



12.1 Πλαίσια διερεύνησης ατυχημάτων

Τα ατυχήματα, τα επικίνδυνα συμβάντα και τα ανθρώπινα λάθη μπορούν να θεωρηθούν ως αναδυόμενα φαινόμενα του συστήματος μέσα στο οποίο συμβαίνουν, δηλαδή του συστήματος ανθρώπου-μηχανής ή γενικότερα του κοινωνικο-τεχνικού συστήματος. Κάθε ανάλυση ατυχήματος αποσκοπεί στον προσδιορισμό των επιμέρους εργασιακών και διοικητικών παραγόντων που έχουν συμβάλει στην πρόκλησή του. Η διερεύνηση ατυχημάτων μπορεί να διεξαχθεί σε διαφορετικά επίπεδα ανάλυσης λαμβάνοντας υπόψη την πολυπλοκότητα του συστήματος, τη φύση του ατυχήματος, τις γνώσεις του μελετητή καθώς και την επάρκεια και αξιοπιστία των διαθέσιμων πληροφοριών.

Η ανάλυση των παρολίγων ατυχημάτων και συμβάντων θεωρείται πολύ χρήσιμη διότι αποκαλύπτει ανεπάρκειες στον τρόπο σχεδιασμού και λειτουργίας των διαδικασιών του Συστήματος Διαχείρισης της Ασφάλειας (ΣΔΑ). Σύμφωνα με το Κεφάλαιο 8, τα συμβάντα και τα ανθρώπινα λάθη μπορούν να αναλυθούν με τη χρήση διαγραμμάτων bow-tie που επιτρέπουν την αναγνώριση των εργασιακών και διοικητικών παραγόντων που συνέβαλλαν στην εμφάνιση ενός επικίνδυνου γεγονότος καθώς και την ανάλυση των επιπτώσεων του συμβάντος. Το παρόν κεφάλαιο επικεντρώνεται στη διερεύνηση ατυχημάτων τα οποία έχουν προκληθεί από συνδυασμούς διαφόρων κινδύνων με μοναδικούς τρόπους.

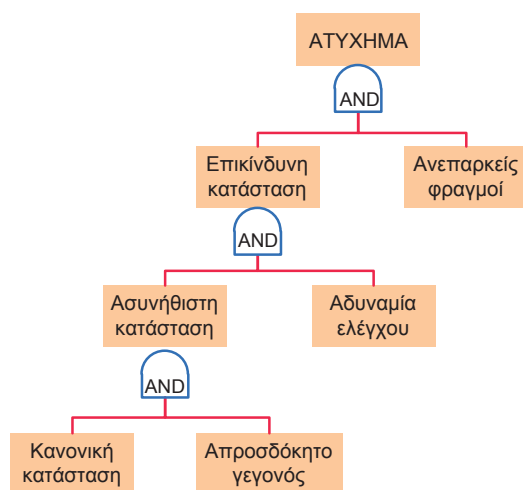
Παρά τη μεγάλη ποικιλομορφία των ατυχημάτων και των μοναδικών συνθηκών εργασίας που τα προκαλούν, είναι δυνατόν να εφαρμοσθεί ένα γενικευμένο μοντέλο ανάλυσης που περιγράφει την «ανατομία του ατυχήματος» (Rasmussen & Jensen 1973, Hollnagel 1993). Σύμφωνα με τη θεώρηση αυτή, το εναρκτήριο γεγονός ενός ατυχήματος είναι ένα απροσδόκητο γεγονός το οποίο συμβαίνει ενώ εκτιμάται ότι το σύστημα λειτουργεί σε κανονικές συνθήκες (Σχήμα 12.1). Εάν δεν ελεγχθεί έγκαιρα το γεγονός αυτό, το σύστημα τότε μπορεί να μεταβεί σε μία μη ελεγχόμενη κατάσταση λειτουργίας που χαρακτηρίζεται ως ασταθής. Στις περιστάσεις αυτές είναι σημαντικός ο ρόλος των χειριστών και των αυτοματισμών οι οποίοι πρέπει να ενεργοποιηθούν άμεσα ώστε να αποτρέψουν την εξέλιξη του γεγονότος σε μια επικίνδυνη κατάσταση. Ιδιαίτερο ρόλο παίζουν οι φραγμοί και οι ασφαλιστικές δικλίδες του συστήματος ασφάλειας ώστε να αποτραπεί ένα πιθανό ατύχημα.

Η «ανατομία του ατυχήματος» μπορεί να επεκταθεί περαιτέρω με τον εντοπισμό των αιτιών των απροσδόκητων γεγονότων που ενδέχεται να περιλαμβάνουν τεχνι-

κές αστοχίες, ανθρώπινα λάθη και επιρροές από εξωτερικούς παράγοντες. Επίσης ενδείκνυται η μελέτη των παραγόντων που επηρεάζουν τις ικανότητες των χειριστών στον έλεγχο ασυνήθιστων και επικίνδυνων καταστάσεων (βλ παράγοντες ΕΠΕ, Παράρτημα). Τέλος, είναι δυνατή η περαιτέρω εμβάθυνση στην εξέταση της επάρκειας και καταλληλότητας των διοικητικών φραγμών για την αποτροπή του ατυχήματος, μέσω της αξιολόγησης του ΣΔΑ της επιχείρησης.

Είναι αναμενόμενο ότι όσο πιο τεχνολογικά και διαχειριστικά σύνθετο γίνεται ένα σύστημα εργασίας, τόσο πιο δύσκολο είναι να προσδιορισθεί το σύμπλεγμα των παραγόντων που συμβάλλουν στην πρόκληση ατυχημάτων. Το γεγονός αυτό οδηγεί πολλές διερευνήσεις ατυχημάτων να καταλογίσουν την κύρια ευθύνη στους χειριστές που εφαρμόζουν τις διαδικασίες παραγωγής (ενεργές αστοχίες) αφού οι ενέργειές τους μπορούν να εντοπισθούν με μεγαλύτερη ευκολία. Αυτή η παραδοσιακή προσέγγιση οδηγεί σε μη χρήσιμα συμπεράσματα, αφού διαιωνίζει τις συνθήκες εργασίας που ευνόησαν την πρόκληση του ατυχήματος (υποβόσκουσες συνθήκες ή λανθάνουσες αστοχίες) και δεν αποτρέπουν την πιθανότητα επανάληψης του συμβάντος. Στις υποβόσκουσες ή λανθάνουσες αυτές συνθήκες συγκαταλέγονται: χρόνια έκθεση σε υψηλούς θορύβους, ακατάλληλες συνθήκες φωτισμού, αναξιόπιστα όργανα ενδείξεων, δύσχρηστα εγχειρίδια εργασίας, ανεπαρκής εκπαίδευση του προσωπικού, αναποτελεσματικά συστήματα επικοινωνίας και οργανωτικές πολιτικές που δίνουν έμφαση μόνο στην παραγωγή και όχι στην ασφαλή λειτουργία της επιχείρησης.

Σύμφωνα με το Σχήμα 12.1, η «ανατομία του ατυχήματος» έχει πολλά κοινά με τη θεώρηση των «συστημικών αμυνών ή φραγμών» (defences in depth), η οποία εξετάζει τα στρώματα άμυνας που είναι σχεδιασμένα να διατηρήσουν τις λειτουργίες του συστήματος, στην περίπτωση απρόοπτων και επικίνδυνων γεγονότων. Επιπλέον, τα δένδρα αστοχιών εφαρμόζουν τη θεώρηση των συστημικών φραγμών και αποτελούν μια εναλλακτική μέθοδο διερεύνησης. Άλλες προσεγγίσεις εστιάζουν στη



Σχήμα 12.1. Η «ανατομία ενός ατυχήματος» (πηγή: Hollnagel, 1993)

που υιοθετεί. Αυτό επηρεάζει τις πληροφορίες που θα αναζητήσει ο μελετητής, τον τρόπο που θα τις ερμηνεύσει, το εάν σταθεί μόνο στις ενεργές αστοχίες ή εάν εμβαθύνει στις λανθάνουσες συστημικές αστοχίες και τελικά, ποιά άτομα θα συμπεριλάβει στη διερεύνηση των συμβάντων. Με άλλα λόγια, αυτό που κατευθύνει τον μελετητή είναι το νοητικό μοντέλο και η προσέγγιση που χρησιμοποιεί. Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιασθούν τεχνικές διερεύνησης που έχουν εδραιωθεί στον χώρο της ανάλυσης ατυχημάτων.

Οι τεχνικές διερεύνησης ατυχημάτων μπορούν να καταταγούν σε τρεις βασικές κατηγορίες που εξετάζουν τις χρονοσειρές των γεγονότων που οδήγησαν στο ατύχημα, τις αστοχίες και τα λάθη στη διαχείριση των γεγονότων καθώς και τις βαθύτερες αιτίες των ατυχημάτων, αναφορικά με τις συνθήκες εργασίας και τους οργανωτικούς παράγοντες. Ενδεικτικά, αναφέρονται οι παρακάτω κατηγορίες διερεύνησης:

- *Ανάλυση της ακολουθίας των γεγονότων και ενεργειών.* Το πρώτο βήμα στην ανάλυση ενός ατυχήματος είναι ο προσδιορισμός της χρονικής διαδοχής των γεγονότων και των ενεργειών που οδήγησαν στο ατύχημα. Οι τεχνικές αυτές εντοπίζουν επίσης και τα ανθρώπινα λάθη στην αποτυχία ελέγχου των γεγονότων αυτών. Παρακάτω γίνεται αναφορά στην τεχνική STEP, η οποία είναι η πλέον διαδεδομένη στην κατηγορία αυτή.
- *Ανάλυση των ανθρωπίνων λαθών και συνθηκών εργασίας.* Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει τεχνικές ανάλυσης ανθρωπίνων λαθών και προσδιορισμού των αλληλεπιδράσεων με το τεχνικό σύστημα που οδηγούν σε ατυχήματα. Το Δένδρο Αστοχιών (Fault Trees) και το Διάγραμμα Μεταβλητότητας (Variation Trees) αποτελούν παραδείγματα τεχνικών αυτής της κατηγορίας.
- *Ανάλυση της διοίκησης των τεchnο-κοινωνικών συστημάτων.* Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται οι προσεγγίσεις της συστημικής ασφάλειας που εξετάστηκαν στο Κεφάλαιο 2. Ενδεικτικά αναφέρονται δύο τεχνικές διερεύνησης των περιορισμών ασφαλείας (ACCIMAP) και του ιεραρχικού ελέγχου των συστημάτων διαχείρισης ασφαλείας (STAMP).

12.2 Ανάλυση Ακολουθίας Γεγονότων και Ενεργειών (STEP)

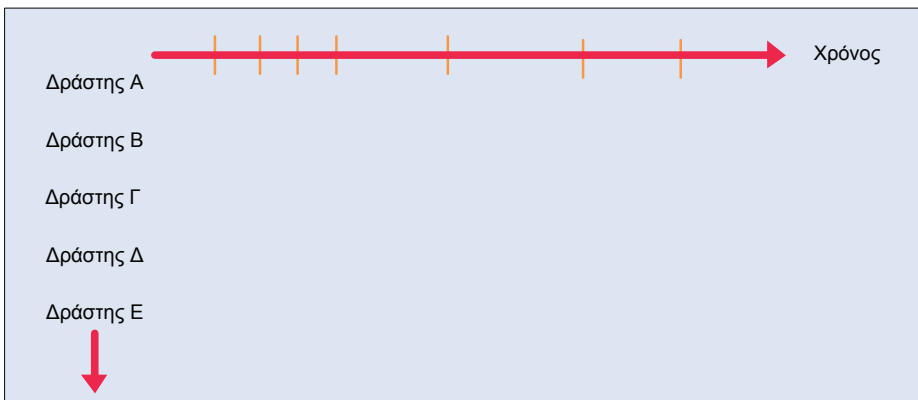
Η Ανάλυση Ακολουθίας Γεγονότων και Ενεργειών (*Sequential Time & Event Plotting, STEP*) θεωρεί ότι το ατύχημα δεν αποτελεί την κατάληξη μιας γραμμικής διαδοχής γεγονότων, αλλά ότι μπορεί να αναπαρασταθεί με ένα δίκτυο σειριακών και παράλληλων ενεργειών που προωθούνται από διαφορετικούς δράστες και συστήματα (π.χ. χειριστές, επόπτες, και αυτοματισμοί). Είναι γεγονός ότι οι περισσότεροι άνθρωποι έχουν συνηθίσει να σκέφτονται με μια «Καρτεσιανή» λογική, δηλαδή με ένα γραμμικό τρόπο που τους επιτρέπει, για παράδειγμα, να μπορούν να γράφουν και να εκφράζουν λέξεις διαδοχικά, διατυπώνοντας μόνο μία σκέψη κάθε φορά. Αυτός ο περιορισμός, που αφορά τον τρόπο επικοινωνίας των ανθρώπων, έχει περιορίσει πολλές διερευνήσεις ατυχημάτων που βασίστηκαν σε αφηγηματικές περιγραφές των εργαζομένων και στην καταγραφή ξεχωριστών, μεμονωμένων παραγόντων ή συνθηκών εργασίας.

Μια βασική αρχή της μεθόδου STEP (Hendrick & Benner 1987) είναι ότι η χρήση πολυγραμμικών σειρών γεγονότων μπορεί να ξεπεράσει πολλά εμπόδια στην επικοινωνία

νωνία των πληροφοριών. Αυτή η ιδέα εφαρμόζεται στη δημιουργία ενός ειδικού διαγράμματος ροής που καταγράφει πολλαπλές χρονοσειρές ενεργειών που εξελίσσονται παράλληλα. Η εφαρμογή της τεχνικής STEP στη διερεύνηση ατυχημάτων προβλέπει τη σύνταξη ενός φύλλου εργασίας για την καταγραφή των γεγονότων με τη μορφή παράλληλων διαγραμμάτων ροής. Καθώς προσδιορίζεται κάθε γεγονός, τοποθετείται στο φύλλο εργασίας στην κατάλληλη σειρά (π.χ. ποιος το έκανε) και στήλη (π.χ. πότε έγινε). Μια βασική πράξη αποτελεί η διασύνδεση με βέλη των γεγονότων όπως εξελίσσονται λογικά και χρονικά στη διάρκεια του συμβάντος. Έτσι, οι μελετητές εξετάζουν τις επιδράσεις κάθε γεγονότος στην εμφάνιση των επακόλουθων γεγονότων όπως εξελίσσεται ο χρόνος. Το φύλλο εργασίας της STEP (Σχήμα 12.3) προσφέρει ένα συστηματικό τρόπο για την οργάνωση των γεγονότων σε μία εκτεταμένη, πολυ-γραμμική περιγραφή των ατυχημάτων. Ονομάζεται φύλλο εργασίας, επειδή κατά τη διάρκεια της διερεύνησης υφίσταται αλλαγές και αναπτύσσεται διαδοχικά, ενώ έχει τη μορφή ενός πίνακα με σειρές και στήλες και μπορεί να αποτυπωθεί σε ένα απλό έντυπο, πίνακα εργασιών κ.λπ. Στις σειρές του φύλλου εργασίας καταγράφονται τα ονόματα των δραστών ενώ οι στήλες αντιστοιχούν σε διαφορετικές κρίσιμες χρονικές στιγμές

Οι οριζόντιες γραμμές συμπληρώνονται με τους δράστες, ανεξάρτητα από το πόσο συχνά ή σπάνια ενήργησαν αυτοί κατά τη διάρκεια της εξέλιξης του συμβάντος. Κατά συνέπεια, η πορεία των ενεργειών του κάθε δράστη είναι εύκολο να παρακολουθηθεί. Στο επάνω μέρος του φύλλου STEP (Σχήμα 12.3) υπάρχει μια γραμμή το συνολικό μήκος της οποίας απεικονίζει τη διάρκεια των γεγονότων που οδήγησαν στο ατύχημα. Στο διάγραμμα της STEP, τα βέλη δείχνουν διαδοχικές και λογικές σχέσεις μεταξύ των γεγονότων. Για κάθε γεγονός, ο μελετητής ρωτάει «αρκούν τα προηγούμενα γεγονότα για ξεκινήσει αυτή η δράση ή ήταν αναγκαία και άλλα γεγονότα;»

Σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να μεσολαβήσει μεγάλο χρονικό διάστημα μεταξύ δύο κρίσιμων γεγονότων ενώ, στη συνέχεια, η εξέλιξη του συμβάντος να είναι ταχύτερη. Κατά συνέπεια, η γραμμή του χρόνου πρέπει να είναι εύκολα προσαρμόσιμη έτσι ώστε όλα τα γεγονότα να μπορούν να συμπεριληφθούν στο ίδιο διάγραμμα. Η γραμμή του χρόνου επιτρέπει τον εντοπισμό των κρίσιμων χρονικών στιγμών και



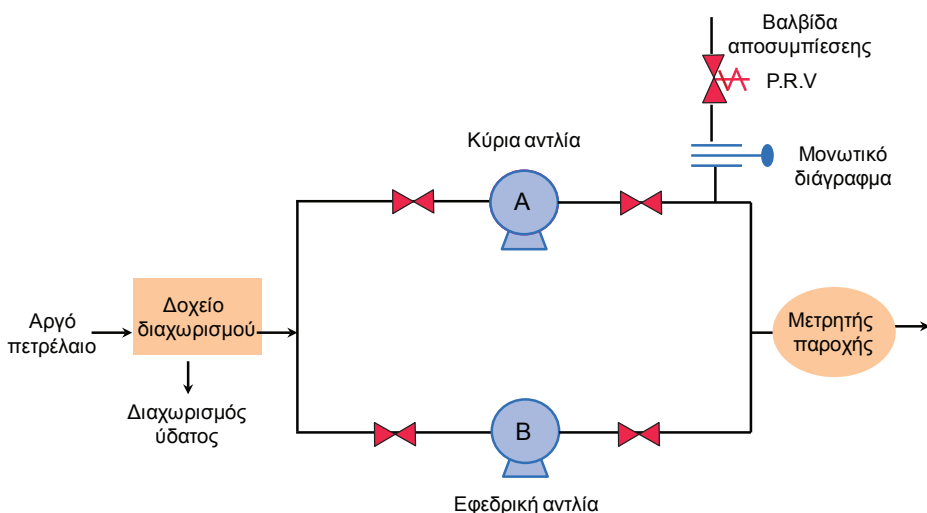
Σχήμα 12.3 Το φύλλο της STEP με τους δράστες και τις ενέργειές τους στον χρόνο

των περιορισμών εργασίας που συνέβαλλαν σε ένα ατύχημα, καθώς και την καταγραφή της ακολουθίας των γεγονότων και των παράλληλων ενεργειών των δραστών και συστημάτων.

Η μέθοδος STEP είναι δυναμική, με την έννοια ότι οι ερευνητές αλλάζουν πολλές φορές τη χρονοσειρά των γεγονότων έως ότου να είναι αρκετά βέβαιοι για την αξιοπιστία της αναπαράστασης. Η καταγραφή των πηγών των πληροφοριών μπορεί να είναι πολύ χρήσιμη, όταν κάποιος ζητήσει να μάθει από πού αποκτήθηκαν αυτές οι πληροφορίες. Συνοπτικά, το βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου STEP είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί δυναμικά από ερευνητές που εργάζονται ομαδικά και χρησιμοποιούν ένα μεγάλο πίνακα για να αναπαραστήσουν πολλαπλές σειρές γεγονότων. Η πολυ-γραμμικότητα της αναπαράστασης διευκολύνει τον εντοπισμό των προϋποθέσεων των γεγονότων, του φόρτου εργασίας (π.χ. εκτέλεση παράλληλων εργασιών) και του απαιτούμενου συντονισμού μεταξύ των δραστών.

Η μέθοδος STEP παρακάτω εφαρμόζεται στη διερεύνηση της βύθισης της πλατφόρμας πετρελαίου Piper Alpha στη Σκωτία που κατέληξε στο θάνατο 170 ανθρώπων (Ιούλιος, 1988). Η αιτία της βύθισης της πλατφόρμας ήταν μια ανεξέλεγκτη φωτιά η οποία άρχισε στον Β όροφο και εξαπλώθηκε σε ολόκληρη την πλατφόρμα. Η φωτιά προκάλεσε σημαντικές ζημιές στη δομή της πλατφόρμας η οποία κατέρρευσε αργότερα στη θάλασσα. Δυστυχώς η διαδικασία διάσωσης των ανθρώπων που βρέθηκαν στη τρικυμισμένη θάλασσα για να αποφύγουν τη φωτιά δεν ήταν επιτυχής. Η διερεύνηση του πραγματικού ατυχήματος είναι μια πολύπλοκη διαδικασία η οποία είναι πέραν των ορίων του κεφαλαίου αυτού. Για το σκοπό της επίδειξης κάποιων μεθόδων διερεύνησης ατυχημάτων, η ανάλυση θα περιορισθεί σε ένα μόνο μέρος της αλυσίδας των γεγονότων που οδήγησε στην έναρξη της φωτιάς στη μονάδα διαχωρισμού του αργού πετρελαίου.

Στο Σχήμα 12.4 παρουσιάζεται η διαδικασία διαχωρισμού του αργού πετρελαίου όπου, μετά την απομάκρυνση του ύδατος, το εναπομένον μίγμα πετρελαίου και



Σχήμα 12.4. Απλοποιημένο διάγραμμα της μονάδας που ξεκίνησε η φωτιά

υγραερίου προωθείται στην κύρια γραμμή παραγωγής. Την ημέρα του ατυχήματος, οι χειριστές έλαβαν ένα συναγερμό υψηλών ταλαντώσεων της κυρίας αντλίας Α στην αίθουσα ελέγχου. Ακολουθώντας τις γραπτές οδηγίες, οι χειριστές ενεργοποίησαν την εφεδρική αντλία Β και έκλεισαν την προβληματική αντλία Α. Ο επόπτης της ημερήσιας βάρδιας ζήτησε από την ομάδα συντήρησης της εταιρείας να επιδιορθώσει την αντλία Α και ετοίμασε μια «άδεια επιδιόρθωσης» (work permit) για το σκοπό αυτό. Με την ευκαιρία αυτή, ο επόπτης θέλησε να γίνει μια επιπρόσθετη προγραμματισμένη συντήρηση της βαλβίδας αποσυμπίεσης που βρισκόταν στον όροφο επάνω από την αντλία Α. Η εργασία αυτή ανατέθηκε σε ένα εξωτερικό συνεργείο ενός εργολάβου που είχε συνάψει σύμβαση με την εταιρεία για προγραμματισμένη συντήρηση όλων των μηχανημάτων.

