ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

« ΑΝΑΛΥΣΗ ΟΡΓΑΝΩΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΤΟΥ ΑΤΥΧΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΔΙΥΛΙΣΤΗΡΙΟΥ ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΙΑΣ BP ΣΤΟ Texas ΤΩΝ ΗΠΑ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ SADT »

Όνομα : Κουρπά Ιωάννα

Επιβλέπων καθηγητής : Παπαδάκης Γιώργος

Χανιά Νοέμβριος 2011

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

		ΣΕΛΙΔΑ
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ		***5***
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 :	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	***7***
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 :	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ	***9***
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 :	ΟΡΓΑΝΩΤΙΚΟΙ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ	***20***
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 :	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ STRUCTURED ANALYSIS AND DESIGN TECHNIQUE (SADT)	***25***
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 :	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΕΝΤΡΟΥ ΑΣΤΟΧΙΩΝ (FAULT TREE ANALYSIS)	***63***
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 :	ΑΝΑΛΥΤΙΚΟ ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΑΤΥΧΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	***68***
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 :	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΕΥΝΩΝ	***82***
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 :	ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΚΚΙΝΗΣΗΣ	***85***
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 :	ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ	***87***
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10 :	ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ	***93***
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11 :	ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΟΔΗΓΗΣΑΝ ΣΤΟ ΑΤΥΧΗΜΑ	***98***
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12 :	ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ SADT	***105***
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13 :	ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	***146***
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14 :	ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΔΕΝΤΡΟ ΑΣΤΟΧΙΩΝ	***153***
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 15 :	ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	***157***
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 16 :	ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	***160***
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		***161***

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω πολύ τον καθηγητή μου, κ. Γιώργο Παπαδάκη, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και για την πολύτιμη βοήθειά του σε όλη τη διάρκεια της δουλειάς μου.

Ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ θέλω να πω στους γονείς μου, Σταματία και Μιχάλη, και σε όλη την οικογένεια μου, που τόσο χρόνια με στήριζαν και με στηρίζουν με κάθε τρόπο, στη ζωή μου και στις επιλογές μου.

Τέλος, μεγάλο ευχαριστώ θέλω να πω σε όλους τους φίλους και στους συμφοιτητές μου, που είναι πάντα δίπλα μου σε κάθε στιγμή της ζωής μου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια, παρά την εξέλιξη της τεχνολογίας γινόμαστε όλο και πιο συχνά μάρτυρες εργατικών ατυχημάτων, είτε σε μικρές εταιρίες, είτε σε μεγάλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Μια σειρά από σοβαρά ατυχήματα, γνωστά με τον όρο Βιομηχανικά Ατυχήματα Μεγάλης Έκτασης (ΒΑΜΕ) που έχουν συμβεί από τις αρχές κιόλας του 20^{ου} αιώνα και μετά, έδειξαν με τον πιο δραματικό τρόπο την ανάγκη για συστηματική ανάλυση και μελέτη των προβλημάτων που σχετίζονται με την ασφάλεια των εγκαταστάσεων. Ονόματα πόλεων όπως Sevezo (1976), Flixborough (1974), Mexico City (1984), Bhopal (1984), κ.α. έχουν γίνει συνώνυμα με βαρύτατες επιπτώσεις στο περιβάλλον και σε ανθρώπινες ζωές. Στην Ελλάδα έχουν συμβεί αρκετά ατυχήματα με σοβαρές συνέπειες. Τα κύρια χαρακτηριστικά όλων των ατυχημάτων που υπάγονται στην παραπάνω κατηγορία ήταν οι καταστροφικές συνέπειες από την άποψη των θυμάτων και των υλικών ζημιών, τόσο στην περιοχή γύρω από τον τόπο του ατυχήματος, όσο και μακριά από αυτή. Σοβαρές ήταν επίσης και οι επιπτώσεις στο περιβάλλον.

Στη διεθνή βιβλιογραφία σχετικά με τα ατυχήματα σε εργασιακούς χώρους, ένας από τους βασικότερους παράγοντες θεωρείται ο ανθρώπινος παράγοντας, δηλαδή όλες οι ενέργειες και οι αποφάσεις που πάρθηκαν και εκτελέστηκαν από τη Διοίκηση και τους εργαζόμενους της κάθε μονάδας. Ο παραπάνω παράγοντας βέβαια δεν μπορεί να εξεταστεί μόνος του, αλλά σε συνδυασμό με όλους τους υπόλοιπους παράγοντες που πήραν μέρος στη διαδικασία του ατυχήματος, όπως για παράδειγμα οι Τεχνικές αστοχίες που μπορεί να υπήρξαν, οι αστοχίες σε μέρη του εξοπλισμού, οι Περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούσαν κάποια μέρα, και άλλοι παράγοντες.

Η ουσία όμως είναι ότι τα ατυχήματα συμβαίνουν όταν ένα σφάλμα χειρισμού συμπληρώσει το συνδετικό κρίκο σε μία σειρά ανασφαλών εργασιακών παραγόντων. Μετά από αρκετές προσπάθειες διερεύνησης και αναγνώρισης των αιτιών των βιομηχανικών ατυχημάτων, οι ερευνητές έχουν στρέψει την προσοχή τους από τα ανθρώπινα λάθη σε δύο έννοιες οι οποίες είναι λιγότερο γνωστές, τους *οργανωτικούς και διαχειριστικούς παράγοντες* (*organizational and management factors*). Οι παράγοντες αυτοί καθοδηγούν και χαρακτηρίζουν τις δραστηριότητες των εργαζομένων, με αποτέλεσμα να επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την καθημερινή λειτουργία ενός οργανισμού. Η έρευνα στη διαχείριση βιομηχανικής επικινδυνότητας έχει δείξει ότι τα σφάλματα χειρισμού και οι αστοχίες του εξοπλισμού οφείλονται στις αποφάσεις της διοίκησης και τους οργανωτικούς παράγοντες.

Όταν κάνουμε την ανάλυση ενός ΒΑΜΕ είναι πολύ σημαντικό να κοιτάξουμε πιο προσεκτικά στους οργανωτικούς παράγοντες που οδήγησαν σε αυτό το ατύχημα, δηλαδή να δούμε πιο προσεκτικά τις αποφάσεις που πάρθηκαν από την Διοίκηση του εργοστασίου, την Εκπαίδευση που είχαν οι εργαζόμενοι, πώς ήταν διαμορφωμένο το Σύστημα Διαχείρισης Ασφάλειας της εγκατάστασης, και διάφοροι άλλοι παράγοντες που δεν έχουν να κάνουν με τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης, αλλά όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, με τις αποφάσεις που χρειάστηκε να πάρουν οι άνθρωποι,

είτε αυτοί βρίσκονταν στην Διοίκηση, είτε ήταν προϊστάμενοι ή εργαζόμενοι στην εγκατάσταση.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να γίνει ανάλυση ενός ατυχήματος, το οποίο συγκαταλέγεται στην κατηγορία των BAME με τη βοήθεια ολοκληρωμένου Συστήματος Διαχείρισης Ασφάλειας (ΣΔΑ). Το σύστημα αυτό ενσωματώνει λειτουργικά τις απαιτήσεις της Κοινοτικής Οδηγίας SEVESO II, για την πρόληψη των κινδύνων εκδήλωσης ατυχημάτων μεγάλης έκτασης, και τον περιορισμό των συνεπειών τους στον άνθρωπο και το περιβάλλον. Ακόμα μέσα από αυτή την ανάλυση στόχος είναι να δούμε κατά πόσο το ΣΔΑ που έχουμε μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά στην ανάλυση ατυχημάτων, και να βγάλει συμπεράσματα τα οποία να είναι χρήσιμα όχι μόνο για την ανάλυση αλλά και για την μελλοντική πρόβλεψη ατυχημάτων.

Το προτεινόμενο σύστημα αποτελείται από θεμελιώδη στοιχεία (θεματικές ενότητες) σύμφωνα με τις απαιτήσεις της SEVESO II, καλύπτοντας περιοχές όπως της διοίκησης, της εκπαίδευσης, των λειτουργιών, της συντήρησης, της εκτίμησης επικινδυνότητας, του σχεδιασμού εκτάκτου ανάγκης και της παρακολούθησης επιδόσεων και ελέγχου. Ταυτόχρονα στο σύστημα ενσωματώνονται βασικοί οργανωτικοί και διαχειριστικοί παράγοντες που σχετίζονται με τη διαχείριση της ασφάλειας.

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ονομάζεται Structured Analysis and Design Technique (SADT). Με τη μέθοδο αυτή κατασκευάζεται ένα μοντέλο διαγράμματος ροής ενεργειών (model action-flow diagram) στο οποίο αναπαρίστανται τα στοιχεία του συστήματος και οι παράγοντες. Στο μοντέλο αυτό μπορούν να προσδιοριστούν οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των στοιχείων του συστήματος και των παραγόντων, οι συσχετίσεις μεταξύ των στοιχείων και κατά συνέπεια να σχεδιαστούν οι ροές ενεργειών που σχετίζονται με τη λειτουργία του συστήματος.

Στη συνέχεια πέρα από την ανάλυση του ατυχήματος με αυτή τη μεθοδολογία θα δούμε πως μπορεί να πραγματοποιηθεί ανάλυση με διάφορες άλλες μεθόδους, και τέλος να συνδυαστεί με την τεχνική Ανάλυσης Δέντρου Αστοχιών (Fault Tree Analysis), ώστε να βγάλουμε τα τελικά συμπεράσματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

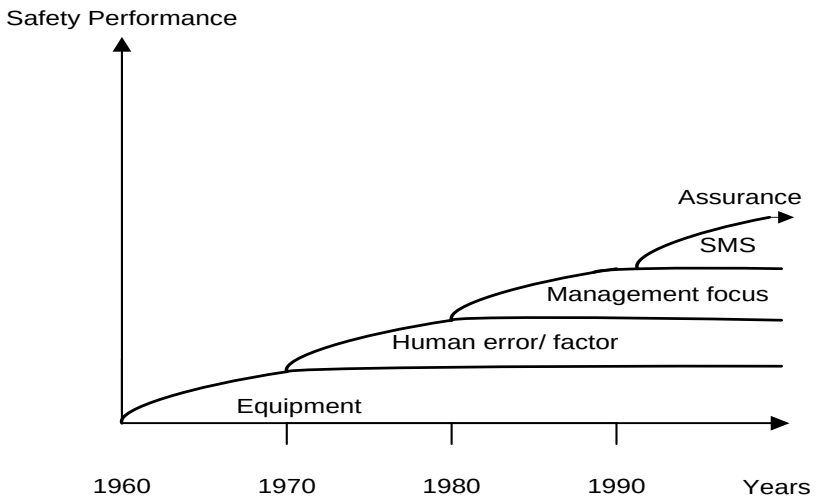
Συστήματα Διαχείρισης Ασφάλειας

2.1 Διαχείριση της Ασφάλειας

Ο όρος διαχείριση (management) χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό σε διάφορα πεδία και τομείς, συμπεριλαμβανομένου του τομέα της ασφάλειας και θεωρείται ένας κρίσιμος παράγοντας για την πρόοδο ενός οργανισμού. Δεδομένου ότι υπάρχουν αρκετοί διαφορετικοί ορισμοί, είναι κοινά αποδεκτό ότι ο όρος αυτός είναι συνυφασμένος με την έννοια της συνεχούς βελτίωσης (continuous improvement). Η διαχείριση μιας οποιαδήποτε δραστηριότητας μπορεί να αναπαρασταθεί από ένα διαχειριστικό βρόγχο, ο οποίος περιλαμβάνει το σχεδιασμό, την οργάνωση των εργασιών, την εφαρμογή, την αξιολόγηση, τον έλεγχο των αποτελεσμάτων και τη λήψη των κατάλληλων διορθωτικών ενεργειών. Η διαχείριση της ασφάλειας ακολουθεί την παραπάνω αρχή.

Σύμφωνα με τους Mitchison and Papadakis (1999) η διαχείριση της ασφάλειας είναι ο τομέας της συνολικής διαχειριστικής λειτουργίας που καθορίζει και εφαρμόζει την πολιτική ασφάλειας. Περιλαμβάνει ένα μεγάλο εύρος δραστηριοτήτων, πρωτοβουλιών, προγραμμάτων, κλπ που εστιάζουν σε τεχνικά και οργανωτικά θέματα και λαμβάνουν υπόψη τον ανθρώπινο παράγοντα. Επίσης, αναφέρεται σε όλες τις μεμονωμένες δραστηριότητες του οργανωτικού πλαισίου, οι οποίες τείνουν να τυποποιηθούν με τον τίτλο Συστήματα Διαχείρισης Ασφάλειας (ΣΔΑ).

Τα διαφορετικά στάδια εξέλιξης της διαχείρισης ασφάλειας παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα (Hale and Baram, 1998). Από το σχήμα αυτό φαίνεται ότι μόλις από τα μέσα του 20^{ου} αιώνα και έπειτα άρχισε να παρατηρείται μία αυξανόμενη ευαισθησία για τα θέματα της ασφάλειας, η οποία εκφράζεται μέσω των οικονομικών κινήτρων, της αυστηρής νομοθεσίας και της ηθικής και των αρχών των επιχειρήσεων. Η πρώτη προσέγγιση για τη βελτίωση της απόδοσης στην ασφάλεια, η οποία ξεκίνησε τη δεκαετία του ’60, ήταν η βελτίωση του εξοπλισμού. Στη συνέχεια, δόθηκε έμφαση στη πρόληψη του ανθρώπινου σφάλματος, όπου επικρατούσε ολοένα και περισσότερο η άποψη ότι το ανθρώπινο λάθος είναι μέρος της ανθρώπινης συμπεριφοράς και επομένως η πλήρης εξάλειψη των ανθρώπινων σφαλμάτων δεν είναι εφικτή. Τη δεκαετία του ’80 δόθηκε προσοχή στη διοίκηση, καθώς αναγνωρίστηκε ότι η διαχείριση της ασφάλειας θα έπρεπε να είναι αρμοδιότητα του line management, ενώ συστηματική προσοχή στα Συστήματα Διαχείρισης Ασφάλειας (ΣΔΑ) δόθηκε μόλις τα τελευταία χρόνια.



Σχήμα 1: Στάδια εξέλιξης της διαχείρισης ασφάλειας

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι η συστηματική προσέγγιση στη διαχείριση της ασφάλειας παρέχει τα πιο αξιόπιστα μέσα για τη βελτίωση της απόδοσης στην ασφάλεια ενός οργανισμού και επομένως οδηγεί στα ακόλουθα οφέλη:

- Μείωση των ζημιών και τραυματισμών.
- Μείωση του κόστους και αύξηση της κερδοφορίας.
- Υψηλή απόδοση σε περιοχές που είναι κρίσιμες από πλευράς ασφάλειας.
- Βελτίωση της δημόσιας εικόνας του οργανισμού και των σχέσεων με τις δημόσιες αρχές.
- Διασφάλιση της συμμόρφωσης με τις νομοθετικές απαιτήσεις.

Αρκετές μελέτες έχουν δείξει τη σημασία της κουλτούρας ασφάλειας (safety culture), η οποία ουσιαστικά περιλαμβάνει όλα εκείνα τα χαρακτηριστικά και τις νοοτροπίες των οργανισμών και των ανθρώπων μέσω των οποίων διασφαλίζεται ότι τα θέματα ασφάλειας λαμβάνουν τη κατάλληλη προσοχή με βάση τη σημαντικότητά τους (Morici and Battistella, 1993). Η έννοια της κουλτούρας ασφάλειας προωθήθηκε από το International Nuclear Safety Advisory Group του Διεθνούς Οργανισμού Ατομικής Ενέργειας (International Atomic Energy Agency - IAEA), μετά την ανάλυση του ατυχήματος Chernobyl. Η κουλτούρα ασφάλειας χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό για την περιγραφή της γενικής νοοτροπίας ενός οργανισμού για την ασφάλεια.

Σύμφωνα με τον οργανισμό IAEA, η θετική κουλτούρα ασφάλειας είναι η δέσμευση όλων των εργαζομένων να εργάζονται με ασφάλεια και να συνεισφέρουν θετικά στην ασφάλεια όλων των εργαζομένων. Η ανάπτυξη της κουλτούρας ασφάλειας μέσα σε έναν οργανισμό είναι μία επαναληπτική διαδικασία. Αποτελεί μία συλλογική φιλοσοφία και εκφράζει τη δέσμευση για τη δημιουργία και συνεχή βελτίωση ενός ασφαλούς περιβάλλοντος εργασίας.

2.2 Ορισμοί και γενικά χαρακτηριστικά ενός Συστήματος Διαχείρισης Ασφάλειας

Είναι γενικά αποδεκτό ότι η ασφαλής λειτουργία ενός οργανισμού εξαρτάται από τη γενική διαχείριση. Μέσα σε αυτό το γενικό διαχειριστικό σύστημα, η ασφαλής λειτουργία ενός οργανισμού απαιτεί την εφαρμογή ενός συστήματος δομών, αρμοδιοτήτων και διαδικασιών, με τους κατάλληλους πόρους και τις διαθέσιμες τεχνολογικές λύσεις. Το σύστημα αυτό είναι γνωστό σαν Σύστημα Διαχείρισης Ασφάλειας - ΣΔΑ (Safety Management System - SMS) (Mitchison and Porter, 1998).

Τα ΣΔΑ προσφέρουν ένα πλαίσιο για τη διαχείριση των θεμάτων ασφαλείας που απασχολούν τον οργανισμό και αποτελούνται από ένα σύνολο στοιχείων, η εφαρμογή των οποίων οδηγεί στη συνεχή βελτίωση της απόδοσης στην ασφάλεια του οργανισμού και τη συμμόρφωση του με την ισχύουσα νομοθεσία.

Παρά το μεγάλο αριθμό ερευνών και μελετών που έχουν γίνει για την ανάπτυξη Συστημάτων Διαχείρισης Ασφάλειας (ΣΔΑ) δεν υπάρχουν ακόμα καλώς καθορισμένα και αποδεκτά κριτήρια για την εγκατάσταση ενός αποτελεσματικού ΣΔΑ. Για παράδειγμα, στη βιομηχανία πετρελαίου και αερίου, οι ρυθμίσεις Safety Case Regulations (HSE, 1992) τονίζουν ότι τα στοιχεία που σχετίζονται με την απόδοση στην ασφάλεια αντιστοιχούν συλλογικά στο ΣΔΑ. Ο Ming (1994) ορίζει ένα ΣΔΑ σαν τις πολιτικές, τους στόχους, την οργάνωση, τους ελέγχους διαχείρισης και τους πόρους για τη διαχείριση των θεμάτων που σχετίζονται με την ασφάλεια, την υγεία και το περιβάλλον. Οι Whittingham and Holloywell (1994) θεωρούν ότι ένα αποτελεσματικό ΣΔΑ θα πρέπει να είναι μία πιο τυποποιημένη έκδοση των υπαρχόντων διαχειριστικών συστημάτων για τον έλεγχο της ασφάλειας και της παραγωγής. Επιπλέον, η αποτελεσματική διαχείριση της ασφάλειας προέρχεται από το συνδυασμό της δομής του ΣΔΑ και της κουλτούρας ασφάλειας του οργανισμού.

Το Βρετανικό Ινστιτούτο Τυποποίησης (BS 8800, 1996) ορίζει το διαχειριστικό σύστημα σαν τη σύνθεση, σε οποιοδήποτε επίπεδο πολυπλοκότητας, του προσωπικού, των πόρων, των πολιτικών και των διαδικασιών, τα στοιχεία των οποίων αλληλεπιδρούν με έναν οργανωμένο τρόπο για τη διασφάλιση της εκτέλεσης ενός έργου ή την επίτευξη ή διατήρηση ενός συγκεκριμένου αποτελέσματος. Επίσης, το Βρετανικό Ινστιτούτο Τυποποίησης, τονίζει ότι τα στοιχεία της επαγγελματικής υγείας και ασφάλειας (Occupational Health and Safety – OH&S) που βασίζονται στο Σύστημα Περιβαλλοντικής Διαχείρισης BS EN ISO 14001 είναι απαραίτητα για ένα αποτελεσματικό σύστημα διαχείρισης επαγγελματικής υγείας και ασφάλειας.
Ο Kandola (1997) θεωρεί ότι ένα διαχειριστικό σύστημα πρέπει να επιτρέπει τη διεξαγωγή της εκτίμησης κινδύνου για το σχεδιασμό και την εφαρμογή επαρκών μέτρων μείωσης των κινδύνων και την παροχή κατάλληλων μηχανισμών ανάδρασης για περαιτέρω βελτίωση. Η Κοινοτική Οδηγία SEVESO II (96/82/EC) ορίζει ένα ΣΔΑ σαν το τμήμα του γενικού διαχειριστικού συστήματος το οποίο περιλαμβάνει την οργανωτική δομή, τις αρμοδιότητες, τις πρακτικές, τις διαδικασίες, τις διεργασίες και τους πόρους για

τον καθορισμό και την εφαρμογή της Πολιτικής Πρόληψης Ατυχημάτων Μεγάλης Έκτασης.

Στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης υπάρχουν πολλοί οργανισμοί που έχουν μεγάλη παράδοση στα ΣΔΑ. Οι προσεγγίσεις των διαφόρων οργανισμών για τη διαχείριση της ασφάλειας στις περισσότερες περιπτώσεις είναι διαφορετικές εξαιτίας της διαφορετικής κουλτούρας ασφαλείας, της ιστορίας και του μεγέθους των οργανισμών, αλλά και της διαφορετικής κουλτούρας που υπάρχει από χώρα σε χώρα.

Όλα τα διαχειριστικά συστήματα, ανεξάρτητα με το εάν εφαρμόζονται για την ποιότητα, το περιβάλλον, την ασφάλεια ή την υγιεινή των εργαζομένων αποτελούνται από κάποια βασικά στοιχεία. Πολλές από τις μεγαλύτερες χημικές βιομηχανίες έχουν υιοθετήσει ολοκληρωμένα διαχειριστικά συστήματα για την υγιεινή, την ασφάλεια και το περιβάλλον (Cacciabue et al., 1994) τα οποία σε αρκετές περιπτώσεις συνδυάζονται με τη Διοίκηση Ολικής Ποιότητας (Total Quality Management - TQM). Η κατάλληλη διαχείριση της ασφάλειας ξεκινάει από την πολιτική ασφαλείας, δηλαδή τους γενικούς στόχους και τις αρχές δράσης, οι οποίες εκφράζονται από την ανώτατη διοίκηση.

Τα βασικά χαρακτηριστικά ενός διαχειριστικού συστήματος, συμπεριλαμβανομένου ενός Συστήματος Διαχείρισης Ασφάλειας (ΣΔΑ) είναι τα εξής (IChemE, 1998):

- Ηγεσία
- Δέσμευση
- Πολιτική του οργανισμού
- Οργάνωση
- Σχεδιασμός
- Εγκατάσταση και λειτουργία
- Παρακολούθηση
- Έλεγχος
- Ανασκόπηση από τη διοίκηση με σκοπό τη συνεχή βελτίωση του συστήματος

Για να εφαρμοστεί ένα ΣΔΑ θα πρέπει η ανώτατη διοίκηση του οργανισμού να κατανοήσει πλήρως τις δεσμεύσεις και τις δράσεις που πρέπει να κάνει και να έχει ρόλο ηγετικό στα θέματα ασφάλειας που απασχολούν τον οργανισμό. Επίσης, ενα διαχειριστικό σύστημα για να είναι αποτελεσματικό θα πρέπει να είναι καλά σχεδιασμένο και τεκμηριωμένο. Η πολιτική αποτελεί το πλαίσιο για ολόκληρο το σύστημα, καθώς τα σχέδια και οι στόχοι που είναι απαραίτητοι για τη λειτουργία του, καθορίζονται με βάση αυτή. Τα προγράμματα παρακολούθησης και ελέγχου εξασφαλίζουν ότι το σύστημα εφαρμόζεται σωστά, ενώ με την ανασκόπηση επιβεβαιώνεται η καταλληλότητα και η αποτελεσματικότητά του. Επομένως με τους ελέγχους και την ανασκόπηση το σύστημα επανεξετάζεται και διορθώνεται με σκοπό τη συνεχή βελτίωσή του.

Με βάση τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι ένας οργανισμός δε χρειάζεται να αναπτύξει ένα μεμονωμένο διαχειριστικό σύστημα για την ποιότητα, το περιβάλλον, την ασφάλεια ή την υγιεινή των εργαζομένων. Έτσι ένας οργανισμός μπορεί να εφαρμόσει ένα ΣΔΑ

επεκτείνοντας το σκοπό ενός υπάρχοντος διαχειριστικού συστήματος, όπου ο οργανισμός θα πρέπει να διασφαλίσει και να επιδείξει, όπου είναι απαραίτητο, ότι το διαχειριστικό σύστημα καλύπτει τον έλεγχο των κινδύνων από μεγάλα ατυχήματα και ενσωματώνει λειτουργικά τις νομοθετικές απαιτήσεις.

2.3 Σχετική έρευνα στα Συστήματα Διαχείρισης Ασφάλειας

Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει αρκετές εθνικές και διεθνείς προσπάθειες για την ανάπτυξη κατευθυντήριων γραμμών για τα Συστήματα Διαχείρισης Ασφάλειας (ΣΔΑ) π.χ. OSHA (1992), BSI (1994), Cacciabue et al. (1994), E&P Forum (1994), IMI (1994), ISO (1995). Οι διαφορετικές αυτές κατευθυντήριες γραμμές παρόλο που ακολουθούν στις περισσότερες περιπτώσεις διαφορετικές προσεγγίσεις, έχουν πολλές βασικές ομοιότητες (Mitchison and Papadakis, 1996).

Πολλοί οργανισμοί έχουν αναπτύξει ΣΔΑ χρησιμοποιώντας περιβαλλοντικά πρότυπα όπως το ISO 14001 για Συστήματα Περιβαλλοντικής Διαχείρισης (Environmental Management System - EMS). Το ISO 14001 EMS (ISO, 1995) είναι ένα πρότυπο για τη θέσπιση και την υλοποίηση των περιβαλλοντικών στόχων ενός οργανισμού. Το σύστημα περιβαλλοντικής διαχείρισης αποτελείται από την πολιτική του οργανισμού, το σχεδιασμό, την εγκατάσταση και λειτουργία, τον έλεγχο και τις διορθωτικές ενέργειες και την επανεξέταση από τη διοίκηση. Η πολιτική είναι η δέσμευση του οργανισμού για τα περιβαλλοντικά θέματα που τον απασχολούν μέσω της χρήσης των απαραίτητων πόρων για την εφαρμογή της. Ο σχεδιασμός περιλαμβάνει την αναγνώριση των περιβαλλοντικών πλευρών που σχετίζονται με τις δραστηριότητές, τα προϊόντα και τις υπηρεσίες του οργανισμού και τον καθορισμό συγκεκριμένων και μετρήσιμων σκοπών και στόχων για τις σημαντικότερες από αυτές. Η εγκατάσταση και λειτουργία περιλαμβάνει τα μέσα και τις μεθόδους για την υλοποίηση της περιβαλλοντικής πολιτικής, ενώ οι έλεγχοι και οι διορθωτικές ενέργειες περιλαμβάνουν τα μέσα για την παρακολούθηση των σκοπών και στόχων, αλλά και των διαδικασιών που εφαρμόζονται για την εξάλειψη των αποκλίσεων από τα προβλεπόμενα στο σύστημα περιβαλλοντικής διαχείρισης. Τέλος, η επανεξέταση παρέχει τα μέσα για την περιοδική αναθεώρηση και συνεχή βελτίωση του συστήματος, με στόχο τη βελτίωση της γενικής περιβαλλοντικής επίδοσης του οργανισμού.

Ο σχεδιασμός, η οργάνωση, η εγκατάσταση και ο έλεγχος αποτελούν τις βασικές λειτουργίες ενός ΣΔΑ σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές που έχει αναπτύξει ο οργανισμός Centre for Chemical Process Safety (CCPS, 1989). Ο σχεδιασμός περιλαμβάνει την ανάπτυξη της πολιτικής, τους σκοπούς και τους στόχους του οργανισμού. Η οργάνωση περιλαμβάνει την εγκατάσταση της δομής του συστήματος και τον καθορισμό των ρόλων, των αρμοδιοτήτων, των ευθυνών και των δικαιοδοσιών για την επίτευξη των στόχων. Η εγκατάσταση παρέχει τους απαραίτητους μηχανισμούς για την υλοποίηση της πολιτικής, ενώ ο έλεγχος περιλαμβάνει τη μέτρηση, την αξιολόγηση και τη διόρθωση της απόδοσης στην ασφάλεια.

Οι Bentley και Sockley (1992) περιγράφουν ένα ΣΔΑ, το οποίο αποτελείται από 3 στάδια. Το πρώτο στάδιο περιλαμβάνει την ανάλυση διαχείρισης των κινδύνων (Hazard

Management Analysis - HMA) που σχετίζονται με τις λειτουργίες του οργανισμού. Η ανάλυση αυτή βοηθάει στην αναγνώριση των κρίσιμων δραστηριοτήτων και διεργασιών από πλευράς ασφάλειας (safety-critical activities and processes). Στη συνέχεια για κάθε κρίσιμη δραστηριότητα ετοιμάζεται ένα σύνολο εγγράφων που ονομάζεται κατάλογος του ΣΔΑ, το οποίο περιγράφει τον τρόπο διαχείρισης της ασφάλειας στον οργανισμό. Τέλος, η δέσμευση και υποστήριξη του οργανισμού αντικατοπτρίζονται σε ένα έγγραφο που ονομάζεται εγχειρίδιο του ΣΔΑ, το οποίο περιγράφει τους στόχους του οργανισμού για την ασφάλεια και τα μέσα που χρησιμοποιούνται για την υλοποίησή τους. Οι έλεγχοι αυτοί περιλαμβάνουν αναφορές συμβάντων, δείκτες απόδοσης, έλεγχο και επανεξέταση, συνεχή παρακολούθηση, αξιολόγηση και βελτίωση της απόδοσης των λειτουργιών και των δραστηριοτήτων.

Άλλοι οργανισμοί όπως ο European Process Safety Centre έχουν αναπτύξει κατευθυντήριες γραμμές για ΣΔΑ (EPSC, 1994), σύμφωνα με τις οποίες τα κύρια στοιχεία ενός ΣΔΑ είναι η πολιτική του οργανισμού, η οργάνωση, οι διαδικασίες και πρακτικές της διοίκησης, η παρακολούθηση και ο έλεγχος και η επανεξέταση του συστήματος από τη διοίκηση. Παρόμοια, ο οργανισμός Exploration and Production (E&P) Forum έχει αναπτύξει ένα μοντέλο συστήματος διαχείρισης ασφάλειας (E&P Forum, 1994) το οποίο αποτελείται από τις εξής στοιχεία: ηγεσία και δέσμευση, πολιτική και στρατηγικοί στόχοι, οργάνωση, πόροι και τεκμηρίωση, αξιολόγηση και διαχείριση επικινδυνότητας, σχεδιασμός, εγκατάσταση και παρακολούθηση, έλεγχος και επανεξέταση.

Ο Ming (1994) και οι Bentley et al. (1995) περιγράφουν ένα ΣΔΑ, το οποίο περιλαμβάνει τη θέσπιση στόχων, την οργάνωση και τον καταμερισμό των πόρων, την εφαρμογή προτύπων απόδοσης, την υλοποίηση των σχεδίων, τον έλεγχο και την επανεξέταση του συστήματος για την αξιολόγηση της συμμόρφωσης με τους στόχους που έχουν τεθεί, αλλά και τη βελτίωση του συστήματος.

Ο οργανισμός Health and Safety Executive έχει αναπτύξει μία προσέγγιση για τη διαχείριση της ασφάλειας (HSE, 1997), η οποία περιλαμβάνει την πολιτική του οργανισμού, την οργάνωση, το σχεδιασμό και εγκατάσταση, τη μέτρηση και επανεξέταση της απόδοσης και τον έλεγχο. Επίσης, ο οργανισμός Canadian Pulp and Paper Association έχει αναπτύξει ένα σύνολο κατευθυντήριων γραμμών για τη διαχείριση της επαγγελματικής ασφάλειας και υγιεινής (Occupational Health and Safety – OH&S) (Schweigert et al., 1999). Σύμφωνα με τις συγκεκριμένες κατευθυντήριες γραμμές, η κυριότητα του συστήματος, οι στόχοι και οι διαδικασίες, τα μέτρα απόδοσης, η επανεξέταση των μέτρων και οι διορθωτικές ενέργειες αποτελούν τα στοιχεία - κλειδιά ενός ΣΔΑ.

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή σε συνεργασία με τις εθνικές αρχές δημιούργησε μια τεχνική ομάδα εργασίας (TWG) για την ανάπτυξη κατευθυντήριων γραμμών για την Οδηγία SEVESO II. Ο στόχος της Επιτροπής ήταν να βοηθήσει τους οργανισμούς και τις αρχές να κατανοήσουν τις απαιτήσεις της Οδηγίας. Τα αρχικά δεδομένα για την ανάπτυξη των κατευθυντήριων γραμμών προέρχονταν από τα συμπεράσματα ενός σεμιναρίου για τα ΣΔΑ (De Cort in Cacciabue et al., 1994) και του project ACRONYM (van Steen et al.,

1994). Μετά από μια σειρά συναντήσεων, η τεχνική ομάδα εργασίας προχώρησε στη σύνταξη ενός εγγράφου κατευθυντήριων οδηγιών (Mitchison and Porter, 1998), το οποίο και εκδόθηκε το 1998. Σύμφωνα με τις κατευθυντήριες αυτές οδηγίες, ένα ΣΔΑ αποτελείται από τα εξής στοιχεία:

- πολιτική πρόληψης ατυχημάτων μεγάλης έκτασης,
- οργάνωση και προσωπικό,
- αναγνώριση και αξιολόγηση των μεγάλων κινδύνων,
- έλεγχος λειτουργίας και συντήρηση,
- διαχείριση μετατροπών ή αλλαγών, σχεδιασμός εκτάκτου ανάγκης,
- παρακολούθηση επιδόσεων, έλεγχος και επανεξέταση του συστήματος διαχείρισης.

Ο στόχος της ομάδας εργασίας ήταν να αναγνωρίσει και να περιγράψει την καλή πρακτική και να διασφαλίσει ότι οι κατευθυντήριες αυτές γραμμές ήταν κατάλληλες για ένα μεγάλο εύρος βιομηχανιών και δραστηριοτήτων στις οποίες εμπλέκονται επικίνδυνες ουσίες.

2.4 Οφέλη από την ανάπτυξη και εφαρμογή των Συστημάτων Διαχείρισης Ασφάλειας

Ένα Σύστημα Διαχείρισης Ασφάλειας (ΣΔΑ) δίνει μία αυστηρή δομή και έλεγχο στη διαχείριση των θεμάτων ασφάλειας του οργανισμού και βελτιώνει την απόδοση του σε πολλούς τομείς και περιοχές όπως είναι το μάρκετινγκ, οι ανθρώπινοι πόροι, η αξιοπιστία του σχεδιασμού και των προϊόντων, οι λειτουργίες, η διαχείριση πληροφοριών, τα οικονομικά και ο προσδιορισμός στρατηγικών στόχων.

Η εφαρμογή ενός ΣΔΑ, συμπεριλαμβανομένης της ανάπτυξης μιας θετικής κουλτούρας ασφάλειας έχει πολλά οφέλη για έναν οργανισμό. Τα σημαντικότερα από αυτά είναι τα εξής (IChemE, 1998):

- Συμμόρφωση με τους σχετικούς κανονισμούς, κώδικες πρακτικής, πρότυπα και συνιστώμενες πρακτικές.
- Δομημένη προσέγγιση στη θέσπιση της πολιτικής, την εκτίμηση επικινδυνότητας, τον έλεγχο και τις επιθεωρήσεις, με αποτέλεσμα να διασφαλίζονται οι απαραίτητοι πόροι για τις περιοχές που έχουν υψηλή επικινδυνότητα.
- Η ασφάλεια αποτελεί υψηλή προτεραιότητα στον οργανισμό μαζί με την παραγωγικότητα, την ποιότητα και την κερδοφορία.
- Αναγνώριση και εκτίμηση των πιθανών κινδύνων και προσδιορισμός των κατάλληλων μέτρων ελέγχου για την εξάλειψη ή τη μείωση των κινδύνων.
- Η εκπαίδευση για την ασφάλεια σε όλα τα επίπεδα του οργανισμού αποτελεί μέρος της γενικής εκπαίδευσης του προσωπικού.
- Αναγνώριση όλων των υψηλών κινδύνων και θέσπιση κατάλληλων διαδικασιών για τον έλεγχο καταστάσεων μη κανονικής λειτουργίας, συμπεριλαμβανομένων καταστάσεων εκτάκτου ανάγκης.

- Οι αρμοδιότητες του προσωπικού για την ασφάλεια καθορίζονται μέσα στο σύστημα και περιλαμβάνονται στο "πλάνο καθηκόντων" τους.
- Μείωση της απώλειας των εσόδων, μέσω της μείωσης της απώλειας χρόνου λόγω έκτακτων περιστατικών, της βελτίωσης της παραγωγικότητας και της μείωσης των προβλημάτων που σχετίζονται με την υγεία των εργαζομένων.
- Μείωση των ρυθμών ατυχημάτων και επομένως μείωση του χρόνου και του κόστους για τη διερεύνηση και ανάλυση των ατυχημάτων.
- Ο σχεδιασμός των συστημάτων γίνεται με ασφάλεια, ενώ οι ελλείψεις και τα σφάλματα σχεδιασμού αναγνωρίζονται και εξαλείφονται ή ελέγχονται σε αρχικό στάδιο.
- Εγκατάσταση ενός κατάλληλου σχήματος προληπτικής συντήρησης για όλα τα συστήματα, και ιδιαίτερα για τα κρίσιμα συστήματα από πλευράς ασφάλειας.
- Βελτίωση της δημόσιας εικόνας του οργανισμού και των σχέσεων με τις νομοθετικές αρχές.

2.5 Χαρακτηριστικά Συστήματος Διαχείρισης Ασφάλειας σύμφωνα με την Οδηγία SEVESO II

2.5.1 Στόχοι και αρχές Συστήματος Διαχείρισης Ασφάλειας

Οι αρχές και οι πληροφορίες σχετικά με ένα Σύστημα Διαχείρισης Ασφάλειας (ΣΔΑ) και την οργάνωση κάθε οργανισμού όσον αφορά στην πρόληψη των μεγάλων ατυχημάτων αναφέρονται αναλυτικά στην Οδηγία SEVESO II.

Για την εφαρμογή της Πολιτικής Πρόληψης Ατυχημάτων Μεγάλης Έκτασης και του Συστήματος Διαχείρισης Ασφάλειας (ΣΔΑ) ενός οργανισμού, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα ακόλουθα στοιχεία (Mitchison and Porter, 1998):

"*Η Πολιτική Πρόληψης Ατυχημάτων Μεγάλης Έκτασης θα πρέπει να διατυπώνεται εγγράφως και να περιλαμβάνει τους γενικούς στόχους και αρχές δράσης που καθορίζει ο οργανισμός για τον έλεγχο των κινδύνων μεγάλων ατυχημάτων*".

"*Το Σύστημα Διαχείρισης Ασφάλειας (ΣΔΑ) θα πρέπει να ενσωματώνει το τμήμα του γενικού διαχειριστικού συστήματος το οποίο περιλαμβάνει την οργανωτική δομή, τις αρμοδιότητες, τις πρακτικές, τις διαδικασίες, τις διεργασίες και τους πόρους για τον καθορισμό και την εφαρμογή της Πολιτικής Πρόληψης Μεγάλων Ατυχημάτων*".

Τα κύρια κεφάλαια του Συστήματος Διαχείρισης Ασφάλειας (ΣΔΑ) σύμφωνα με την Οδηγία SEVEZO II είναι τα εξής:

1. *Πολιτική Πρόληψης Ατυχημάτων Μεγάλης Έκτασης*
2. *Οργάνωση και Προσωπικό*
3. *Αναγνώριση και Αξιολόγηση των Μεγάλων Κινδύνων*
4. *Έλεγχος Λειτουργίας και Συντήρηση*
5. *Διαχείριση Μετατροπών ή αλλαγών*

6. *Σχεδιασμός Εκτάκτου Ανάγκης*
7. *Παρακολούθηση Επιδόσεων*
8. *Έλεγχοι και επανεξέταση του Συστήματος Διαχείρισης*

2.5.2 Πολιτική Πρόληψης Μεγάλων Ατυχημάτων, Εφαρμογή και Παρακολούθηση των στόχων του Συστήματος Διαχείρισης Ασφάλειας

Κάθε οργανισμός που διαχειρίζεται επικίνδυνες ουσίες αναμένεται να έχει αναπτύξει μια οικεία πολιτική πρόληψης μεγάλων ατυχημάτων, καθώς και μεθόδους εφαρμογής και ελέγχου τήρησης αυτής. Η πολιτική αυτή θα πρέπει να αποβλέπει σε υψηλό επίπεδο προστασίας του ανθρώπου και του περιβάλλοντος με τα κατάλληλα μέσα, δομές και συστήματα διαχείρισης.

Η *Πολιτική Πρόληψης Ατυχημάτων Μεγάλης Έκτασης* θα πρέπει να βρίσκεται στη διάθεση όλων των στελεχών και εργαζομένων στον οργανισμό και να περιλαμβάνει τους γενικούς στόχους και αρχές δράσης του οργανισμού σε θέματα ασφάλειας. Η πολιτική αυτή πρέπει να έχει αναπτυχθεί και επικυρωθεί από κατάλληλο διοικητικό επίπεδο του οργανισμού και να υπάρχει υψηλού βαθμού δέσμευση ως προς την εφαρμογή και την περιοδική επανεξέτασή της όπως και του Συστήματος Διαχείρισης Ασφάλειας (ΣΔΑ) μέσω του οποίου θα εφαρμόζεται η πολιτική αυτή. Στα πλαίσια αυτά αναμένεται να έχει προσδιοριστεί ποιος είναι ο υπεύθυνος ο οποίος θα διασφαλίζει ότι η πολιτική εφαρμόζεται και επικαιροποιείται.

Η Πολιτική Πρόληψης Ατυχημάτων Μεγάλης Έκτασης και το Σύστημα Διαχείρισης Ασφάλειας (ΣΔΑ) πρέπει να παρουσιάζεται, να γνωστοποιείται και να επεξηγείται στο κατάλληλο προσωπικό. Η πολιτική ερμηνεύεται σε σαφείς και περιεκτικούς στόχους, κατανοητούς από το σύνολο του εμπλεκόμενου προσωπικού στην ασφάλεια. Επίσης, η εφαρμογή και παρακολούθηση της πολιτικής πρέπει να είναι στη θεματολογία των συσκέψεων της διοίκησης του οργανισμού.

Καλή πρακτική αποτελεί η ύπαρξη προδιαγραφών και αναφορών σε μορφή εγχειριδίων (manuals) τα οποία βοηθούν τα στελέχη της επιχείρησης στον έλεγχο της εφαρμογής και παρακολούθησης της πολιτικής, π.χ. εγχειρίδιο που να περιγράφει το Σύστημα Διαχείρισης Ασφάλειας (ΣΔΑ).

Ένα ΣΔΑ κατ' ελάχιστο θα πρέπει να περιλαμβάνει προγράμματα που αφορούν σε διαδικασίες διαχείρισης των ακολούθων:

- ✓ Διασφάλιση κατάλληλων τεχνικών προτύπων (standards) και προτύπων ασφαλείας.
- ✓ Το σχεδιασμό των μονάδων και μετατροπές αυτού.
- ✓ Διασφάλιση κατάλληλων ελέγχων.
- ✓ Περιοδικές μελέτες Κινδύνου και Ασφάλειας.
- ✓ Διαδικασία αγορών / προμηθειών σχετικών με την ασφάλεια υλικών.
- ✓ Οργανωτικούς κανονισμούς και επικοινωνία.
- ✓ Συνεργασία με εργολάβους / τρίτους.

- ✓ Διαδικασίες λειτουργίας και ατομική προστασία.
- ✓ Σύστημα αδειών για εργασίες.
- ✓ Περιοδική επιθεώρηση.
- ✓ Συντήρηση.
- ✓ Σχεδιασμός εκτάκτου ανάγκης.
- ✓ Καταγραφή και διερεύνηση ατυχημάτων ή παρ' ολίγον ατυχημάτων.
- ✓ Εκπαίδευση (διοίκησης και προσωπικού).
- ✓ Διαδικασίες αξιολόγησης προγραμμάτων.

Οι ακόλουθες συνιστώσες δίνουν μια πλήρη εικόνα των προβλέψεων που απαιτούνται στην αποτελεσματική εφαρμογή ενός ολοκληρωμένου Συστήματος Διαχείρισης Ασφάλειας (ΣΔΑ):

Οργάνωση και Προσωπικό

- Ρόλοι και αρμοδιότητες του προσωπικού που συμμετέχει στη διαχείριση μεγάλων κινδύνων σε όλα τα επίπεδα της οργάνωσης.
- Προσδιορισμός των εκπαιδευτικών αναγκών του προσωπικού αυτού.
- Παροχή της σχετικής εκπαίδευσης.
- Σύμπραξη των εργαζομένων και των πιθανών εργολάβων με τον οργανισμό.

Αναγνώριση και Αξιολόγηση των Μεγάλων Κινδύνων

- Θέσπιση και εφαρμογή διαδικασιών για τον συστηματικό προσδιορισμό κινδύνων μεγάλων ατυχημάτων που προκύπτουν από την κανονική και μη κανονική λειτουργία της εγκατάστασης.
- Θέσπιση και εφαρμογή διαδικασιών για την αξιολόγηση της πιθανότητας και του μεγέθους των επιπτώσεων των κινδύνων.

Για τον προσδιορισμό και την αξιολόγηση της επικινδυνότητας αναφέρονται θέματα όπως:

- ανάλυσης και εκτίμησης των κινδύνων ενός ατυχήματος μέσα στον χώρο της εγκατάστασης,
- εκτίμησης των επιπτώσεων στο περιβάλλον από ένα ενδεχόμενο ατύχημα,
- εκτίμησης των επιπτώσεων στην υγεία των περιοίκων από ένα ενδεχόμενο ατύχημα,
- εκτίμησης των επιπτώσεων στο εργασιακό περιβάλλον από ένα ενδεχόμενο ατύχημα,
- σχεδιασμού για την αντιμετώπιση και καταστολή ενός ατυχήματος.

Έλεγχος Λειτουργίας και Συντήρηση

- Θέσπιση και εφαρμογή διαδικασιών και οδηγιών για την ασφαλή λειτουργία, συμπεριλαμβανομένων των όσων αφορούν:
  - στη συντήρηση της εγκατάστασης,
  - στις διεργασίες αποθήκευσης και μεταφοράς,
  - στον εξοπλισμό και
  - στις προσωρινές διακοπές λειτουργίας.

Διαχείριση Μετατροπών ή Αλλαγών

- Θέσπιση και εφαρμογή διαδικασιών για τον σχεδιασμό τροποποιήσεων στις υφιστάμενες εγκαταστάσεις, μονάδες, διεργασίες ή αποθηκευτικούς χώρους,
- Θέσπιση και εφαρμογή διαδικασιών για τον σχεδιασμό νέων εγκαταστάσεων, μονάδων, διεργασιών και αποθηκευτικών χώρων.

Σχεδιασμός Εκτάκτου Ανάγκης

- Θέσπιση και εφαρμογή διαδικασιών για προσδιορισμό προβλέψεων καταστάσεων έκτακτης ανάγκης μέσω συστηματικής ανάλυσης.
- Θέσπιση και εφαρμογή διαδικασιών για την προετοιμασία, τη δοκιμή και την αναθεώρηση σχεδίων έκτακτης ανάγκης για την αντιμετώπιση των καταστάσεων αυτών.

Ο Σχεδιασμός Εκτάκτου Ανάγκης έχει σκοπό:

- τον περιορισμό και τη θέση υπό έλεγχο περιστατικών, έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται οι επιπτώσεις τους και να περιορίζονται οι ζημιές που προκαλούνται στον άνθρωπο, στο περιβάλλον και στα αγαθά,
- την εφαρμογή των αναγκαίων μέτρων προστασίας του ανθρώπου και του περιβάλλοντος από τις επιπτώσεις ατυχημάτων μεγάλης έκτασης,
- την ανακοίνωση των αναγκαίων πληροφοριών στο κοινό και στις οικείες Υπηρεσίες ή Αρχές της περιοχής,
- την αποκατάσταση και τον καθαρισμό του περιβάλλοντος κατόπιν ατυχήματος μεγάλης έκτασης.

Οι ακόλουθες συνιστώσες δίνουν μια πλήρη εικόνα των προβλέψεων που απαιτούνται στην παρακολούθηση των στόχων ενός ολοκληρωμένου Συστήματος Διαχείρισης Ασφάλειας (ΣΔΑ):

Παρακολούθηση Επιδόσεων

- Θέσπιση και εφαρμογή διαδικασιών για τη συνεχή αξιολόγηση της τήρησης των στόχων της Πολιτικής Πρόληψης Ατυχημάτων Μεγάλης Έκτασης του οργανισμού και του Συστήματος Διαχείρισης της Ασφάλειας (ΣΔΑ).
- Θέσπιση και εφαρμογή διαδικασιών για την συνεχή αξιολόγηση των μηχανισμών για τη διερεύνηση και τα διορθωτικά μέτρα σε περίπτωση μη τήρησης τους (οι διαδικασίες θα πρέπει να καλύπτουν την ανάλυση μεγάλων ατυχημάτων ή παρ' ολίγον ατυχημάτων).

Έλεγχοι και Επανεξέταση του Συστήματος Διαχείρισης

- Θέσπιση και εφαρμογή διαδικασιών για την περιοδική συστηματική αξιολόγηση της Πολιτικής Πρόληψης Ατυχημάτων Μεγάλης Έκτασης.
- Θέσπιση και εφαρμογή διαδικασιών για την περιοδική συστηματική αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας και καταλληλότητας του Συστήματος Διαχείρισης Ασφάλειας (ΣΔΑ), και επανεξέταση εκ μέρους των διευθυντικών στελεχών, των επιδόσεων της Πολιτικής και του ΣΔΑ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Οργανωτικοί και Διαχειριστικοί Παράγοντες

Στη διεθνή βιβλιογραφία για τα σοβαρά ατυχήματα, τα ανθρώπινα σφάλματα αποτελούν τις βασικότερες αιτίες πρόκλησης των ατυχημάτων. Η ουσία όμως είναι ότι τα ατυχήματα συμβαίνουν όταν ένα σφάλμα χειρισμού συμπληρώσει το συνδετικό κρίκο σε μία σειρά ανασφαλών εργασιακών παραγόντων. Η ανάλυση και εξέταση των παραγόντων που συμβάλλουν άμεσα ή έμμεσα στην πρόκληση ατυχημάτων αποτελεί δύσκολο έργο διότι σε πολλές περιπτώσεις οι παράγοντες αυτοί σχετίζονται με το επίπεδο ασφάλειας και την ποιότητα κουλτούρας του οργανισμού. Παράγοντες που μπορούν εύκολα να παρατηρηθούν όπως τα σφάλματα χειρισμού υπερτονίζονται, ενώ διαχειριστικοί παράγοντες (management factors) π.χ. διαχειριστικά μέτρα για την πρόληψη και τον έλεγχο των ατυχημάτων, ή οργανωτικοί παράγοντες (organizational factors) π.χ. εκπαίδευση, επικοινωνίες, συντονισμός παραβλέπονται ή δεν τους δίνεται η πρέπουσα σημασία γιατί απαιτείται περισσότερος χρόνος ή εξειδικευμένες γνώσεις για τον εντοπισμό και την ανάλυσή τους. Η έρευνα έχει δείξει ότι τα σφάλματα χειρισμού και οι αστοχίες του εξοπλισμού οφείλονται στις αποφάσεις της διοίκησης και τους οργανωτικούς παράγοντες (Tuli and Apostolakis, 1996).

3.1 Σχετική έρευνα

Ο τρόπος με τον οποίο οι οργανωτικοί παράγοντες επηρεάζουν την ασφάλεια μιας εγκατάστασης περιγράφεται από τους Moray and Huey (1988) στην αναφορά τους για το Εθνικό Συμβούλιο Έρευνας (National Research Council) με τίτλο “Human Factors and Research and Nuclear Safety”. Οι Moray and Huey τονίζουν ότι οι οργανισμοί παίρνουν αποφάσεις, όπως το είδος του εξοπλισμού, η επιλογή προσωπικού, η εκπαίδευση, κ.α που επηρεάζουν την ασφάλεια της εγκατάστασης. Οι πρακτικές της διοίκησης είναι υπεύθυνες για τη δημιουργία και διατήρηση μιας οργανωτικής κουλτούρας, η οποία ενισχύει την ασφάλεια και την ποιότητα της απόδοσης στην ασφάλεια. Επίσης, οι managers αποφασίζουν για το πώς θα αλληλεπιδράσουν με άλλους οργανισμούς, συμπεριλαμβανομένων διαφόρων ενώσεων και νομοθετικών σωμάτων. Έτσι ο ρόλος της διοίκησης είναι κεντρικός για την ασφαλή λειτουργία των εγκαταστάσεων.

Ο Wright (1986) αναλύοντας τις αναφορές ατυχημάτων στη βιομηχανία πετρελαίου εξετάζει δύο θέματα οργανωτικών παραγόντων που σχετίζονται με τα ατυχήματα: α) την επιτάχυνση των διεργασιών και κατά συνέπεια τους χρονικούς περιορισμούς ολοκλήρωσης των εργασιών και β) τις αποτυχημένες επικοινωνίες (π.χ. η έλλειψη γνώσης για την κατάλληλη χρήση του εξοπλισμού, μη διαθεσιμότητα των οδηγιών εργασίας στους εργαζόμενους, κ.α.).

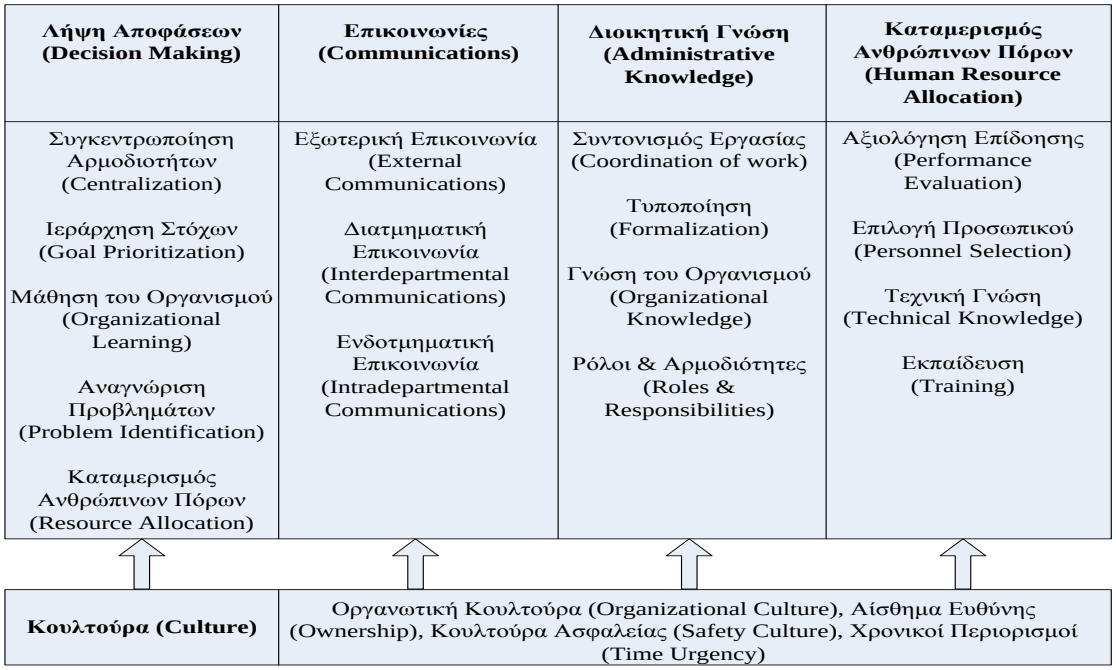
Η σημαντικότητα των οργανωτικών παραγόντων στην απόδοση ασφάλειας των πυρηνικών εγκαταστάσεων (nuclear power plants) καταγράφεται στις αναφορές της

Nuclear Regulatory Commission (NRC) για τα ατυχήματα Three Mile Island (The President's Commission, 1979) και Chernobyl (U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1988). Ένας από τους σημαντικότερους οργανωτικούς παράγοντες για τη διασφάλιση ενός ασφαλούς περιβάλλοντος λειτουργίας ενός οργανισμού είναι η κουλτούρα ασφάλειας (safety culture). Οι Wu et al. (1991) προσδιορίζουν 4 χαρακτηριστικά της κουλτούρας ασφάλειας που είναι σημαντικά για την ασφάλεια των πυρηνικών εγκαταστάσεων: τη γνώση για την ασφάλεια, τη στάση/ νοοτροπία του προσωπικού σε σχέση με τη λειτουργία της εγκατάστασης, την επιλογή των στόχων για την επίδοση της εγκατάστασης, την εγκατάσταση γραμμών από τη διοίκηση για τις αρμοδιότητες και την επικοινωνία Επίσης, οργανωτικοί παράγοντες όπως η επικοινωνία (communication), η λήψη αποφάσεων (decision making), η τυποποίηση εργασίας (standardization of work), η μάθηση του οργανισμού (organizational learning) και η συμμετοχή της διοίκησης (management involvement) έχουν ερευνηθεί και μελετηθεί από τη Nuclear Regulatory Commission (NRC) προκειμένου να προσδιοριστεί η επίδρασή τους στην ασφάλεια μιας εγκατάστασης (FY, 1991).

Η επίδραση των οργανωτικών παραγόντων στην ασφάλεια των πυρηνικών εγκαταστάσεων έχει εξεταστεί και από τους Jacobs and Haber (1994). Συγκεκριμένα οι δύο ερευνητές προτείνουν 20 οργανωτικούς παράγοντες που επηρεάζουν τις ασφαλείς λειτουργίες των πυρηνικών εγκαταστάσεων. Οι παράγοντες αυτοί κατηγοριοποιούνται σε 5 γενικές κατηγορίες:

- λήψη αποφάσεων (decision making),
- επικοινωνίες (communications),
- διοικητική γνώση (administrative knowledge),
- καταμερισμός ανθρώπινων πόρων (human resource allocation)
- κουλτούρα (culture).

Οι 5 γενικές κατηγορίες των οργανωτικών παραγόντων που έχουν προταθεί από τους Jacobs and Haber παρουσιάζονται στο σχήμα 1.



Σχήμα 1: Γενικές κατηγορίες οργανωτικών παραγόντων σύμφωνα με τους Jacobs and Haber (1994)

Οι παραπάνω οργανωτικοί παράγοντες βοηθούν στον εντοπισμό συγκεκριμένων περιοχών ενός οργανισμού όπου υπάρχουν αδυναμίες και προβλήματα. Για την εκτίμηση της επίδρασης των οργανωτικών παραγόντων στην ασφάλεια ενός οργανισμού έχουν αναπτυχθεί αρκετά μοντέλα, τα οποία χρησιμοποιούν μεθοδολογίες όπως probabilistic safety assessment (PSA) ή probabilistic risk analysis (PRA) ή quantified risk assessment (QRA), κ.α.

Οι Pate-Cornell and Bea (1990, 1992) εξετάζοντας το σχεδιασμό των offshore platforms έχουν αναπτύξει ένα PRA μοντέλο στο οποίο τα στοιχεία εισόδου μπορούν να επηρεαστούν από τις αποφάσεις και τα σφάλματα που πραγματοποιούνται στη φάση του σχεδιασμού. Τα σφάλματα χωρίζονται σε 2 κατηγορίες: *"gross errors"* π.χ. σφάλματα για τα οποία δεν υπάρχει καμιά αμφισβήτηση ή αμφιβολία και *"errors of judgment "* δηλαδή σφάλματα για τα οποία υπάρχουν ασαφής ή ελλιπείς πληροφορίες. Στη συνέχεια κάθε ένα από τα σφάλματα αυτά ταξινομούνται είτε στα *σφάλματα υψηλής σοβαρότητας (high-severity)* είτε στα *σφάλματα χαμηλής σοβαρότητας (low-severity)*. Το μοντέλο ουσιαστικά δείχνει τον τρόπο με τον οποίο οι λανθασμένες αποφάσεις της διοίκησης επηρεάζουν την πιθανότητα αστοχίας του συστήματος.

Το μοντέλο ανάλυσης ατυχημάτων "types-tokens" που έχει αναπτύξει ο Reason (1990) περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο οι νοοτροπίες και οι πρακτικές των διαφορετικών ομάδων (σε ιεραρχικό επίπεδο) σε έναν οργανισμό μπορούν να διευκολύνουν ή/ και να αυξήσουν την εμφάνιση των ανθρώπινων σφαλμάτων. Το μοντέλο ορίζει ως "types" τις γενικές κατηγορίες των οργανωτικών αστοχιών και "tokens" τις πιο συγκεκριμένες αστοχίες που σχετίζονται με μεμονωμένες καταστάσεις. Ο σκοπός του μοντέλου είναι να

ελέγχει πότε οι υπάρχουσες μη ασφαλείς νοοτροπίες μπορούν να οδηγήσουν σε μη ασφαλείς ενέργειες. Η αναγνώριση των μη ασφαλών ενεργειών βοηθάει στον εντοπισμό των οργανωτικών αστοχιών, οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν σε σοβαρά ατυχήματα. Το μοντέλο εισάγει την έννοια "tokenism", η οποία ορίζεται σαν την τάση που υπάρχει οι ανθρώπινες αστοχίες να αναλύονται σε τοπικό επίπεδο και όχι μέσα στο γενικό περιβάλλον του οργανισμού.

Οι Hurst et al. (1991) έχουν αναπτύξει ένα ιεραρχικό μοντέλο για την ανάλυση ατυχημάτων το οποίο ονομάζεται *sociotechnical model*. Το μοντέλο αυτό δείχνει ότι υπάρχει μία ιεραρχική κλίμακα για τα αίτια των ατυχημάτων. Τα επίπεδα της ιεραρχίας των αιτιών των ατυχημάτων είναι τα εξής:

Επίπεδο 1: Μηχανική Αξιοπιστία (Engineering Reliability) π.χ. σχεδιασμός του εξοπλισμού της εγκατάστασης, όρια μέσα στα οποία πρέπει να λειτουργεί η εγκατάσταση, κ.α.

Επίπεδο 2: Αξιοπιστία Χειριστή (Operator Reliability) π.χ ανθρώπινοι παράγοντες που επηρεάζουν άμεσα την απόδοση των χειριστών, επίπεδο εκπαίδευσης και εμπειρίας, σχεδιασμός διαδικασιών, σχεδιασμός του χώρου εργασίας, κ.α.

Επίπεδο 3: Έλεγχος, Επικοινωνία και Ανάδραση (Control, Communication, Feedback) π.χ. διάχυση πληροφοριών μέσω τεκμηρίωσης, οδηγιών, συστημάτων αναφορών και έλεγχος των διαδικασιών.

Επίπεδο 4: Organization and Management (Οργάνωση και Διαχείριση) π.χ. θέσπιση προτύπων, προτεραιοτήτων και στόχων, λειτουργικών απαιτήσεων του οργανισμού, κ.α.

Επίπεδο 5: Κλίμα Συστήματος (System Climate) π.χ. νομοθετικό σύστημα, οικονομικές πιέσεις, γνώμη του κοινού, κ.α.

Οι ερευνητές διερεύνησαν το ρόλο των οργανωτικών και διαχειριστικών παραγόντων στην επικινδυνότητα αναλύοντας 230 περιστατικά αστοχίας δοχείου. Οι αστοχίες αυτές ταξινομήθηκαν σε δύο κατηγορίες. Συγκεκριμένα, οι ερευνητές κάνουν ένα διαχωρισμό ανάμεσα στις αστοχίες που αποτελούν τις *άμεσες αιτίες* (*direct/ immediate causes*) όπως για παράδειγμα η υπερπίεση και τις "υποβόσκουσες" αστοχίες (underlying causes) του κοινωνικοτεχνικού συστήματος. Οι "υποβόσκουσες" αιτίες είναι τα γενεσιουργά αίτια των αστοχιών (root causes of failures) όπως για παράδειγμα ο ελλιπής σχεδιασμός και οι αστοχίες των μηχανισμών που χρησιμοποιούνται για την πρόληψη ή τη διόρθωση των μη ασφαλών καταστάσεων (preventive/ recovery mechanisms).

Ο Embrey (1992) έχει αναπτύξει ένα μοντέλο για την ανάλυση και ποσοτικοποίηση της επίδρασης των οργανωτικών παραγόντων στην επικινδυνότητα ενός οργανισμού. Το μοντέλο ανάλυσης ατυχημάτων είναι παρόμοιο με τα μοντέλα των Reason (1990) και Hurst et al. (1991). Το μοντέλο αποτελείται από active, latent και recovery σφάλματα τα οποία προκαλούνται από παράγοντες που ονομάζονται error inducing factors όπως οι ανεπαρκείς οδηγίες και διαδικασίες, οι οποίοι με τη σειρά τους οφείλονται στις ελλείψεις της πολιτικής του οργανισμού (policy deficiencies) π.χ. διαχείριση της επικινδυνότητας. Το μοντέλο αυτό αποτελεί τμήμα του γενικού μοντέλου MACHINE (Model of Accident Causation using Hierarchical Influence Network), το οποίο δείχνει ότι οι αστοχίες του

εξοπλισμού και τα εξωτερικά γεγονότα, μπορούν να οδηγήσουν στην πρόκληση των ατυχημάτων. Για την ποσοτικοποίηση της επίδρασης των οργανωτικών παραγόντων, το μοντέλο χρησιμοποιεί influence diagram quantification methods.

Η ταξινόμηση των οργανωτικών παραγόντων των Jacobs and Haber (1994) έχει χρησιμοποιηθεί από τους Tuli and Apostolakis (1996) για την ενσωμάτωση των οργανωτικών θεμάτων στην ανάλυση βιομηχανικών ατυχημάτων (root-cause analysis). Η μεθοδολογία που προτείνουν επεκτείνει τις παραδοσιακές προσεγγίσεις ανάλυσης ατυχημάτων, οι οποίες στις περισσότερες περιπτώσεις περιλαμβάνουν την αναγνώριση των ανθρώπινων σφαλμάτων και τις αστοχίες του εξοπλισμού. Το προτεινόμενο μοντέλο εξετάζει τους οργανωτικούς παράγοντες και την επίδρασή τους σε συγκεκριμένες εργασίες των διεργασιών της εγκατάστασης (plant work processes). Με τον τρόπο αυτό προσδιορίζονται οι διεργασίες κλειδιά και συγκεκριμένοι οργανωτικοί παράγοντες που συμβάλλουν άμεσα ή έμμεσα σε αστοχίες που είναι υπεύθυνες για κάθε ατύχημα.

Η μεθοδολογία Quantified Risk Assessment (QRA) παρέχει ποσοτικοποιημένους δείκτες επικινδυνότητας, οι οποίοι χαρακτηρίζουν το επίπεδο ασφάλειας μιας εγκατάστασης. Οι δείκτες αυτοί λαμβάνουν υπόψη τους ρυθμούς αστοχίας του εξοπλισμού και τις μεμονωμένες ανθρώπινες ενέργειες, όπου με διάφορους συνδυασμούς μπορούν να οδηγήσουν στην πρόκληση ατυχήματος. Η QRA επομένως παρέχει την απαραίτητη βάση για τη λήψη αποφάσεων που σχετίζονται με τη διαχείριση επικινδυνότητας σε μια εγκατάσταση. Η σύνδεση των αποτελεσμάτων ενός μοντέλου συστήματος διαχείρισης ασφάλειας με την QRA βοηθάει στον προσδιορισμό ποσοτικοποιημένων δεικτών οι οποίοι καθορίζουν τη σημαντικότητα των επιπτώσεων του διαχειριστικού συστήματος στην επικινδυνότητα. Οι Papazoglou and Aneziris (1998) έχουν εξετάσει τη σχέση των ποιοτικών δεδομένων ενός ελέγχου για Συστήματα Διαχείρισης Ασφάλειας με την ποσοτικοποιημένη εκτίμηση επικινδυνότητας (Quantified Risk Assessment - QRA), μέσω λεπτομερών μοντέλων αξιοπιστίας. Συγκεκριμένα, οι δύο ερευνητές προτείνουν μία προσέγγιση για την ποσοτική αξιολόγηση των επιπτώσεων των οργανωτικών και διαχειριστικών παραγόντων των χημικών εγκαταστάσεων συνδέοντας τα αποτελέσματα της μεθοδολογίας ελέγχου με τα βασικά γεγονότα της QRA. Η ποσοτική σύνδεση των αποτελεσμάτων του ελέγχου με τις παραμέτρους αξιοπιστίας των μοντέλων QRA βοηθάει στον εντοπισμό των οργανωτικών και διαχειριστικών βελτιώσεων μιας εγκατάστασης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ STRUCTURED ANALYSIS AND DESIGN TECHNIQUE (SADT)

Η μεθοδολογία Structured Analysis and Design Technique (SADT) αναπτύχθηκε στα τέλη της δεκαετίας του 60 για τη μοντελοποίηση και ανάλυση των πληροφοριακών συστημάτων. Πρόκειται για μία από τις πιο γνωστές μεθοδολογίες περιγραφής και κατανόησης δομημένων συστημάτων λόγω του μεγάλου φάσματος εφαρμογής της. Η πρώτη κύρια εφαρμογή της μεθόδου SADT ήταν στην αεροπορική βιομηχανία το 1973, ενώ η εισαγωγή της στην αγορά πραγματοποιήθηκε το 1975, όπου και άρχισε να χρησιμοποιείται ευρέως για την περιγραφή πολύπλοκων δομημένων συστημάτων σε πολλά διαφορετικά πεδία όπως τράπεζες, διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας,, σχεδιασμός τεχνολογιών, τηλεφωνικές επικοινωνίες, δίκτυα παραγωγής, συστήματα εξοπλισμού, τεχνολογία λογισμικού (software engineering) κ.α (Marca and McGowan, 1988).

