μάνικας)	1
Σύνολο περιστατικών:	21

Πίνακας 5.Αστοχία φόρτωσης αντιδρώντων

(4) ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

Σε 19 περιστατικά, ποσοστό 15%, οι αιτίες που προκάλεσαν αστοχία αφορούσαν την κακή κατάσταση του χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού λόγω κακής συντήρησης.

διαρροή εξοπλισμού (δοχείο έκπλυσης:1, βαλβίδες:3, σωλήνες ψύξης:2)	6
φραγμένοι σωλήνες (άνοιγμα:2, μεταφορά:2)	4
συμπυκνωτής διαλύτη φρακαρισμένος λόγω κλεισίματος της βαλβίδας επαναρροής στον σωλήνα επιστροφής, για συντήρηση	3
κατάλοιπα από προηγούμενη παρτίδα	2
νερό στις γραμμές μεταφοράς (περιλαμβάνει μία περίπτωση διοχέτευσης νερού από δεξαμενή ψύξης)	3
ενδό-εργοταξιακή αντικατάσταση γυαλιού όρασης κατά τη διάρκεια της αντίδρασης	1
Σύνολο περιστατικών:	19

Πίνακας 6.Συντήρηση

(5) ΑΛΛΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Λόγω κακής επικοινωνίας, αδυναμίας εφαρμογής γραπτών οδηγιών και λανθασμένων χειρισμών, προκλήθηκαν άλλα 9 περιστατικά (7%).

αποστράγγιση προϊόντος πριν την αποπεράτωση	3
χειριστής δεν κατάφερε να ακολουθήσει τις γραπτές οδηγίες	3
αποκλίσεις λόγω κακής επικοινωνίας κατά την αλλαγή προσωπικού (αλλαγή βάρδιας, άδεια, ασθένεια)	3
Σύνολο περιστατικών:	9(7%)

Πίνακας 7.Άλλοι παράγοντες

ΖΗΜΙΕΣ ΚΑΙ ΤΡΑΥΜΑΤΙΕΣ

Τα αποτελέσματα των γεγονότων ανεξέλεγκτων καταστάσεων ποικίλουν από μία απλή υπερχείλιση αφρού μάζας της αντίδρασης, μέχρι σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας και πίεσης οδηγώντας σε βίαιη απώλεια του περιεχόμενου και σε μερικές περιπτώσεις την απελευθέρωση εύφλεκτων και/ή τοξικών ουσιών σε μορφή ατμού, υγρού, ή αεροζόλ.

Ο τελικός απολογισμός από τα παραπάνω ατυχήματα είναι τέσσερις θάνατοι και 73 τραυματίες.

ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Κατά τους Barton και Nolan, πολλά ατυχήματα έγιναν λόγω έλλειψης γνώσης της χημείας των αντιδράσεων. Είναι αυταπόδεικτο ότι για να αποφύγει κανείς τις συνθήκες για ανεξέλεγκτες καταστάσεις, είναι απαραίτητο πρώτα να έχει κανείς τη γνώση της χημείας και σχετικής θερμοχημείας της επιθυμητής αντίδρασης, τις ενδεχόμενες απρόβλεπτες συνέπειες και, επίσης, την θερμική σταθερότητα και τις φυσικές ιδιότητες των αντιδρώντων, των ενδιάμεσων και των προϊόντων. Είναι δυνατόν να αποκτήσει κανείς την γνώση αυτή με την αναφορά στις καθιερωμένες εργασίες και/ή στη χρήση μοντέλων. Τέτοιες τεχνικές για προφύλαξη μπορούν να ενισχύονται από μελέτες στο εργαστήριο. Οι μελέτες αυτές μπορούν να συμπεριλαμβάνουν τη χρήση της θερμιδομετρίας, της ροής της θερμότητας, της θερμιδομετρίας του ρυθμού της επιτάχυνσης, και/ ή των πιο απλών δοκιμών της αρχής της εξώθερμης αντίδρασης.

Ουσιαστικά οι μελέτες αυτές πρέπει να δίνουν κάποια ιδέα της θερμοκρασίας στην οποία αρχίζει η εξώθερμη αντίδραση και να δείχνει το μέγεθος της. Ωστόσο, συνηθίζεται να εντοπίζεται η αρχή της εξώθερμης αντίδρασης σε πιο χαμηλή θερμοκρασία σε μεγάλη μάζα όταν αυξάνονται υπό κλίμακα τα στοιχειά του εργαστηρίου στο σχέδιο και λειτουργία μίας βιομηχανικής εγκαταστάσεως. Δηλαδή, απαιτούνται περιθώρια ασφαλείας.

Ως μέρος της μελέτης της χημείας των διεργασιών (process chemistry), είναι σημαντικό να έχουμε στο νου μας τη σημασία της ποιότητας των πρώτων υλών. Η ανάλυση δείχνει ότι η παρουσία ξένων σωμάτων,

ιδιαιτέρως νερού, φαίνεται να παρουσιάζει πρόβλημα. Η παρουσία του νερού προκαλεί επιπρόσθετη ανάπτυξη θερμότητας, αυξάνοντας τη συνολική παραγωγή της θερμότητας πάνω από τη δυναμικότητα του αντιδραστήρα για ψύξη, οδηγώντας σε υπερβολική θερμοκρασία και ρυθμό της αντίδρασης.

Η ανάλυση, περαιτέρω, δείχνει ότι ανεπαρκής χώρος ψύξης -cooling area για τη αφαίρεση θερμότητας ήταν μία αιτία επεισοδίων. Ο ρυθμός της αφαίρεσης θερμότητας καθώς και η ταχύτητα του αναδευτήρα είναι απαραίτητα κριτήρια για τη σχεδίαση του αντιδραστήρα παρτίδων, με ιδιαίτερη προσοχή στην αύξηση υπό κλίμακα των στοιχείων του εργαστηρίου. Ο μηχανικός πρέπει να εξασφαλίζει ότι η δυνατότητα ψύξης της σχεδιασμένης βιομηχανικής εγκατάστασης μπορεί να αντεπεξέρχεται στη παραγωγή θερμότητας από όλες τις μονάδες που προβλέπονται. Υπάρχουν πολυάριθμες αλληλεξαρτήσεις για τη μεταφορά θερμότητας σε αναδευώμενα δοχεία με χιτώνιο.

Πολλά από τα επεισόδια προέκυψαν από σφάλματα κατά την φόρτωση, ανεπαρκή έλεγχο της θερμοκρασίας και ανεπαρκώς σχεδιασμένες λειτουργικές διαδικασίες και εκπαίδευση των χειριστών. Οι τεχνικές της ανάλυσης ρίσκων, της μελέτης των ρίσκων και του χειρισμού προβλέπουν μία συστηματική προσέγγιση σχεδιασμένη για να καθορίζει κρίσιμα χαρακτηριστικά του συστήματος ελέγχου (συμπεριλαμβάνοντας τις πλευρές του χειρισμού) και να υπολογίζει αν η αξιοπιστία τέτοιων χαρακτηριστικών είναι ικανοποιητική. Η ασφαλής λειτουργία των βιομηχανικών εγκαταστάσεων μπορεί να υποστηριχθεί με τη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών ή άλλων τεχνικών αυτομάτου ελέγχου, ωστόσο, δύο επεισόδια συνέβησαν λόγω παραμερισμού του σήματος κινδύνου από το χειριστή.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Είναι φανερό ότι παρά τη γνώση που υπάρχει και τις τεχνικές οι οποίες είναι διαθέσιμες για την εκτίμηση ενδεχόμενων ανεξέλεγκτων αντιδράσεων, για να βοηθήσει το σχεδιασμό της διαδικασίας και των εγκαταστάσεων, έλεγχο και λειτουργία, επεισόδια συνεχίζουν να συμβαίνουν λόγω των κλασικών προβλημάτων της βασικής έλλειψης σωστής αντίληψης της χημείας της διεργασίας και της θερμοχημείας, το ανεπαρκές μηχανικό σχέδιο για τη μεταφορά θερμότητας, ανεπαρκή συστήματα ελέγχου και εφεδρικά συστήματα ασφαλείας και ανεπαρκείς διαδικασίες λειτουργίας συμπεριλαμβάνοντας εκπαίδευση.

1.6 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ-ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

Η ανάλυση εργασιών είναι η διαδικασία μελέτης, συλλογής και ανάλυσης δεδομένων σχετικά με το πώς οι χρήστες εκτελούν ή πρόκειται να εκτελέσουν συγκεκριμένες εργασίες. Η ανάλυση αυτή γίνεται με στόχο να προκύψει βαθύτερη κατανόηση των αλληλεπιδράσεων που λαμβάνουν χώρα ανάμεσα στο χρήστη και τις συσκευές ή εργαλεία τα οποία χρησιμοποιεί κατά την εκτέλεση των εργασιών αυτών.

Η ανάλυση εργασιών γίνεται με δύο τρόπους:

1. Ιεραρχική ανάλυση εργασιών (Hierarchical Task Analysis-HTA)
   Δίνει έμφαση στον τρόπο με τον οποίο μια εργασία διασπάται και πραγματοποιείται τελικά με εκτέλεση επιμέρους εργασιών, μέχρι να καταλήξουμε σε περιγραφή στοιχειωδών, μη περαιτέρω διασπώμενων ενεργειών του χρήστη ή του συστήματος.
2. GOMS (Goals- Operations- Methods- Selection Rules: Στόχοι- Ενέργειες- Μέθοδοι- Κανόνες επιλογής)
   Δίνει έμφαση στη γνωστική διαδικασία επιλογής από τον χρήστη κατάλληλου τρόπου επίτευξης των στόχων που σχετίζονται με την τροποποίηση της συγκεκριμένης εργασίας.

Παρακάτω θα ασχοληθούμε μόνο με την HTA η οποία θα χρησιμοποιηθεί για την παρουσίαση της ροής εργασιών στον χημικό αντιδραστήρα.

<u>Ιεραρχική ανάλυση εργασιών HTA</u>

Η ανάλυση εργασιών της μορφής HTA, έχει σαν στόχο, όταν διενεργείται κατά τη φάση της ανάλυσης του προβλήματος και σύνταξης απαιτήσεων, την κατανόηση της υπάρχουσας κατάστασης και του υφιστάμενου τρόπου εκτέλεσης εργασιών, ενώ κατά τη φάση του σχεδιασμού ενός νέου συστήματος, έχει στόχο τη μελέτη της διάδρασης χρήστη συστήματος και την καταγραφή των απαιτήσεων της διεπιφάνειας του νέου συστήματος

Η HTA είναι μια συστηματική μέθοδος περιγραφής του τρόπου με τον οποίο η εργασία είναι οργανωμένη, για να αναδείξει επιμέρους στόχους ή σκοπούς της εργασίας. Με την μέθοδο αυτή, πολύπλοκες εργασίες μπορούν να αναπαρασταθούν σαν μία ιεραρχική ανάλυση διαδικασιών- διαφορετικών πραγμάτων που πρέπει να γίνουν σε ένα σύστημα, και πλάνων- συνθηκών που είναι απαραίτητες για την πραγματοποίηση αυτών των διαδικασιών.

Την HTA ανέπτυξαν οι Annet et al (1971) ενώ περαιτέρω εξελίξεις έγιναν από τους Duncan (1974) και Shepherd (1985). Αν και η συγκεκριμένη τεχνική αναπτύχθηκε στο πλαίσιο εκπαίδευσης διαδικασιών ελέγχου, έχει επίσης χρησιμοποιηθεί σε πλήθος άλλων εφαρμογών, όπως στη σχεδίαση οθονών ελέγχου, οργάνωση εργασιών και ανάλυση λαθών.

Η HTA περιγράφει την εργασία που πρέπει να επιτύχει ένα άτομο σαν επιμέρους διαδικασίες και πλάνα που συγκεκριμενοποιούν τη χρονική σειρά και τις συνθήκες κάτω από τις οποίες πρέπει να διεκπεραιώνονται οι διαδικασίες. Τα πλάνα αποτελούν ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία της HTA επειδή περιγράφουν: τις πληροφορίες που πρέπει να προσέχει ο εργάτης, τη χρονική σειρά των επιμέρους διαδικασιών, τις απαιτούμενες οδηγίες που ανταλλάσσονται κλπ. Επίσης, κάθε υπό-διαδικασία μπορεί και αυτή, εάν θεωρηθεί σημαντικό, να αναλυθεί σε άλλες υποδεέστερες διαδικασίες και πλάνα. Η διαίρεση εργασιών σε λεπτομερή πλάνα και υπό-διαδικασίες είναι μία χρονοβόρα εργασία και γι'αυτό πρέπει να γίνεται μόνο όπου είναι απολύτως απαραίτητη.

Υπάρχουν κυρίως δύο τρόποι αναπαράστασης μιας HTA: (1) η διαγραμματική και (2) η πινακοποιημένη παρουσίαση. Τα διαγράμματα αφομοιώνονται πιο εύκολα, αλλά οι πίνακες είναι πιο επεξηγηματικοί, καθώς μπορούν να προστεθούν σε αυτούς περισσότερες πληροφορίες.

Η ανάλυση εργασιών που απαιτούν επιδεξιότητες γίνεται συνήθως με τη βοήθεια ατόμων που έχουν γνώση του αντικειμένου, όπως εργάτες, επιβλέποντες ή μηχανικούς. Πληροφορίες μπορούν να συλλεγθούν από ένα πλήθος πηγών όπως: αναφορές ατυχημάτων, εγχειρίδια εργασίας, τεχνικά διαγράμματα κλπ. Πολύ σπάνια η παρατήρηση της απόδοσης προσφέρει πληροφορίες για την ανάλυση εργασίας, ειδικά σε θέσεις όπου η διαδικασία και ο τρόπος επιλογής του αποφασίζοντα δεν γίνεται φανερός.

Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της HTA είναι:
<u>Πλεονεκτήματα</u> :

- Η HTA είναι μία οικονομική μέθοδος για τη συλλογή και οργάνωση πληροφοριών, καθώς η ιεραρχική περιγραφή της εργασίας μπορεί να γίνει ως το σημείο που κρίνεται απαραίτητο για την ανάλυση.
- Η ιεραρχική δομή της HTA βοηθά τον αναλυτή να επικεντρωθεί μόνο στα κρίσιμα σημεία της εργασίας, που μπορούν να έχουν κάποια ανάκλαση πάνω στην ασφάλεια του συστήματος.
- Όταν χρησιμοποιείται για την σχεδίαση ενός συστήματος, η HTA μας επιτρέπει να θεωρήσουμε τις λειτουργίες σε ένα υψηλότερο επίπεδο ανάλυσης πριν ληφθούν οι τελικές αποφάσεις για την

αγορά υλικού. Αυτό είναι σημαντικό όταν γίνεται κατανομή μεταξύ προσωπικού και συστημάτων αυτοματισμού που θα χρησιμοποιηθούν.

- Η HTA εφαρμόζεται κατά τον καλύτερο δυνατό τρόπο όταν υπάρχει συνεργασία μεταξύ του αναλυτή και του προσωπικού. Έτσι ο αναλυτής δομεί την περιγραφή των εργασιών σε συμφωνία με την οπτική γωνία των χειριστών που βρίσκονται στην πρώτη γραμμή του πυρός.
- Η HTA μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν η απαρχή για την ενσωμάτωση διαφόρων μεθόδων ανάλυσης σφαλμάτων κατά την παραγωγική διαδικασία.
- Για εφαρμογές στην ανάλυση επικινδυνότητας, η ιεραρχική δομή της HTA επιτρέπει στον αναλυτή να επιλέξει το βαθμό ανάλυσης ώστε να χρησιμοποιήσει πιθανά διαθέσιμα δεδομένα.

Μειονεκτήματα :

- Ο αναλυτής που θα αναλάβει τη διαδικασία ανάλυσης, θα πρέπει να έχει κάποια εμπειρία σε παρόμοια θέματα, καθώς δεν πρόκειται για μια απλή διαδικαστική λειτουργία που μπορεί να εφαρμοστεί αμέσως. Παρόλα αυτά, η απαιτούμενη εμπειρία μπορεί να αποκτηθεί σχετικά εύκολα μέσω πρακτικής άσκησης.
- Για την ανάλυση πολύπλοκων εργασιών, η HTA πρέπει να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με διάφορα άλλα μοντέλα αξιολόγησης της επίδοσης. Επίσης η HTA παρουσιάζει περιορισμένη εμβέλεια στην περιγραφή εργασιών που απαιτούν μεγάλο βαθμό ικανοτήτων διάγνωσης και λήψης αποφάσεων σε έκτακτες ανάγκες.
- Απαιτεί την προσήλωση και σπατάλη χρόνου από άτομα πολυάσχολα, όπως οι μηχανικοί, οι εργάτες και οι επιβλέποντες.

2. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ

Στο Κεφάλαιο αυτό, περιγράφεται η λειτουργία ενός χημικού αντιδραστήρα διαλείποντος έργου και ειδικότερα τύπος αντιδραστήρα που χρησιμοποιείται στα υπό εξέταση ατυχήματα. Το τελικό προϊόν της αντίδρασης είναι η ριτήνη και περιγράφεται η διαδικασία και τα στάδια παραγωγής της. Στο τέλος της παραγράφου, υπάρχουν τα δενδροδιαγράμματα των διεργασιών και η ιεραρχική ανάλυση των εργασιών.

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γενική αντίδραση ΟΞΥ + ΑΛΚΟΟΛΗ→ ΕΣΤΕΡΑΣ + H_2O που πραγματοποιείται μέσα στον αντιδραστήρα είναι εξώθερμη αντίδραση, δηλαδή εκλύεται θερμότητα ΔΗ. Ο αντιδραστήρας είναι τύπου "διαλείποντος έργου-batch Reactor"που σημαίνει πως τα αντιδρώντα και τα προϊόντα εισέρχονται και εξέρχονται αντίστοιχα σε δόσεις (παρτίδες) ενώ γίνεται συνεχής ανάδευση.
Τα προϊόντα της αντίδρασης είναι εστέρας και νερό τα οποία πρέπει να διαχωριστούν μεταξύ τους με δύο δυνατούς τρόπους:

Διεργασία διαλύτη-solvent process, όπου με υδρόφοβο διαλύτη στον διαχωριστή γίνεται ο διαχωρισμός.

Απόσταξη-distillation.

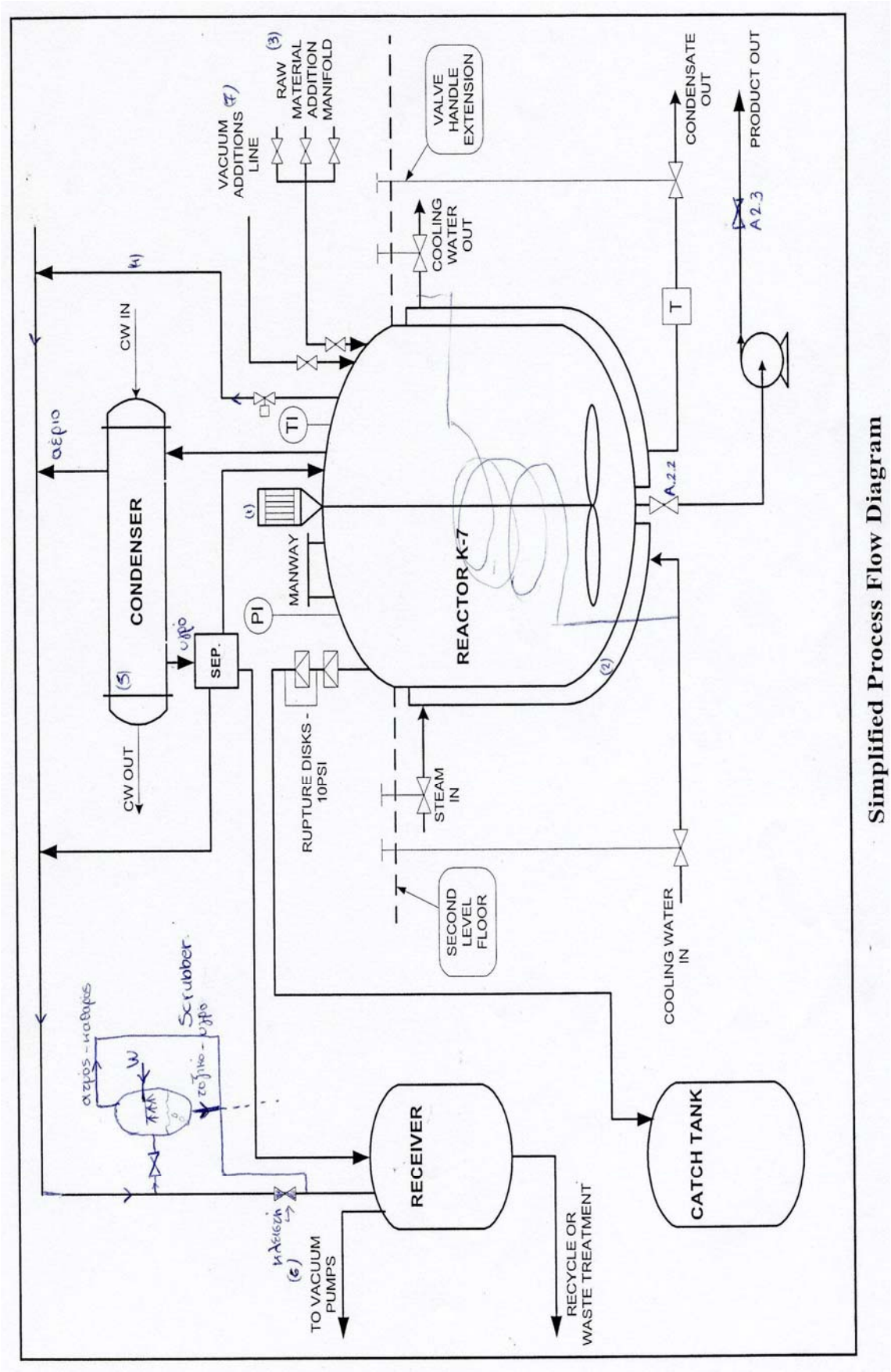
<u>2.1.1 Επιμέρους τμήματα και εξαρτήματα του αντιδραστήρα:</u>

1. Μηχανή αναδευτήρα-stirrer. (Σχήμα 1. Νο 1)
2. Συστήματα ψύξης και θέρμανσης:
   a) Μανδύας-Jacket. (Σχήμα 1. Νο 2) Αποτελείται από τρεις τομείς παράλληλα συνδεδεμένους με μορφή σπείρας που καλύπτουν ολόκληρη την εξωτερική επιφάνεια του αντιδραστήρα. Συνδέεται με σωλήνες εισόδου και εξόδου κρύου νερού για ψύξη του αντιδραστήρα και σωλήνες εισόδου και εξόδου ατμού για τη θέρμανση του αντιδραστήρα. Οι τρεις τομείς μπορούν να λειτουργούν ανεξάρτητα και να ρυθμίζεται η απαγωγή της θερμότητας σε τρεις κλίμακες.
   b) Εσωτερικά του αντιδραστήρα υπάρχει μια σερπαντίνα-coil που είναι συνδεδεμένη με τους σωλήνες παροχής κρύου νερού για την άμεση ψύξη του μείγματος.
3. Σωλήνας εισόδου αντιδρώντων υπό μορφή υγρών (στερεών και λαδιών). (Σχήμα 1. Νο 3)
4. Συστήματα απαγωγής ατμών:

i. Γραμμές ανακυκλοφορίας που οδηγούν στο δοχείο συλλογής ή στη συσκευή καθαρισμού αερίων.(Σχήμα 1. Νο 4)
ii. Συμπυκνωτής-condenser. Με ροή κρύου νερού, λειτουργεί σαν εναλλάκτης θερμότητας και αποβάλλει τα αέρια στην ατμόσφαιρα και τα υγρά τα παροχετεύει στον διαχωριστή. (Σχήμα 1. Νο 5)
iii. Σε περίπτωση που η πίεση ξεπεράσει τα 10 Psi (περίπου 0,6atm) ανοίγουν οι δίσκοι ρήξης και ο ατμός διοχετεύεται στο δοχείο συγκράτησης-catch tank.