Με την αφαίρεση της βαλβίδας αποσυμπίεσης δημιουργήθηκε ένα κενό στο σωλήνα, το οποίο κλείστηκε με ένα μονωτικό διάφραγμα, προκειμένου να γίνει απομόνωση του σωλήνα από το κύκλωμα παροχής πετρελαίου. Ωστόσο, η μόνωση δεν έγινε σωστά λόγω της κακής στάσης του σώματος του συντηρητή ανάμεσα σε ένα πολύπλοκο δίκτυο σωληνώσεων στον επάνω όροφο. Η κακή χωροθέτηση των σωλήνων απετέλεσε την αιτία που δεν έγινε ο κατάλληλος διασταυρωτικός έλεγχος μετά το πέρας της εργασίας. Ο συντηρητής επέστρεψε στο μηχανουργείο, καθόσον η συντήρηση της βαλβίδας αποσυμπίεσης αποδείχθηκε πολύ απαιτητική και δεν ήταν δυνατόν να τελειώσει μέχρι το τέλος της ημερήσιας βάρδιας. Έτσι, το εξωτερικό συνεργείο αποφάσισε να συνεχίσει τη συντήρηση την επομένη ημέρα, αφού θεώρησε ότι η άδεια επιδιόρθωσης θα ήταν ακόμη σε ισχύ. Μη έχοντας κάποια ενημέρωση, ο επόπτης της βάρδιας υπέθεσε ότι το εξωτερικό συνεργείο θα εργαζόταν υπερωρίες για να διεκπεραιώσει τη συντήρηση κατά τη διάρκεια της νυκτερινής βάρδιας.

Με την αλλαγή της βάρδιας (18:00) ο επόπτης της νυκτερινής βάρδιας ενημερώθηκε από τον απερχόμενο επόπτη για το πρόβλημα στην αντλία Α, όχι όμως και για την προγραμματισμένη συντήρηση της βαλβίδας αποσυμπίεσης. Αργότερα, ο νυκτερινός επόπτης ζήτησε από το συνεργείο της εταιρείας να εγκαταστήσει την επιδιορθωμένη αντλία Α για να τεθεί σε λειτουργία. Δυστυχώς όμως δεν έλεγξε το κύκλωμα παροχής πετρελαίου, διότι δεν είχε ενημερωθεί για την απομάκρυνση της βαλβίδας αποσυμπίεσης. Όταν αργότερα οι χειριστές ενεργοποίησαν την αντλία Α, το μίγμα πετρελαίου και υγραερίου διέφυγε από την υποτιθέμενη μόνωση, επειδή το διάφραγμα δεν ήταν σωστά τοποθετημένο. Ως εκ τούτου, σήμανε ο συναγερμός υγραερίου στην αίθουσα ελέγχου, προειδοποιώντας για πιθανή διαρροή υγραερίου σε κάποιο σημείο της εγκατάστασης.

Αρχικά οι χειριστές πίστεψαν ότι ο συναγερμός ήταν εσφαλμένος (false alarm) όπως συνέβαινε αρκετές φορές στο παρελθόν. Επιπρόσθετα, μειώθηκε επικίνδυνα η στάθμη του μίγματος στο δοχείου διαχωρισμού λόγω της απώλειας του μίγματος από το διάφραγμα. Ο επόπτης ζήτησε από ένα χειριστή να πάει να ελέγξει τη στάθμη του μίγματος στο δοχείο διαχωρισμού. Κατά τη διάρκεια της αναμονής του ελέγχου από τον χειριστή, ήχησε ο μεγάλος συναγερμός διαφυγής υγραερίου. Στη συνέχεια, το υγραέριο εκτιμάται ότι ήρθε σε επαφή με κάποιες θερμές επιφάνειες και ανεφλέγη. Αυτό ήταν το εναρκτήριο γεγονός της φωτιάς, η οποία εξαπλώθηκε σε όλον το όροφο και κατέληξε σε μία ανεξέλεγκτη πυρκαγιά η οποία κατέστρεψε την πλατφόρμα

μα πετρελαίου και προκάλεσε τη βύθισή της.

Στα Σχήματα 12.5 και 12.6 παρουσιάζεται η εφαρμογή της μεθόδου STEP για το ατύχημα του Piper Alpha. Στον κάθετο άξονα καταγράφονται οι δράστες και τα συστήματα που εμπλέκονται στο ατύχημα όπως χειριστές, επόπτες, μηχανές, εργαλεία, άδειες εργασίας και συστήματα αυτομάτου ελέγχου. Η μέθοδος STEP εφοδιάζει τους μελετητές με ένα συστηματικό και λογικό τρόπο αναπαράστασης του ατυχήματος ο οποίος εύκολα μπορεί να επιβεβαιωθεί από τους εμπλεκόμενους. Εκτός από τη χρονική διαδοχή των γεγονότων, ο μελετητής μπορεί να εκτιμήσει το νοητικό φόρτο των χειριστών, παρατηρώντας τις παράλληλες εργασίες που γίνονται και τη χρονική εξέλιξη των αντιδράσεων. Ακόμη, χρήσιμα συμπεράσματα προκύπτουν σχετικά με τα προβλήματα επικοινωνίας και συντονισμού μεταξύ των διαφορετικών ομάδων εργασίας στη ίδια ή σε διαφορετικές βάρδιες εργασίες.

Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω, η μέθοδος STEP υποστηρίζει τον προσδιορισμό των ανθρώπινων λαθών, όχι όμως και των γενεσιουργών τους αιτιών (π.χ. εργασιακών και οργανωτικών παραγόντων), παρέχοντας ωστόσο ένα συστημικό εργαλείο για την αποτελεσματική διερεύνηση των συμβάντων και ατυχημάτων.

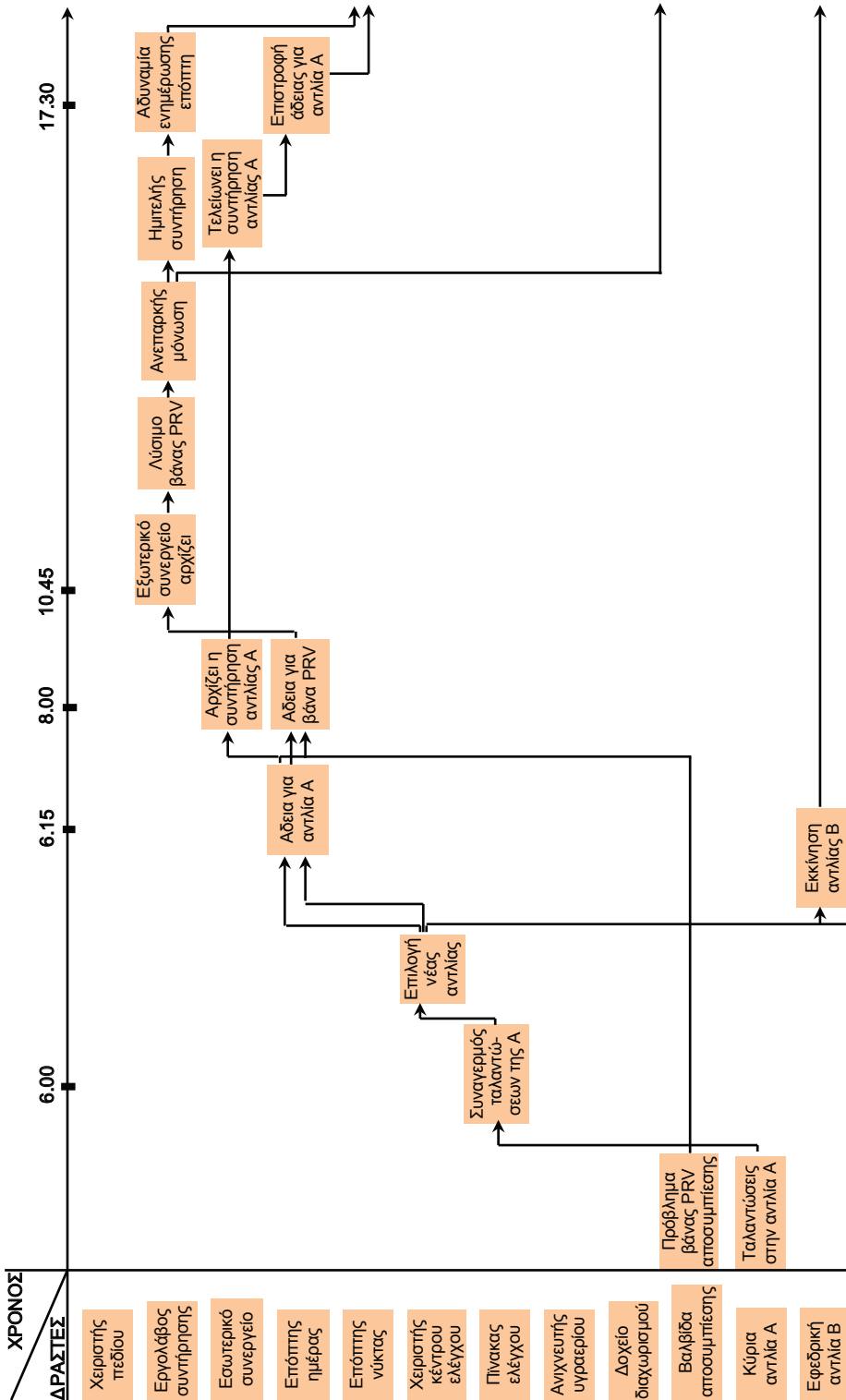
12.3 Ανάλυση ανθρωπίνων λαθών και συνθηκών εργασίας

Παρόλο που η τεχνική STEP φαίνεται ότι προσδιορίζει κάποιες μηχανικές αστοχίες και ανθρώπινα λάθη, δεν γίνεται η απαραίτητη εμβάθυνση στους μηχανισμούς των λαθών, στις καθυστερημένες διορθωτικές κινήσεις, στις σχέσεις εξάρτησης που εξασθενούν τη δράση των εφεδρικών μηχανημάτων, και στις αστοχίες των συστημικών φραγμών. Για την εκτενή μελέτη των μηχανισμών αυτών καθώς και των εργασιακών παραγόντων που συνέβαλλαν στο ατύχημα μπορεί να χρησιμοποιηθούν το Δένδρο Αστοχιών (Fault Trees) και το Διάγραμμα Μεταβλητότητας (Variation Trees), δύο τεχνικές που βασίζονται στη θεωρία των «φραγμών σε βάθος» (defences in depth).

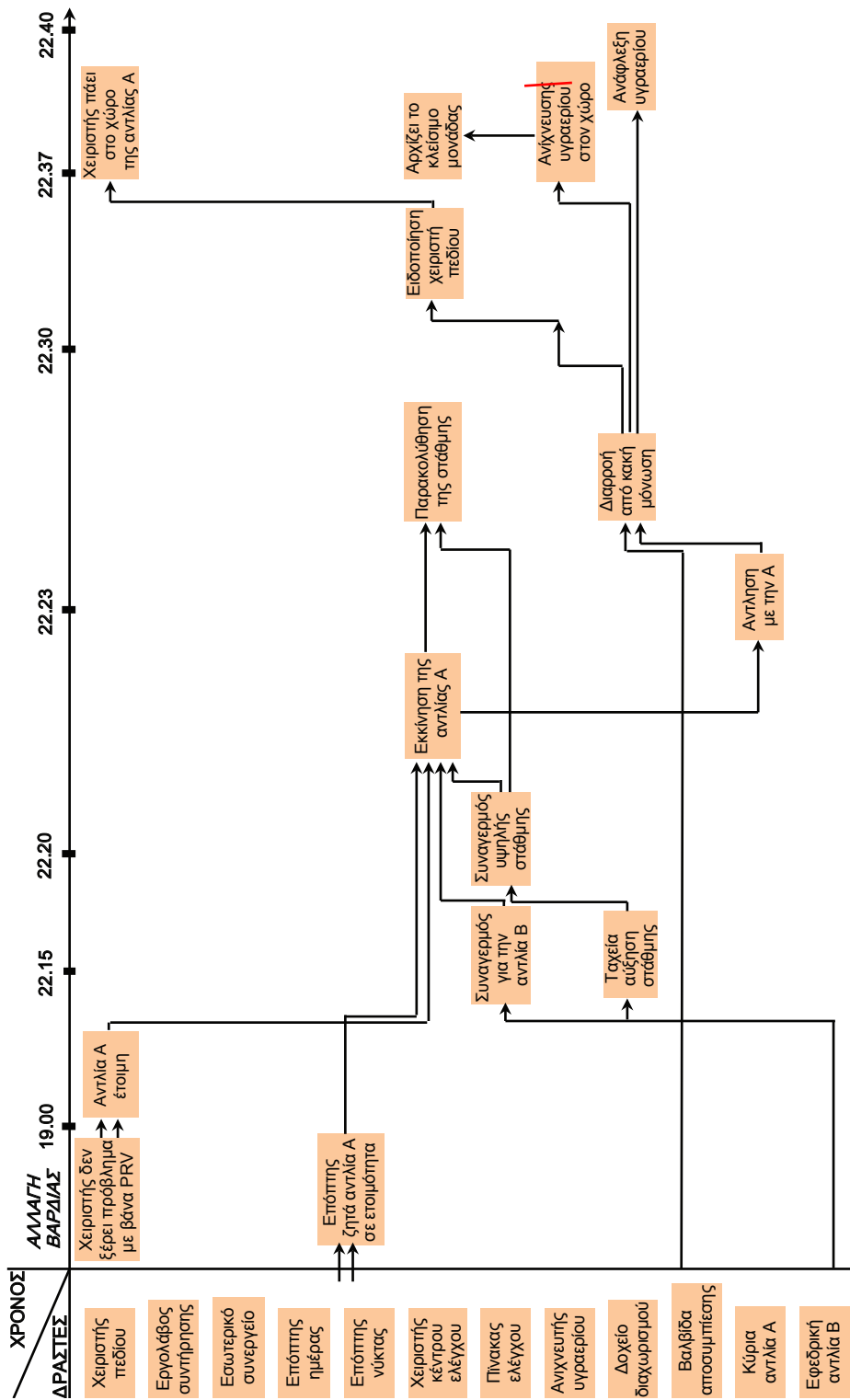
12.3.1 Ανάλυση Δέντρων Αστοχιών

Μια από τις πιο διαδεδομένες τεχνικές ανάλυσης των ανεπιθύμητων συμβάντων είναι τα δένδρα αστοχιών, τα οποία χρησιμοποιούνται τόσο κατά την πρόβλεψη επικίνδυνων γεγονότων (βλ. Κεφάλαιο 8) όσο και κατά τη διερεύνηση ατυχημάτων. Το δένδρο αστοχιών αναπαριστά την λογική αλληλουχία των γεγονότων (βασικά γεγονότα) τα οποία είναι αναγκαία για να προκαλέσουν ένα συγκεκριμένο επικίνδυνο γεγονός (κορυφαίο γεγονός). Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατόν να αναπαρασταθούν όλες οι πιθανές ακολουθίες ή σενάρια που οδηγούν σε ένα ανεπιθύμητο γεγονός. Οι καταστάσεις λειτουργίας των ελεγχόμενων στοιχείων είναι δύο, ήτοι: επιτυχής – εσφαλμένη λειτουργία. Ενδιάμεσες καταστάσεις, όπως η μερική λειτουργία ενός στοιχείου θεωρείται ως αποτυχία.

Αρχικά, εντοπίζεται το κορυφαίο γεγονός, ενώ τα γεγονότα και οι καταστάσεις που οδήγησαν σ' αυτό απεικονίζονται χρησιμοποιώντας μια δενδροειδή μορφή, με λογικές πύλες σύνδεσης AND, OR και INHIBIT. Σε μία λογική πύλη AND το γεγονός εξόδου προκύπτει όταν συμβούν όλα τα γεγονότα εισόδου, ενώ σε μία πύλη OR αρκεί να συμβεί μόνο το γεγονός μιας εισόδου για να προκύψει το γεγονός της αντί-



Σχήμα 12.5. Μέρος Α - Εφαρμογή της STEP στη διερεύνηση της βύθισης της πλατφόρμας πετρελαίου Piper Alpha (Embrey et al., 1994)

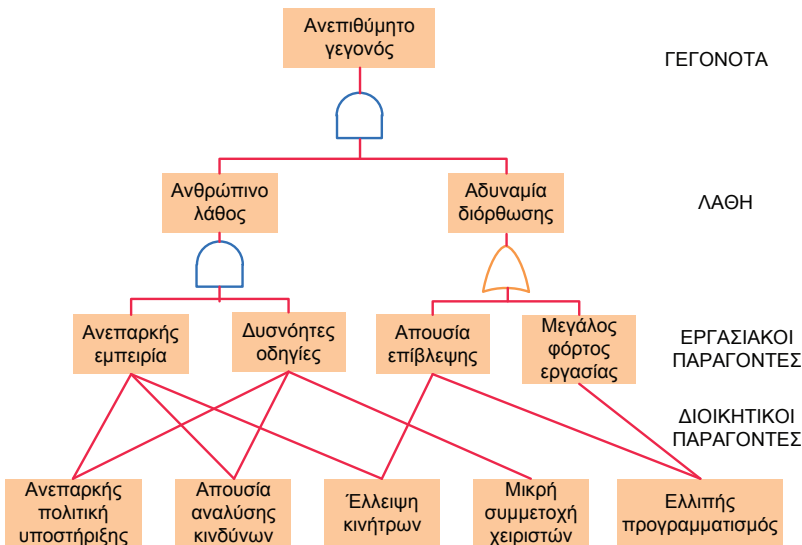


Σχήμα 12.6. Μέρος Β - Εφαρμογή της STEP στη διερεύνηση της βύθισης της πλατφόρμας πετρελαίου Piper Alpha (Embrey et al., 1994)

στοιχης εξόδου. Για παράδειγμα, εάν το κορυφαίο γεγονός είναι η δυσλειτουργία ενός εξαρτήματος, το δέντρο χρησιμεύει στην ανάδειξη των συγκεκριμένων αιτιών που προκαλούν την βλάβη του εξαρτήματος. Το δένδρο αστοχιών επιτρέπει τη μοντελοποίηση τόσο των παραγόντων που μπορούν να οδηγήσουν σε διόρθωση των λαθών, όσο και εκείνων που μπορούν να οδηγήσουν σε σχέσεις εξάρτησης που συνήθως αυξάνουν την πιθανότητα αστοχίας ή λάθους. Για κάθε ανεπιθύμητο γεγονός, η πύλη AND μπορεί να αναπαραστήσει τους παράγοντες που οδήγησαν στην αστοχία καθώς και εκείνους που μείωσαν την πιθανότητα διόρθωσης. Για όλα τα κλαδιά του δένδρου, που αφορούν διορθωτικούς παράγοντες, ενδείκνυται να εξετασθούν όλες οι πιθανές σχέσεις εξάρτησης που αποδυναμώνουν το αποτέλεσμα των προηγούμενων διορθωτικών παραγόντων.

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι πύλες INHIBIT προσδιορίζουν τις συνθήκες που θα έπρεπε να ισχύουν προκειμένου η είσοδος της πύλης να προκαλέσει την έξοδο. Για παράδειγμα, μια εσφαλμένη ενέργεια στη συντήρηση μιας μηχανής μπορεί να οφείλεται σε ελλιπή εκπαίδευση του τεχνίτη ή σε ανεπαρκή πρόσβαση στη μηχανή, λόγω ανεπάρκειας και στενότητας του χώρου εγκατάστασης. Εάν από τη διερεύνηση προκύψει ότι το λάθος συνέβη λόγω ανεπαρκούς πρόσβασης, τότε συστήνεται να αποτυπώνεται και η άλλη πιθανή αιτία (π.χ. ελλιπής εκπαίδευση) στο δένδρο αστοχιών, αρκεί να χρησιμοποιηθεί η πύλη INHIBIT. Έτσι, η πύλη INHIBIT μπορεί να υπενθυμίζει στο μελετητή ότι, σε άλλες περιπτώσεις, το ίδιο λάθος θα μπορούσε να συμβεί λόγω «ελλιπούς εκπαίδευσης».

Τα δένδρα αστοχιών μπορούν να επεκταθούν περαιτέρω ώστε να συμπεριλάβουν αιτίες λαθών σε επίπεδο εργασιακών και διοικητικών παραγόντων (βλ. Σχήμα 12.7). Ωστόσο, δεν είναι πάντα εύκολο να αποφασισθεί η καταλληλότητα των πυλών AND/OR σε αυτό το γενικό επίπεδο. Το κρίσιμο ερώτημα είναι «εάν κάθε παράγοντας μπορεί να



Σχήμα 12.7. Γενικό δένδρο αστοχιών που ενσωματώνει αιτίες στα επίπεδα των εργασιακών και διοικητικών παραγόντων

προκαλέσει αυτό το λάθος ξεχωριστά (πύλη OR) ή εάν απαιτούνται όλοι οι παράγοντες ταυτόχρονα για να συμβεί το λάθος (πύλη AND)». Για παράδειγμα, κάποιοι παράγοντες (π.χ. εκπαίδευση, οδηγίες και επίβλεψη) μπορούν να θεωρηθούν ότι αναφέρονται στην υποστήριξη της ικανότητας του χειριστή να διεκπεραιώσει μία ενέργεια. Οπότε για να συμβεί ένα λάθος παράλειψης θα πρέπει ταυτόχρονα να συμβούν τα εξής: να μη θυμηθεί μία ενέργεια ο χειριστής, να μην εφαρμόζεται μια λίστα με σημεία ελέγχου και να μην αναγνωρισθεί το λάθος από έναν επόπτη εργασίας (πύλη AND).

Οι διοικητικοί παράγοντες εκτιμάται ότι έχουν μεγάλο αντίκτυπο στο περιβάλλον εργασίας. Για παράδειγμα, η «ανεπαρκής πολιτική υποστήριξης του προσωπικού» μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την ελλιπή εκπαίδευση, την ανάπτυξη αναξιόπιστων οδηγιών και την ανεπαρκή εποπτεία της εργασίας. Επομένως, οι διοικητικοί παράγοντες δημιουργούν σχέσεις εξάρτησης μεταξύ των εργασιακών παραγόντων, με τον ίδιο τρόπο που διάφορες μηχανές εξαρτώνται από την ίδια πηγή ηλεκτροδότησης. Χρειάζεται λοιπόν ιδιαίτερη προσοχή στον τρόπο διασύνδεσης των διοικητικών και εργασιακών παραγόντων που συμβάλλουν σε αστοχίες και ανθρώπινα λάθη.