Η τεχνική SADT περιλαμβάνει μία γλώσσα και ένα μεθοδολογικό πλαίσιο για τη μοντελοποίηση των λειτουργιών και δραστηριοτήτων ενός συστήματος. Η γλώσσα αποτελείται από ένα σύνολο ορισμών με συγκεκριμένο νοηματικό περιεχόμενο (semantics) και ένα σύνολο από συντακτικούς κανόνες και τεχνικές για τη χρήση των όρων αυτών, ώστε να εκφράζονται και να τεκμηριώνονται αποτελεσματικά οι δραστηριότητες. Η μοντελοποίηση με τη SADT αποσκοπεί στην περιγραφή των διαφόρων δραστηριοτήτων και των μεταξύ τους σχέσεων, και όχι του ακριβούς τρόπου με τον οποίο εκτελείται μία δραστηριότητα, δηλαδή των συγκεκριμένων σταδίων εκτέλεσης μιας διαδικασίας. Τα μοντέλα που δημιουργούνται βάσει της μεθοδολογίας SADT καταγράφουν τόσο τις δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα σε ένα σύστημα και τις μεταξύ τους σχέσεις, όσο και τα πληροφοριακά δεδομένα που απορρέουν από αυτές τις συσχετίσεις. Έτσι, ένα μοντέλο SADT εμπεριέχει όλα εκείνα τα στοιχεία που είναι απαραίτητα για την περιγραφή ενός συστήματος.

Ως γλώσσα μοντελοποίησης, η SADT είναι περιεκτική και εκφραστική, ικανή να αναπαραστήσει γραφικά μία μεγάλη ποικιλία δραστηριοτήτων σε οποιοδήποτε βαθμό λεπτομέρειας. Επίσης, είναι κατανοητή και απλή, με το να παρέχει τη δυνατότητα ακριβούς (λογικά συνεπούς) έκφρασης και με το να προάγει συνέπεια στη χρήση και την επεξήγησή της.

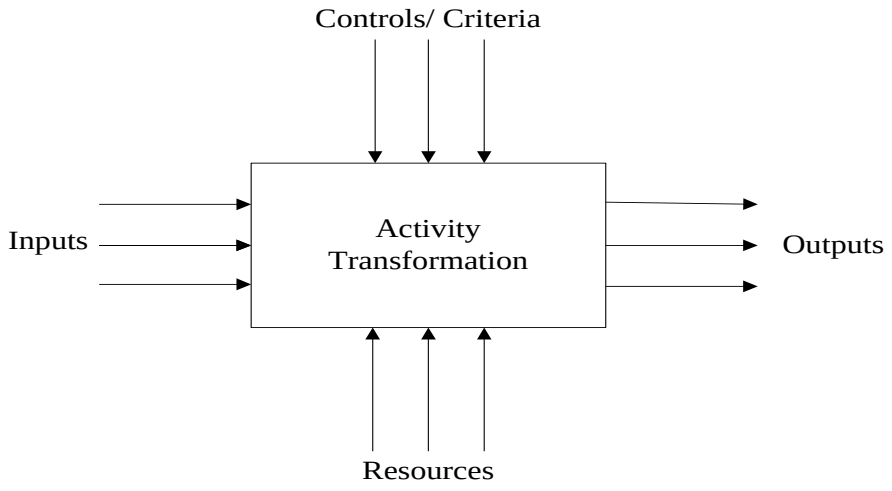
Τα βασικά χαρακτηριστικά της μεθοδολογίας SADT συνοψίζονται στα εξής:

- Τα μοντέλα είναι απαλλαγμένα από περιορισμούς στην αλληλουχία των δραστηριοτήτων (το χρονικό στοιχείο των διαδικασιών). Αντικείμενο μοντελοποίησης είναι η γνώση γύρω από τον τρόπο σύνδεσης των δραστηριοτήτων για την επίτευξη των συνολικών στόχων.
- Η γλώσσα SADT είναι απλή και λιτή ως προς τα σημασιολογικά στοιχεία και τα σύμβολα που χρησιμοποιεί και αποτελεί ένα διαγραμματικό τρόπο παρουσίασης των

δραστηριοτήτων. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται δύο μόνο γραφικά στοιχεία: τα *πλαίσια (activity boxes)* και τα *βέλη (arrows)*. Τα πλαίσια χρησιμοποιούνται για την απεικόνιση των δραστηριοτήτων, ενώ τα βέλη χρησιμοποιούνται για να αποδώσουν τις σχέσεις μεταξύ των δραστηριοτήτων.

- Τα μοντέλα ακολουθούν μία ιεραρχική δομή που αναπτύσσεται από τα γενικά χαρακτηριστικά προς τα εξειδικευμένα (top-down approach), παρέχοντας τη δυνατότητα ορισμού όψεων του συστήματος και ευκολία πλοήγησης μεταξύ αυτών.

Το βασικό δομικό στοιχείο ενός μοντέλου SADT, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα αποτελείται από ένα ορθογώνιο πλαίσιο (activity box), το οποίο ελέγχεται από τρεις πλευρές για την παραγωγή των στοιχείων εξόδου (Hale et al., 1997). Η λογική της μοντελοποίησης είναι ότι τα στοιχεία εισόδου I (Inputs) πρέπει να είναι ικανά και αναγκαία για την παραγωγή των στοιχείων εξόδου O (Outputs), δεδομένων των πόρων R (Resources) και των ελέγχων/ κριτηρίων C (Controls/ Criteria).



Σχήμα 1: SADT - model

Τα πλαίσια στη SADT αναπαριστούν τις δραστηριότητες του συστήματος που μοντελοποιείται. Ένα πλαίσιο στη SADT εκφράσει μία λειτουργία, δραστηριότητα ή ένα ενεργό τμήμα ενός συστήματος. Η ονομασία κάθε πλαισίου είναι ένα ρήμα ή μία έκφραση που αποτελείται από ρήμα και ουσιαστικό. Στα πλαίσια της ελληνικής γλώσσας θεωρείται ότι δεν είναι λάθος η ονομασία της δραστηριότητας να αποτελείται από δύο ουσιαστικά.

Για να αποκτήσει νόημα η μοντελοποίηση των δραστηριοτήτων πρέπει κάθε δραστηριότητα να μελετάται σε σχέση με τα στοιχεία εισόδου και τα στοιχεία εξόδου της και να συνδέεται με τις υπόλοιπες δραστηριότητες. Οι σχέσεις μεταξύ των δραστηριοτήτων στη SADT απεικονίζονται με βέλη (arrows). Τα βέλη συμβολίζουν είτε άλλες δραστηριότητες, είτε πληροφοριακά δεδομένα που συμμετέχουν στη διεκπεραίωση των δραστηριοτήτων (ανθρώπινο δυναμικό, μηχανήματα, οδηγίες, κ.α.). Κάθε σχέση

πρέπει να διαθέτει ένα όνομα (συνήθως ουσιαστικό), το οποίο δίδεται δίπλα από τη γραμμή της σύνδεσης και πρέπει να είναι όσο πιο συγκεκριμένο είναι δυνατό.

Οι σχέσεις εκφράζουν περιορισμούς στη διεκπεραίωση των δραστηριοτήτων. Ως περιορισμοί θεωρούνται τόσο οι παράγοντες που λειτουργούν με άμεσο τρόπο ως εμπόδια στην εκτέλεση των δραστηριοτήτων, όπως είναι οι έλεγχοι, όσο και οι παράγοντες που επιδρούν ως προϋποθέσεις, όπως είναι τα στοιχεία εισόδου και οι πόροι εκτέλεσης των δραστηριοτήτων.

Οι σχέσεις στη SADT, όπως φαίνεται στο σχήμα 1, κωδικοποιούνται σε 4 κατηγορίες, οι οποίες ορίζονται ως εξής:

- Τα *στοιχεία εισόδου I (Inputs)* της δραστηριότητας εμφανίζονται αριστερά του πλαισίου. Τα στοιχεία αυτά τροφοδοτούν τη δραστηριότητα και είτε μετασχηματίζονται, είτε αναλώνονται κατά τη διάρκεια διεκπεραίωσης της για την παραγωγή των στοιχείων εξόδου. Μπορεί να είναι ανθρώπινοι πόροι, υλικά ή άλλοι πόροι. Στην ανάλυση συστημάτων διαχείρισης ασφάλειας, σαν inputs θεωρούνται πληροφορίες και τεκμηριώσεις (σχέδια, σχεδιασμοί, υπολογισμοί, αξιολογήσεις, κ.α.).
- Τα *στοιχεία εξόδου O (Outputs)* εμφανίζονται στα δεξιά του πλαισίου και συνιστούν το παραδοτέο της δραστηριότητας, δηλαδή τα επιθυμητά προϊόντα, υποπροϊόντα, καθώς και τα ανεπιθύμητα αποτελέσματα. Τα στοιχεία αυτά μπορούν να έχουν υλική ή άυλη μορφή, όπως για παράδειγμα να είναι μία πρόταση ή ένα σχέδιο.
- Οι *πόροι R (Resources)* εισάγονται στο πλαίσιο της δραστηριότητας από την κάτω πλευρά και αντιπροσωπεύουν τα απαραίτητα στοιχεία για την εκτέλεση της δραστηριότητας. Τα στοιχεία αυτά είναι τα μέσα που εκτελούν το μετασχηματισμό από τα στοιχεία εισόδου στα στοιχεία εξόδου και δεν μεταβάλλονται ή αναλώνονται στα πλαίσια της διεκπεραίωσης της δραστηριότητας, τουλάχιστον σε βραχυπρόθεσμο χρονικό διάστημα. Οι πόροι περιλαμβάνουν τη δέσμευση, την ικανότητα, εργαλεία και εξοπλισμό, λογισμικά ή το ανθρώπινο δυναμικό.
- Οι *έλεγχοι/ κριτήρια C (Controls/ criteria)* υπεισέρχονται στη δραστηριότητα από την πάνω πλευρά του πλαισίου και χρησιμοποιούνται ως πρότυπα για να κρίνουν εάν η δραστηριότητα είναι επιτυχής. Παραδείγματα ελέγχων είναι οι διαδικασίες, οι νομοθετικές απαιτήσεις, τα πρότυπα ποιότητας (quality standards), τα πρότυπα ασφάλειας (safety standards), κ.α.

Το αποτέλεσμα της τεχνικής SADT, όπως φαίνεται και στο σχήμα 1, είναι ένα πλαίσιο με βέλη, τα οποία εισέρχονται από τις τρεις πλευρές και εξέρχονται από τη μία. Το πλαίσιο αυτό δίνει πληροφορίες για τα στοιχεία εισόδου, τους ελέγχους/ κριτήρια, τους πόρους και τα στοιχεία εξόδου που απαιτούνται για την εκτέλεση μιας δραστηριότητας, ωστόσο δε δίνει πληροφορίες για την ίδια τη δραστηριότητα.

Η σύνδεση μεταξύ των δραστηριοτήτων γίνεται μέσω των στοιχείων εξόδου κάθε δραστηριότητας, που μπορεί να αποτελούν τα στοιχεία εισόδου, τους ελέγχους/ κριτήρια ή τους πόρους κάποιας άλλης δραστηριότητας. Υπάρχουν 5 βασικοί τρόποι σύνδεσης δύο δραστηριοτήτων:

1. στοιχείο εξόδου - στοιχείο εισόδου
2. στοιχείο εξόδου - έλεγχος/ κριτήριο
3. στοιχείο εξόδου - πόρος
4. στοιχείο εξόδου - ανάδραση στοιχείου εισόδου
5. στοιχείο εξόδου - ανάδραση ελέγχου/ κριτηρίου

Ένα μοντέλο SADT μπορεί να αποτελείται από ένα σύνολο διαγραμμάτων ακολουθώντας μία ιεραρχική μορφή. Κάθε διάγραμμα SADT αποτελείται από πλαίσια και βέλη, δηλαδή από δραστηριότητες και τις μεταξύ τους συσχετίσεις και περιγράφουν τους μετασχηματισμούς των στοιχείων εισόδου σε στοιχεία εξόδου και τους περιοριστικούς κανόνες αυτών των μετασχηματισμών. Με τον τρόπο αυτό τα βέλη καταγράφουν τις αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στις δραστηριότητες του συστήματος και ανάμεσα στο σύστημα και το περιβάλλον του. Κάθε διάγραμμα (εκτός από το αρχικό που αποτελείται από μία μόνο δραστηριότητα) συνιστάται να μην αποτελείται από λιγότερες από τρεις και περισσότερες από έξι δραστηριότητες. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται η σταδιακή και ιεραρχική παρουσίαση των πληροφοριών. Το διάγραμμα SADT αναπτύσσεται στη διαγώνιο από πάνω-αριστερά προς κάτω - δεξιά.

Στα πλαίσια της ανάλυσης και εξειδίκευσης των δραστηριοτήτων, τα διαγράμματα SADT επεκτείνονται ιεραρχικά, έτσι ώστε ο αναλυτής να μπορεί να διαχειριστεί ένα περιορισμένο όγκο πληροφόρησης που είναι αναγκαίος κάθε φορά στο συγκεκριμένο επίπεδο ανάλυσης που τον ενδιαφέρει. Έτσι, τα διαγράμματα υψηλού επιπέδου παρέχουν το γενικό πληροφοριακό περιεχόμενο των δραστηριοτήτων και θεωρούνται γεννήτορες (ή γονείς) των πιο εξειδικευμένων διαγραμμάτων που αποκαλούνται απόγονοι/ παιδιά. Κάθε διάγραμμα μπορεί να έχει από κανένα έως έξι διαγράμματα - απογόνους.

Κάθε γενική δραστηριότητα που αποτελεί το θέμα του μοντέλου (αρχική δραστηριότητα - συχνά αποκαλείται και “ δραστηριότητα 0” και συμβολίζεται Α0) θα πρέπει να εμφανίζεται στο πρώτο διάγραμμα, ο ρόλος του οποίου είναι να παρουσιάσει το θέμα, το σκοπό και την οπτική της μοντελοποίησης. Το διάγραμμα αυτό αποκαλείται “διάγραμμα περιεχομένου” (context diagram) ή“Α-0” και είναι το πρώτο διάγραμμα με το οποίο ξεκινά η μοντελοποίηση των δραστηριοτήτων και αναπτύσσεται σε επιμέρους διαγράμματα. Επομένως, το διάγραμμα Α-0 αποτελείται από μία μόνο δραστηριότητα και αποτελεί το γονέα όλων των άλλων διαγραμμάτων. Εφόσον το διάγραμμα Α-0 είναι εισαγωγικό για το έργο της ανάπτυξης αναλυτικών μοντέλων, είναι χρήσιμο να συνοδεύεται από ένα σύντομο και περιεκτικό σχολιασμό του σκοπού της μοντελοποίησης, της οπτικής γωνίας και της δομής ανάπτυξης που θα χρησιμοποιηθεί.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι όλες οι δραστηριότητες σε ένα μοντέλο SADT πρέπει να αριθμούνται. Το σύστημα αρίθμησης που ακολουθείται αποτελείται από το γράμμα Α και έναν αριθμό. Με αυτόν τον τρόπο, κάθε δραστηριότητα αναγνωρίζεται με μοναδικό τρόπο σε όλο το μοντέλο. Η βασική δραστηριότητα που υποδηλώνει το περιεχόμενο του μοντέλου αποκαλείται Α0. Η δραστηριότητα Α0 περιλαμβάνει τις δραστηριότητες Α1, Α2, Α3, κλπ. Η δραστηριότητα Α1, με τη σειρά της, αποτελείται από άλλες δραστηριότητες που κωδικοποιούνται ως Α11, Α12, Α13, κλπ. Σε κάθε επιπλέον επίπεδο

εξειδίκευσης μιας δραστηριότητας προστίθεται ένα ακόμη ψηφίο στον κωδικό της βασικής δραστηριότητας του μοντέλου.

Κάθε δραστηριότητα που αναλύεται, μεταβιβάζει στον απόγονό της τα γενικά της χαρακτηριστικά. Έτσι, τα στοιχεία εισόδου της αρχικής δραστηριότητας Α0 στο διάγραμμα Α-0 αποτελούν τα στοιχεία εισόδου του διαγράμματος Α0 (και κυρίως τα στοιχεία εισόδου της πρώτης διαδικασίας του διαγράμματος Α0). Αντίστοιχα, τα στοιχεία εξόδου της αρχικής διαδικασίας Α0 ταυτίζονται με τα στοιχεία εξόδου του διαγράμματος Α0 (και κυρίως τα στοιχεία εξόδου της τελευταίας δραστηριότητας του διαγράμματος Α0). Το ίδιο ισχύει και για τους ελέγχους/ κριτήρια και τους πόρους. Ωστόσο, δεν αποκλείεται άλλοι παράγοντες που δεν έχουν οριστεί στη δραστηριότητα - γεννήτορα του διαγράμματος απογόνου, να συμμετέχουν σε ένα διάγραμμα.

Το στοιχείο της κληρονομικότητας ισχύει για όλα τα επίπεδα δημιουργίας διαγραμμάτων. Έτσι, αν μία δραστηριότητα αναλύεται σε επιμέρους διάγραμμα, τότε κάθε σχέση που εμφανίζεται στην δραστηριότητα - γονέα θα πρέπει να είναι παρούσα και στο διάγραμμα - απόγονο. Οι σχέσεις που προέρχονται από την δραστηριότητα - γονέα ονομάζονται διασυνοριακές/ εξωτερικές σχέσεις (boundary arrows), ενώ οι σχέσεις μεταξύ δύο δραστηριοτήτων του ίδιου διαγράμματος αποκαλούνται εσωτερικές σχέσεις (internal arrows). Πρακτικά, εξωτερικές σχέσεις είναι εκείνες των οποίων μόνο η μία άκρη ανήκει σε δραστηριότητα του διαγράμματος, ενώ εσωτερικές σχέσεις είναι εκείνες των οποίων και οι δύο άκρες προέρχονται και καταλήγουν αντίστοιχα σε δραστηριότητες του ίδιου διαγράμματος. Η προέλευση και οι ιδιότητες των διασυνοριακών σχέσεων μπορούν να προσδιοριστούν μόνο μέσω της μετάβασης στην δραστηριότητα - γονέα, στην οποία πρέπει να ορίζονται.

Με βάση τα παραπάνω ένα μοντέλο SADT αποτελείται από μία ιεραρχία αλληλοσυνδεόμενων διαγραμμάτων. Η κορυφή αυτής της δομής δέντρου περιλαμβάνει την πιο γενική περιγραφή του συστήματος, ενώ η βάση του περιλαμβάνει τις πιο εξειδικευμένες πληροφορίες.

Η τεχνική SADT παρέχει ένα συστηματικό τρόπο αναπαράστασης και κατανόησης των ΣΔΑ. Οι Hale et al. (1997) ανέπτυξαν, χρησιμοποιώντας την τεχνική SADT, ένα μεθοδολογικό πλαίσιο για την αξιολόγηση και βελτίωση ενός υπάρχοντος ΣΔΑ, καθώς και το σχεδιασμό ενός νέου συστήματος. Επίσης, οι Guldenmund et al. (1999) κατασκεύασαν τρία μοντέλα SADT για την περιγραφή των κύριων δραστηριοτήτων κάθε λειτουργικής εγκατάστασης όπως είναι η παραγωγή, ο σχεδιασμός εκτάκτου ανάγκης και η συντήρηση.

Το πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι χρησιμοποιεί ένα μικρό αριθμό εννοιών, με αποτέλεσμα να είναι κατανοητή και εύχρηστη. Ωστόσο είναι στατική, καθώς παρουσιάζει μόνο τις δραστηριότητες και τον τρόπο που συνδέονται μεταξύ τους, ενώ λεπτομέρειες όπως ο χρόνος και τα κόστη που συνδέονται με τις δραστηριότητες δεν μπορούν άμεσα να ενσωματωθούν στο μοντέλο (Santarek and Buseif, 1998).

Στόχος της μεθοδολογίας που θα αναπτύξουμε σε αυτή την εργασία είναι η ανάπτυξη και ανάλυση ενός πρότυπου και ολοκληρωμένου Συστήματος Διαχείρισης Ανάλυσης (ΣΔΑ).

Συγκεκριμένα, το προτεινόμενο σύστημα αποτελείται από 7 θεμελιώδη στοιχεία (θεματικές ενότητες) σύμφωνα με τις απαιτήσεις της SEVESO II καλύπτοντας περιοχές όπως της διοίκησης, της εκπαίδευσης, των λειτουργιών, της συντήρησης, της εκτίμησης επικινδυνότητας, του σχεδιασμού εκτάκτου ανάγκης και της παρακολούθησης επιδόσεων και ελέγχου. Ταυτόχρονα στο σύστημα ενσωματώνονται 30 βασικοί οργανωτικοί και διαχειριστικοί παράγοντες που σχετίζονται με τη διαχείριση ασφάλειας. Οι παράγοντες αυτοί έχουν χρησιμοποιηθεί σε εγκεκριμένες έρευνες για την ασφάλεια των πυρηνικών εγκαταστάσεων και την ανάλυση βιομηχανικών ατυχημάτων, με αποτέλεσμα η ενσωμάτωση τους στο σύστημα να μπορεί να συμβάλλει σε μία πιο αποτελεσματική διαχείριση της ασφάλειας, αλλά και στον προσδιορισμό των πραγματικών αιτιών που συμβάλλουν στις αστοχίες του συστήματος ή τη μη αποδοτικότητα του.

Χρησιμοποιώντας την τεχνική μοντελοποίησης Structured Analysis and Design Technique (SADT), δομείται ένα μοντέλο διαγράμματος ροής ενεργειών (model action-flow diagram) στο οποίο αναπαρίστανται τα στοιχεία του συστήματος και οι παράγοντες. Στο μοντέλο αυτό μπορούν να προσδιοριστούν οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των στοιχείων του συστήματος και των παραγόντων και οι συσχετίσεις μεταξύ των στοιχείων. Το μοντέλο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αναγνώριση των οργανωτικών και διαχειριστικών αδυναμιών ενός ΣΔΑ και τον προσδιορισμό των ροών ενεργειών που πρέπει να εκτελούνται για την πρόληψη και τον έλεγχο ατυχημάτων στα οποία συμμετέχουν επικίνδυνες ουσίες.

4.2 Δομή του Συστήματος Διαχείρισης Ασφάλειας

4.11 Οι θεματικές ενότητες του Συστήματος Διαχείρισης Ασφάλειας

Το προτεινόμενο ΣΔΑ περιλαμβάνει όλες τις δραστηριότητες που πρέπει να πραγματοποιούνται για των έλεγχο των δραστηριοτήτων μιας μονάδας, όσο μεγάλη και να είναι αυτή.

Συγκεκριμένα, το σύστημα αποτελείται από τα εξής στοιχεία (θεματικές ενότητες):

Α. Διοίκηση και Ηγεσία (Management & Leadership)
Β. Εκπαίδευση (Training)
Γ. Λειτουργίες (Operations)
Δ. Συντήρηση (Maintenance)
Ε. Εκτίμηση Επικινδυνότητας (Risk Assessment)
Ζ. Σχεδιασμός Εκτάκτου Ανάγκης (Emergency Planning)
Η. Παρακολούθηση Επιδόσεων και Έλεγχος (Monitoring Performance and Audit)

Οι παραπάνω γενικές περιοχές ακολουθούν τη λογική του διαχωρισμού των θεματικών ενοτήτων των συστημάτων, όπως προδιαγράφονται στην Οδηγία SEVESO II. Οι θεματικές ενότητες που αντιστοιχούν στα κύρια κεφάλαια του ΣΔΑ σύμφωνα με τη SEVESO II είναι οι εξής:

1. Οργάνωση και Προσωπικό (Organisation and Personnel)
2. Αναγνώριση και Αξιολόγηση των Μεγάλων Κινδύνων (Identification and Evaluation of Major Hazards)
3. Έλεγχος Λειτουργίας και Συντήρηση (Operational Control and Maintenance)
4. Διαχείριση Μετατροπών (αλλαγών) (Management of Change)
5. Σχεδιασμός Εκτάκτου Ανάγκης (Planning for Emergencies)
6. Παρακολούθηση Επιδόσεων (Monitoring Performance)
7. Έλεγχος και Επανεξέταση του Συστήματος Διαχείρισης (Audit and Review)

Για τον καθορισμό των στοιχείων του προτεινόμενου συστήματος, προκειμένου να ενσωματώνει τις απαιτήσεις της SEVESO II έγιναν οι ακόλουθες επιλογές εργασίας:

- Η ενότητα της Οδηγίας *Οργάνωση και Προσωπικό*, η οποία αναφέρεται στους ρόλους και τις αρμοδιότητες του εμπλεκόμενου προσωπικού (σε όλα τα επίπεδα της οργάνωσης) στη διαχείριση μεγάλων κινδύνων, την αναγνώριση των εκπαιδευτικών αναγκών και την παροχή της εκπαίδευσης χωρίστηκε σε δύο ενότητες: τη *Διοίκηση και Ηγεσία* (ΕνΑ) και την *Εκπαίδευση* (Β). Ο διαχωρισμός αυτός έγινε διότι οι δύο παραπάνω περιοχές είναι πολύ σημαντικές για την ασφάλεια. Η εκπαίδευση της διοίκησης και των εργαζομένων αποτελεί έναν καθοριστικό παράγοντα για την πρόληψη των μεγάλων ατυχημάτων.
- Το στοιχείο του συστήματος *Εκτίμηση Επικινδυνότητας* (Ε), το οποίο αναφέρεται στον συστηματικό προσδιορισμό των κινδύνων μεγάλων ατυχημάτων και την αξιολόγηση των επιπτώσεων των κινδύνων αντιστοιχεί στην ενότητα της Οδηγίας *Αναγνώριση και Αξιολόγηση των Μεγάλων Κινδύνων*.
- Η ενότητα της Οδηγίας *Έλεγχος Λειτουργίας και Συντήρηση* χωρίστηκε σε δύο ενότητες: τις *Λειτουργίες* (Γ) και τη *Συντήρηση* (Δ). Ο διαχωρισμός αυτός πραγματοποιήθηκε λόγω της σημαντικότητας των δύο στοιχείων για τον έλεγχο των κινδύνων μεγάλων ατυχημάτων. Το στοιχείο των *Λειτουργιών* αναφέρεται στη λειτουργία όλων των δραστηριοτήτων, ενώ η *Συντήρηση* αφορά όλες τις κρίσιμες από πλευράς ασφαλείας εγκαταστάσεις, με σκοπό την πρόληψη ατυχημάτων ή τον περιορισμό των συνεπειών τους.
- Η ενότητα της Οδηγίας *Διαχείριση Μετατροπών*, η οποία αναφέρεται στη διαχείριση των αλλαγών στις υφιστάμενες και νέες εγκαταστάσεις, μονάδες, διεργασίες και αποθηκευτικούς χώρους δεν συμπεριλήφθηκε στο σύστημα ως μία ξεχωριστή ενότητα.
- Η ενότητα της Οδηγίας *Σχεδιασμός Εκτάκτου Ανάγκης* αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά στοιχεία και του προτεινόμενου συστήματος. Το στοιχείο αυτό (Ζ) αναφέρεται στον προσδιορισμό όλων των καταστάσεων εκτάκτου ανάγκης που σχετίζονται με την εκάστοτε εγκατάσταση, καθώς και την προετοιμασία, τη δοκιμή και την αναθεώρηση των σχεδίων έκτακτης ανάγκης για την αντιμετώπιση των καταστάσεων αυτών.
- Οι ενότητες της Οδηγίας *Παρακολούθηση Επιδόσεων και Έλεγχος και Επανεξέταση του Συστήματος Διαχείρισης* ενσωματώθηκαν σε μία ενότητα, η οποία ονομάζεται *Παρακολούθηση Επιδόσεων και Έλεγχος* (Η). Το στοιχείο αυτό αφορά στην παρακολούθηση και μέτρηση σε συνεχή βάση της επίδοσης όλων των στοιχείων του

συστήματος διαχείρισης (συμπεριλαμβανομένου του εμπλεκόμενου προσωπικού), καθώς και τη διεξαγωγή περιοδικών ελέγχων (επιθεωρήσεων) στο σύστημα.

Η θεματική ενότητα Διοίκηση και Ηγεσία θεωρείται το κεντρικό στοιχείο (central element) του συστήματος, καθώς για να εφαρμοστεί ένα αποτελεσματικό ΣΔΑ είναι απαραίτητη η ενεργή συμμετοχή και δράση της διοίκησης του οργανισμού. Οι θεματικές ενότητες Λειτουργίες, Συντήρηση και Εκπαίδευση θεωρούνται τα πρώτης γραμμής στοιχεία (front-line elements), ενώ οι ενότητες Εκτίμηση Επικινδυνότητας, Σχεδιασμός Εκτάκτου Ανάγκης και Παρακολούθηση Επιδόσεων και Ελέγχου αποτελούν τα υποστηρικτικά στοιχεία (supporting elements) του συστήματος. Οι θεματικές ενότητες του συστήματος παρουσιάζονται γραφικά στο σχήμα 1.

Οι δραστηριότητες που περιλαμβάνονται σε κάθε θεματική ενότητα του συστήματος ακολουθούν τον κύκλο του Deming (plan, do, check, act), ο οποίος πρέπει να τηρείται για τη συνεχή βελτίωση του συστήματος.

4.1.2 Οι οργανωτικοί και διαχειριστικοί παράγοντες του Συστήματος Διαχείρισης Ασφάλειας

Είναι γενικά αποδεκτό ότι οι οργανωτικοί και διαχειριστικοί παράγοντες παίζουν σημαντικό ρόλο στο επίπεδο ασφάλειας ενός οργανισμού. Το βάρος και η σημαντικότητα κάθε παράγοντα διαφέρουν από οργανισμό σε οργανισμό, καθώς εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το είδος και το μέγεθος του κάθε οργανισμού.

Ένα βασικό χαρακτηριστικό της συγκεκριμένης έρευνας είναι η ενσωμάτωση στο σύστημα 30 βασικών οργανωτικών και διαχειριστικών παραγόντων που σχετίζονται με τη διαχείριση ασφάλειας. Συγκεκριμένα, οι 16 από τους 30 παράγοντες του συστήματος αντιστοιχούν, με μικρές διαφοροποιήσεις, στους οργανωτικούς παράγοντες που έχουν προταθεί από τους Jacobs and Haber (1994) ταξινομημένοι σε 5 γενικές κατηγορίες:

- λήψη αποφάσεων (decision making),
- επικοινωνίες (communications),
- διοικητική γνώση (administrative knowledge),
- καταμερισμός ανθρώπινων πόρων (human resource allocation) και
- κουλτούρα (culture*)*

.

Η ταξινόμηση αυτή χρησιμοποιήθηκε από τους 2 ερευνητές για την εξέταση της επίδρασης των οργανωτικών παραγόντων στην ασφάλεια των πυρηνικών εγκαταστάσεων. Επίσης, η ταξινόμηση αυτή έχει χρησιμοποιηθεί και από τους Tuli and Apostolakis (1996) σε μια προσπάθεια ενσωμάτωσης των οργανωτικών θεμάτων στην ανάλυση βιομηχανικών ατυχημάτων (root-cause analysis).

Οι υπόλοιποι 14 παράγοντες του συστήματος (διαχειριστικοί και άλλοι οργανωτικοί) προσδιορίστηκαν με βάση τις σημαντικότερες δραστηριότητες που πρέπει να περιλαμβάνονται σε κάθε θεματική ενότητα του συστήματος.

Με βάση τα παραπάνω, οι οργανωτικοί και διαχειριστικοί παράγοντες που θεωρήθηκαν απαραίτητοι να εξεταστούν και να ενσωματωθούν στο ΣΔΑ για τον έλεγχο των κινδύνων μεγάλων ατυχημάτων είναι οι ακόλουθοι.

1. Οργανωτικοί παράγοντες του συστήματος σύμφωνα με την ταξινόμηση των Jacobs και Haber (1994)

Λήψη Αποφάσεων (Decision Making)

- *Συγκεντροποίηση αρμοδιοτήτων (Centralization)*
- *Ιεράρχηση Στόχων (Goal Prioritization)*
- *Μάθηση του Οργανισμού (Organizational Learning)*
- *Αναγνώριση Προβλημάτων (Problem Identification)*
- *Καταμερισμός Πόρων (Resource Allocation)*

Επικοινωνίες (Communications)

- *Επικοινωνία (Εξωτερική Επικοινωνία - External Communications, Διατμηματική Επικοινωνία - Interdepartmental Communications, Ενδοτμηματική Επικοινωνία - Intradepartmental Communications)*

Καταμερισμός Ανθρώπινων Πόρων (Human Resources Allocation)

- *Ποιοτική Εκτίμηση - Αξιολόγηση Επίδοσης (Quality Assessment - Performance Evaluation)*
- *Επιλογή Προσωπικού (Personnel Selection)*
- *Τεχνική Γνώση (Technical Knowledge)*
- *Εκπαιδευτικές Ανάγκες (Training Needs)*

Διοικητική Γνώση (Administrative Knowledge)

- *Συντονισμός Εργασίας (Coordination of Work)*
- *Τυποποίηση (Formalization)*
- *Γνώση του Οργανισμού (Organizational Knowledge)*
- *Ρόλοι - Αρμοδιότητες (Roles - Responsibilities)*

Κουλτούρα (Culture)

- *Αίσθημα Ευθύνης (Ownership)*
- *Χρονικοί Περιορισμοί (Time Urgency)*

2. Διαχειριστικοί και άλλοι οργανωτικοί παράγοντες του συστήματος

- *Πολιτική/ Στόχοι (Policy/ Goals)*
- *Διαθέσιμοι Πόροι (Available Resources)*
- *Γενική Επίδοση (Overall Performance)*
- *Προγραμματισμένες Αλλαγές στον Εξοπλισμό και τις Διαδικασίες (Planned Equipment & Procedure Changes)*
- *Δεδομένα της Εγκατάστασης/ Απόδοση Συστημάτων (Plant Data/ Systems Performance)*
- *Δεδομένα Απόδοσης Συστημάτων (Systems Performance Data)*

- *Παρακολούθηση Εξοπλισμού και Υποδομών (Equipment and Structures Monitoring)*
- *Απόδοση Εξοπλισμού (Equipment Performance)*
- *Διορθωτική Συντήρηση (Corrective Maintenance)*
- *Προληπτική Συντήρηση/ Έλεγχος (Preventive Maintenance/ Test)*
- *Κριτήρια Εκτίμησης Κινδύνου (Risk Assessment Criteria)*
- *Σενάρια Ατυχημάτων/ Ζώνες Επιπτώσεων/ Αξιολόγηση Επικινδυνότητας (Accident Scenarios/ Consequences Zones/ Risk Evaluation)*
- Μέτρα Πρόληψης, Ελέγχου και Καταστολής (γραμμές αμύνης*) που προέρχονται από την εκτίμηση επικινδυνότητας (Preventive Control and Mitigation Measures)*
- *Δεδομένα Αξιοπιστίας/ Δεδομένα Απόδοσης Συστημάτων (Reliability Data/ Systems Performance Data)*

Οι διαφοροποιήσεις που εμφανίζουν οι οργανωτικοί παράγοντες του συστήματος σε σχέση με τους παράγοντες που έχουν προταθεί από τους Jacobs και Haber (1994) είναι οι ακόλουθες:

1. Ο παράγοντας Καταμερισμός Πόρων (Resource Allocation), ο οποίος αντιστοιχεί στον τρόπο με τον οποίο ο οργανισμός κατανέμει τους οικονομικούς του πόρους, στη συγκεκριμένη προσέγγιση περιλαμβάνει εκτός από τους οικονομικούς και τους ανθρώπινους πόρους που απαιτούνται σε κάθε θεματική ενότητα του συστήματος για την αποτελεσματική εφαρμογή του.
2. Οι παράγοντες Εξωτερική Επικοινωνία (External Communications), Διατμηματική Επικοινωνία (Interdepartmental Communications) και Ενδοτμηματική Επικοινωνία (Intradepartmental Communications) ενσωματώθηκαν σε ένα παράγοντα που ονομάζεται Επικοινωνία (Communication).
3. Ο παράγοντας Αξιολόγηση Επίδοσης (Performance Evaluation), ο οποίος αντιστοιχεί στην αξιολόγηση της επίδοσης του προσωπικού αντικαταστάθηκε από τον παράγοντα Ποιοτική Εκτίμηση - Αξιολόγηση Επίδοσης (Quality Assessment - Performance Evaluation). Ο όρος "επίδοση" στη συγκεκριμένη προσέγγιση αντιστοιχεί στην επίδοση της θεματικής ενότητας του συστήματος στην οποία αναφέρεται ο παράγοντας και την επίδοση του εμπλεκόμενου προσωπικού.
4. Ο παράγοντας Εκπαίδευση (Training) αντικαταστάθηκε από τον παράγοντα Εκπαιδευτικές Ανάγκες (Training Needs), δεδομένου ότι η εκπαίδευση αποτελεί μία από τις θεματικές ενότητες του συστήματος.
5. Οι παράγοντες Οργανωτική Κουλτούρα (Organizational Culture) και Κουλτούρα Ασφαλείας (Safety Culture) δεν ενσωματώθηκαν στις θεματικές ενότητες του ΣΔΑ.

Ωστόσο, οι παράγοντες αυτοί ενσωματώνονται έμμεσα σε αρκετούς από τους οργανωτικούς παράγοντες του συστήματος. Η ανάπτυξη και διατήρηση μιας ενιαίας κουλτούρας στα θέματα ασφαλείας που απασχολούν τον οργανισμό αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του συστήματος, το οποίο εκφράζεται μέσα από τη θεματική ενότητα Διοίκηση και Ηγεσία. Επίσης, η κουλτούρα ασφαλείας αποτελεί στοιχείο-κλειδί για την ανάπτυξη και εφαρμογή της πολιτικής και των στόχων, την αναγνώριση προβλημάτων, τη θέσπιση και εφαρμογή των διαδικασιών και οδηγιών ασφαλούς λειτουργίας. Παρόμοια, η οργανωτική κουλτούρα αποτελεί στοιχείο-κλειδί για

την ανάπτυξη και ιεράρχηση των στόχων, τον καταμερισμό των πόρων και τον καθορισμό των ρόλων και των αρμοδιοτήτων.

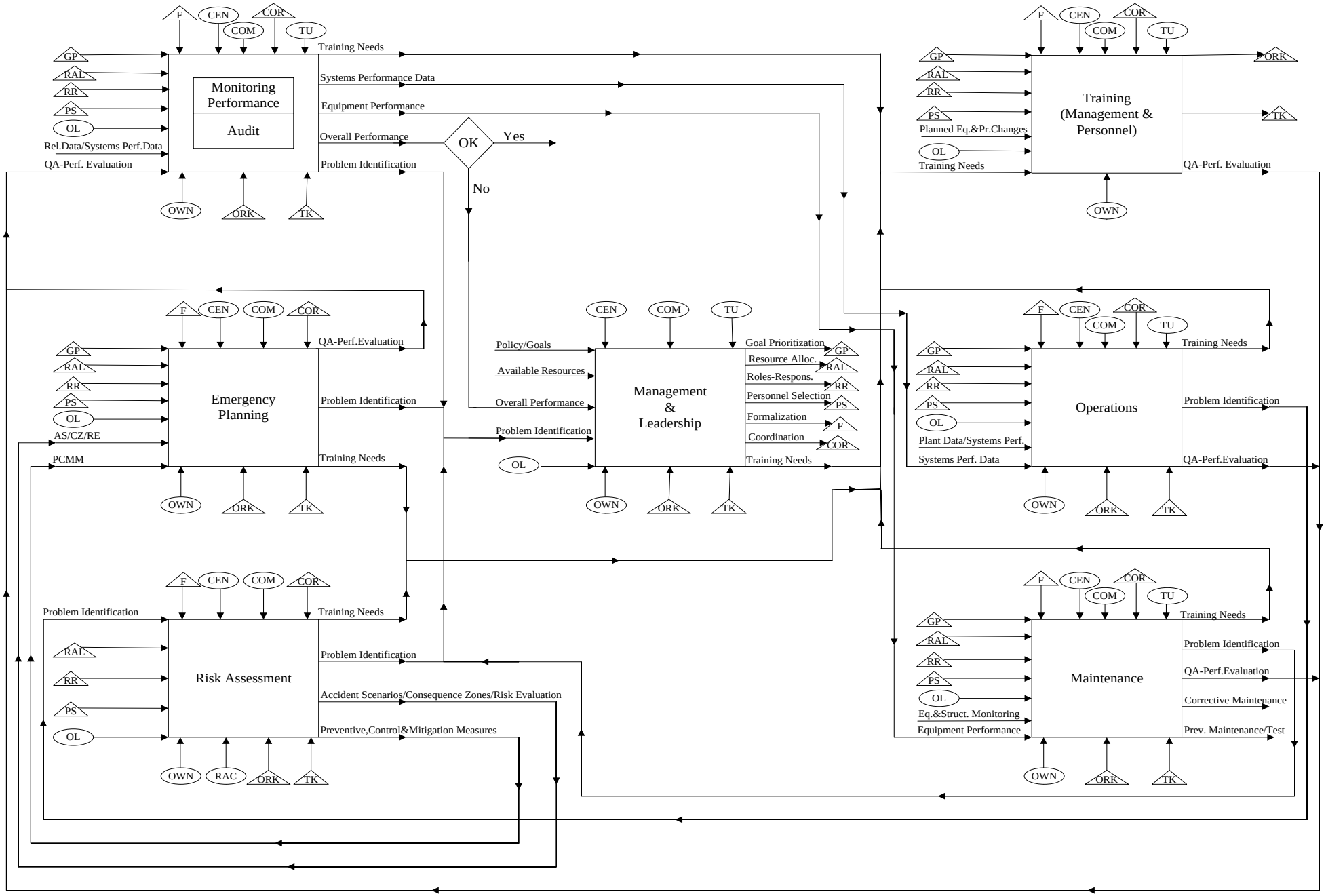
Οι παράγοντες που προσδιορίστηκαν και ενσωματώθηκαν στο προτεινόμενο ΣΔΑ (βλ. σχήμα 1) επηρεάζουν το επίπεδο ασφάλειας των αερολιμένων, με αποτέλεσμα η ενσωμάτωσή τους στο σύστημα να μπορεί να συμβάλλει σε μία πιο αποτελεσματική διαχείριση της ασφάλειας, αλλά και στον προσδιορισμό των πραγματικών αιτιών που οδηγούν σε αστοχίες του συστήματος ή τη μη αποδοτικότητα του.

4.1.3 Ανάλυση του Μοντέλου Διαγράμματος Ροής Ενεργειών

Το προτεινόμενο ΣΔΑ μοντελοποιήθηκε χρησιμοποιώντας την τεχνική Structured Analysis and Design Technique (SADT). Η τεχνική αυτή έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε έρευνες για τη μοντελοποίηση ΣΔΑ (Hale et al., 1997), καθώς παρέχει ένα συστηματικό τρόπο αναπαράστασης και κατανόησης των συστημάτων αυτών.

Με βάση την τεχνική SADT, κατασκευάστηκε ένα *μοντέλο διαγράμματος ροής ενεργειών* (*model action-flow diagram*), στο οποίο αναπαρίστανται τα στοιχεία του συστήματος και οι παράγοντες. Στο μοντέλο αυτό μπορούν να προσδιοριστούν οι συνδέσεις μεταξύ των στοιχείων του συστήματος και των παραγόντων (connections), οι συσχετίσεις μεταξύ των στοιχείων (relations) και κατά συνέπεια να σχεδιαγραφηθούν οι ροές ενεργειών που σχετίζονται με τη λειτουργία του συστήματος. Η εξάρτηση και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των στοιχείων του συστήματος και των παραγόντων παρουσιάζονται στο σχήμα1.

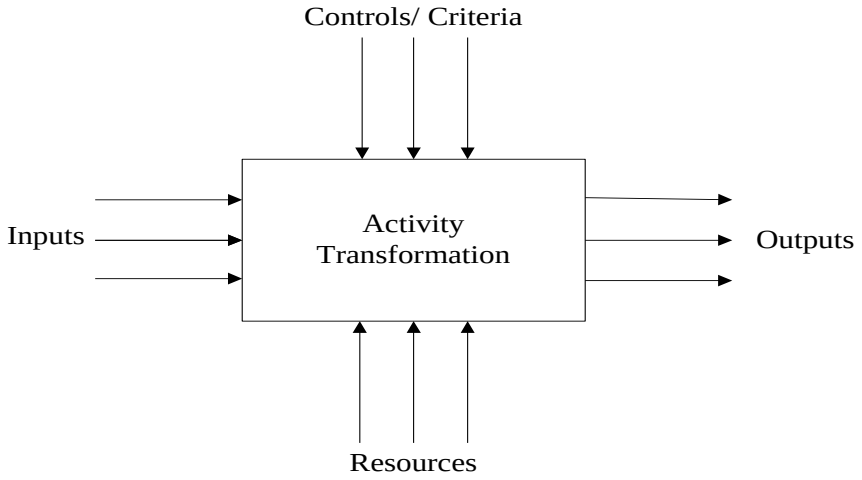
Όπως φαίνεται στο σχήμα 1, το ΣΔΑ αποτελείται από 7 στοιχεία. Για την ανάλυση του συστήματος, κάθε στοιχείο ορίζεται σαν ένας θεματικός κόμβος, ο οποίος αποτελεί έναν κύκλο δραστηριοτήτων συγκεκριμένου είδους που ορίζεται από το είδος των λειτουργιών που εκτελούνται σε αυτόν. Το είδος αυτό των λειτουργιών είναι συνήθως στις αρμοδιότητες μιας Διεύθυνσης ή Τμήματος του οργανισμού.



Σχήμα 1: Μοντέλο διαγράμματος ροής ενεργειών (model action-flow diagram)

Σύμφωνα με την τεχνική SADT, κάθε θεματικός κόμβος του συστήματος περιγράφεται γραφικά με τη μορφή ενός ορθογώνιου πλαισίου (box) με βέλη (arrows), τα οποία εισέρχονται από τις τρεις πλευρές και εξέρχονται από τη μία. Στη συγκεκριμένη προσέγγιση, τα βέλη που χρησιμοποιούνται για να αποδώσουν τις σχέσεις μεταξύ των κόμβων, δηλαδή τις συσχετίσεις μεταξύ των στοιχείων του συστήματος είναι οι οργανωτικοί και διαχειριστικοί παράγοντες που προσδιορίστηκαν στην ενότητα 4.1.2. Οι παράγοντες αυτοί χωρίζονται, με βάση την τεχνική SADT, σε 4 κατηγορίες, οι οποίες ορίζονται ως εξής (σχήμα 2):

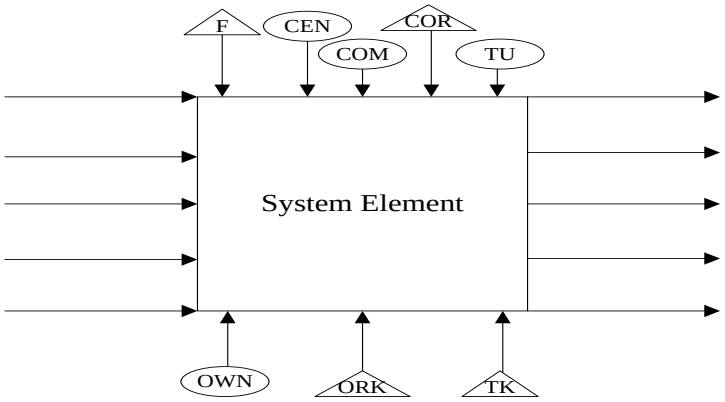
- *Στοιχεία Εισόδου (Inputs):* Οι παράγοντες που αποτελούν τα στοιχεία εισόδου εμφανίζονται αριστερά του κάθε κόμβου και τροφοδοτούν κάθε έναν από αυτούς για ανάλυση και προσδιορισμό δράσεων προς υλοποίηση. Οι παράγοντες αυτοί μετασχηματίζονται ή αναλώνονται κατά τη διάρκεια υλοποίησης των δραστηριοτήτων των κόμβων για την παραγωγή των στοιχείων εξόδου.
- *Έλεγχοι/ Κριτήρια (Controls/ Criteria):* Για την υλοποίηση των δραστηριοτήτων κάθε κόμβου, η διοίκηση του αερολιμένα πρέπει να διαθέτει σχετικές διαδικασίες ελέγχων/ κριτηρίων. Οι παράγοντες που ορίζονται σαν έλεγχοι/ κριτήρια εμφανίζονται στην πάνω πλευρά κάθε κόμβου και χρησιμοποιούνται για να κρίνουν εάν οι δραστηριότητες των κόμβων εκτελούνται με επιτυχία.
- *Πόροι (Resources):* Για την υλοποίηση των δραστηριοτήτων κάθε κόμβου, η διοίκηση του αερολιμένα πρέπει να διαθέτει ανάλογους πόρους. Οι παράγοντες που ορίζονται σαν πόροι εμφανίζονται στην κάτω πλευρά κάθε κόμβου και αντιπροσωπεύουν τα μέσα με τα οποία επιδιώκεται η διεκπεραίωση των δραστηριοτήτων κάθε κόμβου.
- *Στοιχεία Εξόδου (Outputs):* Οι παράγοντες που αποτελούν τα στοιχεία εξόδου εμφανίζονται στα δεξιά κάθε κόμβου και συνιστούν τα παραδοτέα, δηλαδή τα επιθυμητά και ανεπιθύμητα αποτελέσματα που προκύπτουν από την υλοποίηση των δραστηριοτήτων κάθε κόμβου.



Σχήμα 2: Μοντέλο SADT

Οι παράγοντες που χρησιμοποιούνται σαν έλεγχοι/ κριτήρια και πόροι στους κόμβους του συστήματος έχουν προσδιοριστεί με βάση την κατηγοριοποίηση που έχει προταθεί από τους Guldenmund et al. (1999). Οι συγκεκριμένοι ερευνητές, χρησιμοποιώντας την

τεχνική SADT περιέγραψαν τις κύριες δραστηριότητες κάθε λειτουργικής εγκατάστασης (συντήρηση, παραγωγή, σχεδιασμός εκτάκτου ανάγκης) και πρότειναν 8 γενικές κατηγορίες ελέγχων και πόρων που επηρεάζουν τις δραστηριότητες αυτές. Οι έλεγχοι/ κριτήρια και οι πόροι που χρησιμοποιούνται στους περισσότερους κόμβους του συστήματος είναι οι παράγοντες που φαίνονται στο σχήμα 3.



Σχήμα 3: Έλεγχοι/ κριτήρια και πόροι του συστήματος

Από το παραπάνω σχήμα φαίνεται ότι οι έλεγχοι/ κριτήρια που χρησιμοποιούνται στους περισσότερους κόμβους του συστήματος είναι η Τυποποίηση (Formalization, F), η Συγκεντροποίηση Αρμοδιοτήτων (Centralization, CEN), η Επικοινωνία (Communication, COM), ο Συντονισμός Εργασίας (Coordination of Work, COR) και οι Χρονικοί Περιορισμοί (Time Urgency, TU). Αντίστοιχα οι παράγοντες που χρησιμοποιούνται σαν πόροι είναι το Αίσθημα Ευθύνης (Ownership), η Γνώση του Οργανισμού (Organizational Knowledge, ORK) και η Τεχνική Γνώση (Technical Knowledge, TK).

Η λογική της μοντελοποίησης κάθε κόμβου του συστήματος είναι ότι τα στοιχεία εισόδου (inputs) πρέπει να είναι ικανά και αναγκαία για την παραγωγή των στοιχείων εξόδου (outputs), δεδομένων των πόρων (resources) και των ελέγχων/ κριτηρίων (controls/criteria). Για να αποκτήσει νόημα η μοντελοποίηση, κάθε κόμβος μελετάται σε σχέση με τα στοιχεία εισόδου και τα στοιχεία εξόδου του και συνδέεται με τους υπόλοιπους κόμβους. Η σύνδεση μεταξύ των κόμβων του συστήματος γίνεται μέσω των στοιχείων εξόδου κάθε κόμβου, που μπορεί να αποτελούν τα στοιχεία εισόδου, τους ελέγχους/ κριτήρια ή τους πόρους κάποιου άλλου κόμβου.

Το διάγραμμα του σχήματος 1 περιλαμβάνει τα στοιχεία του συστήματος και τις μεταξύ τους συσχετίσεις και περιγράφει τους μετασχηματισμούς των στοιχείων εισόδου σε στοιχεία εξόδου και τους περιοριστικούς κανόνες αυτών των μετασχηματισμών. Με τον τρόπο αυτό τα βέλη, δηλαδή οι οργανωτικοί και διαχειριστικοί παράγοντες καταγράφουν τις αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στα στοιχεία του συστήματος και ανάμεσα στο σύστημα και το περιβάλλον του.

Το μοντέλο διαγράμματος ροής ενεργειών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό συγκεκριμένων περιοχών όπου υπάρχουν προβλήματα, την αναγνώριση των οργανωτικών και διαχειριστικών αδυναμιών ενός ΣΔΑ, και κατά συνέπεια να κατευθύνει

το χρήστη σε συγκεκριμένες ενέργειες. Για παράδειγμα, οι παράγοντες που επηρεάζουν τον κόμβο της Συντήρησης είναι ο Καταμερισμός Πόρων, η Επικοινωνία, η Τεχνική Γνώση, η Παρακολούθηση Εξοπλισμού και Υποδομών, η Απόδοση του Εξοπλισμού, κ.α. Χρησιμοποιώντας κατάλληλα εργαλεία, ο οργανισμός είναι δυνατόν να αξιολογήσει την ποιότητα των δραστηριοτήτων της συντήρησης σε σχέση με τους παραπάνω παράγοντες, να αναγνωρίσει τις οργανωτικές και διαχειριστικές αδυναμίες που σχετίζονται με το συγκεκριμένο κόμβο και να προβεί στις κατάλληλες ενέργειες για τη διόρθωσή τους.

Στον πίνακα 1 παρουσιάζονται οι θεματικοί κόμβοι του συστήματος, οι οργανωτικοί και διαχειριστικοί παράγοντες και ο τρόπος που συνδέονται μεταξύ τους, σύμφωνα με την τεχνική SADT. Με I συμβολίζονται τα στοιχεία εισόδου (Inputs), O τα στοιχεία εξόδου (Outputs), R οι πόροι (Resources) και C οι έλεγχοι/ κριτήρια (Controls/ Criteria).

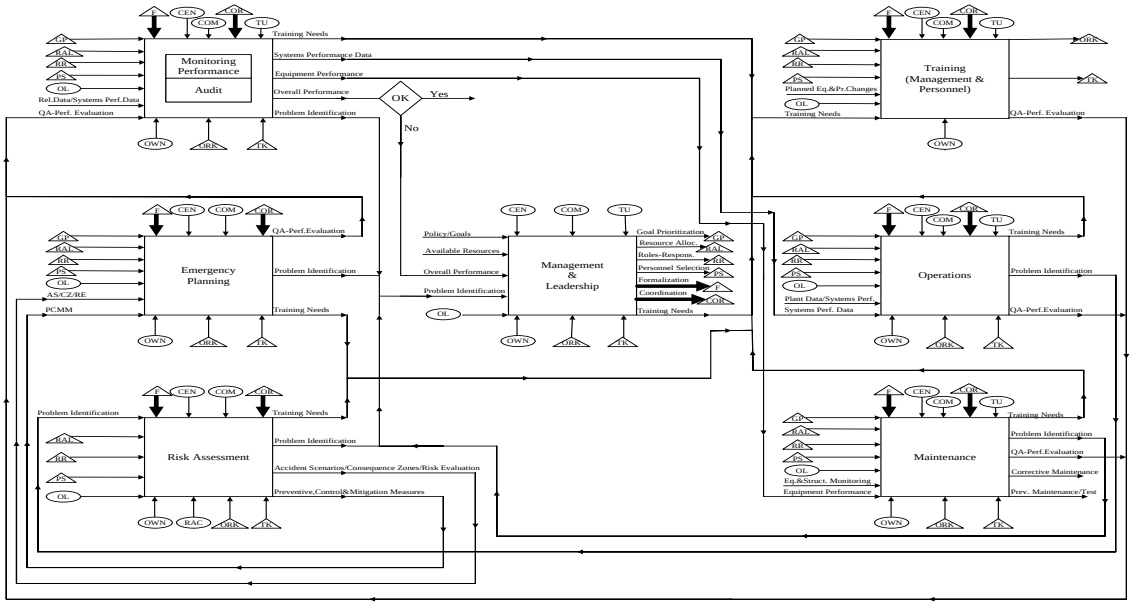
Πίνακας 1: Οι θεματικοί κόμβοι του συστήματος, οι οργανωτικοί και διαχειριστικοί παράγοντες και ο τρόπος που συνδέονται μεταξύ τους σύμφωνα με την τεχνική SADT

Organizational and Management Factors	**Management & Leadership**	**Training**	**Operations**	**Maintenance**	**Risk Assessment**	**Emergency Planning**	**Monitoring Performance & Audit**
Organizational Factors							
Decision Making							
Centralization (CEN)	C	C	C	C	C	C	C
Goal Prioritization (GP)	O	I	I	I		I	I
Organizational Learning (OL)	I	I	I	I	I	I	I
Problem Identification (PI)	I		O	O	I/ O	O	O
Resource Allocation (RAL)	O	I	I	I	I	I	I
Communications							
Communication (COM) (External, Interdepartmental, Intradepartmental)	C	C	C	C	C	C	C
Human Resource Allocation							
Quality Assessment - Performance Evaluation (QA - Perf. Evaluation)		O	O	O		O	I
Personnel Selection (PS)	O	I	I	I	I	I	I
Technical Knowledge (TK)	R	O	R	R	R	R	R
Training Needs	O	I	O	O	O	O	O
Administrative Knowledge							
Coordination of Work (COR)	O	C	C	C	C	C	C
Formalization (F)	O	C	C	C	C	C	C
Organizational Knowledge (ORK)	R	O	R	R	R	R	R
Roles - Responsibilities (RR)	O	I	I	I	I	I	I
Culture							
Ownership (OWN)	R	R	R	R	R	R	R

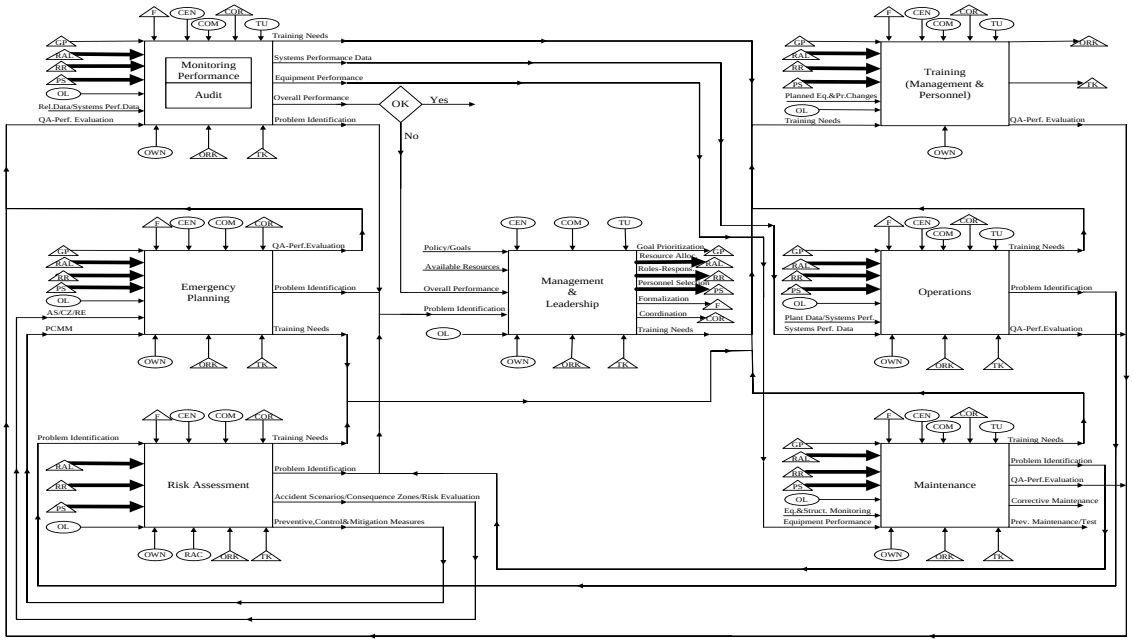
Time Urgency (TU)	C	C	C	C			C
Organizational and management factors	**Management & Leadership**	**Training**	**Operations**	**Maintenance**	**Risk Assessment**	**Emergency Planning**	**Monitoring Performance & Audit**
Management and other Organizational Factors							
Policy/ Goals	I						
Available Resources	I						
Overall Performance	I						O
Planned Equipment & Procedure Changes		I					
Plant Data/ Systems Performance			I				
Systems Performance Data			I				O
Equipment and Structures Monitoring				I			
Equipment Performance				I			O
Corrective Maintenance				O			
Preventive Maintenance/ Test				O			
Risk Assessment Criteria (RAC)					R		
Accident Scenarios/ Consequences Zones/ Risk Evaluation (AS/ CZ/ RE)					O	I	
Preventive, Control and Mitigation Measures (PCMM)					O	I	
Reliability Data/ Systems Performance Data							I

Από τον πίνακα 1 προκύπτουν οι ακόλουθες παρατηρήσεις:

- Οι παράγοντες Τυποποίηση (Formalization) και Συντονισμός Εργασίας (Coordination of Work) αποτελούν στοιχεία εξόδου του κόμβου της Διοίκησης και Ηγεσίας (Management and Leadership) και τροφοδοτούν σαν πόροι τους υπόλοιπους κόμβους του συστήματος.

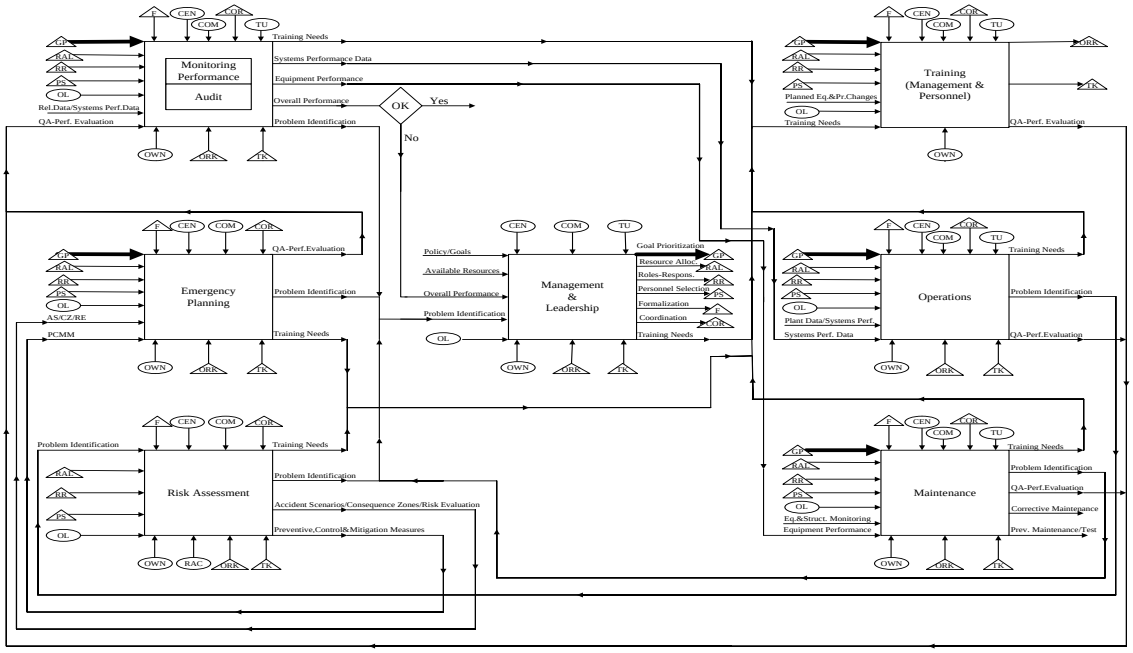


- Οι παράγοντες Καταμερισμός Πόρων (Resource Allocation), Ρόλοι - Αρμοδιότητες (Roles - Responsibilities) και Επιλογή Προσωπικού (Personnel Selection) αποτελούν στοιχεία εξόδου του κόμβου της Διοίκησης και Ηγεσίας (Management and Leadership) και τροφοδοτούν σαν στοιχεία εισόδου τους υπόλοιπους κόμβους του συστήματος.

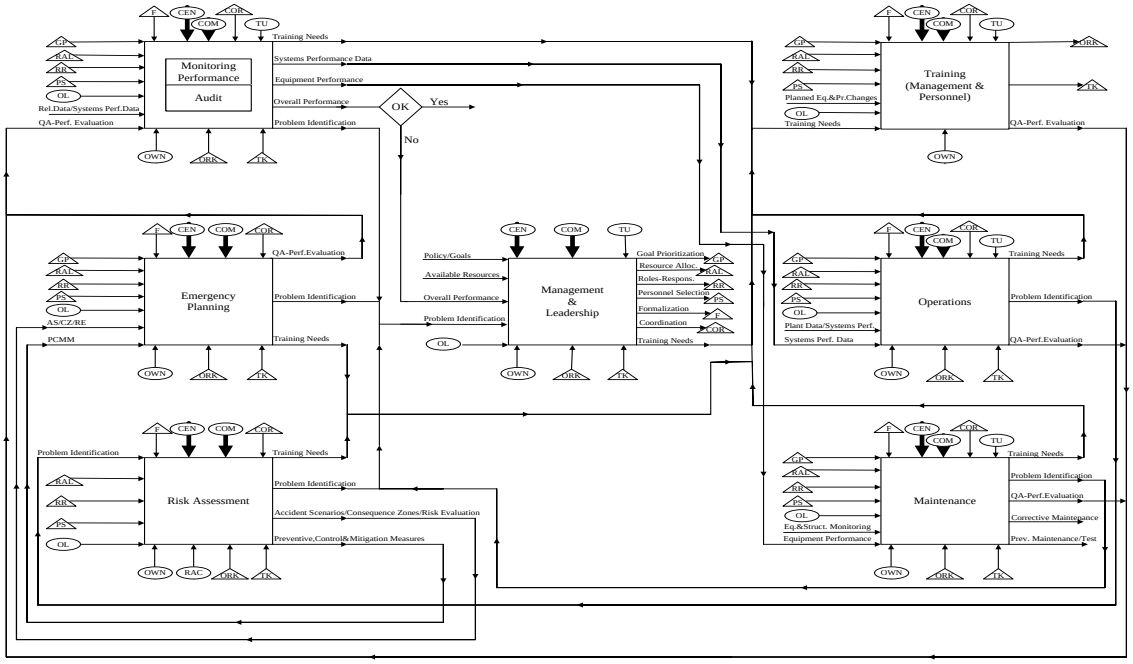


- Ο παράγοντας Ιεράρχηση Στόχων (Goal Prioritization) αποτελεί στοιχείο εξόδου του κόμβου της Διοίκησης και Ηγεσίας (Management and Leadership) και υπεισέρχεται σαν στοιχείο εισόδου στους υπόλοιπους κόμβους του συστήματος,

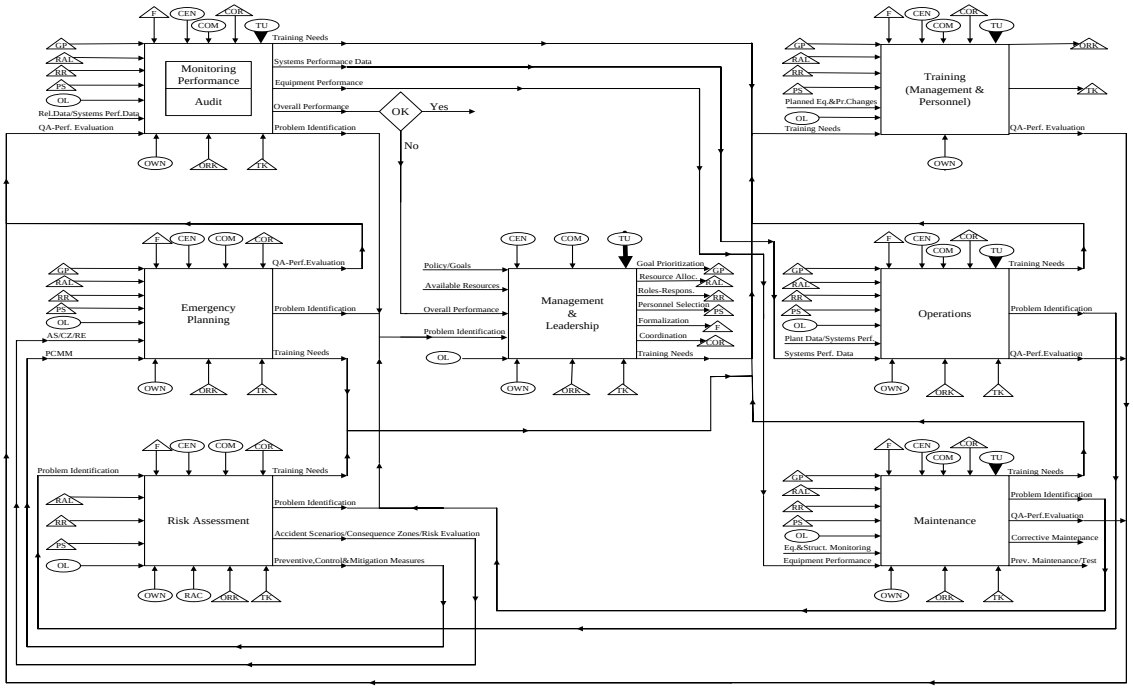
πλην του κόμβου της Εκτίμησης Επικινδυνότητας (Risk Assessment). Ο παράγοντας αυτός δεν υπεισέρχεται στον κόμβο Risk Assessment



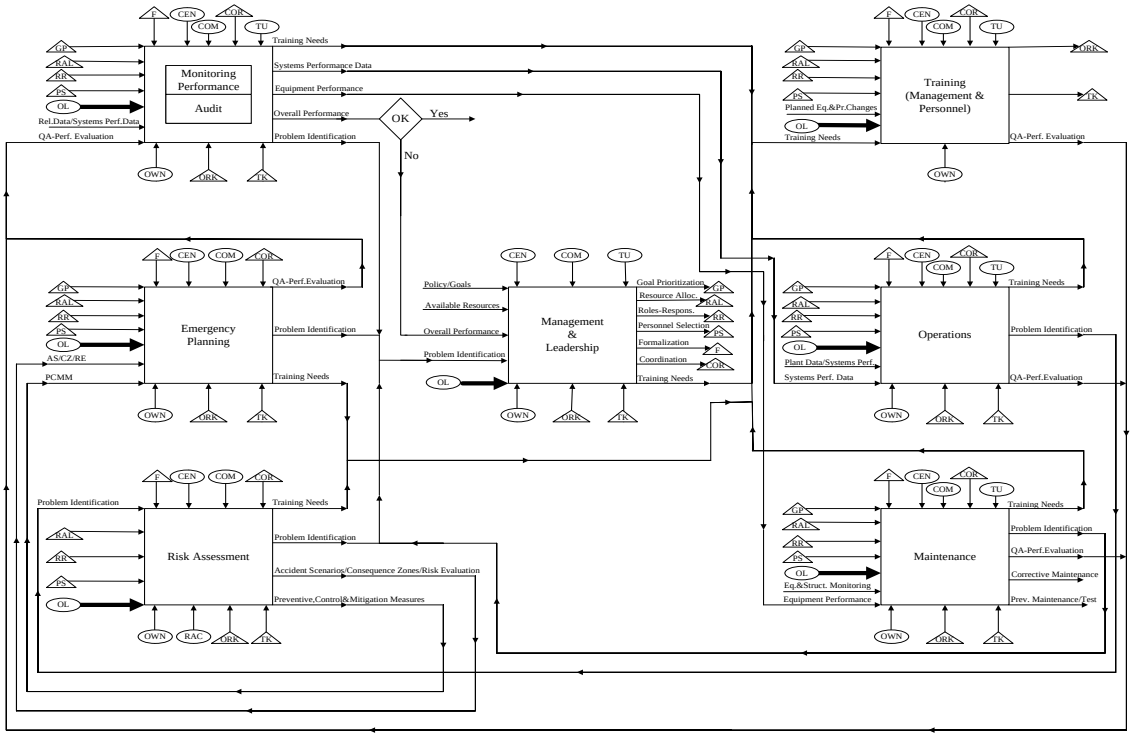
- Οι παράγοντες Συγκεντροποίηση Αρμοδιοτήτων (Centralization) και Επικοινωνία (Communication) εμφανίζονται σαν έλεγχοι/ κριτήρια σε όλους τους κόμβους του συστήματος.