5. Διαχωριστής-separator. Στον διαχωριστή εισέρχονται τα υγρά που φεύγουν από τον συμπυκνωτή και διαχωρίζει τα βαρύτερα συστατικά από τα ελαφρύτερα ή τα υδρόφοβα από τα υδρόφιλα. Στην ουσία χωρίζει τον διαλύτη από το νερό και επανατοποθετεί τον διαλύτη στον αντιδραστήρα και το νερό το διώχνει στο δοχείο συλλογής.
6. Δοχείο συλλογής-receiver. (Σχήμα 1. Νο 6) Εκεί εισέρχονται ατμοί που αποβάλλονται από τον συμπιεστή και την συσκευή καθαρισμού αερίων του νερού που αποβάλλεται από τον διαχωριστή. Σε περίπτωση ανάφλεξης ή οξείδωσης, με κάποιες αντλίες τραβάει το οξυγόνο και από την άλλη μεριά του αντιδραστήρα, εισάγεται N_2. Έτσι γεμίζει η αέρια φάση του συστήματος με αδρανές αέριο.
7. Ανθρωποθυρίδα-man way. Σημείο εισόδου του συντηρητή για έλεγχο και καθαρισμό.
8. Θερμόμετρο-TI
9. Μανόμετρο-PI.

Το προϊόν εξέρχεται από τον πυθμένα του αντιδραστήρα με βοήθεια αντλίας λόγω του ιξώδους (παχύρευστο).



Σχήμα 1. Μέρη αντιδραστήρα και διάγραμμα ροής.

2.1.2 Σημαντικοί παράγοντες

Ποσότητες και αναλογία αντιδρώντων. Σημαντικό είναι να ζυγίζονται με μεγάλη ακρίβεια οι ποσότητες των αντιδρώντων και να εισέρχονται χωρίς απώλειες στον αντιδραστήρα. Αυτό έγγυται στο γεγονός ότι αν δεν αναμείξουμε τα αντιδρώντα με την σωστή αναλογία υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να πάρουμε προϊόν διαφορετικό από αυτό που επιθυμούμε. Εξίσου σημαντικός είναι και ο ρυθμός τροφοδοσίας των αντιδρώντων ώστε να ελέγχεται η θερμοκρασία και ο χρόνος αντίδρασης.

Ανάδευση. Σημαντικός παράγοντας ώστε να λαμβάνει χώρα η αντίδραση σε όλο τον αντιδραστήρα και να αποτρέπεται η δημιουργία ζεστών σημείων. Τα ζεστά σημεία δημιουργούνται όταν στα τοιχώματα του αντιδραστήρα υπάρχουν περιοχές που δεν ομογενοποιείται το μίγμα και δεν γίνεται αντίδραση ενώ στα γειτονικά μόρια πραγματοποιείται εξώθερμη αντίδραση και εγκλωβίζεται η εκλειώμενη θερμότητα. Γι'αυτό το λόγο ο αντιδραστήρας έχει καμπύλο σχήμα, χωρίς ακμές, και έτσι αποφεύγονται οι περιοχές που δεν ανακατεύονται τα αντιδρώντα.

Ρύθμιση σταθερής θερμοκρασίας. Η θερμοκρασία πρέπει να διατηρηθεί σταθερή για να γίνει σωστά η αντίδραση και να μην επιταχυνθεί. Επίσης δεν πρέπει να αυξηθεί η θερμοκρασία πάνω από κάποιο όριο γιατί μπορεί να γίνει έκρηξη αν ξεπεραστεί το σημείο αυτανάφλεξης των ουσιών καθώς επίσης και αν αυξηθεί πέραν του ορίου η πίεση. Για τους λόγους αυτούς υπάρχουν συστήματα για την θέρμανση και την ψύξη του αντιδραστήρα.

2.2 ΡΟΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΠΑΡΤΙΔΩΝ

Οι παρακάτω διαδικασίες και εργασίες προορίζονται για την κάλυψη όλων των όψεων της λειτουργίας ενός αντιδραστήρα.
Οι κυρίες διεργασίες είναι οι εξής:
ΦΟΡΤΩΣΗ-ΠΛΗΡΩΣΗ, ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ και ΚΕΝΩΣΗ .

Πριν τη φόρτωση (πλήρωση)

Πριν από την έναρξη της φόρτωσης πρέπει να πραγματοποιηθούν οι εξής έλεγχοι προ-φόρτωσης:
1. Καθαριότητα του αντιδραστήρα.
2. Κύρια βαλβίδα εκφόρτωσης κλειστή. (Σχήμα 1. Α.2.2)
3. Δευτερεύουσα βαλβίδα εκφόρτωσης στον αναδευτήρα κλειστή. (Α.2.3)
4. Δοχείο συλλογής στραγγισμένο και βαλβίδα εξόδου κλειστή. (Νο 6)
5. Βαλβίδα ατμοσφαίρας ανοικτή.
6. Το νερό στη συσκευή καθαρισμού αερίων να ρέει ελεύθερα.
7. Βαλβίδα αζώτου και όλες οι συμπληρωματικές βαλβίδες θέτονται ανάλογα με την κατάσταση λειτουργίας .

2.2.1 Φόρτωση

Πριν την ολοκλήρωση της πρώτης φόρτωσης , πρέπει να γίνει έλεγχος για διαρροή από την κύρια βαλβίδα κένωσης . Αυτό μπορεί να γίνει με τη πλήρωση προσεγγιστικά 400 λίτρων από το λάδι και την επιθεώρηση της κυρίας βαλβίδας εκκένωσης.
Εάν το λάδι δεν είναι μέρος της φόρτωσης, χρησιμοποιείται νερό.

ΑΝΤΛΗΣΗ ΤΩΝ ΛΑΔΙΩΝ

Πριν αντληθούν τα λάδια πρέπει να γίνει αναφορά στη διαδικασία ή την αναγνωρισμένη διαδικασία χειρισμού όσον αφορά τον προστατευτικό ρουχισμό.
Επίσης πρέπει να αναφερθούν οι κίνδυνοι που συνδέονται με τις πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται στη παρτίδα.
Τέλος, όλες οι φορτώσεις λαδιού πρέπει να ελεγχθούν σε μια ζυγαριά ακριβείας.

ΦΟΡΤΩΣΗ ΥΛΙΚΩΝ ΑΠΟ ΣΑΚΟΥΣ

Πριν τη φόρτωση οποιουδήποτε υλικού από τους σάκους πρέπει να ληφθούν προστατευτικά μέτρα σχετικά με το ρουχισμό και να αντιμετωπίζεται οποιοσδήποτε κίνδυνος σχετικός με τα συστατικά .
Τα συστατικά πρέπει να ελεγχθούν εάν είναι αποδεκτά και κατάλληλα για χρήση. (Green stickers)
Το σωστό βάρος των συστατικών πρέπει να τοποθετηθεί δίπλα στο δοχείο φόρτωσης.
Ο ελεγκτής πρέπει να ελέγξει εάν το βάρος των συστατικών είναι σωστό.
Μέρη των σακών πρέπει να ζυγιστούν με ακρίβεια.
Οι άδειοι σάκοι πρέπει να δένονται σε δέσμες των δέκα, να ξαναμετρούνται για επανέλεγχο και να μεταφέρονται εκτός κτηρίου.

2.2.2 Επεξεργασία

Πριν την εφαρμογή οποιουδήποτε είδους θερμότητας στον αντιδραστήρα, πρέπει ο αριθμός των θερμαινόμενων ζωνών να έχει καλυφθεί με υλικά.
Τα κύρια μέρη της διεργασίας αυτής είναι :
1. Διεργασία σύνθεσης
2. Διεργασία διαλύτη
3. Διεργασία απόσταξης
4. Σφραγισμένο δοχείο

Α. Διεργασία Σύνθεσης

Σε αυτή την διεργασία θα πρέπει η βαλβίδα γραμμής μεταφοράς αερίων στη συσκευή καθαρισμού αεριών να είναι ανοιχτή και όλες οι συμπληρωματικές βαλβίδες να είναι κλειστές.
Το νερό στη συσκευή καθαρισμού αεριών πρέπει να ρέει ελευθέρα και πρέπει να γίνουν στενοί έλεγχοι για να διαπιστωθεί ότι δεν εμφανίζονται εμπόδια στη συσκευή καθαρισμού αεριών ή στη γραμμή που οδηγεί σε αυτή.
Η διαδικασία πρέπει να αναφερθεί για τη συνιστώμενη ροή του αδρανούς αερίου στον αντιδραστήρα. Οι παραγόμενοι ατμοί και οι πτητικές ουσίες διαλύονται στο δοχείο έκπλυσης, τα υγρά στον διαχωριστή και το νερό στο δοχείο συλλογής. Γενικά, αυτό που γίνεται στη διεργασία αυτή είναι η αποστράγγιση των προϊόντων από νερό.

Β. Διεργασία Διαλύτη

Στη διεργασία αυτή προστίθεται ο διαλύτης. Ζητούμενο είναι να μην πέσει η θερμοκρασία, γι’αυτό και ο διαλύτης προστίθεται τμηματικά, σε μικρά υποπολλαπλάσια. Προσοχή δίνεται στη λειτουργία του διαχωριστή

και στις κύριες λειτουργίες που συνδέονται με αυτόν. Γενικά, γίνεται συγκράτηση του εστέρα από νερό με βοήθεια υδρόφοβου διαλύτη ή με απόσταξη.

Γ. Απόσταξη και κενή απόσταξη

Σε αυτό το σημείο, πρέπει να αποσυνδεθούν από τον αντιδραστήρα οι γραμμές που οδηγούν στον διαχωριστή ή στο δοχείο συλλογής.

Δ. Σφραγισμένο Δοχείο-sealed kettle

Εδώ πρέπει όλες οι συμπληρωματικές βαλβίδες να είναι κλειστές.
Η πίεση στον αντιδραστήρα ελέγχεται μέσω του σημείου εισαγωγής του αδρανούς αερίου.
Για την αποδέσμευση πίεσης λιγότερης από 5psi διακόπτεται η παροχή αδρανούς αερίου. Η πίεση θα αρχίσει να πέφτει, οποιαδήποτε πίεση απομείνει μπορεί με αργό ρυθμό να βρει διέξοδο από τη συσκευή καθαρισμού αερίων.
Πιέσεις παραπάνω από 5psi σπάνια χρησιμοποιούνται, σε αυτήν την περίπτωση η πίεση απελευθερώνεται με την ολοκλήρωση της εκκένωσης από τις γραμμές των προϊόντων.

Συνολική ροή επανακυκλοφορίας

Είναι η διεργασία κατά την οποία οι διαλύτες και οι πτητικές ουσίες επιστρέφουν στον αντιδραστήρα περνώντας από τον διαχωριστή.
Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται ευρέως στην λέπτυνση του προϊόντος(λιγότερο παχύρρευστου) .

2.2.3 Διεργασία κένωσης αντιδραστήρα

Οι θερμοκρασίες στις οποίες λειτουργούν και εκφορτώνονται οι παρτίδες πρέπει να τηρηθούν αυστηρά.
Αυτές οι θερμοκρασίες μπορούν να βρεθούν στη διεργασία και θα ποικίλουν από παρτίδα σε παρτίδα.
Ένας κατάλληλος αναδευτήρας πρέπει να είναι διαθέσιμος για όλες τις υγρές παρτίδες.
Ένας κατάλληλος δίσκος ή ένα σιλό(κατακόρυφη δεξαμενή αποθεμάτων) πρέπει να είναι διαθέσιμο για τις στερεές ρητίνες.
Οι ποσότητες διαλύτη που χρησιμοποιούνται για την μείωση του ιξώδους του προϊόντος καθώς και οι ποσότητες που θα αντληθούν στον αναμικτήρα πριν τη μείωση του ιξώδους του προϊόντος μπορούν να ληφθούν από ένα μέλος του εργαστηριακού προσωπικού.

Οι αναδευτήρες πρέπει να ενεργοποιηθούν πριν την εκφόρτωση.
Δείγματα από τους αναμικτήρες (blender) λαμβάνονται όταν δοθούν οδηγίες από μέλος του εργαστηριακού προσωπικού. Η παρτίδα πρόκειται να περάσει από φίλτρο υπό πίεση όπως δείχνουν οι οδηγίες.

Στο παράρτημα περιγράφονται αναλυτικότερα κάποιες Τυποποιημένες Διαδικασίες Λειτουργίας και παρακάτω επισυνάπτεται η ιεραρχική ανάλυση των εργασιών καθώς και τα δενδροδιαγράμματα των διαδικασιών. Η μορφή αυτή της παρουσίασης των εργασιών, δείχνοντας τα βήματα ένα προς ένα καθιστά τον εντοπισμό των λανθασμένων χειρισμών πιο εύκολο και διευκολύνεται έτσι η ανάλυση των ατυχημάτων.

2.3 ΙΕΡΑΡΧΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα βήματα των εργασιών, για τις διεργασίες που προαναφέρθηκαν.

<u>Α. Προετοιμασία Αντιδραστήρα</u>

1. Λήψη κάρτας εργασίας.
2. Προετοιμασία αντιδραστήρα
   2.1 Έλεγχος αν αντιδραστήρας είναι καθαρός.
      2.1.1 Ενεργοποίησε εξαγωγή.
      2.1.2 Άνοιξε ανθρωποθυρίδα.
      2.1.3 Έλεγχος χύτρας.
      2.1.4 Εργαστηριακός έλεγχος χύτρας.
   2.2 Έλεγχος αν βαλβίδα κένωσης είναι κλειστή.(Σχήμα 1. Α.2.2)
   2.3 Έλεγχος δευτερεύουσας βαλβίδας για blenders να είναι κλειστή.(Σχήμα 1. Α.2.3)
   2.4 Βάνες εξόδου του δοχείου συλλογής κλειστές.
   2.5 Βάνα για την ατμόσφαιρα ανοιχτή.
   2.6 Παροχή νερού στο δοχείο έκπλυσης ανοιχτή.
   2.7 Παροχή N_2 έτοιμη.
3. Γέμισμα αντιδραστήρα με στερεά.
   3.1 Μέτρημα σάκων (δύο χειριστές)
   3.2 Άνοιγμα βάνας αέρα της συσκευής καθαρισμού αερίων.
   3.3 Τροφοδότηση με περιεχόμενο σάκων.
   3.4 Μέτρημα άδειων σάκων.
   3.5 Συμπλήρωση κάρτας εργασίας.
   3.6 Έλεγχος αριθμού υπολειπόμενων στοιχείων.
4. Γέμισμα αντιδραστήρα με διαλύτη.
   4.1 Ενημέρωσε επικεφαλή με γραπτές και προφορικές οδηγίες για άντληση.
   4.2 Άνοιγμα των 2 βαλβίδων του διαλύτη στον αντιδραστήρα.
   4.3 Επιβεβαίωση με επικεφαλή πως το γέμισμα έχει ολοκληρωθεί.
   4.4 Κλείσιμο όλων των βαλβίδων.
5. Προετοιμασία συστήματος θέρμανσης.
   5.1 Ρυθμός τροφοδοσίας 30 L/min.
   5.2 Εκκίνηση καυστήρα.
      5.2.1 Ενεργοποίηση του ανεμιστήρα του καυστήρα.
      5.2.2 Έλεγχος λειτουργίας ανεμιστήρα στο λεβητοστάσιο.
      5.2.3 Άνοιξε βαλβίδα οδηγού αερίου.
      5.2.4 Άνοιγμα κεντρικής βαλβίδας αερίου.
      5.2.5 Άνοιγμα κεντρικής βαλβίδας αέρα.
      5.2.6 Πάτημα κομβίου ανάφλεξης καυστήρα.
      5.2.7 Έλεγξε λυχνία ένδειξης φλόγας.

5.3 Ρύθμιση θερμοκρασίας καυστήρα στους 300°C.

5.3.1 Ρύθμιση βαλβίδας.

5.3.2 Παρακολούθηση θερμοκρασίας.

5.4 Εκκίνηση αναδευτήρα.

5.4.1 Ελαφρύ χτύπημα αναδευτήρα.

5.4.2 Αναμείνατε για λίγο.

6. Πρόσθεσε παράγοντα αποτροπής δημιουργίας αφρού.
7. Κλείσιμο ανθρωποθυρίδας και έλεγχος σημείων διαρροής.

Β. <u>Διεργασία σύνθεσης</u>

1. Προετοιμασία υδροαυτοκαθαριστή (scrubber).

1.1 Βαλβίδα από αντιδραστήρα προς scrubber ανοιχτή.

1.2 Παροχή νερού στον scrubber ανοιχτή.

1.3 Εξαεριστήρας του scrubber κλειστός.

1.4 Κλείσιμο βάνας του scrubber για το περιβάλλον.

2. Θέρμανση αντιδραστήρα στους 120-130°C.

2.1 Παρακολούθηση θερμοκρασίας.

2.2 Ρύθμιση θερμοκρασίας καυστήρα.

3. Φόρτωση R599 και διατήρηση θερμοκρασίας μεγαλύτερη από 90°C και ολοκλήρωσε εντός 30 λεπτών.

3.1 Εγγραφή ώρας έναρξης φόρτωσης του R599.

3.2 Προετοιμασία φόρτωσης R599.

3.2.1 Εκκίνηση ανεμιστήρα αντιδραστήρα.

3.2.2 Άνοιγμα ανθρωποθυρίδας.

3.2.3 Χειρισμός εξαγωγής ατμών

3.2.3.1 Παρακολούθηση ατμών στην ανθρωποθυρίδα.

3.2.3.2 Προσάρμοσε ατμό σε γραμμή μεταφοράς.

3.3 Πρόσθεση R599 στον αντιδραστήρα σε θερμοκρασία μεγαλύτερη από 90°C.

3.3.1 Σταδιακή τροφοδοσία με R599.

3.3.2 Διατήρηση θερμοκρασίας μεγαλύτερη από 90°C.

3.3.2.1 Ρύθμιση θερμοκρασίας καυστήρα στους 500-550°C.

3.3.2.2 Παρατήρησε θερμοκρασία.

3.3.2.3 Κλείσιμο ανθρωποθυρίδας.

3.3.3 Έλεγχος υπολοίποντος ποσότητας R599.

3.4 Σημείωση ώρας ολοκλήρωσης φόρτωσης.

3.5 Καταγραφή ποσότητας R599.

4. Φόρτωση με R1271.
5. Σφράγισμα ανθρωποθυρίδας.

Γ. <u>Διεργασία διαλύτη</u>

1. Προετοιμασία για διεργασία διαλύτη.

1.1 Ρύθμιση βαλβίδων για την διεργασία.
1.2 Κλείσιμο γραμμής μεταφοράς αερίων.
1.3 Ρύθμιση καυστήρα στην μέγιστη θερμοκρασία.
1.4 Έλεγχος ρυθμού τροφοδοσίας.

2. Έναρξη διεργασία διαλύτη.
   2.1 Αύξηση θερμοκρασίας αντιδραστήρα στους 240°C.
      2.1.1 Παρακολούθηση θερμοκρασίας.
      2.1.2 Άδειασμα H_2O από διαχωριστή.
      2.1.3 Κλείσιμο βαλβίδας επιστροφής του διαχωριστή.
      2.1.4 Πρόσθεσε H_2O ή διαλύτη στον διαχωριστή.
   2.2 Πρόσθεσε 1° τμήμα R533.
      2.2.1 Ενημέρωσε επικεφαλή για άντληση R533.
      2.2.2 Άνοιγμα των 2 βαλβίδων του αντιδραστήρα για την εισαγωγή διαλύτη.
      2.2.3 Επιβεβαίωση με επικεφαλή πως η φόρτωση ολοκληρώθηκε.
      2.2.4 Κλείσιμο όλων των βαλβίδων.
      2.2.5 Ενημέρωση εργαστηρίου για την έναρξη διεργασίας διαλύτη.
      2.2.6 Μείωση θερμοκρασίας καυστήρα στους 350°C μόλις αρχίσει η επαναφορά.

3. Υποστήριξη θέρμανσης για νέα υγροποίηση ατμών.
   3.1 Παρατήρηση.
   3.2 Έλεγχος/καθοδήγηση επαναφοράς.
      3.2.1 Άδειασμα H_2O από διαχωριστή.
      3.2.2 Πρόσθεση διαλύτη στον διαχωριστή.
   3.3 Λήψη δείγματος όπως προτείνεται.

4. Τερματισμός διεργασίας όπως προτείνεται.
   4.1 Συμπλήρωση κάρτας εργασίας.
   4.2 Απελευθέρωση αερίων και κλείσιμο βαλβίδων.
   4.3 Ψύξη αέρα/κρύος αέρας.
      4.3.1 Ροή αέρα.
      4.3.2 Άνοιγμα σωλήνων.
      4.3.3 Παρατήρηση θερμοκρασίας.
   4.4 Ψύξη νερού στους 200°C.
      4.4.1 Άνοιγμα ψυκτικών βαλβίδων.
      4.4.2 Παρατήρηση θερμοκρασίας.
   4.5 Αλλαγή βαλβίδων, ολική επαναφορά.

5. Προετοιμασία αναμικτήρα.
   5.1 Ρύθμισε βαλβίδες στον απαιτούμενο αναμικτήρα.
   5.2 Φόρτωσε με υπόλοιπο R533.
   5.3 Εκκίνηση αναδευτήρα στον αναμικτήρα.

6. Απενεργοποίηση αναμικτήρα.

6.1 Παρακολούθηση θερμοκρασίας.

6.2 Άνοιγμα βαλβίδων στον αναμικτήρα.

6.3 Φόρτωση R533 στον αντιδραστήρα για να γίνει πιο λεπτόρρευστο και καθάρισμα.