Ένα πρόβλημα στη χρήση των δένδρων αστοχιών είναι η αναπαράσταση της χρονικής εξέλιξης του ατυχήματος. Παρόλο που η χρήση της πύλης PRIORITY-AND δείχνει τη χρονική εξέλιξη των γεγονότων (από τα αριστερά προς τα δεξιά), σε πολλές περιπτώσεις αυτό δεν είναι αρκετό. Για παράδειγμα, δεν μπορούμε να γνωρίζουμε τη χρονική σειρά των γεγονότων που ανήκουν σε διαφορετικά κλαδιά του δένδρου που χρησιμοποιούν διαφορετικές πύλες PRIORITY-AND. Επιπλέον, πολλά γεγονότα δεν είναι «διακριτά» αλλά είναι «συνεχή», με αποτέλεσμα να εξελίσσονται ταυτόχρονα για κάποιο χρονικό διάστημα. Αυτή η παραλληλότητα των γεγονότων δεν απεικονίζεται στα δένδρα αστοχιών, με αποτέλεσμα να μη μπορούμε να εξετάσουμε το νοητικό φόρτο των χειριστών που πηγάζει από τον έλεγχο πολλαπλών ενεργειών.

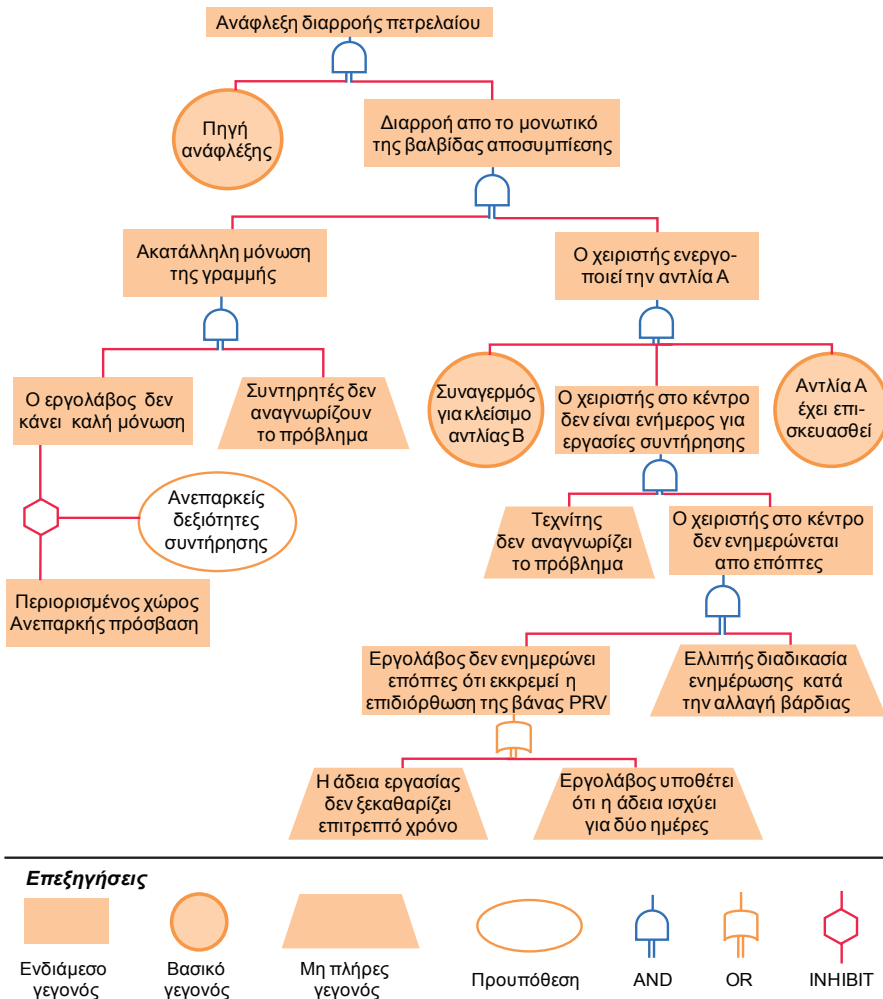
Ιδιαίτερη προσοχή απαιτεί επίσης ο τρόπος ερμηνείας των πυλών AND καθώς δεν μπορούμε να γνωρίζουμε πάντα, από την περιγραφή του ατυχήματος, εάν η εξάλειψη ενός γεγονότος είναι ικανή συνθήκη για να μη συμβεί η έξοδος της πύλης AND. Για παράδειγμα, ένα ατύχημα μπορεί να οφείλεται σε μια μηχανική αστοχία και στην απουσία ενημέρωσης της διοίκησης από τον επόπτη, ο οποίος είναι υπεύθυνος για την καθημερινή επιθεώρηση της μηχανής. Δεν γνωρίζουμε ποιά θα ήταν η ενδεχόμενη αντίδραση της διοίκησης στην περίπτωση που είχε ενημέρωση, και πόσο αποτελεσματική θα ήταν η παρέμβαση αυτή ώστε να εξαλείψει τη μηχανική αστοχία. Στις περιπτώσεις αυτές συνίσταται περαιτέρω ανάλυση και κατάλληλη ανάπτυξη του δένδρου αστοχιών.

Είναι σημαντικό να τονισθεί ότι τα δένδρα αστοχιών εστιάζουν σε προβλήματα αξιοπιστίας των μερών του συστήματος, ενώ αδυνατούν να ενσωματώσουν περιπτώσεις όπου όλα τα μέρη λειτουργούν σωστά, όπως έχουν αρχικά σχεδιασθεί, αλλά ο σχεδιασμός τους είναι εσφαλμένος. Για παράδειγμα, αυτό μπορεί να συμβεί όταν ένας αυτόματος επεξεργαστής ο οποίος λειτουργεί αξιόπιστα δεν μπορεί να εκτελέσει έναν έλεγχο, διότι ο έλεγχος αυτός δεν είχε αρχικά προβλεφθεί από το σχεδιαστή. Από την άλλη πλευρά, δεν μπορούμε να γνωρίζουμε πάντα εάν ένα πρόβλημα αξιοπιστίας θα συμβάλλει σε ένα ανεπιθύμητο γεγονός. Για παράδειγμα, η παραβίαση των γραπτών οδηγιών δεν είναι αρκετά ξεκάθαρο ότι θα συμβάλλει σε ένα ανεπιθύμητο γεγονός, διότι οι χειριστές μπορούν να παρακάμπτουν τις οδηγίες και να επιτυγχάνουν καλύτερα αποτελέσματα.

Θα πρέπει λοιπόν ο μελετητής να προβλέψει το είδος της παραβίασης που θα είχε αρνητικές συνέπειες, γεγονός το οποίο είναι αρκετά δύσκολο και απαιτεί εκτενείς γνώσεις του τεχνολογικού συστήματος.

Σε γενικές γραμμές, τα δένδρα αστοχιών παρέχουν συνοπτικές απεικονίσεις των αιτιών που οδήγησαν σε κάποιο ατύχημα. Συνήθως, η εφαρμογή τους στη διερεύνηση ατυχημάτων δεν είναι τόσο πολύπλοκη όσο η χρήση τους στην περίπτωση της εκτίμησης επικινδυνότητας. Αυτό συμβαίνει διότι στην επικινδυνότητα εξετάζονται πολλές παραλλαγές του ιδίου γεγονότος που θα μπορούσαν να εκδηλωθούν σε διαφορετικά εργασιακά περιβάλλοντα. Στην περίπτωση της διερεύνησης ενός συγκεκριμένου ατυχήματος εξετάζεται μόνον ένα υποσύνολο των πιθανών συνδυασμών.

Η εφαρμογή του δένδρου αστοχιών στο ατύχημα Piper Alpha παρουσιάζεται στο Σχήμα 12.8. Το κορυφαίο γεγονός της φωτιάς απαιτεί την ταυτόχρονη διαρροή καύσιμης ύλης (π.χ. υγραέριο) και την παρουσία μιας πηγής ανάφλεξης. Η διαρροή



Σχήμα 12.8. Ανάλυση αιτιών του ατυχήματος Piper Alpha με δένδρο αστοχιών (πηγή: Koutogiannis et al, 2000)

υγραερίου οφειλόταν σε ένα συνδυασμό δύο γεγονότων, που περιελάμβαναν την εσφαλμένη τοποθέτηση του διαφράγματος απομόνωσης και την ενεργοποίηση της αντλίας Α. Η ανάλυση προχωρεί «από-πάνω, προς-τα-κάτω» για τη διερεύνηση των γενεσιουργών αιτιών τόσο σε επίπεδο χειρισμών όσο και σε επίπεδο εργασιακών και οργανωσιακών παραγόντων.

Η εσφαλμένη τοποθέτηση του διαφράγματος απομόνωσης του σωλήνα που ήταν εγκατεστημένη η βαλβίδα αποσυμπίεσης, οφειλόταν κατά κύριο λόγο στον περιορισμένο χώρο αποσυναρμολόγησης της βαλβίδας που εμπόδιζε τον συντηρητή να επιβλέψει σωστά την εργασία του. Ωστόσο, ο μελετητής θα πρέπει να εξετάσει και άλλες εκδοχές του λάθους του συντηρητή. Για παράδειγμα, το λάθος θα μπορούσε να οφειλόταν σε ανεπαρκείς επιδεξιότητες του συντηρητή. Ακόμη και όταν οι ενδείξεις το αποκλείουν, ο μελετητής θα μπορούσε να κρατήσει την εκδοχή αυτή, κάνοντας χρήση της πύλης INIBIT η οποία υπονοεί ότι οι ανεπαρκείς επιδεξιότητες θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε ένα παραπλήσιο σενάριο.

Η ενεργοποίηση της αντλίας Α προϋποθέτει έλλειψη ενημέρωσης για την αφαίρεση της βαλβίδας αποσυμπίεσης, κατά την εναλλαγή της βάρδιας του νυκτερινού επόπτη και των χειριστών στην αίθουσα ελέγχου. Από την άλλη πλευρά, δεν είναι εύκολος ο εντοπισμός της λανθασμένης τοποθέτησης του διαφράγματος κατά τη διάρκεια τυπικών ελέγχων από τους χειριστές που εκτελούν εργασίες στον επάνω όροφο. Εάν δεν δοθούν συγκεκριμένες οδηγίες για τους χώρους που πρέπει να ελέγξουν, είναι σχεδόν αδύνατον για τους χειριστές να ελέγξουν όλα τα πιθανά σημεία διαρροής υγραερίου. Επομένως, το καίριο ερώτημα είναι «γιατί δεν ενημερώθηκε ο επόπτης και οι χειριστές της νυκτερινής βάρδιας για την αφαίρεση της βαλβίδας αποσυμπίεσης;». Στο σημείο αυτό η διερεύνηση θα πρέπει να εξετάσει τόσο τις διαδικασίες ανταλλαγής πληροφοριών κατά τη διάρκεια αλλαγής βάρδιας, όσο και την ενημέρωση που είχε ο επόπτης της ημερήσιας βάρδιας. Πιθανόν ο επόπτης της ημέρας να μην είχε ενημερωθεί από το εξωτερικό συνεργείο για το προηγούμενο γεγονός, είτε επειδή η άδεια συντήρησης της βαλβίδας αποσυμπίεσης δεν ήταν εμπεριστατωμένη είτε επειδή το συνεργείο υπέθεσε ότι η συντήρηση ήταν σε ισχύ και για την επόμενη ημέρα.

Συμπερασματικά, τα δένδρα αστοχιών δίδουν μια συνοπτική αναπαράσταση τόσο των λαθών όσο και των γενεσιουργών αιτιών που οδήγησαν στο ατύχημα. Παρόλο που τα λάθη, οι αστοχίες και οι αιτίες αφορούν το συγκεκριμένο ατύχημα, είναι δυνατόν να επισημανθούν επιπλέον γεγονότα και αιτίες που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε παραπλήσια ατυχήματα, κάνοντας χρήση της πύλης INHIBIT. Δεν θα πρέπει να ξεχνάμε ότι τα δένδρα αστοχιών μπορούν να χρησιμοποιηθούν προληπτικά για την πρόβλεψη πολλών ατυχημάτων που ανήκουν στην ίδια κατηγορία. Έτσι, καθίσταται δυνατή η ανάπτυξη πολύπλοκων διαγραμμάτων για την πρόβλεψη παραπλήσιων ατυχημάτων που θα μπορούσαν να συμβούν σε άλλες ομοειδείς βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

12.3.2 Ανάλυση Διαγραμμάτων Μεταβλητότητας

Όπως και η ανάλυση του δέντρου αστοχιών, η μέθοδος των διαγραμμάτων μεταβλητότητας (variation trees) ανιχνεύει πιθανές αστοχίες και λάθη σε ένα σύστημα,

αλλά ξεκινάει από ένα πραγματικό ατύχημα. Κατά συνέπεια, το δέντρο (ή διάγραμμα) που προκύπτει δεν περιλαμβάνει όλα τα κλαδιά που οδηγούν σε όλα τα πιθανά ατυχήματα, αλλά μόνο το κλαδί που οδηγεί στο πραγματικό ατυχηματικό γεγονός. Η ανάλυση ενός λάθους ή μίας αστοχίας όπου εμπλέκεται ένας χειριστής μπορεί να πραγματοποιηθεί σε διάφορα επίπεδα ακρίβειας. Όσο μεγαλύτερη ακρίβεια απαιτεί η ανάλυση, τόσο περισσότερη ειδίκευση απαιτείται από το μελετητή. Η τεχνική του διαγράμματος μεταβλητότητας επινοήθηκε από το Institut National de Recherches et de Sécurité.

Οι αρχές στις οποίες βασίζονται τα διαγράμματα μεταβλητότητας είναι (Leplat 1985) :

1. Το ανθρώπινο λάθος προκύπτει ως αποτέλεσμα κάποιων αλλαγών στις υφιστάμενες συνθήκες εργασίας
2. Η προέλευση ενός ατυχήματος εντοπίζεται σε περιστατικά τα οποία ο μελετητής πρέπει να αναγνωρίσει, προκειμένου να τα καταγράψει και να τα αναπαραστήσει σε διαγράμματα, με εφαρμογή καθορισμένων κανόνων, οι σημαντικότεροι εκ των οποίων είναι:
 - 2.1 Η σχέση της αλυσίδας των γεγονότων ($X \rightarrow Y$) δηλώνει ότι αν το X γεγονός δεν είχε συμβεί, τότε και το Y δεν θα είχε συμβεί.
 - 2.2 Η σχέση της συμβολής ($X1, X2 \rightarrow Y$) δηλώνει ότι αν δεν είχαν συμβεί τα γεγονότα $X1$ και $X2$, τότε και το Y δεν θα είχε συμβεί.
3. Οι μεταβλητότητες αντιπροσωπεύουν μόνο ένα υποσύνολο από τις αιτίες που προκαλούν το ατύχημα. Οι μεταβλητότητες που αναπαριστώνται είναι μόνο οι αναγκαίες συνθήκες για την παραγωγή του γεγονότος που απεικονίζεται στα δεξιά του βέλους, αλλά γενικά δεν είναι ικανές συνθήκες. Υπονοούν την παρουσία και άλλων παραγόντων που δεν απεικονίζονται γιατί είναι σταθερά στοιχεία του συστήματος. Σε μερικές περιπτώσεις, όμως, είναι δυνατόν ο μελετητής να παρουσιάσει και αυτούς τους παράγοντες για την καλύτερη κατανόηση του διαγράμματος.
4. Η αναγνώριση των μεταβλητοτήτων απαιτεί την ακριβή γνώση των συνθηκών εργασίας, ώστε ο μελετητής να εντοπίσει κάποια ασυνήθιστα γεγονότα. Παρόλο που η μεταβλητότητα δεν μπορεί να οριστεί με αυστηρούς όρους, είναι σημαντική για την εφαρμογή της μεθόδου.
5. Οι καθιερωμένες σχέσεις μεταξύ των γεγονότων απαιτούν καλή γνώση του συστήματος εργασίας, που δεν χρειάζεται όμως να είναι τόσο εμπεριστατωμένη όσο αυτή που απαιτείται για την ανάπτυξη του δένδρου αστοχιών (fault tree). Η ανάλυση του διαγράμματος μεταβλητότητας βασίζεται σε ένα μοντέλο λειτουργιών το οποίο επιτρέπει τη χρήση της μεθόδου από προσωπικό που δεν είναι ιδιαίτερα ειδικευμένο.

Τα διαγράμματα μεταβλητότητας χρησιμοποιούνται σε μια προοπτική αποφυγής ατυχήματος ή στατιστικής ανάλυσης των στοιχείων. Η τεχνική αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό των παραγόντων που προκάλεσαν ατύχημα, προκειμένου να καθοριστούν οι δυνατοί τρόποι αποφυγής του. Τα διαγράμματα μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για στατιστική ανάλυση εάν τα στοιχεία τους κωδικοποιηθούν. Στη συνέχεια, παρατίθεται ένα παράδειγμα διερεύνησης ατυχήματος με τη χρήση των διαγραμμάτων μεταβλητότητας.

«Ένας οδηγός φορτηγού είχε εντολή να παραδώσει ένα φορτίο σε ένα καθορισμένο προορισμό. Επειδή το φορτηγό που χρησιμοποιούσε έπαθε βλάβη, πήρε ένα άλλο φορτηγό, με το οποίο δεν ήταν εξοικειωμένος και, όπως αποδείχτηκε εκ των υστέρων, είχε ελαττωματικά φρένα. Επιπλέον, το φορτηγό ήταν υπερφορτωμένο. Η διαδρομή που συνήθως ακολουθούσε ο οδηγός ήταν κλειστή λόγω εργασιών που γίνονταν στο δρόμο. Ως αποτέλεσμα, ο οδηγός ακολούθησε μια άλλη διαδρομή που είχε μια απότομη στροφή. Εξαιτίας της στροφής, του φορτίου και των ελαττωματικών φρένων ο οδηγός έχασε τον έλεγχο του φορτηγού, έπεσε σε έναν τοίχο και τραυματίστηκε σοβαρά».

Η ανάπτυξη του διαγράμματος πρέπει να γίνεται προσεκτικά ώστε να καταγράφονται οι μεταβλητότητες που προηγήθηκαν του ατυχήματος και οι καταστάσεις οι οποίες καθορίζουν τη ροή των γεγονότων. Γίνεται άμεσα αντιληπτό ότι διακόπτεται η σειρά των γεγονότων ανάμεσα στους κόμβους, όταν αναιρεθούν οι συνθήκες που παράγουν τη μεταβλητότητα. Ο γενικός κανόνας είναι να αναιρείται ένας κόμβος μεταβλητότητας, είτε αλλάζοντας τις φυσικές συνθήκες (π.χ. με επιδιόρθωση των φθαρμένων φρένων στο φορτηγό), είτε επιδρώντας στην ανθρώπινη δραστηριότητα (π.χ. με εκπαίδευση ή καλύτερες συνθήκες εργασίας). Κατά συνέπεια, το ζήτημα είναι να αναγνωριστούν οι αλλαγές και οι βελτιώσεις εκείνες που θα αλλάξουν την επιρροή της ανθρώπινης μεταβλητότητας κατά την εκτέλεση μιας ενέργειας. Μια άλλη δυνατότητα είναι να διακοπεί η ροή των γεγονότων ανάμεσα στους κόμβους στα διαγράμματα μεταβλητότητας.

Γενικά, η ανάλυση του ατυχήματος και το αντίστοιχο διάγραμμα μεταβλητότητας παρουσιάζεται ως μια ακολουθία ή ένα δέντρο που περιέχει παρατηρήσιμα γεγονότα ή ανθρώπινες δραστηριότητες. Με σκοπό τη διακοπή της ακολουθίας των γεγονότων που οδηγούν στο ατύχημα, αναζητούνται κόμβοι στο διάγραμμα που είναι επιλέξιμοι για μια πιθανή ακύρωσή τους. Για κόμβους που αντιπροσωπεύουν εσφαλμένες δραστηριότητες, η ακύρωσή τους επιτυγχάνεται με τη βελτίωση των συνθηκών κάτω από τις οποίες λαμβάνονται οι αποφάσεις και δραστηριοποιείται ο άνθρωπος. Για κόμβους που αντιπροσωπεύουν μη κανονικές καταστάσεις του περιβάλλοντος εργασίας, η ακύρωσή τους γίνεται με βελτίωση αυτών των καταστάσεων.

Σε συνέχεια του προηγούμενου παραδείγματος (Σχήμα 12.9) παρουσιάζονται ενδεικτικοί τρόποι ακύρωσης κόμβων και διακοπής της ροής των γεγονότων. Συγκεκριμένα:

- Κόμβοι 1,2,3: Οι κόμβοι αυτοί σχετίζονται με τις συνθήκες του δρόμου και κατά συνέπεια είναι δύσκολο να ελεγχθούν ενδελεχώς. Ενδεχομένως μια ειδική πρόταση με μερική αποδοχή θα μπορούσε να είναι η προειδοποιητική σήμανση για επικίνδυνη στροφή.
- Κόμβος 4: Ο κόμβος αφορά την υπερφόρτωση του φορτηγού και οι σχετικές παρεμβάσεις, με απώτερο σκοπό τη διασφάλιση κατάλληλων συνθηκών οδήγησης, ενδέχεται να σχετίζονται με τις κάτωθι παραμέτρους:
 - Ανίχνευση: Παροχή οργάνου προειδοποίησης του οδηγού για περιπτώσεις υπερφόρτωσης του φορτηγού
 - Παρατήρηση: Δυνατότητα άμεσης πρόσβασης σε πληροφορίες που αφορούν το φορτίο του φορτηγού (π.χ. τύπος, ποσότητες κ.α.)

- Αξιολόγηση: Θέσπιση κατάλληλων κριτηρίων ελέγχου για την εφαρμογή των σχετικών διαδικασιών φόρτωσης και οδήγησης του φορτηγού (π.χ. συνθήκες εργασίες, δείκτες απόδοσης, ποινές κ.λπ.)
- Κόμβοι 5,6 : Οι κόμβοι αυτοί αφορούν τη λειτουργία του φορτηγού και η ακύρωσή τους είναι πιθανόν να επιτυγχάνεται με αλλαγή των διαδικασιών ελέγχου και επιλογής των φορτηγών.
- Κόμβος 7: Ο κόμβος σχετίζεται με την ανεπαρκή συντήρηση, και κατά συνέπεια η ακύρωσή του δύναται να υλοποιηθεί μέσω της θέσπισης νέων διαδικασιών ελέγχου, την αναδιάρθρωση του τμήματος συντήρησης κ.α.
- Κόμβος 8: Ο κόμβος αφορά τα ελαττωματικά φρένα. Μια κατάλληλη εφαρμογή προειδοποιητικού σήματος στον οδηγό για το ότι τα φρένα έχουν φθαρεί αποτελεί μια πρόταση για την ακύρωση του κόμβου.
- Κόμβοι 9,10,11: Εφόσον ο οδηγός αποκτήσει επίγνωση του προβλήματος, οι κόμβοι θα μπορούσαν να ακυρωθούν εάν ο οδηγός αντιδρούσε με κατάλληλες ενέργειες ώστε να αποφευχθεί η σύγκρουση και να διασφαλιστεί η ακεραιότητα των περαστικών, του φορτηγού και του φορτίου.
- Κόμβος 12: Ο κόμβος αφορά πιθανούς τραυματισμούς, οι οποίοι προκειμένου να αποφευχθούν θα πρέπει να συλλεχτούν περαιτέρω πληροφορίες αναφορικά με τη χρήση ζώνης ασφάλειας από τον οδηγό, τη διέλευση περαστικών, την αποκόλληση τμημάτων του φορτηγού σε περίπτωση σύγκρουσης κλπ.