- Ο παράγοντας Χρονικοί Περιορισμοί (Time Urgency) εμφανίζεται σαν έλεγχος/ κριτήριο σε όλους τους κόμβους του συστήματος, πλην των κόμβων της Εκτίμησης Επικινδυνότητας (Risk Assessment) και του Σχεδιασμού Εκτάκτου Ανάγκης (Emergency Planning).

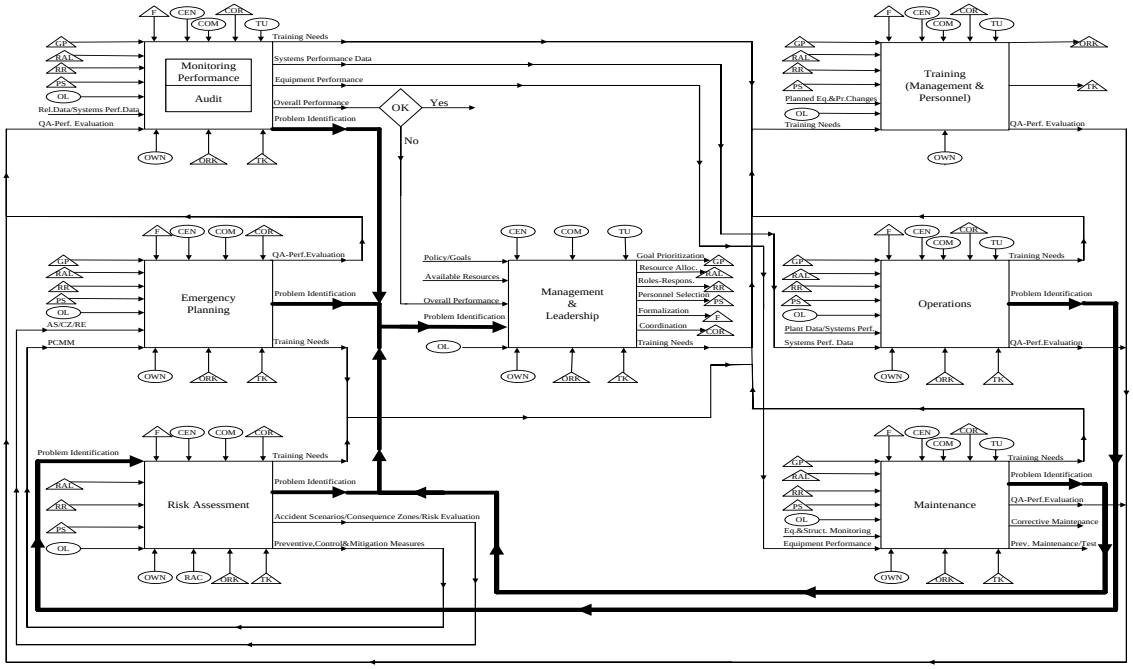


- Ο παράγοντας Μάθηση του Οργανισμού (Organizational Learning) εμφανίζεται σαν στοιχείο εισόδου σε όλους τους κόμβους του συστήματος.

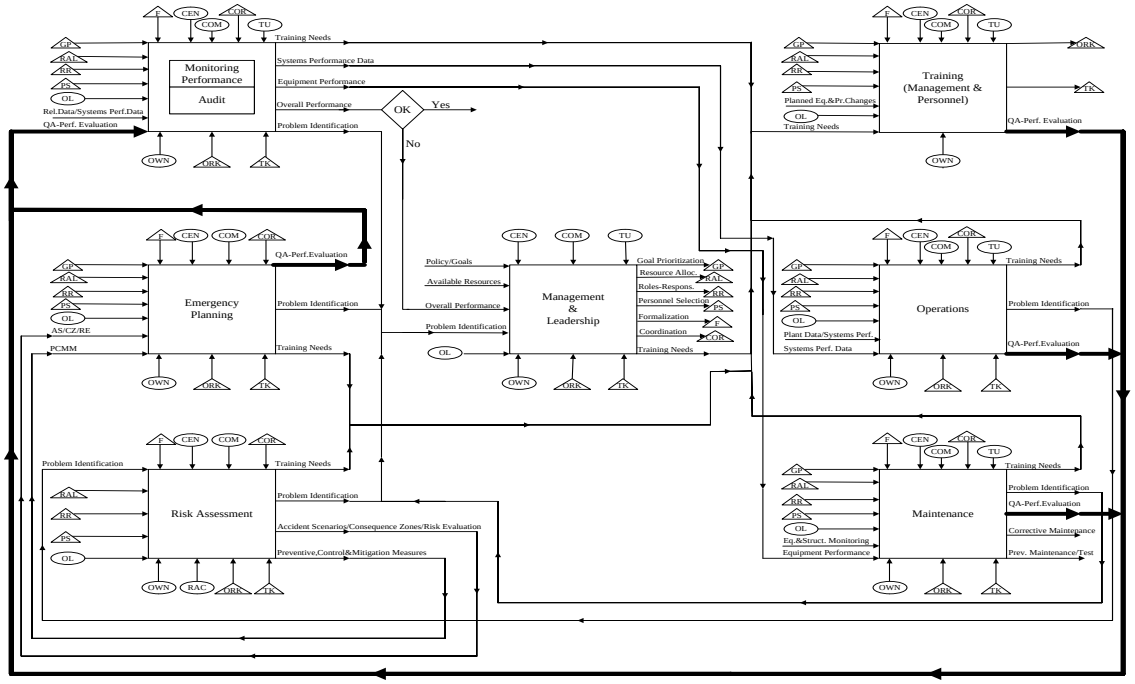


- Ο παράγοντας Αναγνώριση Προβλημάτων (Problem Identification) αποτελεί στοιχείο εξόδου όλων των κόμβων του συστήματος, πλην των κόμβων της Εκπαίδευσης (Training) και της Διοίκησης και Ηγεσίας (Management and Leadership) και υπεισέρχεται σαν στοιχείο εισόδου στον κόμβο της Διοίκησης και Ηγεσίας. Εξαίρεση αποτελεί ο κόμβος των Λειτουργιών (Operations) όπου ο παράγοντας που ενεργοποιείται από τον κόμβο αυτόν υπεισέρχεται σαν στοιχείο εισόδου στον κόμβο της Εκτίμησης Επικινδυνότητας (Risk Assessment) αντί του

κόμβου της Διοίκησης και Ηγεσίας. Επίσης, ο παράγοντας αυτός αποτελεί στοιχείο εισόδου και εξόδου του κόμβου της Εκτίμησης Επικινδυνότητας.

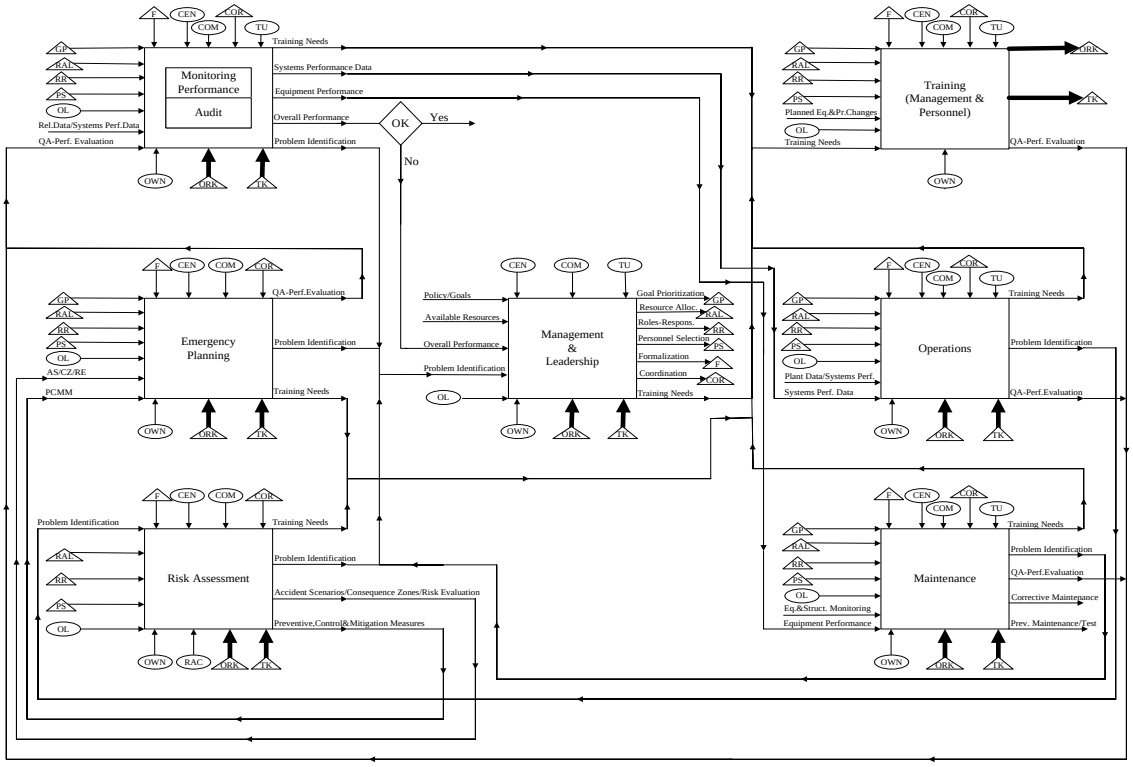


- Ο παράγοντας Ποιοτική Εκτίμηση - Αξιολόγηση Επίδοσης (Quality Assessment - Performance Evaluation) εμφανίζεται σαν στοιχείο εξόδου στους κόμβους της Εκπαίδευσης (Training), των Λειτουργιών (Operations), της Συντήρησης (Maintenance) και του Σχεδιασμού Εκτάκτου Ανάγκης (Emergency Planning) και τροφοδοτεί σαν στοιχείο εισόδου τον κόμβο της Παρακολούθησης Επιδόσεων και Ελέγχου (Monitoring Performance and Audit).

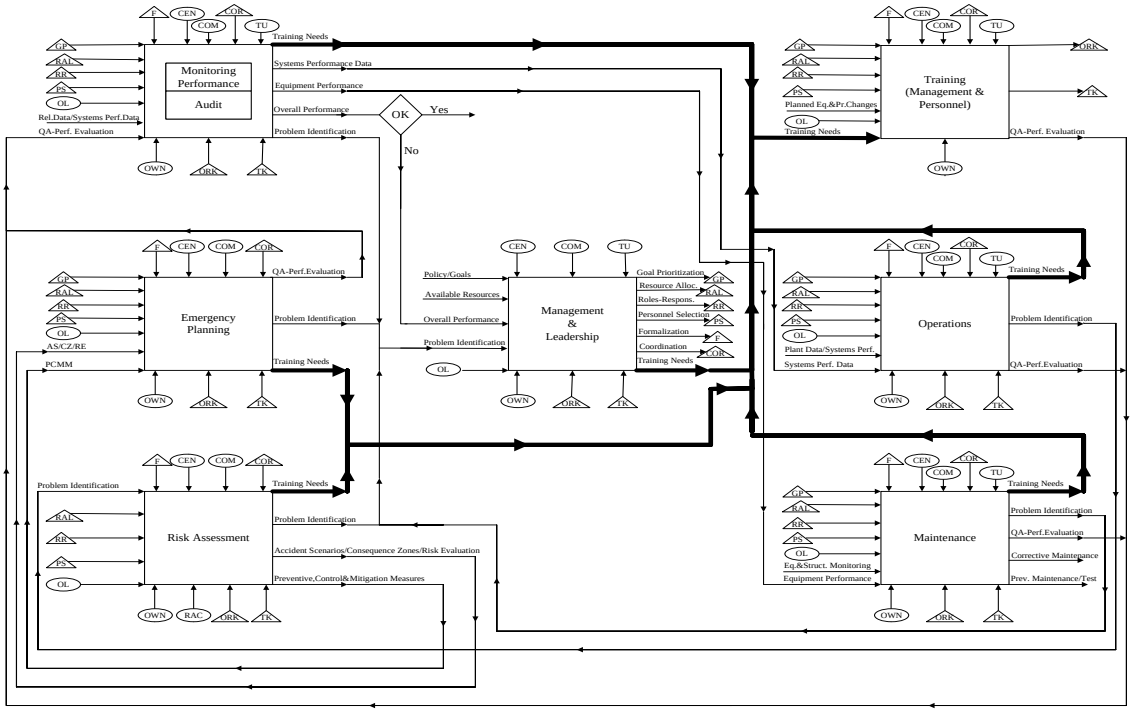


- Οι παράγοντες Τεχνική Γνώση (Technical Knowledge) και Γνώση του Οργανισμού (Organizational Knowledge) αποτελούν στοιχεία εξόδου του κόμβου

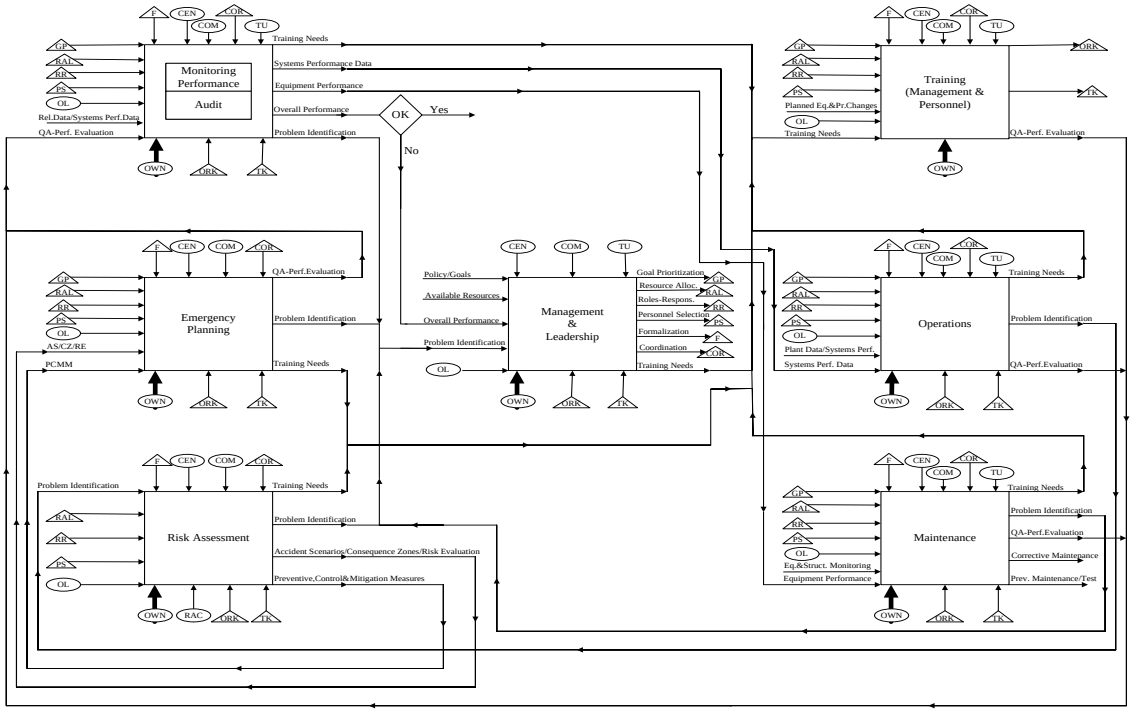
της Εκπαίδευσης (Training) και τροφοδοτούν σαν πόροι τους υπόλοιπους κόμβους του συστήματος.



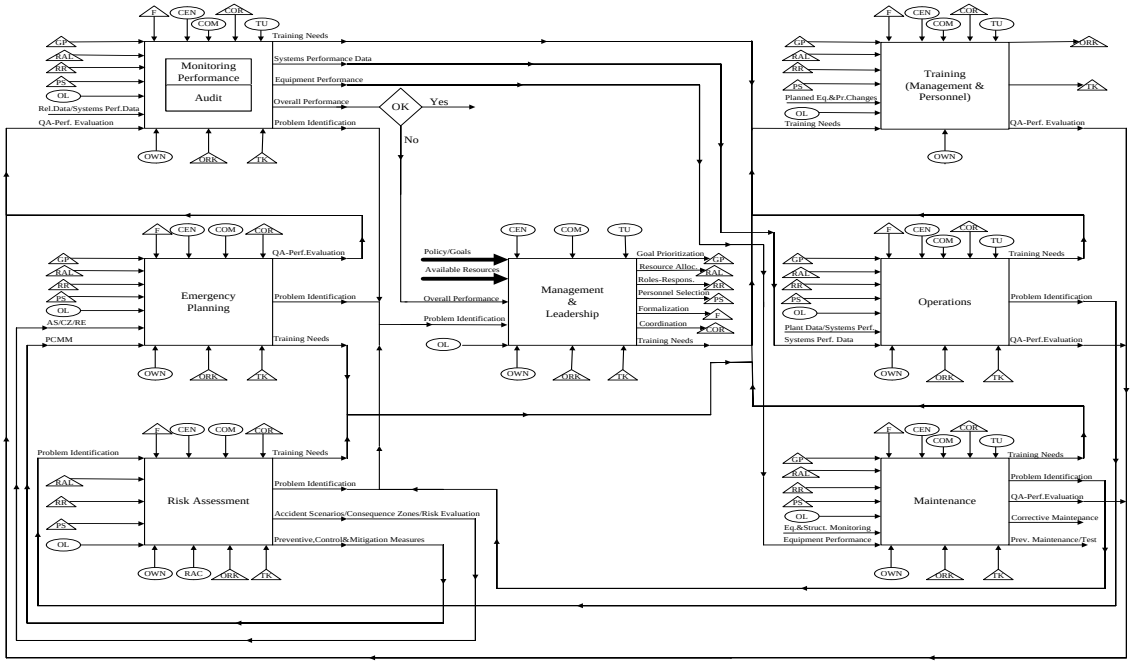
- Ο παράγοντας Εκπαιδευτικές Ανάγκες (Training needs) εμφανίζεται σαν στοιχείο εξόδου σε όλους τους κόμβους, πλην του κόμβου της Εκπαίδευσης (Training) και τροφοδοτεί σαν στοιχείο εισόδου τον κόμβο της Εκπαίδευσης.



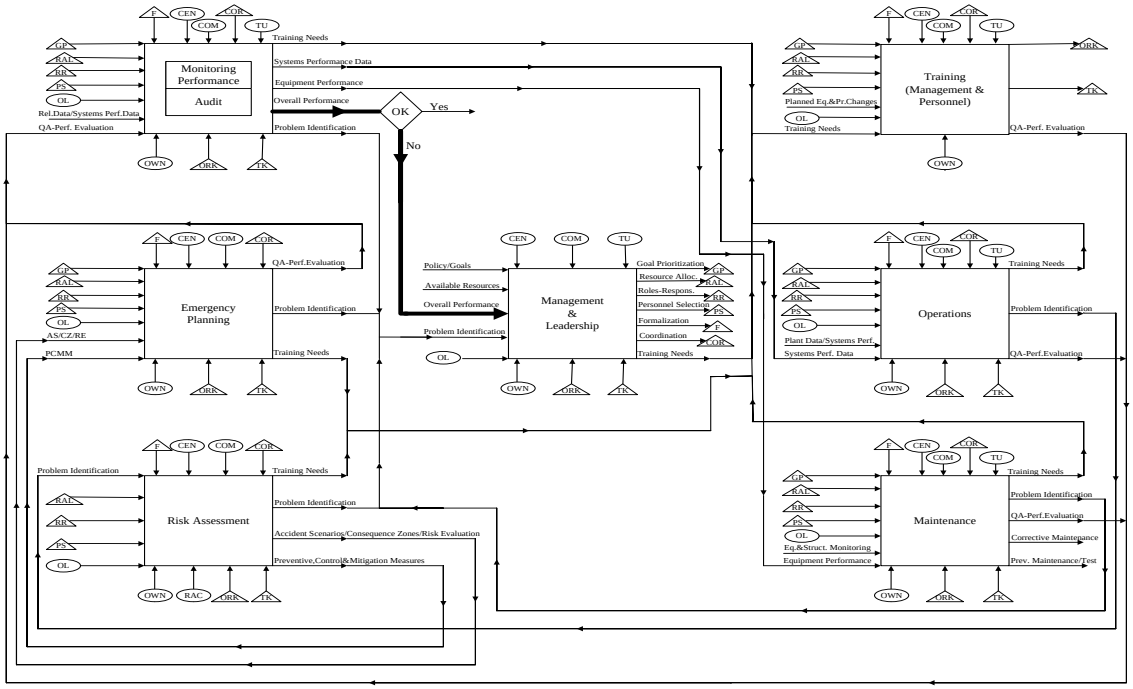
- Ο παράγοντας Αίσθημα Ευθύνης (Ownership) τροφοδοτεί σαν πόρος όλους τους κόμβους του συστήματος.



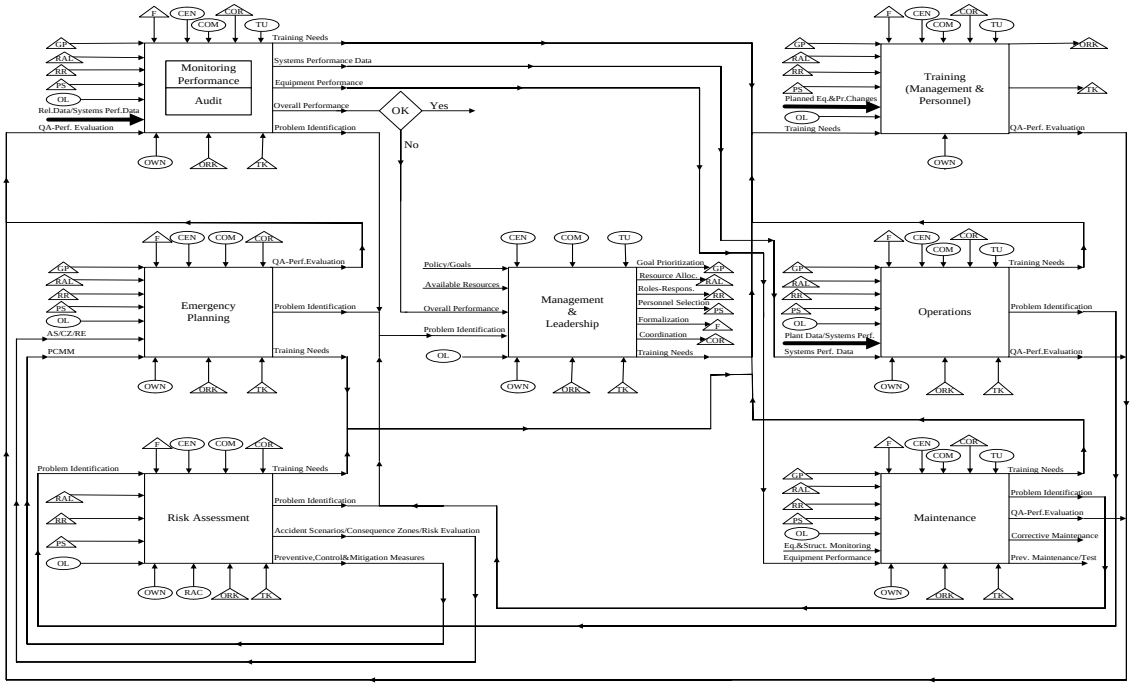
- Οι παράγοντες Πολιτική/ Στόχοι (Policy/ Goals) και Διαθέσιμοι Πόροι (Available Resources) αποτελούν στοιχεία εισόδου του κόμβου της Διοίκησης και Ηγεσίας (Management and Leadership).



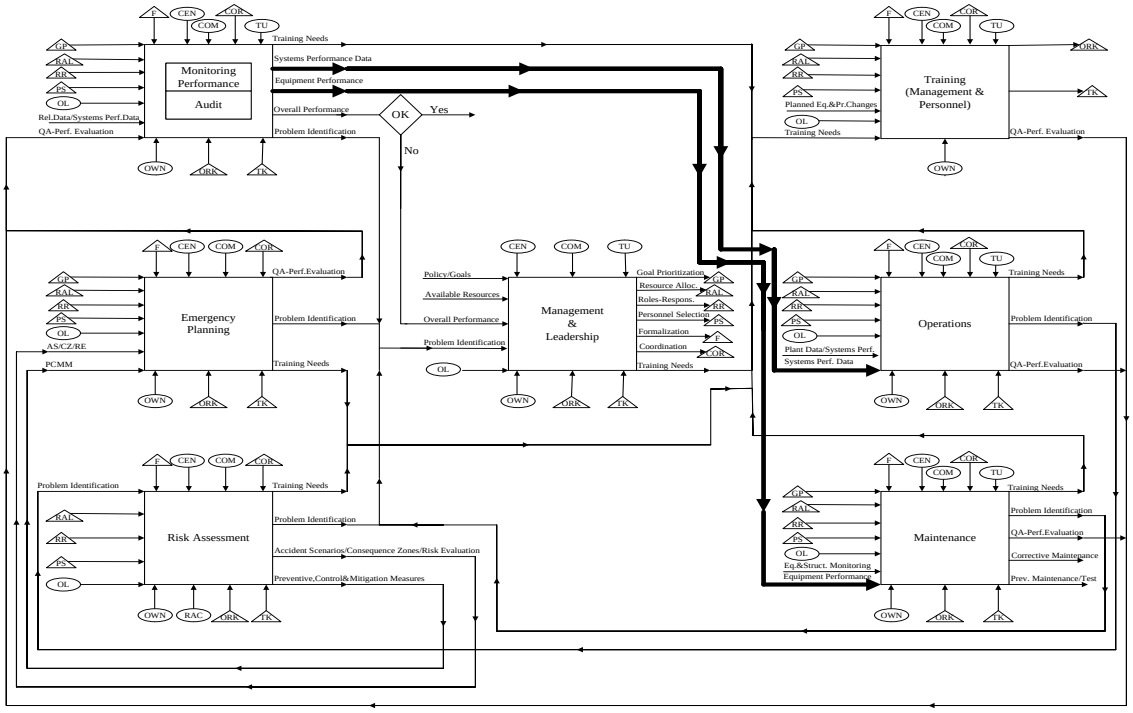
- Ο παράγοντας Γενική Επίδοση (Overall Performance) αποτελεί στοιχείο εξόδου του κόμβου της Παρακολούθησης Επιδόσεων και Ελέγχου (Monitoring Performance and Audit) και τροφοδοτεί σαν στοιχείο εισόδου τον κόμβο της Διοίκησης και Ηγεσίας (Management and Leadership).



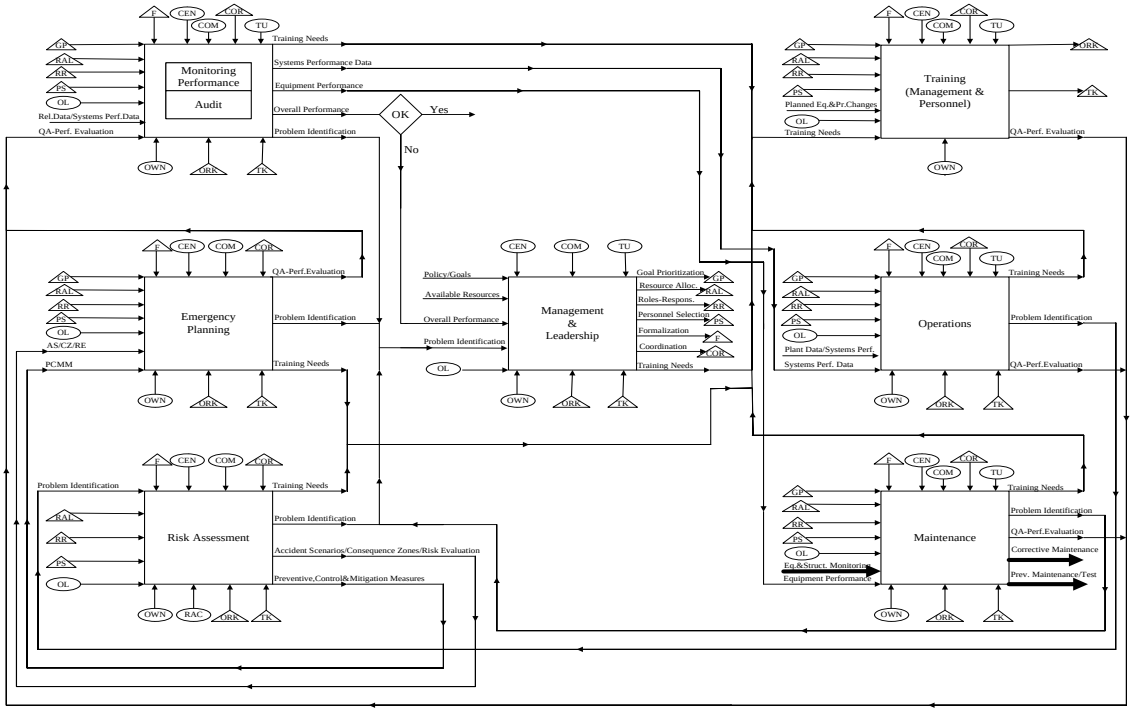
- Ο παράγοντας Προγραμματισμένες Αλλαγές στον Εξοπλισμό και τις Διαδικασίες (Planned Equipment & Procedure Changes) υπεισέρχεται σαν στοιχείο εισόδου στον κόμβο της Εκπαίδευσης (Training). Επίσης, ο παράγοντας Δεδομένα του Οργανισμού/ Απόδοση Συστημάτων (Plant Data/ Systems Performance) τροφοδοτεί σαν στοιχείο εισόδου τον κόμβο των Λειτουργιών (Operations). Ο παράγοντας Δεδομένα Αξιοπιστίας/ Δεδομένα Απόδοσης Συστημάτων (Reliability Data/ Systems Performance Data) αποτελεί στοιχείο εισόδου του κόμβου της Παρακολούθησης Επιδόσεων και Ελέγχου (Monitoring Performance and Audit).



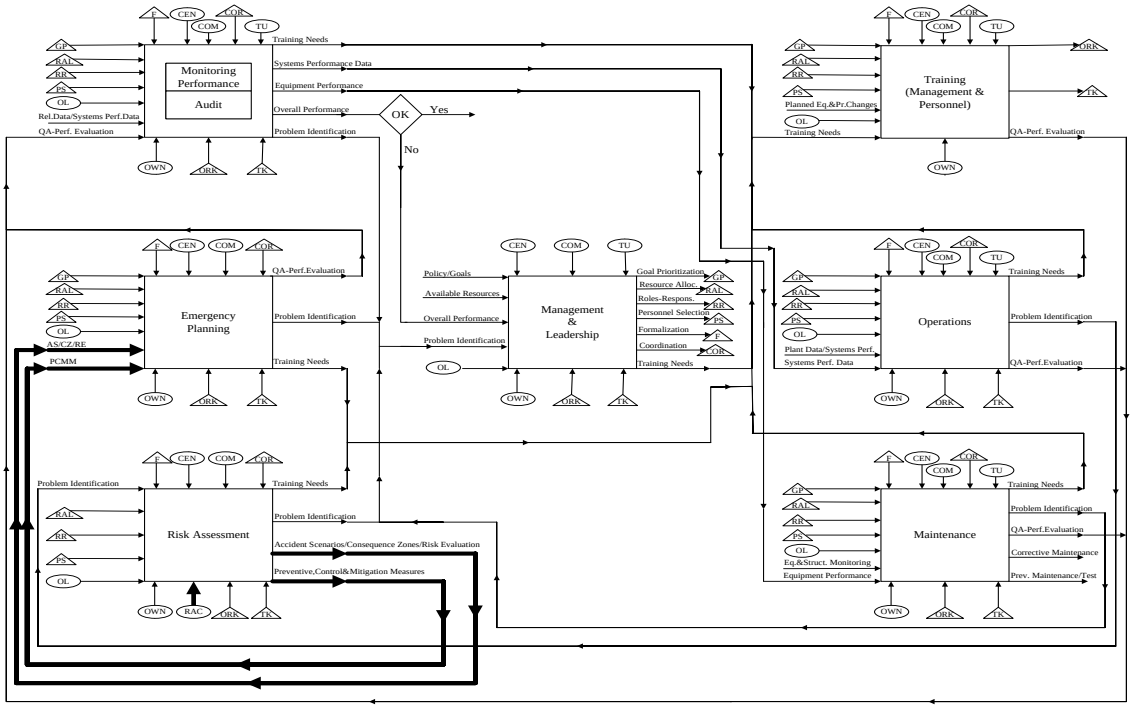
- Τα στοιχεία εξόδου του κόμβου της Παρακολούθησης Επιδόσεων και Ελέγχου (Monitoring Performance and Audit) Δεδομένα Απόδοσης Συστημάτων (Systems Performance Data) και Απόδοση Εξοπλισμού (Equipment Performance) τροφοδοτούν σαν στοιχεία εισόδου τον κόμβο των Λειτουργιών (Operations) και της Συντήρησης (Maintenance) αντίστοιχα.



- Ο παράγοντας Παρακολούθηση Εξοπλισμού και Υποδομών (Equipment and Structures Monitoring) αποτελεί στοιχείο εισόδου του κόμβου της Συντήρησης (Maintenance), ενώ οι παράγοντες Διορθωτική Συντήρηση (Corrective Maintenance) και Προληπτική Συντήρηση/ Έλεγχος (Preventive Maintenance/ Test) αποτελούν στοιχεία εξόδου του ίδιου κόμβου.



- Ο παράγοντας Κριτήρια Εκτίμησης Κινδύνου (Risk Assessment Criteria) τροφοδοτεί σαν πόρος τον κόμβο της Εκτίμησης Επικινδυνότητας (Risk Assessment), ενώ οι παράγοντες Σενάρια Ατυχημάτων/ Ζώνες Επιπτώσεων/ Αξιολόγηση Επικινδυνότητας (Accident Scenarios/ Consequences Zones/ Risk Evaluation) και Μέτρα Πρόληψης, Ελέγχου και Καταστολής (Preventive, Control and Mitigation Measures) αποτελούν στοιχεία εξόδου του ίδιου κόμβου και τροφοδοτούν σαν στοιχεία εισόδου τον κόμβο Σχεδιασμού Εκτάκτου Ανάγκης (Emergency Planning).



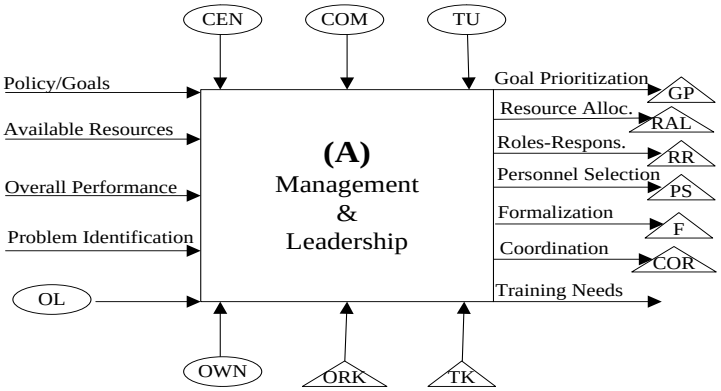
Θεματικοί κόμβοι

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι θεματικοί κόμβοι του συστήματος και οι παράγοντες από τους οποίους αποτελούνται. Επίσης για κάθε κόμβο του συστήματος περιγράφονται σημαντικοί παράγοντες που περιλαμβάνονται σε κάθε έναν από αυτούς.

1 Οργανωτικοί παράγοντες στο θεματικό κόμβο της Διοίκησης και Ηγεσίας

Ο κόμβος της Διοίκησης και Ηγεσίας (Management and Leadership) θεωρείται ο πιο σημαντικός κόμβος του συστήματος, καθώς για να εφαρμοστεί ένα αποτελεσματικό ΣΔΑ θα πρέπει η διοίκηση του οργανισμού να κατανοήσει πλήρως τις δεσμεύσεις και τις δράσεις που πρέπει να κάνει και να έχει ρόλο ηγετικό για την ανάπτυξη και διατήρηση μιας ενιαίας κουλτούρας στα θέματα ασφάλειας που απασχολούν τον οργανισμό.

Τα στοιχεία εισόδου (inputs), οι έλεγχοι/ κριτήρια (controls/ criteria), οι πόροι (resources) και τα στοιχεία εξόδου (outputs) που απαιτούνται για την υλοποίηση των δραστηριοτήτων του συγκεκριμένου κόμβου είναι οι παράγοντες που φαίνονται στο σχήμα 4.



Σχήμα 4: Οι παράγοντες του θεματικού κόμβου της Διοίκησης και Ηγεσίας

Μερικοί από τους πιο σημαντικούς παράγοντες του κόμβου της Διοίκησης και Ηγεσίας περιγράφονται παρακάτω. Οι παράγοντες αυτοί εμφανίζονται στον κόμβο σαν στοιχεία εξόδου.

Ιεράρχηση Στόχων (Goal Prioritization): Η διοίκηση πρέπει να βάζει σε προτεραιότητα τους στόχους που σχετίζονται με την εφαρμογή, τον έλεγχο και τη βελτίωση κάθε δραστηριότητας και δράσης που σχετίζεται με το σύστημα.
Καταμερισμός Πόρων (Resource Allocation): Η διοίκηση πρέπει να κατανέμει τους διαθέσιμους υλικούς και ανθρώπινους πόρους και μέσα για την αποτελεσματική εφαρμογή, τον έλεγχο και τη βελτίωση κάθε δραστηριότητας και δράσης που σχετίζεται με το σύστημα.

Ρόλοι - Αρμοδιότητες (Roles - Responsibilities): Η διοίκηση πρέπει να καθορίζει, να καταγράφει και να κοινοποιεί τους ρόλους και τις αρμοδιότητες του προσωπικού (σε όλα τα επίπεδα του οργανισμού) που διαχειρίζεται, εκτελεί ή επικυρώνει εργασίες που σχετίζονται με τη λειτουργία του συστήματος και επηρεάζουν την ασφάλεια.

Ειδικά, η διοίκηση πρέπει να καθορίζει τους ρόλους και τις αρμοδιότητες του προσωπικού που είναι υπεύθυνο για:

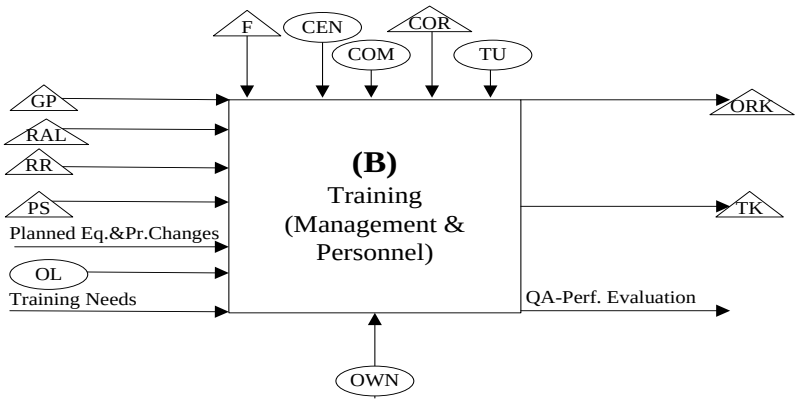
- την παροχή των πόρων (χρηματικοί και ανθρώπινοι) προκειμένου για την ανάπτυξη και εφαρμογή του συστήματος,
- ενέργειες ώστε να διασφαλιστεί η ενημέρωση του προσωπικού για τους κινδύνους και η συμμόρφωση με την πολιτική ασφάλειας,
- τον προσδιορισμό των εκπαιδευτικών αναγκών, την παροχή της εκπαίδευσης και αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της εκπαίδευσης,
- τη συντήρηση των κρίσιμων από πλευράς ασφάλειας στοιχείων (εξοπλισμός και κρίσιμες υποδομές),
- την εκτίμηση επικινδυνότητας (αναγνώριση και ανάλυση των κινδύνων, εκτίμηση επιπτώσεων, καθορισμός των προληπτικών μέτρων και των μέτρων για τον έλεγχο και τον περιορισμό των επιπτώσεων),
- τον έλεγχο καταστάσεων μη κανονικής λειτουργίας, συμπεριλαμβανομένων καταστάσεων έκτακτης ανάγκης,
- την παρακολούθηση των επιδόσεων της εγκατάσασης (αξιολόγηση της τήρησης των στόχων της πολιτικής και του συστήματος, προσδιορισμός, καταγραφή και παρακολούθηση των διορθωτικών ή βελτιωτικών ενεργειών, συμπεριλαμβανομένου και της ανάλυσης μεγάλων ατυχημάτων ή παρ' ολίγον ατυχημάτων),
- την περιοδική συστηματική αξιολόγηση της πολιτικής και της καταλληλότητας και αποτελεσματικότητας του συστήματος,
- τον συντονισμό της εφαρμογής του συστήματος και της κοινοποίησης στη διοίκηση.

Επιλογή Προσωπικού (Personnel Selection): Η διοίκηση πρέπει να επιλέγει το προσωπικό που συμμετέχει στη λειτουργία του συστήματος με βάση τις γνώσεις, την εμπειρία, τις δεξιότητες και ικανότητες που απαιτούνται για κάθε εργασία. Επομένως τα μέλη του προσωπικού με συγκεκριμένο ρόλο και αρμοδιότητες πρέπει να έχουν τις απαραίτητες ικανότητες για να εκπληρώσουν το ρόλο αυτό.

Συντονισμός Εργασίας (Coordination of Work): Η διοίκηση πρέπει να ορίζει έναν εκπρόσωπό ή εκπροσώπους, οι οποίοι θα είναι υπεύθυνοι για την ομαλή λειτουργία και τήρηση του συστήματος, καθώς και για την κοινοποίηση της επίδοσης του συστήματος στη διοίκηση. Ο συντονισμός των ενεργειών για το σχεδιασμό, την εφαρμογή, τον έλεγχο και τη βελτίωση του συστήματος πρέπει να γίνεται από τον υπεύθυνο/ υπεύθυνους εφαρμογής του συστήματος. Επίσης, η διοίκηση πρέπει να καθορίζει τα άτομα που είναι υπεύθυνα για τον συντονισμό κάθε δραστηριότητας και δράσης που σχετίζεται με τη λειτουργία του συστήματος.

2 Οργανωτικοί και διαχειριστικοί παράγοντες στο θεματικό κόμβο της Εκπαίδευσης

Η εκπαίδευση της διοίκησης και του προσωπικού κομμάτι της αποτελεσματικής λειτουργίας του ΣΔΑ. Οι παράγοντες από τους οποίους αποτελείται ο κόμβος της Εκπαίδευσης (Training), παρουσιάζονται στο σχήμα 5.



Σχήμα 5: Οι παράγοντες του θεματικού κόμβου της Εκπαίδευσης

Σημαντικοί παράγοντες του κόμβου της Εκπαίδευσης είναι ο παράγοντας Εκπαιδευτικές Ανάγκες (Training needs), ο οποίος υπεισέρχεται στον κόμβο σαν στοιχείο εισόδου και ο παράγοντας Τυποποίηση (Formalization), ο οποίος χρησιμοποιείται σαν έλεγχος/ κριτήριο.

Εκπαιδευτικές Ανάγκες (Training needs): Ο κάθε οργανισμός πρέπει να προσδιορίζει τις ανάγκες σε εκπαίδευση της διοίκησης και του προσωπικού του. Οι ανάγκες αυτές προκύπτουν από όλες τις δραστηριότητες του οργανισμού που σχετίζονται με τη λειτουργία του συστήματος και ορίζονται σαν στοιχεία εξόδου (outputs) από τους θεματικούς κόμβους του συστήματος για να τροφοδοτήσουν σαν στοιχεία εισόδου (inputs) τον κόμβο της Εκπαίδευσης.

Τυποποίηση (Formalization, F): Ο κάθε οργανισμός πρέπει να θεσπίζει και να εφαρμόζει διαδικασίες για την εκπαίδευση της διοίκησης και όλου του προσωπικού που εμπλέκεται στη λειτουργία του συστήματος. Η διαδικασία αυτή πρέπει να αναφέρεται στον τρόπο συντονισμού και εκτέλεσης της εκπαίδευσης και να περιλαμβάνει τα εξής:

1. Αναγνώριση των εκπαιδευτικών αναγκών: Στη διαδικασία πρέπει να καθορίζεται ο τρόπος εντοπισμού των εκπαιδευτικών αναγκών. Οι τεχνικές που μπορεί να χρησιμοποιεί ο οργανισμός για την αναγνώριση των εκπαιδευτικών αναγκών είναι η ανασκόπηση του καταλόγου των εργασιών, των εφαρμόσιμων κανονισμών και νόμων, η ανασκόπηση των δεδομένων ανάλυσης ατυχημάτων και συμβάντων, η αναθεώρηση των σχεδίων έκτακτης ανάγκης, η επέκταση και ο εκσυγχρονισμός του εξοπλισμού, οι ανάγκες γενικότερης πληροφόρησης ή και επανάληψης παλαιότερης εκπαίδευσης, κτλ.
2. Κατάστρωση των προγραμμάτων εκπαίδευσης: Αφού εντοπιστούν οι ανάγκες σε εκπαίδευση θα πρέπει να καταστρώνονται τα προγράμματα εκπαίδευσης. Όλα τα προγράμματα και οι παρατηρήσεις αυτών πρέπει να καταγράφονται και να τηρούνται ως αρχεία. Επίσης πρέπει να διατηρούνται αρχεία για κάθε εργαζόμενο ξεχωριστά, στα οποία να καταγράφονται αναλυτικά όλες οι εκπαιδεύσεις που έχει κάνει ο καθένας.
3. Αξιολόγηση των προγραμμάτων εκπαίδευσης: Τα προγράμματα εκπαίδευσης πρέπει να αξιολογούνται και τα αποτελέσματα που προκύπτουν από αυτά να αναλύονται. Η αξιολόγηση αυτή μπορεί να πραγματοποιείται μέσω τεστ γνώσεων στους εργαζόμενους ή πρακτικών ασκήσεων μετά το πέρας της εκπαίδευσης.

Η βασική εκπαίδευση θα πρέπει να περιλαμβάνει τα ακόλουθα, ανάλογα με τη θέση εργασίας που έχει ο κάθε εργαζόμενος.

Επικίνδυνα υλικά

Οι εργαζόμενοι που συμμετέχουν στη διαχείριση των επικίνδυνων ουσιών πρέπει να εκπαιδεύονται κατάλληλα. Το προσωπικό που είναι υπεύθυνο για τη διαχείριση επικίνδυνων ουσιών, πλην καυσίμων, θα πρέπει να λαμβάνει εκπαίδευση, η οποία να καλύπτει τις απαιτήσεις των Τεχνικών Οδηγιών του ICAO (π.χ. ταξινόμηση επικίνδυνων υλικών, κατάλογος των επικίνδυνων ουσιών, γενικές απαιτήσεις συσκευασίας και οδηγίες συσκευασίας, σήμανση και τοποθέτηση ετικέτας σε συσκευασίες, έγγραφα από τον αποστολέα, αποδοχή επικίνδυνων υλικών, διαδικασίες αποθήκευσης και φόρτωσης, επιθεωρήσεις για ζημίες ή διαρροή και διαδικασίες απολύμανσης, διαδικασίες επείγουσας ανάγκης κ.α.).

Οι εργαζόμενοι που είναι υπεύθυνοι για τη διαχείριση καυσίμων θα πρέπει να εκπαιδεύονται σε όλα τα θέματα λειτουργίας των εγκαταστάσεων καυσίμου. Επίσης, θα πρέπει να ενημερώνονται για τα διάφορα χαρακτηριστικά των καυσίμων, όπως πιθανοί κίνδυνοι για την ανθρώπινη ζωή και υγεία, επιπτώσεις στο περιβάλλον, συστηνόμενα και επιτρεπόμενα όρια έκθεσης, άμεσες ενέργειες και μέτρα για την αντιμετώπιση τυχαίας έκλυσης και την καταπολέμηση της πυρκαγιάς, κτλ Τα φύλλα ασφαλούς χειρισμού (MSDS) των καυσίμων είναι η πηγή αυτών των πληροφοριών.

Safety Engineering

Οι εργαζόμενοι θα πρέπει να υπόκεινται σε βασική εκπαίδευση για τη χρήση των μέσων ατομικής προστασίας και τη λειτουργία του εξοπλισμού και των συστημάτων που χρησιμοποιούνται για την πρόληψη και την αντιμετώπιση περιστατικών έκτακτης ανάγκης (εξοπλισμός επικοινωνίας, εξοπλισμός επιτήρησης, ανιχνευτές, κτλ).

Αναφορά Περιστατικού – Συναγερμοί - Εκκένωση

Όλοι οι εργαζόμενοι πρέπει να εκπαιδεύονται στο να αναφέρουν κάποιο περιστατικό έκτακτης ανάγκης που υπέπεσε στην αντίληψή τους, να γνωρίζουν τη θέση των συναγερμών πλησιέστερα σε αυτούς, και τον τρόπο ενεργοποίησης των συναγερμών. Επίσης, θα πρέπει να αναγνωρίζουν τα διαφορετικά είδη συναγερμού, τις οδούς διαφυγής σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης και τα σημεία συγκέντρωσης στα οποία θα πρέπει να παρουσιαστούν έπειτα από εκκένωση.

Κατάσβεση φωτιάς

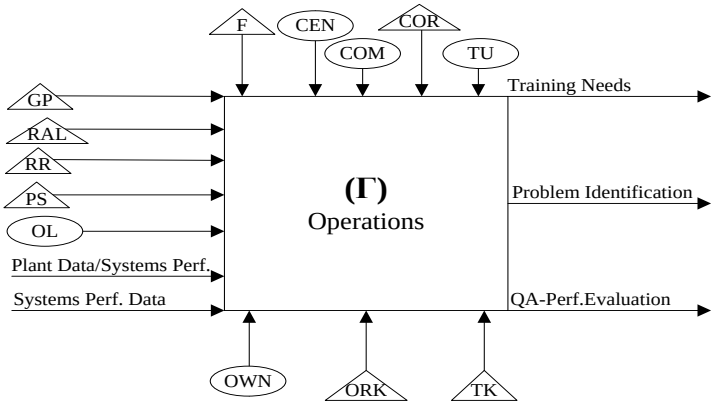
Οι εργαζόμενοι πρέπει να εκπαιδεύονται στην πρόληψη φωτιάς και άλλων συναφών κινδύνων και στη χρήση πυροσβεστήρων ή άλλων μέσων πυρόσβεσης στην περίπτωση που προβλέπεται να χρησιμοποιήσουν κατά τη διάρκεια ενός περιστατικού έκτακτης ανάγκης. Επίσης, πρέπει να εκπαιδεύονται στην αναγνώριση της έκτασης της πυρκαγιάς αλλά και στο είδος των πυροσβεστικών μέσων που θα πρέπει να χρησιμοποιήσουν σε διαφορετικές πυρκαγιές. Η εκπαίδευση αυτή, εκτός από τη θεωρητική κατάρτιση, θα πρέπει να περιλαμβάνει και πρακτικές ασκήσεις, όπως ασκήσεις κατάσβεσης πυρκαγιάς, ασκήσεις εκκένωσης του κάθε χώρου που εργάζονται και ασκήσεις έκτακτων συναγερμών.

Πρώτες Βοήθειες

Οι εργαζόμενοι πρέπει να λαμβάνουν τις απαραίτητες πληροφορίες πρώτων βοηθειών για όλες τις περιπτώσεις ατυχημάτων.

3 Οργανωτικοί και διαχειριστικοί παράγοντες στο θεματικό κόμβο των Λειτουργιών

Όσον αφορά τον κόμβο των Λειτουργιών (Operations), ο οποίος αναφέρεται στη λειτουργία όλων των δραστηριοτήτων που σχετίζονται με την εκάστοτε εγκατάσταση που έχουμε να μελετήσουμε, αποτελείται από τους παράγοντες που φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 6: Οι παράγοντες του θεματικού κόμβου των Λειτουργιών

Σημαντικοί παράγοντες του κόμβου των Λειτουργιών είναι οι παράγοντες Τεχνική Γνώση (Technical Knowledge) και Γνώση του Οργανισμού (Organizational Knowledge), οι οποίοι χρησιμοποιούνται σαν πόροι, ο παράγοντας Χρονικοί Περιορισμοί (Time Urgency), ο οποίος ανήκει στην κατηγορία των ελέγχων/ κριτηρίων και ο παράγοντας Αναγνώριση Προβλημάτων (Problem Identification) ο οποίος εμφανίζεται σαν στοιχείο εξόδου.

Τεχνική Γνώση (Technical Knowledge, TK): Οι εργαζόμενοι, ανάλογα με τη θέση εργασίας που έχει ο καθένας, πρέπει να έχουν τις απαραίτητες τεχνικές γνώσεις για τη σωστή εφαρμογή και τήρηση των διαδικασιών και των οδηγιών ασφαλούς λειτουργίας. Επίσης, θα πρέπει να έχουν τις απαραίτητες γνώσεις για το σχεδιασμό και τα συστήματα του εκάστοτε οργανισμού, τη λειτουργία του ΣΔΑ, συμπεριλαμβανομένων γεγονότων και φαινομένων που σχετίζονται με την ασφάλεια.

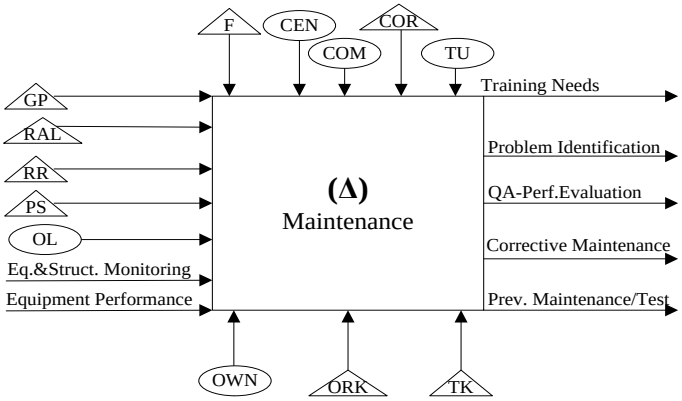
Γνώση του Οργανισμού (Organizational Knowledge, ORK): Οι εργαζόμενοι πρέπει να γνωρίζουν τον τρόπο λειτουργίας της διοίκησης και κάθε τμήματος (know-how του οργανισμού), καθώς και τις αλληλεπιδράσεις που υπάρχουν ανάμεσα τους. Επίσης, στην περίπτωση που εντοπίσουν ένα περιστατικό έκτακτης ανάγκης, αναγνωρίσουν κάποιο πρόβλημα ή έχουν οποιαδήποτε ανησυχία σχετικά με την ασφάλεια, θα πρέπει να γνωρίζουν σε ποιον θα πρέπει να απευθυνθούν για να το αναφέρουν.

Χρονικοί Περιορισμοί (Time Urgency, TU): Ο παράγοντας αυτός δείχνει πώς οι εργαζόμενοι, των οποίων η εργασία σχετίζεται με διαχείριση κατά κύριο λόγο επικίνδυνων ουσιών αντιλαμβάνονται την πίεση του χρόνου σχετικά με την εκτέλεση των απαραίτητων ενεργειών.

Αναγνώριση Προβλημάτων (Problem Identification): Τα προβλήματα που σχετίζονται με οποιαδήποτε λειτουργία ενός οργανισμού πρέπει να αναγνωρίζονται και να καταγράφονται. Στη συνέχεια πρέπει να διαβιβάζονται στο θεματικό κόμβο της Εκτίμησης Επικινδυνότητας για την αναγνώριση όλων των πιθανών σεναρίων ατυχημάτων, την εκτίμηση των επιπτώσεων τους και τη λήψη των κατάλληλων μέτρων πρόληψης, ελέγχου και καταστολής.

4 Οργανωτικοί και διαχειριστικοί παράγοντες στο θεματικό κόμβο της Συντήρησης

Ο κάθε οργανισμός πρέπει να έχει εγκαταστημένο ένα κατάλληλο σχήμα προληπτικής και διορθωτικής συντήρησης για όλες τις κρίσιμες από πλευράς ασφαλείας εγκαταστάσεις, με σκοπό την πρόληψη ατυχημάτων ή τον περιορισμό των συνεπειών τους. Στο σχήμα 7 φαίνονται οι παράγοντες από τους οποίους αποτελείται ο κόμβος της Συντήρησης (Maintenance).



Σχήμα 7: Οι παράγοντες του θεματικού κόμβου της Συντήρησης

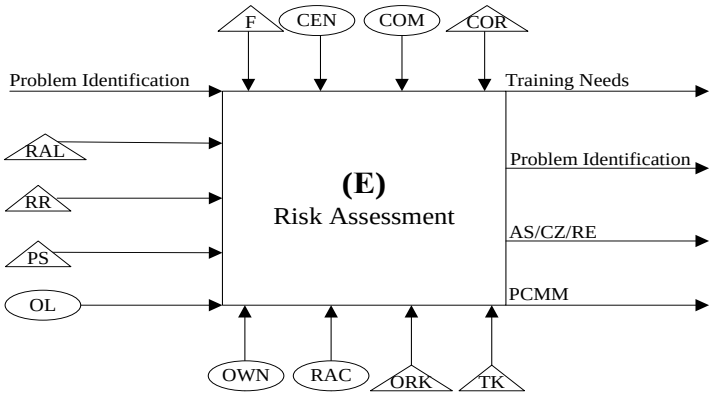
Μερικοί από τους πιο σημαντικούς παράγοντες του κόμβου της Συντήρησης περιγράφονται παρακάτω. Οι παράγοντες αυτοί εμφανίζονται στον κόμβο σαν στοιχεία εξόδου.

Διορθωτική Συντήρηση (Corrective Maintenance): Με βάση τα αποτελέσματα της παρακολούθησης των κρίσιμων στοιχείων (εξοπλισμός και υποδομές), αλλά και τις αστοχίες στον εξοπλισμό και τα συστήματα πρέπει να σχεδιάζονται και να εφαρμόζονται τα προγράμματα διορθωτικής συντήρησης. Παραδείγματα προγραμμάτων διορθωτικής συντήρησης είναι η αναβάθμιση/ τροποποίηση των υπαρχόντων κρίσιμων υποδομών για τη διασφάλιση της συμμόρφωσης με τα νέα τεχνικά πρότυπα και πρότυπα ασφαλείας, η αναβάθμιση, τροποποίηση, επισκευή ή αντικατάσταση των ελαττωματικών συστημάτων και εξοπλισμού.

Προληπτική Συντήρηση/ Έλεγχος (Preventive Maintenance/ Test): Με βάση τα αποτελέσματα της παρακολούθησης των κρίσιμων στοιχείων (εξοπλισμός και υποδομές) και τα στοιχεία για την απόδοση του εξοπλισμού πρέπει να σχεδιάζονται και να εφαρμόζονται τα προγράμματα προληπτικής συντήρησης/ ελέγχου. Επίσης, η προληπτική συντήρηση μπορεί να εκτελείται σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα ή με βάση τις ώρες λειτουργίας του εξοπλισμού.

5 Οργανωτικοί και διαχειριστικοί παράγοντες στο θεματικό κόμβο της Εκτίμησης Επικινδυνότητας

Ο κάθε οργανισμός και η κάθε μονάδα παραγωγής, από την πιο μικρή μέχρι την μεγαλύτερη πρέπει να εκπονεί ολοκληρωμένη αναγνώριση και συστηματική ανάλυση των κινδύνων (Systematic Hazard Analysis) που εντοπίζονται στο χώρο του. Στη συνέχεια, με βάση τα αποτελέσματα της καταγραφής της ύπαρξης της επικινδυνότητας θα πρέπει να εφαρμόζει κατάλληλα μέτρα για την πρόληψη και τον έλεγχο των κινδύνων εκδήλωσης ατυχημάτων και τον περιορισμό των συνεπειών τους. Οι παράγοντες που απαιτούνται για την υλοποίηση των δραστηριοτήτων του κόμβου της Εκτίμησης Επικινδυνότητας (Risk Assessment) παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 8: Οι παράγοντες του θεματικού κόμβου της Εκτίμησης Επικινδυνότητας

Μερικοί από τους πιο σημαντικούς παράγοντες του κόμβου της Εκτίμησης Επικινδυνότητας περιγράφονται παρακάτω. Οι παράγοντες που παρουσιάζονται εμφανίζονται στον κόμβο σαν στοιχεία εξόδου.

Σενάρια Ατυχημάτων/ Ζώνες Επιπτώσεων/ Αξιολόγηση Επικινδυνότητας (Accident Scenarios/ Consequences Zones/ Risk Evaluation, AC/CZ/RE): Το προσωπικό που αναλαμβάνει την εκτίμηση επικινδυνότητας πρέπει να πραγματοποιηθεί εκτίμηση επιπτώσεων από επιλεγμένα σενάρια πιθανών ατυχημάτων. Για κάθε επιλεγμένο σενάριο ατυχήματος πρέπει να γίνεται ακριβής αξιολόγηση των ζωνών επιπτώσεων και να προσδιορίζονται οι σημαντικότερες χρήσεις γης που εμπλέκονται (κατοικημένες περιοχές, ευαίσθητα δημόσια κτίρια, δημόσιες παροχές, βιομηχανικές δραστηριότητες, συγκοινωνιακό δίκτυο και κομβικά σημεία συγκοινωνίας, κτλ).

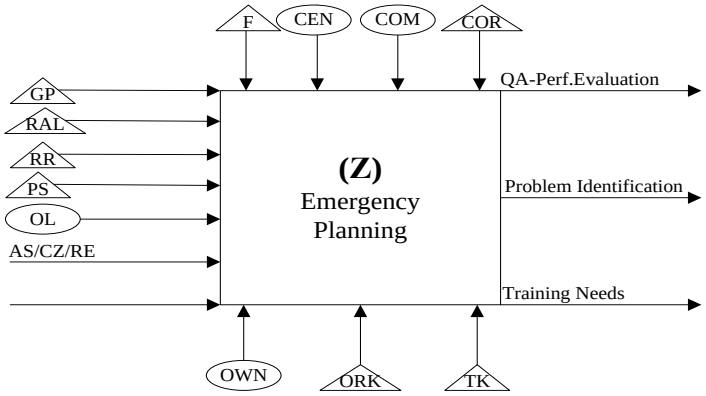
Μέτρα Πρόληψης, Ελέγχου και Καταστολής (Prevention, Control and Mitigation Measures, PCMM): Με βάση τα αποτελέσματα της ανάλυσης κινδύνου και της εκτίμησης επιπτώσεων πρέπει να καθορίζονται τα κατάλληλα μέτρα πρόληψης, ελέγχου και καταστολής, έτσι ώστε οι κίνδυνοι να αποφευχθούν ή να περιοριστούν στην πηγή τους. Τα μέτρα αυτά μπορούν να καθορίζονται για κάθε επιλεγμένο σενάριο ατυχήματος ή για τα δυσμενέστερα σενάρια ατυχημάτων και για εκείνες τις ουσίες οι οποίες διακινούνται σε σημαντικές ποσότητες και παρουσιάσουν τις δυσμενέστερες συνέπειες σε περίπτωση εμπλοκής τους σε μεγάλο ατύχημα.

Ενδεικτικά αναφέρονται τα ακόλουθα μέτρα:

- Συστήματα ελέγχου διεργασιών
- Συστήματα προστασίας από φωτιά και έκρηξη
- Συστήματα περιορισμού διαρροών π.χ. συστήματα καθαρισμού (αραίωσης), ψεκασμός νερού
- Συστήματα ανίχνευσης διαρροών
- Συστήματα συναγερμού
- Αυτόματα συστήματα διακοπής (παροχής, λειτουργίας)
- Συστήματα αδρανοποίησης
- Δοχεία έκτακτης παγίδευσης ή δοχεία περισυλλογής, κλπ

6 Οργανωτικοί και διαχειριστικοί παράγοντες στο θεματικό κόμβο Σχεδιασμού Εκτάκτου Ανάγκης

Ο κόμβος Σχεδιασμού Εκτάκτου Ανάγκης (Emergency Planning) αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά στοιχεία του συστήματος, καθώς αναφέρεται στον προσδιορισμό των καταστάσεων εκτάκτου ανάγκης, καθώς και την προετοιμασία, τη δοκιμή και την αναθεώρηση των σχεδίων έκτακτης ανάγκης για την αντιμετώπιση των καταστάσεων αυτών. Οι παράγοντες από τους οποίους αποτελείται ο συγκεκριμένος κόμβος φαίνονται στο σχήμα 9.



Σχήμα 9: Οι παράγοντες του θεματικού κόμβου Σχεδιασμού Εκτάκτου Ανάγκης

Παραδείγματα σημαντικών παραγόντων του κόμβου Σχεδιασμού Εκτάκτου Ανάγκης είναι ο παράγοντας Μάθηση του Οργανισμού (Organizational Learning), ο οποίος ορίζεται σαν στοιχείο εισόδου και οι παράγοντες Συγκεντροποίηση Αρμοδιοτήτων (Centralization) και Επικοινωνία (Communication), οι οποίοι ανήκουν στην κατηγορία των ελέγχων/ κριτηρίων.

Μάθηση του Οργανισμού (Organizational Learning, OL): Ο κάθε οργανισμός ή η κάθε εγκατάσταση πρέπει να χρησιμοποιεί τα αποτελέσματα της ανάλυσης ατυχημάτων, παρ' ολίγον ατυχημάτων και πρακτικών ασκήσεων (ασκήσεις ετοιμότητας) για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας των σχεδίων έκτακτης ανάγκης. Οι γνώσεις αυτές μπορεί να προέρχονται από τα αποτελέσματα της

διερεύνησης ατυχημάτων, περιστατικών και ασκήσεων (ενσωμάτωση εξωτερικής εμπειρίας).

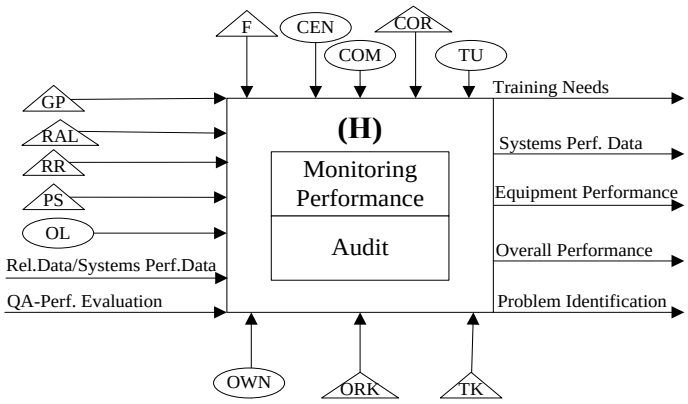
Συγκεντροποίηση Αρμοδιοτήτων (Centralization, CEN): Η ευθύνη και η αρμοδιότητα για το σχεδιασμό εκτάκτου ανάγκης ανήκει στη διοίκηση του οργανισμού. Συγκεκριμένα, ο Γενικός Διευθυντής είναι υπεύθυνος για τη διαμόρφωση και εφαρμογή της πολιτικής του οργανισμού για την αντιμετώπιση περιστατικών εκτάκτου ανάγκης καθώς και για την εξασφάλιση των απαραίτητων πόρων για την εφαρμογή των σχεδίων δράσης. Επίσης, η λήψη αποφάσεων σχετικά με την ανάπτυξη, εφαρμογή, συντήρηση και αναθεώρηση των σχεδίων δράσης, πρέπει να γίνεται από τη διοίκηση του οργανισμού σε συνεργασία με τον υπεύθυνο/ υπεύθυνους εφαρμογής του συστήματος.
Επικοινωνία (Communication, COM): Ο κάθε οργανισμός πρέπει να εφαρμόζει τεκμηριωμένες διαδικασίες, έτσι ώστε όλες οι πληροφορίες σχετικά με την πρόληψη των κινδύνων και την κάλυψη/ αντιμετώπιση των καταστάσεων έκτακτης ανάγκης να διαβιβάζονται σε όλο το προσωπικό του οργανισμού.

Με βάση τα παραπάνω, θα πρέπει να υπάρχει επίσημη και ανεπίσημη επικοινωνία ανάμεσα στα τμήματα, τους φορείς επίγειας εξυπηρέτησης και τις υπηρεσίες του οργανισμού, με σκοπό να διασφαλίζεται ότι οι ρόλοι και οι υπευθυνότητες κοινοποιούνται σε όλο εμπλεκόμενο προσωπικό (Διατμηματική Επικοινωνία – Interdepartmental Communications). Επίσης, θα πρέπει να υπάρχει επίσημη και ανεπίσημη επικοινωνία εντός των τμημάτων, (Ενδοτμηματική Επικοινωνία – Intradepartmental Communications) για τη διάχυση όλων των απαραίτητων πληροφοριών σχετικά με τα σχέδια έκτακτης ανάγκης.

Τέλος θα πρέπει να υπάρχει επίσημη και ανεπίσημη επικοινωνία (συμπεριλαμβανομένων και των έγγραφων συμφωνιών) με εξωτερικούς οργανισμούς και υπηρεσίες (Πυροσβεστική Υπηρεσία, ΕΚΑΒ, Νοσοκομεία, Ελληνική Αστυνομία, κ.α.) για παροχή βοήθειας στην περίπτωση περιστατικών έκτακτης ανάγκης (Εξωτερική Επικοινωνία - External Communications).

7 Οργανωτικοί και διαχειριστικοί παράγοντες στο θεματικό κόμβο της Παρακολούθησης Επιδόσεων και Ελέγχου

Ο κάθε οργανισμός πρέπει να θεσπίζει και να εφαρμόζει τεκμηριωμένες διαδικασίες για να παρακολουθεί και να μετράει σε συνεχή βάση την επίδοση σχετικά με όλα τα στοιχεία του ΣΔΑ (συμπεριλαμβανομένου και του εμπλεκόμενου προσωπικού), καθώς και να διεξάγει περιοδικούς ελέγχους (επιθεωρήσεις) στο σύστημα. Στο σχήμα 10 φαίνονται οι παράγοντες από τους οποίους αποτελείται ο κόμβος της Παρακολούθησης Επιδόσεων και Ελέγχου (Monitoring Performance and Audit).



Σχήμα 10: Οι παράγοντες του θεματικού κόμβου της Παρακολούθησης Επιδόσεων και Ελέγχου

Μερικοί από τους πιο σημαντικούς παράγοντες του συγκεκριμένου κόμβου είναι οι παράγοντες Δεδομένα Αξιοπιστίας/ Δεδομένα Απόδοσης Συστημάτων (Reliability Data/ Systems Performance Data) και Ποιοτική Εκτίμηση και Αξιολόγηση Επίδοσης (Quality Assessment - Performance Evaluation), οι οποίοι υπεισέρχονται στον κόμβο σαν στοιχεία εισόδου, καθώς και ο παράγοντας Γενική Επίδοση (Overall Performance), ο οποίος εμφανίζεται σαν στοιχείο εξόδου.

Δεδομένα Αξιοπιστίας/ Δεδομένα Απόδοσης Συστημάτων (Reliability Data/ SystemsPerformance Data): Τα δεδομένα αξιοπιστίας και τα δεδομένα της απόδοσης των συστημάτων και του εξοπλισμού που θεωρούνται κρίσιμα στοιχεία από πλευράς ασφάλειας πρέπει να παρακολουθούνται, να ελέγχονται και να καταγράφονται με σκοπό τον προσδιορισμό των κατάλληλων ενεργειών για τη βελτίωση της απόδοσή τους.

Ποιοτική Εκτίμηση και Αξιολόγηση της Επίδοσης (Quality Assessment - Performance Evaluation, QA - Perf. Evaluation): Τα αποτελέσματα της επίδοσης των στοιχείων του συστήματος και του εμπλεκόμενου προσωπικού, τα οποία ορίζονται σαν στοιχεία εξόδου (outputs) από τους θεματικούς κόμβους της Εκπαίδευσης, των Λειτουργιών, της Συντήρησης και του Σχεδιασμού Εκτάκτου Ανάγκης τροφοδοτούν σαν στοιχεία εισόδου (inputs) τον κόμβο της Παρακολούθησης Επιδόσεων και Ελέγχου. Τα αποτελέσματα αυτά πρέπει να παρακολουθούνται, να ελέγχονται και να καταγράφονται για τον προσδιορισμό της γενικής επίδοσης του ΣΔΑ και του εμπλεκόμενου προσωπικού.

Γενική Επίδοση (Overall Performance): Με βάση τα αποτελέσματα της παρακολούθησης και του ελέγχου της επίδοσης των στοιχείων του συστήματος (συμπεριλαμβανομένου και του εμπλεκόμενου προσωπικού) προκύπτει η γενική επίδοση του συστήματος και του προσωπικού.

Στην περίπτωση που τα αποτελέσματα της γενικής επίδοσης δεν είναι ικανοποιητικά, θα πρέπει αυτά να διαβιβάζονται στη διοίκηση. Στη συνέχεια, η διοίκηση θα πρέπει να επανεξετάζει το σύστημα για να επιβεβαιώνεται η καταλληλότητα και η αποτελεσματικότητα του και να εφαρμόζει νέα μέτρα και προγράμματα για τη βελτίωσή του. Για το σκοπό αυτό θα πρέπει να συλλέγονται όλα τα απαραίτητα στοιχεία για την επανεξέταση, όπως οι αναφορές ατυχημάτων, τα αποτελέσματα των επιθεωρήσεων, ο βαθμός εκπαίδευσης του προσωπικού και οι νέες εκπαιδευτικές

ανάγκες, ο βαθμός προόδου/ εξέλιξης των διάφορων προγραμμάτων (π.χ. συντήρησης), η διαχείριση των καταστάσεων εκτάκτου ανάγκης και τα αποτελέσματα των ασκήσεων, οι αλλαγές στις νομοθετικές απαιτήσεις κ.α.

Βρόχοι ροής ενεργειών

Το μοντέλο διαγράμματος ροής ενεργειών αποτελείται από βρόγχους ροής ενεργειών (work-flow loops), οι οποίοι περιγράφουν την αλληλουχία των ενεργειών και διαδικασιών σχετικά με τις σημαντικότερες λειτουργίες ασφάλειας που πρέπει να εκτελούνται σε έναν οργανισμό.

Για τον προσδιορισμό των βρόγχων έγιναν οι ακόλουθες παραδοχές εργασίας:

- Κάθε βρόχος είναι κλειστός (ξεκινάει και καταλήγει στον ίδιο κόμβο). Η αρχή ενός βρόγχου μπορεί να είναι οποιοδήποτε στοιχείο εξόδου κάθε κόμβου που συνδέεται με κάποιον άλλο κόμβο του συστήματος. Το τέλος του βρόγχου μπορεί να είναι ένας ή και περισσότεροι παράγοντες που εμφανίζονται σαν στοιχεία εισόδου, πόροι ή έλεγχοι/ κριτήρια στον αρχικό κόμβο. Οι παράγοντες που αποτελούν το τέλος ενός βρόγχου καθορίζονται με βάση τη διαδρομή που ακολουθεί ο βρόχος και τον στόχο που πρέπει να επιτελέσει.
- Κάθε βρόχος είναι διακριτός στο χρόνο με συγκεκριμένο χρόνο υλοποίησης και λειτουργεί είτε παράλληλα, είτε σε σειρά με τους υπόλοιπους βρόγχους.
- Κάθε βρόχος είναι λειτουργικά ανεξάρτητος, δηλαδή περιλαμβάνει ένα συγκεκριμένο στόχο που πρέπει να επιτευχθεί μέσα στον προσδιορισμένο χρόνο υλοποίησης.

Με βάση τα παραπάνω, *ένας βρόχος του συστήματος μπορεί να οριστεί σαν ένα σύνολο οργανωτικών ή και διαχειριστικών παραγόντων που συνδέουν τους κόμβους του συστήματος και δείχνουν τη λογική διάταξη των ενεργειών που πρέπει να εκτελούνται για την ασφαλή λειτουργία του συστήματος και κατά συνέπεια την ασφαλή διαχείριση των επικίνδυνων ουσιών.*

Οι βρόχοι του συστήματος χωρίζονται στις δύο παρακάτω κατηγορίες:

1. *Βρόχοι ταχείας απόκρισης ("fast response" loops):* Θεωρούνται οι βρόχοι που περιγράφουν ενέργειες και διαδικασίες, οι οποίες από τη φύση τους δίνουν αποτελέσματα μετά από σχετικά μικρό χρονικό διάστημα και αναμένεται να επηρεάσουν σε μεγάλο βαθμό την ασφάλεια λειτουργίας του συστήματος. Παραδείγματα βρόγχων που απαιτείται να είναι ταχείας απόκρισης είναι οι βρόχοι που περιγράφουν την αλληλουχία των ενεργειών για την ανάλυση και αντιμετώπιση σοβαρών προβλημάτων που σχετίζονται με τις λειτουργίες των επικίνδυνων ουσιών και τη συντήρηση.
2. *Βρόχοι βραδείας απόκρισης ("slow response" loops):* Θεωρούνται οι βρόχοι που περιγράφουν ενέργειες και διαδικασίες, οι οποίες από τη φύση τους δίνουν αποτελέσματα μετά από σχετικά μεγάλο χρονικό διάστημα και αναμένεται να επηρεάσουν σε μικρό βαθμό την ασφάλεια λειτουργίας του συστήματος. Παραδείγματα βρόγχων βραδείας απόκρισης είναι αυτοί που σχετίζονται με τη διεκπεραίωση των δραστηριοτήτων της εκπαίδευσης.

Οι παράγοντες που προσδιορίζονται σε κάθε βρόγχο πρέπει να λειτουργούν και να ελέγχονται προκειμένου για τη λειτουργία του βρόγχου και κατά συνέπεια τη λειτουργία του συστήματος. Κάθε βρόχος για να θεωρείται λειτουργικός πρέπει να έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

1. Οι παράγοντες και οι διαδικασίες που τους συνδέουν να επιτυγχάνουν το στόχο που πρέπει να επιτελέσουν και κατά συνέπεια να είναι λειτουργικοί και να μην αστοχούν όταν απαιτείται να λειτουργήσει ο βρόχος (αξιοπιστία). Η αστοχία ενός παράγοντα ορίζεται σαν την αστοχία του στόχου που θέτει ο παράγοντας λόγω ελλείψεων στην πληρότητά του ή τη λειτουργία του.
2. Ο στόχος του βρόγχου να επιτυγχάνεται μέσα στο προκαθορισμένο χρονικό διάστημα που έχει οριστεί, προκειμένου η λειτουργία του βρόγχου να μην υπερβαίνει τον αναμενόμενο χρόνο απόκρισης (αποτελεσματικότητα).

Με βάση τα παραπάνω θεωρείται ότι για κάθε βρόγχο υπάρχει ένας ή και περισσότεροι παράγοντες που λειτουργούν σαν μηχανισμοί ελέγχου (controlling mechanisms), οι οποίοι ουσιαστικά καθορίζουν την αξιοπιστία και την αποτελεσματικότητα του βρόγχου.

Οι βρόχοι ταχείας απόκρισης απαιτείται να ικανοποιούν και τα δύο χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν παραπάνω, ενώ οι βραδείας απόκρισης θα πρέπει να λειτουργούν μέσα στο προκαθορισμένο χρονικό διάστημα που έχει οριστεί (δηλαδή να μη νεκρώνονται). Για τους βρόγχους βραδείας απόκρισης η ανοχή στην ικανοποίηση της πρώτης συνθήκης είναι μεγαλύτερη, διότι στην περίπτωση που αστοχήσει ένας παράγοντας υπάρχει η δυνατότητα ο παράγοντας αυτός να επανέλθει σε λειτουργία πριν τη χρονική στιγμή που απαιτείται να λειτουργήσει.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Ανάλυση Δέντρου Αστοχιών (Fault Tree Analysis)

1 Ανάλυση Μεθόδου

Τα περισσότερα ατυχήματα που έχουν καταγραφεί στη διεθνή βιβλιογραφία προέρχονται από μια σειρά διαδοχικών γεγονότων συνδεδεμένων μεταξύ τους, που τελικά συνθέτουν το ατύχημα στην οριστική του μορφή. Η ανάλυση του δέντρου αστοχιών (fault tree analysis) είναι μία μέθοδος που αναλύει τους τρόπους και τα μέσα με τα οποία εμφανίζεται ένα ανεπιθύμητο γεγονός (ατύχημα). Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε στην αεροπορική βιομηχανία, ενώ χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό στις πυρηνικές και χημικές εγκαταστάσεις για την περιγραφή και ποσοτικοποίηση των κινδύνων και της επικινδυνότητας που σχετίζονται με τις εγκαταστάσεις αυτές. Η τεχνική αυτή αν και αρχικά αναπτύχθηκε για την προστασία από την εμφάνιση ατυχημάτων, μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση και τη διερεύνησή τους.

Το δέντρο αστοχιών είναι ένα λογικό διάγραμμα, το οποίο δείχνει την αλληλεπίδραση μεταξύ των υπεύθυνων αιτιών για την εμφάνιση ενός ατυχήματος. Ξεκινώντας από ένα καλά ορισμένο ατύχημα, δηλαδή ένα κορυφαίο γεγονός (top event), η ανάλυση του δέντρου αστοχιών εκτελεί μία “προς τα πίσω” πορεία για την αναγνώριση όλων των πιθανών γεγονότων που μπορούν να οδηγήσουν στο κορυφαίο γεγονός. Το υπό ανάλυση κορυφαίο γεγονός που επιλέγεται και όλα τα πιθανά γεγονότα που συμβάλλουν στη δημιουργία του παρουσιάζονται με τη μορφή ενός δέντρου.

Συγκεκριμένα, τα διάφορα γεγονότα παρουσιάζονται με τη μορφή λογικών συμβόλων ενός δενδρικού δικτύου, μέσω του οποίου αναλύεται η συσχέτιση και η διαδοχή των γεγονότων που ευθύνονται για την εμφάνιση του κορυφαίου γεγονότος. Ο τελικός στόχος είναι το κατώτερο επίπεδο του δέντρου να αποτελείται από ανεξάρτητα γεγονότα, τα οποία δεν επιδέχονται επιπλέον ανάλυση. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα γεγονότα σε ένα δέντρο αστοχιών δεν περιορίζονται μόνο σε αστοχίες εξαρτημάτων, αλλά μπορούν να περιλαμβάνουν ανθρώπινους, διαχειριστικούς, περιβαλλοντικούς και άλλους παράγοντες.

Τα γεγονότα του δέντρου διέπονται από μία συγκεκριμένη ιεραρχία που είναι η ακόλουθη:

- Κορυφαίο γεγονός: Είναι το γεγονός που τοποθετείται στην κορυφή του δέντρου, η ανάλυση του οποίου οδηγεί στη δημιουργία του υπόλοιπου δέντρου.
- Πρωτεύον γεγονός: Είναι το πρωτεύον και βασικό λάθος (αίτιο) στο οποίο οφείλεται η εμφάνιση του κορυφαίου γεγονότος.
- Δευτερεύον γεγονός: Είναι ένα δευτερεύον λάθος (αίτιο) ή επίδραση που προέρχεται από ένα άλλο γεγονός ή κάποια εξωτερική κατάσταση.
- Βασικό γεγονός: Είναι ένα γεγονός (λάθος ή όχι) το οποίο δεν επιδέχεται επιπλέον ανάλυση και τοποθετείται στη βάση του δέντρου.

Αφού καθοριστεί το κορυφαίο γεγονός καταγράφονται όλοι οι εμπλεκόμενοι παράγοντες και συνδέονται με αυτό με τη βοήθεια των OR και AND πυλών, οι οποίες θεωρούνται τα βασικά στοιχεία ενός δέντρου αστοχιών. Η χρήση της πύλης OR

σημαίνει ότι η παρουσία έστω και ενός από τους εμπλεκόμενους παράγοντες αρκεί για την πρόκληση του ατυχήματος. Αντίθετα, η χρήση της πύλης AND δηλώνει ότι πρέπει να ικανοποιούνται όλοι οι παράγοντες.
Η προς τα κάτω πορεία του δέντρου αστοχιών συνεχίζεται έως ότου χρησιμοποιηθεί όλη η διαθέσιμη πληροφορία. Το κατώτερο επίπεδο του δέντρου πρέπει να είναι ένα λάθος ή ένα οποιοδήποτε βασικό γεγονός.

Μετά την ολοκλήρωση της ανάπτυξης του δέντρου μπορούν να προσδιοριστούν τα Minimal Cut Sets (MCS), δηλαδή τα ελάχιστα σύνολα γεγονότων που μπορούν να οδηγήσουν στο κορυφαίο γεγονός. Ένα κορυφαίο γεγονός μπορεί να προκληθεί από ένα μεγάλο αριθμό διαφορετικών συνδυασμών γεγονότων. Τα MCS προσδιορίζουν τους διάφορους τρόπους με τους οποίους μπορεί να συμβεί ένα ατύχημα. Δεδομένου ότι κάθε MCS έχει μία πιθανότητα αστοχίας, τα MCS που έχουν τη μεγαλύτερη πιθανότητα αποτελούν σημαντικά στοιχεία για το χρήστη για να εξεταστούν περαιτέρω και με μεγαλύτερη προσοχή.

Ένα σημαντικό μειονέκτημα της μεθόδου ανάλυσης δέντρου αστοχιών είναι ότι η αποτελεσματική χρήση του δέντρου προϋποθέτει μεγάλη γνώση του υπό ανάλυση κορυφαίου γεγονότος. Όσον αφορά την ανάλυση πολύπλοκων διεργασιών απαιτείται η δημιουργία δέντρων πολύ μεγάλου μεγέθους. Για την ανάπτυξη πολύπλοκων δέντρων απαιτείται πολύς χρόνος, καθώς μπορούν να αποτελούνται από χιλιάδες πύλες και γεγονότα. Επιπλέον, για να υπολογιστεί η πιθανότητα αστοχίας ενός κορυφαίου γεγονότος απαιτείται η γνώση των πιθανοτήτων αστοχίας όλων των γεγονότων που εμφανίζονται στο δέντρο. Οι πιθανότητες αυτές στις περισσότερες περιπτώσεις είτε δεν είναι γνωστές, είτε είναι γνωστές με μικρή ακρίβεια.

Το κύριο πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι ο χρήστης επιλέγει το κορυφαίο γεγονός που τον ενδιαφέρει να μελετήσει. Επίσης τα MCS που μπορούν να προσδιοριστούν μέσω του δέντρου παρέχουν σημαντικές πληροφορίες στο χρήστη σχετικά με τον τρόπο που μπορεί να προκληθεί ένα κορυφαίο γεγονός. Τέλος, η μέθοδος επιτρέπει τη χρήση των ηλεκτρονικών υπολογιστών, όπου χρησιμοποιώντας το κατάλληλο λογισμικό είναι δυνατή η σχεδίαση πολύπλοκων δέντρων, ο προσδιορισμός των MCS και ο υπολογισμός των πιθανοτήτων αστοχίας.

2 Μεθοδολογία που ακολουθούμε

Για την ανάλυση ενός γεγονότος με αυτή τη μεθοδολογία θα ξεκινήσουμε εντοπίζοντας ένα γεγονός, το οποίο θεωρούμε ότι είναι η συνέπεια μιας σειράς παραγόντων ή σφαλμάτων, και το οποίο ονομάζουμε κορυφαίο γεγονός. Από αυτό ακολουθώντας μια προς τα πίσω διαδικασία βρίσκουμε όλα τα γεγονότα και τις αποφάσεις που προηγήθηκαν του κορυφαίου γεγονότος και οδήγησαν σε αυτό. Με αυτό τον τρόπο είναι εύκολο να δούμε τα βαθύτερα αίτια που οδήγησαν σε μια αστοχία, ή σε ένα ατύχημα.

Στην ανάλυσή μας όπως αναφέρθηκε και παραπάνω έχουμε μια δενδροειδή μορφή, και οι διάφοροι κόμβοι του δέντρου μας, δηλαδή τα γεγονότα συνδέονται μεταξύ τους με πύλες «AND» και «OR». Η πύλη «AND» εννοεί ότι πρέπει να συμβαίνουν όλα τα γεγονότα που προηγούνται της πύλης αυτής, για να μπορέσουμε να πάμε στο επόμενο κομμάτι του δέντρου, το οποίο μας οδηγεί στο κορυφαίο γεγονός. Από την άλλη η πύλη «OR» υποδηλώνει ότι χρειάζεται να συμβαίνει μόνο ένα από τα γεγονότα τα

οποία προηγήθηκαν της πύλης, και μόνο αυτό θα είναι αρκετό για να πάμε παραπάνω, και να οδηγηθούμε πιο κοντά στο κορυφαίο γεγονός.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι συμβολισμοί για κάθε στοιχείο του δέντρου αστοχιών.

Γεγονός κορυφής		Το αρχικό ανεπιθύμητο γεγονός ενδιαφέρον για την ανάλυση του δέντρου σφάλματος
Βασικό γεγονός ή γεγονός βάσης		Ένα γεγονός που δεν απαιτεί περαιτέρω ανάπτυξη
Μη ανεπτυγμένο γεγονός		Ένα άλλο γεγονός που δεν είναι αναπτυγμένο περαιτέρω, είτε επειδή είναι χαμηλής συνέπειας είτε επειδή η σχετική πληροφορία δεν είναι διαθέσιμη
Ενδιάμεσο γεγονός		Ένα γεγονός ελαττωμάτων που είναι αναπτυγμένο περαιτέρω
Πύλη Ή (OR)		Η πύλη Ή δείχνει ότι η έξοδος του γεγονότος πραγματοποιείται μόνο εάν ένα ή περισσότερα από τα γεγονότα εισόδου πραγματοποιούνται. Μπορεί να υπάρξει οποιοσδήποτε αριθμός εισόδων σε μια πύλη Ή
Πύλη ΚΑΙ (AND)		Η πύλη ΚΑΙ χρησιμοποιείται για να δείξει ότι το ατυχές γεγονός εξόδου εμφανίζεται εάν, και μόνο εάν, όλα τα γεγονότα εισαγωγής εμφανίζονται. Μπορεί να υπάρξει οποιοσδήποτε αριθμός εισόδων σε μια πύλη ΚΑΙ

Πίνακας 1: Συμβολισμοί μεθοδολογίας Ανάλυσης Δέντρου Αστοχιών

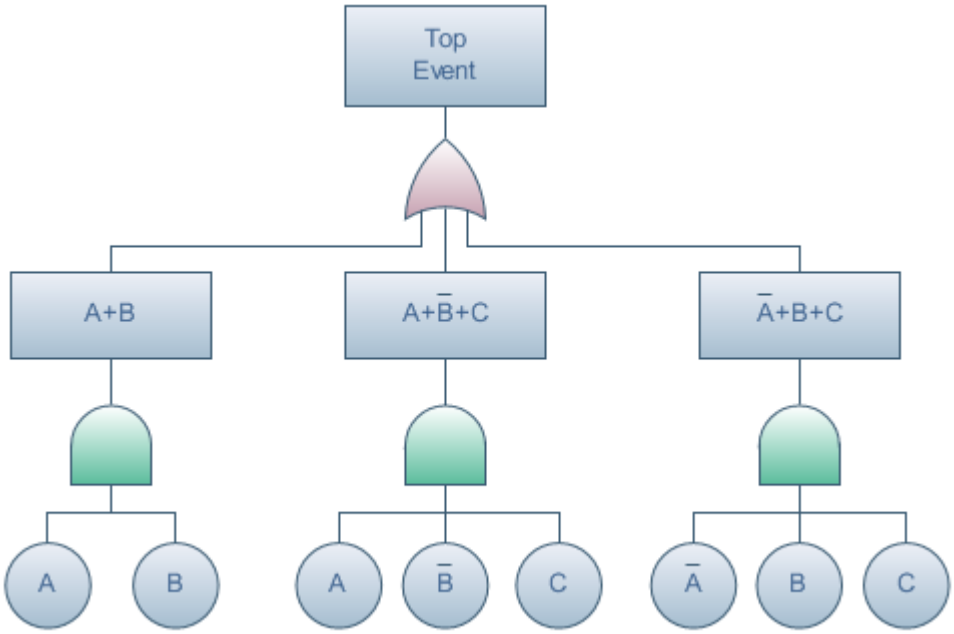
Από αυτή τη μεθοδολογία μπορούμε να βγάλουμε και άλλα χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με το κορυφαίο γεγονός που μελετάμε. Πέρα δηλαδή από την εύρεση των παραγόντων που οδήγησαν στο κορυφαίο γεγονός μπορούμε να βγάλουμε συμπεράσματα για το αν το κορυφαίο γεγονός θα μπορούσε να είχε αποφευχθεί ή όχι, αλλά και για το ποιο είναι το Χειρότερο Σενάριο που μπορούμε να έχουμε (Worst Case Scenario) ή από την αντίθετη πλευρά ποιο είναι το Καλύτερο Σενάριο που μπορούμε να έχουμε για το κορυφαίο γεγονός (Best Case Scenario).

Πιο αναλυτικά για τα παραπάνω μπορούμε να πούμε ότι μελετώντας ένα κορυφαίο γεγονός, το οποίο μπορεί να είναι από μια παράληψη μέχρι ένα πολύ μεγάλο ατύχημα μπορούμε μετά την ανάλυση του Δέντρου Αστοχιών να δούμε πιο προσεκτικά τι πύλες έχουμε, δηλαδή αν για κάθε ένα κόμβο οι πύλες που έχουμε και οδηγούν σε αυτό είναι πύλες «AND» ή «OR». Αν έχουμε πύλη «AND» για κάποιο γεγονός τότε, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, θα πρέπει να συμβούν όλα τα προηγούμενα γεγονότα για να οδηγηθούμε σε αυτό το αποτέλεσμα. Αν έστω και ένα από τα γεγονότα που προηγούνται δεν πραγματοποιηθεί για κάποιο λόγο, ή δουλέψει σωστά, τότε δεν μπορούμε να οδηγηθούμε στον παραπάνω κόμβο, και πολύ πιθανό ούτε και στο κορυφαίο γεγονός. Αντίθετα, αν τα γεγονότα που προηγούνται σε κάποιο κόμβο συνδέονται με πύλη «OR», δηλαδή, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, φτάνει έστω

και ένα από τα γεγονότα που προηγούνται να συμβούν για να οδηγηθούμε στον κόμβο που μελετάμε, τότε ακόμα και ένα από τα γεγονότα να συμβεί μπορεί να οδηγηθούμε στο κορυφαίο γεγονός.

Από τα παραπάνω μπορούμε ακόμα σαν συμπέρασμα να δούμε και ποιο είναι το Χειρότερο Σενάριο που μπορούμε να έχουμε (Worst Case Scenario) ή από τη αντίθετη πλευρά ποιο είναι το Καλύτερο Σενάριο που μπορούμε να έχουμε για το κορυφαίο γεγονός (Best Case Scenario). Δηλαδή για να έχουμε την περίπτωση του χειρότερου σεναρίου (WCS) θα πρέπει όλα τα στοιχεία που έχουμε για το δέντρο μας, ή αν όχι όλα τα πιο σημαντικά όσον αφορά τους κόμβους, να συνδέονται μεταξύ τους με πύλη «OR», διότι σε αυτή την περίπτωση αρκεί ένα από αυτά να συμβεί για να οδηγηθούμε στο κορυφαίο γεγονός. Από μαθηματικής σκοπιάς, αν κάθε κόμβος του διαγράμματος έχει πιθανότητα P_i να συμβεί, τότε η πιθανότητα να συμβεί το γεγονός το οποίο προέρχεται από μια πύλη «OR» είναι το άθροισμα των προηγούμενων πιθανοτήτων, δηλαδή $\sum P_i$. Από την άλλη αν όλοι οι σημαντικοί μας κόμβοι συνδέονται μεταξύ τους με πύλη «AND», τότε μπορούμε να πούμε ότι έχουμε το Καλύτερο δυνατό σενάριο που μπορούμε να έχουμε, (BCS), διότι θα πρέπει να συμβούν όλα τα γεγονότα μαζί για να οδηγηθούμε στο κορυφαίο γεγονός, άρα από μαθηματική άποψη, αν κάθε κόμβος του διαγράμματος έχει πιθανότητα να συμβεί P_i, τότε η πιθανότητα να συμβεί το γεγονός το οποίο προέρχεται από μια πύλη «AND» είναι το γινόμενο των προηγούμενων πιθανοτήτων, δηλαδή $\prod P_i$, το οποίο σαφώς είναι πιο μικρό αριθμητικά από πριν που είχαμε το άθροισμα.

Στη συνέχεια φαίνεται ένα δέντρο αστοχιών παραστατικά, δηλαδή χωρίς να έχουμε δεδομένα.



Σχήμα 1: Αναπαράσταση Δέντρου αστοχιών

Βλέπουμε σε αυτό το δέντρο ότι στην κορυφή υπάρχει το Κορυφαίο Γεγονός, μετά ακολουθεί μια πύλη «OR», η οποία αναλύεται σε άλλα τρία γεγονότα. Καθένα από αυτά αναλύεται περαιτέρω με πύλη «AND» σε κάποια άλλα γεγονότα, τα οποία θεωρούμε ότι είναι τερματικά, δηλαδή πέρα από αυτά δεν έχουμε άλλη ανάλυση.

Από τον τρόπο τον οποίο είναι φτιαγμένο το παραπάνω δέντρο βλέπουμε ότι από τη στιγμή που στο κορυφαίο γεγονός οδηγούμαστε με πύλη «OR», δεν θα μπορούσαμε να το αποφύγουμε. Αλλά επειδή στα παρακάτω γεγονότα, που πρέπει να προηγηθούν για να έχουμε το κορυφαίο γεγονός, οδηγούμαστε με πύλες «AND», η πιθανότητα να συμβεί μειώνεται.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΑΝΑΛΥΤΙΚΟ ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΑΤΥΧΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Συνθήκες κάτω από τις οποίες έγινε το ατύχημα

Το ατύχημα το οποίο μελετήθηκε σε αυτή την εργασία συνέβη στις 23 Μαρτίου του 2005 σε ένα διυλιστήριο της εταιρίας BP στο Τέξας των ΗΠΑ. Το ατύχημα αυτό είχε σαν αποτέλεσμα τον θάνατο 15 εργαζόμενων και τον τραυματισμό άλλων 170. Η επιτροπή διερεύνησης του ατυχήματος ανακάλυψε ότι η εταιρία είχε παραβιάσει μια πληθώρα από ομοσπονδιακούς και περιβαλλοντικούς νόμους, και επίσης υπήρχαν πολλές παραβιάσεις σε ότι αφορά θέματα ασφάλειας, και για αυτό επέβαλαν στην εταιρία ένα πάρα πολύ μεγάλο πρόστιμο, το μεγαλύτερο για εκείνη την εποχή που έχει δοθεί σε πετρελαϊκή εταιρία σε αμερικανικό έδαφος.
Το διυλιστήριο αυτό στην πολιτεία Τέξας ήταν το δεύτερο μεγαλύτερο διυλιστήριο στην πολιτεία, και το τρίτο μεγαλύτερο στις ΗΠΑ. Η BP απόκτησε αυτό το διυλιστήριο στο πλαίσιο της συγχώνευσης με την εταιρία Amoco το 1998, και είχε δυνατότητα παραγωγής 437 χιλιάδες βαρέλια την ημέρα (περίπου 18.354.000 γαλόνια ή 69.477.448 λίτρα) από την 1η Ιανουαρίου του 2005.
Το διυλιστήριο είχε τεθεί σε λειτουργία από το 1934, αλλά δεν είχε διατηρηθεί σε καλή κατάσταση για αρκετά χρόνια. Μια συμβουλευτική εταιρία είχε εξετάσει τις συνθήκες στο εργοστάσιο, τον Ιανουάριο, και διαπιστώθηκε ότι οι συνθήκες ήταν τόσο ελλιπείς που στην τελική της αναφορά έγραψε : « εμείς δεν έχουμε ξαναδεί ποτέ μια εγκατάσταση όπου η έννοια της φράσης « Θα μπορούσα να πεθάνω σήμερα» είναι τόσο αληθινή.»

Το ατύχημα έλαβε χώρα όταν οι χειριστές της μονάδες γέμισαν μέχρι πάνω την στήλη απόσταξης του πετρελαίου, ύψους 170 ποδιών. Αυτές οι στήλες υπάρχουν σε διυλιστήρια και χρησιμεύουν στο να διαχωριστεί το αργό πετρέλαιο στα διάφορα συστατικά του. Οι χειριστές πρέπει να κρατούν το επίπεδο του υγρού το οποίο εισέρχεται στη στήλη για επεξεργασία σε ένα χαμηλό επίπεδο. Την ημέρα του ατυχήματος η στήλη είχε γεμίσει σχεδόν μέχρι πάνω. Επίσης ένα άλλο λάθος το οποίο συνέβη εκείνη την ημέρα του ατυχήματος ήταν ότι οι χειριστές έδωσαν πολύ περισσότερη θερμότητα στο προϊόν πριν μπει στη στήλη, δηλαδή στην τροφοδοσία, με αποτέλεσμα το υγρό να μπει στη στήλη απόσταξης με πολύ μεγαλύτερη θερμοκρασία από εκείνη που κανονικά έπρεπε να έχει.

Ως αποτέλεσμα αυτών των λαθών, η πίεση μέσα στη στήλη έγινε πάρα πολύ υψηλή και μια μίξη από υγρό και αέριο προϊόν, έφτασε στο πάνω μέρος της στήλης, πέρασε μέσα από σωληνώσεις που χρησιμοποιούνται για την εκτόνωση του αερίου σε περίπτωση υπερπίεσης, μέχρι μια στήλη εκτόνωσης του αερίου αυτού, και βγήκε στον αέρα. Κοντά σε αυτή τη στήλη εκτόνωσης του αερίου υπήρχε παρκαρισμένο ένα φορτηγό, με ανοιχτή τη μηχανή, του οποίου ο οδηγός δεν βρισκόταν κοντά στο φορτηγό εκείνη την στιγμή. Η εξάτμιση του φορτηγού και η ανοιχτή μηχανή λειτούργησαν ως πηγή ανάφλεξης για το υγρό και το αέριο προϊόν, με αποτέλεσμα να προκληθεί πυρκαγιά και στη συνέχεια έκρηξη της στήλης. Κοντά στη στήλη υπήρχε ένα λυόμενο δωμάτιο στο οποίο εκείνη την ώρα της έκρηξης υπήρχαν πολλοί εργαζόμενοι, και από εκείνο το δωμάτιο προέρχονται και οι περισσότεροι θάνατοι.

Έρευνες από ομάδες εμπειρογνωμόνων που έγιναν μετά το ατύχημα δείχνουν ότι πολλοί θάνατοι και τραυματισμοί, ακόμα και η ίδια η έκρηξη θα είχαν αποφευχθεί αν στο εργοστάσιο λειτουργούσε σωστά το σύστημα ασφάλειας, και κομμάτια της μονάδας ήταν πιο εκσυγχρονισμένα. Αναλυτική περιγραφή του πώς ήταν φτιαγμένη η μονάδα, πως ακριβώς έγινε το ατύχημα και ποιες ελλείψεις υπήρχαν θα γίνει στη συνέχεια.

Η εγκατάσταση

Στην συνέχεια θα δοθεί μια αναλυτική περιγραφή της εγκατάστασης γενικά και ειδικότερα της μονάδας στην οποία συνέβη το ατύχημα, και των διαφόρων εξαρτημάτων που την αποτελούν, έτσι ώστε στη συνέχεια να γίνει κατανοητό πως ακριβώς συνέβη το ατύχημα, και ποιες αστοχίες οδήγησαν σε αυτό. Παράλληλα θα δοθεί και μια περιγραφή του τρόπου με τον οποίο λειτουργούσε η εγκατάσταση.

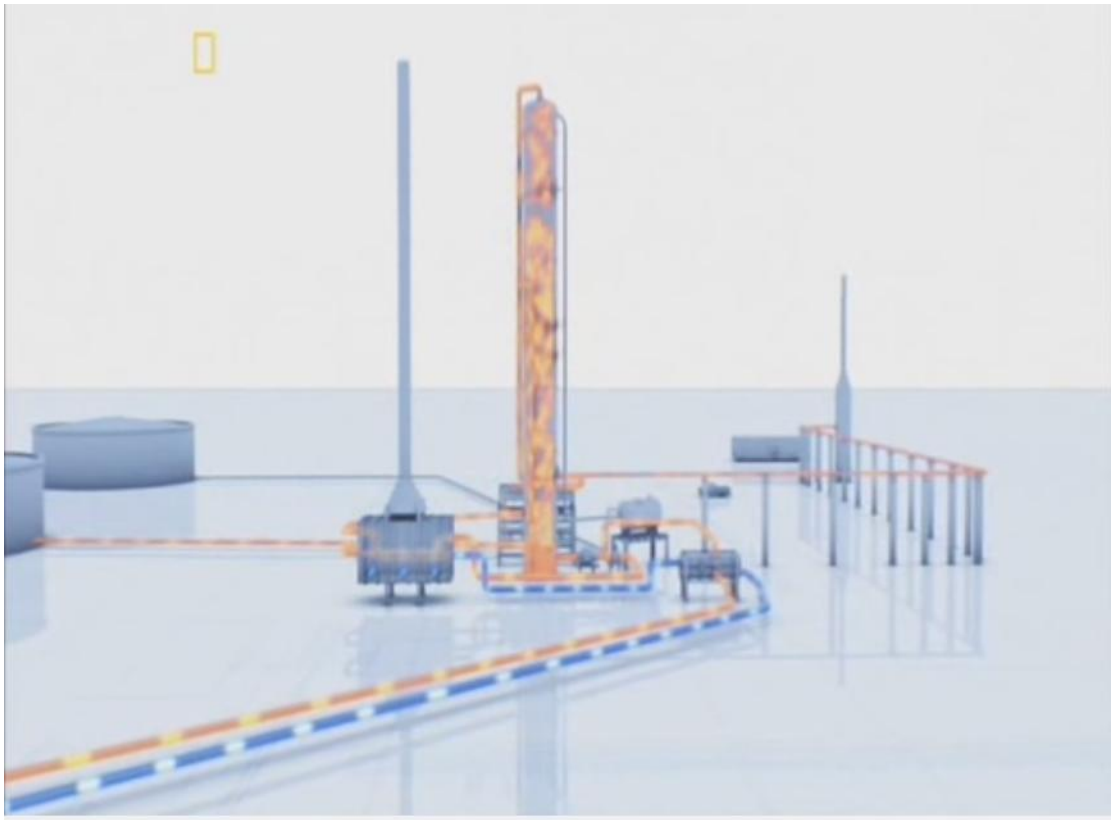
Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω το εργοστάσιο αυτό της εταιρίας BP ήταν το δεύτερο μεγαλύτερο της πολιτείας και το τρίτο μεγαλύτερο στις ΗΠΑ. Στη συνέχεια παρατίθενται δύο φωτογραφίες της εγκατάστασης , μια πιο μακρινή και άλλη μια πιο κοντινή.

Φωτογραφία 1: Παρουσίαση της εγκατάστασης από αεροφωτογραφία.

Φωτογραφία 2: Παρουσίαση της εγκατάστασης από αεροφωτογραφία.

Στις παραπάνω φωτογραφίες φαίνεται ολόκληρη η εγκατάσταση με τις διάφορες μονάδες από τις οποίες αποτελείτε.

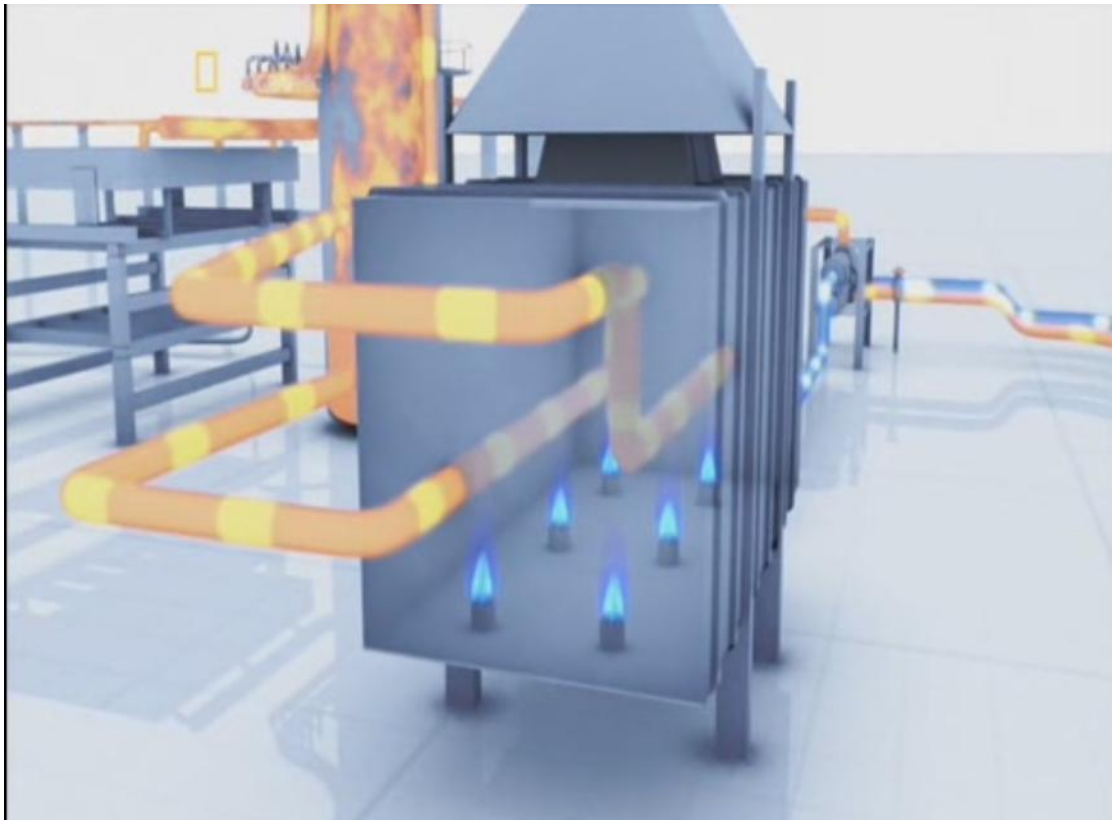
Το κομμάτι εκείνο της εγκατάστασης το οποίο μας ενδιαφέρει είναι η μονάδα εκείνη όπου υπήρχε η στήλη για την επεξεργασία του αργού πετρελαίου, δηλαδή η στήλη διαχωρισμού, η αλλιώς στήλη απόσταξης. Μια σχηματική και μακρινή απεικόνιση της μονάδας αυτής φαίνεται στη συνέχεια.



Φωτογραφία 3: Σχηματική αναπαράσταση μονάδας.

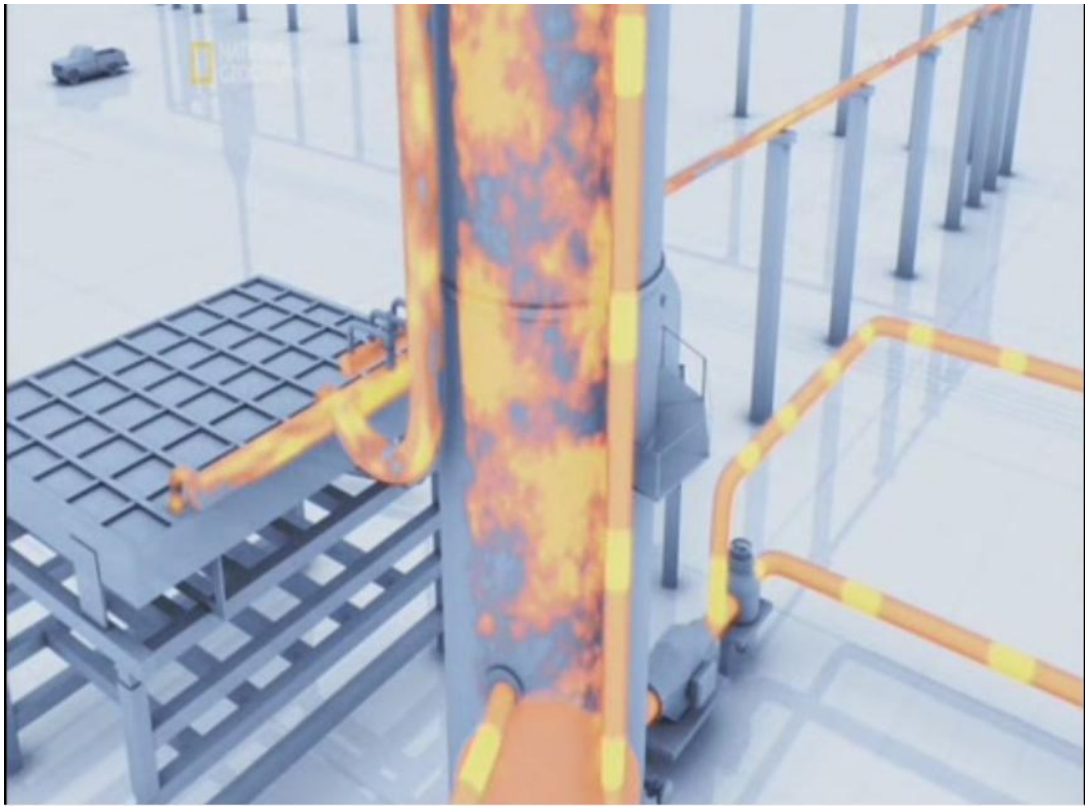
Στην παραπάνω φωτογραφία φαίνονται η στήλη απόσταξης, η μονάδα θέρμανσης της τροφοδοσίας, οι σωληνώσεις τροφοδοσίας και οι σωληνώσεις μεταφοράς των κλασμάτων απόσταξης και των θερμών ατμών, και η στήλη εκτόνωσης των αερίων.

Το αργό πετρέλαιο έρχεται από το σημείο στο οποίο είναι αποθηκευμένο και μέσω ενός δικτύου σωληνώσεων, το οποίο ονομάζεται τροφοδοσία περνάει μέσα από ένα σύστημα στο οποίο θερμαίνεται, σε συγκεκριμένη θερμοκρασία για να μπει ζεστό μέσα στη στήλη διαχωρισμού. Το σύστημα θέρμανσης της τροφοδοσίας φαίνεται στη συνέχεια.



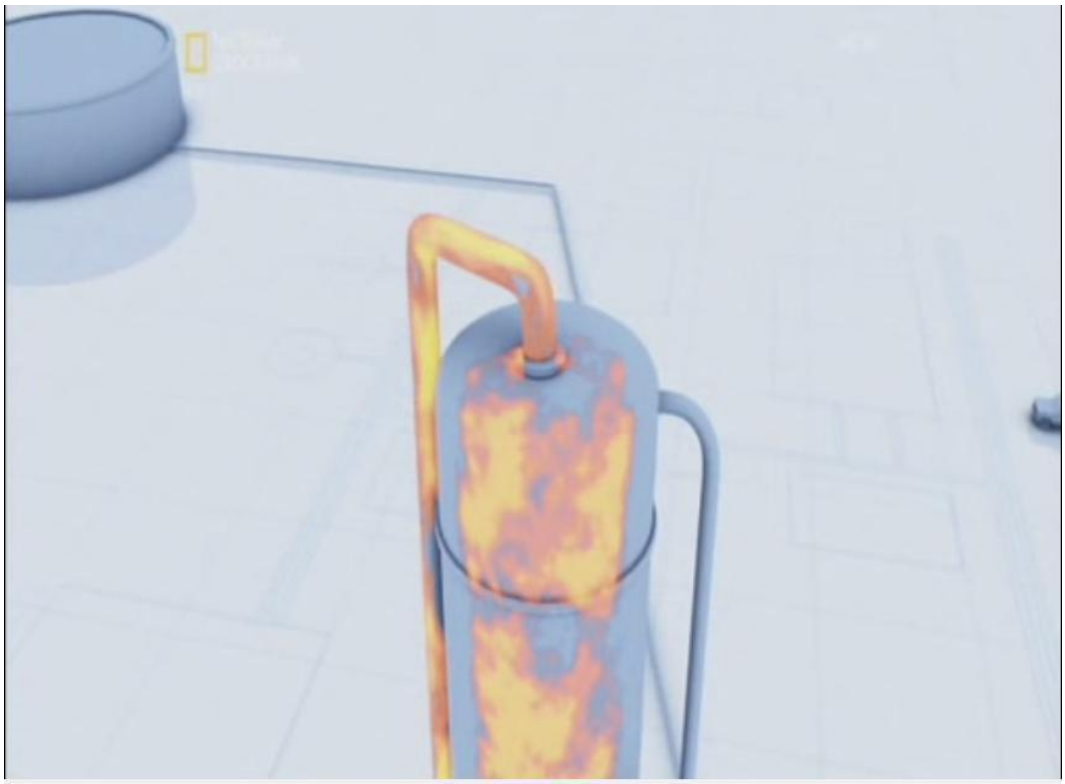
Φωτογραφία 4: Σύστημα θέρμανσης τροφοδοσίας.

Στη συνέχεια και αφού το αργό πετρέλαιο έχει ζεσταθεί περνάει μέσα από σωληνώσεις για να καταλήξει στη στήλη διαχωρισμού. Η στήλη αυτή έχει ύψος 170 πόδια, και το υγρό το οποίο μπαίνει στη στήλη έχει ύψος περίπου 6,5 πόδια. Μέσα στη στήλη γίνεται επεξεργασία του υγρού, και έτσι από διάφορα επίπεδα διαφορετικά παίρνουμε τα κλάσματα του πετρελαίου. Στη συνέχεια υπάρχει μια απεικόνιση του υγρού και του αερίου μέσα στη στήλη διαχωρισμού.



Φωτογραφία 5: Στήλη διαχωρισμού με υγρό και αέριο μέσα.

Στο επάνω μέρος της στήλης υπάρχει μια έξοδος με σωληνώσεις για την αποβολή του αερίου και την εκτόνωση της πίεσης στη στήλη

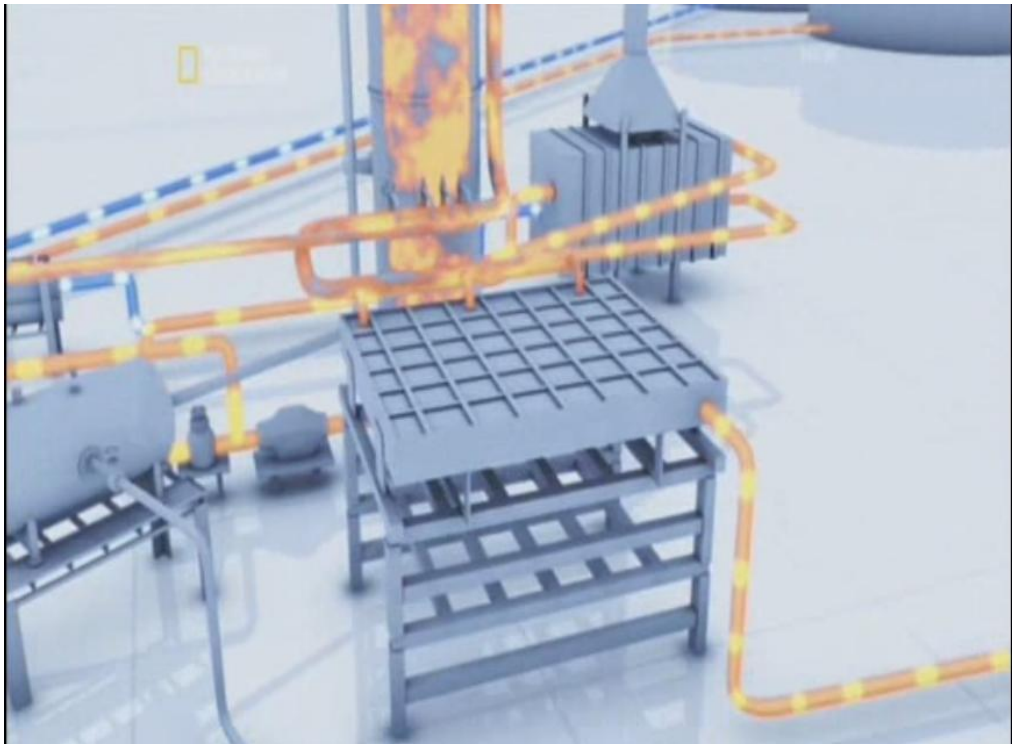


Φωτογραφία 6: Πάνω μέρος στήλης και σωλήνας εκτόνωσης αερίου

Τα βαριά κλάσματα του πετρελαίου τα οποία μένουν στη βάση αποβάλλονται από τη στήλη με ένα σύστημα σωληνώσεων όπως φαίνεται και από το παρακάτω σχήμα.

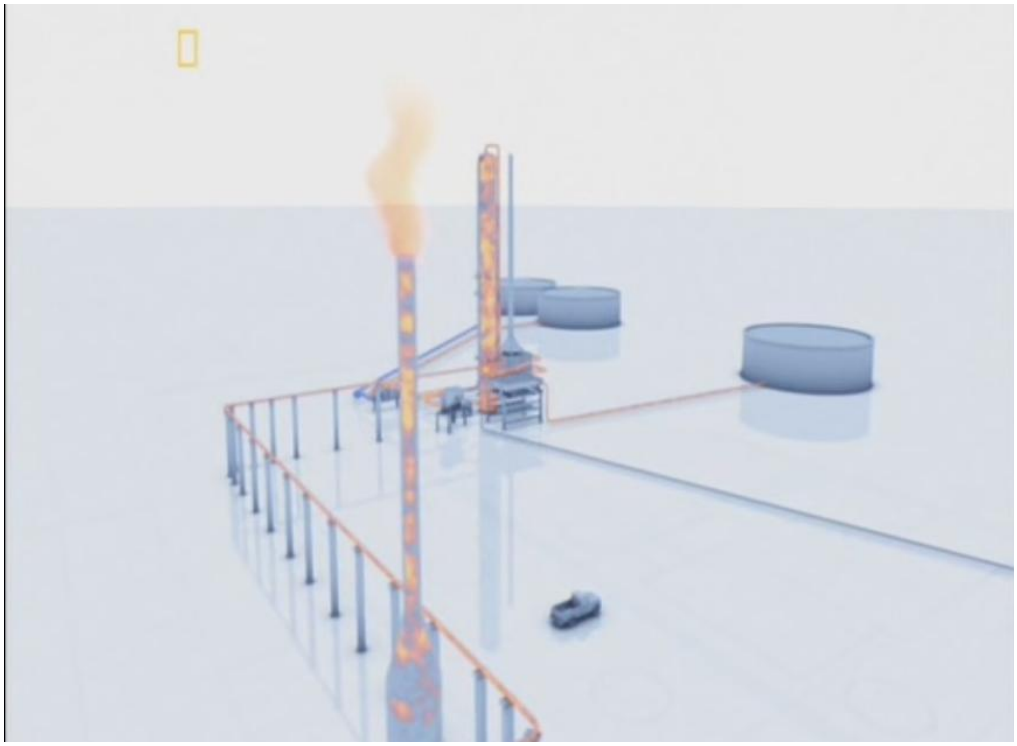
Φωτογραφία 7: Μέρος αποβολής από την στήλη των κλασμάτων του πετρελαίου τα οποία είναι βαριά.

Πέρα από την θέρμανση του αργού πετρελαίου από την τροφοδοσία προστίθεται επιπλέον θερμότητα για να γίνει η διαδικασία του διαχωρισμού του αργού πετρελαίου στα κλάσματά του και από μια ειδική μονάδα που λέγεται αναβραστήρας. Το υγρό μπαίνει μέσα στον αναβραστήρα σε μια ορισμένη θερμοκρασία και βγαίνει από τον αναβραστήρα σε μια άλλη θερμοκρασία υψηλότερη από την αρχική, και μπαίνει εκ νέου στη στήλη διαχωρισμού. Σχηματικά ο αναβραστήρα φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Φωτογραφία 8: Αναβραστήρας.

Τα αέρια από τη στήλη διαχωρισμού τα οποία βρίσκονται στο πάνω μέρος της στήλης περνάνε μέσα από ένα δίκτυο σωληνώσεων και καταλήγουν σε μια άλλη στήλη, την στήλη εκτόνωσης, και διαφεύγουν προς την ατμόσφαιρα, η καίγονται με μια συγκεκριμένη διαδικασία. Έτσι επιτυγχάνεται η εκτόνωση της πίεσης μέσα στη στήλη του αερίου. Η στήλη εκτόνωσης φαίνεται στη συνέχεια.



Φωτογραφία 9: Στήλη εκτόνωσης.

Πάνω στη στήλη διαχωρισμού αλλά και στην υπόλοιπη εγκατάσταση υπάρχουν κάποια όργανα και μετρητές τα οποία ελέγχουν όλη την διαδικασία και δίνουν ενδείξεις για την διαδικασία, έτσι ώστε να μπορεί να γίνεται έλεγχος. Επίσης υπάρχουν συναγερμοί οι οποίοι παίζουν σημαντικό ρόλο όσων αφορά την ασφάλεια της διαδικασίας και όργανα έκτακτης ανάγκης, για να πραγματοποιείται σωστά και με ασφάλεια η διαδικασία. Όλα αυτά είναι μέρος του συστήματος διαχείρισης ασφάλειας που πρέπει να έχει κάθε εγκατάσταση.

Για την στήλη την οποία μελετάμε, και στη μονάδα που έγινε το ατύχημα υπήρχαν τέτοια όργανα. Πάνω στη στήλη διαχωρισμού υπήρχαν συναγερμοί τοποθετημένοι στα 8 πόδια και στα 9 πόδια, οι οποίοι χτυπούσαν κάθε φορά που το υγρό στη στήλη ξεπερνούσε αυτά τα όρια. Επίσης υπήρχε όργανο μέτρησης της στάθμης του υγρού μέσα στη στήλη. Όλα αυτά φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.

Φωτογραφία 10: Συναγερμοί και όργανα μέτρησης της στάθμης του υγρού στη στήλη διαχωρισμού.

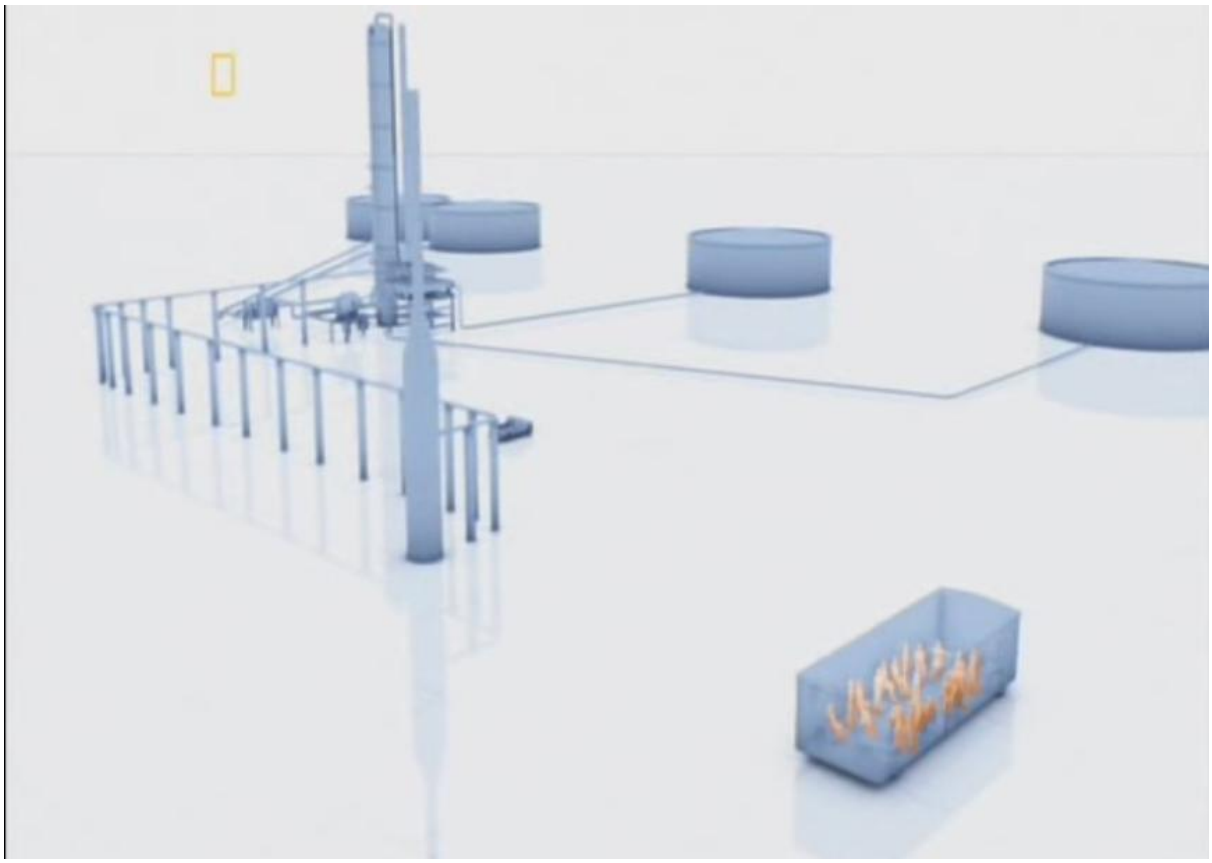
Σε περίπτωση που το υγρό υπερέβαινε ένα καθορισμένο ύψος, συγκεκριμένα τα 9 πόδια, υπήρχε μια βαλβίδα η οποία λειτουργούσε αυτόματα η χειροκίνητα, και η οποία άνοιγε για να αποβληθεί το επιπλέον υγρό και να πέσει πάλι στο προκαθορισμένο ασφαλές ύψος που έπρεπε να έχει στη στήλη. Η βαλβίδα αυτή φαίνεται στην παρακάτω φωτογραφία.

Φωτογραφία 11: Βαλβίδα αποβολής επιπλέον υγρού από τη στήλη διαχωρισμού.

Αν η πίεση στο εσωτερικό της στήλης είναι υψηλή όπως ειπώθηκε και πριν τα αέρια αποβάλλονται από τη στήλη και μέσω ενός δικτύου σωληνώσεων πηγαίνουν προς την στήλη εκτόνωσης. Για να περάσουν τα αέρια από τους σωλήνες πρέπει να είναι ανοιχτή η βαλβίδα εκτόνωσης των αερίων, η οποία ανοίγει αυτόματα ανάλογα με τις εντολές που στέλνονται από το control room. Το σύστημα αυτό φαίνεται στην παρακάτω φωτογραφία.

Φωτογραφία 12: Βαλβίδα εκτόνωσης αερίων.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω την ημέρα του ατυχήματος υγρό μαζί με ατμούς βγήκαν από την στήλη εκτόνωσης στον εξωτερικό χώρο της εγκατάστασης. Κοντά υπήρχε ένα αυτοκίνητο παρκαρισμένο με αναμμένη τη μηχανή που λειτούργησε σαν πηγή ανάφλεξης για το υγρό. Κοντά στης στήλη υπήρχε ένα trailer το οποίο λειτουργούσε σαν δωμάτιο και στο οποίο εκείνη την ώρα βρίσκονταν μέσα αρκετοί εργαζόμενοι. Οι περισσότεροι από τους εργάτες που σκοτώθηκαν την ημέρα του ατυχήματος βρίσκονταν μέσα σε αυτό το trailer, 12 συγκεκριμένα. Η παρακάτω φωτογραφία δείχνει περίπου την απόσταση ανάμεσα στη στήλη εκτόνωσης και το trailer.



Φωτογραφία 13: Θέση trailer με εργαζόμενους σε σχέση με την στήλη εκτόνωσης.

Στη συνέχεια υπάρχει μια φωτογραφία που δείχνει παραστατικά την στιγμή που το υγρό μαζί με το αέριο βγαίνουν από την στήλη εκτόνωσης

Φωτογραφία 14: Παραστατική απεικόνιση της στιγμής που από την στήλη εκτόνωσης βγαίενι υγρό και αέριο προϊόν.

Χρονική σειρά για τα γεγονότα που έλαβαν χώρα την ημέρα του ατυχήματος

Στις 22 Μαρτίου του 2005 δόθηκε εντολή από τη διεύθυνση του εργοστασίου να ξεκινήσει η διαδικασία απόσταξης του πετρελαίου, δηλαδή να τεθεί σε λειτουργία η μονάδα που περιείχε την στήλη διαχωρισμού του αργού πετρελαίου στα διάφορα συστατικά του. Η στήλη είχε τεθεί εκτός λειτουργίας διότι έπρεπε να γίνουν κάποιες εργασίες συντήρησης.

Η διαδικασία ξεκίνησε στη βραδινή βάρδια από 22 προς 23 Μαρτίου 2005. Ο υπεύθυνος χειριστής της βραδινής βάρδιας έθεσε σε λειτουργία την μονάδα από το control room, δηλαδή την τροφοδοσία, την θέρμανση της τροφοδοσίας, τον αναβραστήρα, και όλους τους μηχανισμούς ελέγχου και ασφάλειας.

Η διαδικασία ξεκινήματος που ακολουθούσαν στη μονάδα ήταν πεπαλαιωμένη και δεν είχε εκσυγχρονιστεί τα τελευταία χρόνια, και για αυτό το λόγο οι ίδιοι οι εργαζόμενοι είχαν αναπτύξει ένα δικό τους τρόπο για να γίνεται αυτή η διαδικασία. Στην τυπική διαδικασία η στήλη έπρεπε να περιέχει υγρό μέχρι ύψος 6,5 ποδιών και υπήρχε ένας συναγερμός στα 8 πόδια και ένα συναγερμός στα 9 πόδια. Ο πρώτος συναγερμός αυτόματα ενεργοποιούσε ένα σύστημα ασφάλειας το οποίο άνοιγε μια βαλβίδα ασφαλείας για να απομακρυνθεί υγρό από τη στήλη και έτσι να κατέβει πάλι η στάθμη στο αναμενόμενο από τη διαδικασία επίπεδο. Οι τεχνικοί και οι χειριστές της εγκατάστασης όμως είχαν διαπιστώσει ότι πολλές φορές το να βρίσκεται το υγρό στα 6,5 πόδια μέσα στη στήλη δεν ήταν αρκετό, και πολλές φορές δεν ήταν επαρκές

για να πραγματοποιήσουν την διαδικασία χωρισμού σε κλάσματα του αργού πετρελαίου. Έτσι είχαν αναπτύξει μια δική τους μεθοδολογία που έλεγε ότι θα γέμιζαν το υγρό στη στήλη μέχρι τα 9 πόδια. Για να το πετύχουν αυτό έπρεπε στην διαδικασία του startup να απενεργοποιήσουν το συναγερμό που θα χτυπούσε όταν η στάθμη του υγρού στη στήλη θα έφτανε τα 8 πόδια και να γυρίσουν τον έλεγχο της βαλβίδας για το άδειασμα της δεξαμενής από το αυτόματο στο χειροκίνητο. Στη συνέχεια όταν το επίπεδο του υγρού έφτανε στο ύψος που ήθελαν, γύριζαν πάλι την βαλβίδα αδειάσματος της δεξαμενής από το χειροκίνητο στο αυτόματο.

Την ίδια αυτή διαδικασία ακολούθησαν και την ημέρα του ατυχήματος. Ο χειριστής της βραδινής βάρδιας γύρισε την βαλβίδα που έκανε τον έλεγχο για το άδειασμα της δεξαμενής από το αυτόματο στο χειροκίνητο, και όταν ήχησε ο συναγερμός που ήταν τοποθετημένος στη στήλη και προγραμματισμένος να χτυπά σε ύψος στάθμης υγρού 8 πόδια, τον απενεργοποίησε και συνέχισε να γεμίζει τη στάθμη.

Το γέμισμα θα σταματούσε όταν το ύψος της στάθμης του υγρού στη στήλη θα έφτανε τα 9 πόδια, και θα ηχούσε και ο δεύτερος συναγερμός. Θα ανοιγόταν τότε η βαλβίδα εξόδου του υγρού και η στάθμη του υγρού θα παρέμενε σταθερή λίγο πιο κάτω από τα 9 πόδια. Όμως την ημέρα του ατυχήματος ο συναγερμός για τα 9 πόδια δεν χτύπησε, με αποτέλεσμα να μη γυρίσει ο χειριστής της νυχτερινής βάρδιας τη βαλβίδα από το χειροκίνητο στο αυτόματο, και στη στήλη να συνεχίσει να μπαίνει υγρό χωρίς να βγαίνει από κάπου.

Στη συνέχεια όταν τελείωσε η βραδινή βάρδια και άρχισε η πρωινή, ο υπεύθυνος χειριστής της βραδινής βάρδιας έπρεπε να γράψει στο βιβλίο συμβάντων που υπήρχε στη μονάδα τα πάντα σχετικά με ότι συνέβη κατά τη διάρκεια της βάρδιας του με την εκκίνηση, καθώς και να ενημερώσει προσωπικά τον υπεύθυνο χειριστή της πρωινής βάρδιας για ότι συνέβη. Παρόλα αυτά ο χειριστής της βραδινής βάρδιας δεν ενημέρωσε προσωπικά τον χειριστή της πρωινής και όσα έγραψε στο βιβλίο συμβάντων ήταν πολύ λίγα, είχαν ελλείψεις και δεν ήταν καθόλου κατατοπιστικά.

Ο χειριστής της πρωινής βάρδιας συνέχισε να παρακολουθεί την εξέλιξη της διαδικασίας μέσα από τα όργανα τα οποία βρίσκονταν στο control room, αλλά και άλλοι χειριστές παρακολουθούσαν με επιτόπιο έλεγχο την διαδικασία. Καθώς προχωρούσε η διαδικασία διαπιστώθηκε ότι στη στήλη διαχωρισμού η πίεση αυξανόταν παραπάνω από το κανονικό και έτσι οι χειριστές άνοιξαν την βαλβίδα εκτόνωσης και η πίεση έπεσε πάλι σε φυσιολογικά επίπεδα. Καθώς προχωρούσε η διαδικασία οι χειριστές δεν είχαν καταλάβει τα λάθη τα οποία είχαν γίνει, ότι δηλαδή δεν ήταν ανοιχτή η βαλβίδα για το άδειασμα της δεξαμενής και ότι ο συναγερμός δεν είχε λειτουργήσει. Επίσης ακόμα ένα σφάλμα το οποίο έγινε εκείνη την ημέρα ήταν ότι η θερμότητα που έπαιρνε το υγρό που ερχόταν από την τροφοδοσία και πριν μπει στη στήλη ήταν μεγαλύτερο από το κανονικό με αποτέλεσμα το υγρό να μπαίνει στη στήλη διαχωρισμού σε πολύ μεγαλύτερη θερμοκρασία από την αναμενόμενη, και μετά το πέρασμα του υγρού και από τον αναβραστήρα η θερμοκρασία γινόταν ακόμα υψηλότερη. Αυτό σε συνδυασμό με το επιπλέον υγρό που βρισκόταν στη στήλη οδήγησε σε υπερβολική αύξηση της πίεσης μέσα στη στήλη.

Ένα ακόμα σφάλμα το οποίο έγινε εκείνη την ημέρα του ατυχήματος και που έπαιξε και αυτό καθοριστικό ρόλο είναι ότι ο χειριστής ο οποίος ήταν υπεύθυνος για τον επιτόπιο έλεγχο της στήλης δεν βρισκόταν στο πόστο του εκείνη την ημέρα.

Συγκεκριμένα την ημέρα του ατυχήματος ο χειριστής αυτός πήγε κανονικά στη δουλειά του αλλά λόγω ενός οικογενειακού προβλήματος που αντιμετώπιζε έφυγε από το πόστο του και δεν αντικαταστάθηκε από κάποιον άλλο, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει κάποιος χειριστής ο οποίος να κάνει επιτόπιο έλεγχο και να κοιτάζει τις ενδείξεις των οργάνων τα οποία βρίσκονταν πάνω στη στήλη διαχωρισμού.

Όταν η ώρα έφτασε 12:40 η πίεση στη στήλη διαχωρισμού είχε φτάσει τα 33 psig ενώ η κανονική πίεση λειτουργίας είναι περίπου 20 psig, και το ύψος της στάθμης του υγρού στη στήλη είχε φτάσει τα 150 πόδια, δηλαδή η στήλη είχε γεμίσει σχεδόν μέχρι την κορυφή. Ο χειριστής άνοιξε για δεύτερη φορά την βαλβίδα εκτόνωσης του αερίου, και η πίεση έπεσε σε πιο χαμηλό επίπεδο. Σε αυτό το σημείο η θερμοκρασία του υγρού είχε φτάσει τους 302 ° F ενώ υπό φυσιολογικές συνθήκες η θερμοκρασία θα έπρεπε να είναι 275 ° F.

Στις 13:01 η θερμοκρασία του υγρού στη στήλη ήταν στους 126 ° F, και ανήλθε στους 260 ° F μέχρι τις 13:10. Αυτή η ασυνήθιστα γρήγορη αύξηση της θερμοκρασίας οδήγησε και σε μια πολύ γρήγορη εξάτμιση του υγρού, και δεδομένου ότι είχε φτάσει σχεδόν μέχρι το ανώτερο σημείο της στήλης, υπήρχε και υπερβολική αύξηση της πίεσης. Οι χειριστές άνοιξαν εκ νέου την βαλβίδα εκτόνωσης του αερίου, αλλά επειδή το υγρό είχε ανέλθει ήδη μέχρι το ανώτερο σημείο της στήλης, μέσα από τις σωληνώσεις εκτόνωσης του αερίου πέρασε και υγρό προϊόν το οποίο βγήκε από την στήλη εκτόνωσης στην ατμόσφαιρα.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω εκείνη τη στιγμή που συνέβη αυτό κοντά στην δεξαμενή βρισκόταν ένα όχημα, το οποίο είχε αναμμένη την μηχανή και ο ιδιοκτήτης του δεν βρισκόταν κοντά. Αυτό λειτούργησε σαν πηγή ανάφλεξης, όταν το υγρό και το αέριο που είχαν διαφύγει από την στήλη εκτόνωσης έφτασαν κοντά στο φορτηγό. Το υγρό και αέριο προϊόν πήραν φωτιά και στη συνέχεια όταν ακολούθησαν την αντίστροφη διαδρομή και έφτασαν στην στήλη εκτόνωσης έγινε έκρηξη.

Το οστικό κύμα από την έκρηξη και η φωτιά προκάλεσαν πολλές υλικές καταστροφές σε μεγάλη διάμετρο γύρω από τη στήλη, με αποτέλεσμα τον θάνατο 15 εργαζομένων και τον τραυματισμό άλλων 170.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΕΥΝΩΝ

Μετά από το ατύχημα ομάδα από ειδικούς ερευνητές ανέλαβε να αναλύσει τις ακριβείς συνθήκες κάτω από τις οποίες έγινε το ατύχημα. Για την ανάλυση ακολούθησαν μια διαδικασία δυναμικής μοντελοποίησης. Η μοντελοποίηση αυτή έδειξε ότι η προθέρμανση επιταχύνθηκε κατά 2 περίπου λεπτά, και ότι η εξάτμιση στην είσοδο του αναβραστήρα και στο κάτω μέρος του πύργου προκάλεσαν μεταφορά υγρού στη γραμμή αερίων.

Τα κύρια αποτελέσματα που κατέγραψαν οι ερευνητές στην έκθεσή τους είναι:

- Οι υγροί υδρογονάνθρακες καλύψει την στήλη μέχρι το πάνω μέρος της, εκεί όπου βρίσκεται η γραμμή των αερίων, το μέρος δηλαδή στη στήλη όπου από εκεί και πάνω υπάρχουν τα αέρια προϊόντα.
- Υπήρχε μεγάλη εξάτμιση προϊόντος στο κάτω μέρος της στήλης, στους κάτω δίσκους, οι οποίοι βρισκόταν πολύ κοντά στη είσοδο του αναβραστήρα, και αυτό ανέβασε το επίπεδο του υγρού ψηλά μέσα στη στήλη.
- Οι ατμοί που δημιουργήθηκαν στη στήλη επιτάχυναν τη διαδικασία να ανέλθουν οι υγροί υδρογονάνθρακες στη γραμμή των αερίων προϊόντων.
- Το μοντέλο που αναπτύχθηκε για την ανάλυση του ατυχήματος δείχνει ότι η πίεση αιχμής ταιριάζει με αυτή του ατυχήματος. Αλλά μετά από την ανάλυση παρατηρήθηκε ότι το σύστημα έφτασε στην πίεση αιχμής λίγα λεπτά νωρίτερα από ότι έδειξε το μοντέλο. Αυτό πιθανό να οφείλεται σε μικρά λάθη του ροόμετρου που υπήρχε στο σύστημα, ή σε απλουστεύσεις των μετρήσεων
- Δεν υπάρχει καμία ένδειξη ότι το νερό έπαιξε κάποιο ρόλο στο περιστατικό.

Τα κυριότερα συμπεράσματα της τεχνικής ανάλυσης του ατυχήματος είναι:

- Η υψηλή πίεση που παρατηρήθηκε, η οποίο έφτασε τα 63 psig, προκλήθηκε από το υγρό που έφτασε στη στήλη πάνω από την γραμμή των 24΄΄ στη στήλη του διαιρέτη. Αυτό υποστηρίζεται από τα αποτελέσματα του δυναμικού μοντέλου, και επίσης αποδεικνύεται από την απόκριση της ροής στην βαλβίδα εκτόνωσης των προϊόντων κατά τη διάρκεια εκτόνωσης της πίεσης. Καθώς το RV βρισκόταν κοντά στο κάτω μέρος της γραμμής των αερίων, η υψηλή υδροστατική πίεση ήταν αρκετή για να υπερβεί την πίεση του RV.
- Σχεδόν το σύνολο του προϊόντος που απελευθερώθηκε ήταν υπόψυκτο υγρό.
- Το υγρό έφτασε στη γραμμή αερίου από ένα συνδυασμό υπερπλήρωσης της κύριας στήλης με υγρό, και εξάτμισης του προϊόντος που βρισκόταν στη βάση του πύργου.

Η μοντελοποίηση του ατυχήματος έγινε για διάρκεια έξι λεπτών, από τις 13:14 έως τις 13:20 περίπου, δηλαδή από τη στιγμή που άνοιξε η βαλβίδα εκτόνωσης, μέχρι τη στιγμή της έκρηξης.

Υπολογισμοί δείχνουν ότι η απελευθέρωση των υδρογονανθράκων έγινε ένα με ενάμισι λεπτό πριν από τη στιγμή της έκρηξης.

Η ομάδα ερευνητών που κλήθηκε να ερευνήσει το ατύχημα εξέτασε κάποια πιθανά σενάρια για την έκρηξη. Έξι πιθανές αιτίες αξιολογήθηκαν, πέντε τύποι έκρηξης και φυσικές καταστροφές. Τα πρότυπα ζημιών, η ενέργεια της έκρηξης, και οι παρατηρήσεις για την κατάσταση κάθε κομματιού από τον εξοπλισμό ήταν η κύρια βάση για την αξιολόγηση της έκρηξης. Τα σενάρια της έκρηξης βασίστηκαν όλα σε ζημιές που παρατηρήθηκαν εντός της μονάδας.

Τα σενάρια της έκρηξης τα οποία εξετάστηκαν ήταν μια έκρηξη λόγο επιπλέον θερμότητας στον θερμαντήρα, έκρηξη λόγο σύννεφου ατμών, θραύσης δοχείου πίεσης, διαστολή υγρού το οποίο βρισκόταν σε κατάσταση βρασμού και οι ατμοί του προκάλεσαν έκρηξη, και έκρηξη η οποία οφείλεται σε βόμβα. Μια φυσική καταστροφή η οποία θα μπορούσε να προκαλέσει οποιονδήποτε από τους προηγούμενους τύπους έκρηξης εξετάστηκε επίσης. Τελικά, οι ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ήταν η έκρηξη οφειλόταν σε νέφος ατμών, και όλα τα υπόλοιπα σενάρια τα απέρριψαν για τους ακόλουθους λόγους:

Έκρηξη λόγο επιπλέον θερμότητας στον θερμαντήρα

- Η ζημιά στον θερμαντήρα είναι ασυμβίβαστη με την εσωτερικά έκρηξη στο θερμοσίφωνα. Δεν υπήρχε προς τα έξω παραμόρφωση.
- Ανομοιογενές μοτίβο βλαβών στο χώρο του ατυχήματος. Η ζημιά που υπήρχε δεν επικεντρώνεται στο θερμαντήρα, ή είναι μεγαλύτερη από τον θερμαντήρα.
- Η έκρηξη ‘ήταν ανεπαρκής από την άποψη της ενέργειας.
- ΑΠΟΡΡΙΠΤΕΤΑΙ

Έκρηξη λόγο σύννεφου ατμών

- Υπήρχε αποβολή καυσίμων από τον απαερωτή F-20, και παρατηρήθηκε ότι υπήρχαν ατμοί από τα υγρά.
- Η ενέργεια από την έκρηξη ήταν επαρκής
- Το μοτίβο των ζημιών ταιριάζει.
- Η αλληλουχία των γεγονότων ταιριάζει
- ΑΠΟΔΕΚΤΟ

Θραύση δοχείου πίεσης

- Κανένα από τα δοχεία δεν είχαν σπάσει.
- Το μοτίβο της ζημιάς δεν συμπίπτει με αυτό το σενάριο.
- Η αλληλουχία των γεγονότων για αυτό το σενάριο δεν συνδυάζεται με την αλληλουχία των γεγονότων.
- ΑΠΟΡΡΙΠΤΕΤΑΙ

Διαστολή υγρών

- Δεν υπήρχε έκρηξη κάποιου δοχείου.
- Δεν εντοπίζεται βλάβη που να οφείλεται σε διαστολή υγρού, άρα το μοτίβο της ζημιάς από αυτό το σενάριο δεν συμπίπτει με τα αποτελέσματα των ερευνών.
- Η αλληλουχία των γεγονότων δεν συμπίπτει. Δεν υπήρχε κάποια φωτιά ή κάποια άλλη συνθήκη για να προκαλέσει διαστολή πριν την έκρηξη.
- ΑΠΟΡΡΙΠΤΕΤΑΙ

Βόμβα

- Η αλληλουχία των γεγονότων για αυτό το σενάριο δεν συμπίπτει με την πραγματική αλληλουχία γεγονότων.
- Το μοτίβο για τις ζημιές από αυτό το σενάριο δεν συμπίπτει με αυτό που υπήρχε στην πραγματικότητα. Δεν υπήρχε ζώνη με τόσο σοβαρές καταστροφές που θα μπορούσε να δικαιολογήσει μια τέτοια ενέργεια.
- ΑΠΟΡΡΙΠΤΕΤΑΙ

Φυσική καταστροφή (που προκάλεσε απώλεια της συγκράτησης)

- Σεισμός : δεν υπήρχαν αναφορές για σεισμό σε καμία από τις κοντινές εγκαταστάσεις ή κοινότητες.
- Κεραυνός : δεν υπήρχαν καταιγίδες ή αναφορές για κεραυνούς εκείνη την ημέρα. Οι καιρικές συνθήκες ήταν ήπιες, και η ταχύτητα των ανέμων ήταν πολύ χαμηλή.
- ΑΠΟΡΡΙΠΤΕΤΑΙ

Το τελικό σενάριο για την έκρηξη λόγο των αερίων μελετήθηκε διεξοδικά από τους ερευνητές. Εξετάστηκαν οι πιθανές πηγές ανάφλεξης, οι οξειδωτικές ουσίες, και τα διάφορα καύσιμα που υπήρχαν. Επιβεβαιώθηκε ότι η απελευθέρωση έγινε από τον απαερωτή F-20 και το σύννεφο ατμού σχηματίστηκε από την εξάτμιση του υγρού λόγο υψηλών θερμοκρασιών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΚΚΙΝΗΣΗΣ

Την ημέρα του ατυχήματος ο χειριστής ο οποίος είναι υπεύθυνος και για την καταγραφή όλων των γεγονότων που έχουν να κάνουν με τη διαδικασία, αναφέρει στα βιβλία της εταιρίας όλα τα γεγονότα που έχουν να κάνουν με την διαδικασία εκκίνησης, σε γενικές γραμμές αλλά δεν κάνει καμία αναφορά για την στιγμή που έγινε κάθε ενέργεια. Σε πολλές από τις διεργασίες που έγιναν τα όργανα που έπρεπε να χρησιμοποιηθούν ήταν εκτός λειτουργίας, ήταν στη διαδικασία συντήρησης ή δεν μπορούσαν να το χρησιμοποιήσουν. Ακόμα κάποιες άλλες ενέργειες, όπως για παράδειγμα ο έλεγχος των οργάνων της μονάδας, υπογράφηκαν από τον υπεύθυνο χειριστή της βάρδιας, παρ' όλου που ο έλεγχός τους δεν είχε ολοκληρωθεί όταν ξεκίνησε η διαδικασία επεξεργασίας στο διαχωριστή. Επίσης ο μόνος συναγερμός που είχε τοποθετηθεί για κρίσιμες καταστάσεις είχε να ελεγχθεί από το Φεβρουάριο του 2005, δηλαδή περίπου ένα χρόνο πριν συμβεί το ατύχημα.

Ορισμένα από τα βήματα που έπρεπε να γίνουν δεν έγιναν, όπως:

- Διεξαγωγή μιας διαδικασίας προ-εκκίνησης, δηλαδή προσομοίωση της διαδικασίας εκκίνησης με όλους τους εργαζόμενους στη μονάδα και τον εξοπλισμό.
- Άνοιγμα της βαλβίδας που μπλοκάρει το φυσικό αέριο στο βόρειο τμήμα της στήλης, και πίεση του φυσικού αερίου στο πάνω τμήμα.
- Στον υπολογιστή, να τεθεί P5002 στο αυτόματο και να ανοίξει η βαλβίδα στο 100%. (Αυτό θα βοηθήσει στην άρση των μη συμπυκνώσιμων αερίων κατά την εκκίνηση, το H5002 ελέγχει τη βαλβίδα στο 3 # σύστημα εξαερισμού, όχι P5002).
- Καθώς το ποσοστό ανέρχεται στο F-1102 στο reflex drum, κλείνουν οι αντλίες J-1102 και J-1102A.
- Από ένα σημείο στη διαδικασία και μετά δεν υπάρχει κάτι καταγεγραμμένο για άλλα βήματα τα οποία δεν έγιναν, και θα έπρεπε να έχουν γίνει, πιθανό γιατί συνέβη το ατύχημα.

Βήματα κλειδιά για μια φυσιολογική διαδικασία εκκίνησης της μονάδας μετά από μια διαδικασία συντήρησης είναι τα ακόλουθα:

Προπαρασκευαστικές Δραστηριότητες

- Επισκόπηση διαδικασίας εκκίνησης μαζί με τους εργαζόμενους στη μονάδα.
- Έλεγχος οργάνων, συναγερμών.
- Έλεγχος βοηθητικών μεγεθών (όπως ατμός, ηλεκτρική ενέργεια, νερό ψύξεως), αν ο έλεγχος θωρηθεί απαραίτητος.
- Έλεγχος στεγανότητας χρησιμοποιώντας πίεση αζώτου.
- Απομάκρυνση αέρα χρησιμοποιώντας πίεση αζώτου.
- Απομάκρυνση νερού από άνοιγμα που βρίσκεται στο κάτω μέρος της στήλης
- Απομάκρυνση απομόνωσης (Remove isolation blinds)

Εκκίνηση

- Έλεγχος μονάδας

- Απομάκρυνση του αζώτου με πτώση πίεσης στα 1 - 2 psig.
- το άνοιγμα εξαερισμού και η βαλβίδα ελέγχου πίεση στη γραμμή 3 # ανοιχτό με manual.
- Είσοδος του πετρελαιοειδούς στο charge drum.
- Κλείσιμο των σωλήνων των προϊόντων στη στήλη. (pack the tower feed pumps).
- Το charge drum σε επίπεδο 50%.
- Το επίπεδο στη στήλη να φτάσει στο 50%.
- Κλείσιμο των σωλήνων κυκλοφορίας στον αναβραστήρα (Pack the Reboiler circulation pumps)
- 50% επίπεδο στον πύργο.
- Ρύθμιση του επιπέδου στη στήλη στο αυτόματο, με τη ρύθμιση να είναι στο 50%
- Ρύθμιση θερμοκρασίας του κλιβάνου του αναβραστήρα στο αυτόματο.
- Μέγιστη θερμοκρασία 275 ° F με αύξηση έως 50 ° F ανά ώρα.
- Εισαγωγή ορίου στο τύμπανο παλινδρόμησης.
- Κλείσιμο αντλιών παλινδρόμησης.
- Άνοιγμα ροής παλινδρόμησης όταν το επίπεδο είναι στο 50%.
- Κλείσιμο της 3# βαλβίδας ελέγχου της πίεσης με εξαερισμό όταν το τύμπανο παλινδρόμησης βρίσκεται στο χαμηλό επίπεδο συναγερμού
- Adjust flows/temps/etc. based on sample/analyzer results

Παρόλο που πολλά από τα πάνω βήματα δεν ακολουθήθηκαν σωστά κατά τη διαδικασία εκκίνησης την ημέρα του ατυχήματος, όπως ο έλεγχος των οργάνων και της πίεσης, το σημαντικότερο λάθος που οδήγηση στην υπερπλήρωση της στήλης ότι στο πετρελαιοειδές θα έπρεπε να είχε ξεκινήσει νωρίτερα η διαδικασία εκκίνησης, πριν αρχίσει η θέρμανση στον πύργο.

Με εξαίρεση τις προπαρασκευαστικές δραστηριότητες που πρέπει να γίνουν, η διαδικασία εκκίνησης πρέπει να έχει ολοκληρωθεί μέσα σε 12 ώρες, όσο κρατάει μια βάρδια, για να ελαχιστοποιηθεί η πιθανότητα λάθους από την σκοπιά της μη πλήρους ενημέρωσης. . Την ημέρα του ατυχήματος η διαδικασία ξεκίνησε τη νυχτερινή βάρδια και ολοκληρώθηκε στην πρωινή βάρδια.

Υπάρχουν δύο στάνταρ διαδικασίες χειρισμού για την εκκίνησης της μονάδας με τη στήλη διαχωρισμού:

- Εκκίνηση ακλουθώντας ένα TAR (SOP 201.0).
- Κανονική διαδικασία εκκίνησης που ακολουθεί μια προσωρινή διακοπή, δηλαδή συνήθως εφαρμόζεται μετά από μια προσωρινή διακοπή (SOP 201.1).

Την ημέρα του ατυχήματος η σωστή διαδικασία εκκίνησης ήταν η 201.0, διότι είχε γίνει έλεγχος στη στήλη με πίεση αζώτου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ

Για την ανάλυση του ατυχήματος θα θεωρήσουμε ως κορυφαίο γεγονός την έκρηξη που έγινε, η οποία προκλήθηκε από ανάφλεξη των ατμών υδρογονανθράκων που εκλύθηκαν από την στήλη διαχωρισμού. Οι υδρογονάνθρακες διέφυγαν από τη στήλη όταν οι βαλβίδα εκτόνωσης αερίων στον διαχωριστή άνοιξε λόγω απότομης αύξησης της πίεσης που στις 13:13 υπερέβη το όριο πίεσης που μπορούσε να δεχτεί η βαλβίδα (set point). Οι αέριοι υδρογονάνθρακες διέφυγαν από τη στήλη (υπό μορφή νέφους), και λόγω του ότι λίγο πιο κάτω από το σημείου που βρισκόταν η στήλη υπήρχε ένα αυτοκίνητο, που ο οδηγός του προσπαθούσε να το βάλει μπροστά, δημιουργήθηκε σπινθήρας. Αυτό οδήγησε στην ανάφλεξη του αερίου νέφους των υδρογονανθράκων και στη συνέχεια στην έκρηξη της στήλης.

Σύμφωνα με έρευνες που έγιναν μετά το ατύχημα υπάρχουν τέσσερις πιθανές αιτίες δημιουργίας της υπερπίεσης :

- Δημιουργήθηκαν ατμοί υδρογονανθράκων λόγω υψηλής θερμικής ενέργειας που μεταδόθηκε (εισέρρευσε) στο προϊόν στη στήλη διαχωρισμού, σε συνδυασμό με υψηλή στάθμη υγρού προϊόντος στη στήλη.
- Παράχθηκε ατμός στη στήλη από την παρουσία νερού σε υψηλή θερμοκρασία
- Δημιουργία υπερπίεσης λόγω παρουσίας αζώτου στη στήλη, το οποίο είχε παραμείνει εκεί από παλιότερη δοκιμή στεγανότητας.
- Εισροή ακατάλληλου προϊόντος στη μονάδα ή εισαγωγή με κάποιο τρόπο ξένης ουσίας στο προϊόν.

Φυσικά σαν αιτία δημιουργίας της υπερπίεσης θα πρέπει να θεωρήσουμε και οποιονδήποτε συνδυασμό των παραπάνω αιτιών.

Πιο αναλυτικά στοιχεία για κάθε μια από τις παραπάνω αιτίες παρουσιάζονται παρακάτω:

Ατμοί Υδρογονανθράκων:
Σχετικά με αυτό το σενάριο, η αρχική υπόθεση που είχε κάνει η ομάδα ερευνών, που κλίθηκε να εξετάσει τις συνθήκες κάτω από τις οποίες έγινε το ατύχημα, και τους λόγους που οδήγησαν σε αυτό, άλλαξε καθώς έκαναν περισσότερη ανάλυση στο ατύχημα. Σαν τελική εκτίμηση θεώρησαν ότι υπήρξε ένας συνδυασμός που αποτελούνταν και από υψηλή πίεση του αερίου, αλλά και από υγρό προϊόν το οποίο είχε υπερβεί το όριο (στάθμη) μέσα στη στήλη, δηλαδή υπήρχε περισσότερο υγρό μέσα στη στήλη διαχωρισμού από αυτό που θα έπρεπε. Μετά από μια δυναμική μοντελοποίηση της διαδικασίας διαχωρισμού η ομάδα ερευνών κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η καθυστερημένη παρέμβαση των χειριστών για να ξεκινήσει το προϊόν να ρέει προς την έξοδο, δηλαδή να ανοίξουν την βαλβίδα εκτόνωσης, επιδείνωσε την κατάσταση. Η ταχεία ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ της βάσης του πύργου και του εισερχόμενοι προϊόντος είχε ως αποτέλεσμα την παραγωγή ατμού γύρω από την είσοδο του πύργου. Όταν η 8΄΄ βαλβίδα εξαέρωσης άνοιξε για τη μείωση της πίεσης στην στήλη διαχωρισμού, η υψηλή θερμοκρασία στην έξοδο του

αναβραστήρας και στο κάτω μέρος του πύργου ήταν η αιτία που προκάλεσε σημαντική εξάτμιση στο προϊόν στο πάνω μέρος της στήλης, με αποτέλεσμα την παραγωγή υδρογονανθράκων παραπάνω από το φυσιολογικό . Ο συνδυασμός των παραπάνω γεγονότων τελικά οδήγησε στην εισροή υγρού στην γραμμή αερίων του πύργου, δηλαδή το υγρό έφτασε μέχρι το σημείο στον πύργο όπου από εκεί και πάνω ήταν το αέριο προϊόν. Η πίεση από τους ατμούς των υδρογονανθράκων σε συνδυασμό με την υδροστατική πίεση του υγρού στις σωληνώσεις οδήγησε στην υπερβολική αύξηση της πίεσης.

Παραγωγή ατμού από νερό στη στήλη:
Η παρουσία νερού κατά την διαδικασία εκκίνησης της στήλης θα μπορούσε να είχε δημιουργήσει ατμούς, λόγω του ότι υπήρχε αύξηση της θερμοκρασίας, το οποίο θα είχε σαν αποτέλεσμα την ραγδαία αύξηση της πίεσης. Δείγματα προϊόντος συλλέχθηκαν από τη βάση του διαχωριστή, μετά την έκρηξη, και έδειξαν ότι υπήρχαν μικρές ποσότητες από ένα διαυγές υγρό σε σημεία του δείγματος, αλλά δεν είναι σαφές αν το υγρό είναι νερό ή υδρογονάνθρακες.

Ακόμα ορισμένη ποσότητα νερού θα μπορούσε να είχε συσσωρευτεί στον πύργο, σε ορισμένα καπάκια σφράγισης (seal pans), ιδιαίτερα στο επάνω μέρος, στους επάνω δίσκους. Όμως οι ποσότητες αυτές είναι πολύ μικρές, και δεν θα μπορούσαν να είχαν προκαλέσε4ι τέτοιο πρόβλημα.

Η απουσία εσωτερικών βλαβών στους κλασματικούς δίσκους στον πύργο δείχνει ότι το συμβάν επήλθε σταδιακά. Αν το νερό ήταν παρόν σε σημαντικές ποσότητες, η μετάβαση σε ατμό θα είχε συμβεί ξαφνικά και θα μπορούσε πιθανώς να οδηγήσει στο να αστοχήσουν οι δίσκοι οι οποίοι ελέγχουν το επίπεδο του υγρού στη στήλη, να στραβώσουν, ιδίως όταν τα τμήματα δίσκου εφάπτονται με τα τοιχώματα του πύργου, κάτι το οποίο δεν υπήρχε στη δική μας περίπτωση.

Άζωτο:
Η στήλη διαχωρισμού είχε δοκιμαστεί με άζωτο, για να γίνει έλεγχος για την στεγανότητα της. Ορισμένη ποσότητα αζώτου θα μπορούσε να είχε παραμείνει στη στήλη μετά τον έλεγχο, και να είναι η αιτία πρόκλησης επιπλέον πίεσης, δίοτι η παρουσία επιπλέον αζώτου, καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία, θα είχε εμποδίσει τους ατμούς να φτάσουν στην κρύα περιοχή της στήλης που ήταν πιο ψηλά. Έτσι η πίεση στη στήλη θα αυξανόταν.

Μετά τη μοντελοποίηση της διαδικασίας με δυναμικό μοντέλο επιβεβαιώθηκε ότι ακόμα και να υπήρχε ποσότητα αζώτου στη στήλη δεν θα μπορούσε να επηρεάσει σε τέτοιο βαθμό τη διαδικασία ώστε να προκαλέσει τόσο μεγάλη αύξηση της πίεσης, η οποία να οδηγήσει σε άνοιγμα της βαλβίδας εκτόνωσης αερίων.

Ακατάλληλο Προϊόν :
Η υψηλή πίεση στην στήλη μπορεί να ήταν αποτέλεσμα εισροής ενός μη συνηθισμένου κλάσματος προϊόντος υδρογονανθράκων, ή το ίδιο προϊόν να περιείχε ξένες ουσίες, δηλαδή θα μπορούσε είτε το πετρελαιοειδές το οποίο μπήκε στη στήλη για επεξεργασία να μην ήταν το ίδιο όπως άλλες φορές, λόγο κακής διύλισης του, είτε να περιείχε ξένες ουσίες οι οποίες δεν έγιναν αντιληπτές κατά τον έλεγχο του προϊόντος. Από έρευνες που έγιναν για το προϊόν που υπήρχε μέσα στη στήλη

διαχωρισμού διαπιστώθηκε ότι το προϊόν δεν περιείχε εκείνη την ημέρα τίποτα το ασυνήθιστο ή το διαφορετικό από άλλες φορές.

Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα η έκρηξη ήταν αποτέλεσμα της έκλυσης ατμών υδρογονανθράκων, οι οποίοι εκλύθηκαν από τη στήλη διαχωρισμού όταν η βαλβίδα εκτόνωσης αερίων άνοιξε, λόγω της απότομης αύξησης της πίεσης μέσα στη στήλη, η οποία περίπου στις 13:13 υπερέβη το όριο της βαλβίδα.
Από τις παραπάνω τέσσερις πιθανές αιτίες η πλέον επικρατέστερη μετά από έρευνες είναι η πρώτη, διότι όλες οι άλλες προσεγγίσεις δεν πληρούν τα απαραίτητα κριτήρια για να είναι δυνατό να προκαλέσουν τόσο μεγάλη αύξηση της πίεσης. . Άρα με δεδομένο πλέον ότι η υπήρχε εισροή θερμότητας στη στήλη διαχωρισμού περισσότερη από ότι θα έπρεπε, θα πρέπει να εξετάσουμε τις πιθανές πηγές εισροής θερμότητας.

Υπάρχουν 3 πηγές εισροής θερμότητας στη στήλη διαχωρισμού:

- μέσω του αναβραστήρα της στήλης
- μέσω της θέρμανσης από τους εναλλάκτες προθέρμανσης του ρεύματος τροφοδοσίας
- προθέρμανση της τροφοδοσίας από σερπαντίνα (coils) συναγωγής στον λέβητα του αναβραστήρα.

Δηλαδή,

- ο πρώτος λόγος οφείλεται στην **επιπλέον θερμότητα που έχει το ρεύμα που έρχεται από τον αναβραστήρα στο δοχείο διαχωρισμού,**
- ο δεύτερος οφείλεται στην **επιπλέον θερμότητα που έχει η τροφοδοσία του δοχείου λόγω απορρόφησης επιπλέον θερμότητας από τους εναλλάκτες προθέρμανσης της τροφοδοσίας**
- ο τρίτος οφείλεται στην **επιπλέον θερμότητα που έχει πάλι η τροφοδοσία λόγω απορρόφησης επιπλέον θερμότητας από την προθέρμανση που υπόκειται η τροφοδοσία από τον αναβραστήρα.**

Συμφωνά με τους αναλυτές του ατυχήματος ήταν πολύ δύσκολο να διαπιστωθούν οι ακριβείς αιτίες που οδήγησαν στο ατύχημα. Για την ανάλυση του ατυχήματος οι ερευνητές ακολούθησαν μια δυναμική μοντελοποίηση , τα αποτελέσματα της οποίας δείχνουν ότι η προθέρμανση του προϊόντος επιταχύνθηκε κατά 2 λεπτά, και η εξάτμιση στην έξοδο του αναβραστήρα και στη βάση του πύργου τελικά οδήγησε στο να υπάρχει υγρό προϊόν πάνω από τη στάθμη που θα έπρεπε να βρίσκεται και στην περιοχή του αερίου.

Η επικρατέστερη άποψη είναι ότι θερμότητα προσδόθηκε στο προϊόν λόγω της επιπλέον προθέρμανσής του από τους εναλλάκτες θερμότητας στην προθέρμανση του υγρού, δηλαδή το προϊόν εισήχθη στη στήλη διαχωρισμού με μεγαλύτερη θερμοκρασία από την αναμενόμενη. Η εισαγωγή του προϊόντος έγινε μέσω επιπλέον θερμότητα που έχει πάλι η τροφοδοσία λόγω απορρόφησης επιπλέον θερμότητας από την προθέρμανση που υπόκειται η τροφοδοσία από τους εναλλάκτες. Ακόμα στοιχεία δείχνουν ότι το προϊόν μέσα στη στήλη ήταν περισσότερο από αυτό που θα έπρεπε υπό κανονικές συνθήκες να είναι, δηλαδή εισήχθη περισσότερο υγρό προϊόν στη στήλη. Αυτό σε συνδυασμό με την υψηλή θερμοκρασία οδήγησε στην απότομη

αύξηση της πίεσης, που οδήγησε με την σειρά της στο ξαφνικό άνοιγμα της βαλβίδας εκτόνωσης αερίων, και στη συνέχεια στη διαρροή και την έκρηξη.

<u>Ισοζύγιο θερμότητας γύρω από τη στήλη</u>

Το σύστημα που έχουμε να μελετήσουμε, δηλαδή την στήλη διαχωρισμού, μπορούμε να τον θεωρήσουμε ως ένα κλειστό σύστημα. Από την Αρχή Διατήρησης της Μάζας και από την Αρχή Διατήρησης της Ενέργειας για ένα τέτοιο κλειστό σύστημα γνωρίζουμε ότι ισχύει :

ΕΙΣΡΟΗ + ΠΑΡΑΓΩΓΗ = ΕΚΡΟΗ + ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗ

Η παραπάνω έκφραση μπορεί να εφαρμοστεί σαν ισοζύγιο μάζας ή θερμότητας σε όλη τη στήλη (σαν ολικό ισοζύγιο) ή σε ένα μέρος της, για παράδειγμα υγρή ή αέρια φάση (ολικό ισοζύγιο φάσης). Επίσης μπορεί να εφαρμοστεί σαν ισοζύγιο μάζας σε ένα συστατικό (ισοζύγιο στοιχείου ή υλικού). Σαν γενικό ισοζύγιο υποδεικνύει ότι η μάζα του υλικού το οποίο εισέρχεται μέσα σε ένα κλειστό σύστημα αυξανόμενο κατά τη μάζα του ίδιου του υλικού που παράγεται σε αυτό το σύστημα ισούται πάντοτε με τη μάζα του υλικού που εξέρχεται από το σύστημα αυξανόμενη κατά τη μάζα του ίδιου του υλικού που συσσωρεύεται στο σύστημα για την ίδια χρονική περίοδο που εξετάζονται οι ροές (εισροή, εκροή ρυθμός παραγωγής, ρυθμός συσσώρευσης). Το ίδιο ισχύει και για τη θερμότητα λαμβάνοντας υπόψη και τις ενθαλπίες των ρευμάτων εισροής και εκροής.

Αν εφαρμόσουμε την αρχή αυτή στη μάζα των υδρογονανθράκων στη δεξαμενή και ειδικότερα στην αέρια φάση, προκύπτει το Ολικό Ισοζύγιο μάζας αερίων υδρογονανθράκων (g) στη στήλη:

$$\dot{m}_{fg} + \dot{m}_{\Pr g} = \dot{m}_{eg} + \frac{\partial m_g}{\partial t}$$

όπου:

$\dot{m}_{fg}$ είναι ο ρυθμός εισροής αερίων υδρογονανθράκων στην στήλη =0

$\dot{m}_{\Pr g}$ είναι ο ρυθμός παραγωγής αερίου υδρογονανθράκων εντός της στήλης = ρυθμός εξάτμισης της υγρής φάσης

$\dot{m}_{eg}$ είναι ο ρυθμός εκροής αερίου υδρογονανθράκων από την στήλη

$\frac{\partial m_g}{\partial t}$ είναι ο ρυθμός συσσώρευσης αερίου υδρογονανθράκων εντός της στήλης

Ο ρυθμός παραγωγής αερίων υδρογονανθράκων εντός της στήλης $\dot{m}_{\Pr g}$, είναι ίσος με το ρυθμό εξάτμισης του υγρού που βρίσκεται σε ισορροπία με το αέριο. Ο ρυθμός

αυτός προκύπτει από το ρυθμό εισροής θερμότητας διαιρεμένης με τη λανθάνουσα θερμότητα του πετρελαιοειδούς : $\frac{\dot{q}_{evap}}{\lambda}$, ή

$$\dot{m}_{\Pr g} = \dot{m}_{evap} = \frac{\dot{q}_{evap}}{\lambda}$$

Ο ρυθμός εκροής αερίου από την αέρια φάση $\dot{m}_{eg}$, θεωρείται ίσος με το ρυθμός ανακούφισης (relief) της δεξαμενής μέσω των ασφαλιστικών και ανακουφιστικών βαλβίδων :

$$\dot{m}_{eg} = \dot{m}_{relief}$$

Ο ρυθμός συσσώρευσης αερίων υδρογονανθράκων εντός της στήλης, κάνοντας την παραδοχή ότι το νέφος αερίων συμπεριφέρεται σαν τέλειο αέριο μπορεί να προσεγγιστεί από την έκφραση:

$$\frac{\partial m_g}{\partial t} = \frac{M\ \partial(P_g V_g / T_g)}{R\ \partial t}$$

Όπου, M το μοριακό βάρος των υδρογονανθράκων, P_g η πίεση του αερίου στη δεξαμενή, V_g ο όγκος της αέριας φάσης , και T_g η απόλυτη θερμοκρασία του αερίου στη δεξαμενή.

Όταν εξετάζεται το ισοζύγιο για σύντομα χρονικά διαστήματα, κατά τα οποία λαμβάνουν χώρα και οι απότομες μεταβολές στα καταστατικά μεγέθη, είναι αποδεκτό να κάνουμε τη παραδοχή ότι ο όγκος και η θερμοκρασία του αερίου παραμένουν σταθερά για το μικρό αυτό διάστημα (Δt):

V_g = const, T_g = const. , κατά συνέπεια,

$$\frac{\partial m_g}{\partial t} = \frac{M V_g\ \partial P_g}{R T_g\ \partial t}$$

Αν αντικαταστήσουμε τα παραπάνω μεγέθη στο ισοζύγιο μάζας του αερίου, προκύπτει ότι:

$$\dot{m}_{evap} = \dot{m}_{relief} + \frac{M V_g\ \partial P_g}{R T_g\ \partial t}$$

και συνεπώς, καταδεικνύεται ότι κάθε μεταβολή της πίεσης της δεξαμενής ελέγχεται από το ρυθμό εισροής θερμότητας στη στήλη $\frac{\dot{q}_{evap}}{\lambda}$ και τη ανακουφιστική ικανότητα $\dot{m}_{relief}$ που έχει προβλέψει ο σχεδιασμός της στήλης:

$$\boxed{\frac{\partial P_g}{\partial t} = \frac{R T_g}{M V_g}\left(\frac{\dot{q}_{evap}}{\lambda} - \dot{m}_{relief}\right)}$$

Σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας (steady state) η πίεση παραμένει σταθερή $\frac{\partial P_g}{\partial t} =$ 0 και συνεπώς ο ρυθμός ανακούφισης υπολογίζεται από το πολύ μικρό ρυθμό εισροής θερμότητας στη στήλη (από τη μόνωση ή τη τροφοδοσία) , $\dot{m}_{relief} = \frac{\dot{q}_{evap}}{\lambda}$.

Στη περίπτωση του ατυχήματος που μελετάμε, η εισροή θερμού πετρελαιοειδούς από τη τροφοδοσία προκάλεσε μεγάλες ποσότητες αερίων υδρογονανθράκων λόγω εξάτμισης $\dot{m}_{evap} = \frac{\dot{q}_{evap}}{\lambda}$, ενώ η ανακουφιστική ικανότητα της δεξαμενής $\dot{m}_{relief}$ δεν ήταν ικανή να διατηρήσει την αύξηση της πίεσης $\frac{\partial P_g}{\partial t}$ σε χαμηλά επίπεδα , με αποτέλεσμα να υπερβεί η πίεση το όριο θραύσης της βαλβίδας ανακούφισης, να ανοίξει απότομα και να έχουμε διαρροή νέφους αερίων υδρογονανθράκων.

Όσων αφορά την ενθαλπία για τη διαδικασία που έχουμε ξέρουμε ότι υπολογίζεται από τον τύπο :

$$\Delta \mathrm{H} = \dot{m}_f c_p \Delta T$$

Άρα από τον πάνω τύπο βλέπουμε ότι για την ίδια παροχή αν αλλάξει το ποσό θερμότητας που δίνουμε στο σύστημα, δηλαδή αν αλλάξει το ΔΤ τότε θα αλλάξει και η συνολική ενθαλπία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ

Σε κάθε ένα από τα αυτόματα συστήματα τα οποία υπήρχαν στη στήλη διαχωρισμού στη μονάδα που μελετάμε υπήρχαν λειτουργίες τις οποίες χειρίζονταν χειριστές ανά βάρδιες. Για ορισμένες από τις ενέργειες που έπρεπε να πραγματοποιηθούν τις αποφάσεις έπαιρναν οι χειριστές, δηλαδή πέρα από την κανονική διαδικασία που έπρεπε να ακολουθήσουν, και που υπήρχε στα εγχειρίδια της εργασίας, υπήρχαν κάποιες ρυθμίσεις στα συστήματα αυτομάτου ελέγχου για τα οποία τις αποφάσεις για την ρύθμιση τους έπρεπε να πάρουν οι ίδιοι οι χειριστές. Παρακάτω υπάρχει μια ανάλυση για την διαδικασία που ακολούθησαν οι χειριστές την ημέρα του ατυχήματος.

Ο υπεύθυνος χειριστής της πρωινής βάρδιας διέθετε όργανα και συναγερμούς για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των κλασμάτων του πετρελαίου μέσα στη στήλη, δηλαδή σε ποιο ύψος βρισκόταν, πόση ήταν η ποσότητα του μέσα στη στήλη διαχωρισμού, πόση ήταν η πίεση η θερμοκρασία και διάφορες άλλες παράμετροι. Ακόμα διέθετε όργανα για να ελέγχει τη θερμοκρασία, την πίεση και τη ροή.

Από την έρευνα που έγινε μετά το ατύχημα διαπιστώθηκε ότι δύο από τα όργανα τα οποία βρισκόταν στο δωμάτιο ελέγχου δεν ανέφεραν ακριβή δεδομένα για τη διαδικασία, δηλαδή τα δεδομένα που έδειχναν για την διαδικασία απείχαν σε σχέση με την πραγματική διαδικασία που γινόταν μέσα στη στήλη διαχωρισμού, και πολλά άλλα όργανα επαλήθευσαν ότι οι συνθήκες λειτουργίας της μονάδας την ημέρα του ατυχήματος αποκλίνουν από τις προβλεπόμενες κατά τη διαδικασία εκκίνησης.

Ο υπεύθυνος χειριστής της πρωινής βάρδιας, όπως αναφέρεται στις εκθέσεις μετά το ατύχημα είχε παρακολουθήσει τη βασική εκπαίδευση για τον χειρισμό της στήλης διαχωρισμού και είχε εκπαιδευτεί και στην αντιμετώπιση προβλημάτων. Σε αυτή την εκπαίδευση δινόταν έμφαση στην σημαντικότητα του να δίνεται προσοχή σε όλες τις παραμέτρους που έχουν να κάνουν με τη διαδικασία, όπως ροή , πίεση, θερμοκρασία, ποσότητα υγρού στη στήλη, έμμεσα μεγέθη, όπως υλικά που χρησιμοποιούνται και ισοζύγια μάζας, για να διασφαλιστεί η κατανόηση των ακριβών συνθηκών κάτω από τις οποίες γίνεται η διαδικασία, και να είναι οι χειριστές σε θέση ανά πάσα στιγμή να διακρίνουν αν κάποιο όργανο δίνει παραπλανητικές ενδείξεις σχετικά με τις συνθήκες που επικρατούν τη δεδομένη στιγμή στη διαδικασία.

Ο χειριστής της πρωινής βάρδιας είχε κάνει αλλαγή εκείνη την ημέρα με τον αντίστοιχο υπεύθυνο της βραδινής, ο οποίος χειριστής της βραδινής βάρδιας δεν είχε μέσα στις αρμοδιότητές του να ξεκινάει τη διαδικασία εισροής του υγρού στη στήλη διαχωρισμού, διότι η διαδικασία αυτή πρέπει να πραγματοποιηθεί μέσα στα πλαίσια μιας δωδεκάωρης βάρδιας, με ένα χειριστή να είναι υπεύθυνος για τη διαδικασία. Αυτός ο χειριστής, ο οποίος τελικά ξεκίνησε τη διαδικασία εισροής του προϊόντος στη στήλη διαχωρισμού, δηλαδή ο υπεύθυνος χειριστής της βραδινής βάρδιας και που ήταν ενήμερος ότι κατά τη διάρκεια της βραδινής βάρδιας είχε χτυπήσει ο προειδοποιητικός συναγερμός, έφυγε από την εγκατάσταση πριν έρθει ο χειριστής της

πρωινής βάρδιας, και έτσι ο χειριστής δεν είχε λάβει την απαραίτητη ενημέρωση για τα προβλήματα που αντιμετωπίστηκαν κατά τη διάρκεια της νυχτερινής βάρδιας. Ακόμα στα βιβλία όπου καταγράφονται όλες οι διαδικασίες δεν υπήρχε κάτι συμπληρωμένο από τον χειριστή της βραδινής βάρδιας, που να υποδηλώνει ότι υπήρξε κάποιο τεχνικό πρόβλημα, ή κάποιο πρόβλημα στον εξοπλισμό της στήλης διαχωρισμού.

Στο χώρο όπου βρισκόταν η κεντρική μονάδα για την εγκατάσταση, στο control room, υπήρχαν ειδικά όργανα και πίνακες για τον έλεγχο της στήλης, και την παρακολούθηση της διαδικασίας. Μέσα στη στήλη διαχωρισμού υπάρχουν διάφορα όργανα μετρήσεων για να ελέγχουν τη στάθμη του υγρού και την θερμοκρασία που είχε σε κάθε χρονική στιγμή, και το εύρος των τιμών μέσα στα οποία λαμβάνει χώρα η διαδικασία, καθώς και αναμεταδότες για να στέλνουν το σήμα των μετρήσεων στο control room. Το αντίστοιχο όργανο μέτρησης, δηλαδή ο δείκτης της στάθμης, που είναι τοποθετημένος έτσι ώστε να δίνει ακριβή δεδομένα για τη στάθμη του υγρού στη στήλη διαχωρισμού, αναφέρει ακριβή δεδομένα και δίνει ακριβή σήματα για τη διαδικασία, όπως πτώσεις και αυξήσεις ξανά της στάθμης, όταν το κύκλωμα του αναβραστήρα είναι γεμάτο και έχουμε κανονική εκτέλεση της διαδικασίας. Αντίστοιχα δεδομένα είχαμε και για την ημέρα που έγινε το ατύχημα.

Συγκεκριμένα για την ημέρα του ατυχήματος, όταν ο χειριστής της βραδινής βάρδιας είδε ότι ο δείκτης για την ένδειξη της ποσότητας του υγρού στη στήλη έφτασε στο 100% σταμάτησε να γεμίζει την στήλη, και σταμάτησε το υγρό να κυκλοφορεί στον αναβραστήρα. Ο δείκτης στάθμης έδειχνε 100% όταν ξεκίνησε η πρωινή βάρδια, και 97% στις 09:30, όταν ο χειριστής της πρωινής βάρδιας επανέλαβε την εκκίνηση στον διαχωριστή. Παρόλο που στη διαδικασία εκκίνησης κανονικά πρέπει το ύψος του υγρού στη στήλη να είναι στο 50%, ο χειριστής της πρωινής βάρδιας συνέχισε να γεμίζει τη στήλη, με ποσότητα 20000 BPD (barrels per day) και δεν πήρε κανένα μέτρο για να αποβάλει υγρό από τη στήλη μέχρι τις 12:41. Η διαδικασία εκκίνησης απαιτεί η βαλβίδα ελέγχου στο επίπεδο της βάσης της στήλης να είναι σε αυτόματη λειτουργία στο 50% στα πρώτα στάδια της εκκίνησης.

Το όργανο που βρισκόταν στη στήλη και κατέγραφε δεδομένα σχετικά με την ποσότητα του υγρού στη στήλη, δηλαδή ο δείκτης στάθμης είναι σχεδιασμένος για να δείχνει ποσότητες υγρού μέχρι το 100% της στήλης. Τα όργανα ανάγνωσης της στήλης λειτουργούν καθώς καταγράφουν τις αλλαγές που παρατηρούνται στη στάθμη από τη δύναμη που ασκεί το υγρό όταν μπαίνει ή αφαιρείται από τη στήλη. Οι μετρήσεις των οργάνων δημιουργούνται από ένα φλοτέρ που υπάρχει μέσα στη στήλη και ασκεί δύναμη καθώς υγρό προστίθεται ή αφαιρείται από τη στήλη. Εκτός από αυτή τη δύναμη καμία επιπλέον δύναμη δεν ασκείται όταν ο πύργος έχει γεμίσει τόσο ώστε να υπάρχει η συνιστώμενη ποσότητα του υγρού στη στήλη, όπως προκαθορίζεται από τη διαδικασία, που είναι περίπου 10 πόδια. Ο χειριστής της μονάδας είχε μια ορισμένη κατάρτιση σχετικά με το επίπεδο των δεικτών στη στήλη, αλλά δεν ήταν πλήρης.

Για την καλύτερη λειτουργία της μονάδας τη στήλη παρακολουθεί εκτός από τον χειριστή της βάρδιας και εξωτερικός χειριστής. Την ημέρα του ατυχήματος ο χειριστής της πρωινής βάρδιας δε φαίνεται να ζήτησε από τον εξωτερικό χειριστή να ελέγξει το επίπεδο του υγρού στη στήλη, κατά τη διαδικασία του ξεκινήματος.

Μέσα στα συστήματα ελέγχου και ασφάλειας της μονάδας είχαν τοποθετηθεί και συναγερμοί. Για τη συγκεκριμένη στήλη ο συναγερμός είχε σχεδιαστεί και τοποθετηθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να ηχεί όταν το επίπεδο του υγρού έφτανε στο 72%. Ο συναγερμός αυτός δούλεψε όπως ακριβώς ήταν σχεδιασμένος. Στις 23 Μαρτίου στις 03:00 ήχησε. Η ένδειξη του συναγερμού παρέμεινε καθ' όλη τη διάρκεια. Ένας επιπλέον συναγερμός που είχε τοποθετηθεί ώστε να ηχεί όταν το επίπεδο ήταν στο 78% απέτυχε να λειτουργήσει. Αν ο συναγερμός είχε λειτουργήσει θα χτυπούσε και αυτός λίγο μετά τις 03:00 στις 23 Μαρτίου. Η ένδειξη αυτού του συναγερμού αναφέρεται επίσης στον πίνακα ελέγχου, όπως και η ένδειξη του άλλου συναγερμού, και έχει μια παρόμοια προβολή με αυτόν. Και οι δύο συναγερμοί επανέρχονται αυτόματα όταν η στάθμη του υγρού στη στήλη πέσει κάτω από τα δεδομένα από τη διαδικασία όρια στα οποία έχουν προγραμματιστεί οι συναγερμοί, και τα οποία θεωρούνται ασφαλή για την εκτέλεση της διαδικασίας. Μόλις ο δείκτης του επιπέδου στη στήλη υπερέβη τα όρια στο οποία ενεργοποιήθηκαν οι συναγερμοί στις 03:00, από εκεί και πέρα η στάθμη δεν έπεσε κάτω από αυτά τα όρια, άρα οι ενδείξεις στον πίνακα υπήρχαν. Τα παραπάνω δεν αναφέρθηκαν στο χειριστή της πρωινής βάρδιας.

Αναφορικά με την ποσότητα του προϊόντος και την απομάκρυνση των υδρογονανθράκων από τη στήλη, το προϊόν στη στήλη ελέγχεται από το ARU (ammonia recovery unit = μονάδα ανάκτησης αμμωνίας) και δεν μπορεί να ρυθμιστεί ή να αλλάξει από τον υπεύθυνο χειριστή. Το προϊόν κυμαινόταν ανάμεσα σε 15.000 με 20.000 βαρέλια ημερησίως. Ο χειριστής ελέγχει τη ροή από το δοχείο τροφοδοσίας (charge drum) προς τη στήλη.

Υπάρχουν δύο τρόποι απομάκρυνσης των υδρογονανθράκων από τον πύργο:

- Απομάκρυνση του προϊόντος από τον πυθμένα.
- Απομάκρυνση των αερίων από το πάνω μέρος της στήλης.

Κατά την εκκίνηση χρειάζεται χρόνος για τη σταδιακή θέρμανση του προϊόντος, έτσι ώστε να δημιουργηθεί ροή, ώστε αρχικά η μόνη εκροή από το διαχωριστή να είναι από το κάτω μέρος. Ο χειριστής της πρωινής βάρδιας έκλεισε τη βαλβίδα ελέγχου στο κάτω μέρος, μπλοκάροντας έτσι τη μια έξοδο από τις 09:46 μέχρι τις 12:41. Η ένδειξη στην οθόνη για αυτή τη θέση της βαλβίδας και ο συναγερμός παρέμειναν στον πίνακα έλεγχου μέχρι τις 13:00.

Κατά τη διαδικασία εκκίνησης ο αυτόματος έλεγχος πρέπει να βρίσκεται στο επίπεδο του 50% για να διασφαλιστεί ότι το υγρό στη στήλη διαχωρισμού θα είναι στο 50% της στήλης. Ο χειριστής της πρωινής βάρδιας απέτυχε να ενεργοποιήσει το σύστημα αυτομάτου ελέγχου, μέχρι τη στιγμή που ένας άλλος χειριστής, ο οποίος είχε μεγαλύτερη εμπειρία, είδε τον τρόπο εκκίνησης από την οθόνη του πίνακα στο δωμάτιο ελέγχου.

Όταν ο χειριστής κατάλαβε ότι υπήρχε κάποιο πρόβλημα κατά τη διαδικασία εκκίνησης, και μετά από έλεγχο που έκανε στα όργανα κατάλαβε ότι η στήλη είχε γεμίσει, τηλεφώνησε στο χειριστή της πρωινής βάρδιας, στις 12:40, και του είπε να αδειάσει τον πυθμένα. Ο χειριστής επιχείρησε να ξεκινήσει το άδειασμα, και άνοιξε την βαλβίδα του ελέγχου της στάθμης, στο κάτω μέρος της στήλης στις 12:41. Μια από τις βαλβίδες φραγής μπορεί να ήταν κλειστή, αλλά κάτι τέτοιο δεν έχει

αποδειχθεί πλήρως μέχρι σήμερα. Στις 13:00 ξεκίνησε η διαδικασία του ανοίγματος της βαλβίδας χειροκίνητα.

Επιχειρήθηκε και ο δεύτερος τρόπος απομάκρυνσης του υγρού από τη στήλη, δηλαδή απομάκρυνση προϊόντος από δοχείο επαναροής (reflex drum). Αν και το ποσοστό θέρμανσης στο τύμπανο ήταν υψηλότερα από το κανονικό, συγκεκριμένα ήταν 75° F αντί για 50° F που είναι η φυσιολογική θερμοκρασία για μια κανονική διαδικασία, στα όργανα του πίνακα στο δωμάτιο ελέγχου δεν υπήρχε ένδειξη για το υγρό μέχρι τις 13:16, δηλαδή 4 λεπτά πριν από την έκρηξη. Ο εξωτερικός χειριστής έλεγξε το επίπεδο στο δοχείο επαναροής όπως του ζήτησε ο χειριστής της βάρδιας στις 11:30 μέχρι τις 11:45 και επιβεβαίωσε ότι δεν υπήρχε καμία ένδειξη για τη στάθμη του υγρού. Επίσης η οθόνη ελέγχου στην αίθουσα ελέγχου ανέφερε μηδενική ροή στο δοχείο επαναροής και μηδενική ροή επίσης υγρού στη στήλη διαχωρισμού.

Η συνεχής ροή κρύου προϊόντος, που γινόταν ασταμάτητα μέχρι τη 13:00 επιβράδυνε την κανονική διαδικασία της εξάτμισης, παρά την υψηλή θερμοκρασία στον πυθμένα της στήλης. Αν είχε γίνει έλεγχος για τη συνολική μάζα του υγρού στη στήλη (ισολογισμός μάζας), δηλαδή αν είχε γίνει έλεγχος για τη μάζα του προϊόντος που μπαίνει και αποβάλλεται από τη στήλη, υπολογίζοντας και αυτό που παράγεται μέσα και αυτό που συσσωρεύεται θα είχε διαπιστωθεί πιθανώς έγκαιρα ότι το προϊόν το οποίο έμπαινε στη στήλη ήταν περισσότερο από αυτό που έβγαινε, σύμφωνα με τα πρότυπα της κανονικής διαδικασίας. Η βαλβίδα ελέγχου ήταν κλειστή και αυτό ήταν σφάλμα. Οι ερευνητές αναφέρουν ότι αν είχε γίνει έλεγχος για τη μάζα, για την ποσότητα δηλαδή του υγρού στη στήλη διαχωρισμού, θα είχε διαπιστωθεί ότι στο διαχωριστή υπήρχε ασυνήθιστα υψηλή εσωτερική στάθμη του υγρού.

Σχετικά με την προθέρμανση του προϊόντος επισημαίνεται από τους ειδικούς ερευνητές ότι θα έπρεπε να γίνει σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας του προϊόντος στο διαχωριστή. Μέσα σε 9 λεπτά έγινε απότομη αύξηση της θερμοκρασίας από τους 126° F στους 260° F λόγω της μεταφοράς θερμότητας στο προϊόν. Η θερμοκρασία του πετρελαιοειδούς στη στήλη έδειχνε ξεκάθαρα ότι κάτι δεν πήγαινε καλά.

Αναφορικά με τη θερμοκρασία της βάσης, κανονικά στη διαδικασία εκκίνησης της στήλης διαχωρισμού υπάρχει υψηλή θερμοκρασία στη βάση της στήλης που βρίσκεται το πετρελαιοειδές, η οποία είναι περίπου 275° F, και η οποία έχει μια αύξηση 50° F/h. Εκείνη την ημέρα, δηλαδή την ημέρα που έγινε το ατύχημα που μελετάμε, στις 12:22 η θερμοκρασία ήταν 275° F, και κορυφώθηκε στους 306° F, άρα υπήρχε αύξηση 75° F/h.

Η θερμότητα που δινόταν στη στήλη δεν σταμάτησε παρά μόνο όταν το αντιλήφθηκε ο δεύτερος χειριστής και ενημέρωσε το χειριστή της βάρδιας.

Ακόμα σχετικά με τα ωράρια των εργαζομένων στη μονάδα από την επιχείρηση ακολουθούνταν μια πολιτική επέκτασης της εργασίας, δηλαδή δεν υπήρχαν περιορισμοί σχετικά με τη μέγιστη επιτρεπόμενη περίοδο εργασίας χωρίς άδεια, και η επέκταση του εργάσιμου χρόνου ενθαρρυνόταν μέσω επιπλέον αμοιβών, χωρίς να υπολογίζεται η κόπωση των εργαζόμενων. Για παράδειγμα υπήρχαν εργαζόμενοι οι οποίοι εργάζονταν καθημερινά για 30 μέρες, με 12 ώρες βάρδια την ημέρα. Οι παρατεταμένες ώρες εργασίας και η κόπωση είναι παράγοντες που συμβάλουν στη έλλειψη προσοχής και τη βραδύτητα των αντιδράσεων.

Τα συμπεράσματα της ομάδας ερευνών ήταν :

- ότι ο ατμός που παραγόταν στο κάτω μέρος της στήλης, και ο οποίος είχε παραχθεί από το προϊόν που έμπαινε στη στήλη σε υψηλότερη θερμοκρασία από την προκαθορισμένη συμπιεζόταν και ψύχονταν από το πετρελαιοειδές που έμπαινε συνεχώς στη στήλη. Αυτό καθυστέρησε τους ατμούς να ανέβουν προς το πάνω μέρος της στήλης.
- Ο επιπλέον συναγερμός που υπήρχε στη μονάδα για έκτακτες καταστάσεις δεν λειτούργησε. Σε περίπτωση που υπάρχει ένδειξη ότι ένα τόσο βασικό όργανο δεν λειτουργεί κανονικά πρέπει να διακοπεί η διαδικασία εκκίνησης της μονάδας, μέχρι να διορθωθεί το πρόβλημα, ή να βρεθεί κάποια ασφαλής εναλλακτική. Επίσης υπάρχουν ενδείξεις και για άλλους συναγερμούς που δεν λειτούργησαν σωστά. Χαρακτηριστικό είναι ότι αν όλοι οι συναγερμοί είχαν λειτουργήσει σωστά θα είχε αποφευχθεί η διαρροή, και κατ' επέκταση η πυρκαγιά και η έκρηξη.
- Ο χειριστής της πρωινής βάρδιας ισχυρίστηκε ότι δεν γνώριζε ότι η βαλβίδα εκτόνωσης ήταν κλειστή.
- Η επικοινωνία των χειριστών εκείνης της βάρδιας, αυτών που ήταν μέσα στην αίθουσα ελέγχου και αυτών που ήταν στον εξωτερικό χώρο δεν ήταν καλή και αποτελεσματική.
- Με εξαίρεση τους εκπαιδευόμενους στη μονάδα, όλοι οι χειριστές εντός και εκτός είχαν εκπαιδευτεί για την αντιμετώπιση παρόμοιων καταστάσεων το 2000, αλλά έκτοτε δεν είχαν άλλη τέτοιου είδους εκπαίδευση.
- Το επίπεδο του υγρού στη στήλη ήταν πολύ υψηλό και δεν αποβλήθηκε υγρό από τη στήλη, μέσω των βαλβίδων εξόδου υγρού.
- Την ημέρα του ατυχήματος αν ο αυτόματος έλεγχος είχε ενεργοποιηθεί να λειτουργήσει όταν το επίπεδο του υγρού στη στήλη έφτανε στο 50%, δεν θα είχε γίνει εισροή επιπλέον προϊόντος στη στήλη, που ήταν κάτι μη φυσιολογικό ακόμα και αν ο δείκτης στάθμης του υγρού δεν λειτουργούσε σωστά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΟΔΗΓΗΣΑΝ ΣΤΟ ΑΤΥΧΗΜΑ

Κάθε ατύχημα το οποίο συμβαίνει σε οποιοδήποτε εργασιακό χώρο έχει να κάνει με σφάλματα ή παραλείψεις στο σύστημα διαχείρισης ασφάλειας. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει και τον σχεδιασμό έκτακτης ανάγκης, τις ανάγκες εκπαίδευσης του προσωπικού, τις αποφάσεις της διοίκησης του εργασιακού χώρου που μελετάμε, ή αστοχίες των υλικών, όσον αφορά την συντήρηση τους, την αποκατάσταση ή την αγορά εξοπλισμού. Όλα αυτά αναφέρθηκαν αναλυτικά και παραπάνω.

Στο ατύχημα το οποίο μελετήθηκε για αυτή την εργασία υπήρχαν αρκετοί παράγοντες οι οποίοι συνδυασμένοι μεταξύ τους οδήγησαν στο ατύχημα. Τα λάθη ή οι παραλείψεις που έγιναν έχουν να κάνουν και με τη διαδικασία, με τα όργανα λειτουργίας στο control room ή πάνω στη στήλη διαχωρισμού, αλλά και με την γνώση, την επικοινωνία και την εκπαίδευση του προσωπικού. Παρακάτω παρατίθενται αναλυτικά όλα τα σφάλματα και οι παραλείψεις που έγιναν την ημέρα του ατυχήματος, καθώς και το υπόβαθρο που υπήρχε για την διαδικασία και το προσωπικό, τα οποία οδήγησαν στο ατύχημα.

Α. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ STARTUP

1. Η διαδικασία ήταν πεπαλαιωμένη και δεν είχε εκσυγχρονιστεί. Σύμφωνα με μαρτυρίες των εργαζόμενων, αλλά και από τα αποτελέσματα που υπήρξαν από την έρευνα που πραγματοποιήθηκε μετά το ατύχημα διαπιστώθηκε ότι η διαδικασία που έπρεπε να ακολουθήσουν οι εργαζόμενοι, καθώς και τα δεδομένα που υπήρχαν και αφορούσαν την ποσότητα του υγρού στη στήλη διαχωρισμού, την θέρμανση της τροφοδοσίας και γενικά πως έπρεπε να γίνεται η διαδικασία εκκίνησης της στήλης διαχωρισμού δεν είχε εκσυγχρονιστεί για πολλά χρόνια, με αποτέλεσμα να μην είναι πλέον λειτουργική.

2. Οι εργαζόμενοι είχαν αναπτύξει δική τους μεθοδολογία για το ξεκίνημα. Οι εργαζόμενοι στην εγκατάσταση, και ειδικότερα οι χειριστές της συγκεκριμένης μονάδας που μελετάμε, μετά από την πείρα που είχαν αποκτήσει σχετικά με την διαδικασία είχαν αναπτύξει μια δική τους μεθοδολογία, που διαφοροποιούνταν σε αρκετά σημεία με την διαδικασία έτσι όπως ήταν γραμμένη αρχικά να γίνεται. Η νέα αυτή μεθοδολογία ήταν σύμφωνα με τους εργαζόμενους αλλά και σύμφωνα με τα δεδομένα που υπήρχαν για την απόδοση του συστήματος πολύ πιο αποτελεσματική.

3. Η στάση των υπεύθυνων έδωσε λάθος εντύπωση στους εργαζόμενους, ότι η διαδικασία startup μπορούσε να μην εφαρμοστεί κατά γράμμα έτσι όπως είχε οριστεί από τη διοίκηση αλλά θα μπορούσαν οι εργαζόμενοι να αναπτύξουν και διάφορα δικά τους κομμάτια και πρωτοβουλίες στην εργασία, και στον τρόπο που γινόταν η εκκίνηση.

4. Υπήρχε αναφορά για προβλήματα σε μέρη του εξοπλισμού, αλλά δεν έγινε διόρθωση τους.

5. Υπήρχαν έγγραφα τα οποία έλεγαν ότι έγινε έλεγχος σε μέρη του εξοπλισμού, αλλά στην πραγματικότητα δεν είχε γίνει έλεγχος

6. Οι manager είχαν αναγνωρίσει ότι οι εργαζόμενοι αποτύγχαναν να συμμορφωθούν με τη διαδικασία και είχαν πάρει σαν μέτρο να φτιάξουν μια διαδικασία ελέγχου, δηλαδή να συγκροτήσουν μια ομάδα ατόμων οι οποίοι θα είχαν σαν δουλειά να ελέγχουν τους εργαζόμενους κατά τη διάρκεια της εργασίας τους για να βλέπουν κατά πόσο συμμορφώνονται με την διαδικασία έτσι όπως αναφερόταν στα βιβλία, αλλά αυτό δεν προχώρησε γιατί δεν υπήρχε η κατάλληλη εποπτική αρχή από τη διοίκηση για να το κάνουν, δηλαδή δεν υπήρχε ο κατάλληλος αριθμός ατόμων στο προσωπικό για να προχωρήσει αυτή η εργασία.

7. Οι managers πίστευαν ότι οι χειριστές της μονάδας ήξεραν καλύτερα αυτή τη δουλειά και για αυτό δεν τους έλεγχαν. Άρα τελικά οι managers δεν είχαν κάποιο τρόπο για να ξέρουν τι ακριβώς έκαναν οι χειριστές.

8. Ο κίνδυνος που υπήρχε για να προκληθεί ατύχημα κατά τη διαδικασία του startup είναι 10 φορές μεγαλύτερος από τον κίνδυνο πρόκλησης ατυχήματος κατά τη διάρκεια μιας άλλης διαδικασίας, αλλά παρόλα αυτά δεν δόθηκε ιδιαίτερη σημασία από τους υπεύθυνους της διοίκησης στην διεργασία αυτή.

Β. ΣΤΗΛΗ

1. Η βαλβίδα αδειάσματος της δεξαμενής έπρεπε να είναι στο αυτόματο, αλλά την είχαν γυρίσει στο χειροκίνητο γιατί έπρεπε να γεμίζουν τη δεξαμενή σε επίπεδο μεγαλύτερα από το επιτρεπτό. Μετά η βαλβίδα δεν γύρισε πάλι στο αυτόματο, και δεν έγινε και έλεγχος αν ήταν στο αυτόματο.

2. Δεν είχαν οριστεί ασφαλή όρια για την ποσότητα υγρού στη στήλη. Όταν έγινε η μελέτη ασφάλειας για την εγκατάσταση του εργοστασίου γενικότερα αλλά και για την μονάδα που βρισκόταν η στήλη διαχωρισμού ειδικότερα δεν ορίστηκαν από τους υπεύθυνους μηχανικούς που έκαναν την μελέτη τα όρια ύψους του υγρού στη στήλη για τα οποία η διαδικασία θα ήταν ασφαλής.

3. Δεν είχε υπολογιστεί στο σύστημα διαχείρισης ασφάλειας το σενάριο υπερχείλισης της δεξαμενής, άρα δεν υπήρχε και ενημέρωση για το τι θα μπορούσε να συμβεί σε περίπτωση υπερχείλισης.

4. Δεν είχε εγκατασταθεί στη στήλη σύστημα ελέγχου της στάθμης για επίπεδο υγρού πάνω από τα 9 πόδια. Άρα οι χειριστές στο control room, δεν είχαν κανένα τρόπο να ξέρουν σε τι στάθμη βρισκόταν το υγρό στη στήλη αν αυτή υπερέβαινε τα 9 πόδια. Αυτό ήταν σαν επακόλουθο και του γεγονότος ότι δεν είχε υπολογιστεί αυτή η πιθανότητα, το να φτάσει το υγρό στη στήλη πάνω από τα 9 πόδια, στο σύστημα ασφάλειας της μονάδας.

5. Δεν είχαν γνώση οι χειριστές για παρόμοια ατυχήματα που είχαν γίνει σε άλλες εγκαταστάσεις. Ατυχήματα σαν αυτό που μελετάμε είχαν γίνει και σε κάποιες άλλες εγκαταστάσεις με παρόμοιο τρόπο, αλλά δεν είχαν ενημερωθεί οι χειριστές για αυτά, για να είναι και πιο προσεκτικοί σε κάποιες εργασίες.

6. Οι χειριστές δεν αναγνώρισαν ότι το επίπεδο υγρού στη στήλη είχε φτάσει πάνω από τα 9 πόδια και ότι ο δεύτερος συναγερμός δεν λειτούργησε, γιατί δεν είχαν σωστή εκπαίδευση για κάτι τέτοιο. Η διοίκηση δεν είχε εκπαιδεύσει τους εργαζόμενους να αναγνωρίζουν πόσο είναι το επίπεδο του υγρού στη στήλη για να μπορούν να το ελέγχουν κιόλας.

7. Πάνω στη στήλη υπήρχε ένα γυαλί σε στήλη το οποίο ήταν τοποθετημένο για να δείχνει το επίπεδο του υγρού στη στήλη, το οποίο όμως δεν είχε συντηρηθεί και έτσι δεν μπορούσε να δείξει πόσο ήταν το υγρό.

Γ. CONTROL ROOM

1. Δεν επιδιορθώθηκαν όργανα στο control room τα οποία έδιναν παραπλανητικές ενδείξεις ή δεν έδιναν καθόλου ενδείξεις, γιατί είχαν χαλάσει. Υπάρχει αναφορά ότι κάποια από τα όργανα για τα οποία είχε γίνει αναφορά για προβλήματα, μη σωστή λειτουργία ή παραπλανητικές ενδείξεις ήταν όργανα τα οποία βρισκόταν στο control room, και τα οποία είχαν να κάνουν άμεσα με την διαδικασία. Από τη στιγμή που δεν είχε γίνει διόρθωση οι χειριστές δεν μπορούσαν να ξέρουν αν κάποιο όργανο έδειχνε παραπλανητικές ενδείξεις, δεν είχαν και τη γνώση για να μπορούν να διαπιστώσουν κάτι τέτοιο.

Δ. ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ

1. Υπήρχαν σοβαρά προβλήματα στην επικοινωνία των χειριστών από την πρωινή στη βραδινή βάρδια. Συγκεκριμένα ο υπεύθυνος χειριστής της βραδινής βάρδιας δεν ενημέρωσε προσωπικά τον υπεύθυνο της πρωινής βάρδιας για το πως πήγε η διαδικασία και τι προβλήματα αντιμετώπισε, μόνο άφησε κάποιες σημειώσεις στο βιβλίο συμβάντων οι οποίες όμως είχαν ελλείψεις και δεν ήταν καθόλου κατατοπιστικές.

Ε. ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ

1. Δεν είχαν δοθεί πόροι από τη διοίκηση για να αναπτυχθούν καινούργια συστήματα εκπαίδευσης του προσωπικού, μέσω της διαδικασίας προσομοίωσης. Αυτή πλέον είναι μια πολύ κοινή πρακτική εκπαίδευσης των εργαζομένων, διότι μπορούν να δουν πως θα γίνουν κάποια πράγματα σε συνθήκες που μοιάζουν πολύ με πραγματικές. Παρόλα αυτά από την διοίκηση δεν είχαν δοθεί κεφάλαια για τέτοιου είδους εκπαίδευση του προσωπικού. Άρα η εκπαίδευση που είχαν πάνω στη διαδικασία δεν ήταν επικαιροποιημένη.

Ζ. ΒΑΡΔΙΕΣ

1. Το startup έγινε κατά τη διάρκεια δύο βαρδιών, κάτι το οποίο δεν έπρεπε να γίνει, πάντα αυτή η διαδικασία γίνεται κατά τη διάρκεια μιας βάρδιας, για να μπορεί να υπάρχει και καλύτερος έλεγχος για το πώς πάει η διαδικασία.

2. Για πολλές συνεχόμενες βάρδιες δεν είχε δοθεί άδεια στους εργαζόμενους, άρα υπήρχε μεγάλη κούραση, και συνεπώς αύξηση της

πιθανότητας πρόκλησης ατυχήματος, αλλά για κάτι τέτοιο δεν δόθηκε σημασία από τους υπεύθυνους της διοίκησης. Συγκεκριμένα οι εργαζόμενοι δούλευαν 12 ώρες την ημέρα για 30 μέρες συνεχόμενα, χωρίς να πάρουν κάποιο ρεπό. Η πιθανότητα πρόκλησης ατυχήματος όμως λόγω υπερβολικής κούρασης από πολύωρη ή πολυήμερη εργασία δεν είχε υπολογισθεί όταν γινόταν η μελέτη ασφάλειας, γιατί δεν θεωρήθηκε πιθανό.

3. Υπήρχε λιγότερο προσωπικό από αυτό που ήταν απαραίτητο για την εγκατάσταση, είχαν γίνει αναφορές από το προσωπικό ότι χρειαζόταν να γίνουν προσλήψεις, αλλά δεν έγιναν νέες προσλήψεις. Ένα παράδειγμα είναι ότι στο control room οι χειριστές οι οποίοι πρέπει να είναι υπεύθυνοι για την λειτουργία της στήλης σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας, και όχι όταν γινόταν εκκίνηση, θα έπρεπε να ήταν δύο. Παρόλα αυτά ήταν ένας.

Η. ΥΠΕΡΘΕΡΜΑΝΣΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ (ΠΕΡΑ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΠΑΝΩ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ)

1. Τα όργανα που είχαν για να δείχνουν τη θερμοκρασία στη δεξαμενή δεν έδειχναν σωστή θερμοκρασία και οι χειριστές δεν ήταν κατάλληλα εκπαιδευμένοι για να μπορούν να ξεχωρίσουν αν κάποιο όργανο έδινε παραπλανητικά στοιχεία.
2. Δεν έγινε σωστός έλεγχος, πριν ξεκινήσει η διαδικασία, για τον αν λειτουργούν σωστά οι θερμοστάτες στη στήλη, δηλαδή αυτοί που βρίσκονταν πάνω στη στήλη και έστελναν τις ενδείξεις της θερμοκρασίας στο control room, στα όργανα που βρίσκονταν εκεί.
3. Ο υπεύθυνος για τη στήλη χειριστής, έλειπε για πολλές ώρες από τη βάρδια, γιατί είχε κάποιο οικογενειακό πρόβλημα, και δεν αντικαταστάθηκε. Άρα δεν υπήρχε κάποιος χειριστής ο οποίος να κάνει επιτόπιο έλεγχο στη στήλη, για να ελέγχει και τη θερμοκρασία.

Θ. ΠΗΓΗ ΑΝΑΦΛΕΞΗΣ

1. Κοντά στη στήλη εκτόνωσης του αερίου υπήρχε σταθμευμένο ένα όχημα, με την μηχανή ανοιχτή και χωρίς ο οδηγός του να είναι κάπου κοντά του. Από τα καυσαέρια του αυτοκινήτου προκλήθηκε ανάφλεξη του υγρού και των ατμών που βγήκαν από τη στήλη εκτόνωσης. Αν δεν υπήρχε το αυτοκίνητο εκεί πολύ πιθανό να μη βρισκόταν κάποια άλλη πηγή ανάφλεξης τόσο γρήγορα, και να είχαν προλάβει οι χειριστές να ελέγξουν τη διαρροή. Έτσι θα μπορούσε να είχε αποφευχθεί το ατύχημα.

Ι. ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΣΤΗ ΣΤΗΛΗ ΕΚΤΟΝΩΣΗΣ

1. Δεν είχε εκσυγχρονιστεί το σύστημα ασφάλειας το οποίο βρισκόταν στην στήλη εκτόνωσης του αερίου. Το παλιό σύστημα το οποίο υπήρχε πάνω στη στήλη και χρησιμοποιούνταν ήταν το σύστημα εκτόνωσης αερίου, ενώ το πιο εξελιγμένο και καινούργιο σύστημα το οποίο θα έπρεπε να ήταν εγκατεστημένο για περίπτωση ανάγκης ήταν ένα σύστημα flare, δηλαδή σύστημα ανάφλεξης του προϊόντος. Είχαν γίνει υποδείξεις στην εταιρία από την πολιτεία ότι έπρεπε να αλλάξει το σύστημα αυτό αλλά όχι για λόγους ασφάλειας, αλλά για λόγους που είχαν να κάνουν με τη μόλυνση του περιβάλλοντος, τελικά η εταιρία βρήκε κάποιο άλλο τρόπο για να περιορίσει τη μόλυνση και έτσι έμεινε στη στήλη το παλιό σύστημα.

Κ. ΧΩΡΟΤΑΞΙΑ

1. Κοντά στη στήλη εκτόνωσης αερίων βρισκόταν ένας χώρος, ένα δωμάτιο στο οποίο συνεδρίαζαν διάφοροι εργαζόμενοι. Οι περισσότεροι νεκροί την ημέρα του ατυχήματος ήταν από τους εργαζόμενους που την ώρα της έκρηξης βρίσκονταν σε αυτό το δωμάτιο. Αν το δωμάτιο δεν βρισκόταν σε εκείνη την θέση, που σύμφωνα με τους κανόνες ασφάλειας δεν θα έπρεπε να βρίσκεται εκεί, τόσο κοντά στη στήλη, τότε θα μπορούσαν να είχαν αποτραπεί πολλοί από τους θανάτους εκείνης της ημέρας. Αναφορές στο σύστημα ασφάλειας ανέφεραν ότι χώροι στους οποίους υπήρχαν εργαζόμενοι, όπως και αυτό το δωμάτιο, θα έπρεπε να είναι τουλάχιστον 350 πόδια πιο μακριά από οποιαδήποτε επικίνδυνη εγκατάσταση, όπως ήταν η στήλη εκτόνωσης.

Ο συνδυασμός των παραπάνω παραγόντων οδήγησε στο ατύχημα, και στις συνέπειες που αυτό είχε. Αν δεν υπήρχε ο παραπάνω συνδυασμός το ατύχημα θα μπορούσε να αποφευχθεί. Και άλλες φορές μπορεί να υπήρχαν τέτοια σφάλματα ή παραλείψεις, αλλά δεν υπήρχε ατύχημα, γιατί δεν υπήρχε συνδυασμός.

Οι εργαζόμενοι είχαν αναπτύξει δική τους μεθοδολογία για την διαδικασία, η οποία όμως λειτουργούσε σωστά, άρα η διαδικασία από μόνη της δεν έχει κάποιο πρόβλημα, το πρόβλημα είναι ότι δεν έγινε ένσταση από τους υπεύθυνους, και ότι η διαδικασία ήταν πεπαλαιωμένη.

Πολλά από τα προβλήματα και από τις ελλείψεις που αναφέρονται παραπάνω είχαν να κάνουν με το κόστος. Η εταιρία ακολουθούσε μια πολιτική μείωσης του κόστους, με αποτέλεσμα να μη δίνονται πόροι είτε για εκσυγχρονισμό εξοπλισμού και διαδικασιών, είτε για κανονική συντήρηση της εγκατάστασης, είτε για πρόσληψη και εκπαίδευση του προσωπικού, ή ακόμα και για έλεγχο του υπάρχοντος συστήματος ασφάλειας και της μελέτης επικινδυνότητας και διόρθωση όσων προβλημάτων υπήρχαν.

Κατάταξη σε χρονική σειρά

Σε κάθε μονάδα παραγωγής, από την πιο μικρή μέχρι την πιο μεγάλη υπάρχει μια συγκεκριμένη σειρά με ελέγχους και διαδικασίες που πρέπει να ακολουθήσουν οι εργαζόμενοι για να γίνει σωστά η κάθε διαδικασία. Από τους παραπάνω παράγοντες που οφείλονται για την πρόκληση του ατυχήματος που μελετάμε, ο καθένας έγινε σε ένα ξεχωριστό κομμάτι της διαδικασίας εκκίνησης, κάποιοι έγιναν κατά τη διάρκεια του ελέγχου, της εκτέλεσης της διαδικασίας, κ.λ.π

Για την διαδικασία εκκίνησης, στην οποία παρουσιάστηκε το πρόβλημα στο ατύχημα που μελετάμε, υπάρχουν κάποιοι έλεγχοι και διαδικασίες που ακολουθούμε πριν και κατά τη διάρκεια της κύριας εργασίας, η οποία είναι η διαδικασία εκκίνησης της στήλης. Ακριβώς τα στάδια που ακολουθούνται φαίνονται παρακάτω.

1. **Διαδικασίες και Έλεγχοι πριν ξεκινήσει η κύρια διαδικασία**:
   1.1. Ανάπτυξη διαδικασίας εκκίνησης
      1.1.1. Έλεγχος αν υφίσταται διαδικασία εκκίνησης
      1.1.2. Έλεγχος πληρότητας και ορθότητας της διαδικασίας εκκίνησης
      1.1.3. Έλεγχος αν είναι κατάλληλη η διαδικασία εκκίνησης (επικαιροποιημένη, εκσυγχρονισμένη, αναθεωρημένη κ.λ.π)
   1.2. Έλεγχοι
      1.2.1. Έλεγχοι λειτουργικότητας εξοπλισμού διεργασιών πριν αρχίσει η εκτέλεση της διαδικασίας εκκίνησης
      1.2.2. έλεγχοι πληρότητας και λειτουργικότητας εξοπλισμού ελέγχου και μέσων επικοινωνίας προσωπικού
   1.3. Προσωπικό για διαδικασία εκκίνησης
      1.3.1. Έλεγχος αν υφίσταται ικανός αριθμός προσωπικού
      1.3.2. Έλεγχος καταλληλότητας προσωπικού (άρτια εκπαιδευμένο κ.λ.π)
      1.3.3. Έλεγχος αρμοδιότητας προσωπικού
      1.3.4. Έλεγχος ετοιμότητας, αποτελεσματικότητας, ικανότητας προσωπικού
      1.3.5. Έλεγχος συμμόρφωσης προσωπικού με την διαδικασία και ορθής εκτέλεσης της
      1.3.6. Έλεγχος επικοινωνίας μεταξύ του προσωπικού
2. **Εκτέλεση διαδικασίας**
3. **Διαδικασίες και Έλεγχοι κατά τη διάρκεια εκτέλεσης της διαδικασίας εκκίνησης:**
   3.1. Έλεγχος από το control room
      3.1.1. Μηνύματα και ενδείξεις από το control room
      3.1.2. Εντολές από το control room
   3.2. Επιτόπιος έλεγχος
      3.2.1. Μηνύματα και ενδείξεις από επιτόπιο έλεγχο
      3.2.2. Εντολές στο πεδίο

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω καθένα από τα καταγεγραμμένα σφάλματα που έγιναν την ημέρα του ατυχήματος ανήκει σε κάποια από τις παραπάνω κατηγορίες. Στη συνέχεια παρατίθεται η παραπάνω κατάταξη, με τα σφάλματα που έγιναν σε κάθε μια κατηγορία, σύμφωνα με την αρίθμηση που έγινε παραπάνω:

1. **Διαδικασίες και Έλεγχοι πριν ξεκινήσει η κύρια διαδικασία**:
   1.1. Ανάπτυξη διαδικασίας εκκίνησης ***Α.2***
      1.1.1. Έλεγχος αν υφίσταται διαδικασία εκκίνησης
      1.1.2. Έλεγχος πληρότητας και ορθότητας της διαδικασίας εκκίνησης ***Α.3, Β.2***
      1.1.3. Έλεγχος αν είναι κατάλληλη η διαδικασία εκκίνησης (επικαιροποιημένη, εκσυγχρονισμένη, αναθεωρημένη κ.λ.π) ***Α.1, Α.8, Β.3***
   1.2. Έλεγχοι
      1.2.1. Έλεγχοι λειτουργικότητας εξοπλισμού διεργασιών πριν αρχίσει η εκτέλεση της διαδικασίας εκκίνησης ***Α.4, Α.5, Ι.1***
      1.2.2. έλεγχοι πληρότητας και λειτουργικότητας εξοπλισμού ελέγχου και μέσων επικοινωνίας προσωπικού ***Α.4, Α.5, Η.1, Η.2, Β.4, Κ.1***
   1.3. Προσωπικό για διαδικασία εκκίνησης
      1.3.1. Έλεγχος αν υφίσταται ικανός αριθμός προσωπικού ***Ζ.3***
      1.3.2. Έλεγχος καταλληλότητας προσωπικού (άρτια εκπαιδευμένο κ.λ.π) ***Ε.1, Η.1, Β.5, Β.6***
      1.3.3. Έλεγχος αρμοδιότητας προσωπικού ***Δ.1***

1.3.4. Έλεγχος ετοιμότητας, αποτελεσματικότητας, ικανότητας προσωπικού Ζ.2

1.3.5. Έλεγχος συμμόρφωσης προσωπικού με την διαδικασία και ορθής εκτέλεσης της ***Α.6, Α.7, Ζ.1, Η.3***

1.3.6. Έλεγχος επικοινωνίας μεταξύ του προσωπικού ***Δ.1, Δ.2***

2. Εκτέλεση διαδικασίας

3. Διαδικασίες και Έλεγχοι κατά τη διάρκεια εκτέλεσης της διαδικασίας εκκίνησης:

3.1. Έλεγχος από το control room

3.1.1. Μηνύματα και ενδείξεις από το control room ***Γ.1, Β.6***

3.1.2. Εντολές από το control room ***Β.1***

3.2. Επιτόπιος έλεγχος

3.2.1. Μηνύματα και ενδείξεις από επιτόπιο έλεγχο ***Β.6, Β.7, Θ.1***

3.2.2. Εντολές στο πεδίο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12

ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ SADT

Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήσαμε τη μέθοδο SADT, για να κάνουμε ανάλυση του ατυχήματος που μελετήσαμε, για να δούμε τους οργανωτικούς παράγοντες που οδήγησαν στο ατύχημα.

Για την ανάλυσή μας ακολουθήσαμε την παρακάτω διαδικασία. Για κάθε έναν από τους παράγοντες που είδαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο ότι ευθύνονται για το ατύχημα προσπαθήσαμε να τον τοποθετήσουμε πάνω στο διάγραμμα του ΣΔΑ που είδαμε στο Κεφάλαιο 4, προσπαθώντας να αποκωδικοποιήσουμε τους οργανωτικούς παράγοντες που παίζουν ρόλο πίσω από κάθε παράγοντα που δεν λειτούργησε σωστά και οδήγησε στο ατύχημα.

Σύμφωνα με τη μεθοδολογία που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, θα δούμε πως γίνετε να κωδικοποιήσουμε την πληροφορία που έχουμε πάρει από την ανάλυση του ατυχήματος και να την τοποθετήσουμε πάνω στο σύστημα, ούτως ώστε να δημιουργήσουμε διάφορους λογικούς βρόχους.

Οι βρόχοι αυτοί θα ξεκινήσουν από κάποιον από τους θεματικούς κόμβους του συστήματος και θα πρέπει αφού αναλυθούν περνώντας μέσα από το σύστημα να καταλήξουν στον ίδιο κόμβο από τον οποίο ξεκίνησαν. Για να το κάνουμε αυτό θα πρέπει να σκεφτούμε πρώτον σε ποιόν από όλους τους θεματικούς κόμβους μπορούμε να τοποθετήσουμε κάθε κομμάτι από αυτά που δεν λειτούργησαν σωστά και οδηγηθήκαμε στο ατύχημα, και πώς θα μπορούσε να αποφευχθεί αν όλα λειτουργούσαν σωστά.

Για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων μας, από την ανάλυση των παραγόντων στους βρόχους θα ακολουθήσουμε τη σειρά που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, δηλαδή μια χρονική σειρά σύμφωνα με την οποία εκτελείται η διαδικασία εκκίνησης.

Για κάθε ένα από τα στοιχεία τα οποία οδήγησαν στο ατύχημα, η ανάλυσή τους πάνω στο διάγραμμα SADT φαίνεται στη συνέχεια. Για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων ακολουθήσαμε τον εξής τρόπο:

Θα παρουσιάζονται αρχικά οι ομάδες σύμφωνα με την κατάταξη του προηγούμενου κεφαλαίου, και οι βρόχοι κωδικοποιημένα, και στη συνέχεια θα φαίνονται τα διαγράμματα για κάθε βρόχο.

Παρουσίαση βρόχων:

1η Ομάδα

Ανάπτυξη διαδικασίας STARTUP

Α.2 (οι εργαζόμενοι είχαν αναπτύξει δικιά τους μεθοδολογία για την διαδικασία, η οποία όμως λειτουργούσε σωστά, άρα η διαδικασία από μόνη της δεν έχει κάποιο πρόβλημα, το πρόβλημα είναι ότι δεν έγινε ένσταση από τους υπεύθυνους, και ότι η διαδικασία ήταν πεπαλαιωμένη, τα οποία αναλύονται σε άλλες ομάδες

Έλεγχος αν είναι κατάλληλη (επικαιροποιημένη, εκσυγχρονισμένη, αναθεωρημένη)

Α.1 στο OPERATION σαν Resource το TK, output Problem Identification, input στο Risk Assessment, output Problem Identification, input στο Management & Leadership, output GP, input στο Monitoring Performance/ Audit, output Problem Identification, input στο Management & Leadership, output GP, input στο Operation.

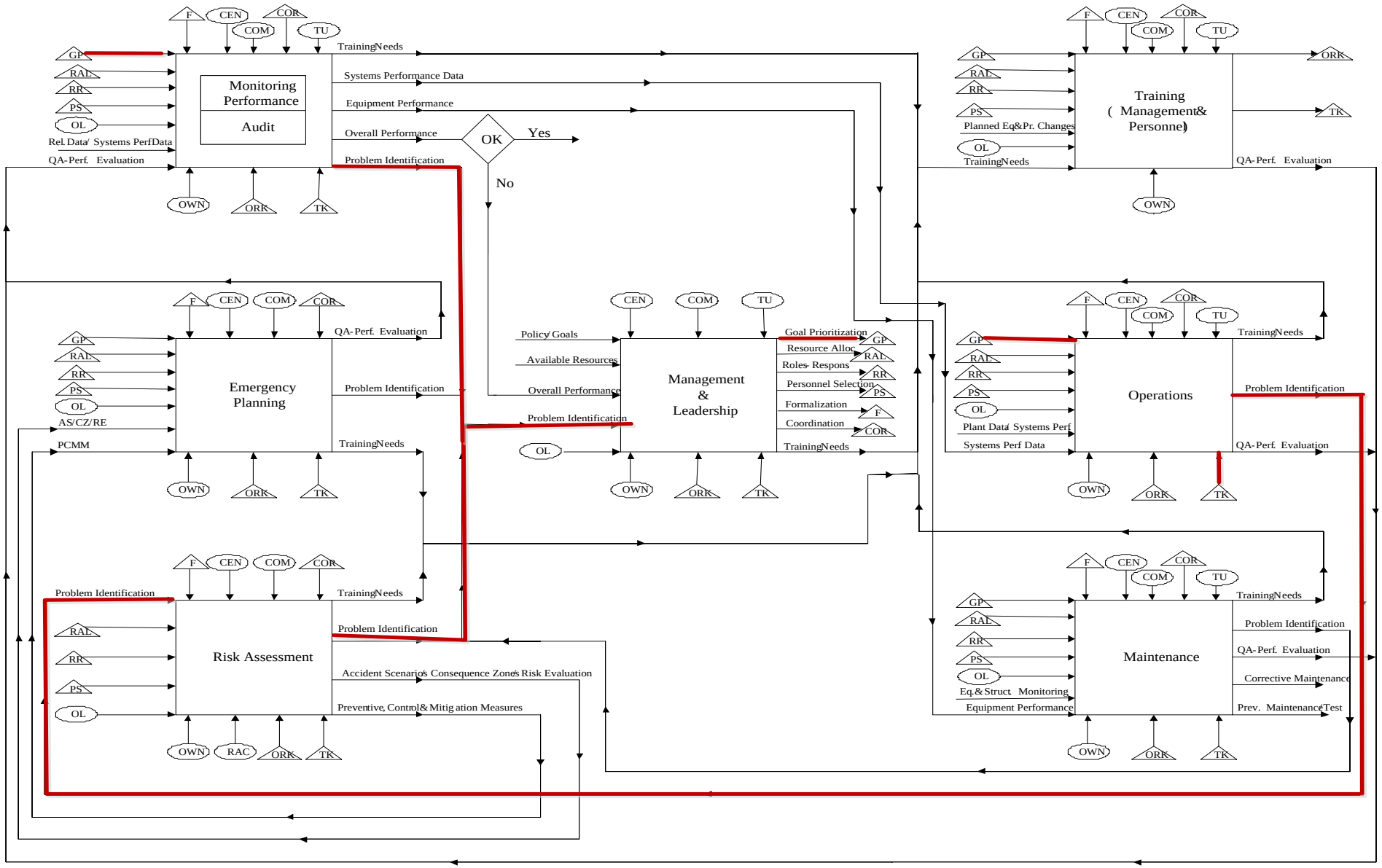
Α.8 στο Risk Assessment σαν Resource το TK και OWN, output Accident scenarios…, input στο Emergency Planning , output Problem Identification, input στο Management & Leadership, output Training Needs, input στο Training, output TK, input στο Resource του Risk Assessment.

Β.3 στο Risk Assessment σαν Resource το TK, output Accident scenarios… και Preventive Control and Mitigation Measures, input στο Emergency Planning, output Problem Identification, input στο Management & Leadership, output GP και Resource Allocation, άρα
Ή input στο Risk Assessment.
ή input το GP στο Training, output TK, input στο Resource του Risk Assessment.

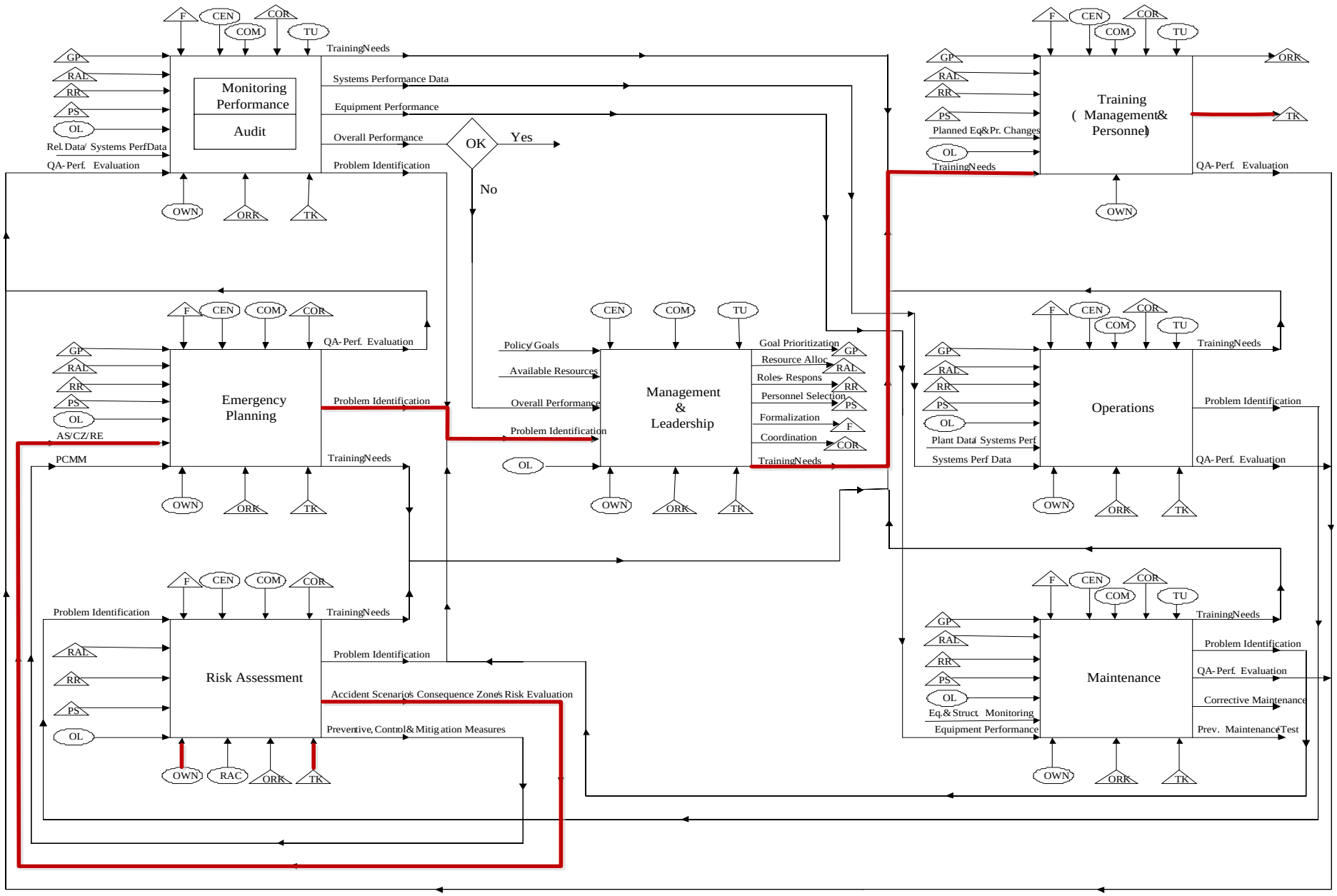
Έλεγχος πληρότητας και ορθότητας της διαδικασίας

Α.3 στο Audit σαν Resource το ORK, output Problem Identification και Overal Performance, input στο Management & Leadership, output GP και RR, input στο Audit.

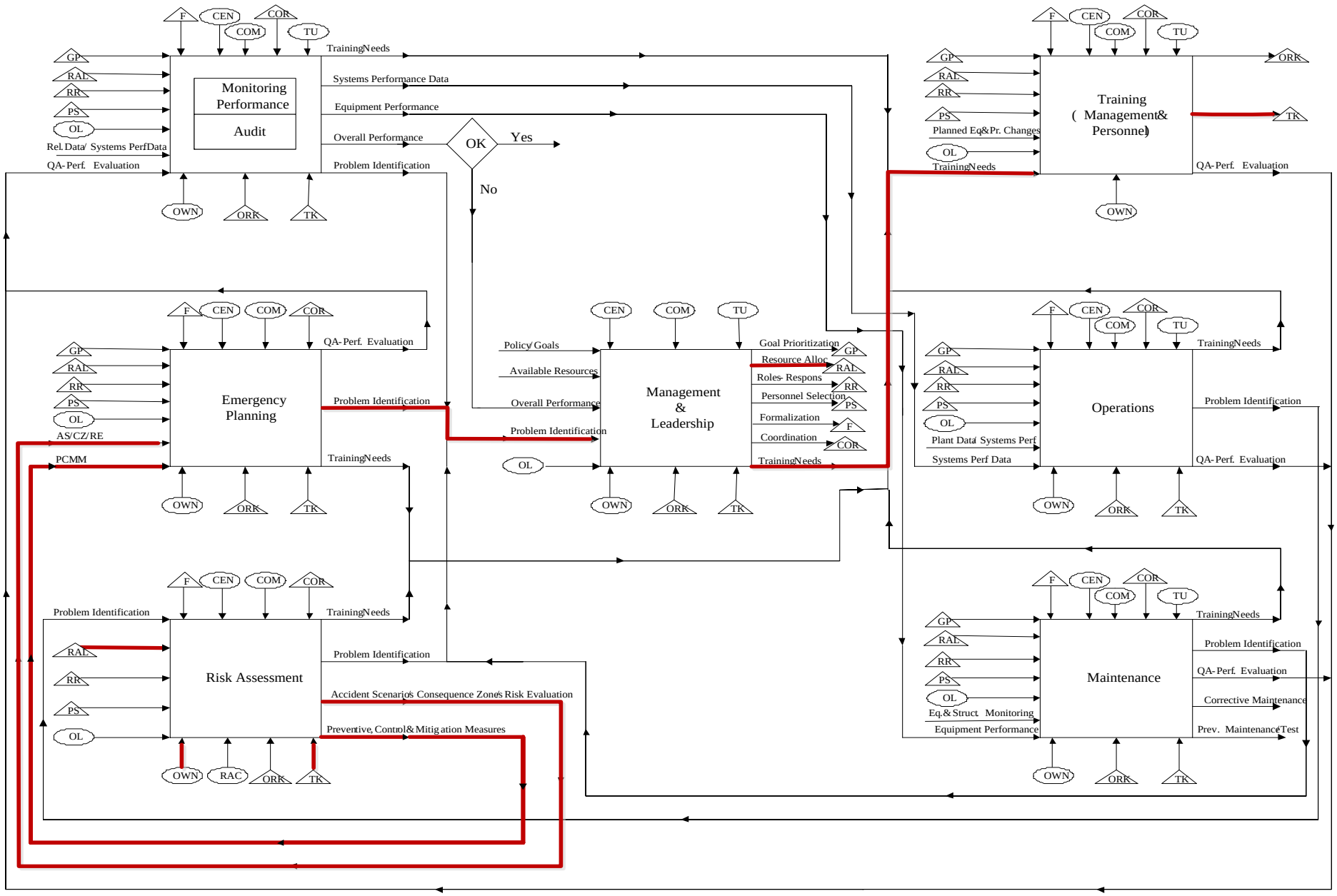
Β.2 στο Risk Assessment σαν Resource το TK, output Accident scenarios… και Preventive Control and Mitigation Measures, input στο Emergency Planning, output Problem Identification, input στο Management & Leadership, output GP, input στο Operation, output Problem Identification, input στο Risk Assessment.



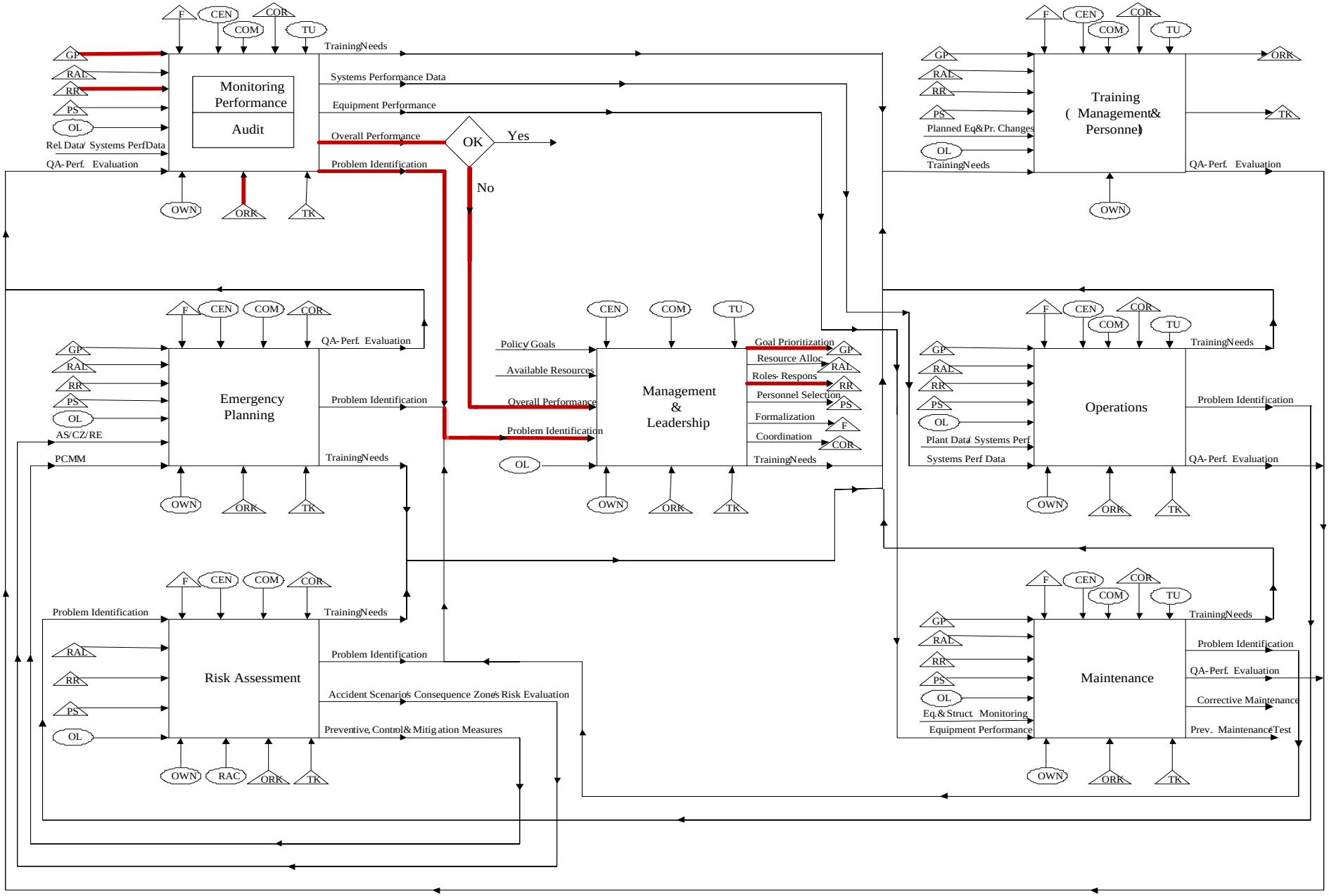
Σχήμα 1: Βρόχος Α.1



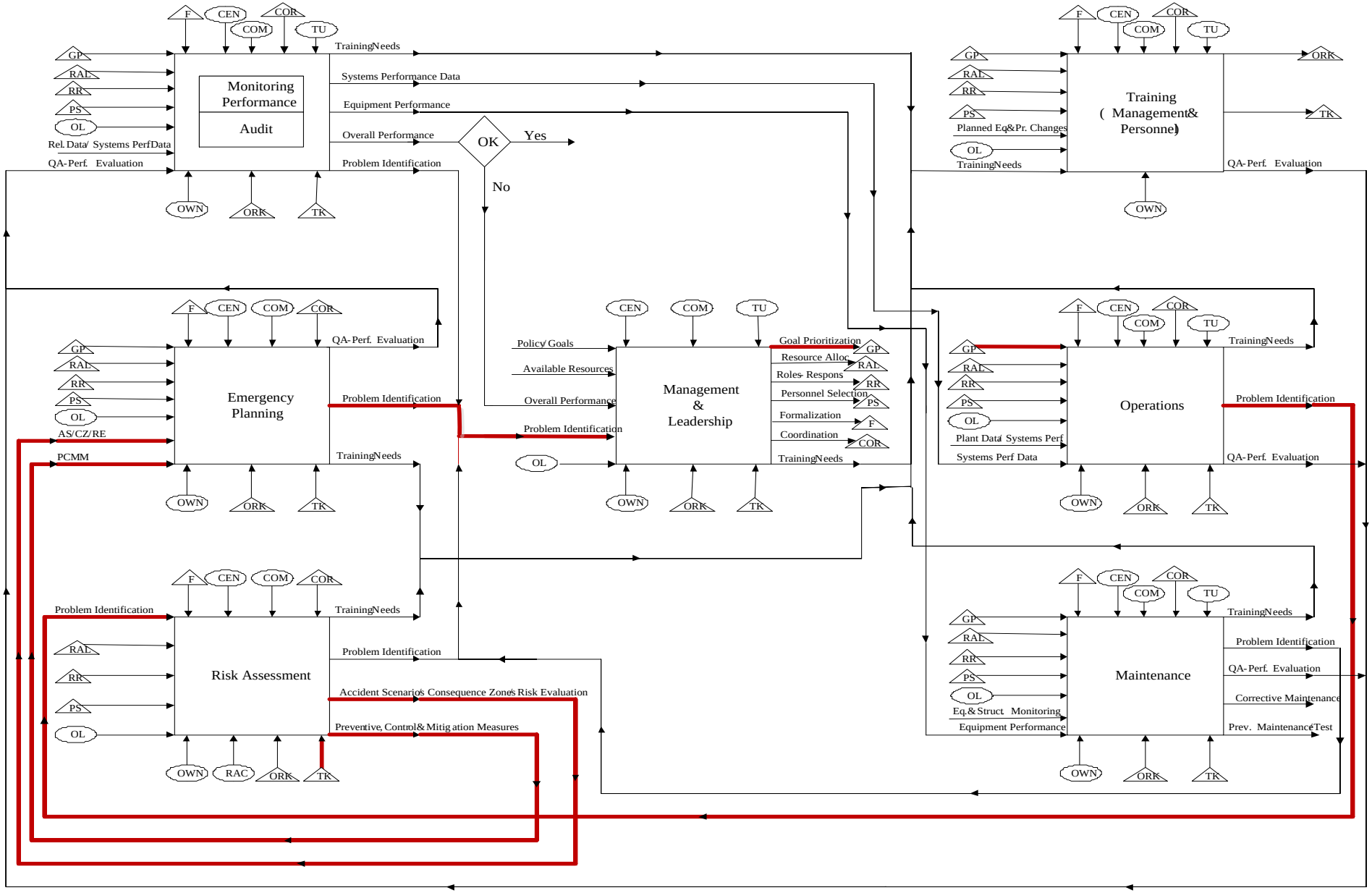
Σχήμα 2: Βρόχος Α.8



Σχήμα 3: Βρόχος Β.3



Σχήμα 4 : Βρόχος Α.3



Σχήμα 5 : Βρόχος Β.2

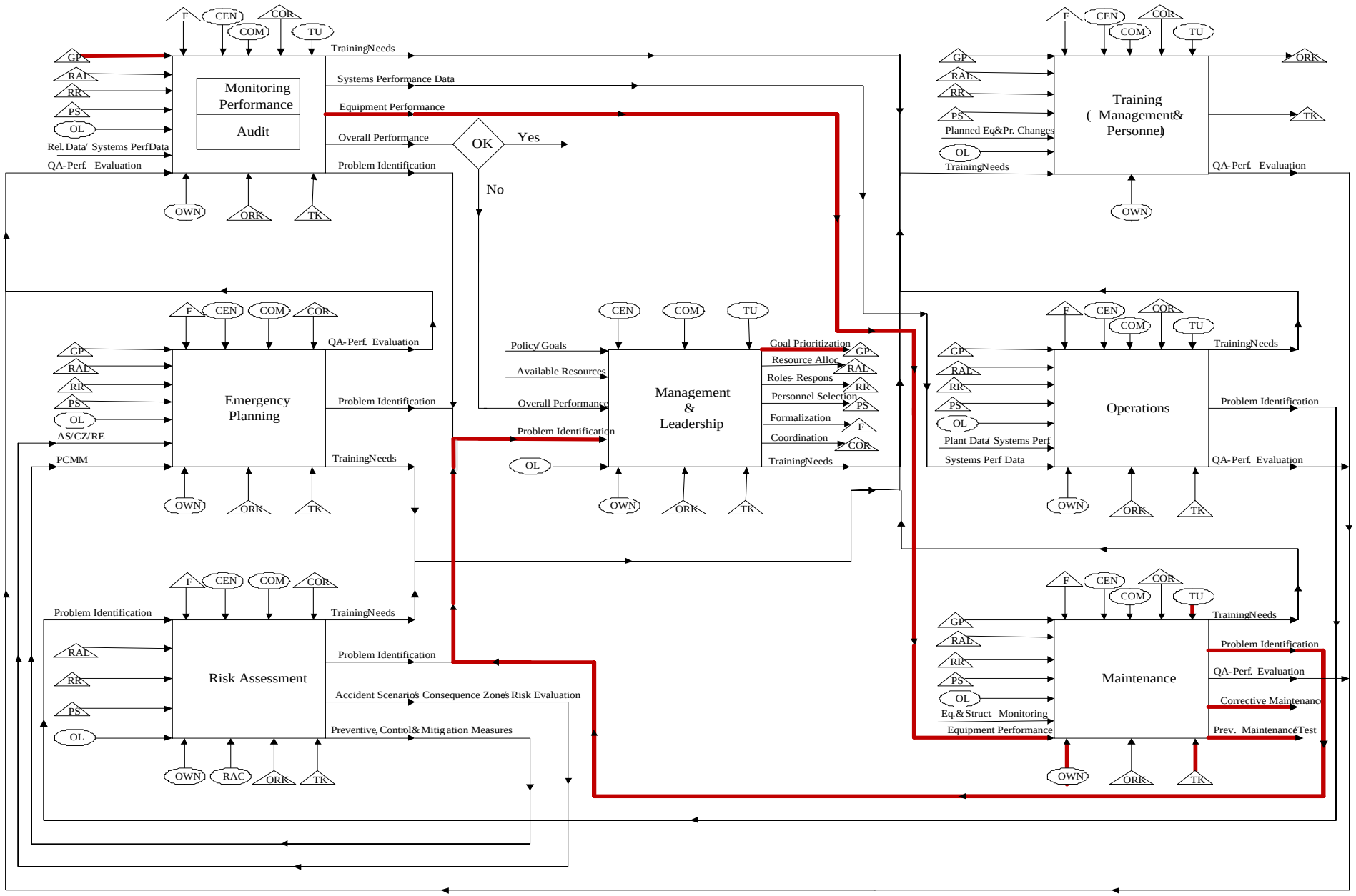
2η Ομάδα

Έλεγχοι λειτουργικότητας εξοπλισμού πριν το STARTUP

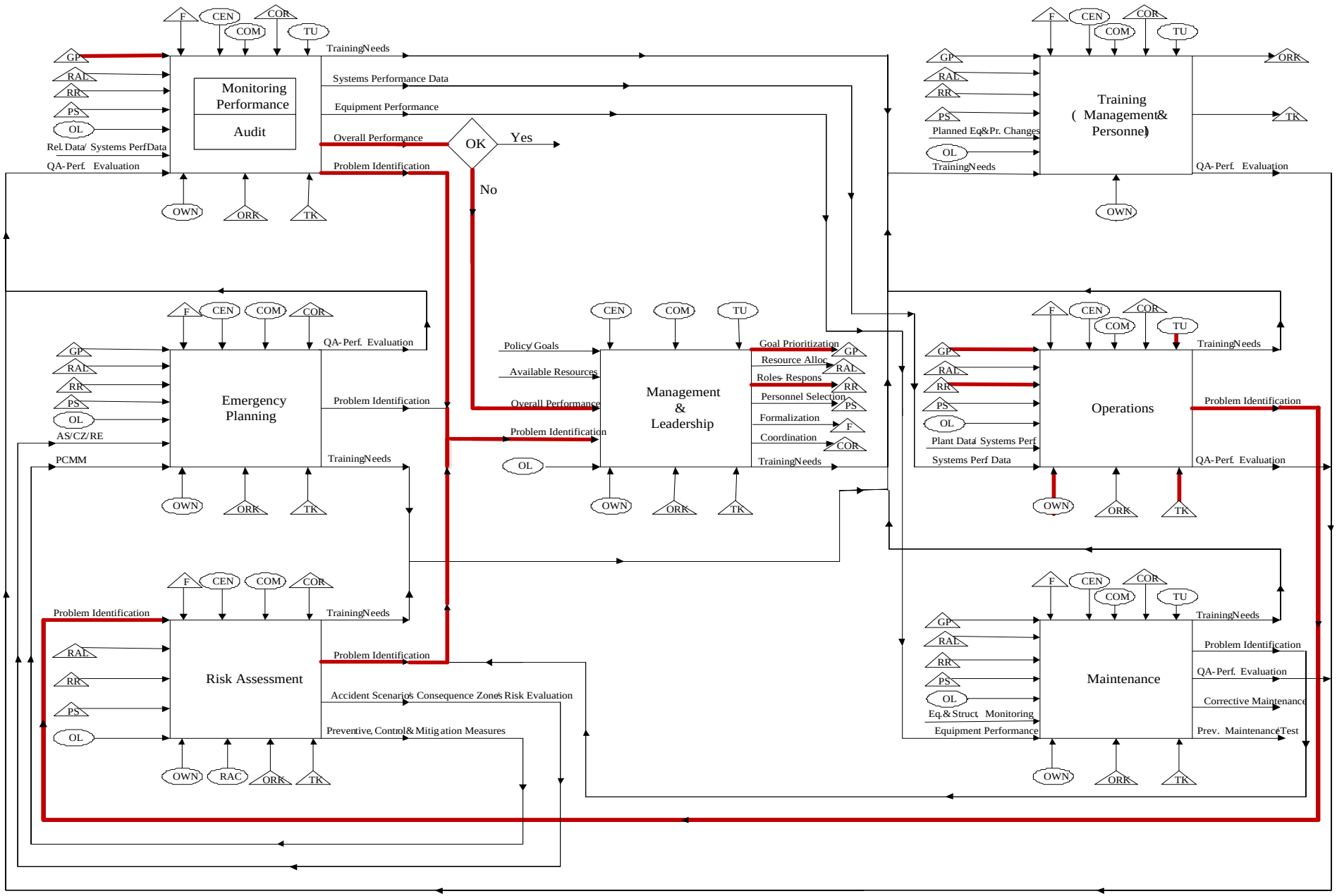
Α.4 στο Maintenance σαν Resource το ΤΚ και OWN και Control/Criteria οι χρονικοί περιορισμοί, output Corrective Maintenance & Prev. Maintenance και Problem Identification, input στο Management & Leadership, output GP, input στο Monitoring Performance/ Audit, output Equipment performance, input στο Maintenance.

Α.5 στο OPERATION σαν Resource το ΤΚ και OWN και Control/Criteria οι χρονικοί περιορισμοί, output Problem Identification, input στο Risk Assessment, output Problem Identification, input στο Management & Leadership, output GP, input στο Monitoring Performance/ Audit, output Overall performance και Problem Identification , input στο Management & Leadership, output GP και RR, input στο Operation.

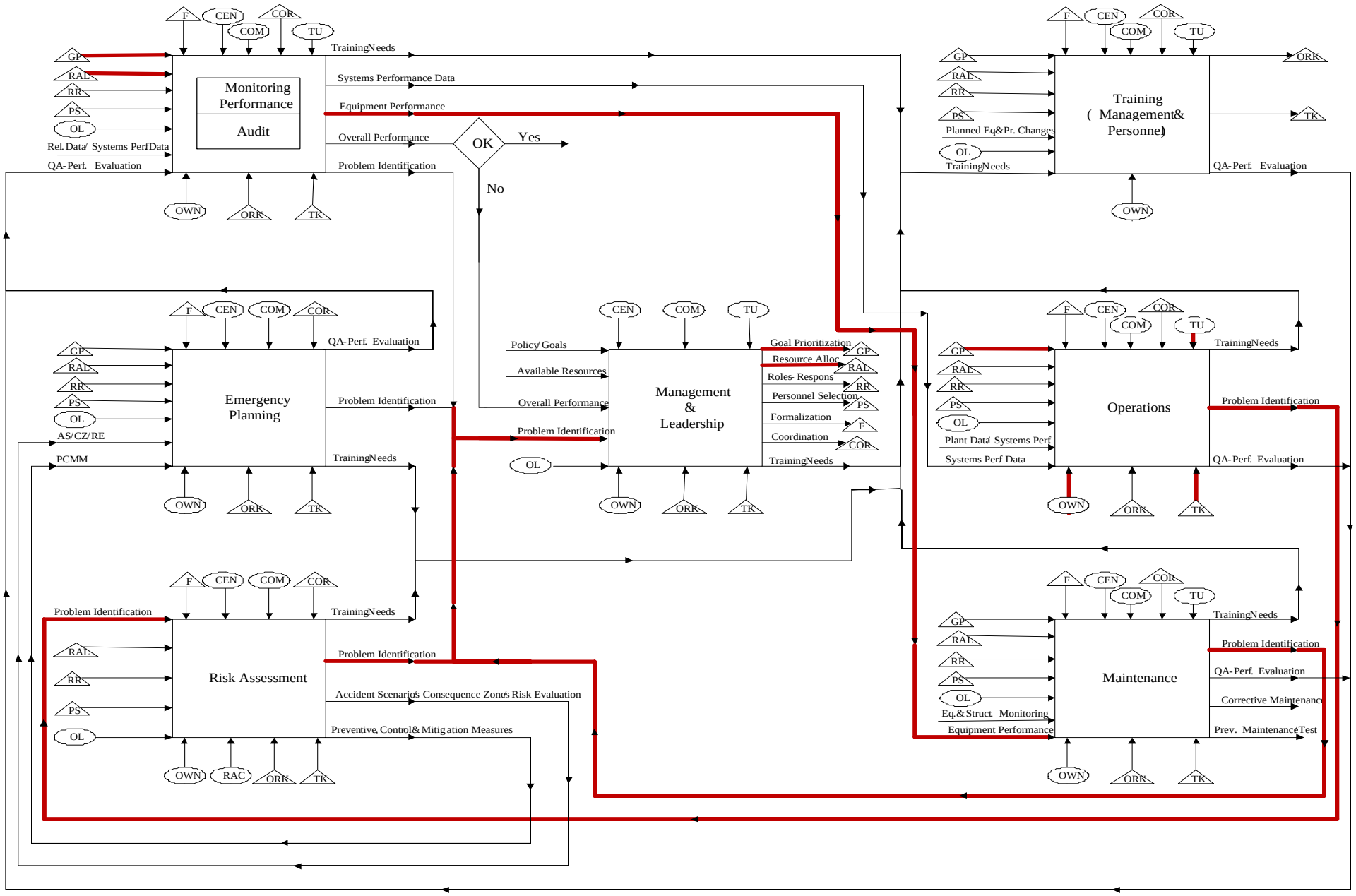
Ι.1 στο OPERATION σαν Resource το ΤΚ και OWN, output Problem Identification, input στο Risk Assessment, output Problem Identification, input στο Management & Leadership, output GP και RAL, input στο Monitoring Performance/ Audit, output Equipment Performance, input στο Maintenance, output Problem Identification , input στο Management & Leadership, output GP , input στο Operation.



Σχήμα 6 : Βρόχος Α.4



Σχήμα 7 : Βρόχος A.5



Σχήμα 8 : Βρόχος Ι.1

3η Ομάδα

Έλεγχοι πληρότητας και λειτουργικότητας εξοπλισμού ελέγχου και μέσων επικοινωνίας, (κατά την εκτέλεση της διαδικασίας)

Α.4 στο Maintenance σαν Resource το TK και OWN και Control/Criteria οι χρονικοί περιορισμοί, output Corrective Maintenance & Prev. Maintenance και Problem Identification, input στο Management & Leadership, output GP, input στο Monitoring Performance/ Audit, output Equipment performance, input στο Maintenance.

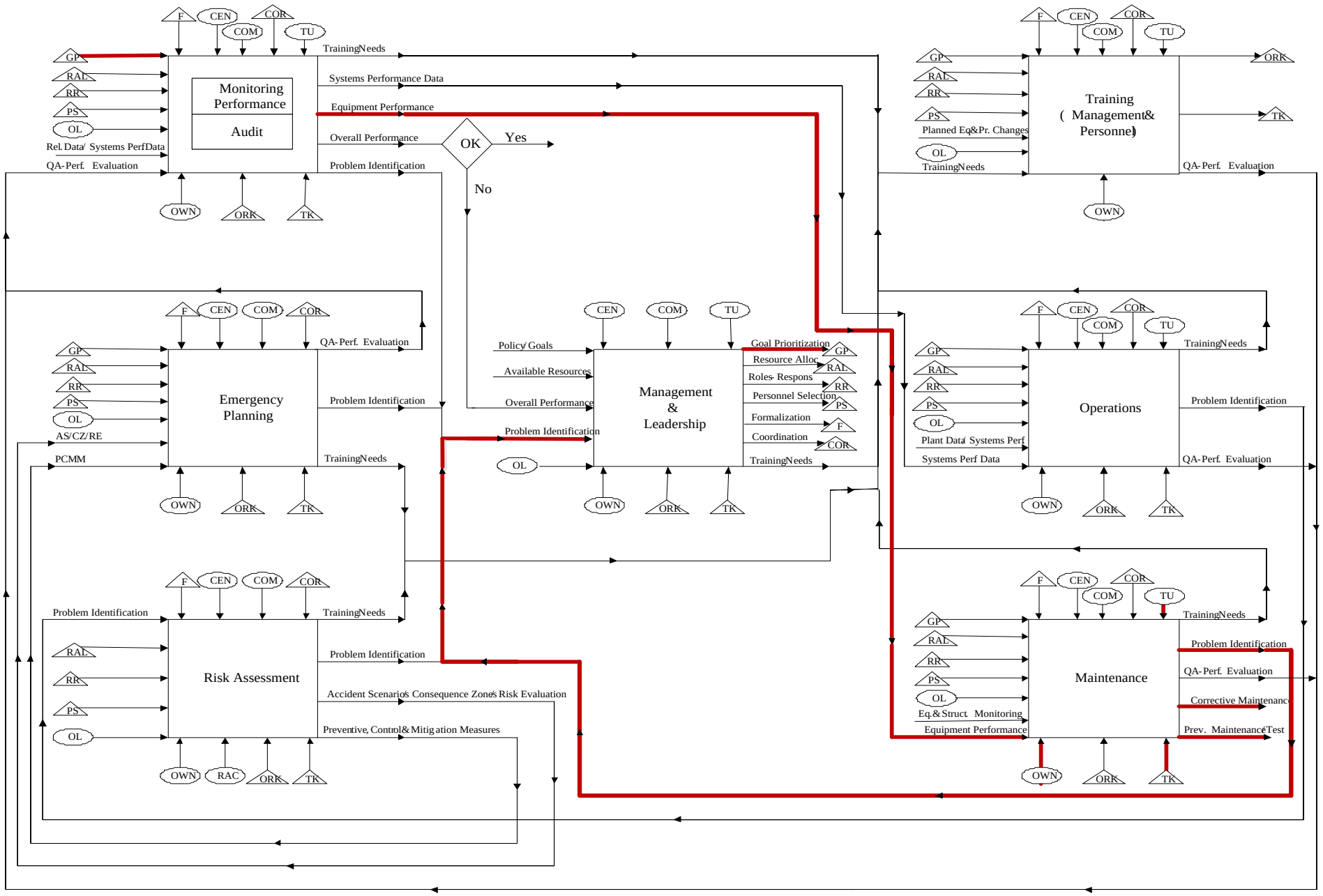
Α.5 στο OPERATION σαν Resource το TK και OWN και Control/Criteria οι χρονικοί περιορισμοί, output Problem Identification, input στο Risk Assessment, output Problem Identification, input στο Management & Leadership, output GP, input στο Monitoring Performance/ Audit, output Overall performance και Problem Identification , input στο Management & Leadership, output GP και RR, input στο Operation.

Η.2 στο OPERATION σαν Resource το TK και OWN, output Problem Identification, input στο Risk Assessment, output Problem Identification, input στο Management & Leadership, output GP, input στο Operation.

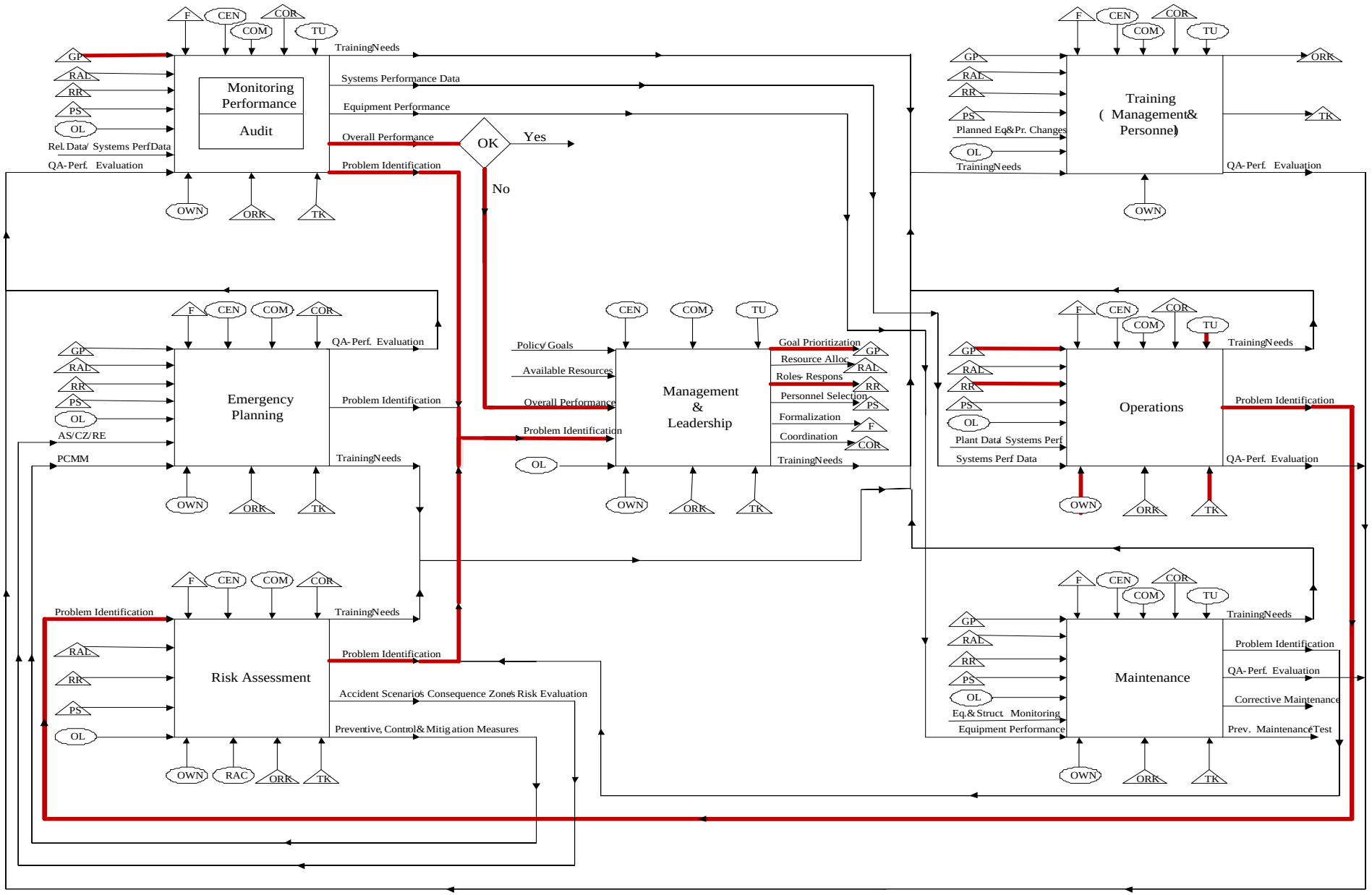
Η.1 στο Maintenance σαν Resource το TK, output Problem Identification, input στο Management & Leadership, output GP, input στο Monitoring Performance/ Audit, output Training Needs και Equipment performance, άρα
Ή input στο Training, output TK , input στο Maintenance.
Ή input στο Maintenance.

Β.4 στο OPERATION σαν Resource το TK, output Problem Identification, input στο Risk Assessment, output Problem Identification, input στο Management & Leadership, output GP και RAL, input στο Operation.

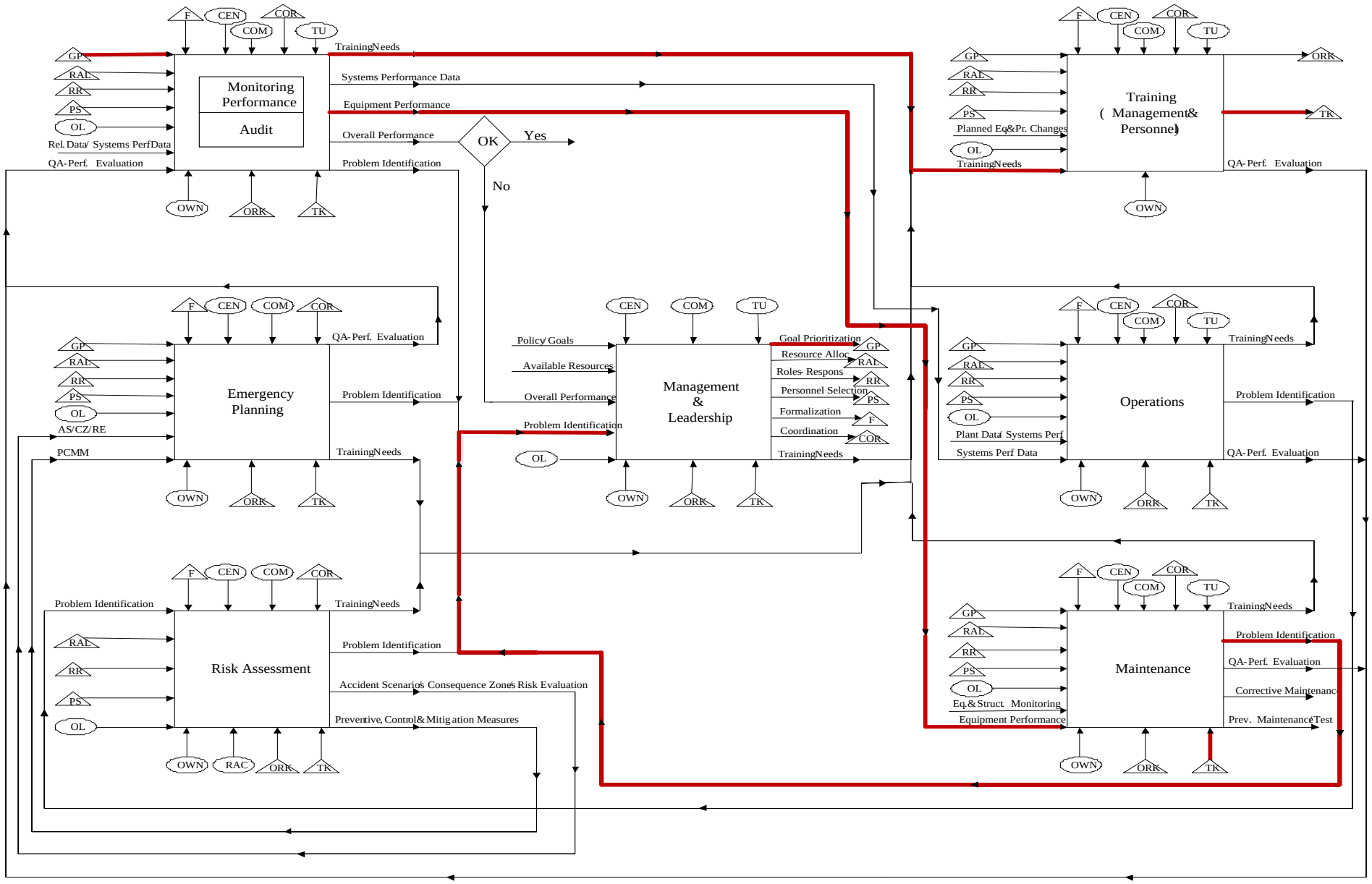
Κ.1 στο Risk Assessment σαν Resource το OWN και το RAC, output Accident scenarios…, input στο Emergency Planning, output Problem Identification, input στο Management, output RAL, input στο Risk Assessment.



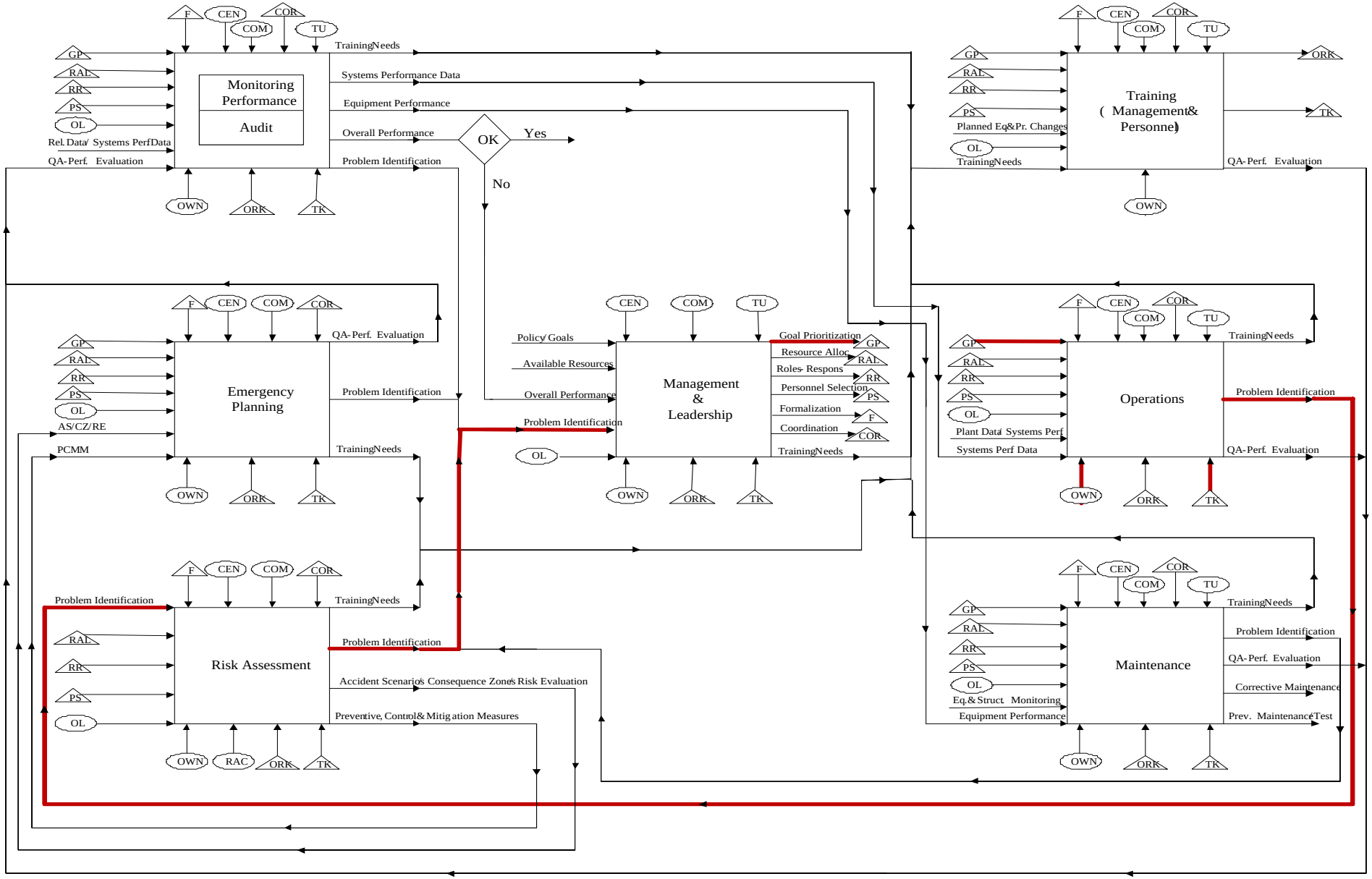
Σχήμα 9: Βρόχος Α.4



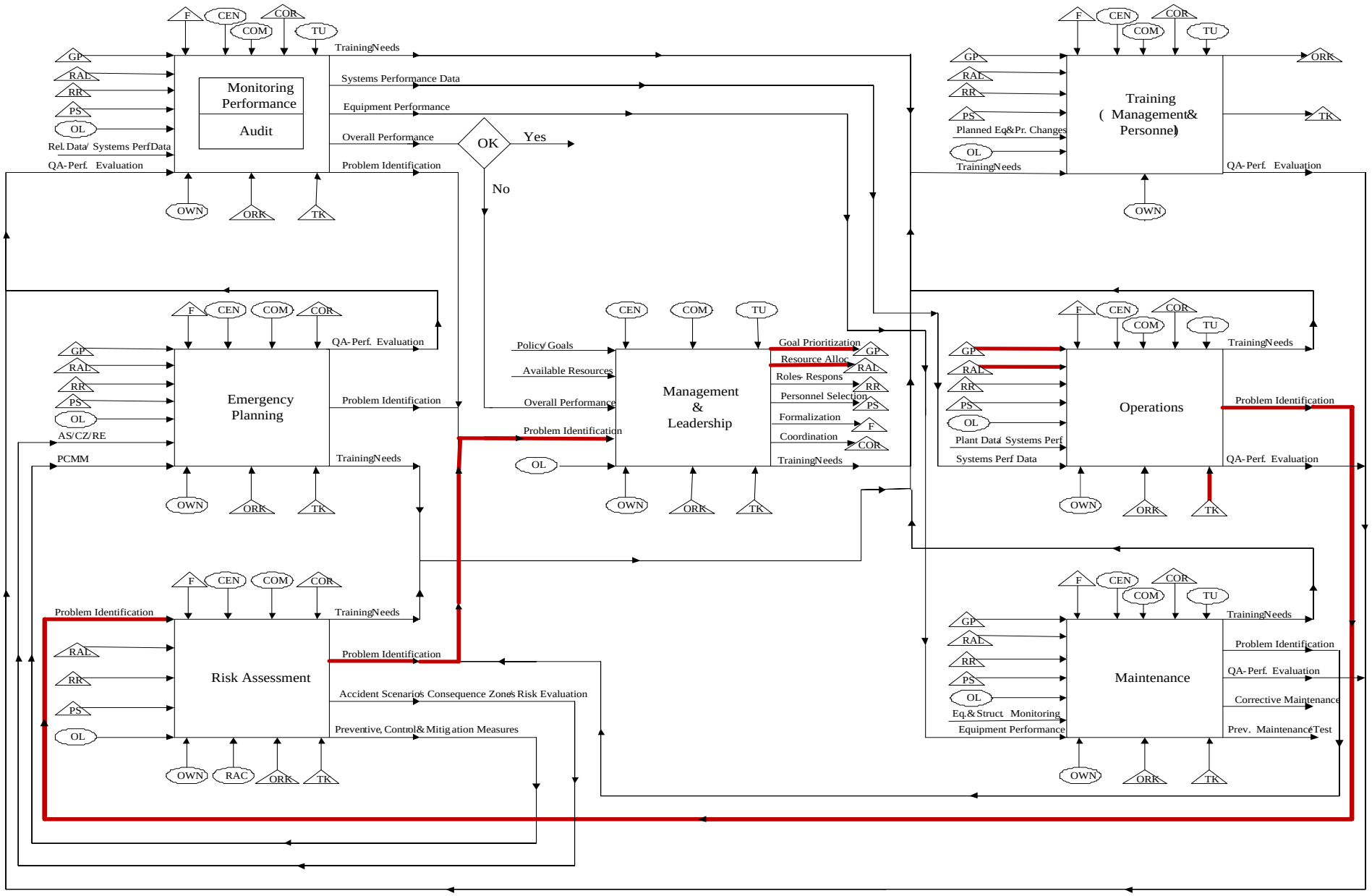
Σχήμα 10: Βρόχος A.5



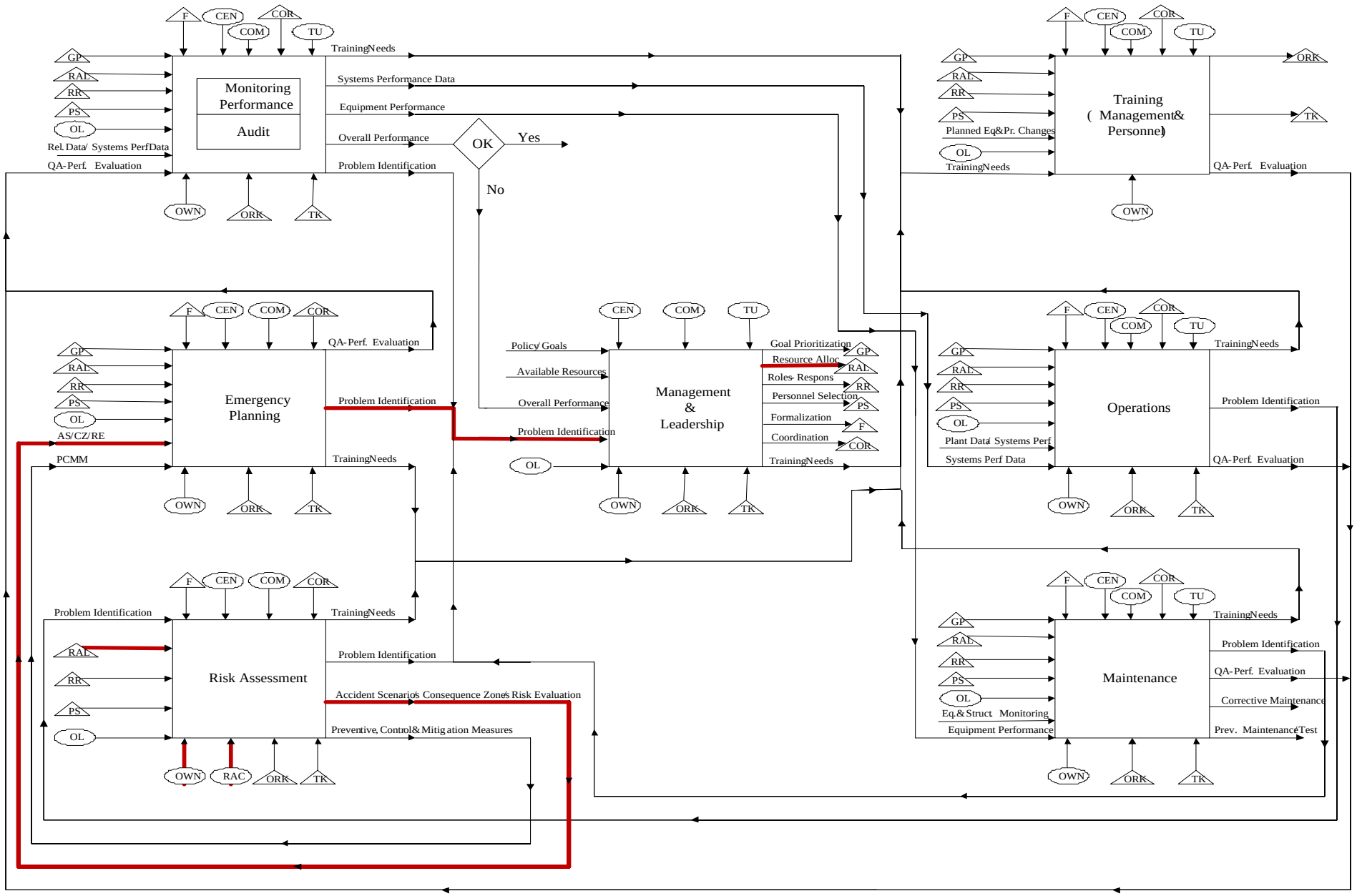
Σχήμα 11: Βρόχος Η.1



Σχήμα 12: Βρόχος Η.2



Σχήμα 13: Βρόχος Β.4



Σχήμα 14: Βρόχος Κ.1

4η Ομάδα

Προσωπικό για το STARTUP

Α.6 στο Audit σαν Resource το ORK και Control/Criteria F, output Problem Identification, input στο Management & Leadership, output Training needs και F, input στο Training, output QA-Per Evaluation, input στο Audit και το F sσαν Control/Criteria.

Α.8 στο Risk Assessment σαν Resource το TK και OWN, output Accident scenarios… , input στο Emergency Planning, output Problem Identification, input στο Management & Leadership, output Training needs, input στο Training, output TK, input στο Risk Assessment.

Έλεγχος για ικανό αριθμό

Ζ.3 στο Audit σαν Resource το ORK και CEN Control/Criteria, output Problem Identification, input στο Management & Leadership, output PS και RAL, input στο Audit.

Έλεγχος καταλληλότητας προσωπικού

Ε.1 στο Training output TK, input σαν Resource στο Risk Assessment, output Problem Identification, input στο Management & Leadership, output Training needs, input στο Training.
Ή TK, input σαν Resource στο Operation, output Problem Identification, input στο Risk Assessment, output Problem Identification, input στο Management & Leadership, output Training needs, input στο Training.

Η.1 στο Maintenance σαν Resource το TK, output Problem Identification, input στο Management & Leadership, output Training needs, input στο Training, output TK, input στο Maintenance.

Β.5 στο Risk Assessment σαν Resource το TK και ORK, output Accident scenarios… , input στο Emergency Planning, output Problem Identification, input στο Management & Leadership, output Training needs, input στο Training, output TK και ORK, input στο Risk Assessment.

Β.6 στο Maintenance σαν Resource το TK, output Problem Identification, input στο Management & Leadership, output Training needs και PS, άρα
Training needs input στο Training, output TK , input στο Maintenance.
PS input στο Maintenance.

Έλεγχος αρμοδιότητας

Δ.1 στο Training σαν Resource το OWN και Control/Criteria το COM, output ORK, input σαν Resource στο Audit, output Problem Identification, input στο Management & Leadership, output RR και PS και Training needs, input στο Training.

Έλεγχος ετοιμότητας, αποτελεσματικότητας, ικανότητας

Ζ.2 στο Risk Assessment σαν Resource το OWN και ORK και Control/Criteria το CEN, output Accident scenarios… και Preventive, Control & Mitigation Measures, input στο Emergency Planning, output QA- Perf. Evaluation, input στο Audit, output

overall Performance και Problem Identification, input στο Management & Leadership, output RAL και RR, input στο Risk Assessment.

Έλεγχος συμμόρφωσης και σωστής εκτέλεσης της διαδικασίας

Α.6 στο Audit σαν Resource το ORK, output Problem Identification και Overal Performance, input στο Management & Leadership, output Training needs, input στο Training, output QA- Perf. Evaluation, input στο Audit.

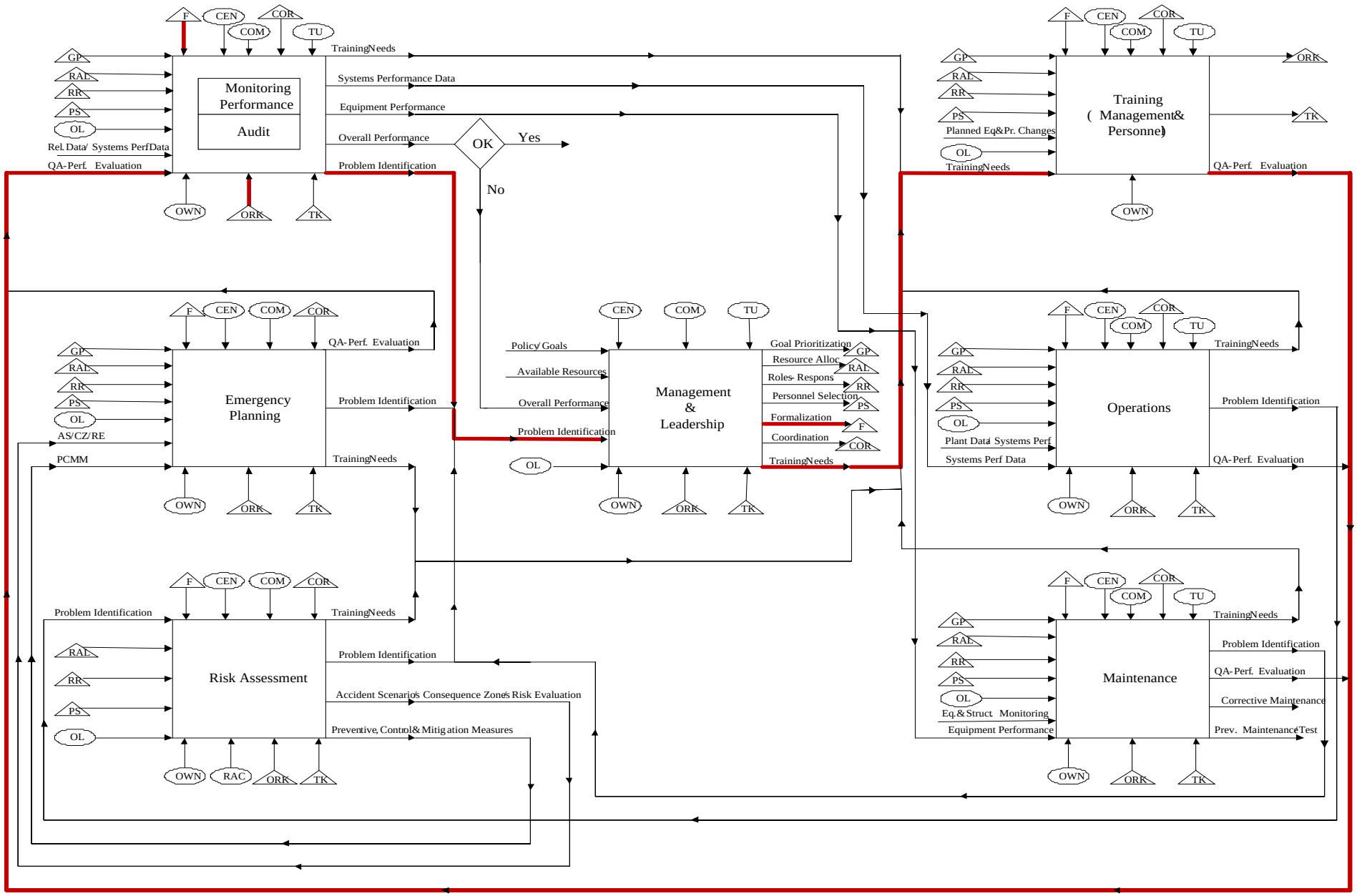
Α.7 στο Audit σαν Resource το ORK, output Problem Identification, input στο Management & Leadership, output RR και PS, input στο Audit.

Ζ.1 στο Audit σαν Resource το TK, output Problem Identification, input στο Management & Leadership, output RR και F και COR, input στο Audit.

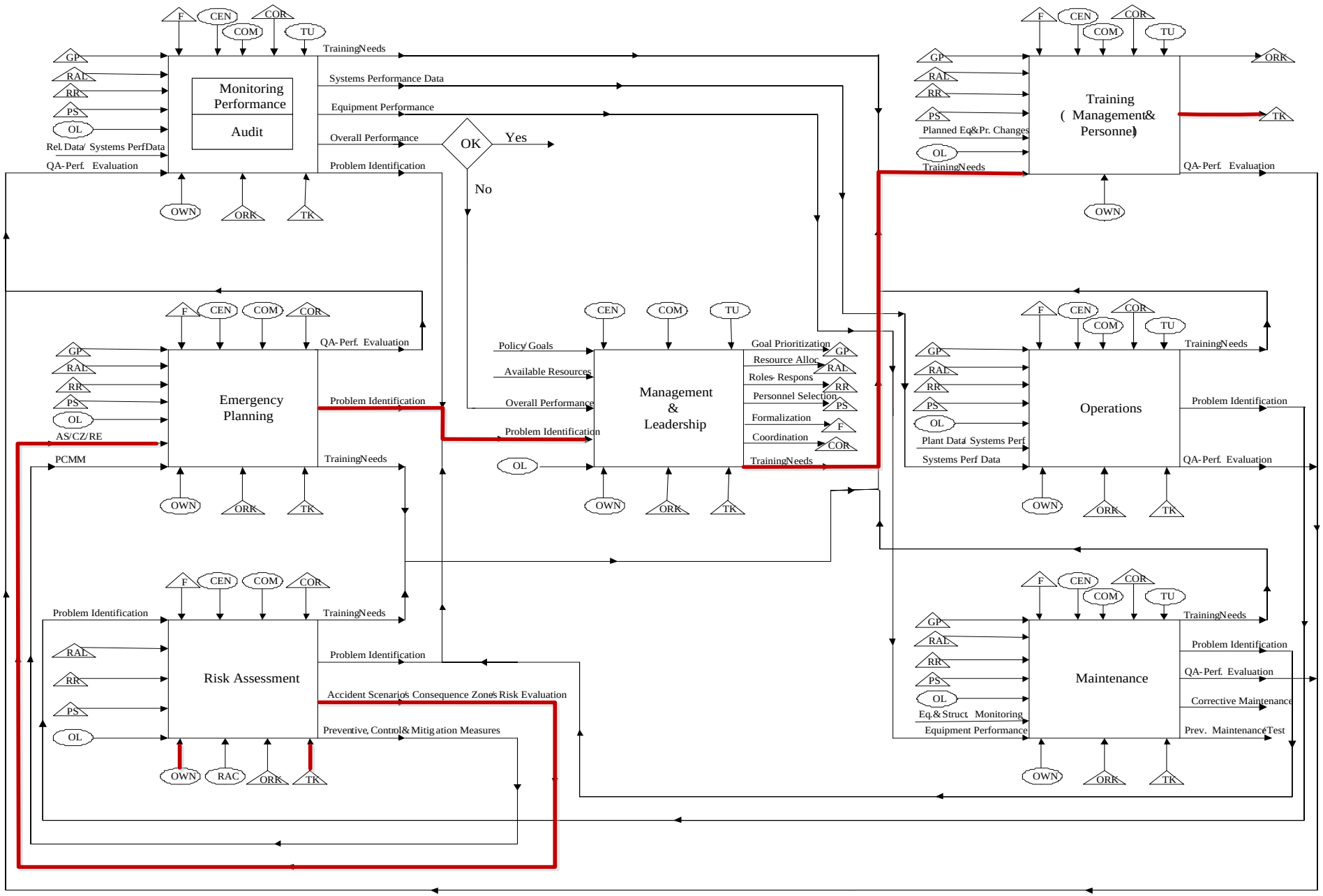
Η.3 στο Audit σαν Resource το ORK, output Problem Identification, input στο Management & Leadership, output RR, input στο Audit.

Έλεγχος επικοινωνίας

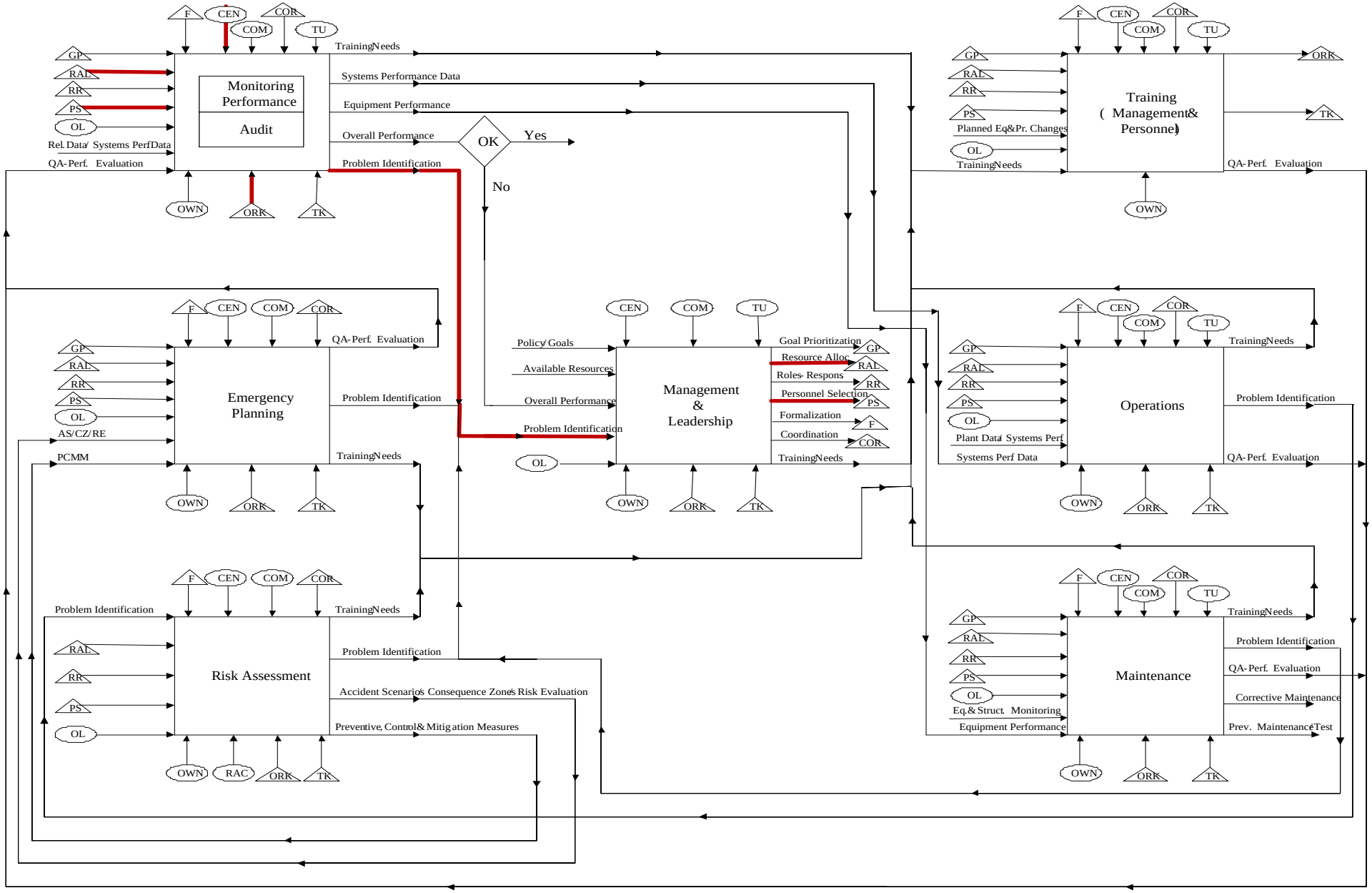
Δ.1 στο Training σαν Resource το OWN και Control/Criteria το COM, output ORK, input σαν Resource στο Monitoring Performance/ Audit, output Problem Identification, input στο Management & Leadership, output RR και PS και Training needs, input στο Training.



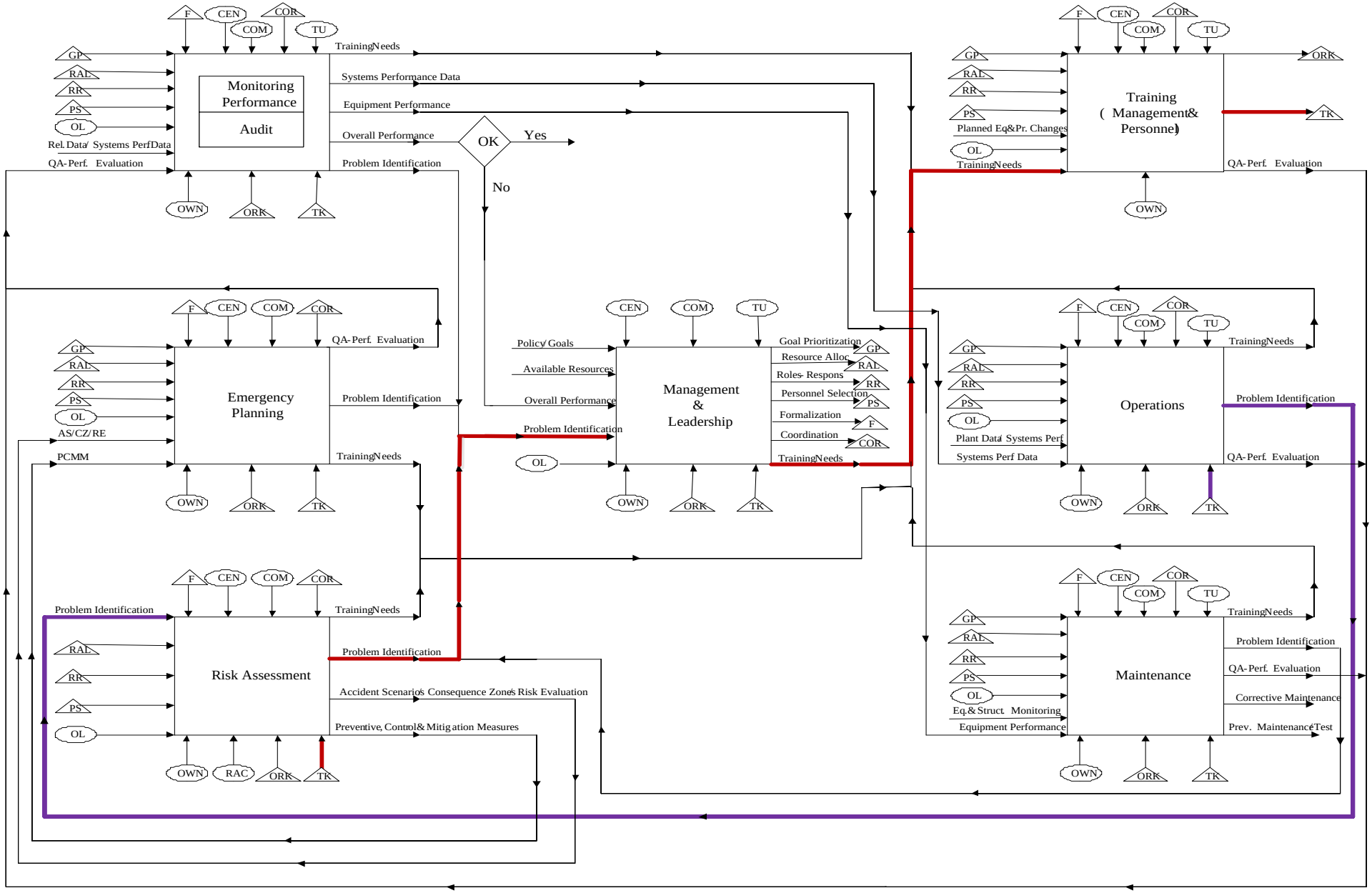
Σχήμα 15: Βρόχος Α.6



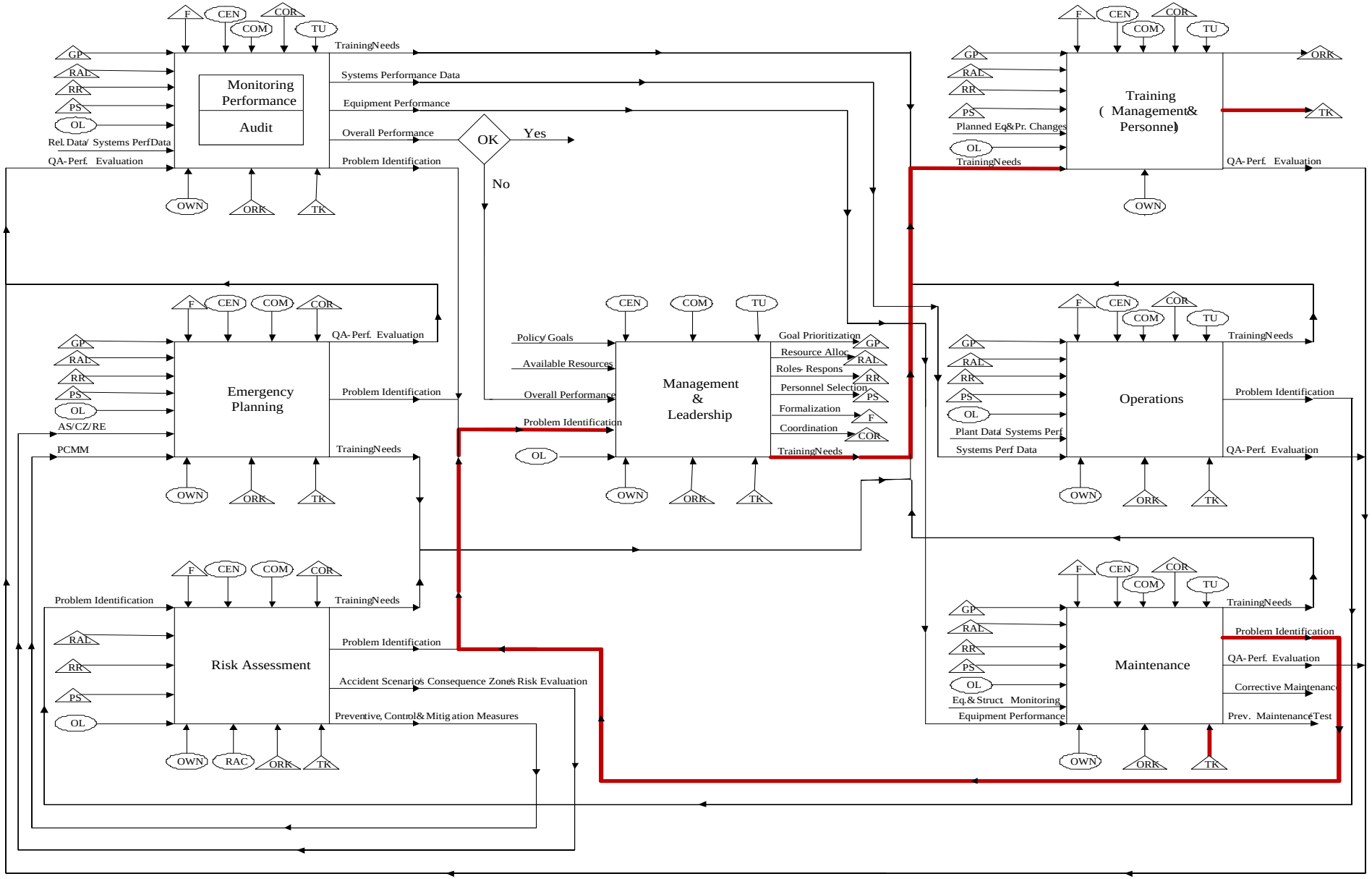
Σχήμα 16: Βρόχος Α.8



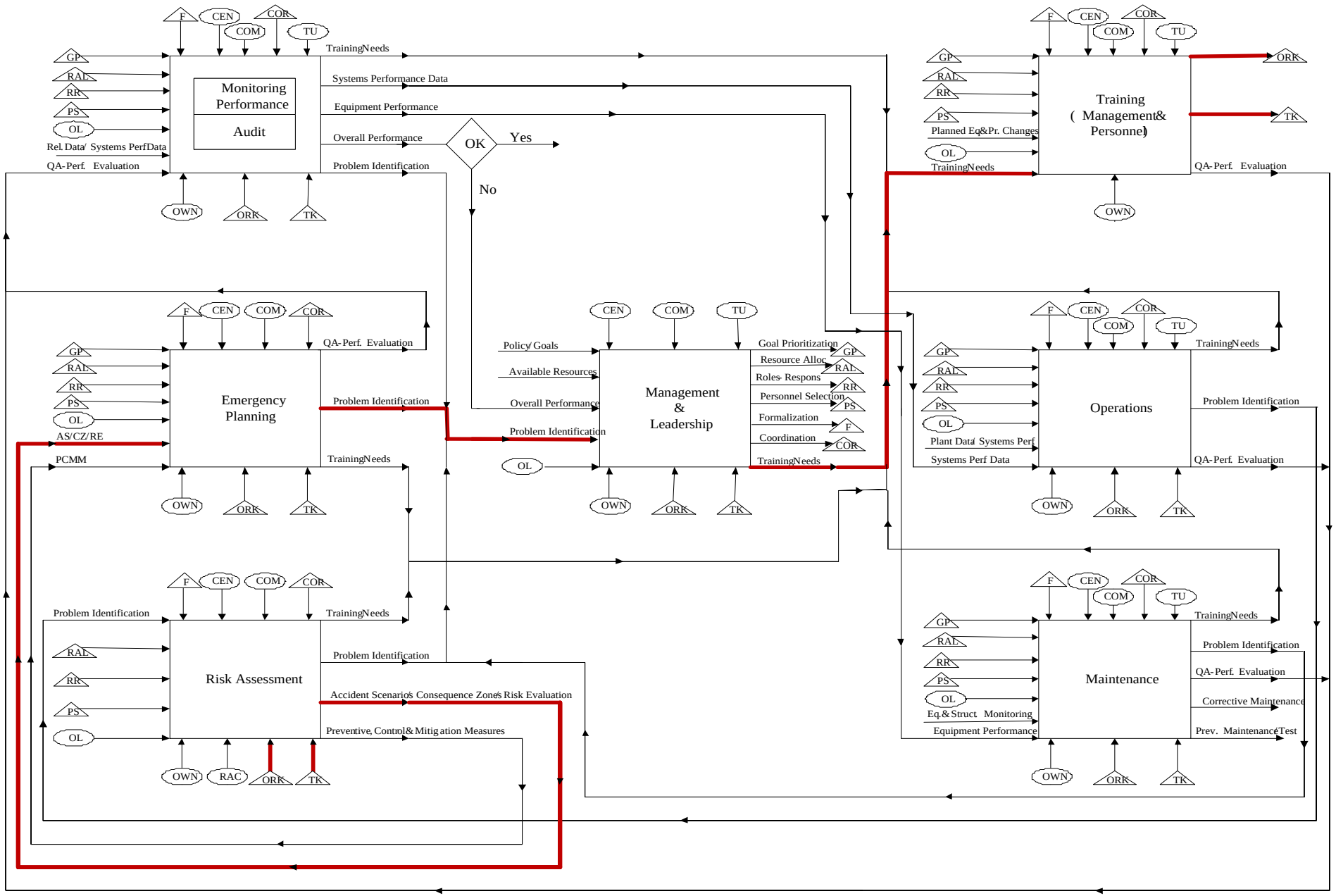
Σχήμα 17: Βρόχος Ζ.3



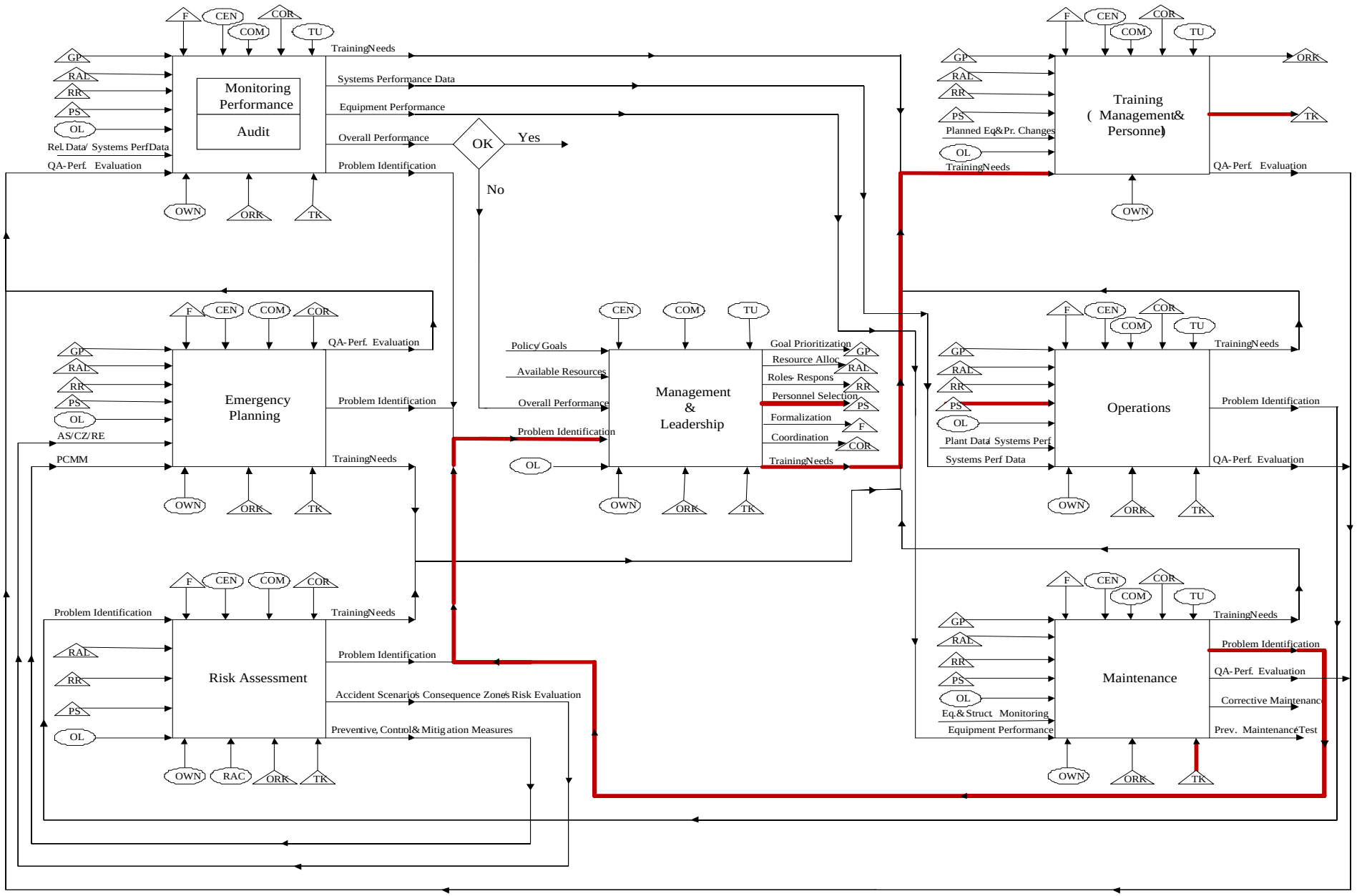
Σχήμα 18: Βρόχος Ε.1



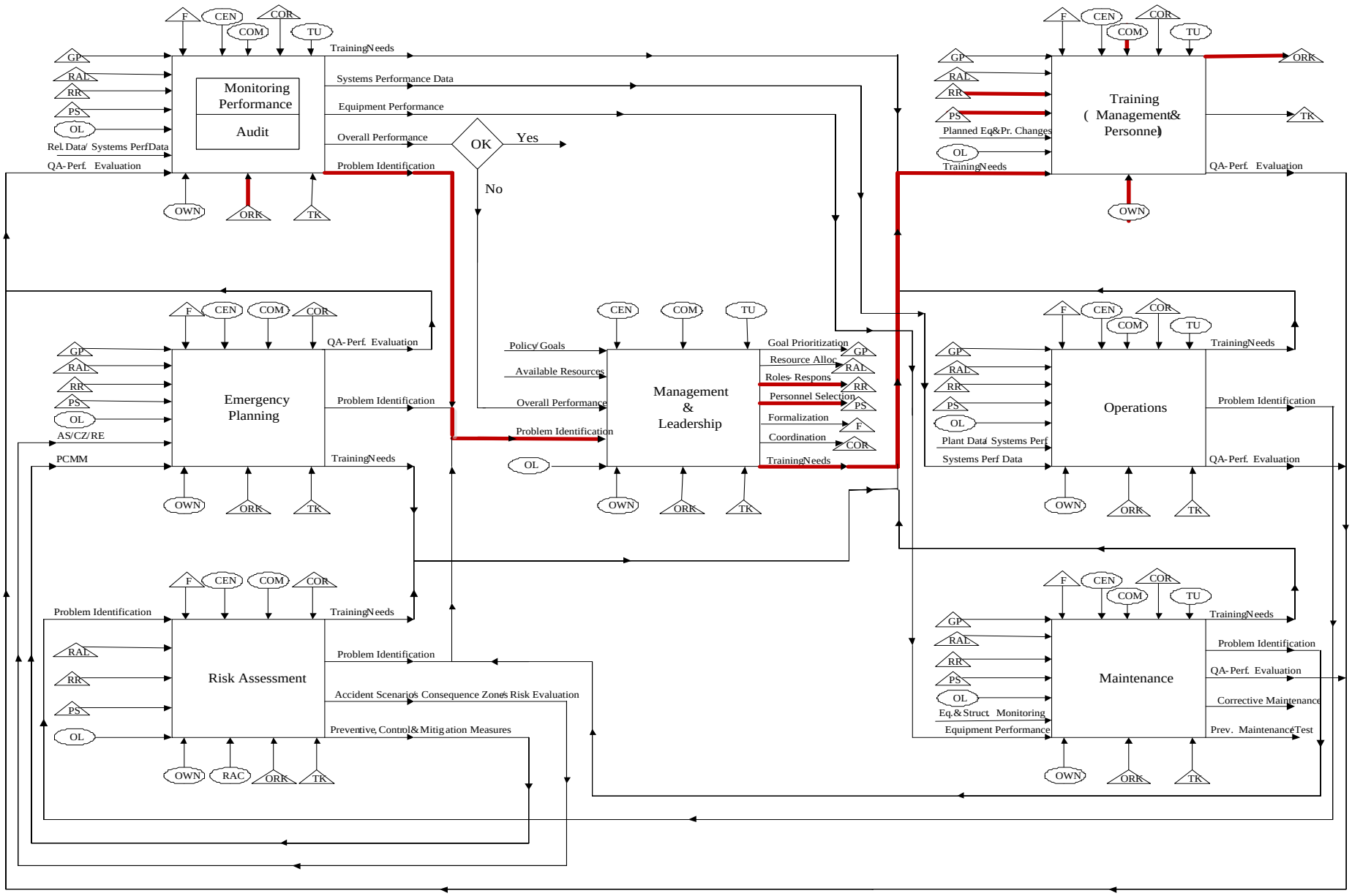
Σχήμα 19 : Βρόχος Η.1



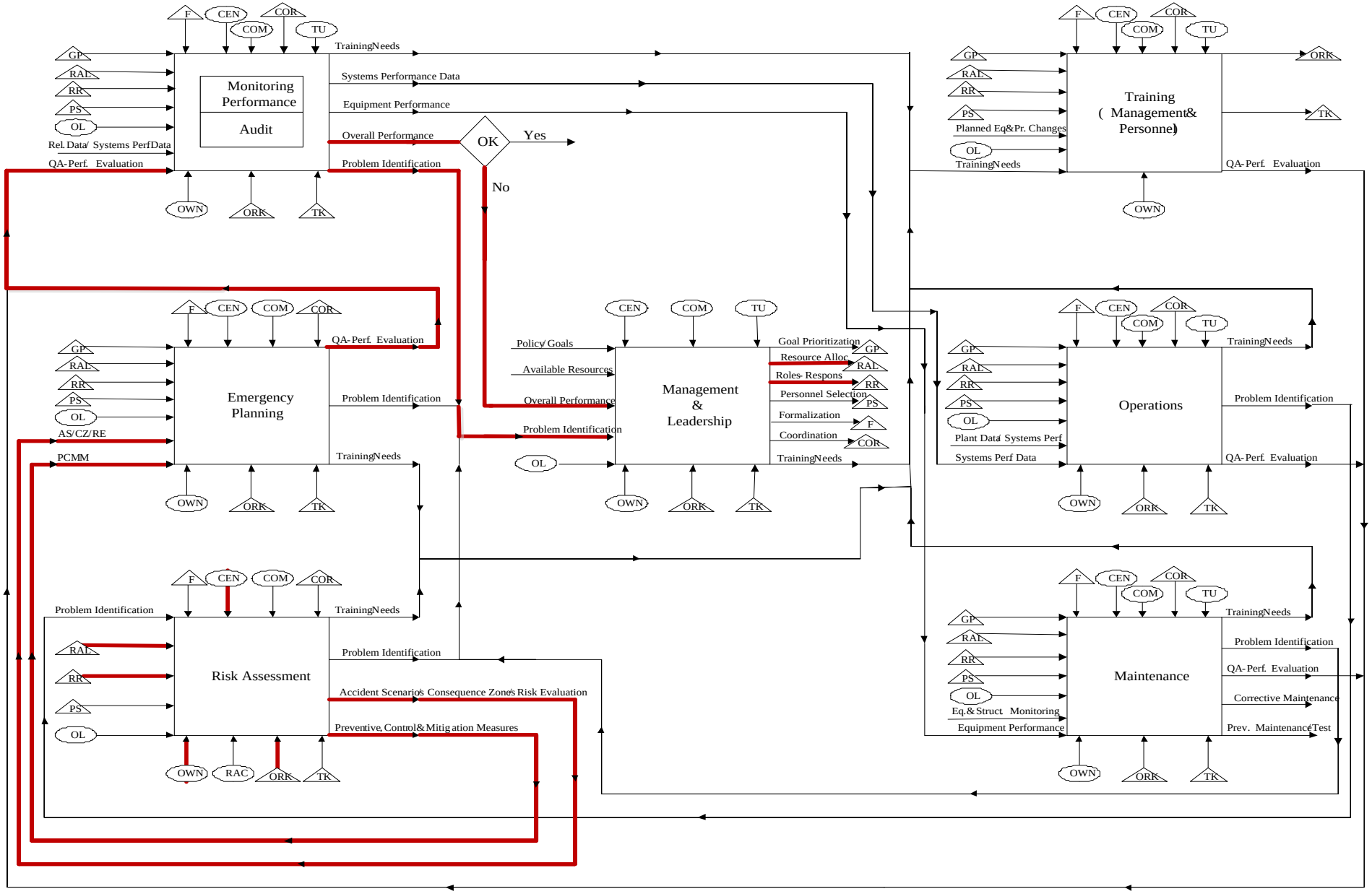
Σχήμα 20: Βρόχος B.5



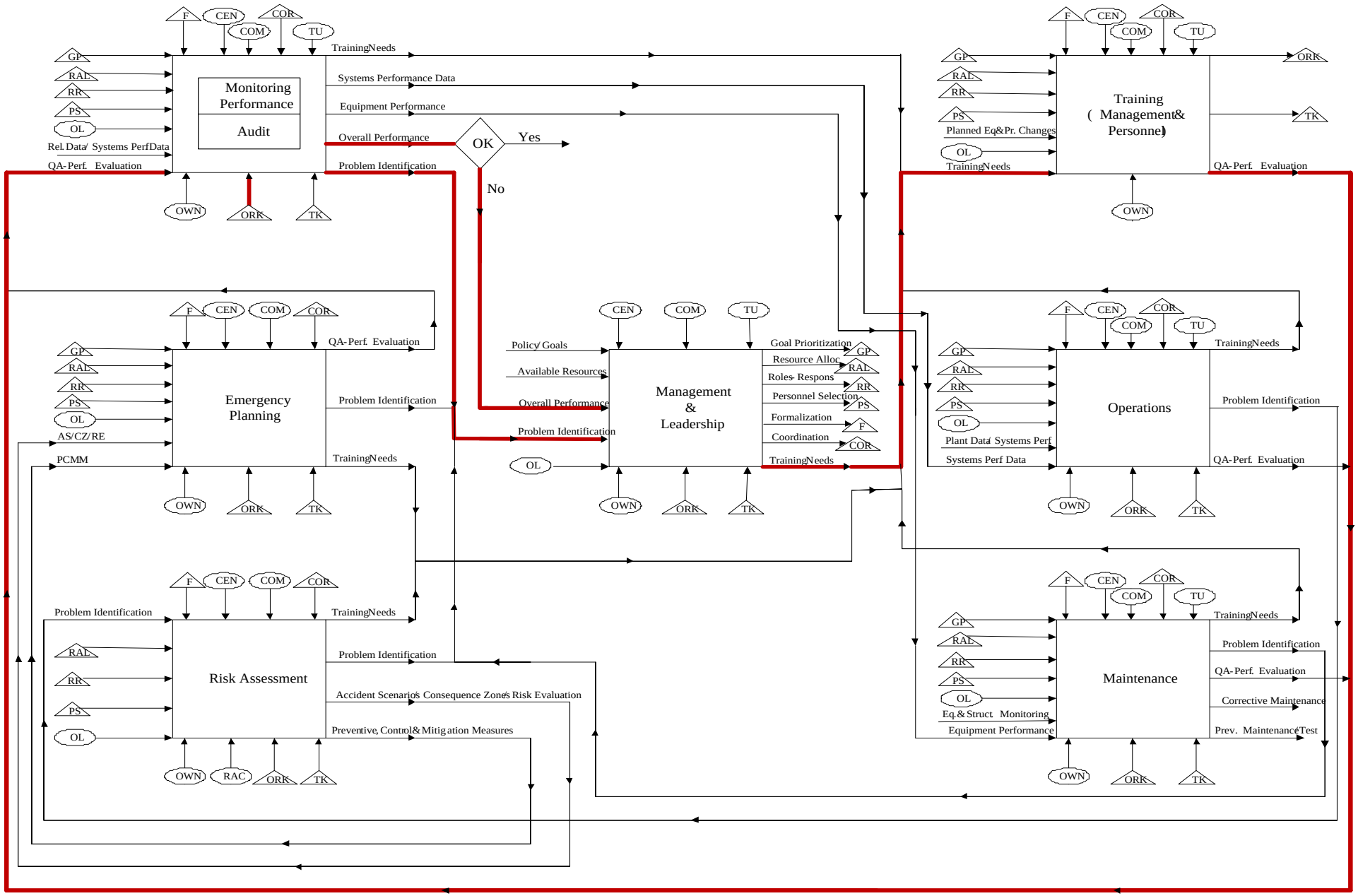
Σχήμα 21: Βρόχος Β.6



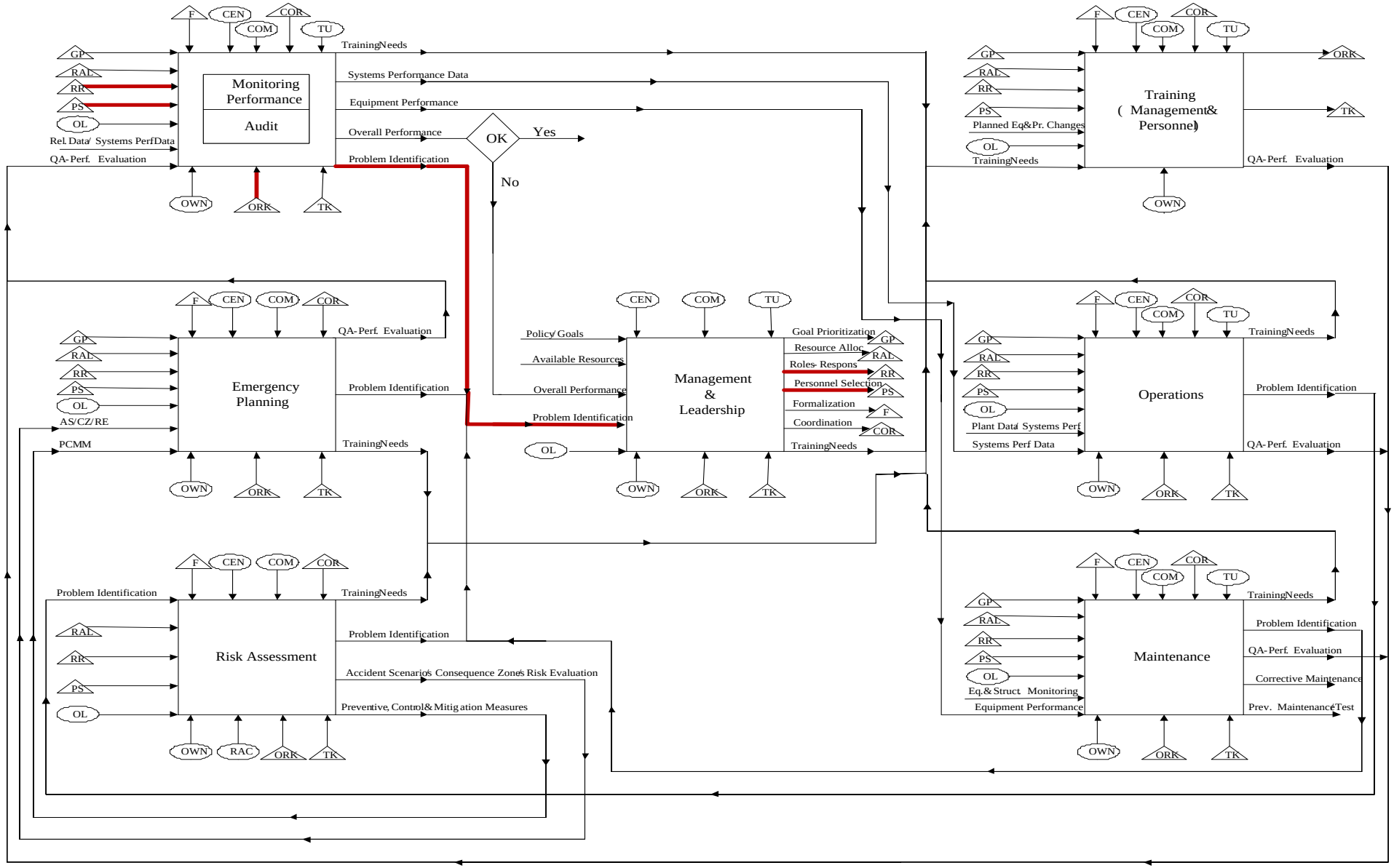
Σχήμα 22: Βρόχος Δ.1



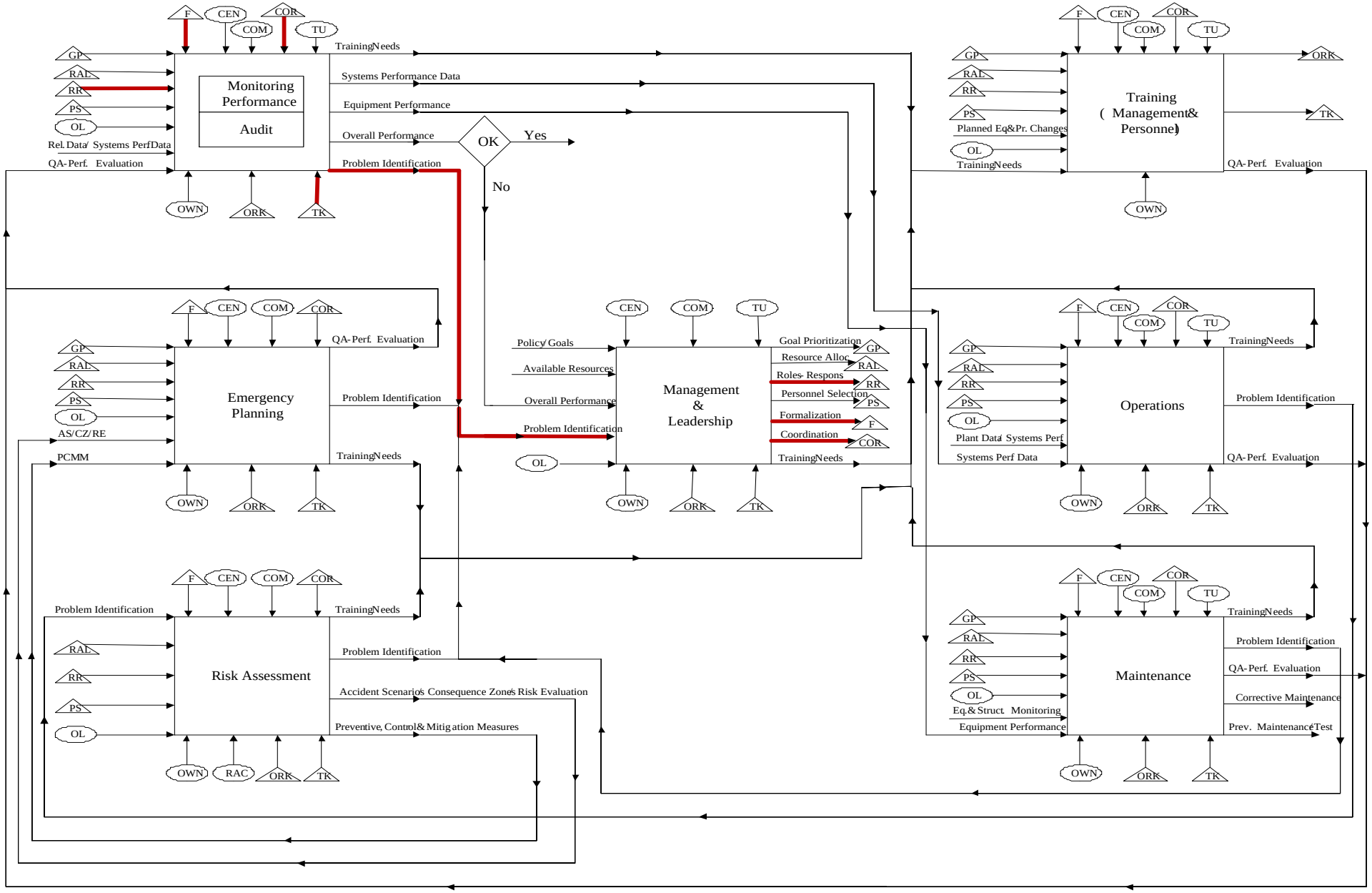
Σχήμα 23: Βρόχος Ζ.2



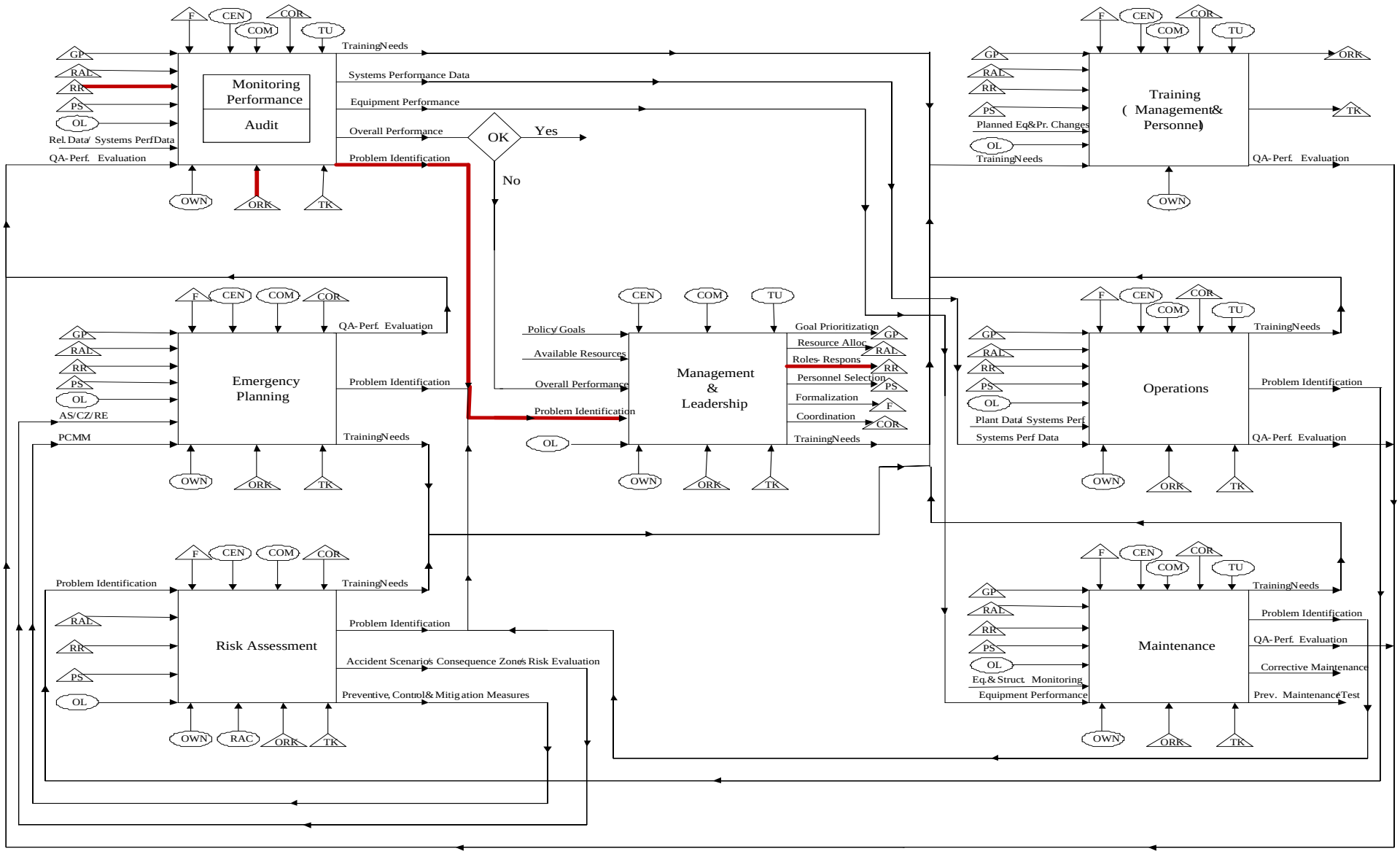
Σχήμα 24: Βρόχος Α.6



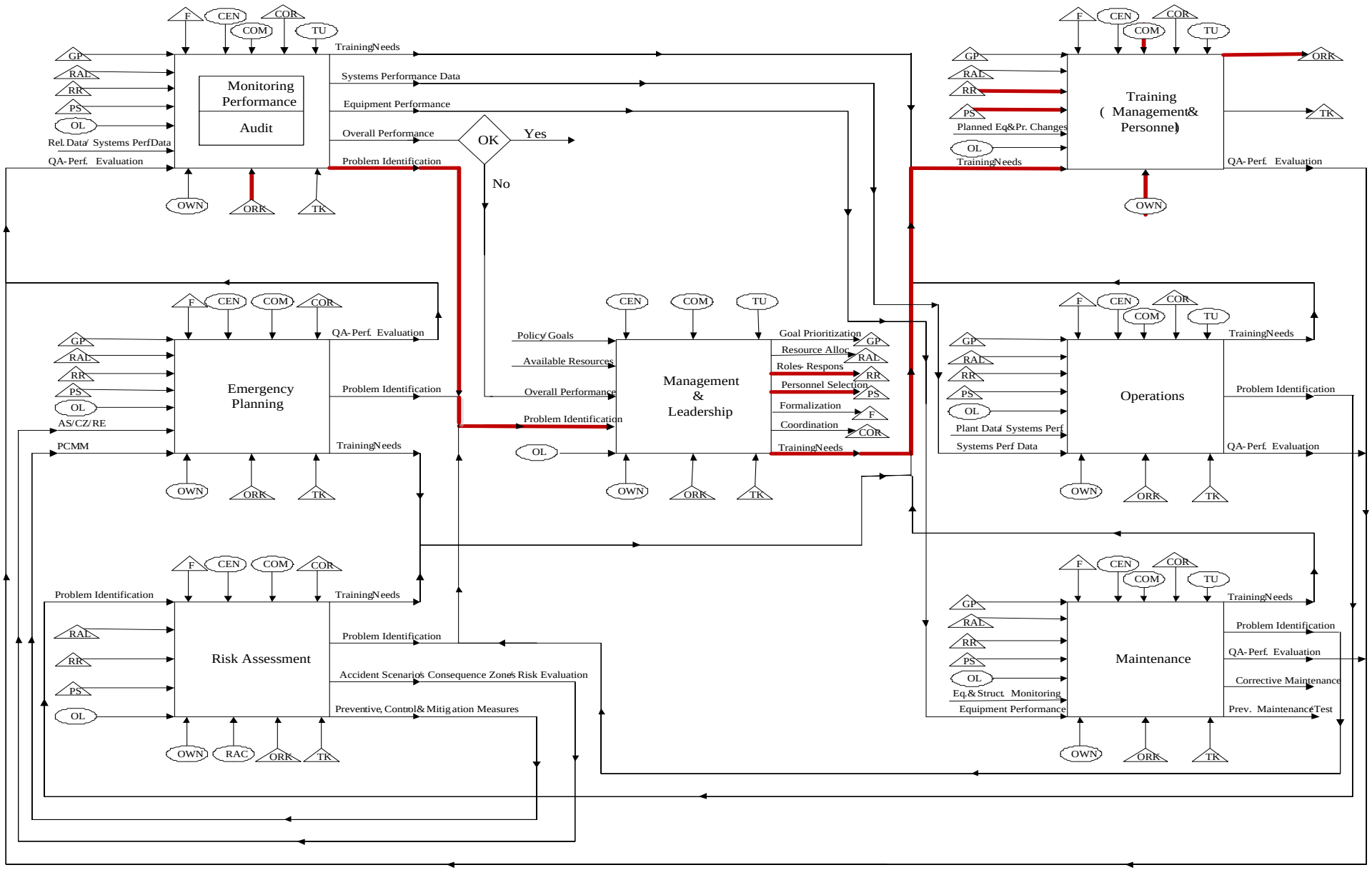
Σχήμα 25: Βρόχος Α.7



Σχήμα 26: Βρόχος Ζ.1



Σχήμα 27: Βρόχος Η.3



Σχήμα 28: Βρόχος Δ.1

5η Ομάδα

Μηνύματα και ενδείξεις από το Control Room

Γ.1 στο OPERATION σαν Resource το TK, output Problem Identification, input στο Risk Assessment, output Problem Identification, input στο Management & Leadership, output GP, input στο Operation.

Β.6 στο Maintenance σαν Resource το TK, output Problem Identification, input στο Management & Leadership, output Training needs και PS, άρα
Training needs input στο Training, output TK , input στο Maintenance.
PS input στο Maintenance.

Εντολές από Control Room

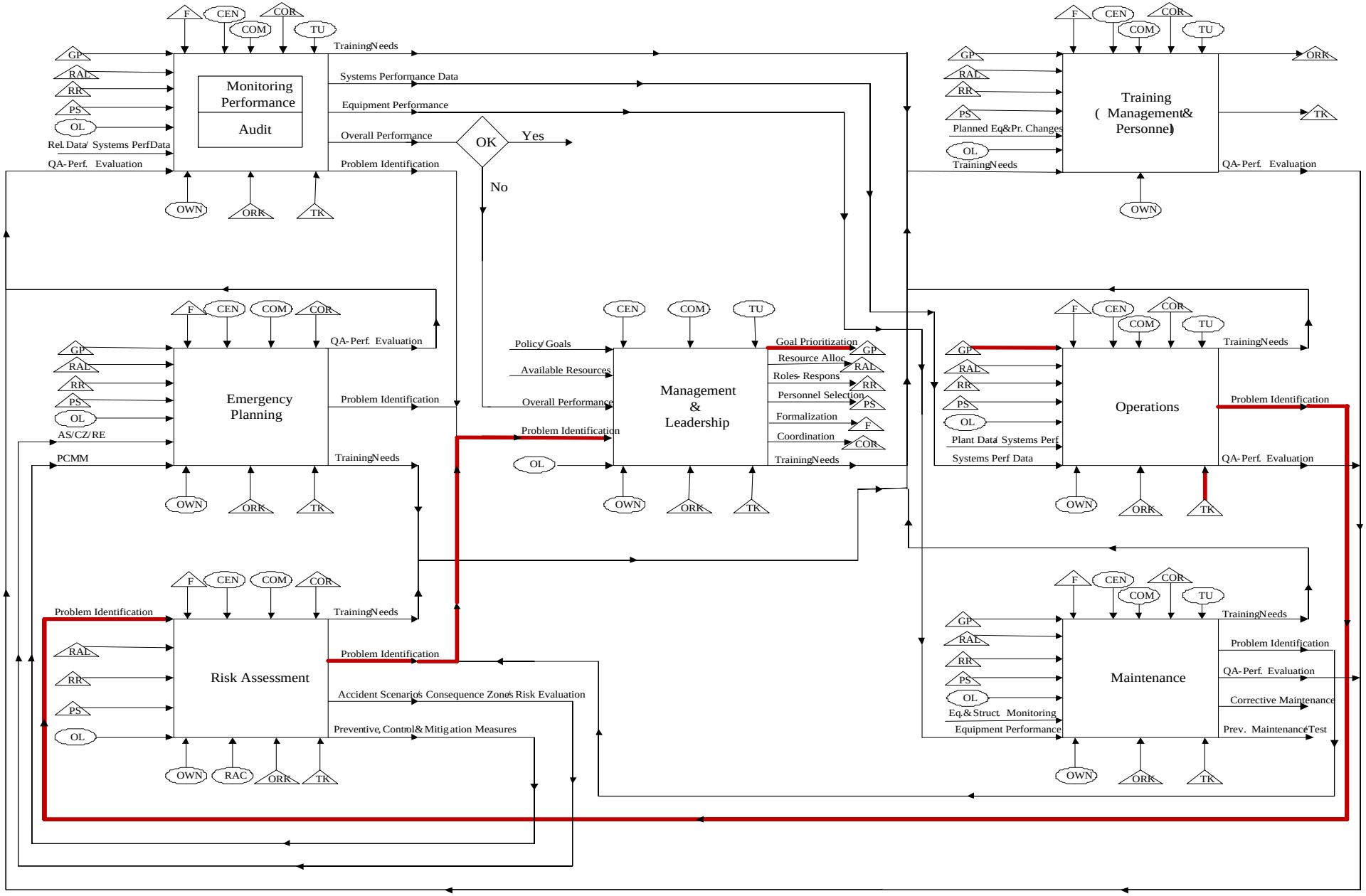
Β.1 στο OPERATION σαν Resource το TK, output Problem Identification, input στο Risk Assessment, output Problem Identification, input στο Management & Leadership, output GP, input στο Operation.

Μηνύματα και ενδείξεις από επιτόπιο έλεγχο

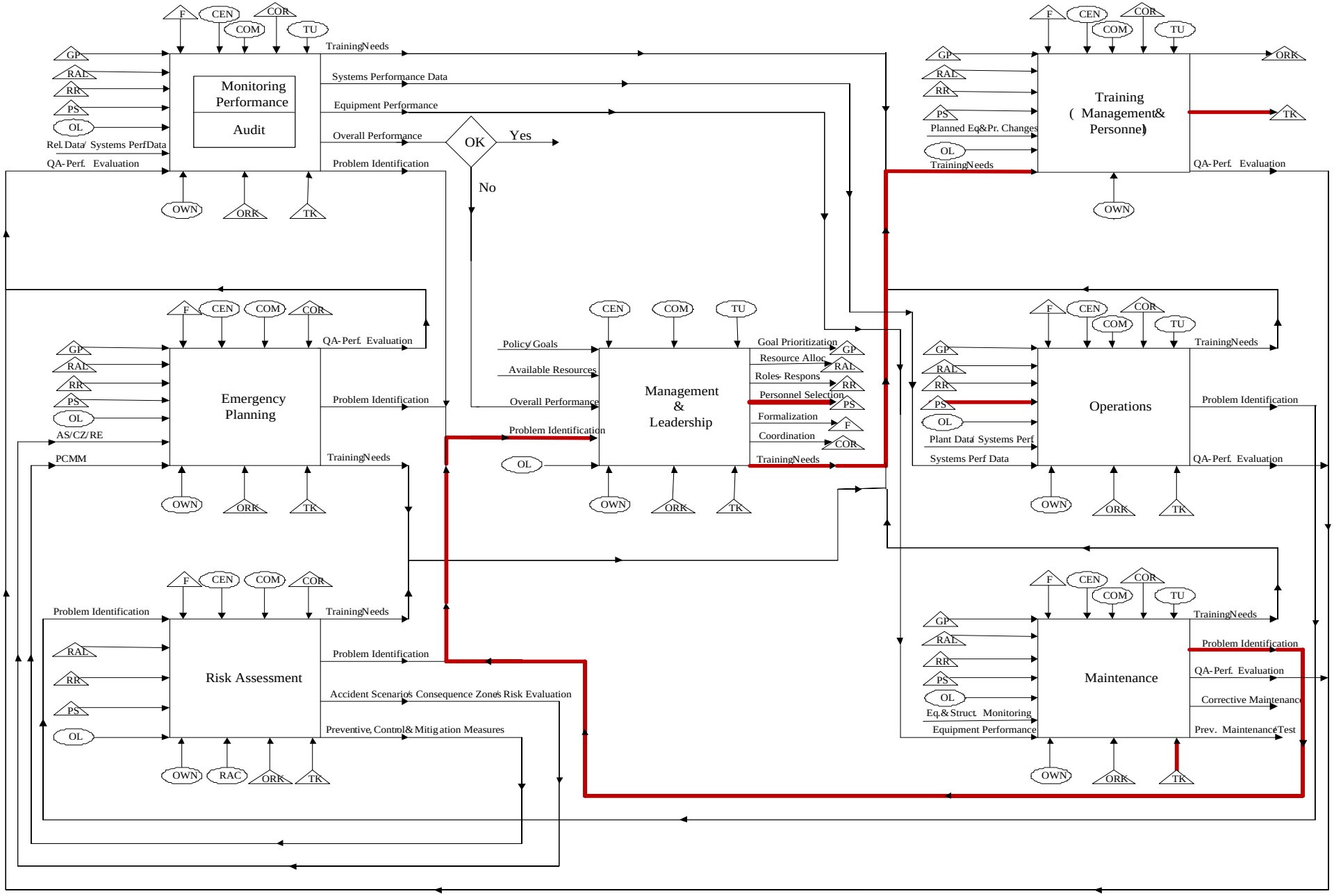
Β.6 στο Maintenance σαν Resource το TK, output Problem Identification, input στο Management & Leadership, output Training needs και PS, άρα
Training needs input στο Training, output TK , input στο Maintenance.
PS input στο Maintenance.

Θ.1 στο Risk Assessment σαν Resource το OWN, output Accident scenarios…, input στο Emergency Planning, output Problem Identification, input στο Management, output Training Needs, input στο Training, output TK, input στο Resource του Risk Assessment.

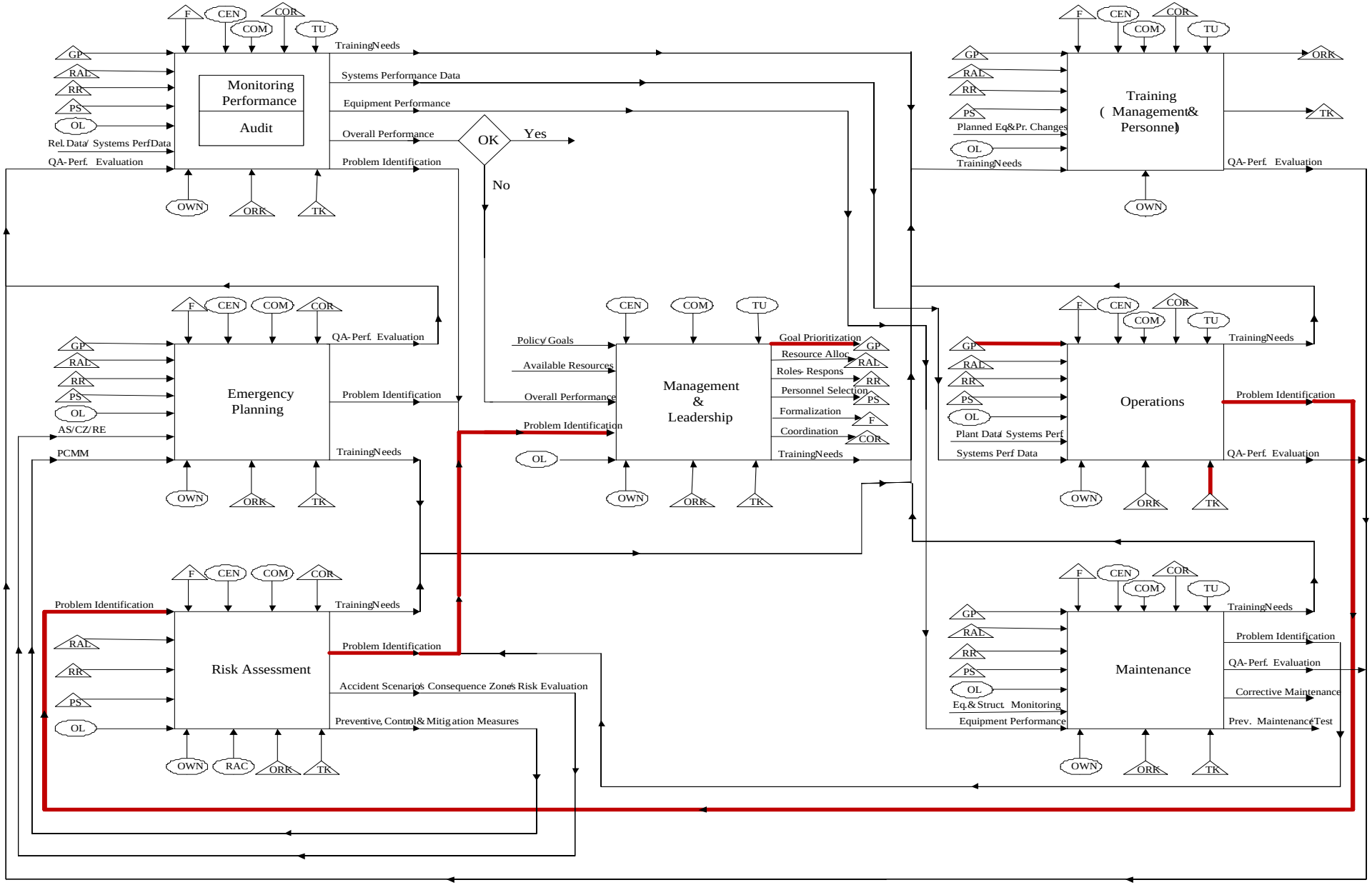
Β.7 στο Maintenance σαν Resource το TK, output Problem Identification, input στο Management & Leadership, output GP, input στο Maintenance.



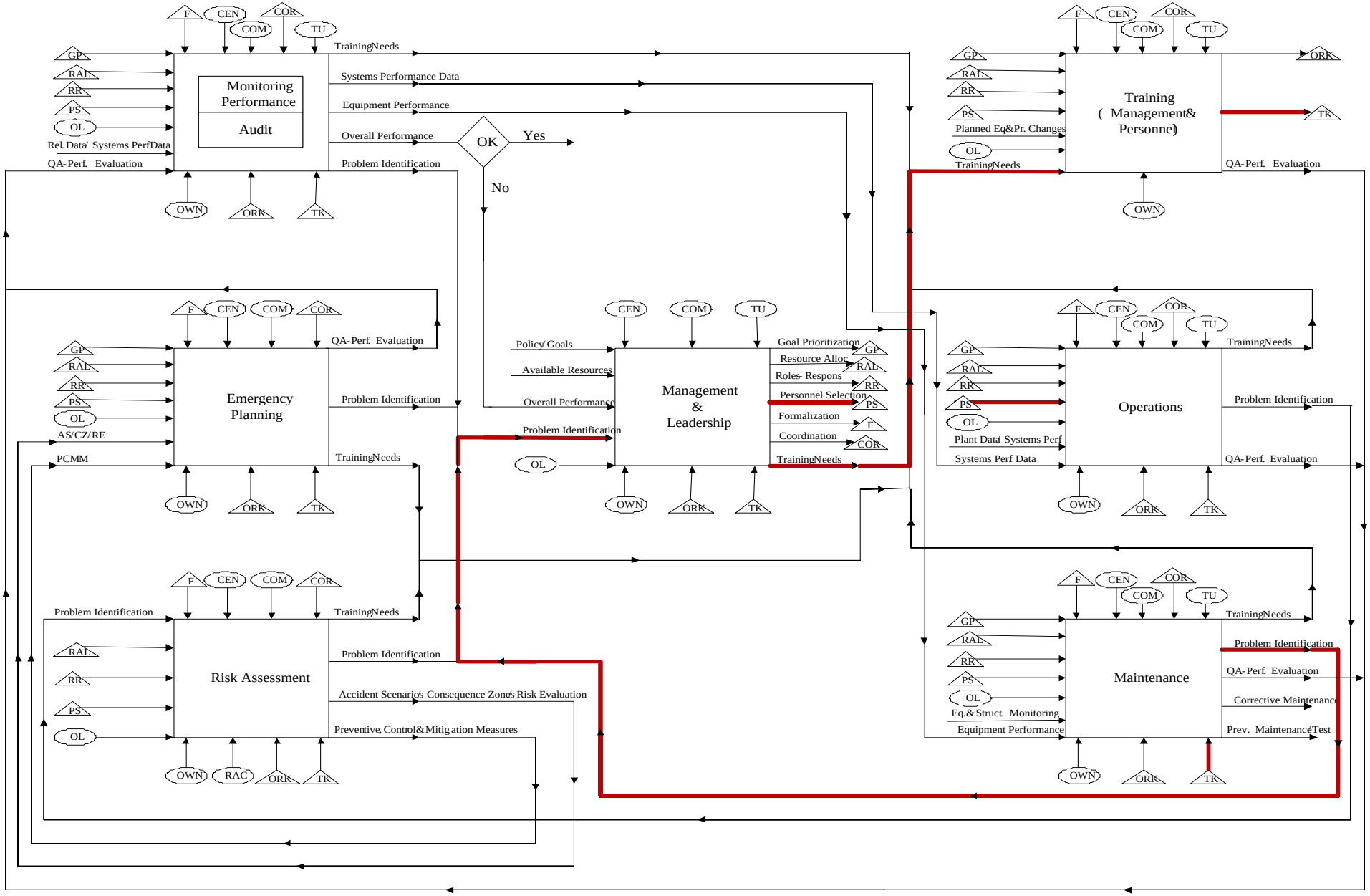
Σχήμα 29: Βρόχος Γ.1



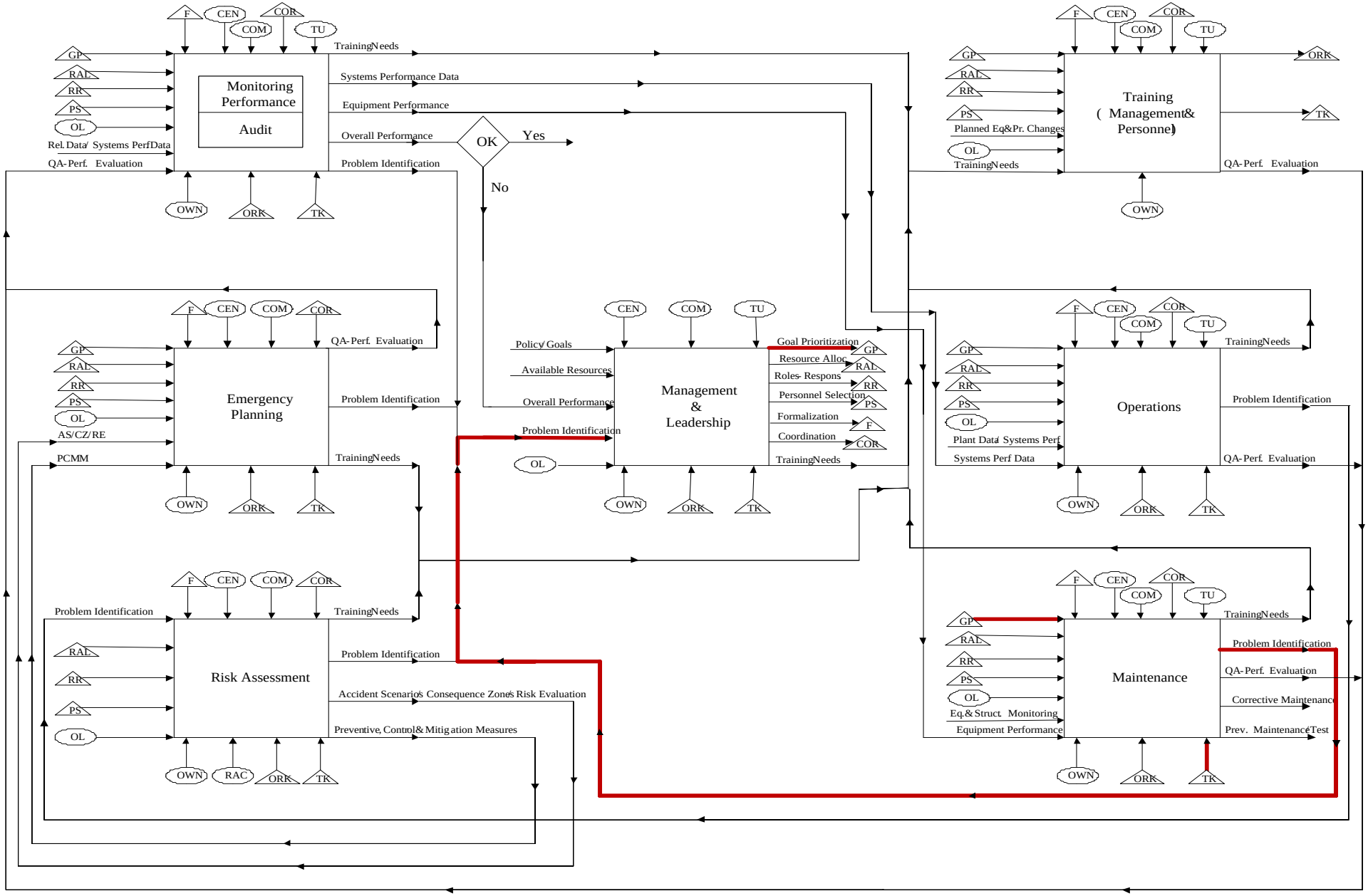
Σχήμα 30: Βρόχος B.6



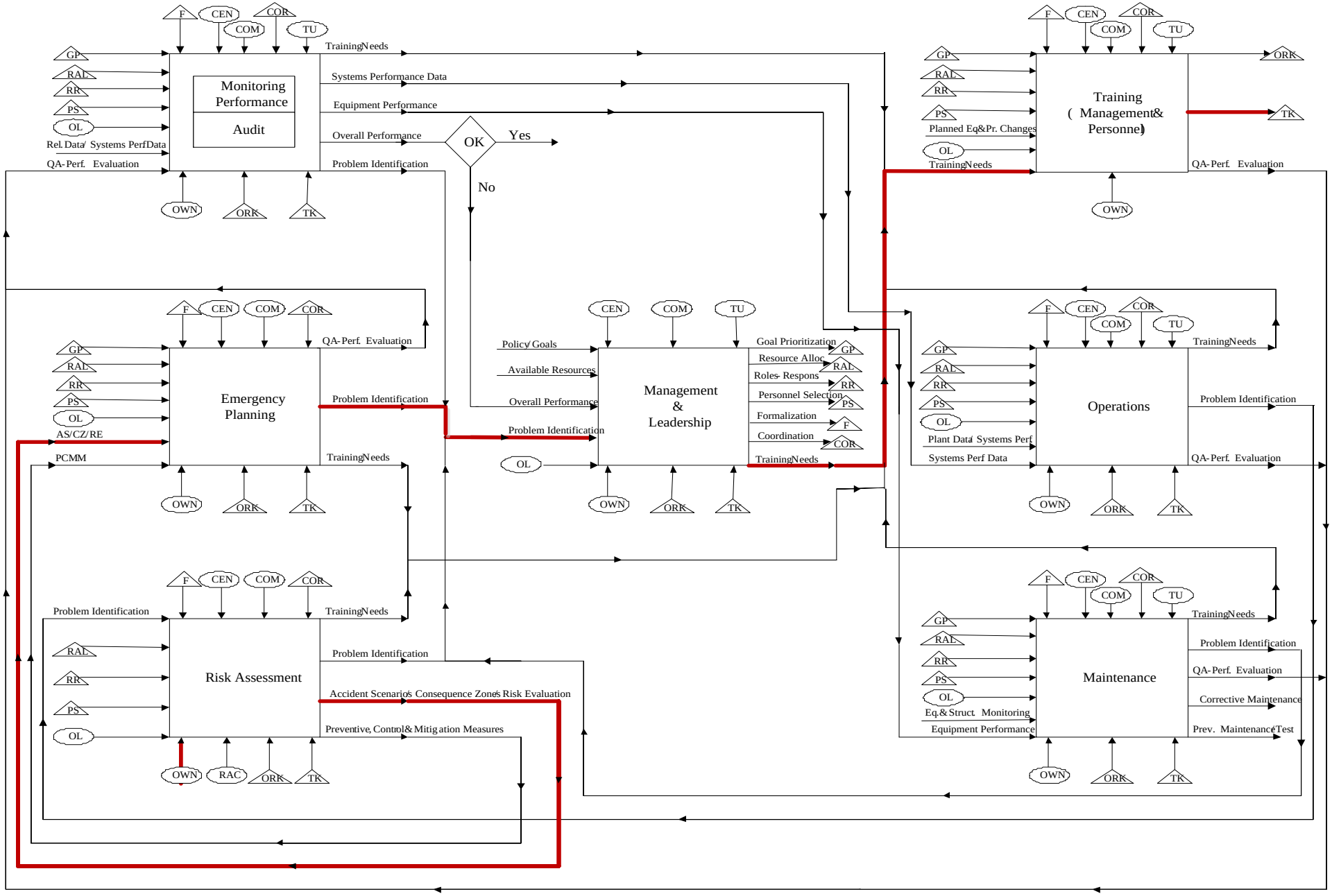
Σχήμα 31: Βρόχος Β.1



Σχήμα 32: Βρόχος B.6



Σχήμα 33: Βρόχος B.7



Σχήμα 34: Βρόχος Θ.1

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13

ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στο προηγούμενο κεφάλαιο είδαμε πως μπορούμε όλα τα στοιχεία που έχουμε, και οδήγησαν στο ατύχημα, να τα κωδικοποιήσουμε με τη μέθοδο SADT. Η κωδικοποίηση αυτή έγινε με σκοπό να μπορούμε πιο εύκολα να αναγνωρίσουμε τους οργανωτικούς παράγοντες που οδήγησαν στο ατύχημα που μελετάμε, και να δούμε ποιοι ήταν οι κύριοι παράγοντες στους οποίους οφείλεται το ατύχημα, πως και αν θα μπορούσαν να είχαν διορθωθεί, σε τι βάθος χρόνου, και άρα κατά πόσο το ατύχημα θα μπορούσε να είχε αποφευχθεί.

Για να μπορέσουμε να κατανοήσουμε καλύτερα ποιοι ήταν οι βασικοί οργανωτικοί παράγοντες οι οποίοι οδήγησαν στο ατύχημα, μετά από την ανάλυση που κάνουμε πάνω στο σύστημα όλων των παραγόντων του συστήματος, ακολουθήσαμε την παρακάτω διαδικασία. Δημιουργήσαμε έναν πίνακα, και στον άξονα τον χ τοποθετήσαμε όλους τους οργανωτικούς παράγοντες που έχουν να κάνουν με το σύστημά μας, είτε είναι δεδομένα εισόδου ή εξόδου, είτε πόροι, είτε έλεγχοι και κριτήρια, καθώς και τους εφτά θεματικούς κόμβους του συστήματος που έχουμε. Στον y άξονα τοποθετήσαμε όλους τους βρόχους, που είδαμε από τα προηγούμενα κεφάλαια ότι έχουν σχέση με το σύστημα. Στη συνέχεια συμπληρώσαμε στον πίνακα για κάθε βρόχο ξεχωριστά όλους τους οργανωτικούς παράγοντες που εμφανίζονται στον κάθε βρόχο, και πόσες φορές εμφανίζεται ο καθένας. Έτσι μπορούμε να βγάλουμε συμπεράσματα για το ποιοι ακριβώς παράγοντες εμφανίζονται συχνότερα στην πρόκληση του ατυχήματος που μελετήσαμε και σε τι βαθμό. Στη συνέχεια φαίνεται ο πίνακας με τα αποτελέσματα της ανάλυσης. Λόγω μεγέθους του πίνακα θα παρουσιαστεί σε παραπάνω από ένα μέρη:

		ΟΡΓΑΝΩΣΙΑΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΚΑΙ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ																	
	Αριθμός Βρόχου	Ονομασία Βρόχου	F	CEN	COM	COR	TU	OWN	ORK	RAC	TK	GP	RAL	RR	PS	OL	QA-Per.Evaluation	Rel.Data/System Perf.Data	Training Needs
	1	A1									1	2							
	2	A8						1			2								1
ΒΡΟΧΟΙ	3	B3									2	1	1						
	4	A3							1			1		1					
	5	B2									1	1							
	6	A4					1	1			1	1							
	7	A5					1	1			1	2	1						
	8	I1						1			1	2	1						
	9	A4					1	1			1	1							
	10	A5					1	1			1	2		1					
	11	H2						1			1	1							
	12	H1									2	1							1
	13	B4									1	1		1					
	14	A6	2						1								1		1
	15	A8						1			2								1
	16	Z3		1					1				1		1				
	17	E1									2								2
	18	H1									2								1
	19	B5							2		2								1
	20	B6									2				1				1
	21	Δ1			1			1	1					1	1				1
	22	Z2		1				1	1				1	1			1		
	23	A6							1								1		1
	24	A7							1					1	1				
	25	Z1	1			1					1			1					
	26	H3							1					1					
	27	Δ1			1			1	1					1	1				1
	28	Γ1									1	1							
	29	B6									2				1				1
	30	B1									1	1							
	31	B6									2				1				1
	32	Θ1						1			1								1
	33	B7									1	1							
	34	K1						1		1			1						
	Σύνολο		3	2	2	1	4	13	11	1	34	19	6	9	7	0	3	0	15

	Αριθμός Βρόχου	Ονομασία Βρόχου	System Performance Data	Equipment Performance	Overal performance	Problem identification	AS/CZ/RE	PCMM	Policy/Goals	Available Resource
	1	A1				3				
	2	A8				1	1			
ΒΡΟΧΟΙ	3	B3				1	1	1		
	4	A3			1	1				
	5	B2				2	1	1		
	6	A4		1		1				
	7	A5		1		3				
	8	I1		1		3				
	9	A4		1		1				
	10	A5			1	3				
	11	H2				2				
	12	H1		1		1				
	13	B4				2				
	14	A6				1				
	15	A8				1	1			
	16	Z3				1				
	17	E1				3				
	18	H1				1				
	19	B5				1	1			
	20	B6				1				
	21	Δ1				1				
	22	Z2			1	1	1	1		
	23	A6			1	1				
	24	A7				1				
	25	Z1				1				
	26	H3				1				
	27	Δ1				1				
	28	Γ1				2				
	29	B6				1				
	30	B1				2				
	31	B6				1				
	32	Θ1				1	1			
	33	B7				1				
	34	K1				1	1			
	Σύνολο		0	5	4	49	8	3	0	0

	Αριθμός Βρόχου	Ονομασία Βρόχου	Planned Eq&Pr.Changes	Plant Data/system Perf.	Eq.&Struct.Monitoring	Corrective Maintenance	Prev.Maintenance/Test
	1	A1					
	2	A8					
ΒΡΟΧΟΙ	3	B3					
	4	A3					
	5	B2					
	6	A4				1	1
	7	A5					
	8	I1					
	9	A4				1	1
	10	A5					
	11	H2					
	12	H1					
	13	B4					
	14	A6					
	15	A8					
	16	Z3					
	17	E1					
	18	H1					
	19	B5					
	20	B6					
	21	Δ1					
	22	Z2					
	23	A6					
	24	A7					
	25	Z1					
	26	H3					
	27	Δ1					
	28	Γ1					
	29	B6					
	30	B1					
	31	B6					
	32	Θ1					
	33	B7					
	34	K1					
	Σύνολο		0	0	0	2	2

	Αριθμός Βρόχου	Ονομασία Βρόχου	**Monitoring Performance/Audit**	**Emergency Planning**	**Risk Assessment**	**Management & Leadership**	**Training**	**Operation**	**Maintenance**
	1	Α1	1		1	2		1	
	2	Α8		1	1	1	1		
ΒΡΟΧΟΙ	3	Β3		1	1	1	1		
	4	Α3	1			1			
	5	Β2		1	1	1		1	
	6	Α4	1			1			1
	7	Α5	1		1	2		1	1
	8	Ι1	1		1	2		1	1
	9	Α4	1			1			1
	10	Α5	1		1	2		1	
	11	Η2	1		1	1		1	
	12	Η1	1			1	1		1
	13	Β4			1	1		1	
	14	Α6				1	1		
	15	Α8		1	1	1	1		
	16	Ζ3	1			1			
	17	Ε1			2	2	2	1	
	18	Η1				1	1		1
	19	Β5		1	1	1	1		
	20	Β6				1	1		1
	21	Δ1	1			1	1		
	22	Ζ2	1	1	1	1			
	23	Α6	1			1	1		
	24	Α7	1			1			
	25	Ζ1	1			1			
	26	Η3	1			1			
	27	Δ1	1			1	1		
	28	Γ1			1	1		1	
	29	Β6				1	1		1
	30	Β1			1	1		1	
	31	Β6				1	1		1
	32	Θ1		1	1	1	1		
	33	Β7				1			1
	34	Κ1		1	1	1			
	Σύνολο		17	8	18	39	16	10	10

Από τον παραπάνω πίνακα μπορούμε να βγάλουμε τα ακόλουθα συμπεράσματα:

1. Όσον αφορά τους θεματικούς κόμβους του συστήματος μας, βλέπουμε ότι εκείνος που εμφανίζεται στους περισσότερους βρόχους είναι ο κόμβος της Διοίκησης και Ηγεσίας (Management & Leadership), ο οποίος εμφανίζεται σε όλους τους βρόχους, και περισσότερο από μια φορά σε κάποιους από αυτούς. Συγκεκριμένα εμφανίζεται 39 φορές μέσα σε όλους τους βρόχους που έχουν να κάνουν με την ανάλυση του ατυχήματός μας. Άρα από αυτό το γεγονός μπορούμε να συμπεράνουμε ότι ένας από τους βασικότερους λόγους που προκλήθηκε το ατύχημα ήταν προβλήματα τα οποία ξεκίνησαν από ζητήματα από τη Διοίκηση της μονάδας, και τα οποία δεν λύθηκαν, είτε έχουν να κάνουν με λανθασμένες αποφάσεις, είτε με αποφάσεις και μέτρα τα οποία δεν πάρθηκαν, είτε με εξοπλισμό που δεν αντικαταστάθηκε ή δεν συντηρήθηκε σωστά, είτε με την εκπαίδευση του προσωπικού, που σε πολλές περιπτώσεις από τις παραπάνω που μελετήσαμε φάνηκε ότι ήταν ελλιπής.
2. Από τους υπόλοιπους θεματικούς κόμβους του συστήματος τις περισσότερες φορές εμφανίζεται η Εκτίμηση Επικινδυνότητας (Risk Assessment), που εμφανίζεται στην ανάλυση 18 φορές, μετά η Παρακολούθηση Επιδόσεων και Έλεγχος (Monitoring Performance/ Audit), που εμφανίζεται 17 φορές στο σύστημα, στη συνέχεια η Εκπαίδευση (Training), που εμφανίζεται 16 φορές σαν στοιχείο στο σύστημα, και οι κόμβοι που εμφανίζονται λιγότερο, αλλά και πάλι αρκετές φορές είναι ο κόμβος Λειτουργίες (Operation) και ο κόμβος Συντήρηση (Maintenance), που εμφανίζονται από 10 φορές ο καθένας.
3. Από τους οργανωτικούς παράγοντες που εμφανίζονται στην ανάλυση, αυτός που εμφανίζεται περισσότερες φορές είναι η «Τεχνική Γνώση», συγκεκριμένα 34 στο σύνολο των βρόχων του συστήματος. Από αυτό μπορούμε να βγάλουμε το συμπέρασμα ότι η έλλειψη τεχνικής γνώσης σχετικά με το σύστημα τόσο από τους εργαζόμενους όσο και από τους υπεύθυνους της διοίκησης της μονάδας ήταν από τους βασικούς παράγοντες που οδήγησαν στο ατύχημα, κάτι το οποίο βγαίνει και σαν συμπέρασμα από τις διάφορες αναλύσεις που έχουν γίνει κατά καιρούς για το συγκεκριμένο ατύχημα.
4. Άλλος οργανωτικός παράγοντας ο οποίος εμφανίζεται σε αρκετούς βρόχους της ανάλυσης του συστήματος είναι η «Ιεράρχηση των Στόχων» και οι «Ανάγκες Εκπαίδευσης του Προσωπικού», τα οποία επηρεάζουν αρκετούς από τους βρόχους του συστήματος.

Άρα από την ανάλυση που κάναμε με τη μέθοδο SADT, και με τη βοήθεια των παραπάνω αποτελεσμάτων οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι **η κυριότερη ευθύνη για την πρόκληση του ατυχήματος ανήκει στην Διοίκηση της μονάδας, που δεν έκανε τις απαραίτητες ενέργειες, είτε σε ότι αφορά την εκπαίδευση του προσωπικού, ή την πολιτική που ακολουθούσε σχετικά με την διαδικασία**.

Ακόμα ο κυριότερος οργανωτικός παράγοντας που είδαμε ότι σχετίζεται άμεσα με το ατύχημα είναι η έλλειψη τεχνικής Γνώσης από το προσωπικό, είτε η κακή ερμηνεία τεχνικών χαρακτηριστικών.

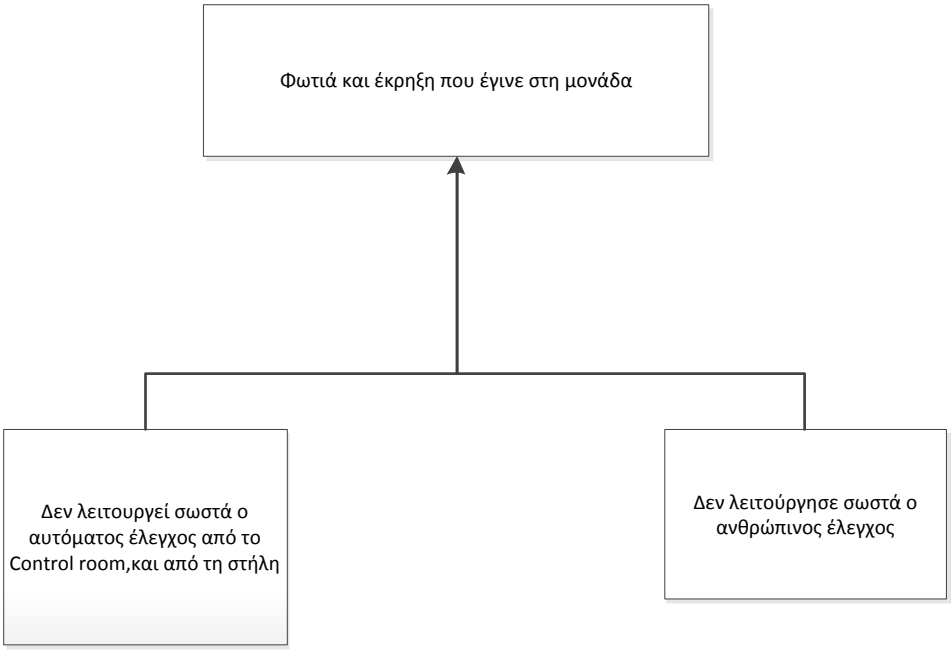
Τα παραπάνω συμπεράσματα συνάδουν και με τα αποτελέσματα από διάφορες έρευνες που έγιναν μετά το ατύχημα, από επιτροπές εμπειρογνωμόνων, άρα η μεθοδολογία SADT που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση έβγαλε σωστά αποτελέσματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14

ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΔΕΝΤΡΑ ΑΣΤΟΧΙΩΝ – ΒΡΟΧΟΙ ΣΔΑ

Ένας άλλος τρόπος με τον οποίο μπορούμε να κάνουμε την ανάλυση του ατυχήματος, και να δούμε τι συμπεράσματα μπορούμε να βγάλουμε για την έρευνά μας είναι μέσω της μεθοδολογίας Ανάλυσης με Δέντρα Αστοχιών. Για να ακολουθήσουμε αυτή τη μεθοδολογία θα πρέπει να ορίσουμε ποιο είναι το κορυφαίο γεγονός που έχουμε να μελετήσουμε και να δούμε όλους τους παράγοντες που οδήγησαν σε αυτό.

Σαν κορυφαίο γεγονός στην ερευνά μας θεωρούμε ότι είναι η φωτιά και η έκρηξη που έγινε στην μονάδα, κατά την διάρκεια της διαδικασίας έναρξης της στήλης διαχωρισμού κλασμάτων πετρελαίου. Για να γίνει αυτή η έκρηξη σημαίνει ότι δύο παράγοντες δεν λειτούργησαν σωστά, οι δύο παράγοντες που ουσιαστικά συμμετέχουν στη διαδικασία, και αυτοί είναι ο αυτόματος έλεγχος μέσω των μηχανημάτων που βρίσκονται είτε στο control room, είτε πάνω στη στήλη διαχωρισμού, και ο δεύτερος παράγοντας είναι ότι δεν λειτούργησε σωστά ο έλεγχος που έπρεπε να γίνεται από τους χειριστές, δηλαδή ο ανθρώπινος παράγοντας. Αυτοί οι δύο παράγοντες είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους με μια πύλη AND, διότι θα πρέπει να αστοχήσουν και οι δύο για να προκληθεί ατύχημα, ή γενικότερα να υπάρχει μια αστοχία, πράγμα το οποίο έγινε και την ημέρα του ατυχήματος. Αν ο ένας από τους δύο μόνο αστοχήσει τότε το κορυφαίο γεγονός μπορεί να αποφευχθεί αν λειτουργήσει σωστά ο άλλος παράγοντας.

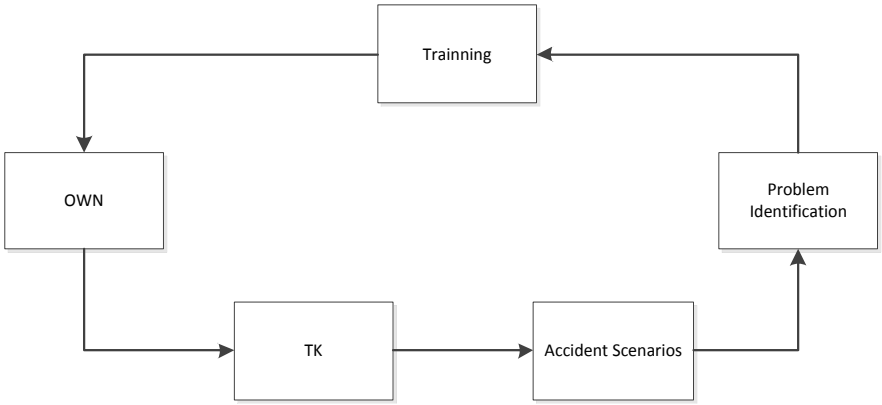


Σχήμα 1 : Κορυφαίο γεγονός και αρχικοί παράγοντες στην Ανάλυση Δέντρου Αστοχιών

Σε καθένα από τους δύο πάνω παράγοντες μπορούμε να χωρίσουμε τα στοιχεία που έχουμε συλλέξει από το ατύχημα, και μας δείχνουν τι δεν πήγε σωστά, και ποια λάθη

έγιναν. Από εκεί και πέρα μπορεί να ακολουθήσει μια σε βάθος ανάλυση για κάθε παράγοντα ξεχωριστά, άρα και για κάθε βρόχο ξεχωριστά, και να καταλήξουμε στα αρχικά βασικά γεγονότα τα οποία ευθύνονται για το ατύχημα, τα οποία θα ανήκουν στους οργανωτικούς παράγοντες που μελετήσαμε στη μέθοδο SADT.

Οι παράγοντες οι οποίοι βρίσκονται στην βάση του δέντρου, και είναι οι οργανωτικοί παράγοντες που είδαμε στη μέθοδο SADT, συνδέονται μεταξύ τους με πύλες OR, γιατί έστω και ένας από τους παράγοντες που υπάρχει σε ένα βρόχο να μην λειτουργήσει σωστά τότε όλος ο βρόχος δεν θα λειτουργήσει σωστά.



Βρόχοι ταχείας και βραδείας απόκρισης

Ένα άλλο στοιχείο που πρέπει να μελετήσουμε είναι το κατά πόσο το ατύχημα που μελετήσαμε θα μπορούσε να είχε αποφευχθεί, και συγκεκριμένα μέσα στο χρονικό περιθώριο της μιας βάρδιας, που υπό κανονικές συνθήκες έπρεπε να γίνει όλη η διαδικασία έναρξης της στήλης διαχωρισμού.

Για να δούμε κατά πόσο θα μπορούσε να αποφευχθεί θα πρέπει να ελέγξουμε τους κόμβους βραδείας και ταχείας απόκρισης που έχουμε σε όλη την ανάλυση.

Όπως είπαμε και πριν στο δέντρο αστοχιών στον αρχικό κόμβο υπάρχουν δύο στοιχεία συνδυασμένα μεταξύ τους με πύλη AND και αυτά είναι ο αυτόματος έλεγχος και ο ανθρώπινος παράγοντας.

Από τους βρόχους που έχουμε για τα στοιχεία του συστήματος έχουμε ότι στον αυτόματο έλεγχο βρίσκονται οι βρόχοι που έχουν να κάνουν με τους παράγοντες:

B4 : δεν είχε εγκατασταθεί στη στήλη σύστημα ελέγχου της στάθμης για επίπεδο υγρού πάνω από τα 9 πόδια. Το γεγονός ότι δεν είχε εγκατασταθεί έχει να κάνει και με τη μελέτη ασφάλειας που έχει γίνει για την συγκεκριμένη μονάδα και για να επιδιορθωθεί κάτι τέτοιο θα πρέπει να γίνει ο κατάλληλος έλεγχος για την εγκατάσταση, να εντοπιστεί αυτό το κενό στο σύστημα ασφάλειας και να γίνει η εγκατάσταση. Αυτό

είναι κάτι το οποίο χρειάζεται ορισμένο χρόνο και προετοιμασία για να γίνει και δεν μπορεί να γίνει κατά τη διάρκεια μιας βάρδιας, άρα το κατατάσσουμε στους **βρόχους βραδείας απόκρισης.**

B6: οι operators δεν αναγνώρισαν ότι το επίπεδο υγρού στη στήλη είχε φτάσει πάνω από τα 9 πόδια και ότι ο δεύτερος συναγερμός δεν λειτούργησε, γιατί δεν είχαν σωστή εκπαίδευση για κάτι τέτοιο. Εδώ θεωρούμε ως σφάλμα ότι ο συναγερμός δεν λειτούργησε, αυτό είναι το πρωταρχικό. Στο βρόχο που σχετίζεται με αυτό το στοιχείο υπάρχει ο θεματικός κόμβος της εκπαίδευσης **άρα ο βρόχος δεν μπορεί να είναι ταχείας απόκρισης**. Όμως αν στο βρόχο αυτό εστιάσουμε στο γεγονός ότι δεν λειτούργησε ο συναγερμός τότε μέσα σε μια 8ωρη βάρδια θα μπορούσε ο συναγερμός να είχε επιδιορθωθεί και να έδειχνε το επίπεδο του υγρού στη στήλη, άρα θα μπορούσε να είχε αποφευχθεί το ατύχημα.

B7: πάνω στη στήλη υπήρχε ένα γυαλί το οποίο ήταν τοποθετημένο για να δείχνει το επίπεδο του υγρού στη στήλη, το οποίο όμως **δεν ήταν σωστά συντηρημένο** και έτσι **δεν μπορούσε να δείξει πόσο ήταν το υγρό**. Το πρόβλημα αυτό είναι καθαρά πρόβλημα συντήρησης του εξοπλισμού και σε μια 8ωρη βάρδια θα μπορούσε αυτό το γυαλί να καθαριστεί και έτσι να δείχνει το επίπεδο του υγρού στη στήλη. Δεδομένης της κατασκευής τέτοιων οργάνων είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να δείχνουν πόση είναι η ποσότητα του υγρού στη στήλη γενικά, διότι δείχνουν όλο τον όγκο της δεξαμενής πάνω στην οποία είναι τοποθετημένα. Άρα θα μπορούσε το ατύχημα να είχε αποφευχθεί και αυτός είναι ένας **βρόχος ταχείας απόκρισης**.

H1: τα όργανα που είχαν για να δείχνουν τη θερμοκρασία στη δεξαμενή δεν έδειχναν σωστή θερμοκρασία και οι χειριστές **δεν ήταν κατάλληλα εκπαιδευμένοι** για να μπορούν να ξεχωρίσουν αν κάποιο όργανο έδειχνε παραπλανητικά στοιχεία. Στο βρόχο που σχετίζεται με αυτό το στοιχείο υπάρχει ο θεματικός κόμβος της εκπαίδευσης άρα ο **βρόχος δεν μπορεί να είναι ταχείας απόκρισης**. Αυτό ισχύει αν το κοιτάξουμε από την άποψη της εκπαίδευσης, αλλά αν το δούμε από την πλευρά της μη σωστής λειτουργίας του οργάνου, τότε αυτό είναι κάτι το οποίο **μπορεί να αναγνωριστεί και να επιδιορθωθεί μέσα σε μια 8ωρη βάρδια, άρα από αυτή τη σκοπιά μπορεί να θεωρηθεί και ως κόμβος ταχείας απόκρισης.**

I1: δεν είχε εκσυγχρονιστεί το σύστημα ασφάλειας το οποίο βρισκόταν στη στήλη εκτόνωσης του αερίου. Το παλιό σύστημα το οποίο υπήρχε πάνω στη στήλη και χρησιμοποιούνταν ήταν το σύστημα εκτόνωσης του αερίου, ενώ το πιο καινούργιο και εξελιγμένο σύστημα το οποίο θα έπρεπε να ήταν εγκατεστημένο για περίπτωση ανάγκης ήταν το σύστημα flare, δηλαδή ανάφλεξης του αερίου. Αυτό το στοιχείο έχει να κάνει με το σύστημα διαχείρισης ασφάλειας της εγκατάστασης. Για να γίνει αλλαγή θα πρέπει πρώτα να γίνει η κατάλληλη μελέτη για το σύστημα γενικά και να εντοπιστεί το πρόβλημα, κάτι το οποίο μπορεί να πάρει αρκετό χρόνο για να γίνει και σίγουρα είναι κάτι το οποίο δεν μπορεί να γίνει μέσα σε μια 8ωρη βάρδια. **Άρα το θεωρούμε σαν βρόχο βραδείας απόκρισης**.

Συμπερασματικά από όλα τα παραπάνω όσον αφορά τους κόμβους που έχουν να κάνουν με αυτόματο έλεγχο ταχείας απόκρισης μπορούμε να θεωρήσουμε τους κόμβους B6, B7 και H1, με την προϋπόθεση όμως ότι στους B6 και H1 δεν κοιτάμε το κομμάτι της

έλλειψης εκπαίδευσης του προσωπικού αλλά καθαρά το κομμάτι της αστοχίας των οργάνων.

Τα υπόλοιπα στοιχεία του συστήματος και οι υπόλοιποι βρόχοι έχουν να κάνουν με τον ανθρώπινο παράγοντα και είναι οι βρόχοι:
Α3, Α4, Α5, Α6, Α7, Α8, Β1, Β2, Β3, Β,5 Γ1, Δ1, Ε1, Ζ1, Ζ2, Ζ3, Η2, Η3, Θ1, Κ1

Όλοι οι βρόχοι οι οποίοι έχουν να κάνουν με ανθρώπινο παράγοντα θεωρούνται ως βρόχοι βραδείας απόκρισης, διότι θα πρέπει να γίνει γενικότερη αλλαγή στην εκπαίδευση του προσωπικού, ή στη διαδικασία που ακολουθούμε για να μπορέσει να αλλάξει αυτό το κομμάτι, και φυσικά αυτό είναι κάτι το οποίο δεν μπορεί να γίνει κατά τη διάρκεια μια βάρδιας, αλλά πρέπει να περάσει αρκετός χρόνος μελέτης της διαδικασίας, εκτίμησης από την αρχή όλων των παραμέτρων που έχουν να κάνουν με τη διαδικασία, αλλαγές και εκσυγχρονισμοί εκεί που είναι απαραίτητο, εκ νέου δημιουργία ΣΔΑ, και εκπαίδευση του προσωπικού πάνω στη νέα διαδικασία και στο νέο ΣΔΑ. Αυτή η διαδικασία σίγουρα θα διαρκέσει πάνω από ένα μήνα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 15

ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία εφαρμόσαμε δύο μεθοδολογίες ανάλυσης ατυχημάτων, για να μελετήσουμε ένα ατύχημα που έγινε το 2005 στην πόλη Τέξας των ΗΠΑ, σε ένα διυλιστήριο, με αποτέλεσμα τον θάνατο 15 εργαζομένων και τον τραυματισμό άλλων 170. Από την ανάλυση που κάναμε με τη μέθοδο **Structured Analysis and Design Technique (SADT)** και την μέθοδο **Ανάλυσης Δέντρου Αστοχιών** μπορούμε να βγάλουμε τα ακόλουθα συμπεράσματα όσον αφορά τις μεθόδους και το ατύχημα:

1. Από την πληροφορία που είχαμε συλλέξει για το ατύχημα, η οποία προερχόταν από διάφορες επίσημες εκθέσεις, από ομάδες εμπειρογνωμόνων, έγινε μια προσπάθεια να συλλέξουμε όση περισσότερη πληροφορία μπορούσαμε σχετικά με το ατύχημα, τις συνθήκες κάτω από τις οποίες έγινε, και το τι ακριβώς πήγε στραβά.
2. Στη συνέχεια από όλη την πληροφορία που είχαμε συλλέξει προσπαθήσαμε να εξάγομε όλα τα σημαντικά στοιχεία που εμπεριέχονται στη πληροφορία αυτή και τις ερμηνείες σχετικά με τους παράγοντες στους οποίους οφείλεται το ατύχημα. Εν ολίγοις, τι τεχνικά και διαχειριστικά δεν λειτούργησε σωστά εκείνη την ημέρα. Τα τμήματα αυτά της πληροφορίας τα εντάξαμε σε ξεχωριστές κατηγορίες ανάλογα με τη διαδικασία και τη φάση κάθε διαδικασίας στην οποία έγινε το κάθε σφάλμα, ή η κάθε παράληψη.
3. Με τη βοήθεια του διαγράμματος της μεθόδου SADT κωδικοποιήσαμε την πληροφορία που είχαμε πάρει από το ατύχημα, και είδαμε σε ποιο θεματικό κόμβο ανήκει και με ποιους οργανωτικούς παράγοντες σχετίζεται. Έτσι δημιουργήθηκαν λογικοί βρόχοι, που μας καταδεικνύουν το τρόπο με τον οποίο θα έπρεπε να αντιμετωπισθεί το πρόβλημα (η όλη αλληλουχία των ενεργειών) για να μπορέσει να επιδιορθωθεί και να προβλεφθούν μελλοντικά οι ίδιες αστοχίες.
4. Στη συνέχεια χρησιμοποιώντας τους βρόχους και την ταξινόμηση που είχαμε κάνει με αυτούς, αναπτύχθηκε ένας πίνακας με όλους τους οργανωτικούς παράγοντες ανά βρόχο που έχουν αναγνωρισθεί να εμπλέκονται στο ατύχημα. Με τον τρόπο αυτό μπορέσαμε να δούμε ποιοι οργανωτικοί παράγοντες εμφανίζονται πιο συχνά, και ποιοι θεματικοί κόμβοι. Στόχος μας ήταν να δούμε αν συμπίπτουν τα αποτελέσματα της δικής μας μεθόδου ανάλυσης με τα συμπεράσματα από τις επιτροπές εμπειρογνωμόνων που εξέτασαν το ατύχημα. Σαν αποτέλεσμα, καταδείχτηκε ότι ο οργανωτικός παράγοντας ο οποίος φαίνεται να εμπλέκεται ιδιαίτερα σαν εγγενές αίτιο στις περισσότερες αστοχίες (πρόβλημα παροχής πόρων) είναι η «Τεχνική Γνώση», και συγκεκριμένα η έλλειψή της ή η μη σωστή χρήση της γνώσης. Ο θεματικός κόμβος στον οποίο εμπλέκεται περισσότερο είναι εκείνος της «Διοίκησης και Ηγεσίας». Από τα παραπάνω εξάγεται το συμπέρασμα ότι, λανθασμένες αποφάσεις της Διοίκησης της μονάδας αλλά και έλλειψη της απαραίτητης τεχνικής γνώσης οδήγησαν στο ατύχημα. **Τα παραπάνω συμπεράσματα είναι σε πλήρη συμφωνία με αυτά των επίσημων αναφορών που υπάρχουν για το ατύχημα.**

5. Στην Ανάλυση Δέντρου Αστοχιών λάβαμε υπόψη μια απλοποιημένη περίπτωση στην οποία θεωρήσαμε ότι για να προκληθεί το ατύχημα θα πρέπει να συμβούν ταυτόχρονα δύο κορυφαία γεγονότα:
    a. να μη λειτουργήσει σωστά το τεχνικό τμήμα της μονάδας ,που έχει να κάνει κυρίως με τους ελέγχους και τις προειδοποιήσεις του συστήματος (πριν αλλά και κατά τη διάρκεια της διαδικασίας εκκίνησης της στήλης διαχωρισμού), και παράλληλα
    b. να μην λειτουργήσει σωστά η διαχείριση (έλεγχος λειτουργίας) που έχει να κάνει με τον ανθρώπινο παράγοντα και σχετίζεται με την ασφαλή λειτουργία της μονάδας. Αυτό αναφέρεται σε όλες εκείνες τις αποφάσεις και τις ενέργειες που πρέπει να εκτελεστούν από τους εργαζόμενους και υπεύθυνους ασφάλειας της εγκατάστασης πριν και κατά τη διάρκεια της διαδικασίας εκκίνησης. Συγκεκριμένα, περιλαμβάνονται οι αποφάσεις για τη σωστή και ασφαλή λειτουργία του συστήματος, η συντήρηση του κρίσιμου εξοπλισμού της εγκατάστασης και όλοι οι σχετικοί έλεγχοι ασφάλειας που πρέπει να γίνουν.

   Τα δύο παραπάνω γεγονότα, θεωρήθηκε στο Δέντρο αστοχιών ότι συνδέονται μεταξύ τους με πύλη ΚΑΙ (AND), δηλαδή πρέπει να συμβούν λάθη και παραλήψεις και στα δύο ταυτόχρονα για να οδηγηθούμε στο ατύχημα.
6. Αν κάθε ένα από τους βρόχους για το σύστημα που βρήκαμε με τη μέθοδο SADT προσπαθήσουμε να τους εντάξουμε στη μοντελοποίηση με τη μέθοδο του Δέντρου Αστοχιών, τότε μπορούμε να δούμε ότι οι διάφοροι παράγοντες που εμπλέκονται σε κάθε βρόχο συνδέονται μεταξύ τους με πύλη Η (OR), δηλαδή αρκεί ένας από τους παράγοντες του βρόχου να μην λειτουργήσει σωστά, για να μην λειτουργήσει όλος ο βρόχος σωστά (να αστοχήσει).
7. Τους βρόχους του συστήματος που αναγνωρίσαμε μπορούμε να τους διαχωρίσουμε σε δύο κατηγορίες, σε βρόχους «ταχείας απόκρισης» και σε βρόχους «βραδείας απόκρισης» (σχετική ανάλυση στη μελέτη). Από αυτό το διαχωρισμό μπορούμε να βγάλουμε τα ακόλουθα συμπεράσματα. Αρχικά, οι βρόχοι που έχουν να κάνουν με το προσωπικό είναι «βραδείας απόκρισης», γιατί εμπεριέχουν «εκπαίδευση προσωπικού», ή «καταλληλότητα προσωπικού» και της τεχνικής γνώσης που απαιτείται . Από τους βρόχους που σχετίζονται με τον εξοπλισμό και την εγκατάσταση, από την ανάλυση στη μελέτη καταδείχτηκε ότι κάποιοι μπορούν να θεωρηθούν, υπό συγκεκριμένες συνθήκες «ταχείας απόκρισης», και κάποιοι άλλοι «βραδείας απόκρισης». **Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω αποτελέσματα και θεωρώντας ότι μόνο οι βρόχοι ταχείας απόκρισης μπορούν να επιδιορθωθούν άμεσα, π.χ. στα πλαίσια μιας δωδεκάωρης βάρδιας, συμπεραίνουμε, ότι η παραπάνω ανάλυση μας καθοδηγεί αξιόπιστα σε εκείνες τις ενέργειες οι οποίες πρέπει να γίνουν άμεσα και σε εκείνες που πρέπει να προγραμματιστούν σε βάθος χρόνου.**
8. Από τη στιγμή που μετά από την ανάλυση που κάναμε είδαμε ότι οι περισσότεροι από τους βρόχους του συστήματος μας είναι βραδείας απόκρισης, και πολύ λίγοι είναι ταχείας, και αυτοί λειτουργούν ως ταχείας απόκρισης υπό ορισμένες συνθήκες, μπορούμε να καταλήξουμε στο συμπέρασμα **ότι το ατύχημα δεν θα μπορούσε να είχε αποφευχθεί τουλάχιστον με ενέργειες των χειριστών εντός του χρονικού διαστήματος εκκίνησης της στήλης. Στο συμπέρασμα αυτό είχαν καταλήξει και οι εντεταλμένοι εμπειρογνώμονες, μετά την ανάλυση του ατυχήματος.**

9. Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι τα συμπεράσματα που βγάλαμε από την ανάλυση του ατυχήματος με τη μέθοδο SADT συμφωνούν απόλυτα με τα αποτελέσματα μεμονωμένων ερευνών από διάφορους ερευνητές και εμπειρογνώμονες, συνεπώς η μέθοδος αυτή καταδεικνύεται ότι είναι ασφαλής και αξιόπιστη και εξάγονται σωστά και άμεσα αποτελέσματα όταν εφαρμόζεται στα πλαίσια της μεθοδολογίας της παρούσας μελέτης για την ανάλυση παρελθόντων ατυχημάτων. Επιπλέον η μέθοδος SADT είναι ασφαλής και στην πρόβλεψή ατυχημάτων στα πλαίσια ενός αναπτυγμένου συστήματος διαχείρισης ασφάλειας όπως προτείνεται στη παρούσα μελέτη.
10. Σε διάφορες πηγές σχετικά με το ατύχημα υπάρχουν αναφορές ότι υπήρχαν κάποιοι εργαζόμενοι οι οποίοι είχαν επισημάνει στους προϊσταμένους τους για τα κενά που υπήρχαν στον έλεγχο της εγκατάστασης της μονάδας, και για το γεγονός ότι ήταν πολύ επικίνδυνο να βρίσκεται χώρος συγκέντρωσης εργαζομένων τόσο κοντά στη στήλη διαχωρισμού, εννοώντας το χώρο από τον οποίο προέρχονται και οι περισσότεροι νεκροί κατά την ημέρα του ατυχήματος. Αλλά επειδή ήταν λίγοι οι εργαζόμενοι που το ανέφεραν αυτό, και ο καθένας το είπε μεμονωμένα, και όχι σε συνεργασία με τους συναδέλφους του, σαν ομάδα, δεν δόθηκε η απαραίτητη σημασία στις αναφορές αυτές . Αν υπήρχαν περισσότερες αναφορές, ή αν οι εργαζόμενοι πήγαιναν οργανωμένα στην διεύθυνση του εργοστασίου να μιλήσουν σχετικά με τις συνθήκες λειτουργίας της μονάδας και την χωροταξία, είναι πολύ πιθανό το ατύχημα να μην είχε τουλάχιστον ανθρώπινα θύματα.

Εν κατακλείδι μπορούμε να πούμε ότι η μεθοδολογία που επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε για την ανάλυση του ατυχήματος που εξετάσαμε εξάγει πολύ καλά και ασφαλή αποτελέσματα, όπως επίσης μια ολοκληρωμένη εικόνα σχετικά με τις συνθήκες που επικρατούσαν κατά το ατύχημα, και τους παράγοντες οι οποίοι οδήγησαν σε αυτό.

Γενικά μπορούμε να πούμε ότι αυτή η μέθοδος συστήνεται τόσο για την ανάλυση ατυχημάτων, όσο και για την πρόβλεψη τους. Το σύστημα ανάλυσης αυτό, βασισμένο στην μέθοδο SADT, στην ανάλυση αστοχιών και σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης ασφάλειας, μπορεί να εφαρμοστεί σε πολλές περιπτώσεις και να αποτελέσει το μηχανισμό εξαγωγής σχεδίων δράσης στα πλαίσια της μελέτης ασφάλειας μιας μονάδας, με τα απαραίτητα μέτρα προστασίας και πρόληψης που πρέπει να παρθούν σε κάθε περίπτωση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 16

ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Τα αποτελέσματα τα οποία είχαμε για την εφαρμογή των διαφόρων μεθόδων σε αυτή τη διπλωματική εργασία ήταν αρκετά καλά. Είδαμε ότι αυτή η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί στην ανάλυση ατυχημάτων, και δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα. παρόλα αυτά υπάρχει προοπτική για περαιτέρω ανάπτυξη και έρευνα πάνω σε αυτό το αντικείμενο, τόσο όσον αφορά τις μεθόδους που εφαρμόσαμε στη διπλωματική αυτή εργασία, όσο και για την περαιτέρω ανάλυση του ατυχήματος. Μερικά στοιχεία τα οποία θα μπορούσαν να μελετηθούν μελλοντικά είναι τα ακόλουθα :

Ποσοτικοποίηση της ανάλυσης, εντάσσοντας πιθανότητες οι οποίες να είναι σχετικές με τους οργανωτικούς παράγοντες του συστήματος, και φυσικά με τα δεδομένα τα οποία παίρνουμε από το σύστημα. Για παράδειγμα μπορεί να μελετηθεί πόσες φορές εμφανίζεται σε ένα προκαθορισμένο διάστημα χρονικό ο κάθε παράγοντας στο σύστημα ο οποίος μπορεί να οδηγήσει σε ατύχημα, και έτσι να εκτιμηθεί η πιθανότητα αστοχίας στο σύστημα. Με αυτό τον τρόπο η ανάλυσή και η εφαρμογή των μοντέλων θα μπορούσε να εφαρμοστεί όχι μόνο για την ανάλυση ατυχημάτων αλλά και για την ενδεχόμενη πρόβλεψή τους, και εν τέλει αποφυγή τους, κάτι το οποίο είναι ζητούμενο.

Ανάπτυξη και περαιτέρω ανάλυση του Δέντρου Αστοχιών στην ανάλυση του ατυχήματος, με όλα τα στοιχεία του συστήματος και όλους τους παράγοντες που οδήγησαν στο ατύχημα. Έτσι θα μπορούμε να έχουμε μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα σχετικά με το πώς συνδέονται μεταξύ τους οι παράγοντες που οδήγησαν στο ατύχημα. Αυτό φυσικά, όπως και η παραπάνω πρόταση, δε θα μας βοηθήσει μόνο σε επίπεδο ανάλυσης αλλά και πρόβλεψης ατυχημάτων.

Μεγαλύτερη εμβάθυνση και περισσότερη επεξεργασία στα στοιχεία του συστήματος, στη προσομοίωση του συγκεκριμένου ατυχήματος, τόσο στα τεχνικά χαρακτηριστικά όσο και στους οργανωτικούς παράγοντες, με συνδέσεις άμεσες μεταξύ αυτών των δύο, και με αυτό τον τρόπο να απλοποιηθεί η μελέτη.

Τα συμπεράσματα της μελέτης, αναφορικά στο τρόπο απόκρισης των αναγνωρισμένων βρόχων (βραδείας και ταχείας απόκρισης) προτείνεται να αξιολογηθούν με εφαρμογή σε άλλο ατύχημα ή με συλλογή στοιχείων από σχετικές διεργασίες στη βιομηχανία. Μια τέτοια αξιολόγηση θα πρόσφερε μια επιπλέον αναγνώριση της χρησιμότητας της μεθοδολογίας που χρησιμοποιήθηκε αλλά και της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων που εξάγονται από την εφαρμογή της.

Επιπλέον, όσον αφορά το σύστημα που χρησιμοποιήθηκε, είναι δυνατόν, ανάλογα τον οργανισμό για τον οποίο γίνεται κάθε φορά η μελέτη, να προσαρμοστεί στα δεδομένα του χρήστη με συγχώνευση και απλοποίηση ορισμένων παραγόντων, έτσι ώστε να απλοποιηθεί στο σύνολο το υπό εξέταση σύστημα και η ανάλυση. Έτσι θα είναι πιο εύκολα και γρήγορο για να το επεξεργαστούμε τόσο σε επίπεδο ανάλυσης, όσο και σε επίπεδο πρόβλεψης ατυχημάτων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Πασχαλία Μαχαιρά (2006), **Σύστημα Διαχείρισης Ασφάλειας στη Διακίνηση Επικίνδυνων Ουσιών στα Αεροδρόμια, Ερευνητική Διατριβή**

- Λάμπρος Λάϊος, Μαρία Γιαννακούρου – Σιούταρη, (2003), **Σύγχρονη εργονομία**

- Θωμάς Κοντογιάννης , (1997), **Συστήματα Διοίκησης και Διαχείρισης της Ασφάλειας**

- http://www.eclass.tuc.gr/modules/document/document.php?course=MPD148

- http://www.eclass.tuc.gr/modules/document/document.php?course=MPD149

- http://www.safety.tuc.gr/

ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- J. Mogford , (2005), **Fatal Accident Investigation Report, Isomerization Unit Explosion Final Report, Texas City, Texas, USA**

- CCH , Australia Limited, and Andrew Hopkins, (2009) **Failure to Learn, the BP Texas City Disaster**

- http://books.google.com/books?id=47nKUYQGDAsC&printsec=frontcover&hl=el&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

- Zahra Mohaghegh, Reza Kazemi, Ali Mosleh, (2009), ***Reliability Engineering and System Safety,*** **Incorporating organizational factors into Probabilistic Risk Assessment (PRA) of complex socio-technical systems: A hybrid technique formalization**

- Zahra Mohaghegh , Ali Mosleh, (2009**)** ***Safety Science,*** **Incorporating organizational factors into probabilistic risk assessment of complex socio-technical systems: Principles and theoretical foundations**,

- Zahra Mohaghegh , Ali Mosleh (2009), ***Safety Science,*** **Measurement techniques for organizational safety causal models: Characterization and suggestions for enhancements**

- Neil Mitchison , Georgios A. Papadakis (1999), **Safety management systems under Seveso II: Implementation and assessment**

- National Geographic, **Seconds From Disaster, Texas Refinery Disaster**
- Mark Kaszniak , Donald Holmstrom, (2008), **Trailer siting issues: BP Texas City**
- http://en.wikipedia.org/wiki/Texas_City_Refinery_explosion
- Arthur D. Little, (2005), **Process Safety Risk Assessment Training**
- Georgios A. Papadakis, (2010), **KPIs for Emerging Risks : The role of SMS in the Control of Major Accidents in Greek "Seveso" sites**
- Karen Marais, (2005), **A New Approach to Risk Analysis with a Focus on Organizational Risk Factors**
- Mark Kaszniak *, Donald Holmstrom, (2008), **Trailer siting issues: BP Texas City**
- M.F. Kujath a,*, P.R. Amyotte a, F.I. Khan, (2010), **Journal of Loss Prevention in the Process Industries, A conceptual offshore oil and gas process accident model**
- Peter Friis Hansen, (2010), **Using Bayesian Networks for Identification of KPI's**