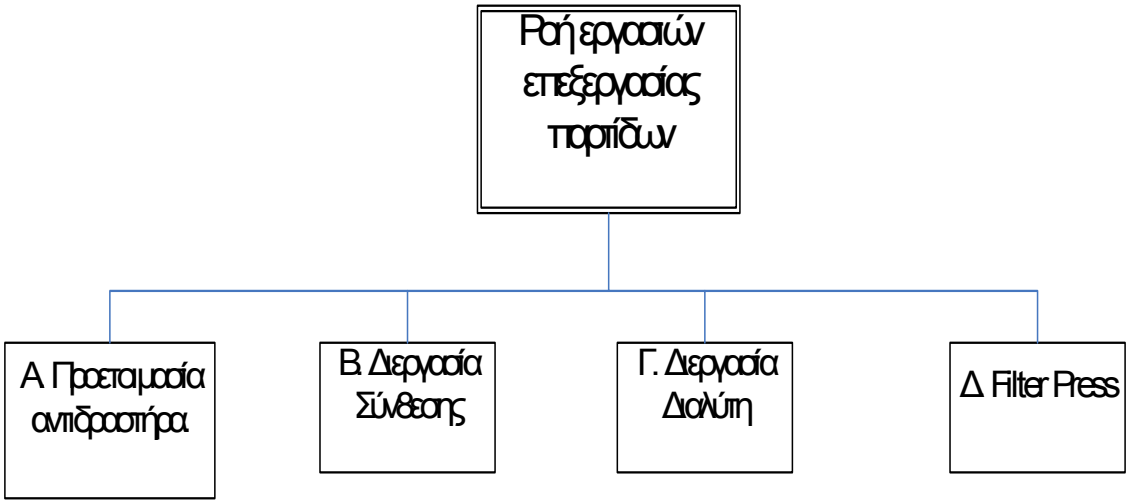
Στα τέσσερα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται οι ίδιες διαδικασίες- βήματα εργασιών με παραπάνω, αλλά με μορφή δενδροδιαγραμμάτων:

Σχήμα 2: Ροή εργασιών επεξεργασίας παρτίδων

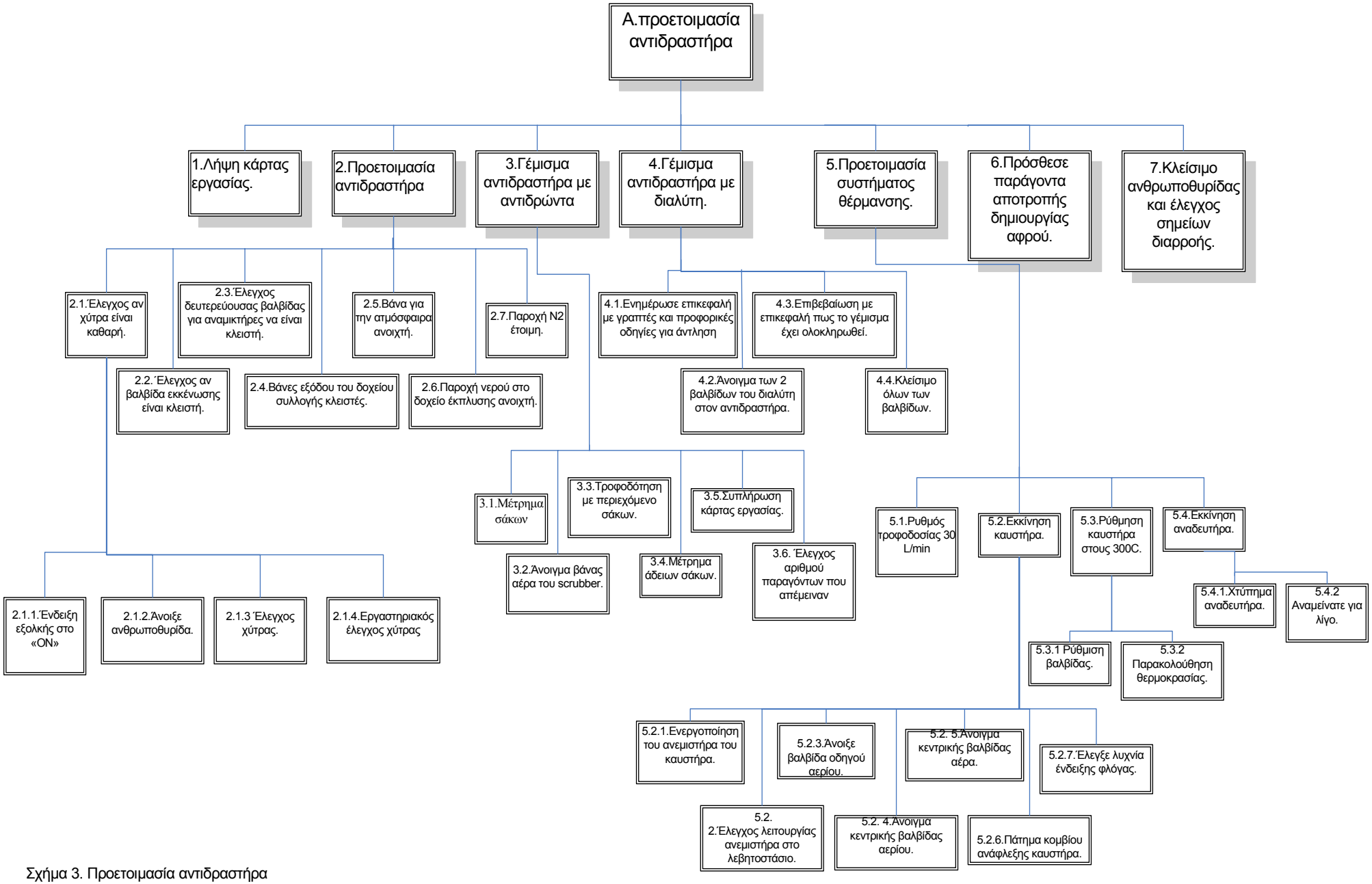
Σχήμα 3: Προετοιμασία αντιδραστήρα

Σχήμα 4: Διεργασία σύνθεσης

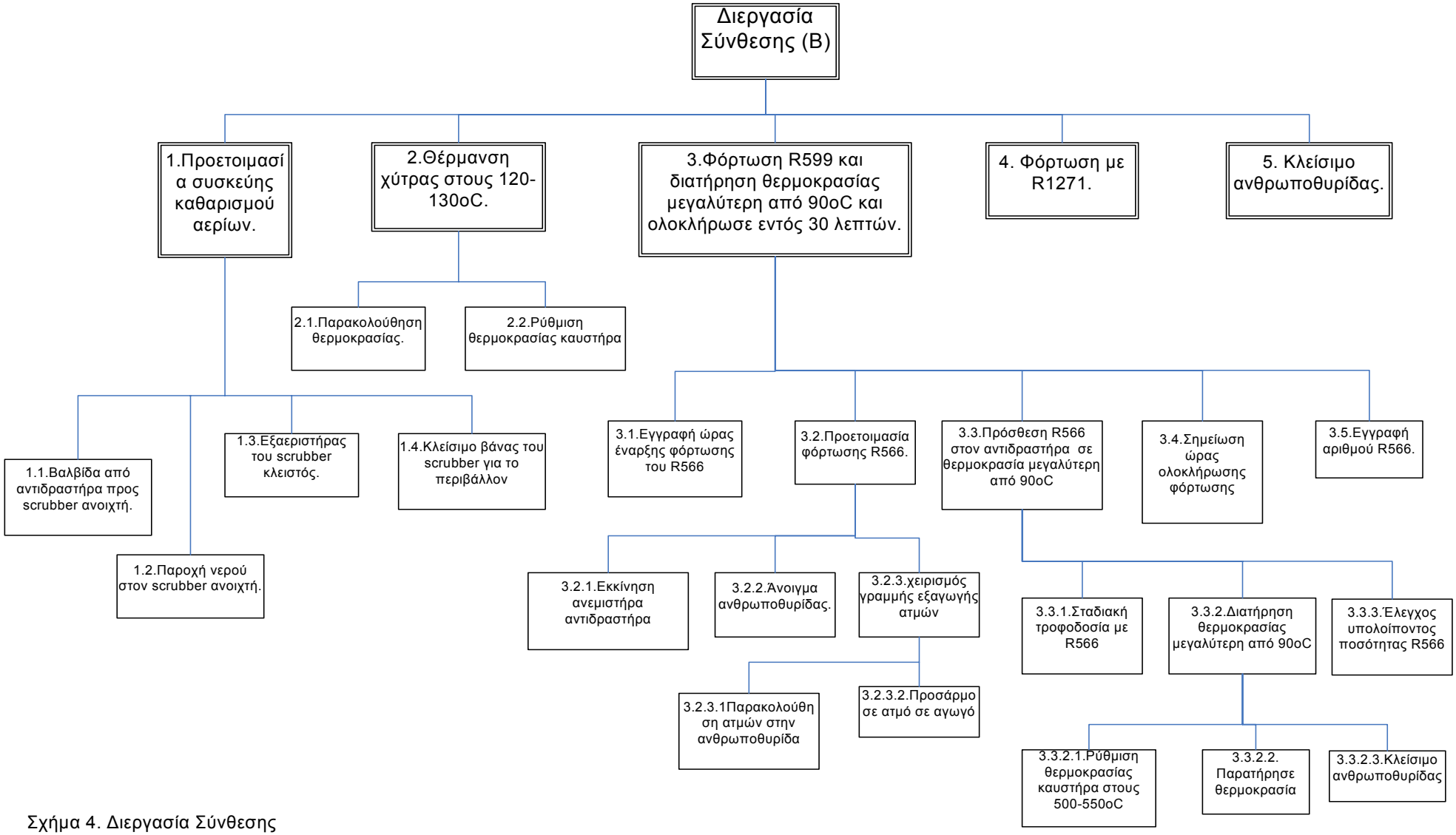
Σχήμα 5: Διεργασία διαλύτη



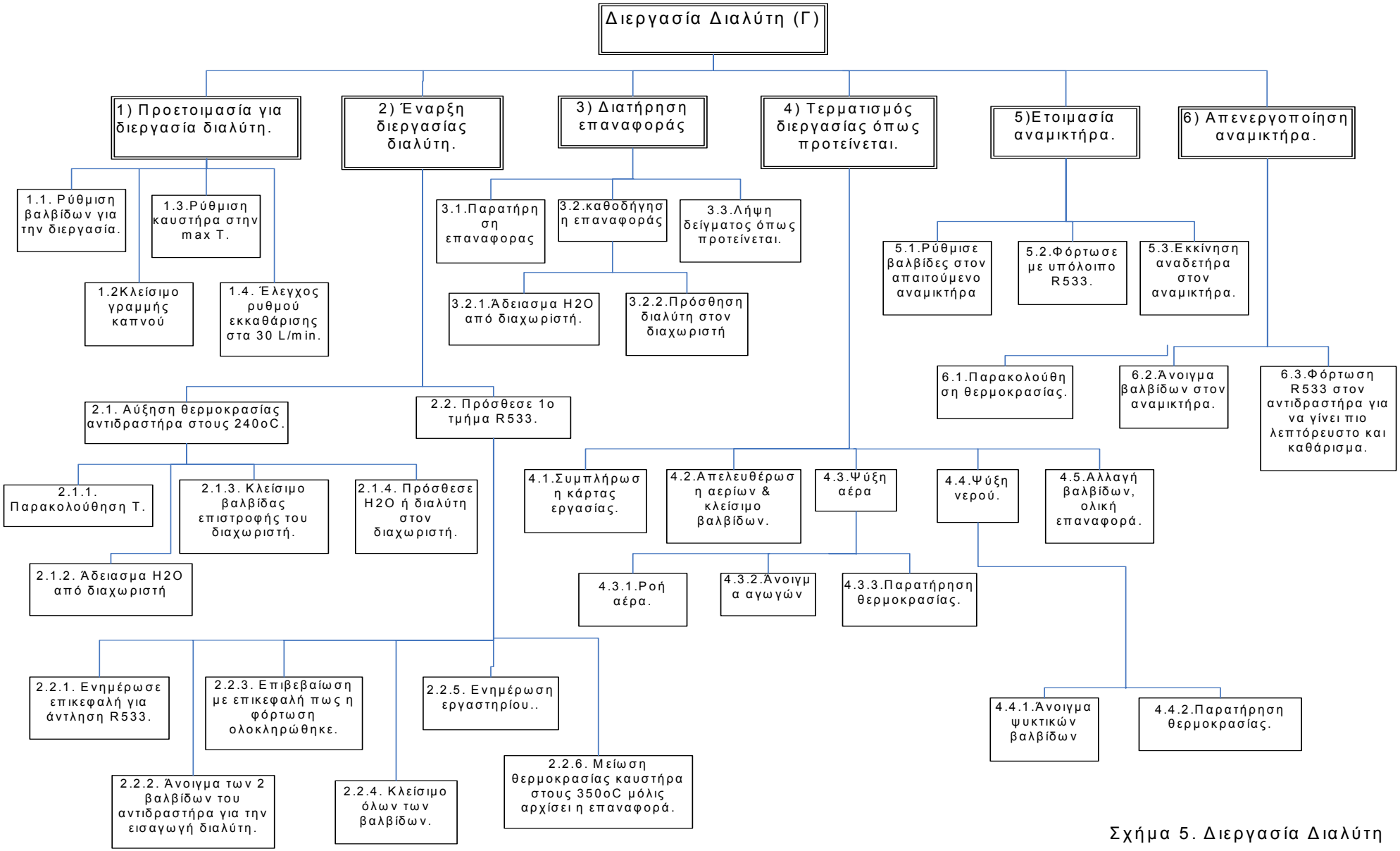
Σχήμα 2. Ροή εργασιών επεξεργασίας παρτίδων.



Σχήμα 3. Προετοιμασία αντιδραστήρα



Σχήμα 4. Διεργασία Σύνθεσης



Σχήμα 5. Διεργασία Διαλύτη

3. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΩΝ: STEP & ECF

Αρχικά περιγράφεται η μέθοδος STEP και ακολουθεί η μέθοδος ECF. Για την κάθε μέθοδο παρουσιάζεται η γενική τους ιδέα, οδηγίες για την εφαρμογή της κάθε μίας καθώς και τα σημεία που χρειάζονται ιδιαίτερη προσοχή.

3.1 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΗΝ STEP

Step=sequentially timed events plotting= διάγραμμα χρονικά επάλληλων γεγονότων

Περίληψη της διαδικασίας της έρευνας

Μία από τις πιο σημαντικές αρχές που πηγάζουν από διαδικασία διερεύνησης STEP είναι ότι ούτε το ατύχημα ούτε η εξιχνίασή του είναι γραμμική αλυσίδα ή διαδοχή γεγονότων. Αντίθετα, ορισμένες δραστηριότητες λαμβάνουν χώρα την ίδια χρονική στιγμή. Συνηθίζουμε να σκεφτόμαστε γραμμικά λόγω της γλώσσας και πολλών άλλων επιρροών. Μπορούμε μόνο να γράψουμε ή να πούμε λέξεις διαδοχικά, μία σκέψη κάθε φορά, εάν θέλουμε τα σχόλιά μας να κατανοηθούν από τους αναγνώστες και τους ακροατές μας. Αυτός ο περιορισμός που αφορά τον τρόπο που επικοινωνούμε έχει περιορίσει προηγούμενες έρευνες που βασίστηκαν σε αφηγηματικές περιγραφές του ατυχήματος ή καταγραφή ξεχωριστών, αυτόνομων παραγόντων. [Πηγή: Hendrick, K., Benner Jr., L., 1987. Investigating Accidents with STEP. Marcel Dekker Inc., New York.]

Σφαιρική θεώρηση της ερευνητικής διαδικασίας

Μια βασική/ θεμελιώδης ιδέα πίσω από τη STEP είναι να εργαζόμαστε με πολυγραμμικές σειρές των γεγονότων για να υπερπηδάμε τα εμπόδια στην επικοινωνία των πληροφοριών τα οποία επιβάλλονται με τη μονογραμμική έκφραση. Αυτή η ιδέα εφαρμόζεται με μια διαδικασία ώστε να κατασκευαστεί μια ειδική μορφή διαγράμματος ροής ή ένα τετραγωνικό διάγραμμα για να καταγράφεται και να εκθέτεται η διαδικασία του ατυχήματος σε ένα ειδικό φύλλο εργασίας κατά τη διάρκεια της έρευνας.

Η μέθοδος STEP αναπτύχθηκε από τους Hendrick και Benner (1987).Πρότειναν μία συστηματική διαδικασία για την έρευνα των ατυχημάτων βασισμένη σε πολυγραμμικές σειρές γεγονότων και τη θεώρηση των φαινομένων των ατυχημάτων σαν μία διαδικασία.

Καθώς ένα ατύχημα ερευνάται με τις διαδικασίες STEP, ένα φύλλο εργασίας χρησιμοποιείτε για να καταγράφονται γεγονότα σε ένα

ειδικό τετραγωνικό διάγραμμα ή με μορφή διαγράμματος ροής. Το φύλλο εργασίας κατασκευάζεται καθώς τα στοιχεία του ατυχήματος αποκτώνται κατά την διάρκεια της έρευνας. Καθώς κάθε γεγονός προσδιορίζεται, τοποθετείται στο φύλλο εργασίας STEP στην κατάλληλη σειρά του δράστη και στην κατάλληλη στήλη του χρόνου. Ενώ αυτή η σχετικά απλή αλλά και δυνατή διαδικασία θα συζητηθεί αργότερα, μια παραλλαγή του ερευνητικής μεθόδου STEP χρησιμοποιείται εδώ για να περιγράψει τις διαδικασίες STEP και να διευκρινίσει την πολυγραμμική ιδέα.

Μία δεύτερη θεμελιώδης έννοια είναι η καθολική μορφή κύβου η οποία χρησιμοποιείται για να αναπτύξει την περιγραφή του ατυχήματος σε ένα φύλλο εργασίας. Οι καθολικοί ή γενικά εφαρμόσιμοι κύβοι αναπτύσσονται μετατρέποντας τα στοιχεία σε μια ειδική δομή και σχήμα με βάση το γεγονός καθώς αποκτώνται. Μόλις το πρώτο στοιχειό του ατυχήματος αποκτιέται, μετατρέπεται σε κύβο γεγονότος. Όλοι οι σχετικοί κύβοι τοποθετούνται στο φύλλο εργασίας καθώς αναπτύσσονται για να κατασκευαστεί σταδιακά η περιγραφή του ατυχήματος.

Μια τρίτη βασική ιδέα η οποία αποτελεί θεμέλιο της STEP είναι ότι τα γεγονότα κυλούν λογικά κατά τη διάρκεια της διαδικασίας. Η έννοια αυτή επιβάλλει μια απαίτηση στους ερευνητές για να δείξουν τις επιδράσεις κάθε γεγονός στη εμφάνιση επακολουθών γεγονότων κατά τη διάρκεια της διαδικασίας. Αυτή η ιδέα εφαρμόζεται με τη χρήση συνδετικών βελών στο φύλλο εργασίας της STEP.

Μια τέταρτη έννοια είναι ότι οι παραγωγικές διαδικασίες και οι διαδικασίες ατυχημάτων είναι όμοιες και μπορούν να κατανοηθούν χρησιμοποιώντας παρόμοιες ερευνητικές διαδικασίες. Και οι δύο προϋποθέτουν δράστες και πράξεις, και οι δύο μπορούν να επαναλαμβάνονται μόλις κατανοηθούν.

Με την ιδέα της διαδικασίας, ένα συγκεκριμένο ατύχημα ξεκινάει με την πράξη η οποία ξεκίνησε την μεταμόρφωση από την διαδικασία που περιγράφτηκε σε μία διαδικασία ατυχήματος, και τελειώνει με το τελευταίο συνδεόμενο βλαβερό γεγονός της διαδικασίας του ατυχήματος.

Το φύλλο εργασίας STEP προσφέρει έναν συστηματικό τρόπο για την οργάνωση των κύβων σε μία εκτεταμένη, πολύ-γραμμική περιγραφή της διαδικασίας των ατυχημάτων.

Κατανόηση της διαδικασίας μέσα από τη διερεύνηση

Όταν είναι να περιγραφεί μία καινούρια μέθοδος, η πρώτη δουλειά είναι να προσδιοριστούν τα στοιχειά ή οι δράστες, οι οποίοι θα πρέπει να συνεργαστούν για να παράγουν το επιθυμητό αποτέλεσμα. Τότε

περιγράφεται το πως αυτοί οι δράστες πρέπει να συνεργαστούν ώστε να παράγουν αυτό το αποτέλεσμα.

Για να κατανοηθεί η διαδικασία ενός ατυχήματος μέσα από έρευνα, τα στοιχεία ή οι δράστες της διαδικασίας που συνεργάστηκαν για την παραγωγή της βλαβερής συνέπειας, πρέπει να προσδιοριστούν όμοια. Τότε, το πως συνεργάστηκαν οι δράστες για να παράγουν αυτό το αποτέλεσμα, θα πρέπει να περιγραφεί.

Αυτό συνεπάγεται τη διαχώριση των γεγονότων σε διαρκώς περισσοτέρους διακριτικούς δράστες και πράξεις. Το να προσδιοριστούν οι δράστες και οι πράξεις που απαιτούνται ώστε η μέθοδος να παράγει το παρατηρούμενο αποτέλεσμα, συνήθως δεν είναι δύσκολο. Ξεκινώντας από οποιοδήποτε σημείο της διαδικασίας, κανείς δουλεύει εμπρός ή προς τα πίσω, βλέποντας κάθε αλλαγή στη διαδικασία, προσδιορίζοντας κάθε γεγονός (κάθε δράστης εκτελεί μια πράξη) και καταγράφοντας τις πληροφορίες σε μορφή κύβου. Τα στοιχειά της σχεδιασμένης μεθόδου και τα ατομικά επιβαλλόμενα γεγονότα είναι (ή πρέπει να είναι) προσδιορισμένα στο σχέδιο, είναι στη θέση τους, και μπορούν να παρατηρούνται κατά τη λειτουργία, ή μπορούν να προσδιορίζονται μετά ένα ατύχημα.

Ένας κύβος, εάν χρησιμοποιείται για τη σχεδίαση μίας μεθόδου ή για την καταγραφή ενός ατυχήματος, θα απαρτίζεται από ορισμένα βασικά δεδομένα που ονομάζεται ένα γεγονός. Θυμηθείτε, ένα γεγονός = ένας δράστης + μια πράξη. Πρώτα, ο κύβος θα περιέχει το όνομα του δράστη ή του αντικειμένου που ενέργησε για να δημιουργηθεί το γεγονός. Έπειτα, θα δηλώνει τη δράση που εκτέλεσε ο δράστης. Στο ελάχιστο τότε, ένας κύβος περιγράφει ένα γεγονός: ένας δράστης εκτελεί μία δράση. Σε μερικές περιπτώσεις, ο κύβος μπορεί να περιέχει περισσότερες πληροφορίες, όπως το πότε εκτελέστηκε η δράση, πόσο διήρκησε η δράση, πού πραγματοποιήθηκε, ή η πηγή της πληροφόρησης για λόγους παραπομπής.

Αναγνωρίζεται ότι κάθε ατύχημα συνεπάγεται περισσότερους από ένα δράστες και πράξεις, κάθε πράξη αλληλεπιδράει με αλλά γεγονότα για να παράγει το βλαβερό αποτέλεσμα. Ο ερευνητής προσπαθεί να αναγνωρίσει, να προσδιορίσει και να καταλάβει τα γεγονότα και τις αλληλεπιδράσεις έτσι ώστε να μπορούν να ελέγχονται καλυτέρα στο μέλλον. Οι διαφορές ανάμεσα στα ατυχήματα είναι ο αριθμός από εμπλεγμένους δράστες (και κατά συνέπεια ο αριθμός γεγονότων ή αλληλεπιδράσεων που εμπλέκονται) και ο συγκεκριμένος χαρακτήρας αυτών των αλληλεπιδράσεων.

Αυτό σημαίνει ότι η κύρια διαφορά μεταξύ της έρευνας ενός ατυχήματος μικρής ή μεγάλης κλίμακας είναι στο χειρισμό μεγαλύτερου αριθμού γεγονότων και τα περιπλοκότερα ερευνητικά διοικητικά ζητήματα που απαιτούνται όταν περισσότεροι άνθρωποι συνεργάζονται

σε μια μονό εργασία. Σε κάθε περίπτωση, η κατανόηση του ατυχήματος με την κατανόηση των γεγονότων και την αλληλεπίδραση των δραστών και πράξεων παραμένει ο πρωταρχικός στόχος της ερευνάς και η απόκτηση και η αναδόμηση των κύβων παραμένει η βασική ερευνητική προσέγγιση.

Το φύλλο εργασίας STEP

Πρώτα, ένας κύβος του γεγονότος δημιουργείται για κάθε γεγονός που ανακαλύπτεται. Τότε τοποθετούνται στην κατάλληλη θέση σε ένα φύλλο εργασίας STEP.

Η ερευνητική διαδικασία STEP χρησιμοποιεί μία μέθοδο για να καταγράφει στοιχειά τα οποία ξεχωρίζουν και απαιτούν περισσότερη αυτοπειθαρχία από άλλες μεθόδους. Κάθε ξεχωριστή πληροφορία καταγράφεται σε ξεχωριστή κάρτα, ή φύλλο χαρτιού, στη μορφή κύβου γεγονότος. Οι κύβοι των γεγονότων προσφέρουν έναν ολοκληρωμένο και αυτοπειθαρχικό τρόπο για να καταγράφει τις πληροφορίες που συγκεντρώθηκαν για ένα ατύχημα. Ο χρόνος επενδυόμενος στη σωστή καταγραφή των γεγονότων προσφέρει τεράστια κέρδη κατά τη διάρκεια επακόλουθων ερευνητικών εργασιών.

Τα δυο αναγκαία μέρη ενός κύβου γεγονότος είναι ο δράστης και η πράξη. Λάβατε υπόψη ότι ένας δράστης μπορεί να είναι ένας άνθρωπος η ένα πράγμα. Οι δράστες που πρέπει να αναζητήσετε είναι αυτοί των οποίων οι πράξεις έφεραν τις αλλαγές.