Για την αποφυγή της πορείας με την επικίνδυνη στροφή (διακοπή Α) προτείνεται η καλύτερη πληροφόρηση για τις απότομες στροφές μέσω οδοσήμανσης και η κατανόηση των σχέσεων κλίσης/φορτίου, ώστε οι έμπειροι οδηγοί να κάνουν γρήγορες εκτιμήσεις για την ταχύτητα στροφής του φορτηγού. Η διακοπή των ακολουθιών μπορεί επίσης να γίνει στο σημείο Β, εάν υποθεθεί ότι ο οδηγός είναι πιο προσεκτικός και δεν αποδεχθεί το φορτηγό με ελαττωματικά φρένα. Σημειώνεται εδώ, ότι οι παραπάνω ακυρώσεις και διακοπές είναι ενδεικτικές και μη πλήρεις. Η χρήση παραπλήσιων διαγραμμάτων μεταβλητότητας για την ανάλυση παρόμοιων ατυχημάτων θα βοηθήσει να ανεβρεθούν οι καλύτερες παρεμβάσεις που μπορούν να αποτρέψουν την επανάληψη του ατυχήματος.

12.4. Ανάλυση κοινωνικο-τεχνικών συστημάτων

Η φύση των μεθόδων διερεύνησης ατυχημάτων έχει αρχίσει να αλλάζει τις τελευταίες δεκαετίες, λόγω της αυξανόμενης πολυπλοκότητας των συστημάτων παραγωγής και των συστημάτων διαχείρισης ασφάλειας. Δεν αρκεί πλέον η ανάλυση της αλυσίδας των γεγονότων που οδήγησε στο ατύχημα, αλλά απαιτείται βαθύτερη ανάλυση του ευρύτερου κοινωνικο-τεχνικού συστήματος για τη διερεύνηση των γενεσιουργών αιτιών. Τα δένδρα αστοχιών και τα διαγράμματα μεταβλητότητας μπορεί να εξετάζουν τις επιδράσεις των συνθηκών εργασίας στην πρόκληση ανθρωπίνων λαθών, αλλά δεν επαρκούν για την ανάδειξη του συμπλέγματος των εργασιακών και οργανωτικών παραγόντων που ενυπάρχουν στο σύστημα παραγωγής σε λανθάνουσα κατάσταση. Για το λόγο αυτό παρουσιάζονται δύο νέες τεχνικές διερεύνησης (ACCIMAP, STAMP) που εστιάζουν στις πιθανές αιτίες σε όλα τα επίπεδα της οργάνωσης των συστημάτων.

Ένα σημαντικό στοιχείο αυτών των νέων τεχνικών διερεύνησης είναι η αποφυγή του όρου «ανθρώπινο λάθος» και η αντικατάστασή του με τον όρο «περιορισμοί ασφαλείας». Επομένως, οι προτεινόμενες τεχνικές αποσκοπούν στον καθορισμό τόσο των τεχνικών περιορισμών (π.χ. όρια ανοχής-ασφαλείας των μεταβλητών του συστήματος) όσο και των λειτουργικών περιορισμών (π.χ. περιθώρια ελέγχου και χρονικής δράσης των ατόμων, εύρος καθηκόντων και περιθώρια αυτονομίας, κατανομή καθηκόντων) που προδιαγράφουν την περιοχή ασφαλείας μέσα στην οποία θα πρέπει να κινούνται όλες οι ενέργειες των εργαζομένων.

Παρόλο που αμφότερες οι τεχνικές εστιάζουν στους περιορισμούς ασφαλείας, όπως αυτοί χαρακτηρίζουν όλα τα στρώματα της ιεραρχίας ενός οργανισμού, υπάρχουν αρκετές λεπτές διαφορές μεταξύ τους. Όπως φαίνεται από τις παρακάτω ενότητες, η τεχνική ACCIMAP διατηρεί την περιγραφή της χρονικής διαδοχής των επικίνδυνων γεγονότων και επισφαλών ενεργειών στο κατώτερο επίπεδο αναφοράς του οργανισμού. Απεναντίας, η τεχνική STAMP εστιάζει μόνο στον ιεραρχικό έλεγχο των οργανισμών, και προτείνει τους βρόχους σκέψης – δράσης ως θεμελιώδες πλαίσιο ανάλυσης. Με τον τρόπο αυτό, όλες οι δράσεις που λαμβάνουν χώρα σε διαφορετικά επίπεδα του οργανισμού αναλύονται υπό τους ίδιους όρους. Επίσης, είναι ευκολότερο να προσδιορισθεί η αποτελεσματικότητα των ελέγχων, καθόσον υπάρχουν διαφορετικές ταχύτητες δράσης στα διαφορετικά επίπεδα, διαφορετικός βαθμός αβεβαιότητας, καθώς και διαφορετικές διαστρεβλώσεις των πληροφοριών που φθάνουν στα επίπεδα αυτά. Κατά συνέπεια, η τεχνική STAMP περιγράφει καλύτερα τόσο τη δυναμική εξέλιξη των γεγονότων και όσο και τους οργανωτικούς παράγοντες που τα επηρεάζουν.

12.4.1 Μέθοδος ACCIMAP

Αναπαράσταση αποφάσεων & πληροφοριών σε κοινωνικο-τεχνικά συστήματα

Η τεχνική ACCIMAP αναπτύχθηκε από τους Rasmussen & Svedung (2000) για να αναλύσει τον έλεγχο των κοινωνικο-τεχνικών συστημάτων και τις καταστάσεις που μπορούν να οδηγήσουν σε ατυχήματα. Σύμφωνα με την τεχνική αυτή, προκειμένου να υπάρξει ασφάλεια στη λειτουργία ενός συστήματος, θα πρέπει να μελετούνται τόσο οι δραστηριότητες των εργαζομένων, όσο και οι έλεγχοι που ασκούνται από τα ανώτερα και διευθυντικά κλιμάκια της επιχείρησης. Ακόμη, είναι σημαντικό να μελετηθεί η αξιολόγηση και η εποπτεία των Συστημάτων Διαχείρισης Ασφάλειας (ΣΔΑ) μιας επιχείρησης, από τις αρμόδιες ρυθμιστικές αρχές. Παρόλο που η συνεισφορά του κάθε επιπέδου ελέγχου μελετάται από ξεχωριστές επιστήμες (π.χ. διοίκηση επιχειρήσεων, σχεδιασμός τεχνικών διαδικασιών, αυτόματος έλεγχος, ανθρώπινη αξιοπιστία) η διερεύνηση ατυχημάτων θα πρέπει να εξετάσει όλες τις αποφάσεις που λαμβάνονται σε κάθε επίπεδο ελέγχου του οργανισμού.

Η μέθοδος ACCIMAP προτείνει τα ακόλουθα στάδια ανάλυσης:

- Μελέτη των καθημερινών εργασιών, όπως εκτελούνται πραγματικά από τους χειριστές, καθώς και των συνθηκών εργασίας που επηρεάζουν τη λήψη αποφάσεων και το σχεδιασμό δράσεων
- Μελέτη των πληροφοριακών αναγκών των χειριστών και των τμηματάρχων, τόσο

για τη διεκπεραίωση των εργασιών όσο και για την αξιολόγηση της προόδου των εργασιών και του συντονισμού μεταξύ των τμημάτων (ανάδραση)

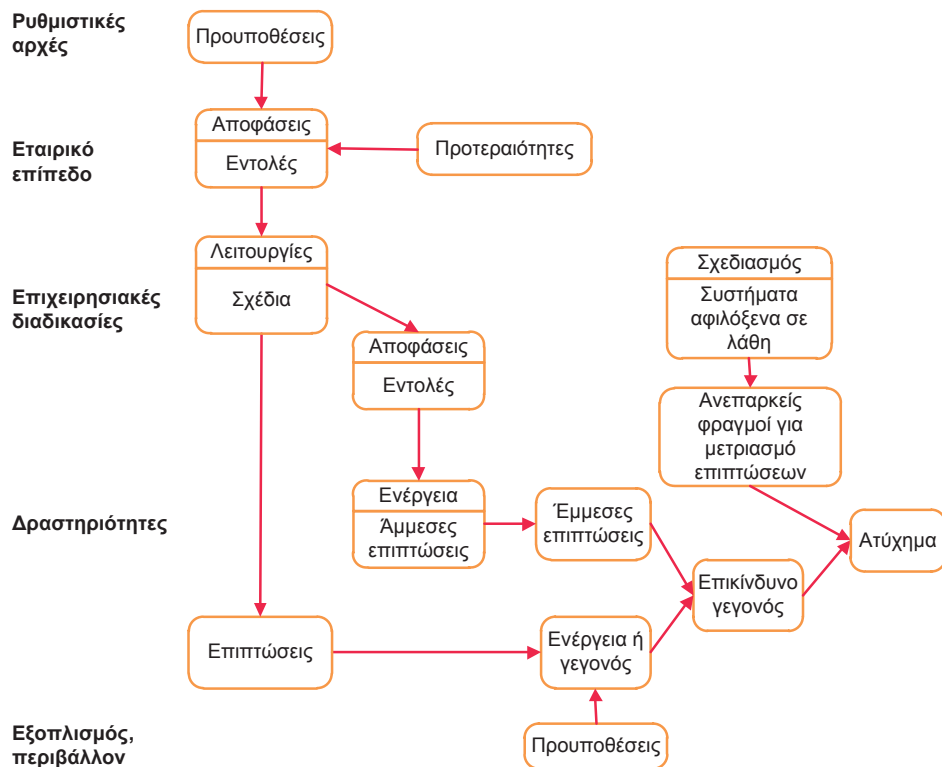
- Ανασκόπηση των τρόπων διακίνησης των προφορικών και γραπτών πληροφοριών σε όλες τις κατευθύνσεις στον οργανισμό
- Ανάλυση της επάρκειας των μέσων για την εκτέλεση των εργασιών, καθώς και των σχεδιαστικών χαρακτηριστικών του συστήματος που μπορεί να διευκολύνουν ή να παρακωλύουν τη διόρθωση των αστοχιών.

Το ίδιο διάγραμμα χρησιμοποιείται για την απεικόνιση των ενεργειών των χειριστών, των εντολών των τμηματάρχων, των αποφάσεων των στελεχών και των ρυθμιστικών αρχών. Με άλλα λόγια, η ανάλυση επικεντρώνεται στον έλεγχο όλων των δραστηριοτήτων του οργανισμού, προσπαθώντας να διερυνήσει τα ακόλουθα:

- τις αποφάσεις και τις δράσεις του προσωπικού σε όλα τα ιεραρχικά επίπεδα του κοινωνικο-τεχνικού συστήματος
- την οριοθέτηση των περιοχών ευθύνης κάθε εργαζόμενου-προϊστάμενου, καθώς και τον προσδιορισμό των αρμοδιοτήτων που μπορεί να επικαλύπτονται σε ιδιαίτερες συνθήκες
- την επικοινωνιακή δομή της επιχείρησης που επηρεάζει τον τρόπο διακίνησης των πληροφοριών, τη συχνότητα ανάδρασης, και την προσαρμογή των εντολών από τα ανώτερα κλιμάκια.

Με τον τρόπο αυτό, εξετάζονται τόσο οι αποφάσεις που λαμβάνονται σε διαφορετικά επίπεδα, όσο και οι ανάγκες σε πληροφόρηση και συντονισμό. Μια ισορροπία ανάμεσα στις «απαιτήσεις-πιέσεις» μιας κατάστασης και στην «ποιότητα και ταχύτητα διάδοσης των πληροφοριών και αποφάσεων» εξασφαλίζει την ασφαλή λειτουργία του συστήματος. Επομένως, η μέθοδος ACCIMAP ενδιαφέρεται πρωτίστως για τον τρόπο που προσαρμόζονται οι αποφάσεις και οι δράσεις των εργαζομένων στις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις του συστήματος παραγωγής. Το διάγραμμα της ACCIMAP (Σχήμα 12.10) βασίζεται σε μία ιεραρχική ανάλυση του συστήματος (Abstraction Systems Hierarchy, Rasmussen, 1986) που απεικονίζει το σύστημα εργασίας με τη χρήση ενός μικρού αριθμού ιεραρχικών επιπέδων τα οποία περιλαμβάνουν:

- *το επίπεδο των ρυθμιστικών αρχών*, όπου οι νομοθετικές αρχές μετατρέπονται σε κανόνες ασφάλειας και κανονισμούς που ρυθμίζουν τις υποχρεώσεις των επιχειρήσεων και τις ανάγκες των ΣΔΑ
- *το εταιρικό επίπεδο*, όπου οι επιχειρήσεις αναπτύσσουν τις πολιτικές ασφάλειας και τα ΣΔΑ για να συμμορφωθούν με τις νομοθετικές υποχρεώσεις
- *το επίπεδο των επιχειρησιακών διαδικασιών*, όπου οι προϊστάμενοι και οι τμηματάρχες φροντίζουν ώστε οι εργαζόμενοι να εφοδιάζονται με τα κατάλληλα εργαλεία και μέσα εργασίας, τις απαραίτητες δικλίδες ασφαλείας, και τέλος, τις γραπτές οδηγίες για την υποστήριξη της ανθρώπινης αξιοπιστίας. Στο επίπεδο αυτό μοντελοποιούνται οι αποφάσεις/εντολές και οι λειτουργίες/σχέδια των μεσαίων στελεχών που έχουν επιπτώσεις στους εργαζόμενους και στον εξοπλισμό
- *το επίπεδο των δραστηριοτήτων*, όπου οι εργαζόμενοι ασκούν τις δραστηριότητες που σχετίζονται με τον έλεγχο των επικίνδυνων γεγονότων
- *το επίπεδο του εξοπλισμού και του περιβάλλοντος εργασίας*, όπου λαμβάνουν χώρα οι δραστηριότητες με τον κατάλληλο εξοπλισμό και χώρο εργασίας.



Σχήμα 12.10. Διάγραμμα ACCIMAP με τις ροές αποφάσεων και πληροφοριών που επηρεάζουν την αλυσίδα των γεγονότων στα δύο κατώτερα επίπεδα

Τα επίπεδα αυτά συνδέονται με την ροή των αποφάσεων και των πληροφοριών, με τις ρυθμιστικές αποφάσεις και τους διοικητικούς κανονισμούς, καθώς και με τις πληροφορίες σχετικά με την πραγματική κατάσταση του συστήματος. Αυτή η διασύνδεση είναι απαραίτητη, διότι εάν οι εντολές από τα υψηλότερα επίπεδα δεν εφαρμόζονται, ή εάν οι πληροφορίες ανάδρασης εκ των κάτω διαστρεβλώνονται ή καθυστερούν να φθάσουν σε υψηλότερα επίπεδα, δεν θα είναι δυνατή η αποτελεσματική αντιμετώπιση των κινδύνων. Με τον τρόπο αυτό απεικονίζεται τόσο η χρονική διαδοχή των γεγονότων στα δύο κατώτερα επίπεδα, καθώς και η ροή των πληροφοριών και των αποφάσεων από τα τρία ανώτερα επίπεδα. Ετσι, το διάγραμμα της ACCIMAP αποτελεί μια χαρτογράφηση (map) των παραγόντων και των συσχετίσεων που συμβάλλουν σε μια σειρά ανεπιθύμητων γεγονότων (δηλαδή την περιγραφή γεγονότων στα δύο τελευταία επίπεδα) τα οποία μπορούν να συνδυαστούν και να προκαλέσουν ένα ατυχηματικό γεγονός (accident).

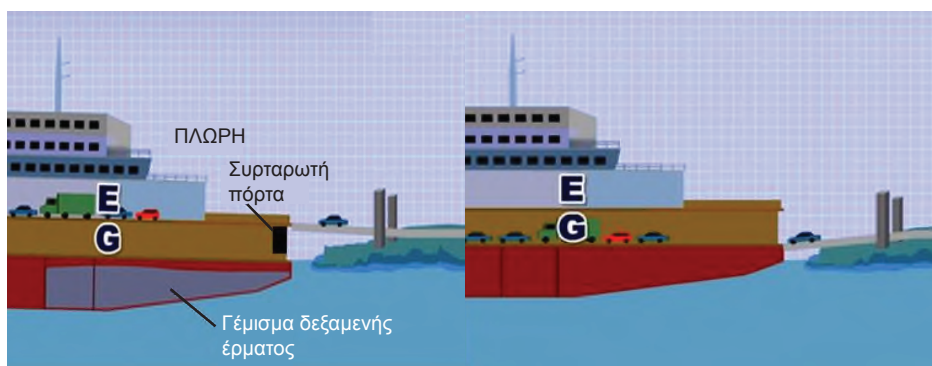
Εφαρμογή της ACCIMAP στη βύθιση του φέρυ Herald of Free Enterprise

Στις 06/03/1987 το πλοίο Herald of Free Enterprise, επιβατικό και φέρυ φορτίου (RO-RO), αναχώρησε από το λιμάνι Zeebrugge του Βελγίου για το Ντόβερ της Αγγλίας, με ελαφρύ κυματισμό ή φουσκοθαλασσιά. Το πλοίο πέρασε τον εξωτερικό μόλο του λι-

μανιού, και λίγα λεπτά αργότερα έβαλε νερά από την αριστερή πλευρά του και τελικά βυθίστηκε, προκαλώντας την απώλεια 188 επιβατών. Στο παρελθόν είχαν εκφρασθεί ανησυχίες για την ασφάλεια των πλοίων RO-RO (roll-on, roll-off) τα οποία επέτρεπαν την είσοδο αυτοκινήτων από την πλώρη και την έξοδό τους από την πρύμνη. Αυτό όμως το σχεδιαστικό χαρακτηριστικό καθιστούσε αδύνατη τη χρήση διαχωρισμάτων στο κέλυφος του πλοίου, τα οποία θα μπορούσαν να δημιουργήσουν στεγανούς χώρους και να εμποδίσουν την ανεξέλεγκτη ροή υδάτων που πιθανόν να εισερχόταν στο πλοίο. Έτσι, τα κύματα της θάλασσας που εισήλθαν στο κατάστρωμα των αυτοκινήτων οδήγησαν σε απώλεια ισορροπίας και μεγάλη αριστερή κλίση του πλοίου, το οποίο βυθίστηκε σε μικρό χρονικό διάστημα.

Στο Zeebrugge δεν ήταν δυνατό να φορτωθούν ταυτόχρονα τα καταστρώματα E και G (όπως γινόταν στα προηγούμενα δρομολόγια μεταξύ Dover και Calais), αλλά μόνο το κάτω κατάστρωμα G, διότι το λιμάνι αυτό ήταν κατάλληλο για φόρτωση πλοίων ενός καταστρώματος κάθε φορά. Για να φορτωθεί λοιπόν το υψηλότερο κατάστρωμα E, έπρεπε είτε να σηκωθεί η ράμπα του λιμανιού προς τα επάνω, είτε να κατέβει το πλοίο. Για το λόγο αυτό, το πλοίο χρησιμοποιούσε δύο δεξαμενές έρματος, ώστε όταν κατεβεί η πλώρη η ράμπα του λιμένος να φτάσει στο κατάστρωμα E. (Σχήμα 12.11).

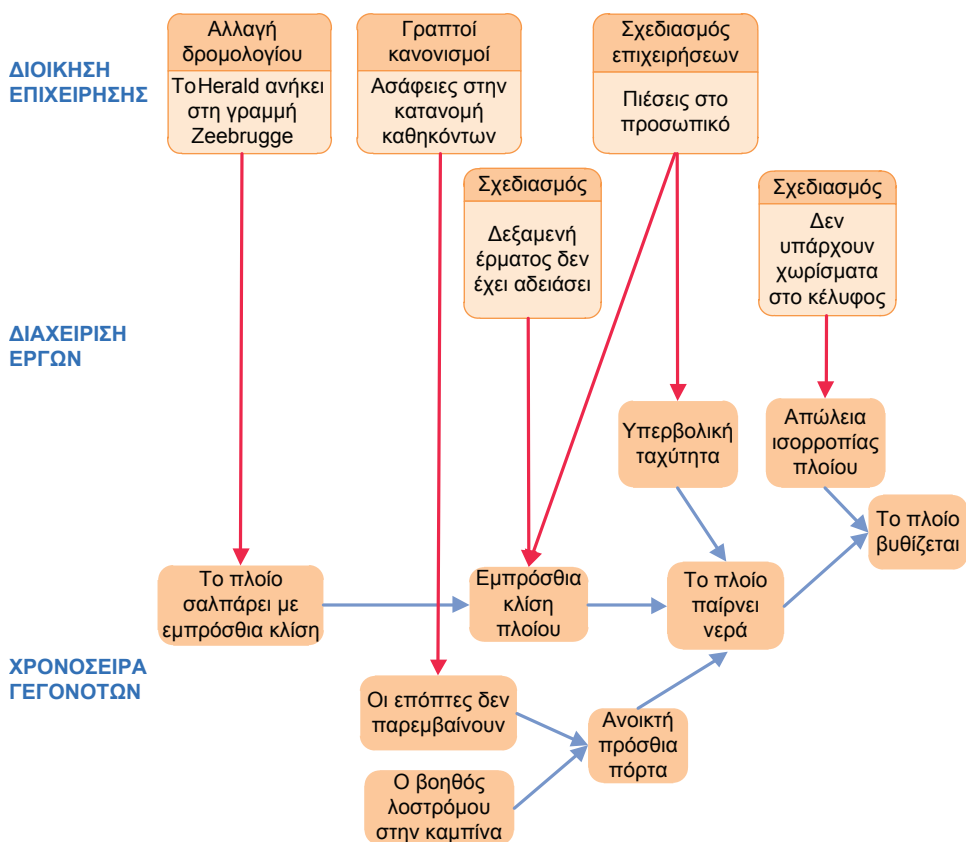
Κατά την αναχώρηση, πολλές φορές το πλοίο είχε εμπρόσθια κλίση, πράγμα που ανάγκαζε τον πλοίαρχο να περιορίζει την ταχύτητα του πλοίου κατάλληλα, ώστε το νερό της θάλασσας να μην υπερβαίνει το καθορισμένο όριο στη πλώρη. Ο πλοίαρχος προφανώς εκείνη την ημέρα δεν ακολούθησε την πρακτική αυτή, και ανέπτυξε ταχύτητα 18 κόμβων με αποτέλεσμα το κύμα στην πλώρη να υπερβεί κατά 2 μέτρα το ανώτερο επιτρεπτό όριο. Επίσης, η δεξαμενή έρματος της πλώρης δεν είχε αδειάσει πλήρως, με αποτέλεσμα η πλώρη να διατηρήσει την αρχική εμπρόσθια κλίση που είχε κατά την φόρτωση του πλοίου. Η είσοδος του νερού στο κατάστρωμα των αυτοκινήτων απέκτησε ορμή, με αποτέλεσμα το πλοίο να πάρει κλίση αριστερή κλίση 30°, η οποία αυξήθηκε επικίνδυνα επειδή το νερό συνέχιζε να εισέρχεται, καθώς η πόρτα της πλώρης παρέμενε ανοικτή. Επομένως, στο εν λόγω ατύχημα συνέβησαν τρία γεγονότα: (α) υπερβολική για την περίπτωση επιτάχυνση του πλοίου αντίθετα



Σχήμα 12.11. Ρύθμιση της πλώρης του πλοίου και της ράμπας του λιμένος για την είσοδο των οχημάτων

με την προϋπάρχουσα πρακτική, (β) εμπρόσθια κλίση του πλοίου λόγω του προβλήματος με την δεξαμενή έρματος και (γ) διατήρηση ανοικτής πόρτας στη πλώρη του πλοίου. Στο Σχήμα 12.12 αναπαρίστανται τα τρία αυτά γεγονότα στο κατώτερο επίπεδο των γεγονότων με τη μέθοδο Accimap.

Όσον αφορά την ανοικτή πόρτα στην πλώρη, ο βοηθός λοστρόμου είχε καθήκον να κλείνει την πόρτα κατά την ώρα αναχώρησης του πλοίου, ενέργεια όμως την οποία δεν εκτέλεσε, διότι αποκοιμήθηκε στην καμπίνα του. Ο λοστρόμος κατέθεσε ότι αυτός ήταν το τελευταίο άτομο που άφησε το κατάστρωμα G, και δεν είδε κανέναν άλλο εκεί για να κλείσει την πόρτα. Δυστυχώς, ο λοστρόμος είχε λανθασμένη αντίληψη για τα καθήκοντά του, και θεώρησε ότι ο βοηθός του θα έρθει να κλείσει τις πόρτες. Οι οδηγίες εργασιών είχαν αρκετές ασάφειες για την κατανομή των καθηκόντων. Για παράδειγμα, οι οδηγίες ανέφεραν ότι είναι καθήκον του «αξιωματικού φόρτωσης» να εξασφαλίζει την πρόσθια πόρτα ώστε να είναι ασφαλής, ευθύς με την αναχώρηση του πλοίου από το λιμάνι. Οι οδηγίες αυτές ερμηνεύθηκαν ότι «ο αξιωματικός φόρτωσης ήταν υποχρεωμένος απλά να δει ότι κάποιος ήταν παρών στους ελέγχους και ήταν έτοιμος να κλείσει τις πόρτες». Ο χρόνος μεταξύ του πέρα-



Σχήμα 12.12. Χρονική διαδοχή γεγονότων και επιδράσεις παραγόντων με τη μέθοδο Accimap αναφορικά με τη βύθιση του Herald of Free Enterprise

τος της φόρτωσης και του κλεισίματος των θυρών ήταν το πολύ 3 λεπτά. Η πρακτική όμως ήταν συνήθως να φεύγουν οι αξιωματικοί, υπό την πίεση του χρόνου, και να αφήνουν τη νηοδόχο ευθύς μόλις ολοκληρωνόταν η φόρτωση. Με το σύστημα ενδο-επικοινωνιών, καλούσαν τη γέφυρα και δινόταν η έγκριση για την εντολή «λάβετε θέσεις ταξιδιού». Όμως πολύ συχνά αυτή η εντολή δίνονταν πριν την ολοκλήρωση της φόρτωσης!

Από το Σχήμα 12.12 γίνεται αντιληπτό ότι δύο ακόμη σχεδιαστικοί παράγοντες συνέβαλλαν στο ατύχημα αυτό. Ο πρώτος αφορά τον τρόπο που άνοιγε η πόρτα της πλώρης του πλοίου, και ο δεύτερος την εγκατάσταση αντλιών με αρκετή κινητήρια δύναμη που θα καθιστούσαν ικανή την ταχύτερη εκκένωση των δεξαμενών έρματος του πλοίου. Αναφορικά με τον πρώτο παράγοντα, σε μερικά φέρυ RO-RO, η πόρτα της πλώρης ανασηκωνόταν σε όρθια θέση με αποτέλεσμα ο πλοίαρχος εύκολα να διαπιστώνει από τη γέφυρα σε ποία θέση βρισκόταν οι πόρτες. Στο Herald όμως, οι πόρτες άνοιγαν συρταρωτά προς τα πλάγια, και δεν ήταν ορατή η θέση τους από τη γέφυρα του πλοίου. Έτσι, ο βοηθός λοστρόμου είχε επιφορτισθεί με το καθήκον να ελέγχει τη θέση της πρόσθιας πόρτας. Στο παρελθόν υπήρχε πρόταση για εγκατάσταση μιας ενδεικτικής λυχνίας στο θάλαμο πλοηγήσεως του πλοίαρχου, που θα έδειχνε τη θέση κάθε πόρτας εισόδου, δυστυχώς όμως απορρίφθηκε από τη διοίκηση της επιχείρησης. Ο δεύτερος σχεδιαστικός παράγοντας έχει σχέση με τη σύνδεση της πρόσθιας δεξαμενής έρματος με ισχυρότερες αντλίες, ικανές να αδειάσουν ταχύτερα τις δεξαμενές, μετά την απομάκρυνση του πλοίου από το λιμάνι. Στη διοίκηση υπήρχε ανάλογη πρόταση, αλλά το αίτημα των μηχανικών δεν ικανοποιήθηκε, με αποτέλεσμα το πλοίο να αναχωρήσει με εμπρόσθια κλίση από το λιμάνι.

12.4.2 Μέθοδος STAMP

Η θεώρηση του ιεραρχικού ελέγχου στη διαχείριση της ασφάλειας

Η μεθοδολογία STAMP (Systems-Theoretic Accident Model and Processes) έχει χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη της συστημικής ασφάλειας μιας επιχείρησης, και στόχο έχει να αναπτύξει μηχανισμούς ελέγχου τόσο του προσωπικού όσο και του τεχνολογικού εξοπλισμού, ώστε να ανταπεξέρχεται σε αναπάντεχα γεγονότα. Η βασική θέση της STAMP (Leveson 2004, 2012) είναι ότι κάθε οργανισμός πρέπει να εκπονεί μια μελέτη ασφάλειας ώστε να εντοπίσει όλους τους περιορισμούς που είναι απαραίτητοι για την ασφαλή λειτουργία του συστήματος παραγωγής, και να φροντίσει να δημιουργήσει μηχανισμούς επιβολής των περιορισμών σε καθημερινή βάση.

Στη μεθοδολογία αυτή, ένα κοινωνικό-τεχνικό σύστημα αποτελείται από επιμέρους στοιχεία τα οποία αλληλεπιδρούν σε ένα δυναμικό περιβάλλον. Κάθε φορά ωστόσο, το σύστημα προσπαθεί να προσαρμοστεί στο δυναμικό περιβάλλον, χρησιμοποιώντας μια σειρά από βρόχους ελέγχου σε όλα τα ιεραρχικά επίπεδα. Με άλλα λόγια, οι βρόχοι ελέγχου στα ανώτερα επίπεδα καθορίζουν τους στόχους, τα μέσα και τους περιορισμούς εντός των οποίων πρέπει να κινηθούν τα κατώτερα επίπεδα για την επίτευξη των στόχων αυτών. Οι περιορισμοί ασφάλειας καθορίζουν το πεδίο δράσης και το βαθμό ελευθερίας των βρόχων ελέγχου, ώστε η λειτουργία του συστήματος να πραγματοποιείται με ασφαλή τρόπο. Η μεθοδολογία STAMP ορίζει τη διαχείριση της ασφάλειας ως μια συνεχή προσπάθεια να επιβληθούν κάποιοι περιορισμοί, προ-

κειμένου οι προσαρμογές στο μεταβαλλόμενο περιβάλλον να γίνονται ομαλά και να αποφεύγονται τα συμβάντα.

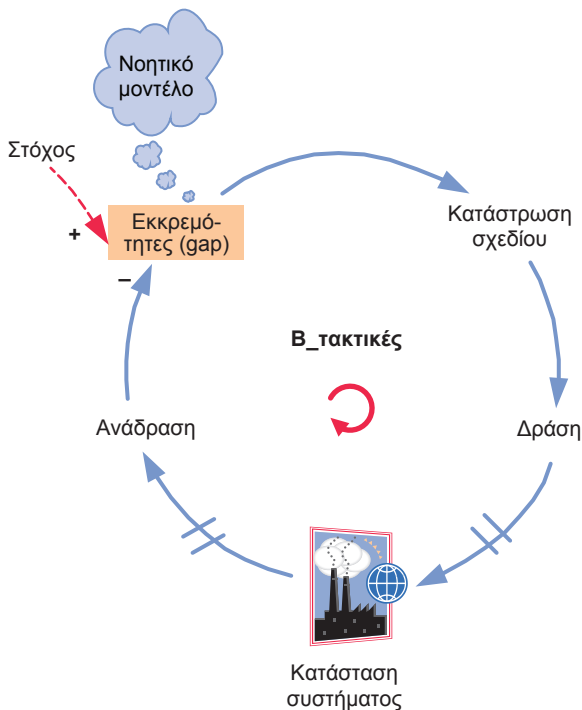
Για παράδειγμα, οι περιορισμοί ασφαλείας που πρέπει να διασφαλίζει ο αυτόματος έλεγχος στις πόρτες των τρένων περιλαμβάνουν τα κάτωθι:

- οι πόρτες δεν θα πρέπει να ανοίγουν όταν το τρένο βρίσκεται εν κινήσει
- οι πόρτες δεν θα πρέπει να κλείνουν τη στιγμή της επιβίβασης
- οι πόρτες θα πρέπει να ανοίγουν σε περίπτωση εκτάκτου ανάγκης.

Σύμφωνα με την STAMP, ένας βρόχος ελέγχου μπορεί να αποτελείται από τα παρακάτω στοιχεία (Σχήμα 12.13):

- τον προς επίτευξη στόχο, ο οποίος συνήθως πρέπει να είναι συμβατός με τις οδηγίες που λαμβάνονται από τα ανώτερα επίπεδα της διοίκησης
- το νοητικό μοντέλο που καθοδηγεί την ερμηνεία των πληροφοριών
- το σχέδιο δράσης που αναπτύσσεται σύμφωνα με τους περιορισμούς στην ασφάλεια
- την υλοποίηση της δράσης που γίνεται είτε μέσω εντολών προς τους υφισταμένους είτε απευθείας μέσω πράξεων στον εξοπλισμό
- την ανάδραση-ενημέρωση για την πρόοδο των εργασιών, ώστε να γίνει μια αναγνώριση της τρέχουσας κατάστασης του συστήματος και να εκτιμηθεί πόσο κοντά βρισκόμαστε στην επίτευξη του στόχου.

Κατά κάποιο τρόπο, το νοητικό μοντέλο μπορεί να υποστηρίξει την αναγνώριση και ερμηνεία ενός προβλήματος. Υποθέτουμε ότι το νοητικό μοντέλο περιλαμβάνει τόσο



Σχήμα 12.13. Θεμελιώδης βρόχος σκέψης – δράσης του ανθρώπου

θεωρητικές γνώσεις για τη λειτουργία του συστήματος παραγωγής και των αυτοματισμών, όσο και γνώσεις για τα όρια ευθύνης του χειριστή και τις διαδικασίες συντονισμού με τους συναδέλφους του, αποτυπώνοντας μερικώς τη νοοτροπία των εργαζομένων και τη στάση τους για τον οργανισμό γενικά. Η νοοτροπία και η θεώρηση που έχει κάποιος για τους σκοπούς και τις πολιτικές του οργανισμού, έχει σημαντική επίδραση στον τρόπο με τον οποίο σκέπτεται, βάζει στόχους, περιορισμούς και κριτήρια επιλογής στις δράσεις του. Σε πολλές περιπτώσεις, το νοητικό μοντέλο των εργαζομένων μπορεί να μην είναι πλήρες, να μην είναι ενημερωμένο για πρόσφατες αλλαγές στο σύστημα εργασίας ή ακόμη μπορεί να είναι λανθασμένο.

Αναλυτικότερα, προβλήματα μπορεί να υπάρχουν με τους στόχους που θέτει ένας εργαζόμενος, επειδή μπορεί να παραβιάζουν τους περιορισμούς ασφαλείας ή να έρχονται σε αντίθεση με τους γενικούς στόχους του οργανισμού. Πολλές φορές, ένας στόχος μπορεί να συμβάλλει στην καλύτερη απόδοση ενός τμήματος, αλλά αυτή η τοπική βελτίωση να είναι σε βάρος της συνολικής λειτουργίας της επιχείρησης. Επιπλέον, οι στόχοι μπορεί να μην έχουν σωστές προτεραιότητες, να μην είναι ξεκάθαροι ή να έρχονται με μεγάλη καθυστέρηση. Ακόμη, ενδέχεται να προκύψουν προβλήματα που αφορούν τα σχέδια δράσης. Για παράδειγμα, ένα σχέδιο δράσης που αναπτύσσεται από μία ομάδα χειριστών μπορεί να μη συμμορφώνεται με τους γραπτούς κανονισμούς και τα εγχειρίδια εργασίας. Αυτό μπορεί να συμβαίνει είτε διότι οι μηχανικοί και οι σχεδιαστές έχουν γράψει ένα εγχειρίδιο χωρίς να γνωρίζουν τις καθημερινές πρακτικές των χειριστών, είτε διότι οι χειριστές προσπαθούν να εξερευνήσουν κάποιες παρακαμπτήριες λύσεις για να αυξήσουν την παραγωγικότητα και την ταχύτητα επίτευξης των στόχων.

Άλλα θέματα μπορεί να σχετίζονται με την υλοποίηση των σχεδίων δράσης. Για παράδειγμα, ένα σχέδιο δράσης μπορεί να διακοπεί και να έχει καθυστερήσεις ή μπορεί να εκτελεσθεί με λανθασμένο τρόπο λόγω πίεσης χρόνου. Σε άλλες περιπτώσεις, ένα σχέδιο δράσης μπορεί να εκτελείται με μεγάλη επιτυχία, αλλά να προκαλεί παρενέργειες σε εργασίες που εκπονούνται σε διάφορα τμήματα της επιχείρησης. Η μεθοδολογία STAMP προτείνει ένα συγκεκριμένο σχήμα ταξινόμησης των πιθανών αστοχιών στον έλεγχο των συστημάτων παραγωγής, το οποίο παρουσιάζεται στον Πίνακα 12.1.

Η μέθοδος STAMP δεν εστιάζει στην αλυσίδα των γεγονότων που προκάλεσε το ατύχημα, αλλά στο σύστημα ελέγχου του οργανισμού από τα διοικητικά στελέχη, τους προϊσταμένους, τους επόπτες μέχρι τους χειριστές που βρίσκονται στην πρώτη γραμμή του εξοπλισμού. Με άλλα λόγια, η STAMP μελετά την ιεραρχική δομή του συστήματος ελέγχου, το συντονισμό στο οριζόντιο επίπεδο, και τη μετάδοση των οδηγιών στο κατακόρυφο επίπεδο, που απαιτούνται για τον έλεγχο της παραγωγής σύμφωνα με τους περιορισμούς ασφαλείας. Η ανάδραση στον οργανισμό είναι επίσης βασικό στοιχείο της ανάλυσης STAMP διότι η αξιοπιστία, η πληρότητα και η ταχύτητα μετάδοσης των πληροφοριών για την πρόοδο των εργασιών δημιουργεί κλειστούς βρόχους ελέγχου.

Πίνακας 12.1. Αστοχίες σε κύκλους σκέψης – δράσης σε όλα τα ιεραρχικά επίπεδα

Στοιχεία Ελέγχου	Περιγραφή
Στόχοι και αποφάσεις	• Ο στόχος οδηγεί σε παραβιάσεις της ασφάλειας • Λάθος εκτίμηση προτεραιοτήτων στην επιλογή στόχων • Εστίαση σε ένα μόνον στόχο ή λάθος στην αναθεώρηση
Νοητικό μοντέλο • Ανεπαρκή • Λανθασμένο • Αντιφατικό	• Ελλιπές νοητικό μοντέλο λόγω θεωρητικών γνώσεων • Ανεπαρκής ενημέρωση του μοντέλου για πρόσφατες αλλαγές • Ανεπαρκής αναθεώρηση/προσαρμογή βάσει ανάδρασης που έχει ανακριβή και καθυστερημένα δεδομένα
Κατευθύνσεις και σχέδια δράσης	• Αστοχίες στη δημιουργία σχεδίου δράσης • Ανεπαρκής ενημέρωση των κανονισμών σε αλλαγές • Ανεπαρκής αναθεώρηση/προσαρμογή του σχεδίου
Εκτέλεση δράσης (Πράξεις)	• Αστοχία στη χρήση των χειριστηρίων ελέγχου • Πρόβλημα στην επικοινωνία • Καθυστέρηση • Ανεπαρκής συντονισμός δράσεων μεταξύ χειριστών
Ανάδραση	• Παράλειψη απεικόνισης πληροφοριών • Αστοχία ενδεικτικών οργάνων • Πρόβλημα στην επικοινωνία • Καθυστέρηση

Σύμφωνα με τις αρχές της συστημικής προσέγγισης, ένα σύστημα αποτελείται από συστατικά τα οποία βρίσκονται σε μια δυναμική ισορροπία, καθώς οι βρόχοι ελέγχου αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, παρέχοντας συνεχώς νέες πληροφορίες για την κατάσταση του συστήματος. Κάθε βρόχος ελέγχου παίρνει πληροφορίες για την κατάσταση του συστήματος μέσω ανάδρασης (π.χ. ενημέρωση της προόδου μέσω κάποιων μεταβλητών) και προσαρμόζει το σχέδιο δράσης για την επίτευξη των στόχων. Ανάμεσα στα διαφορετικά επίπεδα του οργανισμού πρέπει να υπάρχει ανταλλαγή πληροφοριών, ώστε τα ανώτερα επίπεδα να ενημερώνονται από τα κατώτερα για την πρόοδο των εργασιών προκειμένου να αξιολογούν την επιτυχία των στόχων και τη συμμόρφωση με τους περιορισμούς ασφαλείας. Σε μερικές περιπτώσεις –όπου δεν υπάρχουν περιορισμοί ή δεν μεταφέρονται επαρκώς στα κατώτερα επίπεδα ή δεν επιβάλλονται σωστά– δημιουργούνται οι συνθήκες για αναποτελεσματικό έλεγχο του συστήματος, γεγονός το οποίο μπορεί να συμβάλλει στην πρόκληση ατυχήματος.

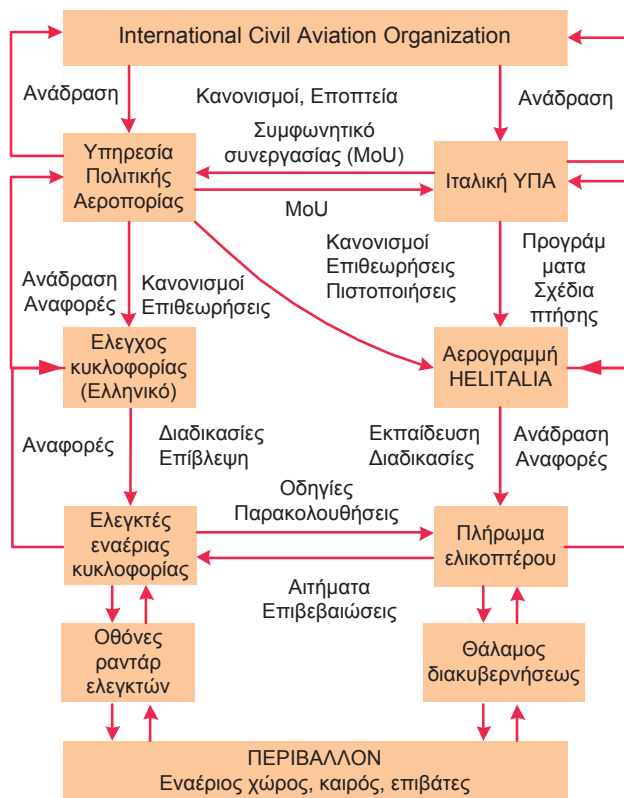
Αρκετοί ερευνητές έχουν προσπαθήσει να χρησιμοποιήσουν τη μέθοδο STAMP με προληπτικό τρόπο στον καθορισμό «προειδοποιητικών ενδείξεων» (early warning signs) για μελλοντικά ατυχηματικά γεγονότα. Συγκεκριμένα, οι Dokas et al. (2013) έχουν προτείνει την τεχνική EWaSAP η οποία επεκτείνει την STAMP με την ανάπτυξη ενός αλγορίθμου επεξεργασίας ενδείξεων σε μια εγκατάσταση χλωρίωσης πόσιμου ύδατος. Επίσης άλλες προσπάθειες έχουν στραφεί στην ανάδειξη γενικών αρχών για την δημιουργία μιας γενικής επαγρύπνησης και επίγνωσης ανησυχητικών ενδείξεων που διαπερνά όλα τα ιεραρχικά στρώματα του συστήματος ελέγχου της επιχείρησης (Chatzimichailidou et al. 2015).

Εφαρμογή της STAMP σε πτώση ελικοπτέρου ΕΚΑΒ αεροδιακομιδής

Την περίοδο 2000-2005, οι επιχειρήσεις διακομιδής του Εθνικού Κέντρου Άμεσης Βοήθειας (ΕΚΑΒ) είχαν ανατεθεί στην Ιταλική εταιρεία Helitalia, η οποία χρησιμοποιούσε συ-

Επιπλέον, ο συντονισμός του ελικοπτέρου με τον έλεγχο κυκλοφορίας γινόταν με ραδιοεπικοινωνίες, επειδή οι χαμηλές πτήσεις των ελικοπτέρων με κανόνες όψευς (VFR) δεν απεικονίζονται στις οθόνες των ραντάρ. Παρόλο που οι ελεγκτές ενημέρωσαν τον χειριστή-κυβερνήτη για την κατάσταση του καιρού, δεν ασχολήθηκαν επισταμένως μαζί του, λόγω του μεγάλου φόρτου εργασίας. Το ελικόπτερο ερχόταν με δική του ευθύνη να προσγειωθεί, και δεν ήταν στην αρμοδιότητα των ελεγκτών να του ζητήσουν να αλλάξει το δρομολόγιο. Από την άλλη πλευρά, ο χειριστής ερμήνευσε την απουσία συνεχούς καθοδήγησης από τους ελεγκτές ως ένδειξη ότι ο καιρός δεν ήταν απαγορευτικός για προσγείωση. Όταν συνειδητοποίησε ότι δεν μπορούσε να προσγειωθεί στην Αθήνα, το ελικόπτερο έκανε απότομη στροφή για να γυρίσει στη Σύρο, αλλά έπεσε σε ένα βίαιο καθοδικό ρεύμα αέρος και κατέπεσε.