Η καταγραφή της πηγή των πληροφοριών θα βοηθήσει αργότερα και μπορεί να είναι πολύ χρήσιμη όταν κάποιος ζητήσει τις πηγές των πληροφοριών του γεγονότος. Μπορεί να μην είναι δυνατόν να οριστεί η ώρα που το γεγονός ξεκίνησε όταν ο δράστης/ η δράση πρώτο-αποκτηθούν. Αλλά, εάν μπορεί, χρησιμοποιώντας τον κύβο θα είναι ευκολότερο. Η τοποθεσία του γεγονότος πρέπει να δηλωθεί με όση σαφήνεια είναι δυνατόν. Οι περιγράφοντες πρέπει να χρησιμοποιηθούν για να κάνουν τη δράση πιο συγκεκριμένη. Οι περιγραφές πρέπει να διατυπώνονται έτσι ώστε να βοηθήσουν τους άλλους να διανοηθούν και να καταλαβαίνουν τι έγινε. Για παράδειγμα, εάν περιγράφεται η δράση σαν 'η πόρτα έκλεισε', πρέπει να γραφεί 'με ρυθμό 1 μέτρο το δευτερολέπτου' αντί για 'γρήγορα'. Η διάρκεια του γεγονότος μπορεί να είναι δύσκολο να οριστεί όσο και η ώρα που άρχισε, αλλά η πληροφορία είναι πολύτιμη για να διαπιστώνει τις σχέσεις ανάμεσα στα γεγονότα και το χρονισμό τους.

Το φύλλο εργασίας STEP προσφέρει ένα συστηματικό τρόπο για να οργανώνονται οι κύβοι σε μία λεπτομερή, μη γραμμική περιγραφή της διαδικασίας του ατυχήματος. Ονομάζεται φύλλο εργασίας, επειδή, κατά τη διάρκεια μιας έρευνας υφίσταται ανάπτυξη και αλλαγή. Το φύλλο

εργασίας STEP είναι απλά ένας πίνακας, με σειρές και στήλες, σχεδιασμένο σε ένα φύλλο στο τετράδιο του ερευνητή, σε ένα ρολό χαρτιού τοποθετημένο στο τραπέζι, ή σε ένα λευκό τοίχο. Οι σειρές ονομάζονται κατά μήκος της αριστερής πλευράς του φύλλου εργασίας με τα ονόματα όλων των δραστών. Οι στήλες αποκαλούνται διαφορετικά, με σημάδια ή αριθμούς σε μια γραμμή χρόνου, κατά πλάτος του επάνω μέρους του φύλλου εργασίας.

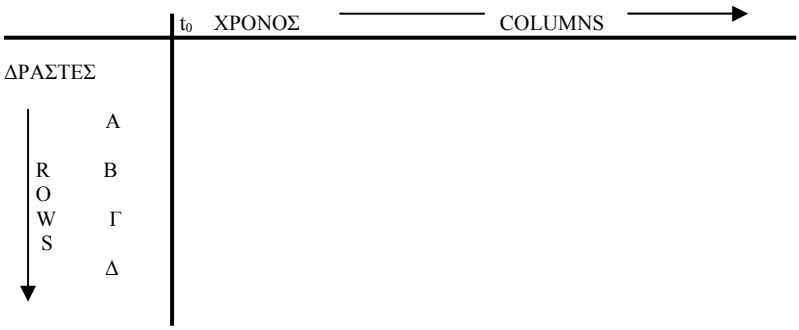
Η αριστερή πλευρά του φύλλου εργασίας STEP είναι εκεί όπου γράφονται οι δράστες εμπλεγμένοι στο ατύχημα, ένας σε κάθε σειρά. Όταν ένας δράστης αναγνωρίζεται, δίνεται στο δράστη αυτό ένα μοναδικό όνομα και το όνομα αυτό γράφεται στην αρχή της σειράς για το δράστη αυτό. Αυτό είναι εύκολο όταν οι δράστες είναι άνθρωποι. Είναι λιγάκι πιο δύσκολο όταν ο δράστης είναι πράγμα. Στα πράγματα πρέπει να δίνεται ένα πιο συγκεκριμένο όνομα παρά μόνο 'μια μηχανή', εκτός αν μονό μια μηχανή εμπλέκεται στο ατύχημα.

Το φύλλο εργασίας STEP θα αποτελέσει τη βάση για την αναφορά της έρευνας. Αυτό σημαίνει ότι οι δράστες πρέπει να ονομάζονται όσοι πιο περιγραφικά και ειδικά είναι δυνατόν έτσι ώστε όταν κάποιος πλην τον ερευνητή διαβάσει το φύλλο εργασίας ή διαβάσει την αναφορά, θα μπορεί να αναγνωρίσει και να διανοηθεί το συγκεκριμένο άτομο.

Κάθε δράστης καταλαμβάνει μια οριζόντια σειρά στο φύλλο εργασίας STEP, ανεξάρτητα από το πόσο συχνά η σπάνια αυτός ο δράστης ενήργησε κατά τη διάρκεια της διαδικασίας του ατυχήματος. Η όλη ιδέα του να χρησιμοποιηθεί το φύλλο εργασίας είναι για να κρατούνται τα γεγονότα οργανωμένα και καθαρά. Όταν κάθε δράστης έχει μις ξεχωριστή οριζόντια γραμμή, είναι πολύ εύκολο και αποτελεσματικό να ακολουθήσετε όλους τους δράστες και όλες τις πράξεις τους κατά τη διάρκεια του ατυχήματος.

Κατά μήκος του επάνω μέρους του φύλλου εργασίας STEP υπάρχει μια γραμμή της οποίας το συνολικό μήκος απεικονίζει τη διάρκεια του ατυχήματος από την ώρα που άρχισε η πρώτη απρογραμμάτιστη αλλαγή μέχρι και την ώρα που τελείωσε το τελευταίος συνδεόμενο βλαβερό γεγονός. Η αριστερή άκρη της γραμμής σημαδεύει την ώρα που η διαδικασία του ατυχήματος ξεκίνησε. Η δεξιά άκρη σημαδεύει την ώρα που έληξε. Το μήκος της γραμμής εκτιμάται στην αρχή της έρευνας. Καθώς όλο και περισσότερα στοιχειά ανακαλύπτονται, η γραμμή του χρόνου μπορεί να χρειαστεί να ρυθμιστεί ώστε να χωράει καινούρια στοιχειά χρόνου. Δεν υπάρχει ανάγκη η γραμμή του χρόνου να τραβηχτεί σε σταθερή κλίμακα. Σε μερικά ατυχήματα, ένα σημαντικό μέρος του χρόνου μπορεί να περάσει μεταξύ της πρώτης απρογραμμάτιστης αλλαγής μέχρι το επόμενο σημαντικό γεγονός. Αλλά τότε τα πράγματα αρχίσουν πραγματικά να συμβαίνουν γρήγορα, και έτσι η κλίμακα του χρόνου επεκτείνεται για να χωράνε όλα τα γεγονότα. Η

γραμμή του χρόνου πρέπει να είναι προσαρμόσιμη. Στην αρχή ο κύριος σκοπός της γραμμής χρόνου είναι να κρατούνται τα γεγονότα στη σειρά, για να επιτρέπεται στα γεγονότα να εκτεθούν με τέτοιο τρόπο που δείχνει πως σχετίζονται μεταξύ τους από την άποψη του χρόνου. Καθώς μεγαλώνει η κατανόηση, αυτό θα βοηθήσει να εντοπιστούν περιορισμοί χρόνου οι οποίοι δημιουργούν προβλήματα ασφάλειας, και κατ'αυτόν τον τρόπο να προσδιοριστούν προβλήματα ασφαλείας.



Το διάγραμμα STEP επίσης δείχνει τη χρήση των βελών που ενώνουν δοκιμασμένες σχέσεις ανάμεσα σε γεγονότα στην αλυσίδα του ατυχήματος. Ένας τύπος βέλους χρησιμοποιείται για να δείξει προηγούμενες/επόμενες και λογικές σχέσεις μεταξύ δύο ή παραπάνω γεγονότων. Όταν μία νωρίτερη πράξη είναι απαραίτητη για την ύπαρξη μιας δεύτερης, ένα βέλος θα πρέπει να τραβηχτεί από το προηγούμενο γεγονός προς το γεγονός που απορρέει. Για κάθε γεγονός στο φύλλο εργασίας, ο ερευνητής ρωτάει 'αρκούν οι προηγούμενες πράξεις για ξεκινήσουν αυτή τη δράση (ή γεγονός) ή ήταν αναγκαίες και άλλες δράσεις;' Προσπαθήστε να διανοηθείτε τους δράστες και τις δράσεις σε μία 'νοερή ταινία' για να αναπτύξετε τους συνδέσμους.

ΑΝΑΓΝΏΡΙΣΗ ΔΙΑΔΟΧΗΣ-ΑΛΛΗΛΟΥΧΙΑΣ ΤΩΝ ΓΕΓΟΝΟΤΩΝ

Η διαδικασία STEP επίσης περιλαμβάνει μερικές σχολαστικές τεχνικές διαδικασίες για να εξετάσουν την αλήθεια: η δοκιμή των σειρών, η δοκιμή των στηλών και η δοκιμή αναγκαιότητας-και-επάρκειας.

<u>Η εξέταση των σειρών</u> (ή οριζόντια εξέταση) δείχνει εάν είναι απαραίτητοι περισσότεροι κύβοι για κάθε ξεχωριστό δράστη εγγεγραμμένο στην αριστερή πλευρά του φύλλου εργασίας. Επίσης, δείχνει εάν κάθε δράστης έχει διαχωριστεί αρκετά. Γενικά, γίνεται:

- Έλεγχος πληρότητας.
- Αναπαράσταση ενεργειών του 'δράστη'.
- Αναγνώριση ασυνέχειας

Η εξέταση των στηλών (ή κάθετη εξέταση) ελέγχει τη διαδοχή των γεγονότων ζευγαρώνοντας το νέο γεγονός με τις δράσεις άλλων δραστών. Για να περάσει τη δοκιμασία των στηλών, ο κύβος γεγονότων που εξετάζεται θα πρέπει να έχει συμβεί:
1. Μετά από όλα τα γεγονότα σε όλες τις στήλες αριστερά αυτού του γεγονότος,
2. Πριν όλα τα γεγονότα σε όλες τις στήλες δεξιά το γεγονότος αυτού, και
3. Συγχρόνως με όλα τα γεγονότα στην ίδια στήλη.

Γενικά γίνεται:

- Έλεγχος σειράς των γεγονότων.
- Διαρρύθμιση χρόνου πριν/μετά.
- Επίπτωση διαστήματος πριν/μετά

Η δοκιμή αναγκαιότητας-και-επάρκειας χρησιμοποιείται όταν υποπτευθεί ότι οι δράσεις ενός δράστη προκάλεσαν επακόλουθες ενέργειες από άλλον δράστη στο φύλλο εργασίας, και μετά την εξέταση της διαδοχής τους. Το ζήτημα είναι εάν η προηγούμενη δράση αρκεί από μόνη της να προκαλέσει την επακόλουθη δράση ή εάν ήταν απαραίτητες και άλλες δράσεις. Εάν η προηγούμενη δράση ήταν αρκετή, πιθανόν τα στοιχεία να είναι αρκετά. Εάν η προηγούμενη δράση δεν αποδεικνύεται να είναι αρκετή για να προκαλέσει το επόμενο γεγονός, τότε πρέπει να αναζητηθούν άλλες ενέργειες οι οποίες ήταν απαραίτητες για να συμβεί το γεγονός.

Η μεθοδολογία STEP επίσης συνεπάγεται μία συστημένη μέθοδος για την αναγνώριση προβλημάτων ασφαλείας και την ανάπτυξη συστάσεων ασφαλείας. Με την προσέγγιση αυτή, ο αναλυτής απλά προχωρεί σε ολόκληρο το φύλλο εργασίας έναν κύβο μετά τον άλλο και ένα βέλος μετά το άλλο για να βρει τα σετ γεγονότων που απαρτίζουν προβλήματα ασφάλειας, όπως καθορίζεται από την επίδραση του προηγούμενου γεγονότος στο επόμενο γεγονός. Στο αρχικό πλαίσιο STEP αυτά τα οποία δικαιολογούσαν μέτρα ασφαλείας, μετατρέπονται σε δηλώσεις ανάγκης, οι οποίες εκτιμιούνται ως υποψήφιες συστάσεις για διορθωτικά μέτρα.

Η διαδικασία ανάλυσης αλλαγών STEP η οποία περιλαμβάνει πέντε συσχετισμένες ενέργειες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση των μέτρων που αποσκοπούν σε πρόληψη:

1. Αναγνώριση των πιθανών αλλαγών για την αντιμετώπιση προβλημάτων ασφάλειας
2. Ιεράρχηση της αποτελεσματικότητας των αλλαγών

3. Εκτίμηση των αλλαγών που συνεπάγονται
4. Επιλογή των καλύτερων συστάσεων
5. Ένας τελευταίος έλεγχος της ποιότητας των επιλεγμένων συστάσεων.

Όσον αφορά την αιτία, οι Hendrick και Benner (1987) λένε ότι συχνά ζητείται να προσδιοριστεί το αίτιο του ατυχήματος. Με βάση το φύλλο εργασίας STEP, φαίνεται ότι το ατύχημα ήταν πράγματι μερικά ζευγάρια γεγονότων. Πώς πρέπει να επιλεχθεί ένα ζευγάρι γεγονότων και να χαρακτηριστεί 'η αιτία' του ατυχήματος; Η επιλογή ενός προβλήματος ως η αιτία θα συγκεντρώσει την προσοχή στο πρόβλημα αυτό. Εάν είναι δυνατόν να φτιάξουμε έναν κατάλογο με πολλαπλές αιτίες ή αιτιολογικούς παράγοντες, ίσως είναι δυνατόν να επισύρουν την προσοχή σε μερικά προβλήματα που χρήζουν διόρθωσης. Εάν είναι δυνατόν, αφήστε την ονομασία των αιτιών σε κάποιον άλλο ο οποίος έχει την ανάγκη να κάνει τέτοια δουλειά, όπως δημοσιογράφοι, δικηγόροι, εμπειρογνώμονες, κ.τ.λ., και να συγκεντρωθείτε στα αναγνωρισμένα προβλήματα ασφαλείας και τις συστάσεις από την έρευνα ατυχήματος.

<u>Αναγνώριση κριτικών ενεργειών και γεγονότων</u>

Καθορισμός των κριτικών ενεργειών/γεγονότων βάσει κατανόησης του πως εξελίχθηκε το περιστατικό.

Κοίταξε για προβλήματα στη ροή των γεγονότων:

Εξέτασε τα ζευγάρια γεγονότων.

Σημεία ερεθισμού.

Τα περισσότερα συμβάντα δεν έχουν μόνο μια αιτία.

Επισήμανε όλες τις κριτικές ενέργειες και κριτικά γεγονότα.

<u>Χρήση διαγράμματος αλληλουχίας</u>

Οργανώνει τα δεδομένα.

Καθοδηγεί την έρευνα.

Εξυπηρετεί στην εστίαση για ομαδικές έρευνες.

Επιτρέπει την εξακρίβωση της διαδοχής των γεγονότων.

Επισημαίνει κενά γνώσεων.

Κάνει τη διάκριση μεταξύ πρακτικών και πιθανών αιτιών.

Επιτρέπει την εξακρίβωση ενός τυχαίου γεγονότος.

Περιγράφει καθαρά το συμβάν για διοικητική παρουσίαση.

Βοηθάει στην οργάνωση αναφοράς του γεγονότος.

Αναγνωρίζει διαφορές μεταξύ πραγματικών και προγραμματισμένων διαδικασιών.

Επιτρέπει τον έλεγχο θεωριών με λογική και αντικειμενικότητα.

3.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΓΕΓΟΝΟΤΩΝ ΚΑΙ ΑΙΤΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ (ECF)

ECF=Events and Causal Factors Analysis

Το διάγραμμα γεγονότων και αιτιολογικών παραγόντων (ECF) απεικονίζει τα απαραίτητα και επαρκή γεγονότα και τους αιτιολογικούς παράγοντες για την εμφάνιση του ατυχήματος σε λογική διαδοχή. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί όχι μόνο για ανάλυση του ατυχήματος και την εκτίμηση των αποδείξεων κατά την έρευνα, αλλά επίσης μπορεί να βοηθήσει με εγκυρότητα την ορθότητα του συστήματος ανάλυσης προ-ατυχήματος.

Η ανάλυση γεγονότων και αιτιολογικών παραγόντων (ECF) αποτελεί αναπόσπαστο και σημαντικό κομμάτι της διαδικασίας διερεύνησης ατυχημάτων βασισμένες στη MORT. Χρησιμοποιείται συχνά από κοινού με άλλα εργαλεία κλειδιά MORT, όπως το δέντρο ανάλυσης MORT, ανάλυση αλλαγών, και καθορισμός ενέργειας και φραγμών, ώστε να επιτευχθούν βέλτιστα αποτελέσματα στην διερεύνηση ατυχημάτων. [Πηγή: J.R. Buys, INEL, J.L. Clark, INEL, Technical Research and Analysis Center, Idaho 1995.]

<u>Η φύση της διερεύνησης ατυχημάτων</u>

Η εμπειρία έχει δείξει πως τα ατυχήματα είναι σπάνια απλά και σχεδόν ποτέ δεν είναι αποτέλεσμα μίας μοναδικής αιτίας. Αντίθετα, είναι συνήθως πολλοί παράγοντες και αναπτύσσονται από σαφώς ορισμένη διαδοχή γεγονότων που περιλαμβάνουν σφάλματα κατά την εκτέλεση, αλλαγές, απροσεξίες, και παραλείψεις. Οι ερευνητές των ατυχημάτων χρειάζεται να αναγνωρίσουν και να καταγράψουν όχι μόνο τα γεγονότα μόνα τους, αλλά επίσης τις συγγενείς συνθήκες που επηρεάζουν κάθε γεγονός στη διαδοχή του ατυχήματος. Για να κατορθωθεί αυτό, μια απλή ευθεία πρώιμη προσέγγιση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αναλύσει ολόκληρη την αλληλουχία σε μια λογική ροή γεγονότων από την αρχή της εξέλιξης του ατυχήματος. Είναι σημαντικό να διατεθεί πως το τελικό σημείο μπορεί να οριστεί είτε ως το περιστατικό απώλειας καθαυτό, είτε ως το τέλος της φάσης βελτίωσης και αποκατάστασης. Αυτή η ροή γεγονότων χρήζει όχι διάταξης χώρου σε απλή αλυσίδα γεγονότων, αλλά μπορεί να εμπεριέχει αλυσίδες που διακλαδίζονται και συνενώνονται. Στην πραγματικότητα ο αναλυτής/ερευνητής έχει συχνά την επιλογή του να εκφράσει την αλληλουχία του ατυχήματος σαν ομάδα από συνδεόμενες αλυσίδες οι οποίες ενώνονται σε ένα κοινό και βασικό γεγονός ή σαν θεμελιώδης αλυσίδα από διαδοχικά γεγονότα μέσα στην

οποία αιτιολογικοί παράγοντες τροφοδοτούν σαν καταστάσεις που συμβάλουν στην εμφάνιση του γεγονότος ή σαν συνδυασμός και των δύο.

Η κατασκευή του ECF διαγράμματος πρέπει να ξεκινά μόλις ο ερευνητής του ατυχήματος αρχίσει να συλλέγει τεκμηριωμένες αποδείξεις συναφείς με τη διαδοχή του ατυχήματος και την επακόλουθη βελτίωσης. Τα γεγονότα και οι αιτιολογικοί παράγοντες συνήθως δεν ανακαλύπτονται σε διαδοχική σειρά στην οποία συνέβησαν, οπότε το αρχικό ECF διάγραμμα θα αποτελεί μόνο τον σκελετό του τελικού παραγώγου και θα χρειαστεί να συμπληρωθεί και να αναβαθμιστεί καθώς συλλέγονται πρόσθετα δεδομένα. Αν και το αρχικό διάγραμμα δεν θα είναι ολοκληρωμένο και θα περιέχει πολλές ανεπαρκείς πληροφορίες, θα πρέπει να αρχίσει από νωρίς στην διερεύνηση του ατυχήματος λόγω της εγγενής χρησιμότητας που έχει καθώς βοηθά στην:
Οργάνωση των στοιχείων του ατυχήματος.
Καθοδηγεί την έρευνα.
Τεκμηριώνει και επαληθεύει την πραγματική σειρά του ατυχήματος.
Αναγνωρίζει και αιτιολογεί πραγματικά ευρήματα, πιθανές αιτίες και παράγοντες που συνέβαλλαν.
Διευκρινίζει τη διαδοχή του ατυχήματος στην αναφορά της έρευνας.

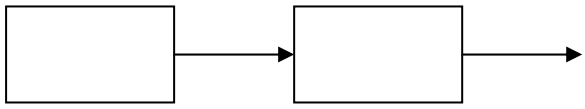
Με όλα τα πλεονεκτήματα ως μία ανεξάρτητη αναλυτική τεχνική, η ECFA είναι πιο αποτελεσματική μαζί με άλλα εργαλεία MORT. Άλλωστε, η ECFA μπορεί να λειτουργήσει ως το πλαίσιο μέσα στο οποίο τα αποτελέσματα από άλλες μορφές ανάλυσης ολοκληρώνονται. Ένας κατάλληλος συνδυασμός των μεγαλύτερων εργαλείων MORT, συμπεριλαμβανομένου και της ανάλυσης ECF, παρέχει τον πυρήνα για μία καλή έρευνα.

Περιγραφή της τεχνικής

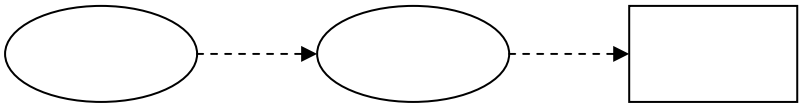
Συμβάσεις για τα διαγράμματα γεγονότων και αιτιολογικών παραγόντων

1. Τα γεγονότα πρέπει να είναι εσώκλειστα σε ορθογώνια παραλληλόγραμμα και οι καταστάσεις μέσα σε οβάλ.

2. Τα γεγονότα πρέπει να ενώνονται με αμιγή βέλη.

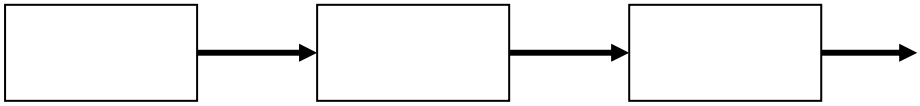


3. Οι καταστάσεις πρέπει να συνδέονται μεταξύ τους και με τα γεγονότα με διακεκομμένα βέλη.

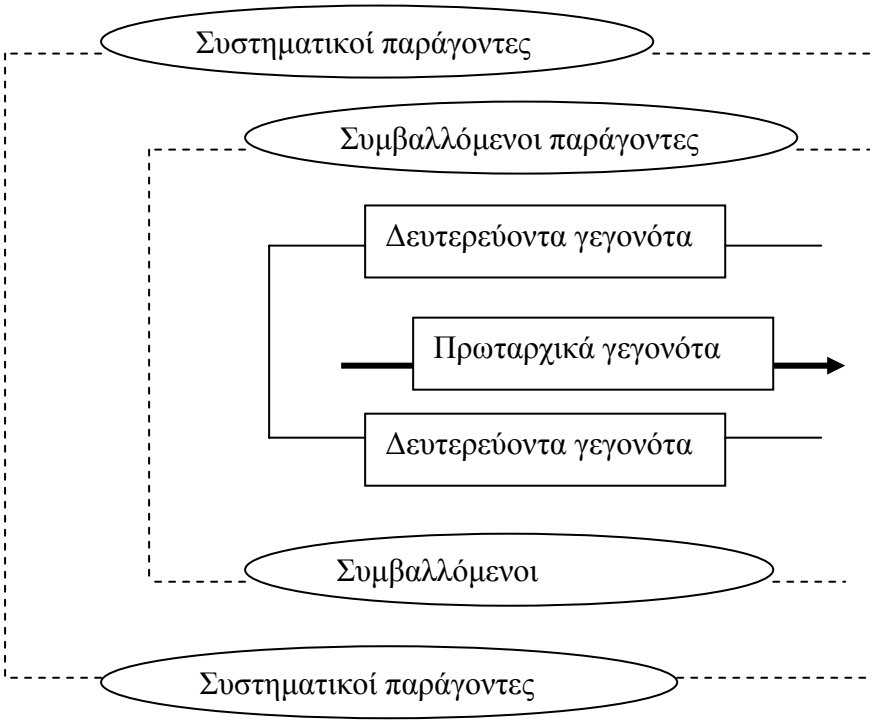


4. Κάθε γεγονός και κατάσταση πρέπει πρώτα να βασίζεται πάνω σε έγκυρες αντικειμενικές αποδείξεις ή να αναγράφονται ξεκάθαρα ως πιθανολογικά σε διακεκομμένα ορθογώνια και οβάλ.