Το πόρισμα-έκθεση της διερεύνησης του ατυχήματος έδωσε έμφαση στο ανθρώπινο λάθος, δηλαδή, στην απόφαση του χειριστή του ελικοπτέρου να προχωρήσει για προσγείωση στην Αθήνα, ενώ επιπλέον ανέφερε και κάποια προβλήματα στο συντονισμό με τον έλεγχο εναέριας κυκλοφορίας. Με τη χρήση της μεθόδου STAMP, πραγματοποιείται μια διαφορετική προσέγγιση, η οποία δεν εστιάζει στην αλυσίδα των γεγονότων που προκάλεσαν το ατύχημα, αλλά αναλύει τις αλληλεπιδράσεις των οργανισμών που ευθύνονται για τον έλεγχο των πτήσεων (π.χ. αερογραμμές, έλεγχος εναέριας κυκλοφορίας, εποπτικές αρχές και ICAO). Το Σχήμα 12.15 παρουσιάζει μια ιεραρχική αναπαράσταση των οργανισμών στον έλεγχο πτήσεως του ελικοπτέρου.



Σχήμα 12.15. Ιεραρχική δομή του συστήματος/περιβάλλοντος του ατυχήματος EKAB

Στο πρώτο, και χαμηλότερο, επίπεδο παρουσιάζεται το πλαίσιο μέσα στο οποίο λαμβάνει χώρα το συμβάν, δηλαδή ο εναέριος χώρος και οι καιρικές συνθήκες που επικρατούν. Το συγκεκριμένο ελικόπτερο ελέγχεται από ένα πλήρωμα το οποίο επικοινωνεί με μια ομάδα ελεγκτών εναέριας κυκλοφορίας. Στο ανώτερο επίπεδο ελέγχου βρίσκεται η διοίκηση της εναέριας κυκλοφορίας στο αεροδρόμιο Ελληνικό και η εταιρεία Helitalia που εποπτεύουν τους ελεγκτές και τους χειριστές αντίστοιχα. Με τη σειρά τους, αυτοί οι οργανισμοί εποπτεύονται από δύο κρατικές ρυθμιστικές αρχές, τις Υπηρεσίες Πολιτικής Αεροπορίας (ΥΠΑ) της Ελλάδος και Ιταλίας, οι οποίες συμμορφώνονται με τα διεθνή πρότυπα ασφάλειας του ICAO. Ενα ουσιαστικό στοιχείο είναι ότι η συμφωνία μεταξύ των Ελληνικών και Ιταλικών ΥΠΑ ολοκληρώθηκε λίγο πριν γίνει το ατύχημα, και δεν ήταν ξεκάθαρες οι αρμοδιότητες των δύο αυτών ρυθμιστικών αρχών. Θεωρώντας τους κύκλους σκέψης-δράσης του Σχήματος 12.15, μπορούμε να αναλύσουμε πώς προκλήθηκε το ατύχημα αυτό στους Πίνακες 12. 2 και 12.3.

Στο βρόχο ελέγχου του ελικοπτήρου, υπήρχαν διάφορα προβλήματα που αφορούσαν το πλήρωμα. Συγκεκριμένα, ο χειριστής-κυβερνήτης είχε μικρή εμπειρία σε αεροπορικές επιχειρήσεις στο Αιγαίο, και ειδικά σε αντίξοες καιρικές συνθήκες. Επίσης, δεν σχεδίασε εγκαίρως την αλλαγή από πτήση όψευς (VFR) σε πτήση με όργανα

Πίνακας 12.2. Διερεύνηση ενεργειών πληρώματος και ελεγκτών

ΠΛΗΡΩΜΑ ΕΛΙΚΟΠΤΕΡΟΥ
ΠΛΑΙΣΙΟ ΕΡΓΑΣΙΩΝ - Ο κυβερνήτης ήταν επίσης ο επιχειρησιακός προϊστάμενος για το πτητικό έργο της εταιρείας HELITALIA - Εμπειρία κυρίως με επιχειρήσεις διάσωσης σε αυτοκινητοδρόμους ΑΝΕΠΑΡΚΗ ΝΟΗΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ - Ανεπαρκές νοητικό μοντέλο για τις επιδράσεις των ισχυρών ανέμων στο Αιγαίο - Ανεπαρκής εμπειρία σε πτήσεις με όργανα (IFR flights) τη νύκτα ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΣ ΑΠΟΦΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑ ΔΡΑΣΗΣ - Συνέχιση πτήσης εξ' όψεως παρά την περιορισμένη ορατότητα - Επιμονή για συνέχιση στον τελικό προορισμό αντί για προσγείωση σε γειτονικό αεροδρόμιο ΑΝΕΠΑΡΚΗΣ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣ - Το πλήρωμα περίμενε από τους ελεγκτές να τους προειδοποιήσουν πότε να αλλάξουν κατεύθυνση για εναλλακτικό αεροδρόμιο
ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΝΑΕΡΙΑΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ
ΠΛΑΙΣΙΟ ΕΡΓΑΣΙΩΝ - Επικοινωνίες με πολλά αεροσκάφη που έκαναν κύκλους λόγω κακοκαιρίας - Επιδείνωση συνθηκών πτήσης λόγω κακοκαιρίας και σφοδρών ανέμων - Παραμπόδιση ραδιο-επικοινωνιών με ελικόπτερο σε χαμηλά ύψη ΑΝΕΠΑΡΚΗ ΝΟΗΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ - Πίστευαν ότι τα εμπορικά αεροσκάφη που έκαναν κύκλους είχαν προτεραιότητα στην καθοδήγηση από τις αεροδιακομιδές ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΣ ΑΠΟΦΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑ ΔΡΑΣΗΣ - Ο ελεγκτής της Μυκόνου έδωσε εταιροχρονισμένο δελτίο καιρού στο ελικόπτερο - Ο ελεγκτής στην προσέγγιση δεν έδωσε αναλυτικό δελτίο καιρού στο ελικόπτερο - Ο ελεγκτής δεν έδωσε προτεραιότητα στην αεροδιακομιδή όπως όριζαν οι κανονισμοί ΑΝΕΠΑΡΚΗΣ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣ - Αρκετοί τομείς ελέγχου δεν συντονίστηκαν αποτελεσματικά μεταξύ τους για την καθοδήγηση του ελικοπτήρου

Πίνακας 12.3. Διερεύνηση πολιτικών HELITALIA και ΥΠΑ

ΑΕΡΟΜΕΤΑΦΟΡΕΑΣ (HELITALIA)	
ΠΛΑΙΣΙΟ ΕΡΓΑΣΙΩΝ	
• Ασαφές πλαίσιο επιθεώρησης απο την Ελληνική και Ιταλική ΥΠΑ • Απόσυρση δύο αεροσκαφών από το στόλο της HELITALIA που θα μπορούσαν να πετάνε με άσχημο καιρό και σφοδρούς ανέμους	
ΑΝΕΠΑΡΚΗ ΝΟΗΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ	
• Πίστευαν ότι τα πληρώματα δεν θα είχαν δυσκολία εγκλιματισμού στους σφοδρούς ανέμους στο Αιγαίο • Πίστευαν ότι η μικρή επάνδρωση του Επιχειρησιακού Κέντρου Πτήσεων ήταν αρκετή μετά την απόσυρση των δυο αεροσκαφών της εταιρείας	
ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΣ ΑΠΟΦΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑ ΔΡΑΣΗΣ	
• Ανεπαρκής επικοινωνία του Επιχειρησιακού Κέντρου Πτήσεων και του μετεωρολογικού γραφείου • Ανεπαρκής εκπαίδευση του προσωπικού στις νέες αεροδιακομιδές	
ΑΝΕΠΑΡΚΗΣ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣ	
• Ο έμπειρος διαχειριστής του Επιχειρησιακού Κέντρου Πτήσεων ανέλαβε μια πτήση και άφησε έναν άπειρο υπάλληλο για τον συντονισμό των πτήσεων στην εταιρεία	
ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΑΕΡΟΠΟΡΙΑΣ	
ΠΛΑΙΣΙΟ ΕΡΓΑΣΙΩΝ	
• Η ΥΠΑ ήταν σε στάδιο μετάβασης από διαδικαστικό έλεγχο σε έλεγχο με ραντάρ • Μείωση του προσωπικού της ΥΠΑ λόγω επικείμενης μετακόμισης στα Σπάτα • Φόρτος εργασίας με πολλά έργα στο πλαίσιο των Ολυμπιακών αγώνων	
ΑΝΕΠΑΡΚΗ ΝΟΗΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ	
• Πίστευαν ότι ο νέος οργανισμός αεροδιακομιδής θα ήταν τόσο αποτελεσματικός όσο και ο προηγούμενος που είχε οργανωθεί από ένα δίκτυο οργανισμών • Ανεπαρκής αντίληψη των κινδύνων που χαρακτηρίζουν τις αεροδιακομιδές	
ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΣ ΑΠΟΦΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑ ΔΡΑΣΗΣ	
• Έλλειψη μελέτης επικινδυνότητας για τις αεροδιακομιδές των ελικοπτέρων • Έλλειψη επιθεώρησης της υπεύθυνης αεροπορικής εταιρείας HELITALIA	
ΑΝΕΠΑΡΚΗΣ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣ	
• Καθυστερημένη επικοινωνία και συντονισμός με την αντίστοιχη Ιταλική εποπτική αρχή αερομεταφορών	

~~(IFR)~~, ενδεχομένως επειδή δεν είχε μεγάλη εμπειρία σε πτήσεις IFR. Όλα αυτά αφορούν το νοητικό μοντέλο και τις γνώσεις του χειριστή του ελικοπτέρου. Η ανάλυση μπορεί να συνεχισθεί με την εξέταση του σχεδίου προσγείωσης του χειριστή, και την αδυναμία του να το εγκαταλείψει και να γυρίσει στη Σύρο. Τα «λάθη συνέχισης της πτήσης» για το αεροδρόμιο προορισμού είναι πολύ συχνά στον αεροπορικό τομέα, διότι υπάρχει ένα μεγάλο κόστος στην επιστροφή στο κοντινότερο αεροδρόμιο. Όταν ο χειριστής συνειδητοποίησε ότι έπρεπε να εγκαταλείψει το σχέδιο προσγείωσης ήταν ήδη αργά, γιατί βρέθηκε μέσα σε ένα κυκλώνα ο οποίος κατέρριψε το ελικοπτερο. Τέλος, αναφορικά με τη συνεργασία του με τον έλεγχο κυκλοφορίας, ο χειριστής πίστευε ότι ο ελεγκτής θα τον προειδοποιούσε τότε θα έπρεπε να γυρίσει πίσω ή να συνεχίσει. Αν και η ευθύνη για την συνέχιση ή εγκατάλειψη της προσγείωσης ανήκει στον χειριστή, φαίνεται ότι, υπό αυτές τις συνθήκες, ο χειριστής περίμενε μια ειδική μεταχείριση από τους ελεγκτές που όμως δεν έλαβε ποτέ.

Ένας άλλος βρόχος ελέγχου αφορά την εναέρια κυκλοφορία στο αεροδρόμιο του Ελληνικού. Εκείνη την ώρα οι ελεγκτές ήταν πολύ απασχολημένοι, έχοντας να

αντιμετωπίσουν τον εκνευρισμό των πιλοτών που έβλεπαν να τελειώνουν τα καύσιμά τους. Οι ελεγκτές έδωσαν προτεραιότητα στην εξυπηρέτηση των αεροσκαφών τα οποία απεικονιζόταν στην οθόνη του ραντάρ, ενώ η επίβλεψη της πορείας του ελικοπτήρου γινόταν με ραδιοεπικοινωνίες. Όσον αφορά το νοητικό μοντέλο και τη νοοτροπία των ελεγκτών, προκύπτει ότι δεν έκαναν ορθή εκτίμηση της επικινδυνότητας της επιχείρησης διακομιδής, ενώ γενικά θεωρούσαν τις πτήσεις όψεως των ελικοπτέρων ως ένα «μπελά» που αποσπούσε την προσοχή τους από την ρύθμιση της κυκλοφορίας στην οθόνη του ραντάρ. Ένας λόγος που δεν μπορούσαν να δούν το ελικόπτερο στην οθόνη, ήταν ότι ένας νέος ελεγκτής καθυστέρησε στην αναγνώριση του σήματος του ελικοπτήρου και δεν πέρασε τον κωδικό του στην οθόνη ώστε να φαίνεται το ίχνος του ελικοπτήρου στο ραντάρ. Επίσης, ευθύνες θα μπορούσαν να αναζητηθούν στη μετάδοση του δελτίου καιρού από τον ελεγκτή της Μυκόνου που δεν ήταν επικαιροποιημένο.

Στα ανώτερα επίπεδα ελέγχου εξετάζονται οι διαδικασίες ελέγχου της εταιρίας Helitalia και εντοπίζονται μερικά προβλήματα. Για παράδειγμα, η εταιρεία δεν είχε εμπειρία με αεροδιακομιδές στο Αιγαίο, όπου συχνά επικρατούν σφοδροί άνεμοι τους χειμερινούς μήνες Επιπλέον, οι χειριστές της δεν είχαν επαρκή εκπαίδευση στις πτήσεις με όργανα (IFR). Ένα άλλο θέμα που αφορά το πλήρωμα, είναι ότι ο κυβερνήτης του συγκεκριμένου ελικοπτήρου ήταν ταυτόχρονα και ο αρχιχειριστής του στόλου, ο οποίος είχε συνηθίσει να αναλαμβάνει τις πιο δύσκολες αποστολές. Ίσως η υπερεκτίμηση των ικανοτήτων του να συνετέλεσε σε ένα μικρό βαθμό στην τελική έκβαση των γεγονότων. Η εταιρεία πάντως δεν είχε προνοήσει να διαθέτει ποικιλία μέσων στον στόλο της, συμπεριλαμβάνοντας και αεροσκάφη τζετ για δύσκολες αποστολές. Για παράδειγμα, το αεροσκάφος θα μπορούσε να πετάξει πάνω από τον κακό καιρό, μέχρι την κατάλληλη στιγμή για την προσγείωση στην Αθήνα. Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι η εταιρεία δεν είχε αξιόπιστο σύστημα ενημέρωσης καιρού, το οποίο θα μπορούσε να μεταδίδεται απευθείας στα ελικόπτερα του στόλου της.

Όσον αφορά τον βρόχο επιτήρησης από την Ελληνική ΥΠΑ, φαίνεται ότι η ΥΠΑ είχε μια νοοτροπία εφησυχασμού, καθώς δεν υπήρχαν παραπλήσια ατυχήματα σε τέτοιες επιχειρήσεις στην Ελλάδα. Η αλλαγή του φορέα διαχείρισης των αεροδιακομιδών από μια δοκιμασμένη σύμπραξη Ελληνικών δημοσίων φορέων σε μία μικρή ιδιωτική εταιρεία (Helitalia), με λιγότερο έμπειρο προσωπικό στις επιχειρήσεις στο Αιγαίο, και δίχως πιστοποιημένο σχέδιο ασφάλειας, δεν φαίνεται να προβλημάτισε την ΥΠΑ. Μερικές αιτίες μπορούν να αναζητηθούν στην εντατική ενασχόλησή της και εστίαση της προσοχής σε μία σειρά προγραμμαμάτων αλλαγής που απασχολούσαν την ΥΠΑ την εποχή εκείνη, όπως η μεταφορά από διαδικαστικό σε έλεγχο με ραντάρ, η μεταφορά του αεροδρομίου από το Ελληνικό στα Σπάτα, και οι διακανονισμοί για τον έλεγχο κυκλοφορίας λόγω των επικείμενων Ολυμπιακών αγώνων. Η απορρόφηση της προσοχής των αρμοδίων φορέων από τα προγράμματα αυτά δεν άφησε πολλά χρονικά περιθώρια για την ανάλυση επικινδυνότητας σε επιχειρήσεις αεροδιακομιδής.

Η συστημική αυτή θεώρηση του ατυχήματος του ΕΚΑΒ στο Σούνιο υποδεικνύει ότι οι αιτίες θα πρέπει να αναζητηθούν στον έλεγχο της ασφάλειας που ασκείται από τους διάφορους οργανισμούς που εμπλέκονται ή εποπτεύουν τις συγκεκριμένες αεροπορικές επιχειρήσεις. Είναι γεγονός ότι οι παράγοντες που συνετέλεσαν στο ατύχημα είχαν κυρίως να κάνουν με τον ελλιπή καθορισμό των περιορισμών

Σύμφωνα με το πόρισμα διερεύνησης (Chemical Safety and Hazard Investigation Board), το πρωί της 23^{ης} Μαρτίου 2005 ο πύργος διαχωρισμού στη μονάδα ισομερισμού τέθηκε ξανά σε λειτουργία μετά από μια διακοπή για την εκτέλεση εργασιών συντήρησης. Κατά την εκκίνηση, οι χειριστές τροφοδότησαν τη στήλη του πύργου με μείγμα υδρογονανθράκων για 3 ώρες, χωρίς να υπάρχει εκροή από τη στήλη, ενέργεια αντίθετη με όσα αναφέρονταν στις γραπτές οδηγίες. Κρίσιμοι συναγερμένοι και όργανα ελέγχου παρείχαν εσφαλμένες ενδείξεις που δεν επέτρεψαν στους χειριστές να αντιληφθούν την υψηλή στάθμη του μείγματος στη στήλη του πύργου. Χωρίς να το γνωρίζουν οι χειριστές, ο πύργος ύψους 52m γέμισε και το μείγμα υπερχειλίστηκε από την κορυφή του και κατευθύνθηκε στη διάταξη των βαλβίδων εκτόνωσης. Ως εκ τούτου, η δεξαμενή και η στήλη εκτόνωσης υπερχειλίσαν και έτσι δημιουργήθηκε ένας πίδακας εύφλεκτου μείγματος που διέφυγε στην ατμόσφαιρα. Η διάταξη εκτόνωσης ήταν λανθασμένα σχεδιασμένη και δεν είχε συνδεθεί ποτέ με ένα σύστημα φλόγας για την καύση των διαφυγόντων εύφλεκτων προϊόντων. Έτσι, το πτητικό υγρό που διέφυγε εξατμίστηκε πέφτοντας στο έδαφος και δημιούργησε ένα εύφλεκτο νέφος ατμών. Η πιθανότερη πηγή της ανάφλεξης του νέφους ήταν αναθυμιάσεις από την εξάτμιση ενός φορτηγού που βρισκόταν σε απόσταση λίγων μέτρων από τη δεξαμενή εκτόνωσης.

Χρονολογική σειρά γεγονότων που οδήγησαν στο ατύχημα

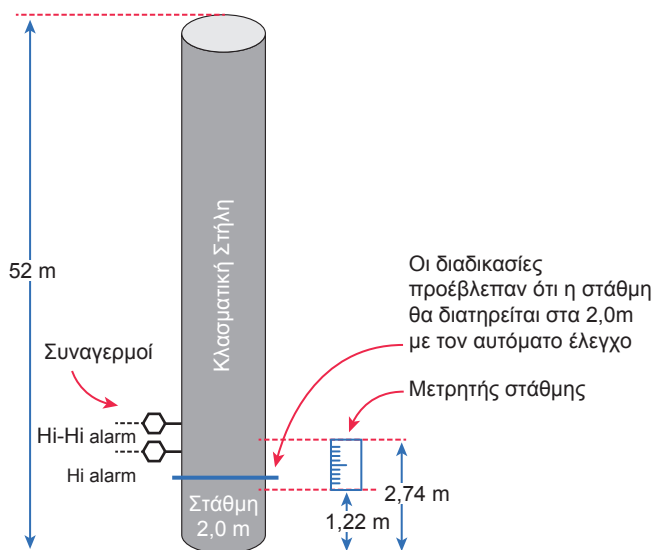
Η εκκίνηση της μονάδας έγινε στη διάρκεια της νυχτερινής βάρδιας. Στις 02:15 π.μ. οι χειριστές ξεκίνησαν την τροφοδοσία στον πύργο διαχωρισμού που διέθετε μετρητή στάθμης στο κάτω μέρος του. Ο πύργος διέθετε επίσης δύο συναγερμούς, έναν προγραμματισμένο να ηχήσει όταν η στάθμη του υγρού έφτανε στο ύψος των 2,3m από τον πυθμένα και έναν επιπλέον που θα ηχούσε όταν η στάθμη έφτανε τα 2,4m. Ωστόσο, όταν η στάθμη του υγρού στον πύργο έφτασε πάνω από τα επίπεδα ασφαλείας, μόνο ο ένας συναγερμός λειτουργήσε στις 3:09 π.μ. Επειδή η αποτυχία λειτουργίας του επιπλέον συναγερμού δεν έγινε αντιληπτή από τον επιβλέποντα της νυχτερινής βάρδιας, το γεγονός αυτό και το μεγάλο ύψος της στάθμης δεν καταγράφησαν στα βιβλία. Έτσι, ο χειριστής των οθονών ελέγχου της πρωινής βάρδιας διάβασε το βιβλίο καταγραφής και θεώρησε ότι έγινε τροφοδοσία μείγματος μόνο στον πύργο, χωρίς να αντιληφθεί ότι υπήρχε υγρό στους εναλλάκτες, τις σωληνώσεις και το λοιπό εξοπλισμό.

Στις 9:51 π.μ. άρχισε ξανά η διαδικασία εκκίνησης και ο ρυθμός τροφοδοσίας του πύργου διατηρήθηκε στα 132.500 lt/h. Ο χειριστής στο κέντρο ελέγχου απενεργοποίησε τον αυτόματο έλεγχο στάθμης και έκλεισε τη βαλβίδα στάθμης επειδή ήθελε να διατηρήσει υψηλότερη τη στάθμη από το όριο ασφαλείας για να αποφευχθεί η φθορά του περιφερειακού εξοπλισμού από τυχόν διαταραχές της στάθμης κατά την εκκίνηση της μονάδας. Δυστυχώς οι χειριστές ξέχασαν την βαλβίδα εξόδου στην κλειστή θέση για πολλή ώρα πράγμα που συνετέλεσε στην απότομη αύξηση της στάθμης στον πύργο διαχωρισμού. Έτσι, η πλήρωση της στήλης του πύργου έγινε μέχρι το 99% του ορίου ασφαλείας (π.χ. στα 4.0 m) πράγμα που ήταν μια συνηθισμένη πρακτική. Ωστόσο, η ορθή διαδικασία εκκίνησης προέβλεπε ότι η βαλβίδα έπρεπε να βρίσκεται σε αυτόματη λειτουργία και ρυθμισμένη στο 50% (π.χ. στα

2.0 m) ώστε να διασφαλίζεται η ροή του βαρέως αποστάγματος προς τις δεξαμενές αποθήκευσης. Τα όργανα ελέγχου της στήλης του πύργου εξακολουθούσαν να δείχνουν τη στάθμη λίγο κάτω από το 100% του εύρους τους. Η θυρίδα οπτικού ελέγχου της στάθμης δεν ήταν δυνατό να χρησιμοποιηθεί καθώς βρισκόταν εκτός λειτουργίας για αρκετά χρόνια. Αυτή η κατάσταση επέφερε την ενεργοποίηση και των δύο συναγερμών στάθμης, τους οποίους όμως αγνόησαν οι χειριστές λόγω της εσκεμμένης παράκαμψης της γραπτής διαδικασίας.