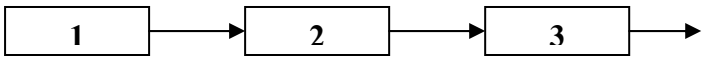
5. Η αρχική διαδοχή των γεγονότων πρέπει να απεικονίζεται με ευθεία οριζόντια γραμμή (ή γραμμές που συνδέονται ή θεμελιώδης αλυσίδες που διακλαδίζονται) με τα γεγονότα να συνδέονται με έντονα τυπωμένα βέλη.



6. Δευτερεύουσες διαδοχές γεγονότων, συμβαλλόμενοι παράγοντες και συστηματικοί παράγοντες πρέπει να απεικονίζονται σε οριζόντιες γραμμές σε διαφορετικά επίπεδα πάνω ή κάτω από την πρωταρχική σειρά.



7. Τα γεγονότα πρέπει να διευθετούνται σε χρονολογική σειρά από αριστερά προς τα δεξιά.



8. Τα γεγονότα πρέπει να αποτυπώνονται σε λογική πρόοδο από την αρχή έως το τέλος της αλληλουχίας αρχικά-προ-ατυχήματος-ατύχημα-βελτίωση και πρέπει να περιέχει όλα τα σχετικά περιστατικά. Αυτό καθιστά αναγκαίο ότι η αρχή και το τέλος ορίζονται για κάθε αλληλουχία ατυχήματος. Οι αναλυτές συχνά χρησιμοποιούν το ατύχημα ως το βασικό γεγονός και προχωρούν και προς τις δύο κατευθύνσεις ώστε να ανακατασκευάσουν τις αλληλουχίες ECF προ και μετά του ατυχήματος.

<u>Προτεινόμενα κριτήρια για την περιγραφή των γεγονότων και των καταστάσεων</u>

1) Κάθε γεγονός πρέπει να περιγράφει ένα περιστατικό ή συμβάν και όχι μια κατάσταση, σύνολο συνθηκών, έκβαση, συμπέρασμα ή αποτέλεσμα.

2) Κάθε περιστατικό πρέπει να περιγράφεται σε σύντομη πρόταση με ένα αντικείμενο και ένα ενεργητικό ρήμα.

3) Κάθε περιστατικό πρέπει να περιγράφεται επακριβώς.

4) Κάθε γεγονός πρέπει να περιγράφει ένα μοναδικό, ξεχωριστό συμβάν.

5) Κάθε συμβάν πρέπει να προσδιορίζει ποσότητες εάν είναι δυνατόν.

6) Κάθε γεγονός πρέπει να προέρχεται από το γεγονός (ή τα γεγονότα σε περίπτωση διακλαδισμένης αλυσίδας) και τις καταστάσεις που προηγούνται. Όταν αυτό δεν συμβαίνει, αποτελεί ένδειξη ότι ένα ή περισσότερα βήματα στη διαδοχή έχουν παραλειφθεί.

7) Καταστάσεις διαφέρουν από τα γεγονότα σε βαθμό που (α) περιγράφουν σύνολο συνθηκών ή περιστάσεις παρά περιστατικά ή συμβάντα και (β) είναι παθητικά παρά ενεργητικά. Ως προς την εφαρμογή στην πράξη, καταστάσεις πρέπει να περιγράφονται επακριβώς, να ποσοτικοποιούνται όταν είναι δυνατόν, να αναφέρονται με ώρα και ημερομηνία όταν είναι δυνατόν και να προέρχονται κατευθείαν από τις καταστάσεις που άμεσα προηγούνται.

Οδηγίες για πρακτική εφαρμογή

Η εμπειρία πολλών ατόμων που συμμετείχαν σε πολυάριθμες έρευνες ατυχημάτων έχει οδηγήσει στην αναγνώριση εφτά βασικών στοιχείων στην πρακτική εφαρμογή της ανάλυσης ECF ώστε επιτευχθούν υψηλής ποιότητας έρευνες ατυχημάτων.

1. Ξεκίνημα νωρίς. Μόλις αρχίσει η συγκέντρωση αντικειμενικών πληροφοριών για τα γεγονότα και τις καταστάσεις που συνδέονται με το ατύχημα, πρέπει να ξεκινήσει η κατασκευή ενός βάσιμου διαγράμματος γεγονότων και αιτιολογικών παραγόντων. Συχνά είναι χρήσιμο επίσης να σκιαγραφείται ένα δέντρο σφαλμάτων από τα συμβάντα ώστε να εδραιωθεί το πως θα μπορούσε να έχει γίνει το ατύχημα. Αυτό μπορεί να εμποδίσει λανθασμένα σημεία εκκίνησης, αλλά πρέπει να γίνει με προσοχή για να μην εγκλωβιστούμε σε ένα προϊδεασμένο μοντέλο για την διαδοχή του ατυχήματος.

2. Χρήση οδηγιών που αναφέρθηκαν παραπάνω, όπως βοηθήσουν στην εκκίνηση και στην αποφυγή εκτροχιασμού καθώς γίνεται ανακατασκευή της αλληλουχίας των γεγονότων και καταστάσεων που άσκησαν επιρροή στην πρόκληση του ατυχήματος και στην βελτίωση. Δεν αποτελούν σκληρούς και γρήγορους κανόνες που εφαρμόζονται χωρίς λόγω και αιτία. Έχουν προέλθει από την εμπειρία και ταιριάζουν καλά στις περισσότερες εφαρμογές, μπορεί όμως να υπάρξει μία μοναδική περίσταση που να απαιτείται παρέκκλιση από τις οδηγίες για λόγους σαφήνειας και απλότητας.

3. Προχωρήστε με λογική με τα διαθέσιμα δεδομένα. Συχνά, τα γεγονότα και οι αιτιολογικοί παράγοντες δεν προκύπτουν κατά την διεξαγωγή της έρευνας με διαδοχική σειρά όπως συνέβησαν. Αρχικά, θα υπάρξουν πολλά κενά και ελλείψεις στο διάγραμμα. Οι προσπάθειες για να γεμίσουν τα κενά και να βρεθεί η σωστή τροχιά που διαδέχτηκαν τα γεγονότα και η προέλευσή τους από συμβαλλόμενες καταστάσεις, θα οδηγήσει σε βαθύτερη διερεύνηση από τους ερευνητές, που θα αποκαλύψουν τα αληθινά γεγονότα που περιπλέκονται. Καθώς προχωράμε με λογική, χρησιμοποιώντας τις διαθέσιμες πληροφορίες που θα κατευθύνουν την έρευνα για την εύρεση επιπλέον πληροφοριών, είναι συνήθως πιο εύκολο να χρησιμοποιηθεί το ατύχημα ή το συμβάν απώλειας ως το σημείο εκκίνησης και να ανακατασκευαστούν οι προ-ατυχήματος και μετά-ατυχήματος αλληλουχίες από αυτό το σημείο που

έχει προοπτικές.

4. Χρησιμοποιήστε μια διάταξη περιεχόμενου έντυπου που να ενημερώνεται εύκολα. Καθώς ανακαλύπτονται επιπλέον δεδομένα και η ανάλυση αυτών των δεδομένων μετέπειτα αναγνωρίζει αιτιολογικούς παράγοντες, το διάγραμμα στο οποίο εργαζόμαστε θα χρειαστεί να ενημερωθεί. Επιτυχείς αναδιατυπώσεις του ECF διαγράμματος μπορούν να γίνουν με χρήση μεγάλων φύλλων χαρτιού, με μαγνητικό πίνακα ή με πίνακα κιμωλίας, όμως μεγαλύτερη επιτυχία είχαν τα σημειώματα που κολλούν και αναγράφουν τις καταστάσεις συνοπτικά τα γεγονότα. Ένα μοναδικό γεγονός ή κατάσταση αναγράφεται σε κάθε σημείωμα ξεχωριστά. Έπειτα τα σημειώματα κολούνται σε έναν τοίχο στην σειρά που είναι γνωστή έως εκείνο το σημείο. Καθώς αναδύονται νέες πληροφορίες, τα σημειώματα μπορούν να αναδιαταχθούν, να συμπληρωθούν ή να αφαιρεθούν για να παράξουν ένα πιο ολοκληρωμένη και έγκυρη έκδοση του διαγράμματος. Μόλις έχει τελειοποιηθεί το διάγραμμα με τα σημειώματα, το ECF διάγραμμα μπορεί να σχεδιαστεί για να περιλαμβάνεται στην αναφορά της έρευνας.

5. Αντίστοιχη χρήση της ECF ανάλυσης με αυτήν των εργαλείων διερεύνησης MORT. Η βέλτιστη ωφέλεια από τις έρευνες βασισμένες στη MORT μπορεί να προέρχονται όταν τόσο ισχυρά εργαλεία όπως το ECFA, η έρευνα βασισμένη στο MORT διάγραμμα, ανάλυση αλλαγών και καθορισμός ενέργειας και φραγμών χρησιμοποιούνται για να παρέχουν στήριγμα για συσχέτιση.

6. Επιλέξτε κατάλληλο επίπεδο λεπτομέρειας και μήκος αλληλουχίας για το ECF διάγραμμα. Το ατύχημα από μόνο του και το βάθος της έρευνας που καθορίζεται από αρμόδιο φορέα της έρευνας, συνήθως θα υπονοήσουν το επιθυμητή λεπτομέρεια. Αυτά επίσης μπορεί να υπαγορεύσουν σε ποιο σημείο να σταματήσει το διάγραμμα ECF, στο ατύχημα ή το συμβάν που προκάλεσε απώλεια είναι αρκετό, ή μήπως πρέπει να περιλαμβάνεται η φάση της βελτίωσης. Ο τρόπος με τον οποίο έχει χειριστεί η εισαγωγή της φάσης βελτίωσης, θα επηρεάσει το αν και σε πόσο βάθος θα πρέπει να συζητηθεί. Βέβαια, αν έχουν σημειωθεί και επόμενα ατυχήματα κατά τη προσπάθεια διάσωσης ή επείγουσας δράσης ή εάν υπήρχαν άλλα συστηματικά προβλήματα που φανερώθηκαν, τότε το ECF διάγραμμα πρέπει να καλύψει αυτή τη φάση. Παρόλα αυτά, οι ερευνητές και ο αρμόδιος φορέας θα πρέπει να αποφασίσει πιο είναι το κατάλληλο βάθος και μήκος αλληλουχίας για κάθε ατύχημα που διερευνάται.

7. Να φτιάχνεται ένα σύντομο εκτελεστικό περιληπτικό διάγραμμα όταν χρειάζεται. Το διάγραμμα ECF θα περιέχει πολλές λεπτομέρειες ώστε να μπορεί να έχει μέγιστη αξία στο σχηματισμό και στην εποπτεία της έρευνας. Γενικά, απαιτείται σημαντικά λιγότερη λεπτομέρεια στο ECF διάγραμμα που παρουσιάζεται στην αναφορά της έρευνας, λόγω του αρχικού σκοπού του που είναι να παρέχει μία συνοπτική και εύκολα παρακολουθήσιμη κατατόπιση της αλληλουχίας του ατυχήματος για τον αναγνώστη της αναφοράς.

Η χρήση της τεχνικής διαγραμμάτων ECF από τον ερευνητή του ατυχήματος προσφέρει τα εξής πλεονεκτήματα: (1) ικανοποιεί το γενικό σκοπό της έρευνας ατυχημάτων και καθοδηγεί την έρευνα, (2) βοηθά στη σύνταξη της αναφοράς του ατυχήματος.

Ο πρωταρχικός σκοπός της διερεύνησης ατυχημάτων είναι το να προσδιοριστεί το τι συνέβη και γιατί συνέβη για την αποτροπή παρόμοιων συμβάντων και για την βελτίωση της ασφάλειας και την αποδοτικότητα επόμενων εγχειρημάτων. Όταν συμβαίνουν σοβαρά ατυχήματα, είναι συχνά συμπτωματικές ατέλειες του συστήματος που επίσης προκαλούν φθορά στην εκτέλεση και την παραγωγή. Όταν το ατύχημα χρησιμοποιηθεί σαν ένα παράθυρο μέσα από το οποίο φαίνεται το υπάρχον σύστημα διοίκησης, αυτές οι ατέλειες αποκαλύπτονται και αποκομίζονται ωφέλειες που ξεπερνούν την διόρθωση των άμεσων αιτιών του ατυχήματος. Η έμφαση, τότε, πρέπει να δίνεται στην ανακάλυψη όλων των σχέσεων αιτίου-επίδρασης από τις οποίες πρακτικές διορθωτικές ενέργειες μπορούν να αποκομίζονται ώστε να βελτιώνεται η συνολική εκτέλεση. Ο σκοπός της έρευνας, τότε, δεν είναι να καταχωρήσει ευθύνες, αλλά να προσδιορίσει πώς μπορούν να ξεκαθαριστούν οι ευθύνες και πώς μπορούν να μειωθούν και να ρυθμιστούν τα σφάλματα που προκαλούν απώλειες.

Ο σκοπός της αναφοράς του ατυχήματος είναι να μεταφέρει τα αποτελέσματα της έρευνας σε σαφή και συνοπτική γλώσσα. Η αναφορά του ατυχήματος αποτελεί καταγραφή των συμβάντων τα οποία έχει μετρήσει η έρευνα για την πληρότητα, την ακρίβεια και την αντικειμενικότητα. Η αναφορά πρέπει επίσης να εξηγεί πλήρως τα τεχνικά στοιχεία της σειράς των αιτιών του συμβάντος και να περιγράφει τα συστήματα διοίκησης τα οποία θα μπορούσαν να έχουν αποτρέψει το συμβάν. Η εφαρμογή της ECF ανάλυσης είναι αποτελεσματική στην ικανοποίηση αυτών των στόχων της αναφοράς.

3.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΩΝ

3.3.1 Πλεονεκτήματα της τεχνικής STEP

Η μέθοδος STEP παρουσιάζει πολύ ικανοποιητικά την αλληλουχία των γεγονότων, τους συντελεστές του συμβάντος και την εξάρτηση των γεγονότων. Επίσης:

- Είναι μία από τις πιο αναλυτικές μεθόδους για την ανάλυση των κρίσιμων γεγονότων και λαθών.
- Προσφέρει μια πολύτιμη γενική επισκόπηση για το χρόνο και τη διαδοχή των γεγονότων που συντέλεσαν στο ατύχημα.
- Μπορούν να αναγνωριστούν κενά γνώσεων αν υπάρχουν ή αν λείπουν κάποια γεγονότα από την αλληλουχία, χάρη στη μέθοδο εξέτασης αναγκαιότητας και επάρκειας του διαγράμματος.
- Η τεχνική παρέχει ανάλυση ατυχήματος με πειθαρχημένη, λογική και επαληθεύσιμη αναπαράσταση των γεγονότων που εμπλέκονται στο συμβάν.
- Παρουσιάζει καλά τη χρονική διάσταση των συμβαλλόμενων παραγόντων, αν και είναι απαραίτητη η πρόσθετη σημείωση για ακριβείς χρόνους.
- Παρέχει καλύτερη απεικόνιση και ομαδοποίηση των δραστών (εξοπλισμός, αυτοματισμοί, εργαζόμενοι) που εμπλέκονται στο ατύχημα.
- Περιέχει πολλαπλά επίπεδα απεικόνισης.
- Γίνεται εύκολη η παρακολούθηση κάποιων τιμών (θερμοκρασία, πίεση) και η εξέλιξη όλων των παραγόντων στο χρόνο.

3.3.2 Πλεονεκτήματα της τεχνικής ECF

Συνεισφορά του ECFA στο σκοπό και την διεξαγωγή της έρευνας

Ορθή ανάλυση ECF μπορεί να βοηθήσει στην ικανοποίηση αυτούς τους γενικούς στόχους με τους εξής τρόπους:

- παρέχει αιτιοκρατική εξήγηση του ατυχήματος
- παρέχει τη βάση για ωφέλιμες αλλαγές για την αποτροπή μελλοντικών ατυχημάτων και σφαλμάτων χειρισμού
- βοηθά στην περιγραφή σφαίρας ευθυνών
- βοηθά στη διασφάλιση αντικειμενικότητας στη διεξαγωγή του ατυχήματος
- οργανώνει ποσοτικά δεδομένα (πχ χρόνος, ταχύτητα, θερμοκρασία, κτλ) που συνδέονται με τα γεγονότα και τις καταστάσεις που προκαλούν

απώλειες
• συμπεριφέρεται σαν λειτουργικό εργαλείο εξάσκησης
• προσφέρει αποτελεσματική βοήθεια σε μελλοντική σχεδίαση συστημάτων.

Ποιο συγκεκριμένα, η ανάλυση γεγονότων και αιτιολογικών παραγόντων:

• βοηθά στην ανάπτυξη ενδείξεων, ανιχνεύει όλους τους αιτιολογικούς παράγοντες μέσα από την σειρά εξέλιξης και καθορίζει την απαίτηση για βάθος ανάλυσης
• αποσαφηνίζει συλλογιστική
• ξεκαθαρίζει πολλαπλές αιτίες. Όπως προηγούμενα αναφέρθηκε, τα ατυχήματα σπάνια έχουν μία μοναδική αιτία. Η διαγραμματοποίηση βοηθά στο ξεκαθάρισμα των πολλαπλών αιτιολογικών παραγόντων που εμπλέκονται στη διαδοχή του ατυχήματος, καθώς και τη σχέση των αμέσως προηγούμενων, των απώτερων, των άμεσων και των ενισχυτικών αιτιών
• εικονογραφεί την αλληλεπίδραση και τις σχέσεις όλων των εμπλεκόμενων οργανώσεων και ατόμων
• απεικονίζει την χρονολογία των γεγονότων δείχνοντας σχετική διαδοχή στο χρόνο
• προσφέρει ευελιξία στην ερμηνεία και στην περίληψη των συλλεγμένων στοιχείων
• τα δεδομένα από την εμπειρία και από πορίσματα επικοινωνούν βολικά με λογικό και τακτικό τρόπο
• συνδέει συγκεκριμένους παράγοντες του ατυχήματος με οργανωτικούς και διοικητικούς παράγοντες ελέγχου.

Χρήση του ECF διαγράμματος στην προετοιμασία της αναφοράς

Συγκεκριμένα πλεονεκτήματα που προσφέρει είναι τα ακόλουθα:

- παρέχει έναν έλεγχο για την ολοκλήρωση της ερευνητικής λογικής. Ακόμα και ο πιο στοιχειώδης τύπος διαγραμμάτων διαδοχής μπορεί να φανερώσουν κενά στην λογική και να αποτρέψουν εσφαλμένα συμπεράσματα,
- προσφέρει μία μέθοδο για την αναγνώριση στοιχείων που απαιτούν περαιτέρω διερεύνηση ή ανάλυση. Κύβοι γεγονότων με ασαφείς ή ανύπαρκτους αιτιολογικούς παράγοντες είναι ένας συναγερμός για τον ερευνητή που δηλώνει την ανάγκη για εύρεση παραπάνω στοιχείων και συνέχηση της έρευνας,

- παρέχει λογική απεικόνιση γεγονότων από τα οποία μπορούν να διεξαχθούν έγκυρα συμπεράσματα,
- εφοδιάζει με κατάλληλους και σύμφωνους τίτλους θεμάτων για τις παραγράφους ανάλυσης και συζήτησης των στοιχείων,
- προσφέρει μία μέθοδο που καθορίζει αν ο γενικός σκοπός της έρευνας και οι συγκεκριμένες επιδιώξεις συγχωνεύονται με αρτιότητα στο τελικό συμπέρασμα,
- παρέχει μία μέθοδο που διαφοροποιεί την ανάλυση των δεδομένων από τα επακόλουθα συμπεράσματα,
- παρουσιάζει μία απλή μέθοδο για ξεκάθαρη περιγραφή της αλληλουχίας του ατυχήματος και των αιτιών σε ένα αναγνωστικό κοινό με διαφορετική κατάρτιση. Χωρίς τη χρήση εξεζητημένης ή εξωτικής μεθόδου, τα αίτια του ατυχήματος μπορούν εύκολα να μεταδοθούν σε αναγνώστες με μεγάλης ποικιλίας από εμπειρίες και τεχνική ειδίκευση,
- παρέχει μία πηγή για την αναγνώριση οργανωτικών αναγκών και τον σχηματισμό των συστάσεων οι οποίες θα ικανοποιήσουν τις ανάγκες αυτές,
- προσφέρει μια μέθοδο για αξιολόγηση τεκμηριωμένων βάσεων από πιθανές συστάσεις,

τέλος, έχει φανεί πως η τεχνική είναι χρήσιμη για την επίλυση διάφορων απρόσμενων προβλημάτων σχετικά με την προετοιμασία της τελικής αναφοράς για συγκεκριμένες έρευνες ατυχημάτων. Η σαφής και λογική εξέλιξη των γεγονότων του ατυχήματος και των αιτιολογικών παραγόντων διευκολύνει τη συμφωνία μεταξύ των κριτών της γραπτής αναφοράς για τις αιτίες του ατυχήματος και ελαχιστοποιεί την αρνητική αντίδραση από τα άτομα και οργανισμούς των οποίων η ελλιπής εκτέλεση συντέλεσε στην ύπαρξη του ατυχήματος. Μπορεί να μην είναι ευχαριστημένοι από αυτά που περιέχει η αναφορά, αλλά θα συμφωνήσουν πως είναι δίκαια και ορθά.

3.3.3 Συγκρίνοντας τις μεθοδολογίες ανάλυσης ατυχημάτων, STEP και ECF καταλήγουμε στα εξής συμπεράσματα:

1. Και οι δύο μεθοδολογίες δίνουν γραφική περιγραφή της διαδοχής των γεγονότων. Η γραφική απεικόνιση είναι χρήσιμη κατά τη διεξαγωγή της έρευνας, δίνει μία κατανοητή σφαιρική θεώρηση των γεγονότων και των σχέσεων μεταξύ των γεγονότων.

2. Η μέθοδος STEP δίνει καλύτερη γενική επισκόπηση της αλληλουχίας των γεγονότων γιατί ενώ στη μέθοδο ECF τα γεγονότα σχεδιάζονται σε οριζόντιο άξονα, στην μέθοδο STEP επιπρόσθετα περιλαμβάνονται και οι δράστες κατά τον κατακόρυφο άξονα. Με την

STEP είναι εύκολο να απεικονιστούν γεγονότα που συμβαίνουν ταυτόχρονα και επίσης οι διαφορετικές σχέσεις μεταξύ γεγονότων.

3. Στη γραφική μέθοδο ECF επεξηγούνται επίσης καταστάσεις οι οποίες επηρέασαν τη σειρά των γεγονότων και τους αιτιολογικούς παράγοντες που οδήγησαν στο ατύχημα. Στη μέθοδο STEP, μόνο τα προβλήματα ασφαλείας μπορούν να απεικονιστούν με τρίγωνα ή ρόμβους και να αναλυθούν με ξεχωριστούς τρόπους.

4. Όσων αφορά το πεδίο που καλύπτει κάθε μέθοδος, η ECF περιγράφει τα επίπεδα: 1. το εργασιακό και το τεχνολογικό σύστημα, 2. το επίπεδο εργαζομένων, 3. το διοικητικό επίπεδο, 4. το επίπεδο της επιχείρησης, ενώ η μέθοδος STEP καλύπτει τα παραπάνω καθώς επίσης και το επίπεδο συνεργασιών και ρυθμιστικών στοιχείων και το κυβερνητικό επίπεδο. Τα επίπεδα αυτά αντιστοιχούν στα διάφορα επίπεδα κοινωνικό-τεχνολογικών συστημάτων που εμπλέκονται στο διοικητικό κίνδυνο.