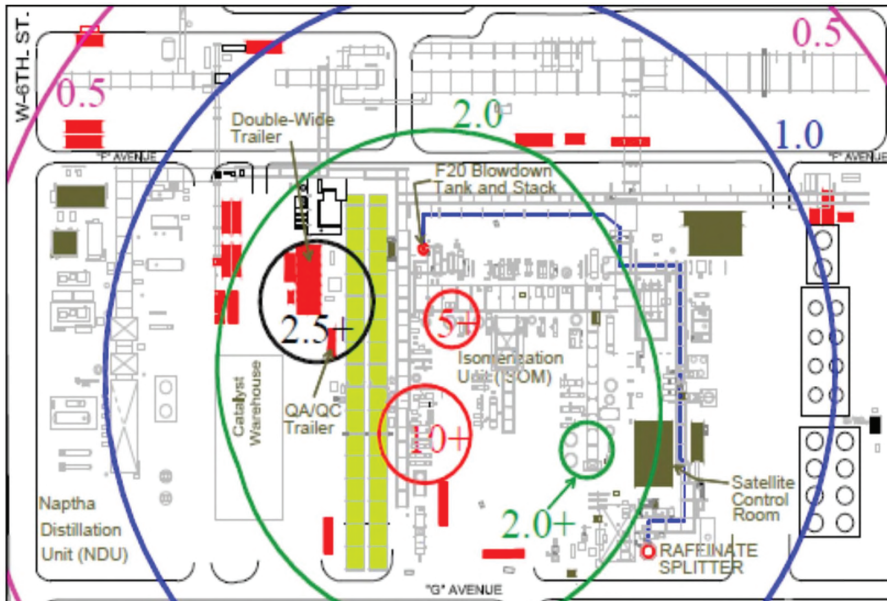
Στις 11:16 π.μ. οι χειριστές άναψαν κάποιες επιπλέον εστίες στον φούρνο προθέρμανσης και η θερμοκρασία τροφοδοσίας του πύργου αυξήθηκε από τους 93,3 °C στους 152,8 °C. Περίπου στις 12:00 μ.μ. η στάθμη του υγρού στη στήλη είχε φτάσει τα 30 m αλλά ο μετρητής στάθμης παρείχε ένδειξη 2.6m. Η διαφορά μεταξύ της πραγματικής στάθμης του υγρού στο εσωτερικό του πύργου και της αντίστοιχης ένδειξης του μετρητή οφείλεται στη λανθασμένη βαθμονόμηση και το γεγονός ότι ο μετρητής λειτουργούσε εκτός του εύρους του (Σχήμα 12.17).

Στις 12:41 μ.μ ήχησε στο κέντρο ελέγχου συναγερμός για υψηλή πίεση στην κορυφή του πύργου, η οποία προήλθε από τη συμπίεση ατμών καθώς το ύψος του υγρού αυξανόταν συνεχώς και η στήλη του πύργου ήταν σχεδόν γεμάτη με υγρό. Ο χειριστής του κέντρου ελέγχου αντέδρασε στο συναγερμό δίνοντας εντολή στους εξωτερικούς χειριστές (i) να σβήσουν τους καυστήρες στο φούρνο – προκειμένου να μειωθεί η θερμοκρασία τροφοδοσίας που αύξησε την πίεση – και (ii) να ανοίξουν τις βαλβίδες εκτόνωσης για να οδηγηθούν οι ατμοί στη δεξαμενή εκτόνωσης. Τότε διαπίστωσαν ότι είχαν ξεχάσει κλειστή την βαλβίδα εξόδου στον πύργο και την άνοιξαν για την απομάκρυνση του υγρού από τον πυθμένα της στήλης προς τις δεξαμενές αποθήκευσης. Αυτές οι ενέργειες είχαν θετική επίδραση αλλά έγιναν πολύ καθυστερημένα. Η δεξαμενή εκτόνωσης γέμισε μέσα σε 6 λεπτά, ενώ ο συναγερμός υψηλής στάθμης δε λειτούργησε.



Σχήμα 12.17. Γραφική απεικόνιση του πύργου με τα όργανα μέτρησης στάθμης

Στις 13:14 μ.μ το θερμό μείγμα τροφοδοσίας προκάλεσε φαινόμενα εξάτμισης μέσα στον πύργο διαχωρισμού, με αποτέλεσμα την ανύψωση της στάθμης και την πλήρωση του πύργου. Θερμό καύσιμο σε υγρή μορφή διέφυγε από την κορυφή του πύργου με αποτέλεσμα να τεθούν σε λειτουργία τρεις βαλβίδες εκτόνωσης και να οδηγηθούν 236000 lt καυσίμου στη δεξαμενή εκτόνωσης. Από εκεί διέφυγαν στο σύστημα αποχέτευσης, ενεργοποιώντας το σχετικό συναγερμό στην αίθουσα ελέγχου. Ως εκ τούτου, δημιουργήθηκε ένας πίδακας καυσίμου στην κορυφή της δεξαμενής εκτόνωσης και το νέφος που προέκυψε ανεφλέγει πιθανόν λόγω μιας εξάτμισης φορτηγού. Το Σχήμα 12.18 αναπαριστά την ταχεία εξάπλωση του νέφους υδρογονανθράκων και τις υψηλές πιέσεις που επέφεραν την καταστροφή.



Σχήμα 12.18. Χάρτης εξάπλωσης των αερίων υδρογονανθράκων και μεταβολής της πίεσης αυτών σε διαφορετικές περιοχές (πιέσεις άνω των 2 psi είναι επικίνδυνες)

Ανάλυση ατυχήματος με την μέθοδο STAMP

Δομή ελέγχου του οργανισμού BP στο Texas City

Η μέθοδος STAMP ξεκινά με μια συνοπτική περιγραφή της ιεραρχικής δομής του οργανισμού και των βρόχων ελέγχου σε όλα τα επίπεδα της οργάνωσης. Η ομοσπονδιακή κυβέρνηση των ΗΠΑ έχει καθορίσει κάποιες ρυθμιστικές αρχές για την εποπτεία του συστήματος διαχείρισης ασφάλειας (ΣΔΑ) των χημικών εγκαταστάσεων στην επικράτειά της. Δύο χαρακτηριστικές δομές εποπτείας αποτελούσαν το Environment Protection Agency για την προστασία του περιβάλλοντος και το Occupational Safety & Health Administration (OSHA) για την επιθεώρηση των εγκαταστάσεων σχετικά με τους επαγγελματικούς κινδύνους και την ασφάλεια των βιομηχανικών διεργασιών. Ο τρόπος εποπτείας του ομίλου της BP παίζει καθοριστικό ρόλο στο ρυθμιστικό πλαίσιο της ομοσπονδιακής κυβέρνησης. Ωστόσο, μεγαλύτερη έμφαση έχει δοθεί στην

ανάλυση τριών επιπέδων ελέγχου που αφορούν τη διεύθυνση του διυλιστηρίου, τους προϊσταμένους-επιβλέποντες και τους χειριστές που εργαζόταν τόσο στο κέντρο ελέγχου όσο στο πεδίο της εγκατάστασης (Σχήμα 12.19).

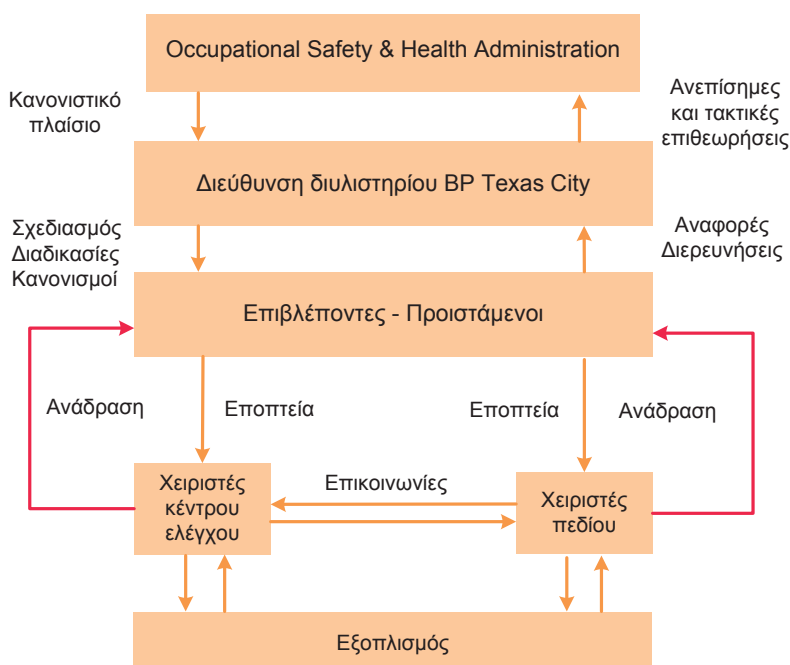
Ένας αποτελεσματικός τρόπος εφαρμογής της μεθόδου STAMP, σύμφωνα με τη Leveson (2012), είναι η ανάπτυξη πινάκων που εξετάζουν τέσσερα χαρακτηριστικά του συστήματος:

- απαιτήσεις ασφαλείας και σχετικοί περιορισμοί που αφορούν το ρόλο των εργαζομένων στη διαχείριση της ασφάλειας και τους περιορισμούς ασφάλειας που πρέπει να εφαρμοστούν
- πλαίσιο λήψης αποφάσεων
- ανεπαρκείς δράσεις ελέγχου που οδήγησαν σε επισφαλείς ενέργειες
- ατέλειες του νοητικού μοντέλου των εργαζομένων που εξηγούν τις εσφαλμένες αποφάσεις και δράσεις τους

Ακολουθούν οι σχετικοί πίνακες ανάλυσης για τα ακόλουθα επίπεδα ελέγχου της ιεραρχικής δομής που περιγράφηκε.

Ομοσπονδιακός οργανισμός για την υγεία και ασφάλεια (OSHA)

Η εποπτεία του διυλιστηρίου BP Texas City γινόταν από τον ομοσπονδιακό οργανισμό OSHA ο οποίος ήταν αρμόδιος για μια σειρά «ανεπίσημων» και «τακτικών» επιθεωρήσεων των διυλιστηρίων. Η τακτική επιθεώρηση περιελάμβανε μια μακροσκελή σειρά ελέγχων σε όλα τα επίπεδα του συστήματος διαχείρισης ασφάλειας (ΣΔΑ) η οποία όμως απαιτούσε έναν ή δύο εμπειρογνώμονες για μια τουλάχιστον εβδομά-



Σχήμα 12.19. Συνοπτικό ιεραρχικό διάγραμμα ελέγχου του διυλιστηρίου

δα. Το πόρισμα διερεύνησης αποκάλυψε ότι ο OSHA διενήργησε μόνο μία τακτική επιθεώρηση στο διάστημα 1985-2005 παρόλο που είχαν καταγραφεί πολλοί θάνατοι στο διυλιστήριο αυτό. Οι επιθεωρήσεις του OSHA στο διυλιστήριο ήταν κυρίως ανεπίσημες και περιορισμένες σε έκταση, πράγμα που δημιούργησε την εντύπωση ότι η επιθεώρηση της ασφάλειας δε γινόταν με συστηματικό τρόπο. Απεναντίας, η συχνότητα των τακτικών επιθεωρήσεων στη Μεγάλη Βρετανία ήταν περίπου κάθε πέντε έτη. Το πόρισμα διερεύνησης τόνισε επίσης ότι η επιβολή μέτρων ασφαλείας από τον OSHA ενδεχομένως να απέτρεπε την πρόκληση ενός μεγάλου βιομηχανικού ατυχήματος στο διυλιστήριο.

Διευθυντικά στελέχη διυλιστηρίου BP Texas City

Ένα γεγονός που συνετέλεσε σημαντικά στη διαχείριση της ασφάλειας ήταν η περικοπή των δαπανών για τη λειτουργία του διυλιστηρίου κατά 25% του προϋπολογισμού. Ως εκ τούτου, η επιχείρηση δεν ακολούθησε πολλές βασικές διαδικασίες ασφαλείας όπως, η επάνδρωση έμπειρων χειριστών στο κέντρο ελέγχου, η συντήρηση του εξοπλισμού, ο εκσυγχρονισμός της εγκατάστασης με ασφαλιστικές δικλείδες, κλπ. Είναι χαρακτηριστικό ότι το κέντρο ελέγχου λειτουργούσε μόνον με έναν χειριστή ο οποίος ήταν υπεύθυνος για τον έλεγχο τριών μεγάλων μονάδων (βλ. Σχήμα 12.20). Πολλά από τα προβλήματα που διαπιστώνονται παρακάτω είναι απόρροια των περικοπών αυτών.

Η κουλτούρα ασφαλείας στο διυλιστήριο της BP στο Texas ήταν χαμηλού επιπέδου και αυτό είχε εκδηλωθεί με αρκετούς τρόπους όπως, ελλειπείς πρακτικές ασφαλείας, ανεπαρκείς διαδικασίες και ανοχή στην παραβίαση των κανόνων ασφαλείας. Σύμφωνα με το πόρισμα, η επίσημη διαδικασία για την ανταλλαγή πληροφοριών κατά την αλλαγή βάρδιας ήταν ανεπαρκής και οι κανόνες ασφαλείας δεν εφαρμόζονταν πιστά. Η υπάρχουσα διαδικασία προέβλεπε την εκκίνηση της μονάδας και τη διατήρηση της στάθμης στο 50% του ορίου ασφαλείας, ωστόσο αυτό είχε αγνοηθεί συστηματικά. Επίσης, πριν από κάθε εκκίνηση της μονάδας, συνηθίζεται να γίνεται επισταμένος έλεγχος της αξιοπιστίας του εξοπλισμού και των οργάνων μέτρησης. Ωστόσο, όταν οι τεχνικοί άρχισαν τους ελέγχους αυτούς, ενημερώθηκαν από τον επιβλέποντα ότι «δεν υπήρχε χρόνος διαθέσιμος για επιπλέον ελέγχους».



Σχήμα 12.20. Επάνδρωση του κέντρου ελέγχου με έναν χειριστή για τρεις μεγάλες μονάδες

Επιπλέον, η διοίκηση επέτρεπε στους χειριστές να πραγματοποιούν αλλαγές στις διαδικασίες χωρίς να γίνει τεχνική ανασκόπηση, ενθαρρύνοντας έτσι επισφαλείς αποκλίσεις κατά τη διαδικασία εκκίνησης της μονάδας (βλ. Πίνακα 12.4). Όλες αυτές οι ενέργειες ή παραλείψεις της διοίκησης έστειλαν στο προσωπικό το μήνυμα ότι οι γραπτές διαδικασίες δεν ήταν αυστηρές οδηγίες προς τήρηση αλλά απαρχαιωμένα έγγραφα που χρησίμευαν ως κατευθυντήριες γραμμές.

Η διεύθυνση της επιχείρησης φαίνεται ότι δεν είχε ένα αποτελεσματικό σύστημα καταγραφής και ανάλυσης των συμβάντων από το οποίο να βελτιώνεται συνεχώς. Παρόλο που σε προηγούμενες εκκινήσεις, η πίεση του πύργου ανήλθε σε επίπεδα υψηλότερα των προβλεπόμενων ορίων, ποτέ δεν εξετάστηκαν τα αίτια του φαινομένου αυτού. Στο διάστημα 2003-2005, δύο εκκινήσεις έγιναν σε ανεπίτρεπτα υψηλά επίπεδα εκτόνωσης πίεσης και πιθανότατα οδήγησαν μεγάλη ποσότητα υδρογονανθράκων στη δεξαμενή εκτόνωσης, αλλά ούτε και οι αποκλίσεις αυτές εξετάστηκαν. Έτσι χάθηκε η ευκαιρία να αντληθεί γνώση για την αποφυγή παρόμοιων προβλημάτων στο μέλλον και να διορθωθούν οι επικίνδυνες καταστάσεις. Στα προηγούμενα 30 χρόνια, στο διυλιστήριο είχαν προκληθεί 23 θάνατοι, ενώ τρεις από αυτούς κατεγράφησαν το 2004.

Πίνακας 12.4. Ανάλυση αρμοδιοτήτων και λαθών της διεύθυνσης του διυλιστηρίου

Διευθυντικά στελέχη διυλιστηρίου	
Απαιτήσεις ασφαλείας – Περιορισμοί	
• Συστηματικός σχεδιασμός & εκσυγχρονισμός παραγωγικών διεργασιών • Συντήρηση εξοπλισμού • Ανάλυση επικινδυνότητας διεργασιών • Καλλιέργεια κουλτούρας για την ασφάλεια • Διασφάλιση επάρκειας ανθρώπινων πόρων και ασφαλιστικών δικλείδων • Έλεγχος τήρησης των γραπτών διαδικασιών και οδηγιών εργασίας	
Πλαίσιο λήψης αποφάσεων	
• Απρόσκοπτη και ασφαλής λειτουργία του διυλιστηρίου • Επίτευξη των στόχων και προτεραιοτήτων που τίθενται από τον όμιλο BP • Εξορθολογισμός κόστους και τρόπου λειτουργίας του διυλιστηρίου	
Ανεπαρκείς δράσεις ελέγχου	
• Έλλειψη σχεδιασμού και ανεπιτυχής καθορισμός ασφαλών ορίων λειτουργίας • Ελλιπής συντήρηση μηχανολογικού εξοπλισμού και οργάνων • Ανεπαρκείς διαδικασίες για χωροθέτηση εγκαταστάσεων συνεργείων (τρέιλερ-γραφεία) • Ανεπάρκεια ανθρώπινων πόρων – υπερβολικός φόρτος εργασίας του προσωπικού • Συχνές οργανωτικές αλλαγές και μεταβολές στο προσωπικό • Ανεπαρκής μέτρηση της απόδοσης των διαδικασιών ασφαλείας • Ελλιπές σύστημα αυτόματου ελέγχου	
Ατέλειες νοητικού μοντέλου	
• Πιέσεις παραγωγής που αποδυναμώνουν την ασφάλεια • Ανεπαρκής ηγεσία και επόπτευση των διαδικασιών ασφαλείας • Έλλειψη προσήλωσης στη συμμόρφωση με τα πρότυπα ασφαλείας • Ανοχή σοβαρών αποκλίσεων από γραπτές διαδικασίες και κανόνες ασφαλείας • Έμφαση στην επαγγελματική υγιεινή και παραμέληση της ασφαλείας των διαδικασιών • Έλλειψη εξοικείωσης με πραγματικές συνθήκες λειτουργίας	

Βασικό προαπαιτούμενο για την ασφάλεια των χημικών διεργασιών είναι ο εκσυγχρονισμός του τεχνολογικού εξοπλισμού των εγκαταστάσεων. Ωστόσο, τα περισσότερα όργανα της στήλης δε λειτουργούσαν σωστά για πολλές ημέρες: ο μετρητής στάθμης δεν είχε βαθμονομηθεί σωστά, η πλευρική θυρίδα ήταν λερωμένη και ο επιπλέον συναγερμός υψηλής στάθμης (Hi-Hi alarm) δεν ήχησε.

Υπήρχαν επίσης σχεδιαστικά προβλήματα στη δεξαμενή εκτόνωσης, καθώς σε περίπτωση υπερχειλίσής της, οι ατμοί του μείγματος διέφευγαν ανεμπόδιστα στην ατμόσφαιρα. Τα μοντέρνα συστήματα διαθέτουν φλόγα για την καύση των ατμών των υδρογονανθράκων ή είναι κλειστά κυκλώματα. Δεδομένου ότι η δεξαμενή εκτόνωσης είναι η τελευταία γραμμή άμυνας ενάντια στην απώλεια υδρογονανθράκων λόγω υπερχειλίσής, η διαφυγή του μείγματος στην ατμόσφαιρα ήταν βέβαιο ότι θα αποτελούσε σημαντικό κίνδυνο για τα κοντέινερ που είχαν τοποθετεί πλησίον της εγκατάστασης.

Για να αντιμετωπιστούν τυχόν κίνδυνοι σχετικά με την υγιεινή και ασφάλεια των εργαζομένων από την τοποθέτηση των τρέιλερ κοντά στη μονάδα θα έπρεπε να είχε γίνει εκπόνηση μελέτης επικινδυνότητας. Ενώ οι συστάδες τρέιλερ ήταν προσωρινές κατασκευές, τα τρέιλερ δεν απομακρύνθηκαν μετά το πέρας των εργασιών για τις οποίες είχαν αρχικά τοποθετηθεί και έγιναν έτσι ημι-μόνιμες κατασκευές. Οι άνθρωποι που βρίσκονταν σε κοντινή απόσταση από τη μονάδα δεν είχαν ειδοποιηθεί εκ των προτέρων για την επικείμενη εκκίνησή της. Τέλος, δεν υπήρχε μια πολιτική ελέγχου της κυκλοφορίας που να ρυθμίζει την κίνηση των οχημάτων σε περιοχές υψηλής επικινδυνότητας ή να ορίζει ασφαλείς αποστάσεις από τις μονάδες επεξεργασίας.

Επόπτες – Επιβλέποντες

Η ανάλυση των αρμοδιοτήτων και των λαθών που επισημάνθηκαν στο επίπεδο των εποπτών παρατίθεται στον Πίνακα 12.5. Συγκεκριμένα, διαπιστώθηκε ότι υπήρχε ανεπαρκής επίβλεψη των χειριστών κατά την εκκίνηση της μονάδας. Όταν αποχώρησε ο επιβλέπων της νυκτερινής βάρδιας, λόγω κάποιου οικογενειακού προβλήματος, δεν ανατέθηκε σε κάποιο έμπειρο άτομο ο συντονισμός των διαδικασιών. Παρόλο που υπήρχαν δυο έμπειροι μηχανικοί διεργασιών (process technicians) που διέθεταν πολλές γνώσεις και εμπειρία, αυτοί δεν εκλήθησαν να συμμετάσχουν στη διαδικασία εκκίνησης.

Σε γενικές γραμμές, όλες οι εντολές του επιβλέποντα ήταν προφορικές και ενίοτε ασαφείς ενώ, σε πολλές περιπτώσεις, θα έπρεπε να ήταν γραπτές για να διασφαλισθεί η καλή επικοινωνία και συμμόρφωση των χειριστών. Είναι χαρακτηριστικό ότι ο επιβλέπων δε μοίρασε τις γραπτές διαδικασίες εκκίνησης ούτε τις εξέτασε με τους χειριστές, παρόλο που αυτό ήταν απαίτηση των διαδικασιών λειτουργίας. Επίσης δε γινόταν καταγραφή, στο επίσημο βιβλίο καταχωρήσεων, των κρίσιμων πληροφοριών που αφορούσαν τη λειτουργία του εξοπλισμού και των συναγερμών.

Ένα άλλο ζήτημα αφορά στην ελλιπή ανταλλαγή πληροφοριών κατά την αλλαγή της βάρδιας. Απο τη μια πλευρά, οι δύο επιβλέποντες δε συναντήθηκαν την ημέρα εκείνη καθόσον ο επιβλέπων της νυχτερινής βάρδιας αναχώρησε μία ώρα πριν τη λήξη της, ενώ ο αντίστοιχος της ημερήσιας βάρδιας έφτασε με μια ώρα καθυστέρηση. Η κατάσταση επιδεινώθηκε επειδή δεν υπήρχε συστηματική καταγραφή των

συμβάντων και αποκλίσεων στο βιβλίο παρατηρήσεων. Ως εκ τούτου, ο χειριστής των οθονών ελέγχου δεν είχε στη διάθεσή του πληροφορίες για τις εργασίες που ολοκληρώθηκαν κατά τη νυκτερινή βάρδια και τις διαδικασίες που έπρεπε να ακολουθήσει στην ημερήσια βάρδια.

Πίνακας 12.5. Ανάλυση αρμοδιοτήτων και λαθών στο επίπεδο των εποπτών

Επόπτες –Επιβλέποντες
Απαιτήσεις ασφαλείας – Περιορισμοί
• Επόπτευση & επίβλεψη χειριστών • Συντονισμός ομάδων εργασίας • Ανασκόπηση διαδικασιών ασφαλείας πριν την εκκίνηση • Συμμόρφωση με γραπτές διαδικασίες εκκίνησης & λειτουργίας • Διερεύνηση συμβάντων και αστοχιών
Πλαίσιο λήψης αποφάσεων
• Εφαρμογή κανονισμών και διαδικασιών για ασφαλή λειτουργία • Επίτευξη στόχων παραγωγικότητας
Ανεπαρκείς δράσεις ελέγχου
• Έλλειψη ανταλλαγής πληροφοριών κατά την αλλαγή βάρδιας • Πρόωρη αναχώρηση νυχτερινού επιβλέποντα χωρίς αντικατάσταση απο άλλο μηχανικό • Σοβαρές αποκλίσεις από τις γραπτές διαδικασίες κατά την εκκίνηση της μονάδας • Ελλιπής ενημέρωση των βιβλίων καταγραφής • Ο νυχτερινός επιβλέπων ψευδώς υπέγραψε ότι είχαν γίνει οι απαραίτητοι έλεγχοι
Ατέλειες νοητικού μοντέλου
• Ανοχή στις παρεκκλίσεις από τις ορθές πρακτικές και διαδικασίες • Ελλιπής κατανόηση των διαδικασιών ασφάλειας • Ανεπαρκείς διαδικασίες επικοινωνίας και συντονισμού • Ελλιπής ανασκόπηση ασφαλείας πριν την εκκίνηση της μονάδας

Χειριστές κέντρου ελέγχου και πεδίου

Η ανάλυση των αρμοδιοτήτων και των λαθών που επισημάνθηκαν στο επίπεδο των χειριστών παρατίθεται στον Πίνακα 12.6. Οι χειριστές είχαν αναπτύξει ανεπίσημες πρακτικές για την αποφυγή καθυστερήσεων καθώς θεωρούσαν τις γραπτές διαδικασίες ως απλές κατευθυντήριες γραμμές. Η πλήρωση του πύργου μέχρι το 99% του ορίου ασφαλείας ήταν μια συνηθισμένη πρακτική, παρόλο που η διαδικασία εκκίνησης προέβλεπε ότι το ύψος της στάθμης δεν έπρεπε να υπερβεί το 50%. Οι χειριστές ανέφεραν ότι η επιπλέον ποσότητα υγρού ήταν απαραίτητη επειδή είχε παρατηρηθεί ότι η στάθμη του υγρού μειωνόταν σημαντικά κατά την εκτέλεση της διαδικασίας με κίνδυνο την καταστροφή παρακείμενου εξοπλισμού. Ο χειριστής του πίνακα ελέγχου, δρώντας με βάση τις «συνήθειες» διαδικασίες εκκίνησης και την πεποίθηση ότι απαιτείται υψηλότερη στάθμη υγρού από το όριο ασφαλείας για να αποφευχθεί η φθορά περιφερειακού εξοπλισμού, έκλεισε τη βαλβίδα ελέγχου στάθμης πράγμα που συνετέλεσε στο γέμισμα του πύργου με το μείγμα υδρογονανθράκων.

Η κατάσταση αυτή επίσης προέκυψε από την έλλειψη επικοινωνίας και συντονισμού μεταξύ χειριστών και υπευθύνων, και τη γενική έλλειψη ηγεσίας κατά τη διαδικασία εκκίνησης. Στη μονάδα εργαζόταν πολλοί εσωτερικοί και εξωτερικοί χειριστές αλλά οι δύο ομάδες ελάμβαναν μπερδεμένες και ελλιπείς οδηγίες σχετικά με την ενεργοποίηση της εκροής από τον πύργο διαχωρισμού. Οι εσωτερικοί χειριστές

πίστευαν ότι ο χώρος αποθήκευσης του βαρέως κλάσματος ήταν πλήρης και έτσι έκλεισαν τη σχετική βαλβίδα εξόδου, ενώ οι εξωτερικοί χειριστές πίστευαν το ίδιο για τον αντίστοιχο χώρο αποθήκευσης του ελαφρού κλάσματος και απενεργοποίησαν τη σχετική βαλβίδα εξόδου. Χωρίς καμία έξοδο προϊόντων, ο πύργος γέμισε γρήγορα με το μείγμα υδρογονανθράκων.

Το πόρισμα διερεύνησης καταδεικνύει ότι δεν υπήρχε καλή επικοινωνία και συντονισμός των εσωτερικών και εξωτερικών χειριστών. Επίσης, καμία από τις δύο ομάδες δεν κατέγραφε τις οδηγίες που ελάμβανε σχετικά με τη ροή των προϊόντων στο βιβλίο παρατηρήσεων. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα, όταν έγινε η εκκίνηση της μονάδας, οι δύο βαλβίδες εκροής του πύργου να είναι κλειστές με αποτέλεσμα τη συσσώρευση του μείγματος στο εσωτερικό του πύργου. Με την έλλειψη κατάλληλων οργάνων στάθμης και τροφοδοσίας του πύργου, οι χειριστές δεν ήταν δυνατό να αντιληφθούν το γεγονός ότι ο πύργος γέμιζε υπερβολικά γρήγορα με υγρό πάνω από το επιτρεπτό επίπεδο. Το αυτόματο σύστημα ελέγχου δεν παρείχε στοιχεία για τις εισροές και εκροές στην ίδια οθόνη αλλά ούτε και υπολογισμούς σχετικά με τα ισοζύγια μάζας. Κρίσιμοι συναγερμοί και όργανα ελέγχου παρείχαν λανθασμένες ενδείξεις που δεν επέτρεψαν στους χειριστές να αντιληφθούν την υψηλή στάθμη στο εσωτερικό του πύργου.

Την ημέρα του ατυχήματος ο μετρητής στάθμης έδειχνε ότι η στάθμη του μείγματος μέσα στον πύργο μειωνόταν, ενώ στην πραγματικότητα συνέβαινε το αντίθετο. Οι χειριστές δε γνώριζαν ότι οι ενδείξεις του μετρητή ήταν ανακριβείς. Ο χειριστής

Πίνακας 12.6. Ανάλυση αρμοδιοτήτων και λαθών στο επίπεδο των χειριστών

Χειριστές κέντρου ελέγχου και πεδίου
Απαιτήσεις ασφαλείας – Περιορισμοί
• Συμμόρφωση με οδηγίες εργασίας και διαδικασίες ασφαλείας • Αποτελεσματική επικοινωνία και συντονισμός μεταξύ τους • Κατανόηση των συνθηκών λειτουργίας και διαδικασιών ασφαλείας • Γνώση των παραγωγικών διεργασιών • Ικανότητες ελέγχου εξοπλισμού και χρήσης πινάκων ελέγχου
Πλαίσιο λήψης αποφάσεων
• Εφαρμογή κανονισμών για ασφαλή λειτουργία • Επίτευξη ζητούμενης παραγωγής
Ανεπαρκείς δράσεις ελέγχου
• Οι χειριστές της νυχτερινής βάρδιας δεν ενημέρωσαν πλήρως τα βιβλία καταγραφής • Οι ενέργειες εκκίνησης της μονάδας ήταν αντίθετες με τις διαδικασίες • Διάφορα βήματα για την ανασκόπηση της ασφαλείας δεν είχαν ολοκληρωθεί • Οι τεχνικοί πεδίου δεν είχαν ολοκληρώσει τους απαραίτητους ελέγχους • Ανεπαρκής επικοινωνία με τους επόπτες και τα μέλη των ομάδων • Υπερβολικός φόρτος εργασίας – Ελλιπής εκπαίδευση
Ατέλειες νοητικού μοντέλου
• Βασιζόμενοι σε προηγούμενες εμπειρίες, οι χειριστές ανέπτυξαν ανεπίσημες πρακτικές για αποφυγή καθυστερήσεων • Δεν είχαν αναπτύξει ένα μοντέλο για ισοζύγια μάζας και θερμότητας • Δεν ανέπτυξαν μια κουλτούρα καλών επικοινωνιών • Απέφευγαν να προτείνουν βελτιώσεις και να αναφέρουν τα συμβάντα και τις αστοχίες

της πρωινής βάρδιας ανέφερε ότι παρατήρησε μείωση της στάθμης του μείγματος - περίπου 3 ώρες πριν το συμβάν - και θεώρησε την ένδειξη του μετρητή αξιόπιστη, καθώς ανέμενε ότι η στάθμη θα μειωνόταν με τη θέρμανση του πύργου και την επιστροφή του συστήματος σε φυσιολογικές συνθήκες λειτουργίας.

Η πεποίθηση των χειριστών ότι η ένδειξη της στάθμης του πύργου ήταν ακριβής ενισχύθηκε από την αδυναμία ενεργοποίησης του συναγερμού υψηλής στάθμης. Ωστόσο το όριο αυτού του συναγερμού δεν ήταν γνωστό στους χειριστές καθώς δεν αναφερόταν στις γραπτές διαδικασίες. Επειδή δεν ήχησε ο συναγερμός αυτός, ο χειριστής θεώρησε ότι η στάθμη του υγρού στον πύργο μειωνόταν καθώς μέρος αυτού οδηγούταν στη ροή εξόδου και ανακυκλωνόταν προς άλλα μέρη της μονάδας. Έτσι δε φρόντισε να επιβεβαιώσει το συμπέρασμα αυτό με κάποιο άλλο χειριστή.

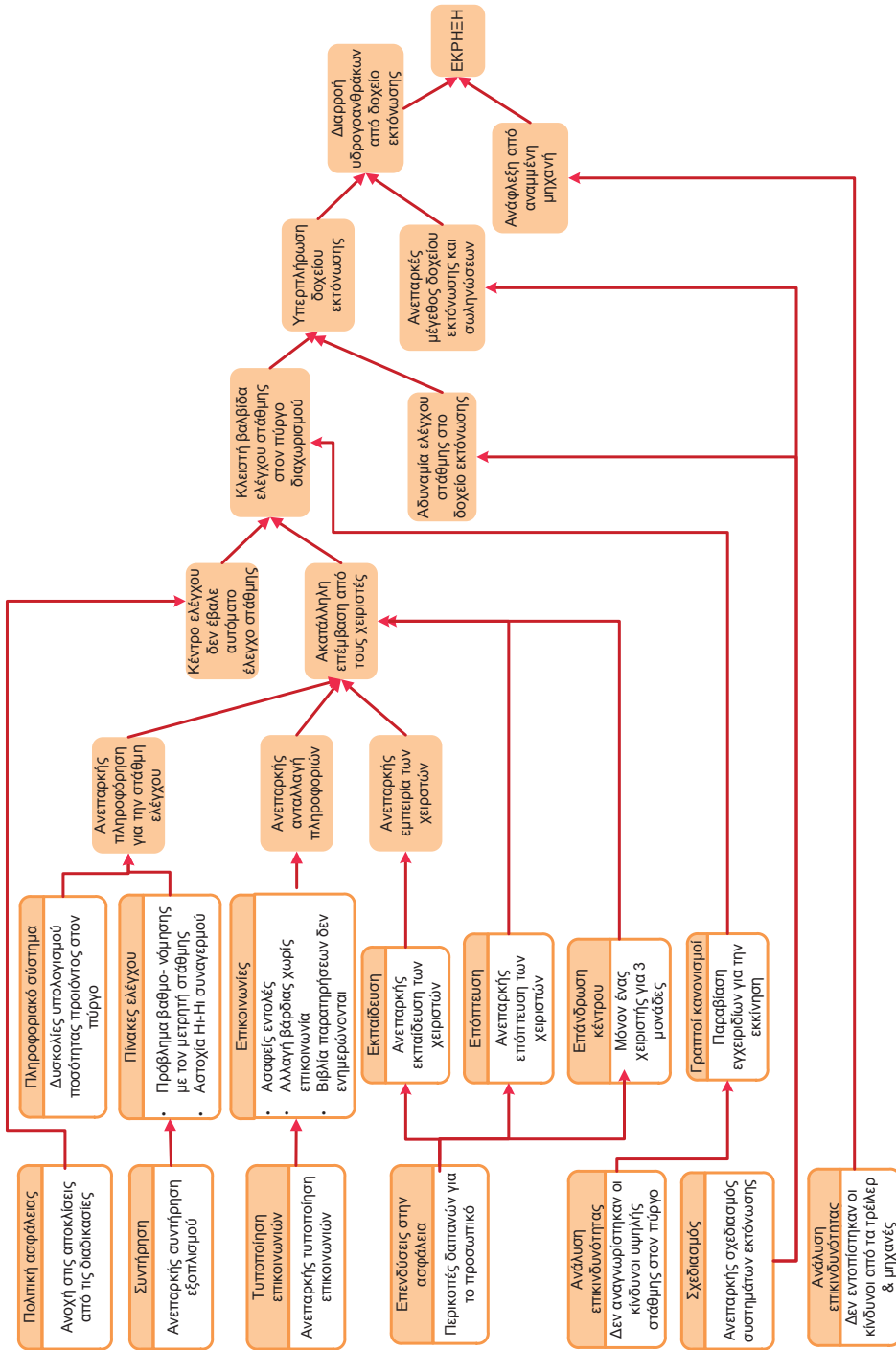
Ανάλυση ατυχήματος με τη μέθοδο ACCIMAP

Η μέθοδος ACCIMAP έχει πολλά κοινά σημεία εφαρμογής με την μέθοδο STAMP και η εφαρμογή της γίνεται ευκολότερη όταν έχει προηγηθεί η ανάλυση του ατυχήματος με την άλλη μέθοδο. Ως εκ τούτου, πολλά από τα συμπεράσματα των προηγούμενων ενοτήτων έχουν εφαρμογή στην ανάλυση του ατυχήματος με την μέθοδο ACCIMAP. Το κύριο πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι η απεικόνιση της σειράς των γεγονότων και του συνδυασμού των λαθών και αστοχιών που οδήγησαν στο ατύχημα. Αυτή η γραφική απεικόνιση δεν είναι δυνατή με την μέθοδο STAMP παρόλο που τα ανθρώπινα λάθη και οι αστοχίες του εξοπλισμού έχουν διαπιστωθεί στους προηγούμενους πίνακες. Απεναντίας, η μέθοδος STAMP δίνει έμφαση στο ιεραρχικό διάγραμμα με τους βρόχους ελέγχου των χειριστών, προϊσταμένων και διευθυντικών στελεχών. Αυτή η ενδελεχής ανάλυση της λειτουργίας και των διαδικασιών ελέγχου της επιχείρησης δεν είναι δυνατή με την μέθοδο ACCIMAP η οποία απεικονίζει γραφικά μερικές μόνο από τις αιτίες των αστοχιών σε εργασιακό και διοικητικό επίπεδο. Στο Σχήμα 12.21 παρουσιάζεται μια απεικόνιση της αλυσίδας των γεγονότων που οδήγησαν στο ατύχημα και των επιδράσεων διαφόρων οργανωσιακών παραγόντων.

Στη δεύτερη στήλη (αριστερό μέρος Σχήματος 12.21) φαίνονται οι εργασιακοί παράγοντες (π.χ., πίνακες ελέγχου, εκπαίδευση, γραπτοί κανονισμοί και επόπτευση) που ελέγχονται από τους επιβλέποντες και προϊσταμένους. Στην πρώτη στήλη καταγράφονται οι διοικητικοί παράγοντες (π.χ. επενδύσεις και πολιτική ασφάλειας, ανάλυση επικινδυνότητας, συντήρηση του εξοπλισμού) που αφορούν την διεύθυνση της επιχείρησης. Οι επιδράσεις των παραγόντων αυτών έχουν ήδη παρουσιασθεί κατά την εφαρμογή της μεθόδου STAMP. Έως ένα βαθμό, το Σχήμα 12.21 αποτελεί μια καλή απεικόνιση των αποτελεσμάτων της μεθόδου STAMP. Η ενότητα αυτή καταδεικνύει ότι οι μεθοδολογίες STAMP και ACCIMAP μπορούν να εφαρμοστούν συνδυαστικά χωρίς ιδιαίτερο κόπο από τη στιγμή που έχει γίνει μια αρχική ανάλυση με μια από αυτές.

12.5. Συμπεράσματα

Από την περιγραφή των τεχνικών διερεύνησης ατυχημάτων γίνεται φανερό ότι οι με-



Σχήμα 12.21. Ανάλυση του ατυχήματος στο διωλιστήριο Texas με τη μέθοδο ACCIMAP

λετητές επηρεάζονται από τη θεωρητική προσέγγιση της ασφάλειας που υιοθετούν και εφαρμόζουν. Όπως ελέγχθη «αυτό που κατευθύνει το μελετητή είναι το νοητικό μοντέλο ή η προσέγγιση που χρησιμοποιεί». Η θεωρητική προσέγγιση επηρεάζει τον τρόπο που ο μελετητής θα αναζητήσει και ερμηνεύσει πληροφορίες, την εστίαση σε ενεργές ή λανθάνουσες αιτίες, καθώς και τους όρους ανάλυσης των γεγονότων (π.χ. φραγμοί κινδύνων, λάθη, περιορισμοί ασφαλείας). Παρόλο που πολλές τεχνικές ανάλυσης κατευθύνονται από τη συστημική προσέγγιση –εστιάζοντας έτσι στον έλεγχο των κοινωνικο-τεχνικών συστημάτων– υπάρχουν αρκετές επιμέρους ειδοποιές διαφορές. Για παράδειγμα, η τεχνική ACCIMAP συνδυάζει μια περιγραφή της χρονικής διαδοχής των γεγονότων με ταυτόχρονη ανάλυση των οργανωσιακών αιτιών, ενώ η τεχνική STAMP εστιάζει στη δυναμική των βρόχων σκέψης – δράσης σε διαφορετικά ιεραρχικά επίπεδα.

Οι τεχνικές διερεύνησης διαφωτίζουν διαφορετικές οπτικές γωνίες του ατυχήματος, γεγονός που υποδεικνύει ότι συχνά οι μελετητές καλό είναι να χρησιμοποιούν έναν συνδυασμό αυτών. Για παράδειγμα, η τεχνική STEP είναι πολύ ουσιαστική στην περιγραφή της χρονικής διαδοχής των γεγονότων που οδήγησαν στο ατύχημα και είναι απαραίτητη στη διερεύνηση ατυχημάτων. Δεν είναι όμως από μόνη της ικανή να διερευνήσει σε βάθος τα ανθρώπινα λάθη και τις συνθήκες εργασίες που συνέβαλλαν στο ατύχημα. Για τον λόγο αυτό μπορεί να συμπληρώνεται με άλλες τεχνικές από τις λοιπές κατηγορίες.

Από την άλλη πλευρά, οι τεχνικές των δένδρων αστοχιών και των διαγραμμάτων μεταβλητότητας είναι ανταγωνιστικές, με την έννοια ότι θα πρέπει να επιλέξουμε μία εξ' αυτών. Το διάγραμμα μεταβλητότητας κάνει καλύτερη αναπαράσταση της χρονικής διάστασης του ατυχήματος, ενώ το δένδρο αστοχιών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ποσοτική εκτίμηση παραπλήσιων ατυχημάτων. Αμφότερα όμως αδυνατούν να εμβαθύνουν στους οργανωτικούς παράγοντες που συμβάλλουν στα ατυχήματα.

Για το σκοπό αυτό κατάλληλες είναι οι τεχνικές ACCIMAP και STAMP οι οποίες εστιάζουν στους περιορισμούς ασφαλείας που τίθενται από την κορυφή της διοίκησης προς την βάση των οργανώσεων. Παρόλο που οι τεχνικές αυτές χρησιμοποιούν διαφορετικά θεωρητικά πλαίσια ανάλυσης, στην πράξη οι επιμελείς διερευνητές επηρεάζονται και από τις δύο προσεγγίσεις. Έτσι ένας μελετητής μπορεί να χρησιμοποιεί μια τεχνική αλλά να ενσωματώνει και στοιχεία από την άλλη τεχνική με τον δικό του ιδιαίτερο τρόπο. Αμφότερες οι τεχνικές έχουν μεγάλη αποδοχή από τους διερευνητές ατυχημάτων και διαφορετικές συγκρίσεις στη βιβλιογραφία τείνουν να ευνοούν άλλοτε τη μια ή την άλλη τεχνική. Στην πράξη όμως οι διερευνητές μπορούν να δημιουργούν το μίγμα τεχνικής της ιδιαίτερης προτίμησής τους.

Κατά τη διερεύνηση ατυχημάτων συστήνεται η ενεργός συμμετοχή του προσωπικού στο σχεδιασμό και στην εφαρμογή του πλαισίου συλλογής δεδομένων, καθώς και η κατάλληλη εκπαίδευσή τους στις μεθόδους διερεύνησης. Κατ' αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η υιοθέτηση και η κατάλληλη εφαρμογή των εν λόγω διαδικασιών εφόσον το προσωπικό τις θεωρεί ως «ιδιοκτησία» τους.