5. Και οι δύο μέθοδοι είναι πρωταρχικές, δηλαδή είναι πλήρεις από μόνες τους και δεν παρέχουν ειδικές εισροές ως συμπληρωματικές σε άλλες μεθόδους.

6.Και οι δύο μέθοδοι είναι προσανατολισμένες χωρίς σύστημα (non-system oriented), είναι βασισμένες σε μοντέλα διεργασιών και τέλος, μπορούν να εφαρμοστούν από αρχάριους.

Καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως κάθε μέθοδος υπερέχει σε κάποια σημεία αλλά εάν εφαρμοστούν και οι δύο μέθοδοι μαζί, η μία συμπληρώνει την άλλη. Πιο συγκεκριμένα, στην μέθοδο STEP φαίνεται καλύτερα η χρονοσειρά των γεγονότων και τα κρίσιμα γεγονότα, αλλά δεν φαίνονται οι αιτίες, ενώ στην ECF αναλύονται τα γεγονότα σε τέτοιο βαθμό που εντοπίζονται και ενσωματώνονται τα ανθρώπινα λάθη και οι εργασιακοί και οργανωτικοί παράγοντες που συντέλεσαν στο ατύχημα.

4. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ

4.1 ΑΝΑΛΥΣΗ 1ου ΑΤΥΧΗΜΑΤΟΣ : Εσωτερική εκτόνωση ατμών.

4.1.1 Περιγραφή ατυχήματος

Το πρώτο ατύχημα που εξετάζεται αφορά ατύχημα που έλαβε χώρα σε εργοστάσιο παραγωγής Ρητίνης στην Αγγλία. Η ρητίνη παράγεται σε χημικό αντιδραστήρα παρτίδων. Το ατύχημα δεν προκάλεσε σοβαρές ζημιές στον εξοπλισμό του εργοστασίου αλλά ούτε και τραυματισμό εργαζομένων. Αυτό που παρατηρήθηκε ήταν εσωτερική εκτόνωση ατμών στη χύτρα και δυνατός θόρυβος. Η συγκεκριμένη παρτίδα δεν αχρηστεύτηκε αλλά παρατηρήθηκε σημαντική ποσότητα άνθρακα στο φίλτρο (filter cake) και ο αγωγός λήψης αδρανούς αερίου έφραξε μετά την έκρηξη.

Από την ιεραρχική ανάλυση εργασίας, φαίνεται πως το ατύχημα συνέβη κατά το στάδιο προετοιμασίας του αντιδραστήρα, λίγο πριν ξεκινήσει η διεργασία σύνθεσης. Το ατύχημα οφείλεται στην παρερμηνεία τον οδηγιών και εφαρμογής υπερβολικής θερμοκρασίας ανακυκλοφορίας.

Ο εργάτης δεν είχε επίγνωση του ότι κάτι συνέβαινε, διότι οι ενδείξεις των οργάνων ήταν φυσιολογικές. Ο εργάτης αύξησε απότομα και υπερβολικά την θερμοκρασία της χύτρας και ενώ δεν γίνονταν ανάδευση, έλεγξε την θερμοκρασία. Την στιγμή που δεν γίνεται ανάδευση, οποιαδήποτε ένδειξη δεν έχει νόημα γιατί δεν επικρατεί η ίδια θερμοκρασία σε όλο το μείγμα.

Οι οδηγίες που είχε ο εργάτης και φαίνονται από την ιεραρχική ανάλυση εργασίας, ήταν οι εξής:

- Πλήρωση χύτρας με R547 και F313.
- Θέρμανση χύτρας για τήξη χυτού με ανακυκλοφορούμενη θερμοκρασία στους 300°C.
- Εκκίνηση αναδευτήρα όσο το δυνατόν συντομότερα.
- Πλήρωση διαχωριστή με R533 και νερό.
- Όταν η ανάδευση θα γίνεται ελεύθερα, θέρμανση χύτρας στους 120°C με ανακυκλοφορούμενη θερμοκρασία στους 300°C.
- Όταν η θερμοκρασία φτάσει τους 120°C, εφαρμογή ατμού στον scrubber μέχρι να ανέλθει ο ατμός του R547.
- Διατήρηση θερμοκρασίας στους 120-130°C και φόρτωση R599 σε 30 λεπτά. Θερμοκρασία ανακυκλοφορίας 500-550°C.

4.1.2 Διαδοχή των γεγονότων:

Το μείγμα συνολικού βάρους 2043Kg που φορτώθηκε στη χύτρα κατά τη νυχτερινή βάρδια, περιείχε 1300Kg F313(2 Υδροξύλια στεατικού οξέος) και 743Kg R547 Solvesso 200.

Οι οδηγίες της διαδικασίας ήταν να θερμανθεί προσεκτικά και να διαλυθεί με θερμοκρασία ανακυκλοφορίας 300°C στην εστία του λέβητα. Η θέρμανση ξεκίνησε στις 6:15π.μ. και από το θερμογράφημα του φούρνου φάνηκε πως η θερμοκρασία του λέβητα αυξήθηκε αλματωδώς στους 550°C.

Στις 7:45π.μ. ο χειριστής της διαδικασίας χτύπησε ελαφρά τον αναδευτήρα με σκοπό να ελέγξει εάν το υλικό ήταν επαρκώς λιωμένο για να ξεκινήσει η ανάδευση.

Το θερμογράφημα της χύτρας διάβασε 100°C όμως με την απουσία ανάδευσης αυτή η θερμοκρασία δεν είχε νόημα.

Όταν ο χειριστής πάτησε το κουμπί για να ξεκινήσει ο αναδευτήρας αυτόπτες μάρτυρες ανέφεραν πως μετά από έναν δυνατό θόρυβο στη χύτρα, ακολούθησε εκπομπή μπλε καπνού από την περιοχή του αδένα (συσκευή προστασίας διαρροής) του αναδευτήρα.

Ο χειριστής αμέσως πάτησε το κουμπί απενεργοποίησης. Έκλεισε την παροχή γκαζιού στο φούρνο, εφαρμόστηκε ψύξη και έγινε απόπειρα να εφαρμοστεί εκκαθάριση αδρανούς αερίου.

Έπειτα από την αρχική σκέψη ότι ο κινητήρας του αναδευτήρα είχε βραχυκυκλώσει, έγινε αυξανόμενα φανερό ότι είχε προηγηθεί εκτόνωση μέσα στον αντιδραστήρα. Αυτό αποδείχτηκε όταν ανοίχτηκε ο αντιδραστήρας στις 9:00π.μ. και βρέθηκε στο εσωτερικό περιβάλλον άνθρακας σε χρώμα αιθάλης (φούμο).

Στις 8:30π.μ. στην παρτίδα 1 ο αγωγός λήψης αερίου ο οποίος ήταν μπλοκαρισμένος, κενώθηκε και εφαρμόστηκε αδρανές αέριο στην παρτίδα. Η ψύξη σταμάτησε στις 11:30π.μ.

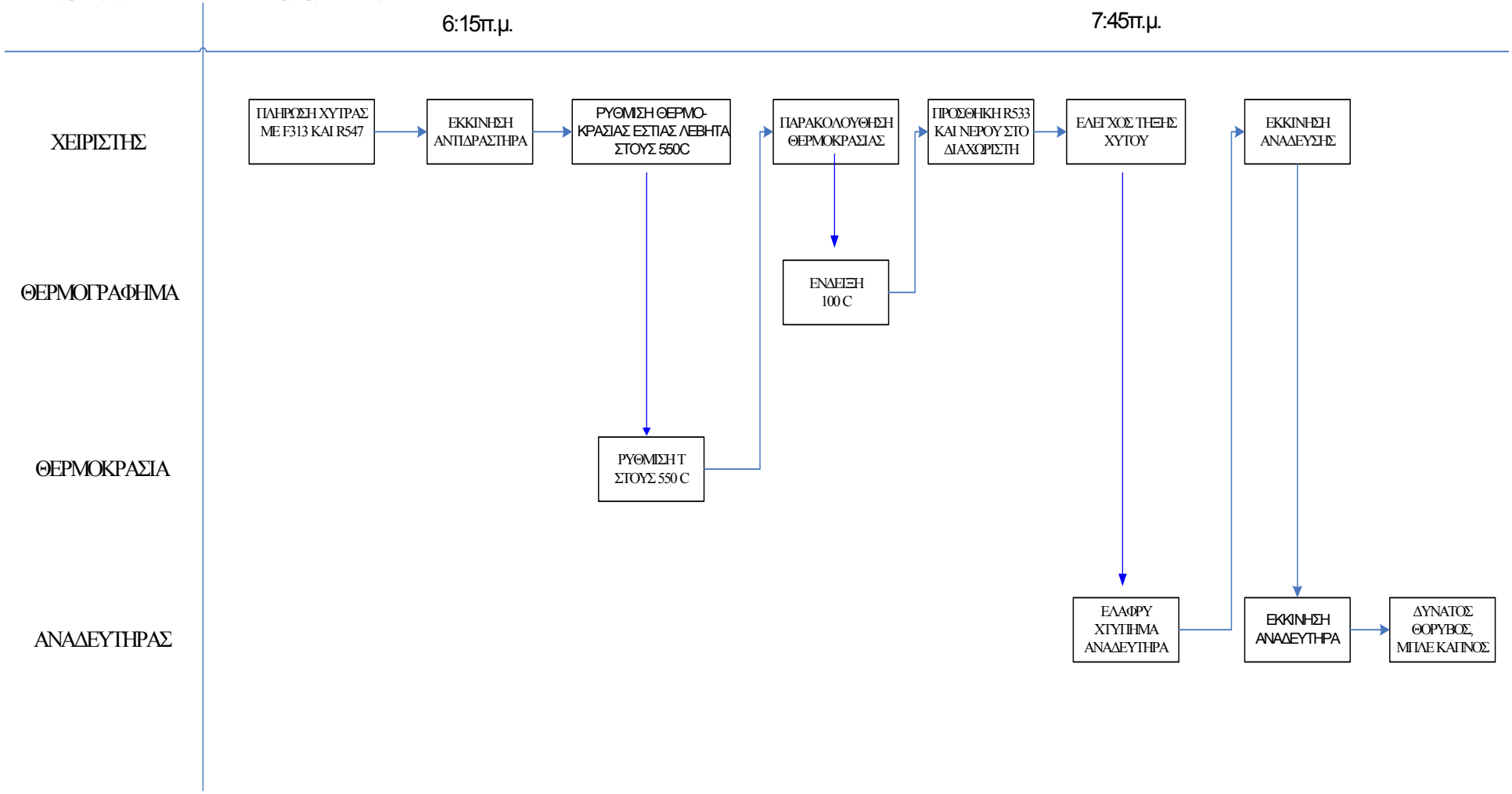
Για να αποκλειστεί η περίπτωση ύπαρξης ζεστών σημείων (hotspot), το υλικό θερμομόνωσης αφαιρέθηκε από την είσοδο και έξοδο των χώρων που ήταν γεμάτα με ύλη και τα ελάσματα που σφραγίζουν τους πάνω εφεδρικούς αγωγούς θέρμανσης, επιθεωρήθηκαν και βρέθηκαν να είναι ικανοποιητικά.

Η χύτρα ήταν λειτουργική στις 7:30μ.μ. και έγινε λόγος για εγκατάλειψη της φόρτωσης του χυτού. Αυτό αποδείχτηκε ανέφικτο λόγω της στερεοποίησης στη γραμμή κένωσης.

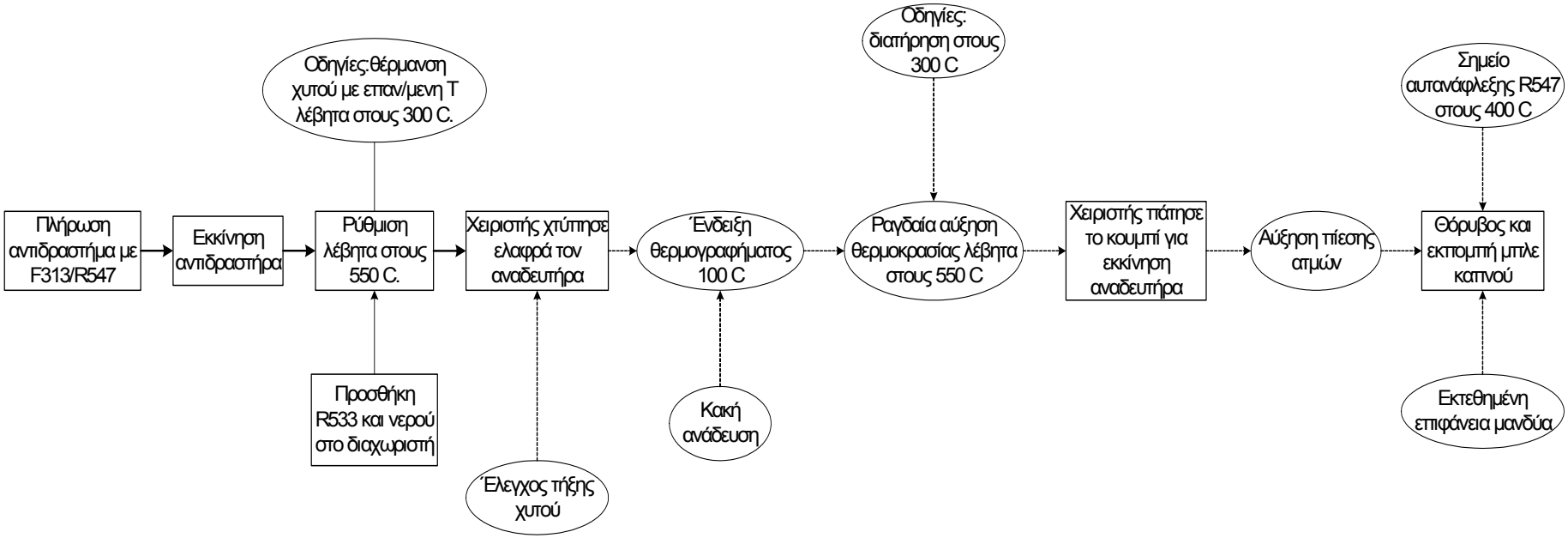
Η διεργασία ήταν κανονική, παράχθηκε VS 5539 που τηρούσε τις προδιαγραφές και διηθήθηκε καλά.

Από τα στοιχεία που διαθέτουμε, μπορούμε να αναπτύξουμε τα παρακάτω διαγράμματα STEP και ECF:

4.1.3 Διάγραμμα STEP ατυχήματος No 1



4.1.4 Διάγραμμα ECF ατυχήματος No 1



4.2. ΑΝΑΛΥΣΗ 2ου ΑΤΥΧΗΜΑΤΟΣ: Επικίνδυνο περιστατικό σε αντιδραστήρα.

4.2.1 Περιγραφή ατυχήματος

Το δεύτερο ατύχημα έλαβε χώρα σε εργοστάσιο παραγωγής ρητίνης στην Αγγλία. Περίπου στις 00:15 της Κυριακής μία παρτίδα σταθεροποιήθηκε στη χύτρα W15 μετά από παρατεταμένη περίοδο με υψηλή θερμοκρασία που ακολουθήθηκε μετά από εξώθερμη αντίδραση η οποία δεν ελέγχθηκε αποτελεσματικά. Η πίεση στη χύτρα αυτή ξεπέρασε τα 15 psi και ως προφύλαξη κάλεσαν την Πυροσβεστική Υπηρεσία αν και δεν υπήρξε κανένας πραγματικός κίνδυνος για ανάφλεξη.

Στην ουσία, δεν έγινε έλεγχος για την παροχή νερού στις σερπαντίνες και έτσι, ενώ νόμιζαν πως έχει εφαρμοστεί πλήρης ψύξη, αυτό δεν συνέβη. Διαπιστώθηκε αργότερα πως η έξοδος από τις τρεις κύριες σερπαντίνες ήταν κλειστή και μόνο ένα μικρό πηνίο ήταν σε λειτουργία. Για να βρεθεί υπό έλεγχο ξανά η κατάσταση πέρασαν πάνω από 7 ώρες.

Εάν η ψύξη νερού λειτουργούσε κανονικά, δεν θα ήταν δύσκολο να ελεγχθεί η εξώθερμη αντίδραση. Δεν υπήρξαν τραυματίες ούτε υλικές ζημιές. Γενικά, αναστατώθηκε η παραγωγή ολόκληρου του εργοστασίου γιατί κρίθηκε αναγκαίο να σταματήσει η παραγωγή σε γειτονικές χύτρες ώστε να εφαρμοστεί ψύξη νερού εξολοκλήρου στη συγκεκριμένη χύτρα.

4.2.2 Διαδοχή των γεγονότων

Φόρτωση με R228 (φορμαλδεΰδη), R283 (ανθρακικό νάτριο) και νερό.

Το R1262 (παραφορμαλδεΰδη) φορτώθηκε στην πρωινή βάρδια.

Η φόρτωση του R742 έγινε με τον καθορισμένο τρόπο των τεσσάρων υποπολλαπλασίων. Η θερμοκρασία κατά την ολοκλήρωση ήταν 22°C.

Έπειτα, εφαρμόστηκε προσεκτικά ατμός στην κάτω σερπαντίνα από τον εργάτη φόρτωσης και η θερμοκρασία ανέβηκε από τους 22°C στους 33°C μέσα σε 15 λεπτά.

Έσβησε τον ατμό και η θερμοκρασία στα επόμενα 30 λεπτά ανέβηκε στους 36°C.

Ο εργάτης φόρτωσης τότε εφάρμοσε ξανά ατμό στην κάτω σερπαντίνα και πήγε στο ισόγειο για να επιβλέψει και να βοηθήσει στη δειγματοληψία σε μία άλλη χύτρα, όπου προέκυψαν δυσκολίες. Ο εργάτης της χύτρας παρέμεινε στον όροφο και εφάρμοζε ψύξη νερού στη χύτρα W20.

Όταν επέστρεψε ο εργάτης φόρτωσης μετά από 8 λεπτά, η θερμοκρασία στη χύτρα W15 είχε ανέβει στους 52°C και αμέσως εφάρμοσε πλήρη ψύξη νερού. Η θερμοκρασία συνέχισε να ανεβαίνει από τους 52°C στους 77°C σε μια περίοδο 30 λεπτών. Στο ίδιο διάστημα έκλεισαν τη ψύξη νερού στις χύτρες W14 και W20, οι οποίες επίσης ήταν σε στάδιο ψύξης, ώστε να μεγιστοποιηθεί ο εφοδιασμός στη W15.

Την επόμενη 1 ώρα και 15 λεπτά, 3 παρτίδες νερού (200 γαλόνια συνολικά) προστέθηκαν στη χύτρα κατά τις οδηγίες του υπομηχανικού στη προσπάθεια να μειωθεί η θερμοκρασία της παρτίδας.

Η εξώθερμη αντίδραση έφτασε στο σημείο να είναι στους 84°C και μετά γρήγορα σταμάτησε στους 80-81°C όπου η θερμοκρασία σταθεροποιήθηκε για περίπου 5 1/2 ώρες, αν και πλήρης ψύξη νερού φαινομενικά διατηρούνταν.

Στις 17:00 το βράδυ του Σαββάτου ο αναδευτήρας σταμάτησε με τη συμβουλή του εργάτη Β.

Ο προϊστάμενος φόρτωσης της νυχτερινής βάρδιας, αποφάσισε στις 22:30 μετά από συνεννόηση με τον εργάτη Α να επιχειρήσει εκκένωση της παρτίδας αφού η πίεση στη χύτρα είχε φτάσει τα 12 psi.

Μεταξύ 02:30 και 04:30, η πίεση ήταν 14 psi.

Στις 05:05 ο προϊστάμενος φόρτωσης της νυχτερινής βάρδιας ήρθε ξανά σε επαφή με τον εργάτη Α για να αναφέρει πως η εκκένωση είχε σταματήσει μετά από περίπου 1 ½ τόνους εκφόρτωσης και ότι η σφραγισμένη ανθρωποθυρίδα ανυψώνονταν εκτοξεύοντας αναθυμιάσεις και στερεά σωματίδια. Η θερμοκρασία και η πίεση ήταν όπως και προηγουμένως, ήτοι 66-68°C και 14 psi.

Ο εργάτης Α έδωσε οδηγίες να εκκενωθεί το κτήριο 24/27, να εκταθεί η μάνικα και να απομονωθούν τα ηλεκτρικά του κτηρίου. Όταν έφτασε στην τοποθεσία βρήκε το κτήριο γεμάτο από αναθυμιάσεις φορμαλδεΰδης που ξεκαθάρισαν ουσιαστικά μέχρι τις 05:30 αν και με λιγότερη βιαιότητα ακόμα διέφευγαν αναθυμιάσεις από την ανθρωποθυρίδα.

Ο εργάτης Α θεώρησε ότι υπήρχε μία πιθανότητα να εκτοξευτεί η ανθρωποθυρίδα με αποτέλεσμα να εκφορτωθεί ρητίνη και τηλεφώνησε στην Πυροσβεστική Υπηρεσία στις 06:15 για να βρίσκεται ένα πυροσβεστικό όχημα σε ετοιμότητα για κάθε ενδεχόμενο.

Το πυροσβεστικό όχημα έφτασε περίπου 10 λεπτά αργότερα και επιπλέον πυροσβεστικά οχήματα έφτασαν στις 07:15.

Κατά τις επόμενες τέσσερις ώρες οι αναθυμιάσεις από την ανθρωποθυρίδα μειώθηκαν σημαντικά αλλά η πίεση έμεινε στα 14 psi.

Στις 09:00, με τις οδηγίες του επιστολογράφου, τα πυροσβεστικά οχήματα αφέθηκαν ελεύθερα εκτός από ένα, το οποίο βρισκόταν σε ετοιμότητα μέχρι το μεσημέρι.

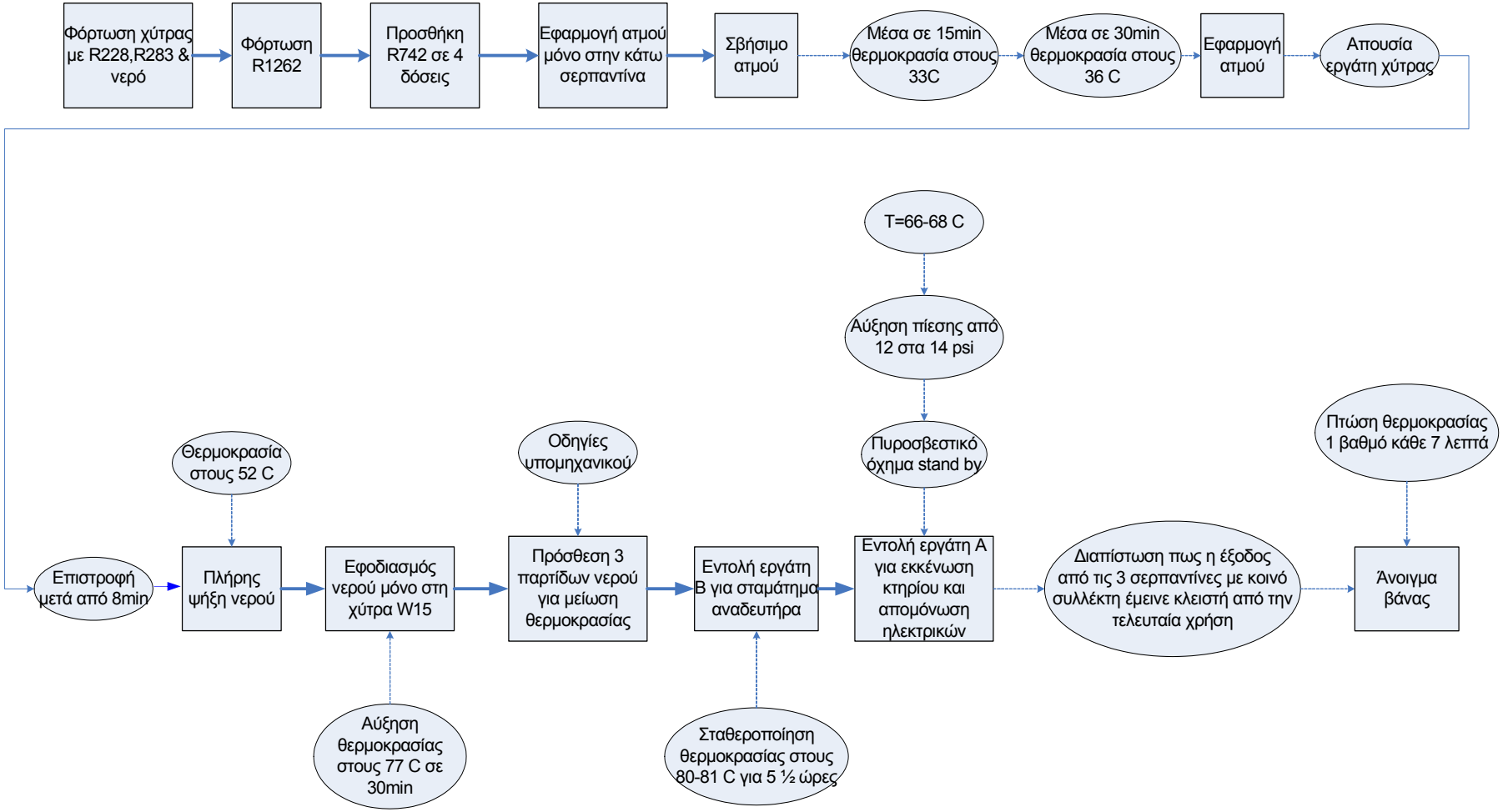
Η κατάσταση παρέμεινε στάσιμη κατά τη διάρκεια της ημέρας και η πίεση υποχώρησε σταδιακά. Η κανονική λειτουργία ξανάρχισε στο κτήριο 27 το πρωί της Κυριακής, αλλά η λειτουργία στο κτήριο 24 αναστάλθηκε.

Μέχρι τις 17:00 το απόγευμα της Κυριακής η πίεση στη χύτρα είχε πέσει στην ατμοσφαιρική αλλά η θερμοκρασία ακόμη σημείωνε 66°C.

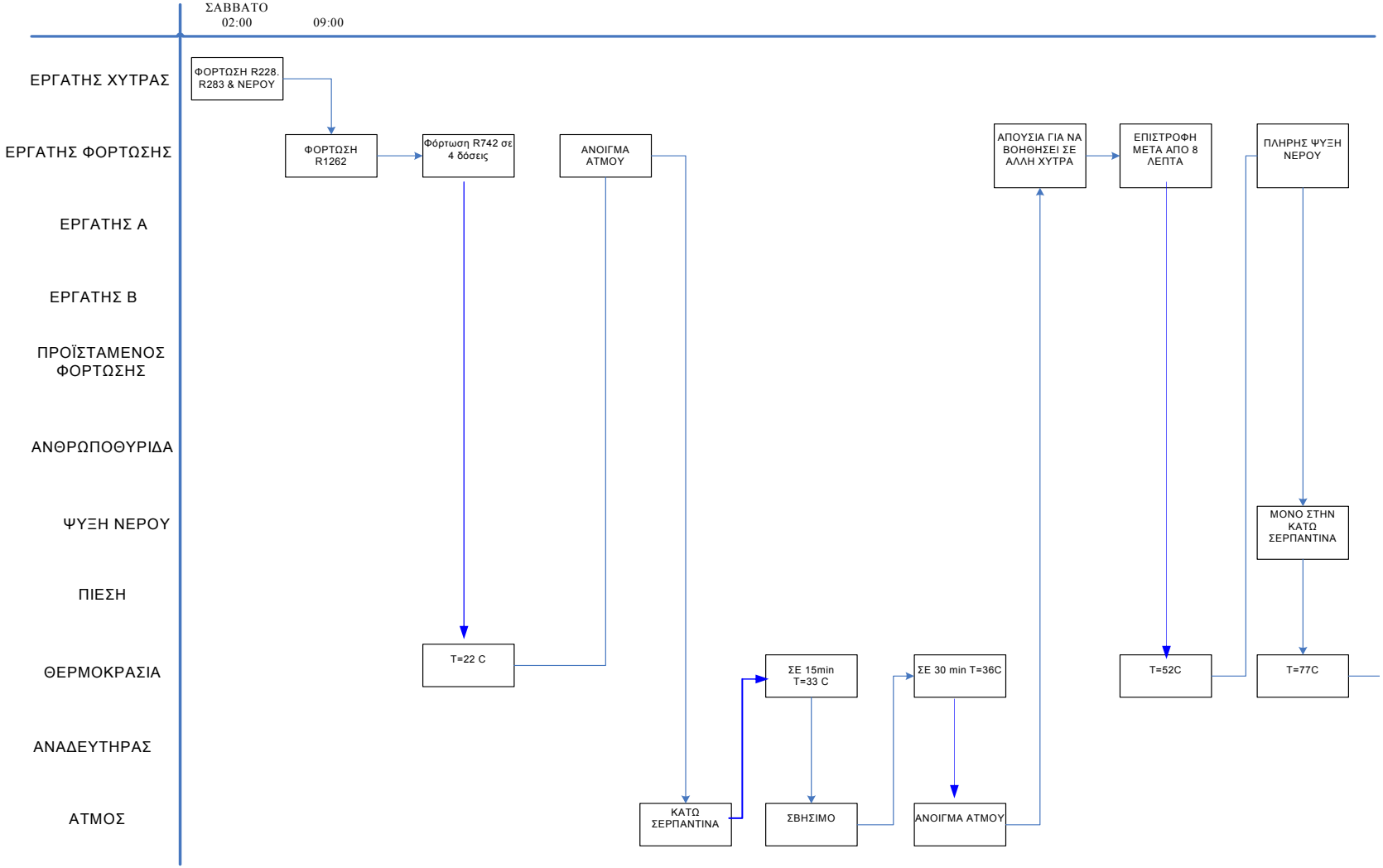
Ο προγραμματισμένος έλεγχος στο στάδιο αυτό αποκάλυψε πως η ψύξη νερού ήταν στην κάτω σπείρα και έρρεε σωστά, αλλά αν και η ψύξη νερού ήταν ανοιχτή στις άλλες τρεις σερπαντίνες, οι οποίες εξυπηρετούσαν από έναν κοινό εισαγωγικό και εξαγωγικό συλλέκτη, η βάνα ήταν κλειστή. Μόλις άνοιξαν τη βάνα αυτή, έγινε προφανής μία άμεση επίδραση, η καταγεγραμμένη θερμοκρασία άρχισε να πέφτει κατά 1° κάθε 7 λεπτά.

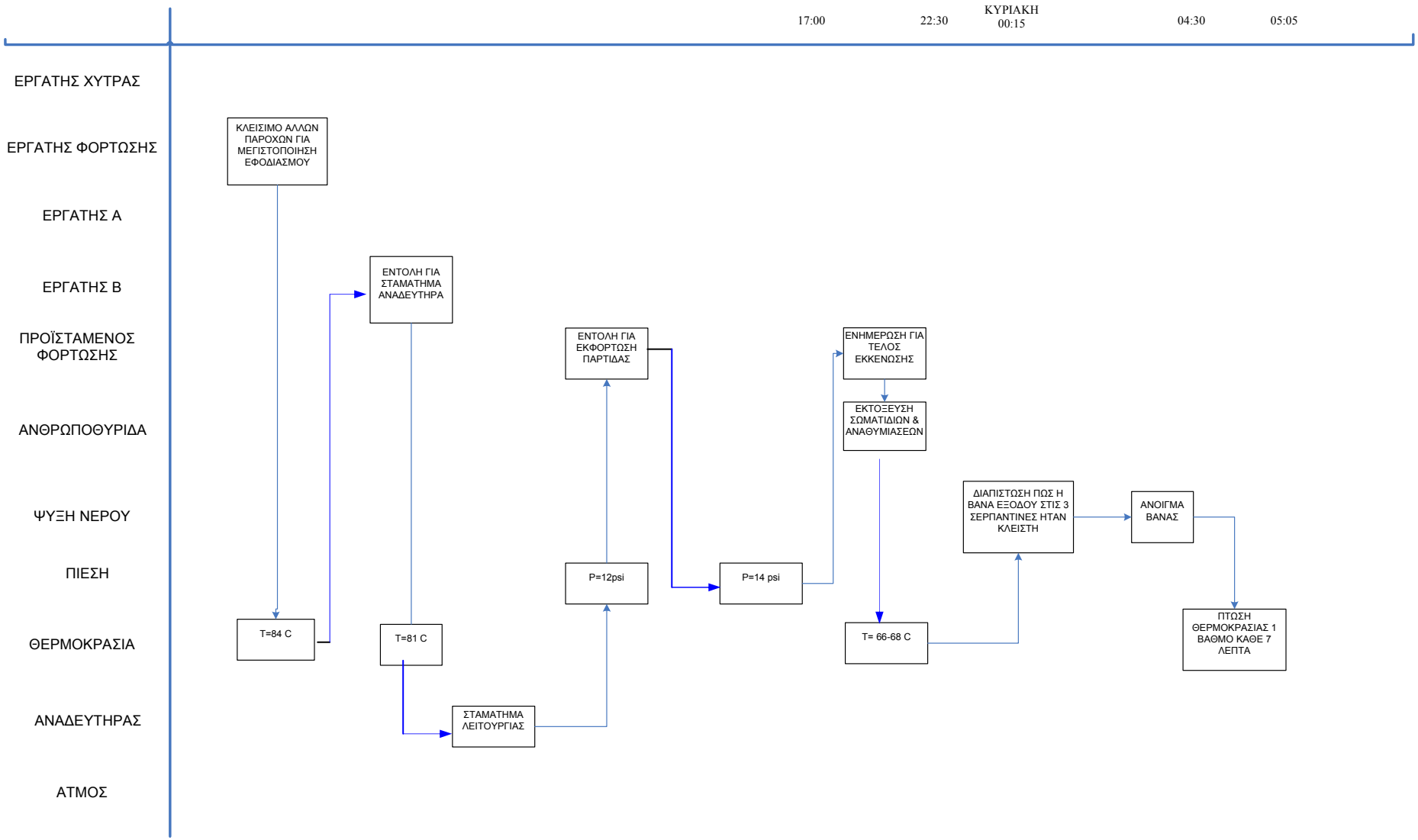
Από τα στοιχεία που διαθέτουμε, μπορούμε να αναπτύξουμε τα παρακάτω διαγράμματα STEP και ECF:

4.2.3 Διάγραμμα ECF ατυχήματος No 2



4.2.4 Διάγραμμα STEP ατυχήματος No 2




17:00
22:30
ΚΥΡΙΑΚΗ
00:15
04:30
05:05
ΕΡΓΑΤΗΣ ΧΥΤΡΑΣ
ΕΡΓΑΤΗΣ ΦΟΡΤΩΣΗΣ
ΕΡΓΑΤΗΣ Α
ΕΡΓΑΤΗΣ Β
ΠΡΟΪΣΤΑΜΕΝΟΣ ΦΟΡΤΩΣΗΣ
ΑΝΘΡΩΠΟΘΥΡΙΔΑ
ΨΥΞΗ ΝΕΡΟΥ
ΠΙΕΣΗ
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ
ΑΝΑΔΕΥΤΗΡΑΣ
ΑΤΜΟΣ
ΚΛΕΙΣΙΜΟ ΑΛΛΩΝ ΠΑΡΟΧΩΝ ΓΙΑ ΜΕΓΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΕΦΟΔΙΑΣΜΟΥ
ΕΝΤΟΛΗ ΓΙΑ ΣΤΑΜΑΤΗΜΑ ΑΝΑΔΕΥΤΗΡΑ
ΕΝΤΟΛΗ ΓΙΑ ΕΚΦΟΡΤΩΣΗ ΠΑΡΤΙΔΑΣ
ΕΝΗΜΕΡΩΣΗ ΓΙΑ ΤΕΛΟΣ ΕΚΚΕΝΩΣΗΣ
ΕΚΤΟΞΕΥΣΗ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ & ΑΝΑΘΥΜΙΑΣΕΩΝ
ΔΙΑΠΙΣΤΩΣΗ ΠΩΣ Η ΒΑΝΑ ΕΞΟΔΟΥ ΣΤΙΣ 3 ΣΕΡΠΑΝΤΙΝΕΣ ΗΤΑΝ ΚΛΕΙΣΤΗ
ΑΝΟΙΓΜΑ ΒΑΝΑΣ
P=12psi
P=14 psi
T=84 C
T=81 C
T= 66-68 C
ΠΤΩΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ 1 ΒΑΘΜΟ ΚΑΘΕ 7 ΛΕΠΤΑ
ΣΤΑΜΑΤΗΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

4.3 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ- ΔΙΑΓΝΩΣΗ ΛΑΘΩΝ

4.3.1 Παρατηρήσεις για το 1ο Ατύχημα

Είναι σεβαστό ότι το αίτιο της εκτόνωσης ήταν η υπερθέρμανση της χύτρας κατά το στάδιο της προετοιμασίας του συστήματος θέρμανσης. Η θερμοκρασία του λέβητα οδηγήθηκε απευθείας στους 550°C και δεν διατηρήθηκε στους 300°C όπως δείχνουν οι οδηγίες της διεργασίας.
Ενώ η αρχική φόρτιση F313/R547 καλύπτει τους χαμηλότερους αγωγούς απορρόφησης, θα υπήρχε μια μικρή περιοχή εκτεθειμένης επιφάνειας μανδύα (σύστημα θέρμανσης-ψύξης στην εξωτερική επιφάνεια του αντιδραστήρα). Όταν ο αναδευτήρας χτυπήθηκε ελαφρά, η συνακόλουθη αύξηση της πίεσης ατμών του R547 αποτέλεσε ένα εκρηκτικό μείγμα. Το αυτοαναφλεγόμενο μέρος R547 είναι στους 400°C. Όταν το αντιδρών θερμανθεί, εξατμίζεται, με αποτέλεσμα την αύξηση της πίεσης μέσα στη χύτρα και τελικά μπορεί να προκληθεί έκρηξη.
Δεν υπάρχουν αποδείξεις για ανεπαρκή εφοδιασμό αδρανούς αερίου κατά την θέρμανση για τήξη, η ροή αδρανούς αερίου ήταν ανοιχτή και καθώς ο αγωγός λήψης βρέθηκε να είναι φραγμένος με F313, μετά το περιστατικό θεωρείται ότι αυτό συνέβη λόγω του ωστικού κύματος από την απότομη εξάτμηση που ανάγκασε την είσοδο του F313 στον αγωγό.

Από τα διαγράμματα-κυρίως το διάγραμμα ECF-γίνεται φανερό σε ποια στάδια της διαδικασίας παραγωγής έγιναν τα λάθη και τι είδους λάθη είναι αυτά.

Το *Ανθρώπινο λάθος* που παρατηρείται κατά τη ροή των εργασιών είναι που ο χειριστής ρυθμίζει την θερμοκρασία της εστίας του λέβητα στους 550°C. Η εσφαλμένη αυτή ενέργεια του χειριστή παρεκκλίνει από τις γραπτές οδηγίες οι οποίες λένε να θερμανθεί και να διαλυθεί το χυτό με θερμοκρασία ανακυκλοφορίας στο φούρνο στους 300°C. Σκοπός ήταν να φτάσει η θερμοκρασία της χύτρας στους 80°C. Ο χειριστής όμως δεν είχε την δυνατότητα να διαγνώσει σε αυτήν τη φάση εάν η θερμοκρασία της χύτρας είχε υπερβεί τις αναμενόμενες τιμές διότι δεν γινόταν ακόμα ανάδευση.
Μετά τον έλεγχο τήξης χυτού, ο χειριστής διαβάζει τη θερμοκρασία από το θερμογράφημα της χύτρας. Εδώ, ο χειριστής διαβάζει σωστά 100°C, όμως η ένδειξη αυτή είναι λανθασμένη. Αυτό συμβαίνει γιατί δεν επικρατεί η ίδια θερμοκρασία σε όλο το χυτό, αφού δεν έχει γίνει επαρκής ανάδευση. Αυτό είναι ανθρώπινο λάθος που οφείλεται σε έλλειψη εκπαίδευσης ή έλλειψη εκμάθησης από λειτουργική εμπειρία.

Οι *εργασιακοί παράγοντες* που συντέλεσαν στο ατύχημα αφορούν τις γραπτές οδηγίες και την εκπαίδευση του προσωπικού. Οι γραπτές οδηγίες παρερμηνεύτηκαν από τον χειριστή γιατί δίνουν έμφαση στην ανάγκη για γρήγορη φόρτωση του αντιδρώντος R599 και στο ότι είναι σημαντικό στην φάση αυτή να μην πέσει η θερμοκρασία της χύτρα κάτω από τους 90°C, γιατί τότε το χυτό δεν είναι ευδιάλυτο. Ο χειριστής θεώρησε πως με γρήγορη τήξη του χυτού σε υψηλή θερμοκρασία, η διεργασία θα διευκολύνονταν.

4.3.2 Παρατηρήσεις για το 2^{ο} Ατύχημα

Τα αρχικά στάδια παραγωγής του MV347-1 είναι πολύ εξώθερμα. Σε κάθε περίπτωση η εξώθερμη αντίδραση συνέβηκε με τον προβλεπόμενο τρόπο και ελεγχόταν αποτελεσματικά με ψύξη νερού.
Το τελικό στάδιο, είναι η μεγάλης φόρτωση R742 και η εξώθερμη αντίδραση. Η θερμότητα εξουδετέρωσης της φαινόλης που σχηματίζει άλας φαινολικού νατρίου, είναι βέβαια ποσοτική και πεπερασμένη. Η πρότυπη μέθοδος είναι να προστεθεί το R742 σε τέσσερα χωριστά υποπολλαπλάσια με σταθερά διαστήματα ανάμεσα σε κάθε προσθήκη. Ο σκοπός είναι να επιτραπεί στην εξώθερμη αντίδραση να συμβεί σε κάθε φάση κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες χρησιμοποιώντας θέρμανση από ατμό για να βοηθήσει την εξώθερμη αντίδραση εάν είναι απαραίτητο.
Ο ρυθμός της προσθήκης στην πραγματικότητα προσδιορίζεται από τον ρυθμό διάλυσης της φαινόλης εφόσον το διάλυμα γίνεται βαθμιαία πιο πολύ σαν πολτός εάν δεν επιτραπεί στην θερμοκρασία να αυξηθεί.
Για τον λόγο αυτό εφαρμόστηκε ατμός κατά τη διάρκεια προσθήκης του τρίτου μέρους καθώς επίσης και στην ολοκλήρωση της προσθήκης του τέταρτου μέρους.
Κατά συνέπεια το πρώτο επιφυλακτικό ζέσταμα μετά την ολοκλήρωση της προσθήκης του R742 σήμαινε ότι η εξώθερμη η οποία έπρεπε να ελέγχεται δεν ελέγχθηκε με βήματα από την παρουσία μίας περιορισμένης ποσότητας φαινόλης αλλά αυτό που παράχθηκε από την συνολική φόρτωση φαινόλης. Επίσης ένα κρίσιμο ζέσταμα διάρκειας 8 λεπτών έλαβε χώρα την κρίσιμη στιγμή που ο υπεύθυνος φόρτωσης δεν ήταν παρών.
Παρά τα γεγονότα αυτά, δεν υπάρχει καμία αμφιβολία από προηγούμενη εμπειρία ότι η σωστή εφαρμογή της ψύξης νερού στους 52°C σε όλες τις σερπαντίνες θα έλεγχε την εξώθερμη εύκολα και αποτελεσματικά. Υπάρχουν πολλές περιπτώσεις με τη ρητίνη αυτή όπου η φυσιολογική θερμοκρασία συμπύκνωσης 50-55°C, έχει ξεπεραστεί και έχει

καταγραφεί μια εξώθερμη με κορυφή τους 80°C. Σε κάθε περίπτωση, εφαρμογή ψύξης νερού στους 50-55°C έχει άμεση και δραστική επίδραση.
Είναι φανερό ότι η ανικανότητα να φέρουν την κατάσταση κάτω από αποτελεσματικό και άμεσο έλεγχο ήταν γιατί αρχικά δεν εφαρμόστηκε σωστά η ψύξη νερού.
Και οι δύο υπάλληλοι, υπεύθυνοι αντίστοιχα για την φόρτωση και την χύτρα, έλεγξαν ότι εφαρμοζόταν πλήρης ψύξη νερού νωρίς το Σάββατο. Είναι όμως σχεδόν σίγουρο ότι η έξοδος από τις τρεις κύριες σερπαντίνες με κοινό συλλέκτη έμεινε κλειστή, όπως ήταν τοποθετημένη για ζέσταμα με ατμό από την τελευταία χρήση, μετά την τρίτη προσθήκη R742. Αυτό δεν είχε αποκαλυφθεί μέχρι αργά την Κυριακή. Για τον λόγο αυτό η ψύξη νερού ήταν αποτελεσματική στο μικρό κάτω πηνίο. Η κατάσταση θα μπορούσε εύκολα να διορθωθεί κατά την παρατεταμένη αυτή περίοδο εάν οι ενδείξεις είχαν ερμηνευτεί σωστά και αν είχαν γίνει πρόσθετοι έλεγχοι.

Ο εργοδηγός ήταν πολύ σταθερός στο να διαβεβαιώνει ότι όλο τα διαθέσιμο νερό τροφοδοτούνταν στη χύτρα W15, όμως όλοι θεωρούσαν πως οι βάνες για την ψύξη νερού ήταν ρυθμισμένες σωστά.

Η έκβαση ήταν αναπόφευκτη με ένα σύστημα ρεζόλης αυτού του τύπου. Η αντίδραση συμπύκνωσης προχώρησε και τελικά έφτασε στο σημείο όπου το ιξώδες και το σημείο τήξης κατέληξαν σε στερεοποίηση.

Το πρώτο κρίσιμο λάθος που συμβαίνει είναι ότι ο εργάτης φόρτωσης, μετά τη φόρτωση του τέταρτου μέρους R742, εφαρμόζει ατμό στη χύτρα και αποχωρεί για μικρό χρονικό διάστημα. Αυτό το διάστημα ήταν όμως κρίσιμο, γιατί η θερμοκρασία άρχισε να ξεπερνάει τους 50-55°C που είναι αναμενόμενη θερμοκρασία. Το λάθος αυτό οφείλεται κατά ένα βαθμό σε *οργανωτικούς παράγοντες* γιατί ίσως να μην υπήρχε σαφήνεια ευθυνών και καλός καταμερισμός του φόρτου εργασίας. Αυτό, γιατί ζητήθηκε από τον εργάτη να πάει βοηθήσει σε μία άλλη χύτρα στην οποία αντιμετώπιζαν δυσκολίες. Κατά ένα μέρος όμως είναι ανθρώπινο λάθος το να φύγει από την χύτρα W15 την ώρα που θα ολοκληρώνονταν η εξώθερμη αντίδραση και ήταν γνωστό πως θα χρειαστεί να ελεγχθεί με ψύξη νερού.
Ως γνωστόν, η κατάσταση αυτή ήταν ελέγξιμη εάν εφαρμοζόταν πλήρης ψύξη νερού. Οι εργάτες χειρίστηκαν σωστά το θέμα, δηλαδή η αντίδραση τους ήταν σωστή, όμως στην πράξη, λόγω του ότι δεν έγινε έλεγχος της εξόδου του κοινού συλλέκτη της σερπαντίνας, το αποτέλεσμα δεν ήταν αρκετό. Ενδεχομένως αυτό να οφείλεται σε *εργασιακούς παράγοντες* λόγω παράληψης του εγχειριδίου εργασίας ή ανεπαρκής εκπαίδευση. Εάν είχε γίνει ο έλεγχος αυτός, η κατάσταση θα είχε βρεθεί πολύ γρήγορα

εντός ελέγχου και δεν θα διαπιστώνονταν τυχαία το πρόβλημα μετά από τόσες ώρες.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο περιορισμός των Βιομηχανικών Ατυχημάτων Μεγάλης Έκτασης επιτυγχάνεται με τη συνεχή μελέτη και βελτίωση των κανόνων ασφαλείας καθώς και τον περιορισμό των ανθρωπίνων λαθών. Πληροφορίες από παλαιότερα ατυχήματα δίνουν έμφαση στα σημεία που χρειάζονται ιδιαίτερη προσοχή. Στις μέρες μας, αφού έχει γίνει κατανοητή η επικινδυνότητα και η έκταση που μπορούν να πάρουν τα ατυχήματα, έχει αναπτυχθεί σημαντικά ο τομέας Ασφάλειας της εργασίας, καθώς και οι μέθοδοι ανάλυσης ατυχημάτων. Γίνονται τακτικά έλεγχοι για την ασφάλεια των χώρων εργασίας και τα μέτρα προστασίας των εργαζομένων, ενώ παράλληλα βελτιώνονται τα γραπτά εγχειρίδια και οι οδηγίες εργασίας.

Μέχρι σήμερα έχουν αναπτυχθεί αρκετές μέθοδοι ανάλυσης ατυχημάτων. Από αυτές, άλλες εστιάζουν στην ανάλυση ανθρωπίνων λαθών και άλλες στην ανάλυση εργασιακών και διοικητικών παραγόντων. Κάθε μέθοδος, όταν εφαρμοστεί σωστά, θα προσφέρει στον αναλυτή τη δυνατότητα να εξάγει συμπεράσματα για τις αιτίες που προκάλεσαν το ατύχημα. Σημαντικό κομμάτι της ανάλυσης των ατυχημάτων δεν είναι μόνο η εφαρμογή κάποιας μεθόδου, αλλά και η συλλογή των δεδομένων της ανάλυσης. Οι συζητήσεις και οι συνεντεύξεις με ειδικούς και μάρτυρες πρέπει να δώσουν ολοκληρωμένη εικόνα της διαδοχής των γεγονότων και των συνθηκών που επικρατούσαν. Τα δεδομένα αυτά, σε σύγκριση με τις οδηγίες εργασίας θα δείξουν πού ακριβώς παρέκλιναν η θεωρία από την πράξη. Η Ιεραρχική Ανάλυση Εργασιών (HTA) είναι μία ευανάγνωστη, περιληπτική και πλήρης έκδοση των οδηγιών εργασίας. Για τον λόγο αυτό, στην εργασία αυτή παρουσιάζεται πρώτα η HTA σε μορφή δενδροδιαγραμμάτων και διαγράμματος ροής και ύστερα η εφαρμογή των μεθοδολογιών STEP και ECF.

Τα παραδείγματα αστοχιών σε χημικούς αντιδραστήρες που παρουσιάστηκαν στο πρώτο κεφάλαιο δεν προκάλεσαν όλα τους κάποιο τραυματισμό ή ζημιά σε εξοπλισμό ή ατύχημα μεγάλης έκτασης. Κάποιες αστοχίες προκάλεσαν όμως σοβαρότερες επιπτώσεις, ακόμα και θάνατο. Μέσα σε όλες αυτές τις περιπτώσεις πρόκλησης επιβλαβών καταστάσεων συγκαταλέγονται και οι αιτίες πρόκλησης των δύο ατυχημάτων που αναλύθηκαν στο τέταρτο κεφάλαιο.

Ως προς την περιγραφή της λειτουργίας του αντιδραστήρα και τη διαδικασία παραγωγής του τελικού προϊόντος, οι πληροφορίες ήταν περιορισμένες. Δεν υπήρξε δυνατότητα επίσκεψης στο εργοστάσιο και παρατήρηση/ καταγραφή των διαδικασιών και των χώρων. Οι

πληροφορίες προήλθαν από έγγραφα προηγούμενης μελέτης που έγινε και από σύντομη παρουσίαση του επιβλέποντα καθηγητή. Για τους λόγους αυτούς, δεν υπάρχει ολοκληρωμένη εικόνα για το μέγεθος του εργοστασίου, τα τμήματα που το αποτελούν, τους περιβάλλοντες χώρους, την τοποθεσία, το ανθρώπινο δυναμικό, τους διοικητικούς μηχανισμούς, τις συνθήκες εργασίας, την παλαιότητα των οργάνων και των μηχανημάτων, την εμπειρία και τις γνώσεις των χειριστών.
Η πηγή δεδομένων για τις διαδικασίες παραγωγής του τελικού προϊόντος περιείχε την ιεραρχική ανάλυση εργασιών της προετοιμασίας του αντιδραστήρα, της διεργασίας σύνθεσης και της διεργασίας διαλύτη. Για τα ατυχήματα πηγή πληροφοριών υπήρξε η γραπτή αναφορά των ατυχημάτων η οποία περιείχε την περιγραφή της διαδοχής των γεγονότων και τα συμπεράσματα του αναλυτή. Στην αναφορά περιγράφονταν με πολλή λεπτομέρεια όλες οι κινήσεις που έγιναν στο χώρο του συμβάντος, ξεκινώντας από αρκετά νωρίτερο χρόνο και σταματώντας την περιγραφή όταν είχε διαπιστωθεί η ασφάλεια του χώρου. Όλη η πληροφορία πριν το πρωταρχικό αίτιο και μετά το τελικό αποτέλεσμα αυτού, διαπιστώνεται έπειτα από την εφαρμογή των μεθοδολογιών πως είναι περιττή γιατί δεν χρειάζονταν σε καμία από τις δύο μεθόδους. Συνεπώς, οι μέθοδοι ανάλυσης, STEP και ECF, που εφαρμόστηκαν στα δύο ατυχήματα βοήθησαν στη διαπίστωση του πρωταρχικού αιτίου και στην αναγνώριση των επισφαλών χειρισμών. Ειδικά στην μέθοδο ECF, με το οβάλ σχήμα, σε κάθε βήμα δείχνεται το σφάλμα χειρισμού. Τα συμπεράσματα που παρουσιάζονται στην αναφορά δεν διευκρινίζουν το πρωταρχικό αίτιο του κάθε ατυχήματος, ούτε κατηγοριοποιούν τις αιτίες σε ανθρώπινα λάθη και εργασιακούς παράγοντες.

Ακολουθώντας την HTA ή τα δενδροδιαγράμματα, βλέπουμε τα βήματα που έπρεπε να ακολουθήσει ο εργάτης και τα συγκρίνουμε με αυτά που στην πραγματικότητα ακολούθησε. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται διακριτό το ανθρώπινο λάθος. Η χρήση της HTA είναι χρήσιμη, αλλά όπως έχει αναφερθεί, απαιτεί καλή κατανόηση των διεργασιών και πλήρεις πληροφορίες του ιστορικού του συμβάντος. Κατά την εφαρμογή των μεθοδολογιών αντιμετωπίστηκε δυσκολία στον εντοπισμό του ακριβούς σταδίου/ βήματος και της διεργασίας στο οποίο διενεργήθηκε το πρωταρχικό αίτιο και τα στάδια που ακολουθήθηκαν μέχρι να προκληθεί ο τραυματισμός ή η ζημιά. Στο ένα ατύχημα ο λανθασμένος χειρισμός και το τελικό αποτέλεσμα απέχουν πολύ λίγο χρονικά. Στο άλλο ατύχημα όπου παρεμβάλλονται αρκετά βήματα είναι δυνατόν να εντοπιστεί η διεργασία και το ακριβές σημείο εκτέλεσης. Γενικά, για να προχωρήσουμε στην εφαρμογή των μεθοδολογιών, είναι απαραίτητη η HTA γιατί στο πρώτο ατύχημα τα λάθη που βρέθηκε να έγιναν, εντοπίζονται καθαρά από την HTA.

Το πιο δύσκολο κομμάτι της διπλωματικής εργασίας ήταν η κατανόηση των ατυχημάτων και η εφαρμογή των μεθοδολογιών ανάλυσης. Η περιγραφή των ατυχημάτων δημιούργησε πολλά ερωτηματικά για το αν μια πληροφορία που αναφέρεται, έχει άμεση σχέση με αυτό που μελετάμε ή αν είναι μία γενική παρατήρηση. Η αναγνώριση του πρωταρχικού αιτίου στο πρώτο ατύχημα ήταν πιο εύκολη απ'ότι στο δεύτερο.

Η εφαρμογή της μεθόδου STEP παρουσίασε δυσκολία στην απόφαση του περιεχομένου κάθε 'κουτιού' και στην τοποθέτησή του στο σωστό 'δράστη'. Η τοποθέτηση δυσκόλευε όταν η πράξη που περιγράφονταν ήταν: «Ο χειριστής εκκίνησε τον αναδευτήρα». Σε αυτήν την περίπτωση δεν είναι αυτονόητο αν αυτή η πράξη πρέπει να καταχωρηθεί στον χειριστή ή στον αναδευτήρα.
Η εφαρμογή της μεθόδου ECF παρουσίασε μεγαλύτερη δυσκολία γενικώς. Ένας λόγος ήταν ο καθορισμός του περιεχομένου των σχημάτων και η κατάταξή του σε οβάλ ή παραλληλόγραμμο, με διακεκομμένο περίγραμμα ή μη, καθώς και το είδος του συνδετικού βέλους. Επίσης, δυσκολία συναντάται στο σχήμα του διαγράμματος, στον τρόπο με τον οποίο τοποθετούνται τα οβάλ και τα παραλληλόγραμμα στον χώρο. Επειδή δεν είναι καθορισμένος, δημιουργείται η απορία εάν πρέπει τα γεγονότα και οι καταστάσεις να βρίσκονται σε μία ευθεία ή εάν πρέπει να δημιουργηθούν διακλαδώσεις, σε ποια σημεία και πόσο να εκτείνονται.

Για τα δύο ατυχήματα υπάρχει κοινή διαπίστωση πως υπάρχει ανεπαρκής εκπαίδευση του προσωπικού, έλλειψη εκμάθησης από λειτουργική εμπειρία, παρερμήνευση γραπτών οδηγιών ή παράληψη του εγχειριδίου εργασίας. Στην μία περίπτωση δεν υπήρχε σαφήνεια ευθυνών και καλός καταμερισμός του φόρτου εργασίας. Από τα παραδείγματα ατυχημάτων που παρουσιάστηκαν στο πρώτο κεφάλαιο, υπάρχει σύγκλιση των αιτιών των ατυχημάτων. Σε ποσοστό 22,9% τα ατυχήματα οφείλονται σε παρερμηνεία ή παράλειψη των γραπτών οδηγιών κατά τα στάδια ελέγχου θερμοκρασίας (3,9%), φόρτωσης αντιδρώντων(15%), ανάδευσης(1,6%) και στη θερμοχημεία(2,4%). Σε ποσοστό 9,5% τα ατυχήματα οφείλονταν σε έλλειψη εκπαίδευσης του προσωπικού, τα οποία εμφανίστηκαν κυρίως στα στάδια ελέγχου θερμοκρασίας και ανάδευσης. Τέλος, σε ποσοστό 2,3% οφείλονταν σε οργανωτικούς παράγοντες.

Γενικά, η εφαρμογή των μεθοδολογιών ανάλυσης, ξεδιαλύνει το τοπίο για τον αναλυτή. Για να διατυπωθεί το διάγραμμα της κάθε μεθόδου έχει γίνει πρώτα κατανόηση των συνθηκών που επικρατούσαν, η σειρά των γεγονότων και των παραγόντων που προκάλεσαν το ατύχημα. Το

διάγραμμα από μόνο του, δείχνει πολύ πιο ευδιάκριτα τα στάδια εξέλιξης, τις σημαντικές πληροφορίες και διαπιστώνονται οι αιτίες. Στα διαγράμματα και ιδίως στην STEP βλέπουμε την εξέλιξη της θερμοκρασίας, της πίεσης και είναι δυνατή η παρακολούθηση πληροφοριών.

6. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Τυποποιημένη Διαδικασία Λειτουργίας (1)

Άντληση διαλυτών

1. Να φορεθεί ο απαραίτητος προστατευτικός ρουχισμός.
2. Προφορικές και γραπτές οδηγίες δίνονται στο χειριστή από ένα μέλος του εργαστηριακού προσωπικού.
3. Ο χειριστής θέτει τις γραμμές στο κατάλληλο δοχείο και παρουσιάζει στον επικεφαλή τις προφορικές και γραπτές οδηγίες.
4. Ο επικεφαλής κάνει την προσθήκη.
5. Στην ολοκλήρωση της προσθήκης ο επικεφαλής πρέπει να ενημερώσει το χειριστή για την κατάσταση.
6. Ο χειριστής πρέπει τώρα να επιστρέψει όλες τις χρησιμοποιούμενες βαλβίδες στην κλειστή θέση.

Σημειώσεις:
Στο παρελθόν έχουν γίνει πολλά σφάλματα κατά την προσθήκη γιατί οι βαλβίδες δεν έχουν επιστραφεί στην αρχική κλειστή θέση.
Επίσης έχουν γίνει ανακριβείς προσθήκες λόγω του αέρα στη γραμμή του διαλύτη που δεν έχει αφαιρεθεί εντελώς.
Οδηγία:
Οι προσθήκες πρέπει να αναγράφονται στην κάρτα εργασίας, να τσεκάρονται και να υπογράφονται ώστε να δηλώνεται ότι η εργασία έχει ολοκληρωθεί.

Τυποποιημένη Διαδικασία Λειτουργίας (2)

Άντληση λαδιών

1. Να φοριέται σωστός προστατευτικός ρουχισμός.
2. Όλες οι φορτώσεις λαδιού πρόκειται να ελεγχθούν σε ζυγαριά ακριβείας.
3. Έλεγχος όγκου έναντι βάρους στη δεξαμενή των συνδετικών αγωγών(header tanks). Σε περίπτωση ασυμφωνίας πρέπει να ενημερωθεί μέλος του εργαστηριακού προσωπικού.

Σημειώσεις:
Στο παρελθόν έχει αποδειχθεί ότι πολλές "ασυμφωνίες" ήταν αποτέλεσμα άντλησης λανθασμένης ποσότητας λαδιού.
Όλες οι μετρήσεις πρέπει να καταγράφονται στην κάρτα εργασίας.

Ασυμφωνία:
Ασυμφωνία πάνω από +/- 0.5% πρέπει να αναφέρεται σε μέλος του εργαστηριακού προσωπικού.

Header Tanks: δεξαμενή των συνδετικών αγωγών
Πριν τη φόρτωση της δεξαμενής των συνδετικών αγωγών γίνεται έλεγχος ώστε οι ζυγαριές είναι μηδενισμένες. Όταν αδειάσει η δεξαμενή των συνδετικών αγωγών επανέλεγχος ότι η ένδειξη της ζυγαριάς είναι μηδέν. Οποιαδήποτε ασυμφωνία πρέπει να αναφερθεί σε μέλος του εργαστηριακού προσωπικού. Η κάρτα εργασίας πρέπει υπογραφεί ως ένδειξη ότι η δεξαμενή των συνδετικών αγωγών έχει αδειάσει.

Τυποποιημένη Διαδικασία Λειτουργίας (3)

Διεργασία διαλύτη

1. Έλεγχος για τη καθαρότητα του διαχωριστή
2. Φόρτωση τμήματος του διαχωριστή με νερό (περίπου 1/3 γεμάτο) και σήμανση του επιπέδου.
3. Ξανά-εφοδιάστε το διαχωριστή με το διαλύτη στη γραμμή επανακυκλοφορίας. Ο χρησιμοποιούμενος διαλυτής πρέπει να είναι ο ζητούμενος.
4. Ξεκίνημα θέρμανσης αντιδραστήρα στο συνιστάμενο επίπεδο θερμότητας, διατηρώντας το επίπεδο του νερού στο επίπεδο που έχει σημειωθεί.
5. Όσο είναι στο επιτρεπτό όριο θερμοκρασίας και χρησιμοποιώντας τη συνιστώμενη ποσότητα θερμότητας εισόδου, διατήρησε τη θερμοκρασία της παρτίδας με απομάκρυνση νερού ή με προσθήκη επανακυκλοφορούμενου διαλύτη.
6. Με την ολοκλήρωση φόρτωσης της παρτίδας τα συστατικά του διαχωριστή μπορούν να :
    1. χρησιμοποιηθούν στην επόμενη παρτίδα
    2. ή προσθέτοντας νερό στο διαχωριστή και εξάγοντας το διαλυτή από το δοχείο.
7. Εάν στη φόρτωση του διαχωριστή θερμανθεί υπερβολικά μπορεί να ψύχεται αντικαθιστώντας το τμήμα του νερού του διαχωριστή πολλές φορές. Αν υιοθετηθεί αυτή η διαδικασία, η γραμμή επανακυκλοφορίας πρέπει να είναι κλειστή.

Παρατήρηση:
Είναι σημαντικό να βεβαιωθείτε ότι η ροή είναι ενεργή εκτός αν έχετε διαφορετικές οδηγίες από άλλο προσωπικό του εργαστηρίου.

Τυποποιημένη Διαδικασία Λειτουργίας (4)

Πλήρωση βαρελιών στο δοχείο

Ροή πρώτων υλών στον αντιδραστήρα

1. Σωστός προστατευτικός ρουχισμός.
2. Όλα τα βαρέλια πρέπει να είναι ακαθάριστα ζυγισμένα (μεικτό βάρος) και ελεγμένα ότι τα υλικά είναι σωστά.
3. Τα βάρη πρέπει να καταγραφούν στο βιβλίο φορτώσεων και στην κάρτα εργασίας (μεικτό και καθαρό βάρος).
4. Ποσότητες λιγότερες από 1 βαρέλι πρέπει να ζυγιστούν σε δοχείο 25 λίτρων.
5. Από όλα τα δοχεία πρέπει να αφαιρείται το απόβαρο.
6. Όταν φορτώνονται τα βαρέλια στο δοχείο πρέπει να χρησιμοποιούνται (earthing clips) ακροδέκτες γείωσης.

Σημείωση:
Έχει παρατηρηθεί στο παρελθόν πως έχει γίνει λάθος στο βάρος των παρτίδων γιατί δεν έχει αφαιρεθεί το απόβαρο.

Ολοκληρωμένα προϊόντα στους αναμικτήρες

1. Για όλα τα βαρέλια πρέπει να μετρηθεί το μεικτό βάρος και το απόβαρο.
2. Πριν τα υλικά προστεθούν στους αναμικτήρες πρέπει να δοθούν δείγματα σε ένα μέλος του εργαστηριακού προσωπικού και να εγκριθούν.
3. Πριν τη δειγματοληψία πρέπει να εξασφαλιστεί ότι το περιεχόμενο των βαρελιών είναι καλά ανακατεμένο.

Αντιδραστήρας

Εάν ένας αντιδραστήρας είναι κενός πριν από τη φόρτωση, οι έλεγχοι στο πίσω μέρος της κάρτας εργασίας πρέπει να πραγματοποιηθούν.

Τυποποιημένη Διαδικασία Λειτουργίας (5)

Φόρτωση υλικών από τους σάκους σε σωλήνα

1. Σωστός προστατευτικός ρουχισμός (φόρμα, μάσκα, γάντια, ποδιά).
2. Έλεγχος για σωστά υλικά, σωστή ποσότητα υλικών και για φόρτωση του σωστού σωλήνα.
3. Με χρήση κατάλληλης εξαγωγής, τροφοδοσία των υλικών στο σωλήνα.
4. Οι ανοιγμένοι σάκοι πρέπει να ζυγιστούν επακριβώς.
5. Οι κενοί σάκοι πρέπει να δεθούν σε δέσμες των δέκα και να ξανά - μετρηθούν για επανέλεγχο .
6. Σε όλα τα υλικά πρέπει να τσεκαριστεί το βάρος από το άτομο υπεύθυνο της φόρτωσης. Η κάρτα εργασίας και το βιβλίο φορτώσεων πρέπει να υπογραφούν από δύο άτομα.

Σημείωση:
Πάντοτε, ανατρέχοντας στη διαδικασία, πρέπει να αναφέρονται οι κίνδυνοι που σχετίζονται με τα υλικά που χρησιμοποιούνται. Χρήση επιπλέον προστατευτικού ρουχισμού όπως αναγράφεται στη διαδικασία.

Τυποποιημένη Διαδικασία Λειτουργίας (6)

Εφαρμογή και σπάσιμο του κενού

1. Πρέπει να εξασφαλιστεί ότι το δοχείο συλλογής είναι αποστραγγισμένο και η βαλβίδα εξόδου είναι κλειστή.
2. Πρέπει να εξασφαλιστεί ότι η βαλβίδα εξαέρωσης είναι ανοικτή, εφαρμογή ατμού και νερού στους εξωστήρες και άνοιγμα εξωστήρα στη βαλβίδα του δοχείου συλλογής.
3.Εξασφαλίστε το συμπυκνωτή στο δοχείο συλλογής και ότι οι βαλβίδες στηλών επανακυκλοφορίας είναι ανοικτές. Κλείστε στον διαχωριστή τη βαλβίδα ατμόσφαιρας.
4. Αργά, εφαρμόστε κενό με το κλείσιμο της βαλβίδας εξαέρωσης.
5. Καθώς το κενό ενισχύεται απενεργοποιήστε την τροφοδοσία αζώτου.

Σπάσιμο του κενού

1. Κλείσιμο βαλβίδα στηλών επανακυκλοφορίας.
2. Κλείσε τον ατμό και το νερό στους εξωστήρες.
3. Εφαρμόστε το άζωτο, το κενό θα μειωθεί τώρα.
4. Όταν ο μετρητής κενού/πίεσης διαβάσει μηδενικές λίβρες/ τετραγωνικές ίντσες, άνοιξε το δοχείο συλλογής στη βαλβίδα ατμόσφαιρας .
5. Ανοίξτε τη βαλβίδα εξαέρωσης.

Σημειώσεις:
Δεν πρέπει να εισάγεται καθόλου θερμότητα στον αντιδραστήρα όταν εφαρμόζεται το κενό .

Πίνακας Όρων

Φαινόμενο BLEVE: Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion-Έκρηξη που οφείλεται σε απότομη διαστολή ατμών. Οι αλλαγές στην θερμοκρασία του υγρού προκαλούν αλλαγές στην πίεση ατμού.
Φαινόμενο Domino: Είναι μία αλυσιδωτή αντίδραση που συμβαίνει όταν μία μικρή αλλαγή προκαλεί μία παρόμοια αλλαγή κάπου κοντά, και ούτο καθεξής σε γραμμική αλληλουχία.
HAZOP: Hazard and Operability Study- Μελέτη κινδύνων και λειτουργικότητας
MORT: Management Oversight Risk Tree-Διοικητική αβλεψία και δέντρο ρίσκου
STEP: Sequentially Timed Events Plotting-Διάγραμμα επακόλουθων χρονικών γεγονότων
ECF: Events and Causal Factors Analysis-Ανάλυση γεγονότων και αιτιολογικών παραγόντων
Scrubber: υδροαυτοκαθαριστής
Blender: αναμικτήρας
R228: φορμαλδεΰδη
R283: ανθρακικό νάτριο
R1262: παραφορμαλδεΰδη
R742: terbutol
F313: 2-Υδροξύλια-στεατικού οξέος
R547: Solvesso 200

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

- Ευρωπαϊκός Οργανισμός για την Ασφάλεια και την Υγεία στην Εργασία.
- Reliability, Safety, and Security Studies at NTNU (RSSO).
- Kontogiannis, T., Leopoulos, V., Marmaras, N., 1999. A comparison of accident analysis techniques for safety-critical man-machine systems. International Journal of Industrial Ergonomics 25, 327-347.
- J.R. Buys, INEL, J.L. Clark, INEL, Technical Research and Analysis Center, Idaho 1995.
- Electronic Library of Construction Occupational Safety and Health (eLCOSH)
- Hendrick, K., Benner Jr., L., 1987. Investigating Accidents with STEP. Marcel Dekker Inc., New York.
- Canadian Center for Occupational Health and Safety.
- Κοντογιάννης Θ., Συστήματα Διοίκησης και Διαχείρισης της Ασφάλειας της Εργασίας, Χανιά 1997.
- Εύη Γεωργιάδου, Βιομηχανικά Ατυχήματα Μεγάλης Έκτασης, Ελληνικό Ινστιτούτο Υγιεινής και Ασφάλειας της Εργασίας.
- Philip F. Nolan, John A. Barton, Journal of Hazardous Materials, 1987. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam.