



Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής

Σχολή Μηχανικών, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

ΠΜΣ Βιομηχανικά Συστήματα Πετρελαίου και Φυσικού Αερίου

Διπλωματική Εργασία

HAZARD EVALUATION OF

SAFETY MANAGEMENT AND RISK ASSESSMENT FOR LIQUID FUEL TANKS

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ
ΥΓΡΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΤΟΥ

ΠΑΠΑΔΗΜΗΤΡΑΚΗ ΘΕΟΔΟΣΙΟΥ ΜΕ ΑΜ 20210082

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΥ ΦΟΙΤΗΤΗ ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΤΟΥ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΔΥΤΙΚΗΣ
ΑΤΤΙΚΗΣ

«ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ»

ΥΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΒΛΕΨΗ ΤΟΥ Δρ ΧΗΜΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΤΣΟΛΑΚΗ ΘΩΜΑ

ΙΟΥΝΙΟΣ 2024

DISSERTATION ASSESSMENT AND GRADING COMMITTEE

Δρ Ιωάννης Κ. Καλδέλλης, Καθηγητής Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών

(Όνομα)

(Υπογραφή)

Δρ Αιμιλία Κονδύλη, Καθηγήτρια, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

(Όνομα)

(Υπογραφή)

Declaration of authorship

Me, Papadimitrakis Theodosios confirm that the report entitled Hazard Evaluation of Safety Management and Risk Assessment for Liquid Fuel Tanks is my own work. I have not copied other material verbatim except in explicit quotes, and I have identified the sources of the material clearly.

Athens, 2024



ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Θεοδόσιος Παπαδημητράκης του Στυλιανού, με αριθμό μητρώου 20210082 φοιτητής του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Βιομηχανικά Συστήματα Πετρέλαιου και Φυσικού Αερίου» του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι και έπειτα από αίτηση μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντα καθηγητή.

Ο Δηλών

Θεοδόσιος Παπαδημητράκης



Abstract

This study aims to identify and assess the risks in a liquid fuel storage tank facility. The facility analysed stored gasoline, kerosene, diesel, ethanol and methanol in tanks of various sizes.

The methodology examined is the Dow Fire and Explosion Index (Dow F&EI), a relatively simple, yet comprehensive quantitative approach. This methodology requires an understanding of the facility's operations and provides the capability to quickly assess risks, evaluate existing safety measures, and identify critical risk areas, and suggesting improvements in process safety.

Using Dow F&EI during the initial conceptual design phase allows the facility to benefit from its flexibility and in-depth analysis, helping to implement and enhance safeguards from the earliest stages of the process. This can significantly contribute to accident prevention and the overall safety of the facility.

In summary, the Dow F&EI Index offers a reliable and effective tool for risk assessment and risk management in industrial processes. Its application enables the prevention the detection of potential risks before they escalate into serious problems, ensuring the safety and efficient operation of facilities.

Keywords

Liquid Fuel Tanks - Dow F&EI - Risk Assessment - Damage Cost Estimation - Catastrophic Event Exposure Analysis

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αυτή η μελέτη στοχεύει στην αναγνώριση και αξιολόγηση της επικινδυνότητας σε μία εγκατάσταση δεξαμενών αποθήκευσης υγρών καυσίμων. Πιο συγκεκριμένα η εγκατάσταση που θα αναλυθεί περιλαμβάνει δεξαμενές διαφόρων μεγεθών που αποθηκεύουν βενζίνη αεροπορικό καύσιμο, ντίζελ, αιθανόλη και μεθανόλη.

Η μεθοδολογία που θα εξεταστεί είναι ο δείκτης Dow Fire and Explosion Index (Dow F&EI), μία σχετικά απλή αλλά περιεκτική και ποσοτική μεθοδολογία. Αυτή η μεθοδολογία απαιτεί κατανόηση της λειτουργίας της εγκατάστασης και παρέχει τη δυνατότητα γρήγορης αξιολόγησης της επικινδυνότητας σε επίπεδο τόσο του εξοπλισμού όσο και της συνολικής εγκατάστασης. Επίσης, διευκολύνει την αξιολόγηση των υφιστάμενων μέτρων ασφαλείας, την ταυτοποίηση των κρίσιμων τμημάτων από πλευράς κινδύνου και προτείνει βελτιώσεις στην ασφάλεια της διαδικασίας. Χρησιμοποιώντας τον Dow F&EI κατά τον αρχικό σχεδιασμό, η εγκατάσταση μπορεί να επωφεληθεί από την ευελιξία και την διεξοδική ανάλυση που προσφέρει, βοηθώντας στην εφαρμογή και βελτίωση των ασφαλιστικών μέτρων από τα πρώτα στάδια της διαδικασίας. Αυτό μπορεί να συμβάλει σημαντικά στην πρόληψη ατυχημάτων και στην ενίσχυση της ασφαλείας της εγκατάστασης.

Συνολικά, ο δείκτης Dow F&EI παρέχει ένα αξιόπιστο και αποτελεσματικό εργαλείο για την αξιολόγηση κινδύνων και τη διαχείριση της επικινδυνότητας σε βιομηχανικές διεργασίες. Η εφαρμογή του επιτρέπει στον εντοπισμό πιθανών κινδύνων πριν αυτοί εξελιχθούν σε σοβαρά προβλήματα, διασφαλίζοντας την ασφάλεια και την αποδοτική λειτουργία των εγκαταστάσεων.

Λέξεις - Κλειδιά

Δεξαμενές Υγρών Καυσίμων - Dow F&EI - Εκτίμηση Επικινδυνότητας - Εκτίμηση Κόστους Ζημίας - Επιφάνεια Έκθεσης Καταστροφικού Συμβάντος

Ευχαριστίες

Για την επιτυχή ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στον επιβλέποντα κύριο Θωμά Τσολάκη. Τον ευχαριστώ θερμά για την ευκαιρία να εμβαθύνω σε αυτό το αντικείμενο, καθώς και για την καθοδήγηση, το ενδιαφέρον και την επιστημονική υποστήριξη που μου παρείχε, προσφέροντάς μου πολύτιμες γνώσεις και οφέλη. Η εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου αποτελεί για μένα μεγάλη τιμή.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Γεώργιο Καβαθά και τον κύριο Άγγελο Μούστη για την πολύτιμη συμβολή και βοήθεια που μου πρόσφεραν για την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την αδιάκοπη υποστήριξη, και ιδιαίτερα τη σύζυγό μου για την υπομονή και τη στήριξή της κατά τη διάρκεια των μηνών που χρειάστηκαν για την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

Ευχαριστίες Προς Χορηγούς

Θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στους χορηγούς του Μεταπτυχιακού Προγράμματος «MSc Oil and Gas Process Systems Engineering», ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΑ Α.Ε., Δήμος Ασπροπύργου και Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής για τη χρηματοδότηση και τη συνεχή υποστήριξή τους. Η παρακολούθηση και η επιτυχία αυτού του Προγράμματος δεν θα ήταν δυνατή χωρίς την πολύτιμη συμβολή τους.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Declaration of authorship | 3 |
| ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ | 4 |
| Abstract | 5 |
| Ευχαριστίες..... | 7 |
| 1.Εισαγωγή | 18 |
| 1.1.Εγκαταστάσεις αποθήκευσης και διακίνησης υγρών καυσίμων..... | 18 |
| 1.2.Βιομηχανικά Ατυχήματα Μεγάλης Έκτασης (BAME) | 20 |
| 1.3.Παραδείγματα από BAME σε εγκαταστάσεις..... | 21 |
| 1.3.1.Περιστατικό στη Jet Oil, 1986(Θεσσαλονίκη) | 21 |
| 1.3.2. Περιστατικό στη Πετρόλα, 1992(Ελευσίνα) | 22 |
| 1.3.2. Περιστατικό στη ΧΥΜΑ Α.Ε, 2006 (Λάυριο) | 23 |
| 2.Υγρα Καύσιμα Και Δεξαμενές Αποθήκευσης | 25 |
| 2.1.Ιδιότητες Και Ταξινόμηση Υγρών Καυσίμων..... | 25 |
| 2.1.1.Σημείο Ανάφλεξης (flash point)..... | 25 |
| 2.1.2.Σημείο Φωτιάς (Fire Point) | 26 |
| 2.1.3.Όρια Αναφλεξιμότητας | 27 |
| 2.1.4.Θερμοκρασία Αυτανάφλεξης | 29 |
| 2.2.Τύποι Δεξαμενών και χαρακτηριστικά τους..... | 30 |
| 2.2.1.Δεξαμενές Σταθερής Οροφής..... | 31 |
| 2.2.2.Δεξαμενές Πλωτής Οροφής..... | 32 |
| 2.3.Κριτήρια Αποθήκευσης Σε Διαφορετικά Είδη Δεξαμενών..... | 33 |
| 2.4. Στοιχεία Σχεδιασμού Και Αντοχή Δεξαμενών Αποθήκευσης Υγρών Καυσίμων..... | 35 |
| 2.4.1.Υπερπίεση και Κενό Δεξαμενής | 36 |
| 2.5.Θέση δεξαμενών που σχετίζεται με την εκτίμηση επικινδυνότητας..... | 38 |
| 3. Επικινδυνότητα Εγκαταστάσεων Μεγάλων Δεξαμενών Υγρών Καυσίμων | 40 |
| 3.1.Νομοθεσία Βιομηχανικών Ατυχημάτων Μεγάλης Έκτασης | 40 |
| 3.1.1.Seveso I | 41 |
| 3.1.2.Seveso II | 42 |
| 3.1.3.Seveso III | 42 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.2.Κανόνες και Κανονισμοί που Διέπουν τις Λειτουργίες και την Ασφάλεια Δεξαμενών Αποθήκευσης Υγρών Καυσίμων..... | 44 |
| 4. Στατιστικά Στοιχεία Για Περιστατικά Δεξαμενών | 47 |
| 4.1.Αιτίες Περιστατικών Σε Εγκαταστάσεις Μεγάλων Δεξαμενών Καυσίμων..... | 47 |
| 4.1.1.Κεραυνός..... | 50 |
| 4.1.2. Σφάλμα Συντήρησης | 51 |
| 4.1.3.Σαμποτάζ..... | 52 |
| 4.1.4.Λειτουργικό Σφάλμα | 52 |
| 4.1.5.Αστοχία Εξοπλισμού | 52 |
| 4.1.6. Ρωγμή Και Ρήξη | 53 |
| 4.1.7. Στατικός Ηλεκτρισμός..... | 53 |
| 4.1.8. Ανοιχτές Φλόγες | 54 |
| 4.1.9.Φυσικές Καταστροφές | 55 |
| 4.1.10. Αντιδράσεις | 55 |
| 4.2.Στατιστική Ανάλυση Περιστατικών Σε Δεξαμενές Αποθήκευσης Καυσίμων | 56 |
| 4.3.Επιπτώσεις περιστατικών (είδη φωτιάς και στατιστικά) | 62 |
| 4.4.Ειδικές περιπτώσεις περιστατικών (boilover)..... | 64 |
| 5. Πηγες Ανάφλεξης Και Αίτιες Διαρροής Σε Εγκαταστάσεις Υγρών Καυσίμων | 66 |
| 5.1.Είδη Πηγών Ανάφλεξης..... | 66 |
| 5.1.1.Ηλεκτρικές Πηγές Ανάφλεξης..... | 67 |
| 5.1.2. Θερμικές Πηγές Ανάφλεξης | 68 |
| 5.1.3. Μηχανικές Πηγές Ανάφλεξης | 68 |
| 5.2. Αιτίες Διαρροής..... | 69 |
| 6. Μεθοδολογίες Αναγνώρισης Επικινδυνότητας | 71 |
| 6.1.Λίστες Ελέγχου (Checklists)..... | 71 |
| 6.2.Αναλυση «Τι Θα Συμβεί Αν..» («What If.. » Analysis) | 72 |
| 6.3.Ανάλυση δένδρων σφαλμάτων (FTA) | 73 |
| 6.4. Event Tree Analysis (ETA)..... | 76 |
| 6.5.Ανάλυση Bowtie (παπιγιόν)..... | 80 |
| 6.6.Ανάλυση Αξιολόγησης Κινδύνου (HAZOP)..... | 81 |
| 6.7. Risk Matrix (Πίνακας Κινδύνου)..... | 82 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 6.8. Δείκτης DOW F&EI..... | 84 |
| 6.8.1. Μεθοδολογία Υπολογισμού Του Δείκτη DOW F&EI..... | 84 |
| 6.8.2. Ταξινόμηση Επικινδυνότητας από τον δείκτη DOW F&EI | 91 |
| 6.8.3. Σύγκριση μεθοδολογιών αναγνώρισης επικινδυνότητας και του Δείκτη DOW F&EI . | 92 |
| 7. Εφαρμογή Dow F&EI Σε Εγκατάσταση Δεξαμενών Υγρών Καυσίμων | 95 |
| 7.1 Σύγκριση Fire And Explosion Index Διαφορετικών Καυσίμων Με Διαφορετικά Μεγέθη Δεξαμενών Αποθήκευσης..... | 101 |
| 7.2. Υπολογισμός Της Ακτίνας Έκθεσης Καταστροφικού Συμβάντος Σε Εγκατάσταση Δεξαμενών Υγρών Καυσίμων..... | 104 |
| 7.3. Υπολογισμός Των Loss Control Measures Σε Εγκατάσταση Δεξαμενών Υγρών Καυσίμων | 108 |
| 7.4. Προτάσεις για την Περαιτέρω Μείωση του Κινδύνου Σε Εγκατάσταση Δεξαμενών Υγρών Καυσίμων..... | 112 |
| 7.4.1. Παράγοντας Απομόνωσης Υλικών (Material Isolation Credit Factor) (C2) | 113 |
| 7.4.2. Παράγοντας Προστασίας Πυρκαγιάς (Fire Protection Credit Factor) (C3)..... | 113 |
| 7.5. Αξιολόγηση Μεθόδων Μείωσής Της Επικινδυνότητας..... | 116 |
| 8. Οικονομικές Συνέπειες από Καταστροφικό Συμβάν στην Εγκατάσταση Δεξαμενών Υγρών Καυσίμων | 120 |
| 8.1. Υπολογισμός Συνολικής Ζημίας Από Καταστροφικό Συμβάν..... | 120 |
| 8.2. Εξέταση Βελτίωσης Συνολικής Ζημίας Με Μέτρα Μείωσης Επικινδυνότητας | 127 |
| 9. Εκλυόμενη Θερμική Ακτινοβολία Φωτιάς Οροφής Δεξαμενών Υγρών Καυσίμων | 133 |
| 9.1. Φωτιά Οροφής Δεξαμενής Εύφλεκτου Υγρού..... | 133 |
| 9.2. Διαδικασία Εύρεσης Εκλυόμενης Θερμικής Ακτινοβολίας..... | 134 |
| 9.3. Υπολογισμός Εκλυόμενης Θερμικής ακτινοβολίας Δεξαμενών Diesel | 136 |
| 9.4. Υπολογισμός Εκλυόμενης Θερμικής ακτινοβολίας Δεξαμενών Κηροζίνης | 139 |
| 10. Συμπεράσματα | 145 |
| Βιβλιογραφία | 147 |

ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ΣΧΗΜΑ 1: ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΣΤΑΘΕΡΗΣ ΟΡΟΦΗΣ (ΚΩΝΙΚΗ ΣΤΕΓΗ) | 31 |
| ΣΧΗΜΑ 2 : ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΠΛΩΤΗΣ ΟΡΟΦΗΣ | 32 |
| ΣΧΗΜΑ 3: ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΣΤΑΘΕΡΗΣ ΟΡΟΦΗΣ ΜΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΠΛΩΤΗ ΟΡΟΦΗ | 33 |
| ΣΧΗΜΑ 4: ΥΠΕΡΠΙΕΣΗ ΚΑΙ ΚΕΝΟ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ | 36 |
| ΣΧΗΜΑ 5: ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΕΥΑΛΩΤΗΣ ΑΡΘΡΩΣΕΩΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ | 37 |
| ΣΧΗΜΑ 6: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΒΑΛΒΙΔΩΝ ΕΞΙΣΟΡΡΟΠΗΣΗΣ ΠΙΕΣΗΣ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ (PVV) | 38 |
| ΣΧΗΜΑ 7: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΟΣΤΟΥ ΨΑΡΙΟΥ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΑΙΤΙΩΝ ΑΤΥΧΗΜΑΤΟΣ ΣΕ ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΥΓΡΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ | 49 |
| ΣΧΗΜΑ 8: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΟΣΤΟΥ ΨΑΡΙΟΥ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΠΡΟΛΗΨΗΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΟΣ ΣΕ ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΥΓΡΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ | 49 |
| ΣΧΗΜΑ 9: ΓΕΙΩΣΗ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ | 54 |
| ΣΧΗΜΑ 10: ΣΥΜΒΟΛΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΗΝ ΦΤΑ | 74 |
| ΣΧΗΜΑ 11: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΦΤΑ | 75 |
| ΣΧΗΜΑ 12: ΕΤΑ ΔΙΑΡΡΟΗΣ ΕΥΦΛΕΚΤΟΥ ΑΕΡΙΟΥ | 76 |
| ΣΧΗΜΑ 13: ΕΤΑ ΔΙΑΡΡΟΗΣ ΕΥΦΛΕΚΤΟΥ ΥΓΡΟΥ | 77 |
| ΣΧΗΜΑ 14: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΤΑ | 79 |
| ΣΧΗΜΑ 15: ΑΚΤΙΝΑ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΤΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ | 88 |
| ΣΧΗΜΑ 16: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ (1994) | 92 |
| ΣΧΗΜΑ 17: ΦΩΤΙΑ ΟΡΟΦΗΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΕΥΦΛΕΚΤΟΥ ΥΓΡΟΥ | 142 |

ΛΙΣΤΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1: ΌΡΙΑ ΑΝΑΦΛΕΞΙΜΟΤΗΤΑΣ | 28 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2: ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ ΑΝΑ ΠΕΡΙΟΧΗ | 57 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3: ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΑΝΑ ΤΥΠΟ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ | 59 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4: ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΑΝΑ ΤΥΠΟ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ | 60 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5: ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΑΝΑ ΠΡΟΪΟΝ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ | 61 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6: ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ | 62 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 7: ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ ΚΑΙ ΈΚΡΗΞΗΣ ΣΕ ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ | 63 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8: ΑΚΤΙΝΑ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ | 87 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 9: ΔΕΙΚΤΗΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ DF (DAMAGE FACTOR)..... | 89 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 10: ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΠΙΘΑΝΩΝ ΗΜΕΡΩΝ ΑΔΡΑΝΕΙΑΣ (MPDO)..... | 90 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 11: ΠΟΙΝΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ | 98 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12: ΣΥΓΚΡΙΣΗ F&EI ΚΑΙ ΌΓΚΟΥ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ DIESEL | 101 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 13: ΣΥΓΚΡΙΣΗ F&EI ΚΑΙ ΌΓΚΟΥ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ | 102 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 14: ΣΥΓΚΡΙΣΗ F&EI ΚΑΙ ΌΓΚΟΥ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ | 102 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 15: ΣΥΓΚΡΙΣΗ F&EI ΚΑΙ ΌΓΚΟΥ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ | 103 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 16: ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΔΕΙΚΤΗ DOW F&EI ΜΕ ΟΓΚΟ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ | 103 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 17: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΚΤΙΝΑΣ ΈΚΘΕΣΗΣ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΥ ΣΥΜΒΑΝΤΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ DIESEL..... | 105 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 18: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΚΤΙΝΑΣ ΈΚΘΕΣΗΣ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΥ ΣΥΜΒΑΝΤΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΚΗΡΟΖΙΝΗΣ | 106 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 19: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΚΤΙΝΑΣ ΈΚΘΕΣΗΣ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΥ ΣΥΜΒΑΝΤΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΒΕΝΖΙΝΗΣ..... | 106 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 20: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΚΤΙΝΑΣ ΈΚΘΕΣΗΣ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΥ ΣΥΜΒΑΝΤΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΜΑΖΟΥΤ | 107 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 21: ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΑΚΤΙΝΑΣ ΈΚΘΕΣΗΣ ΜΕ ΔΙΑΜΕΤΡΟ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ..... | 107 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 22: ΑΚΤΙΝΑ ΈΚΘΕΣΗΣ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΥ ΣΥΜΒΑΝΤΟΣ (M) ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ 60 M | 108 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 23: ΤΙΜΕΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑ ΜΕΙΩΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ..... | 117 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 24: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΕΙΚΤΗ F&E ΜΕ ΤΑ ΜΕΤΡΑ ΜΕΙΩΣΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ | 118 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 25: ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΕΙΩΣΗΣ F&EΙ ΜΕ ΠΕΡΕΤΑΙΡΩ ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ..... | 119 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 26: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ | 121 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 27: ΒΑΣΙΚΗ ΜΕΓΙΣΤΗ ΠΙΘΑΝΗ ΖΗΜΙΑ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ MPPD (M\$) | 124 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 28: ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΖΗΜΙΑ ΜΕ ΥΠΑΡΧΟΝΤΑ ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ | 129 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 29: ΠΟΣΟΣΤΟ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΖΗΜΙΑΣ ΜΕ ΥΠΑΡΧΟΝΤΑ ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ | 129 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 30: ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΖΗΜΙΑ ΜΕ ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΑ ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ | 131 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 31: ΠΟΣΟΣΤΟ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΖΗΜΙΑΣ ΜΕ ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΑ ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ | 131 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 32: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΖΗΜΙΑΣ ΜΕ ΤΑ ΜΕΤΡΑ ΜΕΙΩΣΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ . | 132 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 33: ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΔΕΞ-1 | 137 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 34: ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΔΕΞ-2 | 138 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 35: ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΔΕΞ-3 | 138 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 36: ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΔΕΞ-4 | 139 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 37: ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΔΕΞ-5 | 140 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 38: ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΔΕΞ-6 | 140 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 39: ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΤΑ ΌΡΙΑ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΑΣ ΈΚΘΕΣΗΣ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΥ ΣΥΜΒΑΝΤΟΣ..... | 143 |

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΕΙΔΩΝ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟ ΣΗΜΕΙΟ ΑΝΑΦΛΕΞΗΣ | 26 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 2: ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΥΓΡΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ | 30 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 3: ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΕΙΔΗ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ | 35 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 4: ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΑ ΑΝΑ ΤΥΠΟ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ | 48 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 5: ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ ΑΝΑ ΠΕΡΙΟΧΗ | 57 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 6: ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ ΑΝΑ ΠΕΡΙΟΧΗ | 58 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 7: ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΑΝΑ ΤΥΠΟ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ | 59 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 8: ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΑΝΑ ΤΥΠΟ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ | 60 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 9: ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΑΝΑ ΠΡΟΪΟΝ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ | 61 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 10: ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ | 62 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 11: ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ ΚΑΙ ΈΚΡΗΞΗΣ ΣΕ ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ | 63 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 12: ΠΗΓΕΣ ΑΝΑΦΛΕΞΗΣ (ΦΕΚ 846/Β/31-12-90) | 66 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 13: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΠΙΝΑΚΑ WHAT IF ANALYSIS | 73 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 14: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΠΙΝΑΚΑ ΚΙΝΔΥΝΟΥ | 83 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 15: ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ | 91 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 16: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ(LEE'S LOSS PREVENTION IN THE PROCESS INDUSTRIES,2005) | 93 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 17: ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΟΙ ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΜΕΝΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ | 96 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 18: ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΥΛΙΚΟΥ ΜF (MATERIAL FACTOR) | 96 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 19: ΠΟΙΝΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ | 98 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 20: FIRE AND EXPLOSION INDEX(F&EI) | 100 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 21: ΕΠΙΠΕΔΟ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΜΕ ΥΠΑΡΧΟΝΤΑ ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ | 101 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 22: ΑΚΤΙΝΕΣ ΚΑΙ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΕΚΘΕΣΕΩΝ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΔΕΞΑΜΕΝΗ | 105 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 23: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ C1 | 109 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 24: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΠΙΣΤΩΣΕΩΣ ΑΠΟΜΟΝΩΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ C2 | 110 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 25: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ C3 | 111 |
| Ιούνιος 2024 | 15 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ΠΙΝΑΚΑΣ 26: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ LCCF ΜΕ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΜΕΤΡΑ ΜΕΙΩΣΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ | 115 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 27: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ LCCF ΧΩΡΙΣ ΜΕΤΡΑ ΜΕΙΩΣΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ | 116 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 28: ΤΙΜΕΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑ ΜΕΙΩΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ | 116 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 29: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΒΑΘΜΟΥ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ | 118 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 30: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ | 122 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 31: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΈΚΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΒΛΑΒΗΣ (DF) | 123 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 32: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ MRPD | 124 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 33: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ACTUAL MRPD ΜΕ ΥΠΑΡΧΟΝΤΑ ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ | 125 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 34: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ MRDO | 126 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 35: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ VRM | 127 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 36: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΑΠΟ ΔΙΑΚΟΠΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΒΙ ΚΑΙ ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΖΗΜΙΑΣ | 127 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 37: ΠΟΣΟΣΤΟ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΖΗΜΙΑΣ ΜΕ ΥΠΑΡΧΟΝΤΑ ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ | 128 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 38: ΠΟΣΟΣΤΟ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΖΗΜΙΑΣ ΜΕ ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΑ ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ | 130 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 39: ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟΣ ΡΥΘΜΟΣ ΚΑΥΣΗΣ M_{∞} | 135 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 40: ΕΚΛΥΟΜΕΝΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ DIESEL ΚΑΙ ΚΗΡΟΖΙΝΗΣ | 141 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 41: ΜΗΚΟΣ ΦΛΟΓΑΣ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ DIESEL ΚΑΙ ΚΗΡΟΖΙΝΗΣ ΚΑΙ ΑΚΤΙΝΑ ΈΚΘΕΣΗΣ ΓΙΑ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΜΕΧΡΙ 1 kW/m^2 | 141 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 42: ΖΩΝΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ | 143 |

ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

| | |
|-------|------------------------------------------|
| API | American Petroleum Institute |
| BAME | Βιομηχανικό Ατύχημα Μεγάλης Έκτασης |
| DF | Damage Factor |
| ETA | Event Tree Analysis |
| F&EI | Fire and Explosion Index |
| FP | Flash Point |
| FTA | Fault Tree Analysis |
| HAZOP | Hazard & Operability Study |
| LCCF | Loss Control Credit Factors |
| LEL | Lower Explosive Limit |
| LFL | Lower Flammability Limit |
| MF | Material Factor Lower flammability limit |
| MPDO | Maximum Probable Days of Outage |
| MPPD | Max. Probable Property Damage |
| NFPA | National Fire Protection Association |
| RVP | Reid Vapor Pressure |
| TVP | True Vapor Pressure |
| UEL | Upper Explosive Limit |
| UFL | Upper Flammability Limit |
| AIT | Autolgnition Temperature |
| AMPPD | Actual Max. Probable Property Damage |

1.Εισαγωγή

Η ραγδαία εξέλιξη της πετρελαϊκής βιομηχανίας έχει καταστήσει επιτακτική την ανάγκη για τη δημιουργία και χρήση εκτεταμένων δεξαμενών αποθήκευσης. Η ασφάλεια αυτών των δεξαμενών αποκτά κρίσιμη σημασία, καθώς ο αριθμός τους αυξάνεται σημαντικά. Ως κύριες μονάδες για την αποθήκευση πετρελαιοειδών, αυτές οι δεξαμενές περιέχουν ιδιαίτερα εύφλεκτα υλικά, καθιστώντας τις ιδιαίτερα επικίνδυνες. Μια διαρροή μπορεί να οδηγήσει σε ανθρώπινες απώλειες και σε βαρύτερες περιβαλλοντικές και οικονομικές συνέπειες (Jian Shuai, Kejiang Han, Xuerui Xu, 2012). Επομένως, η επιτακτική διαχείριση της ασφάλειας των δεξαμενών απαιτεί άμεση προσοχή για την αποφυγή ατυχημάτων. Η παρούσα εργασία στοχεύει στην ανάλυση των λειτουργιών των δεξαμενών και των πιθανών ατυχημάτων, παρέχοντας επίσης μια επισκόπηση των κανόνων και κανονισμών που συμβάλλουν στην ασφάλεια. Αναλύονται επίσης τα εργαλεία αξιολόγησης κινδύνου για τη διασφάλιση της αποδοτικής λειτουργίας των δεξαμενών και παρουσιάζονται τεχνικές που αντιμετωπίζουν την αβεβαιότητα και συμβάλλουν στον σχεδιασμό ασφάλειας. Η προληπτική προσέγγιση στην ανάλυση αστοχιών και η ενίσχυση της ασφάλειας είναι ουσιώδεις για τη μείωση των ατυχημάτων στις εγκαταστάσεις αποθήκευσης υγρών καυσίμων.

1.1.Εγκαταστάσεις αποθήκευσης και διακίνησης υγρών καυσίμων

Οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης και διακίνησης υγρών καυσίμων είναι σύνθετες δομές που σχεδιάζονται για την ασφαλή φύλαξη και την αποτελεσματική μεταφορά καυσίμων. Αυτές οι εγκαταστάσεις περιλαμβάνουν διάφορα στοιχεία που περιγράφονται παρακάτω :

1. Δεξαμενές Αποθήκευσης: Μπορεί να είναι υπόγειες ή επίγειες και να χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση διαφόρων τύπων υγρών καυσίμων, όπως πετρέλαιο, ντίζελ, βενζίνη και αερίου. Οι δεξαμενές

- σχεδιάζονται με βάση αυστηρές προδιαγραφές ασφαλείας για να προλαμβάνουν διαρροές και περιβαλλοντική μόλυνση.
2. Συστήματα Φόρτωσης και Εκφόρτωσης: Εξοπλισμός όπως αντλίες και σωληνογραμμές χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά καυσίμων από και προς τις δεξαμενές αποθήκευσης, εξασφαλίζοντας γρήγορη και ασφαλή διακίνηση.
 3. Συστήματα Μέτρησης και Ελέγχου: Για τον προσδιορισμό των ποσοτήτων καυσίμων που αποθηκεύονται ή μετακινούνται, χρησιμοποιούνται ειδικά μετρητικά συστήματα και λογισμικό διαχείρισης.
 4. Συστήματα Ασφαλείας και Προστασίας: Αυτά περιλαμβάνουν συστήματα ανίχνευσης και καταστολής πυρκαγιάς, συστήματα ανίχνευσης διαρροών και σχέδια έκτακτης ανάγκης για την προστασία των εγκαταστάσεων, των εργαζομένων και του περιβάλλοντος.
 5. Σταθμοί Φόρτωσης Οχημάτων: Ειδικά σχεδιασμένοι χώροι για την ασφαλή φόρτωση και εκφόρτωση καυσίμων σε βυτιοφόρα ή άλλα μεταφορικά μέσα. Περιλαμβάνουν συστήματα για την πρόληψη υπερχειλίσης και διασφαλίζουν τη σωστή μεταφορά των καυσίμων υπό ασφαλείς συνθήκες.
 6. Συστήματα Ανάκτησης Ατμών: Για την μείωση των εκπομπών επιβλαβών ατμών στο περιβάλλον, χρησιμοποιούνται συστήματα ανάκτησης ατμών που συλλέγουν και επεξεργάζονται τους ατμούς που παράγονται κατά τη φόρτωση, την αποθήκευση ή τη μεταφορά των υγρών καυσίμων.
 7. Σταθμοί Εξυπηρέτησης: Στις εγκαταστάσεις μπορεί επίσης να περιλαμβάνονται σταθμοί που προσφέρουν απευθείας εξυπηρέτηση στους καταναλωτές, όπως πρατήρια καυσίμων για την πώληση βενζίνης, ντίζελ κ.α. σε οχήματα.
 8. Εγκαταστάσεις Ελέγχου και Διαχείρισης: Κέντρα ελέγχου με εξοπλισμό υψηλής τεχνολογίας για την παρακολούθηση, τον έλεγχο και τη διαχείριση της λειτουργίας ολόκληρης της εγκατάστασης. Αυτό εξασφαλίζει τη συνεχή λειτουργία της εγκατάστασης σύμφωνα με τις

απαιτήσεις και κανονισμούς ασφαλείας και περιβαλλοντικής προστασίας.

Οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης χρησιμοποιούνται σε διάφορους τομείς, όπως στη βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου, ενέργειας, ναυτιλίας και των μεταφορών, παρέχοντας κρίσιμες υπηρεσίες αποθήκευσης και τη διανομή καυσίμων σε διάφορα σημεία κατανάλωσης.

Στον τομέα της ναυτιλίας, αυτές οι εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται για τη φόρτωση και εκφόρτωση καυσίμων σε πλοία, ενώ στους τομείς της βιομηχανίας και ενέργειας, εξασφαλίζουν τη διαθεσιμότητα των απαραίτητων καυσίμων για τη λειτουργία μηχανημάτων και εργοστασίων. Επιπλέον, στις υποδομές μεταφορών, όπως αεροδρόμια και τερματικοί σταθμοί φορτηγών, αυτές οι εγκαταστάσεις καλύπτουν τις ανάγκες για ταχεία και ασφαλή διανομή καυσίμων.

Η διακίνηση των υγρών καυσίμων μέσα από αυτές τις εγκαταστάσεις ακολουθεί αυστηρές διαδικασίες για να διασφαλίζεται η ασφάλεια και να προλαμβάνονται διαρροές ή άλλες καταστάσεις που θα μπορούσαν να έχουν σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Από την φόρτωση και εκφόρτωση καυσίμων μέχρι την αποθήκευση και τη διανομή τους, όλες οι διαδικασίες είναι καλά οργανωμένες και υπόκεινται σε συνεχή παρακολούθηση.

1.2.Βιομηχανικά Ατυχήματα Μεγάλης Έκτασης (BAME)

Ένα Βιομηχανικό Ατύχημα Μεγάλης Έκτασης (BAME) περιγράφεται ως ένα εκτεταμένο περιστατικό όπως μια διαρροή, διασπορά τοξικών ουσιών, πυρκαγιά ή μια έκρηξη που συμβαίνει σε μία βιομηχανική εγκατάσταση, κι έχει επιπτώσεις για τους ανθρώπους είτε εντός είτε εκτός της εγκατάστασης, καθώς και για το περιβάλλον. Στο περιστατικό εμπλέκονται μία ή περισσότερες επικίνδυνες ουσίες όπως αναφέρονται στην αντίστοιχη οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΚΥΑ 5607/590)

Τα Βιομηχανικά Ατυχήματα Μεγάλης Έκτασης (BAME) είναι συμβάντα που σχετίζονται με επικίνδυνες ουσίες που αποθηκεύονται, διακινούνται ή/και παράγονται σε μία εγκατάσταση

Τα κύρια χαρακτηριστικά του είναι :

1. Οι επιπτώσεις τους είναι δυνατό να επεκτείνονται κι εκτός του ορίου της εγκατάστασης, επηρεάζοντας και τον πληθυσμό γειτονικών οικισμών.

2. Συνήθως δεν είναι δυνατό να αντιμετωπιστούν μόνο από το προσωπικό της εγκατάστασης, αλλά απαιτούν συντονισμένες ενέργειες του τελευταίου με τις Υπηρεσίες Έκτακτης Επέμβασης (Πυροσβεστική Υπηρεσία, Αστυνομία) για την πλήρη καταστολή τους και την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεών τους (εκκένωση πληθυσμού). (Δρ. Τσολάκης, 2019)

1.3. Παραδείγματα από BAME σε εγκαταστάσεις

Παρακάτω αναγράφονται κάποια παραδείγματα σημαντικών βιομηχανικών ατυχημάτων που έχουν συμβεί στην Ελλάδα. Τα δεδομένα αυτά καλύπτουν περιστατικά με σοβαρές συνέπειες τόσο για τον άνθρωπο όσο και για το περιβάλλον(Γεωργιάδης, 2001).

1.3.1. Περιστατικό στη Jet Oil, 1986(Θεσσαλονίκη)

Το περιστατικό στον πετρελαιοαγωγό της Jet Oil στην περιοχή Καλοχωρίου της Θεσσαλονίκης το 1986 αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά ατυχήματα μεγάλης κλίμακας στην Ελλάδα. Μια φωτιά ξέσπασε στις εγκαταστάσεις του σταθμού, όπου αποθηκεύονταν 65.000 τόνοι μαζούτ και 100 τόνοι νάφθας. Η φωτιά προκλήθηκε από έργα οξυγονοκόλλησης σε αγωγούς μεταφοράς υγρών καυσίμων σε μία από τις δεξαμενές. Το ρίσκο ήταν σημαντικό, καθώς σε κοντινή απόσταση από τις φλεγόμενες εγκαταστάσεις βρισκόταν τερματικός σταθμός των Ελληνικών Πετρελαιοαγωγών, αποθήκη αμμωνίας και άλλες χημικές βιομηχανίες.

Στις προσπάθειες κατάσβεσης συμμετείχαν εκτός από 750 πυροσβέστες από την Ελλάδα, και πυροσβέστες από τη Γιουγκοσλαβία. Σύμφωνα με περιγραφές της πυροσβεστικής, η φωτιά στη δεξαμενή όπου ξεκίνησε το περιστατικό οδήγησε σε έκρηξη και στη συνέχεια στην εξάπλωση της φωτιάς σε άλλες δεξαμενές. Ανάλογα φαινόμενα συνέβησαν και τις επόμενες ημέρες (έκρηξη - επέκταση φωτιάς). Η φωτιά έσβησε μετά από 7 ημέρες, προκαλώντας τεράστιες ζημιές στις εγκαταστάσεις, ενώ σημαντικές ήταν οι επιπτώσεις κυρίως στον αγροτικό τομέα λόγω της διάχυσης τοξικών ρύπων. Έντεκα πυροσβέστες τραυματίστηκαν και άλλοι 13 αντιμετώπισαν αναπνευστικά προβλήματα. Οι επιπτώσεις στο περιβάλλον ήταν ιδιαίτερα σοβαρές, ενώ το συμβάν συνέβαλε στην επιτάχυνση του σχεδιασμού μέτρων για τον περιορισμό και τη διαχείριση του κινδύνου στην Ελλάδα, προκειμένου να αποφευχθούν παρόμοια ατυχήματα στο μέλλον (Γεωργιάδης 2001; Αργυρόπουλος 2006).

1.3.2. Περιστατικό στη Πετρόλα, 1992(Ελευσίνα)

Η εταιρεία Πετρόλα, που συγχωνεύτηκε επίσημα με τη ΕΛΠΕ ΑΕ, το 2009 διαθέτει εγκαταστάσεις για τη διύλιση αργού πετρελαίου, καθώς και για την αποθήκευση και εμπορία πετρελαιοειδών στην περιοχή της Ελευσίνας. Ένα σοβαρό ατύχημα συνέβη εκεί από τη διαρροή μεγάλων ποσοτήτων μείγματος υγραερίων και ελαφριάς νάφθας. Αυτό το μίγμα εξαπλώθηκε γρήγορα σε ευρεία περιοχή στην εγκατάσταση και συνοδεύτηκε από ανάφλεξη και έκρηξη. Οι εργαζόμενοι στα τεχνικά γραφεία της εταιρείας κατάφεραν να διαφύγουν. Ένας εργαζόμενος εντοπίστηκε νεκρός εξαιτίας της φλόγας και από την εκπομπή αερίων υψηλής θερμοκρασίας, 13 εργαζόμενοι υπέστησαν σχεδόν ολοκληρωτικά εγκαύματα και έχασαν τη ζωή τους, ενώ άλλοι 24 εργαζόμενοι υπέστησαν εγκαύματα μικρότερης σοβαρότητας. Αυτό το ατύχημα καταγράφηκε ως το πιο σοβαρό στην ιστορία της Ελλάδας όσον αφορά τον αριθμό των θυμάτων και ένα από τα πιο σοβαρά στην Ε.Ε. μετά την εφαρμογή της οδηγίας Seveso. Το συμβάν προκλήθηκε κατά την επανεκκίνηση μιας μονάδας η οποία είχε σταματήσει τη λειτουργία της για προγραμματισμένες εργασίες συντήρησης. Προέκυψαν ερωτήματα σχετικά με το αν είχε γίνει σωστά η μέτρηση του πάχους σωληνογραμμής κατά τις διαδικασίες

συντήρησης.. Επιπλέον, κρίθηκε ότι η τοποθέτηση των γραφείων πλησίον των εγκαταστάσεων είχαν συμβάλει στην κλιμάκωση των θυμάτων. Ο ξαφνικός θόρυβος από την έκρηξη και ο κρότος της διάρρηξης του σωλήνα προκάλεσε τον πανικό, οδηγώντας τους εργαζόμενους από τους ορόφους προς την έξοδο του κτιρίου, όπου κάποιοι από αυτούς υπέστησαν εγκαύματα από την έκθεση στα υπέρθερμα αέρια (Γεωργιάδης 2001; Αργυρόπουλος 2006).

1.3.2. Περιστατικό στη ΧΥΜΑ Α.Ε, 2006 (Λαύριο)

Στις 26 Ιουλίου 2006, μια ολοκληρωτική πυρκαγιά ξέσπασε στις εγκαταστάσεις της εταιρίας ΧΥΜΑ ΑΕ, η οποία ασχολείται με την αποθήκευση και διανομή χημικών υλικών, στο Λαύριο. Η φωτιά έκαιγε στην εγκατάσταση για πολλές ώρες. Η εταιρεία βρίσκεται κοντά στη θάλασσα, και μέρος του καπνού και των αερίων που παράχθηκαν από την πυρκαγιά κατευθύνθηκαν προς τον κόλπο του Θορικού. Οι πολίτες της περιοχής συμβουλευτήκαν να παραμείνουν εντός των σπιτιών τους με κλειστές τις πόρτες και τα παράθυρα. Η Πυροσβεστική Υπηρεσία Λαυρίου ενεργοποίησε ένα ειδικό σχέδιο αντιμετώπισης για την εγκατάσταση της ΧΥΜΑ ΑΕ, με τη συμβολή πυροσβεστικών δυνάμεων από όλη την Αττική και άλλες πόλεις, καθώς και την ειδική μονάδα αντιμετώπισης καταστροφών (ΕΜΑΚ), εξοπλισμένες με προσωπικό, οχήματα, αφρό και άλλα μέσα. Δημόσιοι φορείς και υπηρεσίες, καθώς και μεγάλες επιχειρήσεις, συνέβαλαν στις προσπάθειες κατάσβεσης της φωτιάς.

Οι πυροσβέστες αντιμετώπισαν την φωτιά στις δεξαμενές με νερό και χρησιμοποιώντας αφρό για την καταστολή της. Επιχειρήθηκε επίσης η χρήση πυροσβεστικών αεροσκαφών, ελικοπτέρων και πλοίων για την ψύξη των φλεγόμενων δεξαμενών. Η Ελληνική Αστυνομία απέκλεισε τους δρόμους που οδηγούσαν προς την εγκατάσταση, ενώ δύο κοντινές εγκαταστάσεις εκκενώθηκαν για προληπτικούς λόγους. Ευτυχώς, δεν αναφέρθηκαν θύματα. Περίπου 2.000 έως 2.400 τόνοι χημικών υλών κάηκαν, με 36 από τις 45 δεξαμενές να καταστρέφονται πλήρως και 4 από τις 9 να υφίστανται μερικές ζημιές. Η εταιρεία ΧΥΜΑ ΑΕ χαρακτηρίζονταν ως εγκατάσταση SEVESO II χαμηλού ορίου. Η Πυροσβεστική Υπηρεσία Λαυρίου συνέταξε μια Έκθεση ΒΑΜΕ για το περιστατικό, και το Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και

Κλιματικής Αλλαγής κατέγραψε το συμβάν επίσης ως ΒΑΜΕ στο Σύστημα Αναφοράς Μεγάλων Ατυχημάτων (MARS) της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Γεωργιάδης 2001; Αργυρόπουλος 2006).

2.Υγρα Καύσιμα και Δεξαμενές Αποθήκευσης

Οι βιομηχανικές δεξαμενές αποθήκευσης υγρών καυσίμων, χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση μιας ευρείας γκάμας υγρών καυσίμων. Αυτές οι δεξαμενές είναι κατασκευασμένες και σχεδιασμένες βάσει διεθνών προτύπων, για την ασφαλή αποθήκευση τόσο οργανικών όσο και μη οργανικών υγρών ουσιών. Διατίθενται σε ποικιλία σχεδίων και μεγεθών, προκειμένου να καλύπτουν τις ανάγκες αποθήκευσης διαφόρων τύπων καυσίμων και βιομηχανικών υγρών. Στο κεφάλαιο αυτό αναλύονται οι ιδιότητες των υγρών καυσίμων που σχετίζονται με αναλύσεις επικινδυνότητας, οι διαφορετικοί τύποι δεξαμενών υγρών καυσίμων, τα κριτήρια αποθήκευσης στους διαφορετικούς τύπους δεξαμενών και τα σημαντικότερα στοιχεία σχεδιασμού δεξαμενών αποθήκευσης υγρών καυσίμων.

2.1.Ιδιότητες και Ταξινόμηση Υγρών Καυσίμων

Τα υγρά καύσιμα έχουν διαφορετικά σημεία ανάφλεξης και διαφορετικές ιδιότητες που σχετίζονται με αναλύσεις επικινδυνότητας (Σημείο Ανάφλεξης, Σημείο Φωτιάς, Όρια Αναφλεξιμότητας και Θερμοκρασία Αυτανάφλεξης). Οι διαφορετικές ιδιότητες του κάθε καυσίμου καθιστούν σαφές ότι τα συστήματα διαχείρισης καυσίμου και τα ζητήματα ασφάλειας πρέπει να προσαρμόζονται σε κάθε καύσιμο ξεχωριστά.

Οι ιδιότητες των υγρών καυσίμων που σχετίζονται με την ασφάλεια παρουσιάζονται παρακάτω:

2.1.1.Σημείο Ανάφλεξης (flash point)

Το σημείο ανάφλεξης (flash point) είναι η χαμηλότερη θερμοκρασία στην οποία, η εφαρμογή μιας μικρής φλόγας, στα αέρια του πετρελαιοειδούς, προκαλεί ανάφλεξη, όταν το αέριο θερμαίνεται σε κανονικές συνθήκες σε κλειστό (ή ανοικτό) δοχείο.

Τα πετρελαιοειδή ταξινομούνται στις ακόλουθες κατηγορίες ανάλογα με το σημείο ανάφλεξης(Πίνακας 1)

| Κατηγορίες | Προϊόντα |
|---------------|-------------------------------------------------------------|
| Κατηγορία 0 | Υγροποιημένα αέρια πετρελαίου |
| Κατηγορία I | Υγρά τα οποία έχουν σημεία ανάφλεξης κάτω από 21 °C |
| Κατηγορία II | Υγρά τα οποία έχουν σημεία ανάφλεξης από 21 °C μέχρι 55 °C |
| Κατηγορία III | Υγρά τα οποία έχουν σημεία ανάφλεξης 55 °C μέχρι και 100 °C |

Πίνακας 1: Ταξινόμηση Πετρελαιοειδών Ανάλογα Με Το Σημείο Ανάφλεξης

Η κατηγορία II και η κατηγορία III μπορεί να υποδιαιρεθούν ανάλογα με τις συνθήκες που διακινούνται τα πετρελαιοειδή στις ακόλουθες υπο- κατηγορίες :

- II(1) και III(1) στην περίπτωση που η θερμοκρασία του διακινουμένου πετρελαιοειδούς είναι μικρότερη από το σημείο ανάφλεξής του.
- II(2) και III(2) στην περίπτωση που η θερμοκρασία του διακινουμένου πετρελαιοειδούς είναι ίση ή μεγαλύτερη από το σημείο ανάφλεξής του.
- Ενδεικτικά σημείο ανάφλεξης > 55 C αποθήκευση σε δεξαμενές σταθερής οροφής (ντίζελ, μαζούτ). Δεξαμενές πλωτής οροφής < 55C (αργό, νάφθα, βενζίνη) (ΦΕΚ 846/B, 31/12/1990).

2.1.2.Σημείο Φωτιάς (Fire Point)

Το σημείο φωτιάς (fire point σύμφωνα με το NFPA-30) είναι η χαμηλότερη θερμοκρασία στην οποία όταν ένα υγρό αναφλεγεί (εξαιτίας έκθεσης σε φλόγα σύμφωνα με το πρότυπο ASTM D92) θα διατηρήσει την καύση ακόμη κι όταν απομακρυνθεί η πηγή ανάφλεξης.

Το σημείο φωτιάς είναι μερικούς βαθμούς υψηλότερο από το σημείο ανάφλεξης. Όταν το ρευστό ξεπεράσει το σημείο φωτιάς τα αέρια η καύση των αερίων που εκλύονται είναι επαρκή για να διατηρήσουν τη φλόγα (Δρ. Τσολάκης,2019).

2.1.3.Όρια Αναφλεξιμότητας

Η ελάχιστη συγκέντρωση ενός εύφλεκτου αερίου στον αέρα που είναι δυνατό να συντηρήσει την καύση ονομάζεται κατώτερο όριο αναφλεξιμότητας/εκρηκτικότητας (Lower Explosive Limit - LEL) του αερίου.

Κάτω από το όριο αυτό το μίγμα αέρα - αερίου είναι πολύ «φτωχό» (lean) για να καεί.

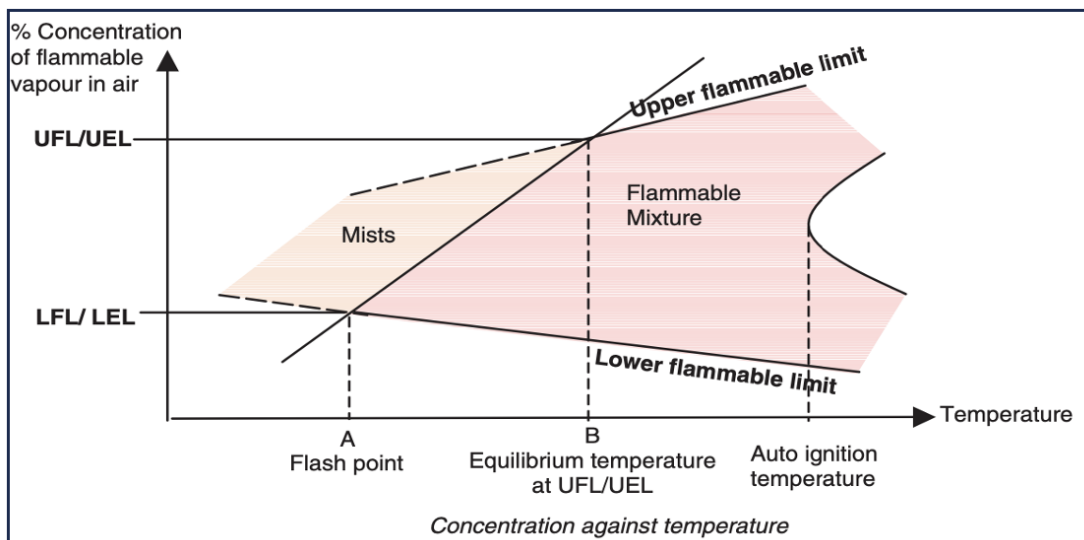
Η μέγιστη συγκέντρωση ενός εύφλεκτου αερίου στον αέρα που είναι δυνατό να συντηρήσει την καύση ονομάζεται ανώτερο όριο αναφλεξιμότητας/εκρηκτικότητας (Upper Explosive Limit UEL) του αερίου.

Πάνω από το όριο αυτό το μίγμα αέρα - αερίου είναι πολύ «πλούσιο» (rich) για να καεί.

Η περιοχή μεταξύ LEL και UEL ονομάζεται εύφλεκτη περιοχή (flammable range) του μίγματος αέρα - αερίου.

Τα όρια αναφλεξιμότητας υπολογίζονται πειραματικά και από μοντέλα που έχουν αναπτυχθεί, για συγκεκριμένη θερμοκρασία και πίεση και οι τιμές τους είναι διαθέσιμες σε πίνακες ως %v/v σε αέρα.

Μεταβάλλονται με τη θερμοκρασία και την πίεση. Η εύφλεκτη περιοχή διευρύνεται με αύξηση της θερμοκρασίας και της πίεσης, με μείωση του κάτω ορίου (LEL) και αύξηση του άνω ορίου (UEL) αναφλεξιμότητας του μίγματος. (ΦΕΚ 846/Β, 31/12/1990).



Διάγραμμα 1: Όρια Αναφλεξιμότητας

Τα όρια αναφλεξιμότητας είναι βασικές παράμετροι που αντανakλούν τον κίνδυνο έκρηξης και επηρεάζονται από τη θερμοκρασία, την πίεση και το αδρανές αέριο. Πολλές βιομηχανικές διεργασίες εκτελούνται σε υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις. Τα περιστατικά που περιλαμβάνουν εκρήξεις καύσιμων είναι συχνά.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι που μπορεί να δημιουργηθεί μια εύφλεκτη ατμόσφαιρα ή έκρηξη σε δεξαμενές αποθήκευσης υγρών καυσίμων και αναλύονται παρακάτω:

1. Η αποδόμηση του μαζούτ κατά τη διάρκεια αποθήκευσης, ιδιαίτερα αυτού που περιέχει υπολείμματα ή ασταθές ιζώδες. Οι αντιδράσεις πυρόλυσης μπορεί να συνεχίζονται στις σωληνώσεις, προκαλώντας την απελευθέρωση αερίου από το διάλυμα στις δεξαμενές αποθήκευσης. Αυτή η διάσπαση μπορεί επίσης να συμβεί σε δεξαμενές που περιέχουν βαριά προϊόντα τα οποία έχουν μολυνθεί με ελαφριά κατάλοιπα.
2. Η δημιουργία μιας εύφλεκτης ατμόσφαιρας πάνω από ένα προϊόν χαμηλής πτητικότητας όπως το μαζούτ ή το πετρέλαιο κίνησης είναι εύκολη μέσω της ανάμιξης με ελαφρύτερο προϊόν ή υπερθέρμανσης του

περιεχομένου. Για παράδειγμα, ένα μείγμα 3% βενζίνης με πετρέλαιο μπορεί να μειώσει το σημείο ανάφλεξης από 70°C στους 10°C. Ένα βαρύ λάδι που έχει μολυνθεί με αυτόν τον τρόπο μπορεί να παράγει αρκετό ατμό ώστε να δημιουργήσει μια εύφλεκτη ατμόσφαιρα. Μια τέτοια μόλυνση μπορεί να συμβεί μέσω της χρήσης κοινών σωληνώσεων για καύσιμα διαφορετικής πτητικότητας.

3. Ανάμιξη μη συμβατών αποβλήτων, όπως η άντληση ενός οξειδωτικού ορυκτού οξέος σε δεξαμενή που περιέχει υδρογονάνθρακες ή η ανάμιξη θειικού οξέος με χλωριούχο σίδηρο.
4. Ελλιπής διαχωρισμός συστημάτων ελαφρών και βαρέων υδρογονανθράκων.
5. Δεξαμενές θέρμανσης που περιέχουν ελαφριάς πυκνότητας υδρογονάνθρακες.
6. Υπέρβαση των μέγιστων θερμοκρασιών θέρμανσης.
7. Πλήρωση δεξαμενής με ισχυρή ροή που προκαλεί ανάμιξη και δημιουργία ομίχλης, η οποία μπορεί να προκαλέσει ανάφλεξη λόγω στατικού ηλεκτρισμού.
8. Η ανάμιξη ασύμβατων χημικών υλικών, όπως η προσθήκη οξειδωτικού ορυκτού οξέος σε δεξαμενή που περιέχει υδρογονάνθρακες ή η μίξη θειικού οξέος με χλωριούχο σίδηρο, μπορεί επίσης να αποτελέσει αιτία δημιουργίας εύφλεκτων ατμοσφαιρών ή εκρήξεων.

2.1.4.Θερμοκρασία Αυτανάφλεξης

Θερμοκρασία αυτανάφλεξης (Autolgnition Temperature - Spontaneous Ignition Temperature) είναι η χαμηλότερη θερμοκρασίας που απαιτείται για να

προκληθεί ανάφλεξη και διατήρηση της καύσης μίας ουσίας χωρίς η έναυση να προκληθεί από σπινθήρα ή γυμνή φλόγα.

Για την πλειονότητα των υδρογονανθράκων είναι της τάξης των 200-500 C. Είναι υψηλότερη από το σημείο ανάφλεξης.

Η τιμή AIT μιας ουσίας σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία στην οποία διακινείται ή αποθηκεύεται θα καθορίσει αν μία διαρροή της ουσίας θα αναφλεγεί άμεσα ή όχι. Επίσης καθορίζει αν μία διαρροή ουσίας που είναι σε θερμοκρασία μικρότερη από αυτή της AIT θα αναφλεγεί όταν έρθει σε επαφή με θερμή επιφάνεια που η θερμοκρασία της είναι άνω της AIT (ανάφλεξη εξαιτίας επαφής με θερμή επιφάνεια). Υγρά που έρχονται σε επαφή με θερμές επιφάνειας θερμοκρασία > AIT είναι περισσότερο πιθανό να αναφλεγούν. Για την ανάφλεξη των αερίων εκτός της θερμοκρασίας και ο χρόνος επαφής με τη θερμή επιφάνεια. Στον παρακάτω πίνακα 2 παρουσιάζονται τα σημεία ανάφλεξης, σημεία φωτιάς, όρια αναφλεξιμότητας και θερμοκρασία αυτανάφλεξης για υγρά καύσιμα (κηροζίνη, βενζίνη και Diesel). (API 620, 2002), (BP Process Safety Series, 2008)

| Καύσιμο | Σημείο Ανάφλεξης (flash point) | Σημείο φωτιάς (fire point) | Θερμοκρασία αυτανάφλεξης | LFL | UFL |
|----------|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-----|-----|
| Diesel | 52 °C | 63 °C | 256 °C | 1,1 | 7 |
| Kerosene | 60 °C | 53 °C | 210 °C | 0,7 | 5 |
| Gas oil | -43 °C | 54 °C | 280 °C | 1,4 | 7,6 |

Πίνακας 2: Ιδιότητες Επικινδυνότητας Υγρών Καυσίμων

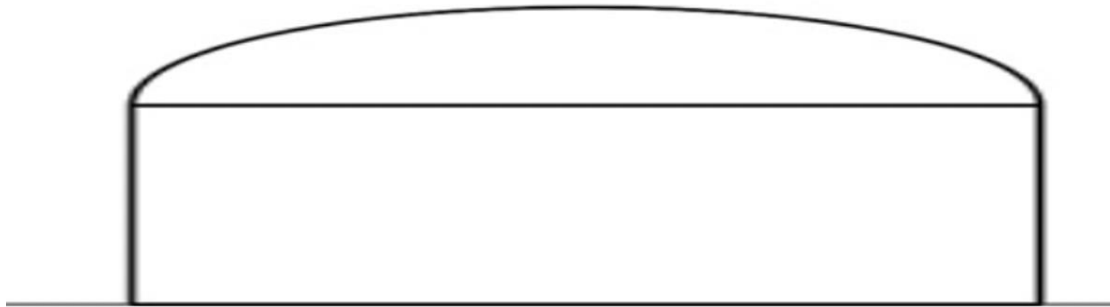
2.2. Τύποι Δεξαμενών και χαρακτηριστικά τους

Υπάρχουν τρεις κύριοι τύποι δεξαμενών (ατμοσφαιρικής πίεσης) αποθήκευσης υγρών καυσίμων (C.D. Argyropoulos, M.N. Christolis, Z. Nivolianitou, N.C. Markatos, 2011)

- Δεξαμενές σταθερής οροφής.
- Δεξαμενές πλωτής οροφής.
- Δεξαμενές σταθερές οροφής με εσωτερική πλωτή οροφή

2.2.1. Δεξαμενές Σταθερής Οροφής

Οι δεξαμενές σταθερής οροφής (Σχήμα 1) είναι κυλινδρικές και χαλύβδινες με μόνιμα στερεωμένη οροφή. Στον τομέα της βιομηχανίας πετρελαίου, αυτές οι δεξαμενές συνήθως παρουσιάζουν κωνικό σχήμα, αν και μπορεί να είναι και επίπεδες ή καμπυλωτές .



Σχήμα 1: Δεξαμενή Σταθερής Οροφής (Κωνική Στέγη)

Ανάμεσα στην επιφάνεια του υγρού καυσίμου και την κάτω πλευρά της οροφής, υπάρχει χώρος ατμού. Στις μεγαλύτερες δεξαμενές, με διάμετρο πάνω από 10 μέτρα και ύψος 11 μέτρα, η οροφή κατασκευάζεται με μια εύκαμπτη σύνδεση και κέλυφος για να αντισταθμίσει τυχόν υπερβολική πίεση, προκειμένου να αντιμετωπίσει υπερπίεση, όπως από εσωτερική έκρηξη.

Αυτός ο τύπος δεξαμενής χρησιμοποιείται κυρίως για αποθήκευση καυσίμων όπως ντήζελ, κηροζίνης, ασφάλτου (πίσσα) και υπολειμμάτων κενού. Για τα βαρύτερα προϊόντα, η χρήση μόνωσης, θερμού ατμού σε αυτού του τύπου δεξαμενών είναι απαραίτητη για τη διατήρηση του περιεχομένου της σε υγρή κατάσταση.

2.2.2. Δεξαμενές Πλωτής Οροφής

Δεξαμενή πλωτής οροφής (Σχήμα 2), με μονή ή διπλή οροφή, κατασκευάζεται σύμφωνα με τις διεθνείς προδιαγραφές του API. Έχουν κυλινδρικό σχήμα και είναι παρόμοιες με τις δεξαμενές κωνικής οροφής. Ωστόσο, διακρίνονται λόγω της πλωτής οροφής τους, η οποία κινείται ανοδικά και καθοδικά ανάλογα με τις μεταβολές του επιπέδου του αποθηκευμένου καυσίμου, αποτρέποντας την εκπομπή μεγάλων ποσοτήτων καυσίμου στην ατμόσφαιρα.

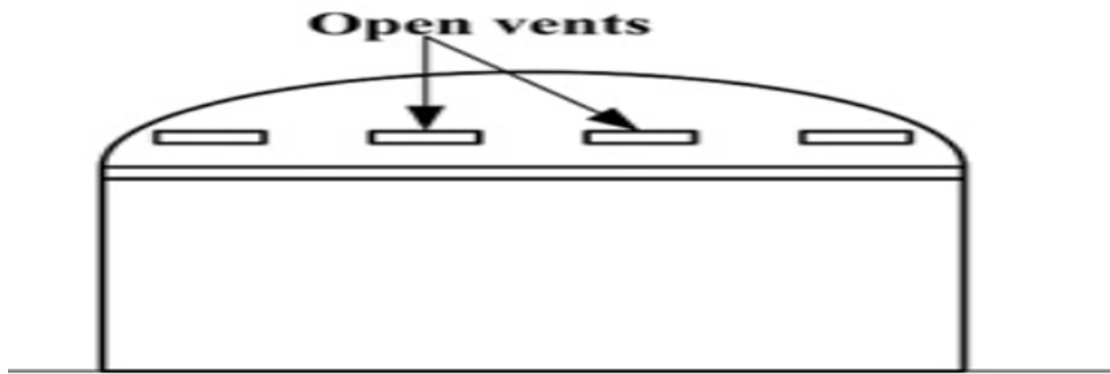


Σχήμα 2 : Δεξαμενή Πλωτής Οροφής

Διαθέτουν επίσης ένα σύστημα στεγανοποίησης που συνδέει την πλωτή οροφή με το σώμα της δεξαμενής, τοποθεσία όπου υπάρχει αυξημένη πιθανότητα εκδήλωσης πυρκαγιάς. Αυτές οι δεξαμενές αποθηκεύουν εύφλεκτους υδρογονάνθρακες με υψηλή πτητικότητα, όπως αργό πετρέλαιο και τα λεγόμενα «λευκά» προϊόντα (π.χ., νάφθα και βενζίνη). (C.D. Argyropoulos, M.N. Christolis, Z. Nivolianitou, N.C. Markatos, 2011)

2.2.3. Δεξαμενές Σταθερής Οροφής Με Εσωτερική Πλωτή Οροφή

Η Δεξαμενή με σταθερή οροφή και ενσωματωμένη πλωτή εσωτερική οροφή αποτελεί έναν ενδιαφέροντα υβριδικό τύπο αποθήκευσης, συνδυάζοντας στοιχεία και από τις κωνικές οροφές και από τις ανοιχτές πλωτές δεξαμενές, όπως απεικονίζεται στην Σχήμα 3.



Σχήμα 3: Δεξαμενή Σταθερής Οροφής Με Εσωτερική Πλωτή Οροφή

Η κατασκευή της περιλαμβάνει μία κωνική οροφή, στην οποία προστίθεται μια εσωτερική πλωτή οροφή ή λεκάνη που επιπλέει κατευθείαν πάνω από την επιφάνεια του καυσίμου. Η δεξαμενή εξοπλίζεται με εσωτερικούς πλωτήρες που βοηθούν στη μείωση του κινδύνου ανάφλεξης και συμβάλλουν στην πρόληψη πυρκαγιών .

Αυτή η μορφή δεξαμενής είναι κατάλληλη για την αποθήκευση εύφλεκτων υδρογονανθράκων με υψηλή πτητικότητα, όπως αργό πετρέλαιο και τα λεγόμενα "λευκά" προϊόντα (νάφθα), προσφέροντας παράλληλα προστασία από την εξάπλωση τυχόν διαρροών αερίων στο περιβάλλον, ελαχιστοποιώντας την πιθανότητα ανάφλεξης (C.D. Argyropoulos, M.N. Christolis, Z. Nivolianitou, N.C. Markatos, 2011).

2.3.Κριτήρια Αποθήκευσης Σε Διαφορετικά Είδη Δεξαμενών

Η επιλογή του κατάλληλου τύπου δεξαμενής αποθήκευσης για ένα συγκεκριμένο προϊόν εξαρτάται κυρίως από τις απαιτήσεις ασφάλειας και περιβαλλοντικής προστασίας, καθώς και από την αναγκαιότητα οικονομικής λειτουργίας της δεξαμενής (μείωση των απωλειών λόγω εξάτμισης).

Ο βασικός παράγοντας που καθορίζει τον τύπο της δεξαμενής είναι συνήθως η πραγματική τάση των ατμών του υγρού.

Διακρίνοντας την πίεση ατμών Reid (RVP) από την πραγματική πίεση ατμών (TVP):

Η RVP μετριέται σε θερμοκρασία 37,8 C (100 F) με την παρουσία αέρα, χρησιμοποιώντας συγκεκριμένες εργαστηριακές τεχνικές.

Η TVP αντιπροσωπεύει την πίεση, μετρημένη σε απόλυτες μονάδες, κατά την οποία ο ατμός είναι σε ισορροπία με το υγρό του σε σταθερή θερμοκρασία.

Η RVP διαφέρει από την TVP κυρίως επειδή η πρώτη μετράτε με την παρουσία αέρα ενώ η δεύτερη μετράτε σε κενό. Η μέθοδος Reid αντικατοπτρίζει τις συνθήκες αποθήκευσης και χειρισμού των πετρελαϊκών προϊόντων σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα. Το RVP είναι συνήθως περίπου 6% χαμηλότερο από το TVP στη θερμοκρασία 37,8 C (100 F).

Ενώ το RVP μετράτε σε μία συγκεκριμένη θερμοκρασία, το TVP μπορεί να καθοριστεί για διάφορες θερμοκρασίες, παρέχοντας ένα ευρύτερο φάσμα δεδομένων για την αξιολόγηση της πτητικότητας ενός προϊόντος. Η μέθοδος Reid είναι ευρέως διαδεδομένη για την μέτρηση της πίεσης ατμών των πετρελαϊκών προϊόντων, προσφέροντας μια ενδεικτική μέτρηση για την τάση ενός υγρού να εξατμίζεται.

Στον παρακάτω πίνακα 3 παρουσιάζονται τα κριτήρια αποθήκευσης σε διαφορετικά είδη δεξαμενών ανάλογα με την πραγματική πίεση ατμών (TVP) και το σημείο ανάφλεξης (FP) των καυσίμων.

| Παράμετροι | Κριτήρια | Τυπος Δεξαμενής | Παρατηρήσεις |
|---------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Αληθινή πίεση ατμών (TVP) | $TVP < 0,10$ bar | Κωνική δεξαμενή σταθερής οροφής | οι δεξαμενές με σταθερή οροφή επιλέγονται για την αποθήκευση υγρών καυσίμων που δεν εξατμίζονται εύκολα υπό κανονικές περιβαλλοντικές συνθήκες ή την θερμοκρασία αποθήκευσης. |
| | $0,10 \leq TVP \leq 0,77$ bar | Δεξαμενή πλωτής οροφής | Σύμφωνα με πρότυπο API |
| | $TVP > 0,77$ bar | Δεξαμενή αποθήκευσης χαμηλής πίεσης ή δοχείο πίεσης | Λόγω της υψηλής πτητικότητας του προϊόντος, η χρήση δεξαμενής με πλωτή οροφή δεν είναι κατάλληλη, καθώς υπάρχει κίνδυνος κατάρρευσης της οροφής από την αστάθεια που μπορεί να προκληθεί. Οι εκπομπές των δεξαμενών πρέπει να ανακτώνται για ανακύκλωση ή κάυση. |
| | $FP > 55^\circ C$ | Κωνική δεξαμενή σταθερής οροφής | Για πετρέλαια εσωτερικής καύσης, πετρέλαια ντίζελ και μαζούτ. |

| | | | |
|-----------------------|----------------|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Σημείο ανάφλεξης (FP) | Low FP, <55 °C | Δεξαμενή πλωτής οροφής | Υγρά καύσιμα όπως η βενζίνη, το αργό πετρέλαιο και η νάφθα που μπορούν να σχηματίσουν εύφλεκτο μείγμα σε συνηθισμένες εξωτερικές θερμοκρασίες, συνήθως φυλάσσονται σε δεξαμενές με πλωτή οροφή. Ωστόσο, αν ο χώρος ατμού στη δεξαμενή κρατηθεί αδρανής με ένα στρώμα αζώτου και προστατεύεται από κατάλληλες βαλβίδες για την αποφυγή υπερπίεσης ή κενού, τότε η αποθήκευση μπορεί να γίνει με ασφάλεια. |
|-----------------------|----------------|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Πίνακας 3: Κριτήρια Αποθήκευσης Σε Διαφορετικά Είδη Δεξαμενών

Επομένως, η επιλογή μιας δεξαμενής για την αποθήκευση ενός συγκεκριμένου προϊόντος πρέπει να βασίζεται σε μια λεπτομερή ανάλυση των χαρακτηριστικών του προϊόντος, όπως η τάση ατμών, καθώς και στις συνολικές απαιτήσεις για ασφάλεια, οικονομική αποδοτικότητα και περιβαλλοντική προστασία.

2.4. Στοιχεία Σχεδιασμού Και Αντοχή Δεξαμενών Αποθήκευσης Υγρών Καυσίμων

Οι δεξαμενές με σταθερή οροφή αντιμετωπίζουν ζητήματα ανθεκτικότητας σε σχέση με την εσωτερική και την εξωτερική πίεση, λόγω της μειωμένης τους αντοχής. Αντιστοίχως, οι δεξαμενές με πλωτή οροφή διατρέχουν κίνδυνο βύθισης από την απώλεια άνωσης που προκαλείται από τη διαρροή του πλωτήρα ή από την υπερβολική συγκέντρωση νερού.

Στη διαδικασία σχεδιασμού των μεγάλων δεξαμενών αποθήκευσης υγρών καυσίμων, θα πρέπει να εξετάζονται τα παρακάτω είδη φορτίων:

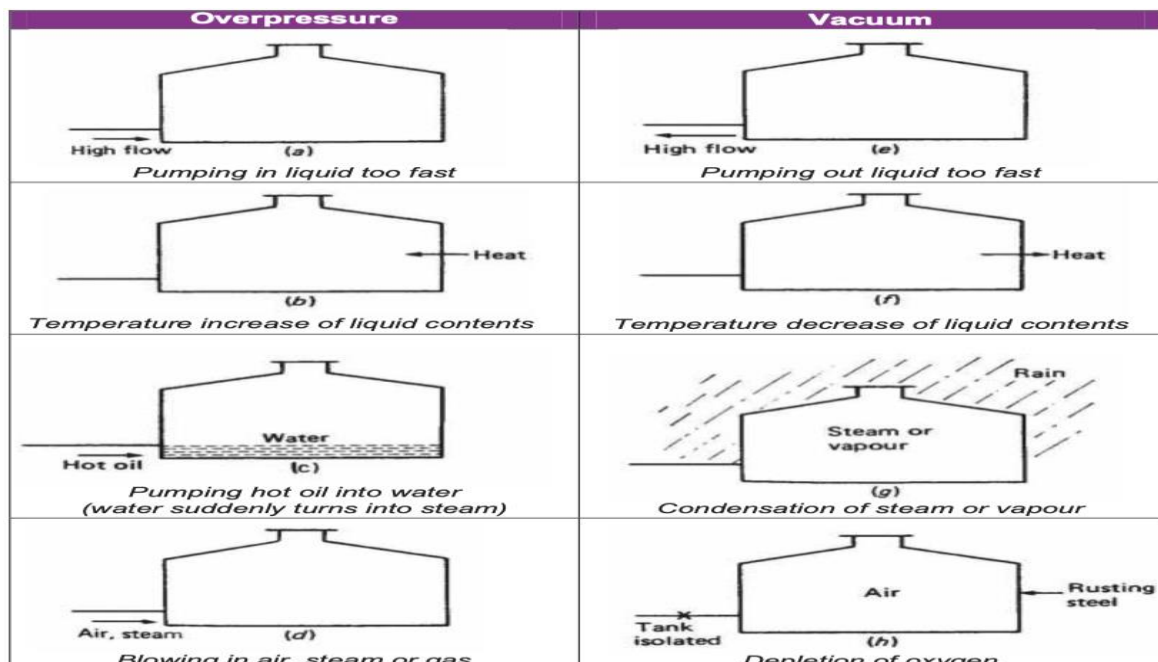
- Η εσωτερική πίεση, καθώς και κάθε πιθανή αρνητική πίεση που ενδέχεται να δημιουργηθεί κατά την εκτέλεση των λειτουργιών.
- Το συνολικό βάρος της δεξαμενής και τα καύσιμα που αποθηκεύονται εντός αυτής, από τη στιγμή που είναι άδεια έως τη στιγμή που είναι γεμάτη.
- Το σύστημα υποστήριξης, τόσο σε τοπικό όσο και σε γενικό επίπεδο, συμπεριλαμβανομένων των προβλέψεων για τη δομή υποστήριξης με βάση τις συνθήκες του εδάφους (δείτε τα Παραρτήματα Γ και Δ).

- Φορτία που προκαλούνται από εξωτερικές δομές, όπως πλατφόρμες και στηρίγματα για σκάλες, και σε περιπτώσεις ακραίων κλιματικών συνθηκών, το βάρος του χιονιού.
- Φορτία που οφείλονται στον άνεμο ή, εφόσον απαιτείται, σεισμικά φορτία.
- Φορτία που προέρχονται από τις συνδέσεις των σωληνώσεων.
- Το βάρος της μόνωσης και των επενδύσεων.

Για την κατασκευή των δεξαμενών χρησιμοποιούνται διεθνή πρότυπα (API 620, 2002).

2.4.1.Υπερπίεση και Κενό Δεξαμενής

Λειτουργίες και καταστάσεις που μπορεί να οδηγήσουν σε υπερπίεση ή κενό σε μια ατμοσφαιρική δεξαμενή αποθήκευσης απεικονίζονται στο ακόλουθο Σχήμα 4 (BP Process Safety Series,2008).



Σχήμα 4: Υπερπίεση και Κενό Δεξαμενής

Η υπερπίεση ή δημιουργία κενού μπορεί να προκαλέσει ρήξη σε δεξαμενές αποθήκευσης καυσίμων σταθερής οροφής. Κατά κανόνα, η ραφή μεταξύ κελύφους και οροφής, η οποία συνδέεται με συγκόλληση, πρέπει να υποχωρήσει πρώτη -αυτός ο τύπος συγκόλλησης αποκαλείται «εύθραυστος». Στις δεξαμενές με ύψος κάτω από 15 μέτρα, η οροφή ενδέχεται να μην υποχωρεί εύκολα, επιτρέποντας στο υγρό να εκρεύσει κατά τη διάρκεια υπερπίεσης, αποσπώντας το κέλυφος από τη βάση. Σε περίπτωση που η οροφή δεν υποχωρεί εύκολα, είναι σημαντικό να εξασφαλιστεί επαρκής εξαερισμός έκτακτης ανάγκης, ιδιαίτερα για τις μικρότερες δεξαμενές.

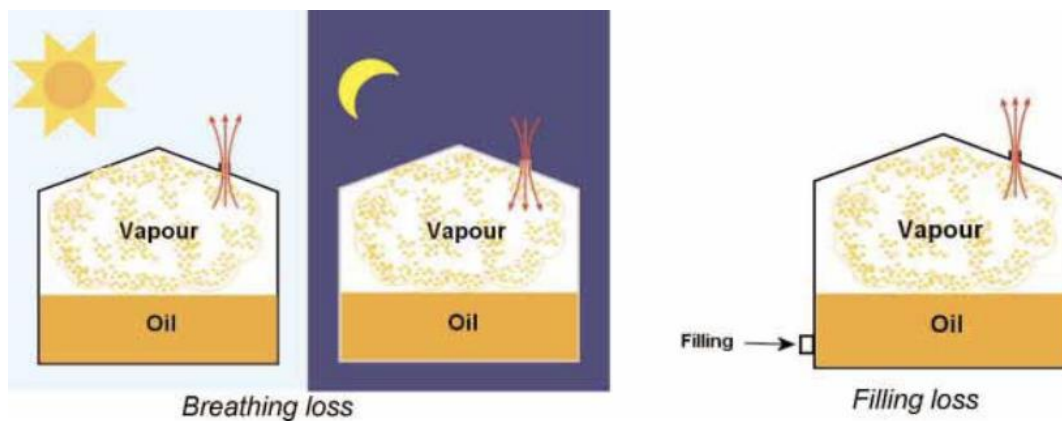
Οι οροφές στις δεξαμενές δεν είναι συνδεδεμένες με την κύρια δομική στήριξη, αλλά ενώνονται μόνο στο άνω τμήμα του τοιχώματος της δεξαμενής. Η λειτουργία της ευάλωτης αρθρώσεως είναι να διευκολύνει την εκτόνωση απροσδόκητα υψηλής υπερπίεσης μέσω της αποτυχίας της λιγότερο ανθεκτικής ενώσεως μεταξύ οροφής και τοιχώματος, αποφεύγοντας έτσι την καταστροφή του τοιχώματος της δεξαμενής ή την αποκόλληση της βάσης, εξασφαλίζοντας την ασφάλεια του αποθηκευμένου περιεχομένου(Σχήμα 5).



Σχήμα 5: Λειτουργία Ευάλωτης Αρθρώσεως Δεξαμενής

Οι σταθερής οροφής δεξαμενές διαθέτουν συστήματα βαλβίδων εξισορρόπησης πίεσης (PVV) ή αεραγωγούς που ρυθμίζουν την είσοδο και την έξοδο αέρα για τη διατήρηση μιας ομαλής πίεσης εντός της δεξαμενής(Σχήμα

6). Αυτοί οι αεραγωγοί παρέχουν δυνατότητα διαχείρισης των πιθανών απωλειών λόγω αναπνοής της δεξαμενής και της πλήρωσης της, που μπορεί να προκαλέσουν υπερπίεση ή δημιουργία κενού σε σταθερές δεξαμενές με χώρο ατμού πάνω από το αποθηκευμένο υγρό (API 620, 2002).



Σχήμα 6: Συστήματα Βαλβίδων Εξισορρόπησης Πίεσης Δεξαμενών (PVV)

2.5. Θέση δεξαμενών που σχετίζεται με την εκτίμηση επικινδυνότητας

Η επιλογή τοποθεσίας για τις δεξαμενές αποθήκευσης κρίνεται καίρια για πολλούς λόγους. Η προσέγγιση προς πιθανές πηγές ανάφλεξης, όπως θερμές επιφάνειες ή φούρνοι, μπορεί να αυξήσει τον κίνδυνο έναρξης φωτιάς σε περίπτωση διαρροής από τις δεξαμενές.

Η απόσταση των δεξαμενών από τα σύνορα του χώρου είναι επίσης σημαντική για τον ελαχιστοποιημένο αντίκτυπο μιας πυρκαγιάς, και η κοντινή τοποθέτησή τους μπορεί να αυξήσει τον κίνδυνο επικίνδυνων επιπτώσεων από εξωτερικές αναταραχές. Οι οδηγίες του NFPA-30 προσδιορίζουν συγκεκριμένες ελάχιστες αποστάσεις που πρέπει να τηρούνται, λαμβάνοντας υπόψη το κοινωνικό και περιβαλλοντικό πλαίσιο γύρω από την εγκατάσταση.

Αντίστοιχα ο συγκεκριμένος κώδικας παραθέτει και τις απαιτήσεις για συστήματα πυρόσβεσης που επηρεάζουν πολύ την ικανότητα αντιμετώπισης της πυρκαγιάς αποτελεσματικά.

Η ευκολία πρόσβασης στις δεξαμενές για τον εφοδιασμό με εξοπλισμό και υλικά πυρόσβεσης είναι απαραίτητη. Μερικές εγκαταστάσεις διαθέτουν καλή χωροταξία για την πρόσβαση εξοπλισμού ακόμη και σε περίπτωση πυρκαγιάς. Άλλες προβλέπουν ειδικά ανυψωμένα σημεία πυρόσβεσης τοποθέτησης κοντά στις δεξαμενές ή εξοπλισμό, για την αποτελεσματική και έγκαιρη ανταπόκριση σε περίπτωση εκδήλωσης πυρκαγιάς, διασφαλίζοντας ταυτόχρονα την ασφάλεια του προσωπικού που πρόκειται να επέμβει(ΦΕΚ 846/Β, 31/12/1990).

3. Επικινδυνότητα Εγκαταστάσεων Μεγάλων Δεξαμενών Υγρών Καυσίμων

Για να διασφαλιστεί η ομαλή και ασφαλής λειτουργία των δεξαμενών αποθήκευσης υγρών καυσίμων, η ενσωμάτωση της διαχείρισης ασφάλειας κρίνεται ζωτικής σημασίας. Πιθανοί κίνδυνοι σε μια εγκατάσταση δεξαμενών υγρών καυσίμων μπορεί να προκύψουν από αποτυχίες σε κρίσιμα συστήματα όπως ανιχνευτές διαρροών, συστήματα προστασίας από διάβρωση, αυτόματα συστήματα μέτρησης στάθμης δεξαμενών, αυτόματες βαλβίδες ασφαλείας και δευτερεύουσες μέθοδοι περιορισμού διαρροών (λεκάνες ασφαλείας). Αυτά τα συστήματα διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην και ασφαλή λειτουργία των δεξαμενών. Η κύρια αιτία ατυχημάτων σε δεξαμενές έχει αναγνωριστεί ως οι πυρκαγιές και οι εκρήξεις, που συχνά προκύπτουν από διαρροές και βλάβες στα παραπάνω συστήματα. Αυτά τα ατυχήματα μπορούν να έχουν καταστροφικές συνέπειες στην εγκατάσταση, το περιβάλλον και το οικοσύστημα. Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται ανάλυση των κανόνων και κανονισμών που διέπουν τις λειτουργίες και την ασφάλεια των δεξαμενών αποθήκευσης υγρών καυσίμων καθώς επίσης, γίνεται και περιγραφή της νομοθεσίας βιομηχανικών ατυχημάτων μεγάλης έκτασης (SEVESO I, II, III)

3.1. Νομοθεσία Βιομηχανικών Ατυχημάτων Μεγάλης Έκτασης

Η αυξανόμενη βιομηχανική δραστηριότητα, μαζί με την μεταφορά, αποθήκευση, και χρήση εύφλεκτων καυσίμων, μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρά ατυχήματα.. Επιπλέον, η προοδευτική εγκατάσταση των επικίνδυνων εγκαταστάσεων προς κατοικημένες και περιβαλλοντικά ευαίσθητες περιοχές, λόγω έλλειψης χώρου, εντείνει τις καταστροφικές συνέπειες ενός τέτοιου γεγονότος.

Έτσι, επιβάλλεται η ανάγκη για λήψη προληπτικών, κατασταλτικών και μέτρων αποκατάστασης για την αντιμετώπιση καταστροφικών συμβάντων, ξεκινώντας από την πρώτη φάση σχεδιασμού παραγωγής ενός προϊόντος. Στη

συνέχεια είναι κρίσιμη η επιλογή τοποθεσίας και ο λεπτομερής σχεδιασμός και η κατασκευή της εγκατάστασης, βασιζόμενα σε διεθνή πρότυπα σχεδιασμού και κατασκευής.

Από τη δεκαετία του '70, οι κύριες βιομηχανίες στη Δυτική Ευρώπη και στις ΗΠΑ έχουν αναπτύξει ολοκληρωμένα σχέδια για την πρόληψη και την αντιμετώπιση BAME.

Το 1982, η τότε Ευρωπαϊκή Οικονομική Κοινότητα (ΕΟΚ) εκδίδει μια οδηγία για την πρόληψη των κινδύνων σοβαρών ατυχημάτων σε βιομηχανικές δραστηριότητες, γνωστή ως Οδηγία SEVESO, ονομασία που προήλθε από το ατύχημα που συνέβη στην ομώνυμη ιταλική πόλη το 1976. Αυτή η οδηγία θέσπισε τα πρότυπα για την ασφαλή διαχείριση χημικών ουσιών και την προστασία του περιβάλλοντος και της δημόσιας υγείας από τις επιπτώσεις των βιομηχανικών ατυχημάτων. Ακολούθησαν δυο τροποποιήσεις της οδηγίας SEVESO (Οδηγία 87/216/Ε.Ο.Κ. και 88/610/Ε.Ο.Κ.) και περιγράφονται παρακάτω.

3.1.1. Seveso I

Η αρχική νομοθετική πρωτοβουλία για την αντιμετώπιση των ατυχημάτων σε βιομηχανικές μονάδες ήταν η Οδηγία 67/548/ΕΟΚ του 1967, η οποία ασχολούνταν αποκλειστικά με τις επικίνδυνες χημικές ουσίες. Ωστόσο, το δυστύχημα που έλαβε χώρα στη Σεβέζο της Ιταλίας το 1976, σε συνδυασμό με την πολυπλοκότητα των νέων βιομηχανικών εγκαταστάσεων και την εκτεταμένη ανάπτυξη κατοικιών στην περιοχή τους, οδήγησε στη δημιουργία ενός ενιαίου νομοθετικού πλαισίου. Αυτό το πλαίσιο έθεσε τις βάσεις για την ανταλλαγή πληροφοριών ανάμεσα σε βιομηχανικές μονάδες που χειρίζονται ή επεξεργάζονται επικίνδυνες ουσίες και για την εφαρμογή μέτρων ελέγχου και πρόληψης από τις αρμόδιες εθνικές αρχές. Αυτές οι διαδικασίες και πολιτικές συγκεντρώθηκαν στην Οδηγία 82/501/ΕΟΚ, γνωστή ως Seveso I, η οποία περιλαμβάνει επίσης τον πρώτο ορισμό βιομηχανικών δραστηριοτήτων που δύναται να προκαλέσουν σοβαρά ατυχήματα. Ο βασικός στόχος της Οδηγίας είναι να μειώσει την πιθανότητα εκδήλωσης και τις επιπτώσεις αυτών των

ατυχημάτων στον άνθρωπο και το περιβάλλον. Η ενσωμάτωσή της στην εθνική νομοθεσία των κρατών μελών και η εφαρμογή της από τους αρμόδιους εθνικούς φορείς αποτελεί τη βάση για μια πιο ομαλή εφαρμογή της στα διάφορα κράτη μέλη. Μέσα από αυτή τη διαδικασία, εξασφαλίζεται ότι οι βιομηχανικές μονάδες που χειρίζονται επικίνδυνες χημικές ουσίες λαμβάνουν τα κατάλληλα μέτρα για την πρόληψη ατυχημάτων, ενώ παράλληλα διασφαλίζεται η ετοιμότητα και η ικανότητα ανταπόκρισης σε περίπτωση εκδήλωσής τους. Αυτή η προσέγγιση όχι μόνο αυξάνει την ασφάλεια των εργαζομένων και του περιβάλλοντος αλλά και βελτιώνει τη διαφάνεια και την επικοινωνία μεταξύ βιομηχανικών μονάδων και των κοινοτήτων στις οποίες δραστηριοποιούνται.

3.1.2. Seveso II

Η Οδηγία 96/82/Ε.Κ., επίσης γνωστή ως Seveso II, εγκρίθηκε το 1996 και υπέστη τροποποιήσεις τον Δεκέμβριο του 2003 μέσω της Οδηγίας 2003/105/Ε.Κ. Η ανάγκη για αυτή την επικαιροποίηση έγινε μετά από σοβαρά βιομηχανικά περιστατικά, όπως το δυστύχημα στο Bhopal της Ινδίας και το ατύχημα στη Βασιλεία της Ελβετίας. Αυτά τα γεγονότα δημιούργησαν την ανάγκη για περαιτέρω ενίσχυση των μέτρων ασφάλειας που ξεκίνησαν με την πρώτη Οδηγία το 1982 και το 1987. Ως αποτέλεσμα, η Οδηγία (Seveso II) υιοθετήθηκε, εισάγοντας επιπρόσθετες προφυλάξεις και διαδικασίες για την ενημέρωση του κοινού σχετικά με τους κινδύνους που περιβάλλουν τις βιομηχανικές μονάδες, καθώς και τρόπους για τη μείωση ή αποφυγή των συνεπειών από πιθανά ατυχήματα. Επιπλέον, ενίσχυσε τις προσπάθειες για τον περιορισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τέτοια ατυχήματα. Η "οδηγία Seveso II" διεύρυνε το πεδίο εφαρμογής της για να περιλαμβάνει κατευθυντήριες γραμμές για την αποθήκευση επικίνδυνων ουσιών, ενισχύοντας έτσι την προστασία και την ασφάλεια.

3.1.3. Seveso III

Από το 1996 έως το 2012, η Οδηγία Seveso II υπέστη μερικές τροποποιήσεις, μεταξύ των οποίων και η Οδηγία 2003/105/ΕΚ. Το παράρτημα της οδηγίας επεκτάθηκε για να συμπεριλάβει πετρελαιοειδή, εκρηκτικά και άλλες ουσίες που κρίνονται επικίνδυνες για το περιβάλλον. Η επανειλημμένη εμφάνιση μικρών και μεγάλων ατυχημάτων υποδείκνυε την ανάγκη για επιπλέον μέτρα ασφαλείας, οδηγώντας στην έκδοση της Οδηγίας Seveso III λίγα χρόνια αργότερα. Σημαντικά ατυχήματα στην Τουλούζη της Γαλλίας και στο Enschede των Κάτω Χωρών (Jason K. Levy, 2017) έπαιξαν βασικό ρόλο στη διαμόρφωση της, με πρωταρχική αλλαγή το δικαίωμα πρόσβασης των πολιτών σε πληροφορίες για βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Επιπλέον, περιλήφθηκαν νέες χημικές ταξινομήσεις, και η οδηγία αποσκοπούσε σε ομαλή ενσωμάτωση και εφαρμογή στις εθνικές νομοθεσίες των κρατών μελών της ΕΕ. Η Οδηγία Seveso III, ψηφισμένη στις 4 Ιουλίου 2012 με την οδηγία 2012/18/ΕΕ, αντικατέστησε την προηγούμενη οδηγία Seveso II, θέτοντας ως στόχο την προστασία της ανθρώπινης υγείας, του περιβάλλοντος και της οικονομικής ανάπτυξης από τις συνέπειες βιομηχανικών ατυχημάτων. Επιδιώκει την πρόληψη τέτοιων συμβάντων μέσω μέτρων ασφαλείας και έχει εφαρμοστεί σε πάνω από 10.000 εγκαταστάσεις στην Ευρωπαϊκή Ένωση, με το ποσοστό σοβαρών βιομηχανικών ατυχημάτων να είναι εξαιρετικά χαμηλό. Η προσέγγιση και η εφαρμογή της οδηγίας διαφέρουν ανάλογα με το νομοθετικό και διοικητικό πλαίσιο κάθε κράτους μέλους, χωρίς ωστόσο να είναι δεσμευτική. Τα κράτη μέλη, ωστόσο, έχουν δεσμευτεί να την εφαρμόσουν εντός ενός συγκεκριμένου χρονικού πλαισίου, στοχεύοντας έτσι στην εκπλήρωση του σκοπού της προστασίας της υγείας, του περιβάλλοντος και της αειφόρου ανάπτυξης.

Σημαντικό μέρος της Οδηγίας Seveso III είναι η νέα χημική ταξινόμηση και επισήμανση. Αυτό περιλαμβάνει ειδικές ετικέτες και συσκευασίες για χημικές ουσίες, σύμφωνα με τα πρότυπα και τους κανονισμούς για την ταξινόμηση και επισήμανση συναφών ουσιών. Οι επισημάνσεις αυτών των χημικών βασίζονται στο "Παγκόσμιο Εναρμονισμένο Σύστημα Ταξινόμησης και Επισήμανσης Χημικών (GHS)" της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, εξασφαλίζοντας έτσι τη συνεπή και αποτελεσματική ενημέρωση σχετικά με τους κινδύνους των χημικών ουσιών. Αυτή η προσέγγιση διευκολύνει την πρόληψη ατυχημάτων και βελτιώνει την ικανότητα αντίδρασης σε περίπτωση εκδήλωσης κινδύνου,

συμβάλλοντας έτσι στην ενίσχυση της ασφάλειας τόσο των εργαζομένων όσο και του ευρύτερου περιβάλλοντος. Η ομοιομορφία στην ταξινόμηση και επισήμανση βοηθά επίσης στην καλύτερη κατανόηση και διαχείριση των χημικών ουσιών σε διεθνές επίπεδο, καθιστώντας τις πληροφορίες πιο προσβάσιμες και εύκολες στην ερμηνεία από διάφορους φορείς που εμπλέκονται στη χρήση, διακίνηση, και αποθήκευση τέτοιων υλικών.

Καταληκτικά, η Οδηγία Seveso III αντιπροσωπεύει ένα ορόσημο στην εξέλιξη της ευρωπαϊκής νομοθεσίας για τη διαχείριση βιομηχανικών κινδύνων, με έμφαση στην προστασία της δημόσιας υγείας και του περιβάλλοντος. Η συνεχής ανάγκη για βελτίωση των μέτρων ασφαλείας και η ενσωμάτωση των τελευταίων επιστημονικών γνώσεων και τεχνολογικών εξελίξεων στην πράξη είναι κρίσιμη για την αποτροπή μελλοντικών ατυχημάτων και για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας της κοινωνίας σε τέτοια γεγονότα. Η αυξανόμενη ενημέρωση και συμμετοχή του κοινού, καθώς και η διαφάνεια στη διαχείριση των βιομηχανικών κινδύνων, αποτελούν βασικά στοιχεία για την καλλιέργεια ενός ασφαλέστερου και πιο βιώσιμου περιβάλλοντος για τις μελλοντικές γενιές.

3.2.Κανόνες και Κανονισμοί που Διέπουν τις Λειτουργίες και την Ασφάλεια Δεξαμενών Αποθήκευσης Υγρών Καυσίμων

Οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης σε δεξαμενές και οι σχετικές δομές αναπτύσσονται βάσει πιο σύγχρονων βιομηχανικών προτύπων, προκειμένου να διασφαλιστεί η λειτουργικότητα και η ασφάλειά τους. Η εφαρμογή αυτών των προδιαγραφών εγγυάται την ύπαρξη κατάλληλων μηχανισμών αποστράγγισης και συλλογής την επιλογή του σωστού εξοπλισμού προστασίας από υπερπίεση, υπερχειλίση, την ορθή χωροταξική διάταξη και τα κατάλληλα συστήματα ασφαλείας για την αποφυγή ατυχημάτων. Οργανισμοί όπως το API, και NFPA έχουν συνεισφέρει σημαντικά στην ασφάλεια αυτών των δομών με την παροχή καθοδηγητικών γραμμών και προδιαγραφών. Το API παρέχει οδηγίες για τις χαλύβδινες δεξαμενές αποθήκευσης καυσίμων (1988) και για τη σχεδίαση και κατασκευή μεγάλων δεξαμενών χαμηλής πίεσης (1990). Το

NFPA παρέχει κατευθύνσεις για την αποθήκευση και διαχείριση υγρών καυσίμων(1992). Αυτές οι κατευθύνσεις και προδιαγραφές από τους εν λόγω οργανισμούς έχουν καθιερωθεί ως βασικές στην εξασφάλιση της ασφάλειας κατά τη λειτουργία των δεξαμενών αποθήκευσης υγρών καυσίμων και των συναφών εγκαταστάσεων.

Σημαντικά στοιχεία ασφαλείας που ενσωματώνονται στη λειτουργία των δεξαμενών υγρών καυσίμων περιλαμβάνουν:

1. Συστήματα δημιουργίας αδρανούς ατμόσφαιρας για την πρόληψη δημιουργίας εκρηκτικής ατμόσφαιρας.
2. Συστήματα προσθήκης προσθέτων για την αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των υγρών.
3. Συστήματα και διαδικασίες περιορισμού του σχηματισμού στατικού ηλεκτρισμού κατά την πλήρωση με διατήρηση χαμηλών ταχυτήτων ροής.
4. Καλά σχεδιασμένη χωροταξική διάταξη δεξαμενών με αποτελεσματική διαχείριση πιθανών διαρροών,
5. Εγκατάσταση αντλιοστασίων και άλλου εξοπλισμού σε ασφαλείς τοποθεσίες με κατάλληλα μέσα πυρόσβεσης και επαρκείς αποστάσεις μεταξύ των δεξαμενών για την αποφυγή διάδοσης πυρκαγιάς.
6. Κατηγοριοποίηση επικίνδυνων ζωνών εντός των εγκαταστάσεων και σχεδίαση ηλεκτρικού εξοπλισμού σύμφωνα με τις απαιτήσεις κανονισμών νομοθεσίας (ATEX)-προσθήκη αναφοράς. τους κινδύνους έκρηξης.
7. Χρήση δεξαμενών με πλωτή οροφή για τη μείωση του κινδύνου συγκράτησης εκρηκτικών ατμοσφαιρών(API, 2021).

Επιπρόσθετα μέτρα ασφαλείας για τις δεξαμενές αποθήκευσης και το περιβάλλον τους περιλαμβάνουν:

1. Βαλβίδες αναπνοής στις οροφές των δεξαμενών.
2. Αυτόματα συστήματα για την άμεση διακοπή της λειτουργίας σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης.

3. Συστήματα αυτόματης μέτρησης στάθμης με ραντάρ και ενεργοποίησης σε περίπτωση που η στάθμη είναι εκτός των κανονικών επιπέδων λειτουργίας.
4. Μέτρα προστασίας για αποτροπή υπερχειλίσης.
5. Κατάλληλα συστήματα φραγών στις πλωτές οροφές.
6. Εγκαταστάσεις πυρανίχνευσης και ανίχνευσης πυρκαγιάς και αερίων.
7. Συστήματα φόρτωσης με μηχανισμούς αποτροπής υπερχειλίσης.
8. Μόνιμα συστήματα εκτόξευσης αφρού και νερού.
9. Συστήματα καταστολής κουρτινών νερού για διασπορά εύφλεκτων αερίων
10. Φορητός πυροσβεστικός εξοπλισμός ή/και αποθέματα αφρού σε καθορισμένα σημεία.
11. Συσκευές ελέγχου αποστράγγισης για πλωτές οροφές.
12. Λεκάνες συλλογής διαρροών από δεξαμενές Ενσωματωμένα μέτρα προστασίας για αντιμετώπιση της υπερπίεσης λόγω θερμικής διαστολής των περιεχομένων των σωληνογραμμών.

4. Στατιστικά Στοιχεία Για Περιστατικά Δεξαμενών

Διεθνώς, τα συμβάντα ατυχημάτων που έχουν καταγραφεί προσφέρουν τη δυνατότητα ανάλυσης με την οποία μπορεί να προσδιοριστούν οι αιτίες των περιστατικών και να εξεταστούν οι τεχνικές και τα μέτρα ασφαλείας που μπορούν να βελτιωθούν εφαρμογή σε διάφορες περιοχές. Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθενται στοιχεία από την έρευνα των James I. Chang, Cheng-Chung Lin, 2005 που περιλαμβάνονται στις από διαλέξεις του μαθήματος ασφάλεια και ανάλυση κινδύνου σε μονάδες υδρογονανθράκων (Δρ. Τσολάκη, 2019) για εγκαταστάσεις αποθήκευσης καυσίμων, για την περίοδο από 1960 έως 2003. Παρουσιάζεται μία στατιστική ανάλυση περιστατικών και των αιτιών σε εγκαταστάσεις δεξαμενών καυσίμων. Επιπλέον αναλύονται οι επιπτώσεις των περιστατικών και η ειδική περίπτωση περιστατικών αναβρασμού (boilover) σε δεξαμενές υγρών καυσίμων.

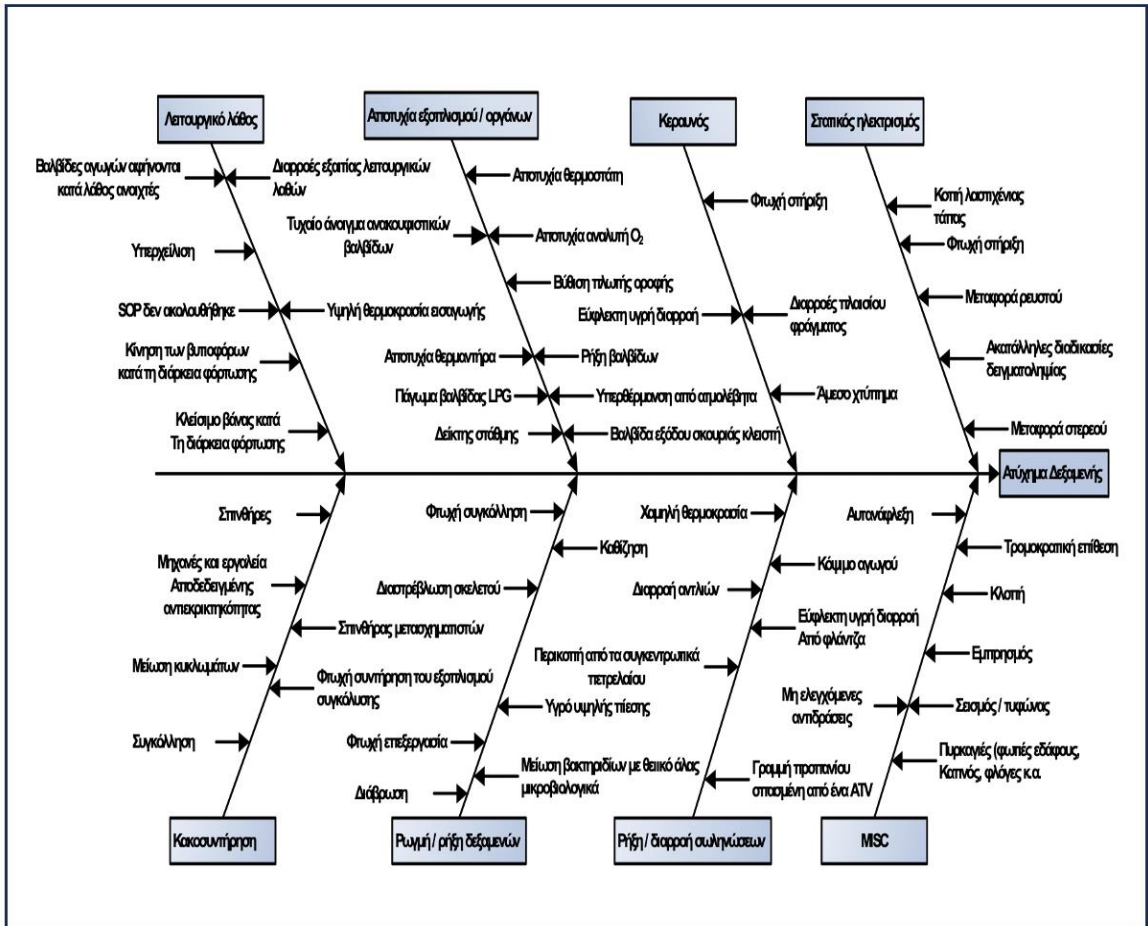
4.1. Αιτίες Περιστατικών Σε Εγκαταστάσεις Μεγάλων Δεξαμενών Καυσίμων

Ο κεραυνός αποτελεί την κύρια αιτία ατυχημάτων, σύμφωνα με τα δεδομένα του Πίνακα 4, ενώ τα σφάλματα στη συντήρηση βρίσκονται στη δεύτερη θέση των πιο διαδεδομένων αιτιών. Ακολουθούν άλλες αιτίες όπως λειτουργικό σφάλμα, αστοχία εξοπλισμού, δολιοφθορά, ρωγμή και ρήξη, διαρροή και ρήξη γραμμής, στατικός ηλεκτρισμός, ανοιχτές φλόγες κ.ά.

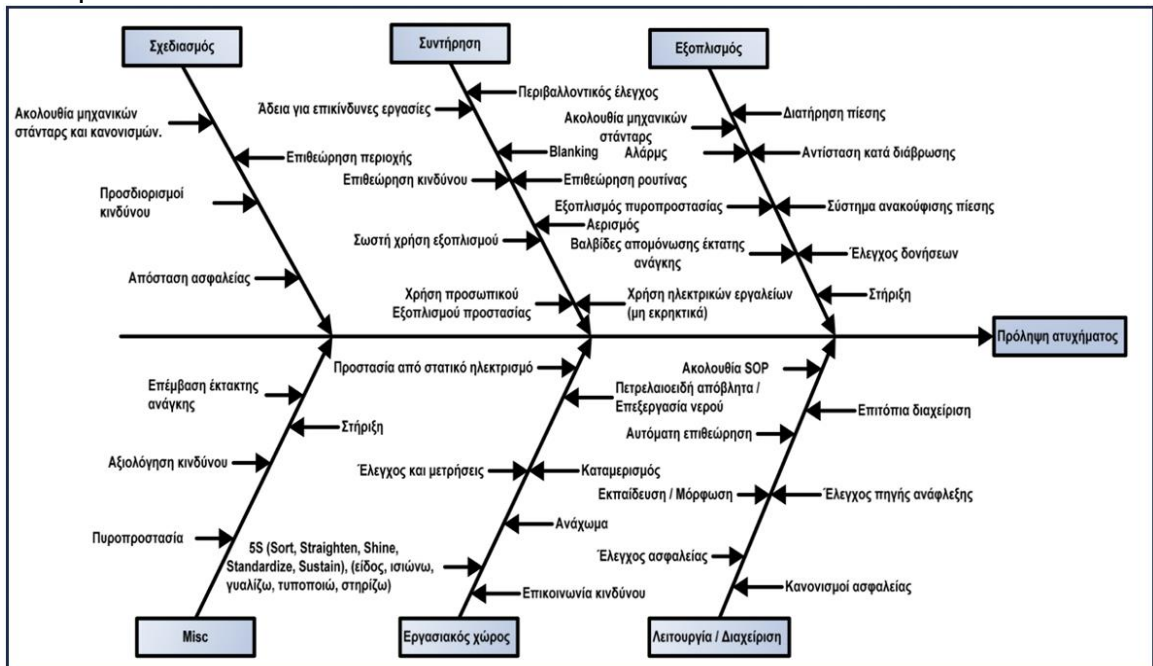
| ΠΕΡΙΟΔΟΣ | 1960 - 1969 | 1970 - 1979 | 1980 - 1989 | 1990 - 1999 | 2000 - 2003 | ΣΥΝΟΛΟ |
|--------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------|
| Καιρικά φαινόμενα (Αστραπή) | 4 | 10 | 19 | 37 | 10 | 80 |
| Συντήρηση / Θερμή Εργασία | 1 | 5 | 9 | 12 | 5 | 32 |
| Ανθρώπινο Σφάλμα | 1 | 5 | 6 | 8 | 9 | 29 |
| Αστοχία εξοπλισμού | 3 | 1 | 5 | 7 | 3 | 19 |
| Ηθελημένες ενέργειες | 2 | 5 | 2 | 6 | 3 | 18 |
| Διάρρηξη | 0 | 3 | 3 | 3 | 8 | 17 |
| Διαρροές εξοπλισμού | 0 | 3 | 2 | 5 | 5 | 15 |
| Στατικός ηλεκτρισμός | 2 | 1 | 2 | 2 | 5 | 12 |
| Ανοιχτή φλόγα | 1 | 0 | 4 | 2 | 1 | 8 |
| Φυσική καταστροφή | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 7 |
| Χημική αντίδραση | 2 | 1 | 0 | 2 | 0 | 5 |
| ΣΥΝΟΛΟ | 17 | 36 | 53 | 85 | 51 | 242 |

Πίνακας 4: Περιστατικά ανά τύπο Δεξαμενής

Για την ανάλυση των αιτιών και των συνεπειών, αναπτύχθηκε ένα διάγραμμα fishbone (James I. Chang, Cheng-Chung Lin, 2005) όπως φαίνεται στο Σχήμα 7. Επιπλέον, για την πρόληψη ατυχημάτων αναπτύχθηκε επίσης ένα αντίστοιχο διάγραμμα όπως φαίνεται στο Σχήμα 8 (James I. Chang, Cheng-Chung Lin, 2005).



Σχήμα 7: Διάγραμμα Οστού Ψαριού Ανάλυσης Αιτιών Ατυχήματος Σε Δεξαμενή Υγρών Καυσίμων



Σχήμα 8: Διάγραμμα Οστού Ψαριού Ανάλυσης Πρόληψης Ατυχήματος Σε Δεξαμενή Υγρών Καυσίμων

4.1.1.Κεραυνός

Δύο βασικοί παράγοντες συνδέονται με τις πυρκαγιές που προκαλούνται από κεραυνούς: αφενός, ένα άμεσο χτύπημα κεραυνού και, αφετέρου, έμμεσες συνέπειες όπως η συσσωρευμένη ηλεκτρική φόρτιση, ηλεκτρομαγνητικοί και ηλεκτροστατικοί παλμοί, καθώς και ρεύματα εδάφους. Η ζώνη άμεσης πρόσκρουσης κεραυνού καλύπτει μια ακτίνα 10 έως 10 μέτρων. Στις δεξαμενές αποθήκευσης εντός αυτής της ζώνης μπορεί να προκληθεί ανάφλεξη εύφλεκτων ατμών λόγω της θερμότητας ή της διαδρομής που ακολουθεί το χτύπημα. Από τα 80 περιστατικά με κεραυνούς, δώδεκα δεξαμενές χτυπήθηκαν άμεσα, προκαλώντας έκρηξη της οροφής και εκτεταμένες καταστροφές. Μια δεξαμενή πλωτής οροφής που περιείχε νάφθα χτυπήθηκε από κεραυνό στις 24 Οκτωβρίου 1995 στο Gilacap, Ινδονησία, με αποτέλεσμα πυρκαγιά και υλικές ζημιές 38 εκατομμυρίων δολαρίων τον Ιανουάριο του 2002, με το διυλιστήριο να λειτουργεί στο 70% της παραγωγικής του ικανότητας από τον Ιούλιο του 1995 μέχρι τον Μάρτιο του 1997 (James I. Chang, Cheng-Chung Lin, 2005).

Μία καταιγίδα προκαλεί φορτίσεις στην επιφάνεια της γης και σε υπερυψωμένες δομές. Η φορτισμένη περιοχή μπορεί να εκτείνεται από 15 έως 150 τετραγωνικά χιλιόμετρα, πολύ μεγαλύτερη από μια ζώνη άμεσης κρούσης. Ο κίνδυνος πυρκαγιάς από τις έμμεσες συνέπειες είναι σημαντικά αυξημένος σε σχέση με τον κίνδυνο από άμεσο χτύπημα. Ακολουθώντας μια κοντινή κεραυνοβολία, μια δεξαμενή που είναι καλά γειωμένη μπορεί να διαχειριστεί τη φόρτιση που προκαλείται από τον κεραυνό πιο αποτελεσματικά, απελευθερώνοντας την ταχύτερα.

Το στεφάνι στεγανοποίησης (φραγή) μιας δεξαμενής πλωτής οροφής είναι το πλέον πιθανό σημείο για ανάφλεξη κατά τη διάρκεια μιας καταιγίδας. Αν και η πλειονότητα των πυρκαγιών σε στεφάνια κατασβήνεται εντός λίγων ωρών, ένας κεραυνός το 1989 στη Τανζανία προκάλεσε μια πυρκαγιά στεφανιού που διήρκεσε πέντε ημέρες γύρω από μια εξωτερική δεξαμενή πλωτής οροφής χωρητικότητας 80.000 βαρελιών, που περιείχε αργό πετρέλαιο. Μια πυρκαγιά

στο στεφάνι μιας δεξαμενής πλωτής οροφής μπορεί να εξελιχθεί σε πλήρη επιφανειακή πυρκαγιά. Η σωστή στεγανοποίηση για να αποτραπεί η διαφυγή υγρών ή ατμών είναι απαραίτητη για την ασφάλεια

4.1.2. Σφάλμα Συντήρησης

Η διαδικασία συγκόλλησης αποτέλεσε την αιτία για 18 δυστυχήματα. Σε ένα περιστατικό το 1995, καθώς πραγματοποιούνταν συγκόλληση στο εξωτερικό τοίχωμα μιας δεξαμενής, εύφλεκτα αέρια μέσα σε δύο δεξαμενές αποθήκευσης, οι οποίες είχαν κάθε μία διάμετρο 30 ποδιών και ύψος 30 ποδιών, εξερράγησαν. Κατά τη διάρκεια ενός ατυχήματος (περιγράφεται στην σελ.18) το 1986 στη Θεσσαλονίκη, σπινθήρες από τη διαδικασία κοπής μετάλλου προκάλεσαν την ανάφλεξη εύφλεκτων αερίων, επιτρέποντας στη φωτιά να εξαπλωθεί σε περισσότερες περιοχές. Η φωτιά διήρκεσε επτά ημέρες, καταστρέφοντας δέκα από τις δώδεκα δεξαμενές αποθήκευσης αργού πετρελαίου και προκαλώντας πέντε θανάτους.

Μηχανικές τριβές επίσης μπορούν να παράγουν σπινθήρες που αναφλέγουν εύφλεκτους ατμούς (δεξαμενές πλωτής οροφής μεταξύ οροφής και κελύφους). Συμβάντα κατά την εγκατάσταση μόνωσης, κατέδειξαν τους κινδύνους που ενέχουν αυτού του είδους οι εργασίες. Αυτά τα περιστατικά υπογραμμίζουν την ανάγκη για αυστηρή τήρηση των προτύπων ασφαλείας και την εφαρμογή προληπτικών μέτρων για να αποφευχθεί η ανάφλεξη εύφλεκτων υλικών κατά τη διάρκεια εργασιών συντήρησης. Η χρήση κατάλληλου εξοπλισμού, η εκπαίδευση του προσωπικού στην αναγνώριση και τη διαχείριση των κινδύνων, καθώς και η εφαρμογή διαδικασιών εργασίας που μειώνουν την πιθανότητα ανάφλεξης είναι ουσιαστικά στοιχεία για την ασφαλή διεξαγωγή τέτοιων εργασιών.

Ηλεκτρικοί σπινθήρες και κραδασμοί μπορούν επίσης να προκαλέσουν την ανάφλεξη εύφλεκτων αερίων ή υγρών, οδηγώντας σε φωτιές ή εκρήξεις.

Για την αντιμετώπιση ηλεκτρικών κινδύνων, κάθε χώρος ή περιοχή θα πρέπει να εξετάζεται ξεχωριστά για τον προσδιορισμό της κατηγορίας κινδύνου σύμφωνα με διεθνή πρότυπα όπως ο NFPA (James I. Chang, Cheng-Chung Lin, 2005).

4.1.3.Σαμποτάζ

Το σαμποτάζ αποτελεί την τέταρτη πιο συχνή αιτία ατυχημάτων. Έχουν καταγραφεί 15 περιστατικά τρομοκρατικών ενεργειών ή στρατιωτικών δράσεων,. Κατά την περίοδο της Ιρακινής κατοχής στο Κουβέιτ το 1991, αρκετές εγκαταστάσεις αποθήκευσης πετρελαίου υπέστησαν εμπρησμό. Ορισμένες από τις φωτιές αντιμετωπίστηκαν, ενώ άλλες επιτράπηκε να συνεχίσουν να καίνε λόγω των συνθηκών του πολέμου (James I. Chang, Cheng-Chung Lin, 2005).

4.1.4.Λειτουργικό Σφάλμα

Η υπερπλήρωση αποτελεί την πρώτη αιτία προβλημάτων σε αυτή την κατηγορία, με 15 καταγεγραμμένα περιστατικά. Ειδικότερα, εννέα από αυτά αφορούσαν δεξαμενές βενζίνης, δύο αφορούσαν δεξαμενές πετρελαίου, δύο δεξαμενές προϊόντων πετρελαίου, μία δεξαμενή φαινόλης και μία δεξαμενή βενζολίου. Σε περιπτώσεις όπου δεξαμενές που περιέχουν εύφλεκτα υγρά υπερπληρώνονται, συνήθως είναι αναπόφευκτες η πυρκαγιά ή η έκρηξη. Οποιαδήποτε εξωτερική πηγή σπινθήρων μπορεί να πυροδοτήσει τους εύφλεκτους ατμούς που εκλύονται. Από τα 15 περιστατικά υπερφόρτωσης, 13 οδήγησαν σε φωτιά και έκρηξη. Αυτά τα περιστατικά τονίζουν τη σημασία της ακριβούς ρύθμισης της στάθμης και παρακολούθησης των διαδικασιών μεταφοράς προϊόντων για την αποφυγή υπερπληρώσεων και των συνεπειών τους.

4.1.5.Αστοχία Εξοπλισμού

Καταγράφηκαν 11 περιστατικά κατάρρευσης οροφής, 4 περιστατικά βλάβης βαλβίδας, 2 προβλήματα με θερμάστρες, 1 πρόβλημα με αναλυτή και 1 περίπτωση βλάβης σε θερμοστάτη. Μια κλασική δεξαμενή πλωτής οροφής διαθέτει κυλινδρικό μεταλλικό σώμα με μια μεταλλική οροφή που πλέει πάνω στο υγρό που αποθηκεύεται μέσα. Ένα σύστημα στεγανοποίησης τοποθετημένο στην περίμετρο της οροφής σε επαφή με τα τοιχώματα της δεξαμενής βοηθά στην μείωση της απώλειας υγρού από εξάτμιση (φραγή).

Αυτό το σύστημα κινείται κατά μήκος των τοιχωμάτων της δεξαμενής ανάλογα με την κίνηση της οροφής που ανεβοκατεβαίνει ανάλογα με το επίπεδο του αποθηκευμένου υγρού. Η πλωτή οροφή μπορεί να παρουσιάσει δυσλειτουργία αν δεν είναι ισορροπημένη ή αν το σώμα της δεξαμενής υποστεί παραμόρφωση. Μετά από ισχυρές καταιγίδες, πολλές στέγες δεξαμενών πλωτής οροφής βυθίζονται λόγω ανεπαρκούς αποστράγγισης από τα βρόχινα νερά με τους εύφλεκτους ατμούς να αναφλέγονται από κεραυνούς ή στατική ηλεκτρική φόρτιση.

4.1.6. Ρωγμή Και Ρήξη

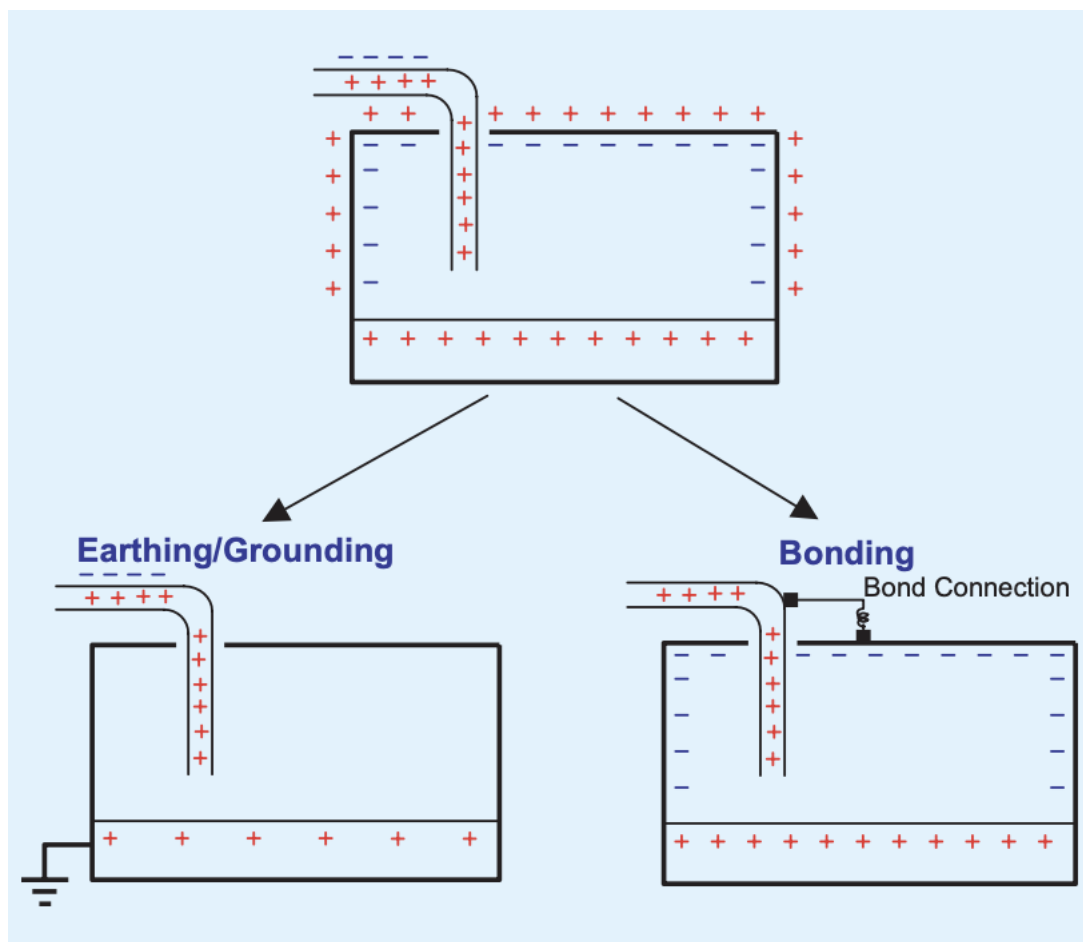
Καταγράφηκαν 13 περιπτώσεις ρωγμών στις δεξαμενές, δύο περιπτώσεις διάρρηξης στο κύτος των δεξαμενών, μία περίπτωση οπής στην οροφή και μία περίπτωση ρωγμής σε φλάντζα, οδηγώντας σε 13 διαρροές που περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων διαρροή ελαίων, υδροχλωρικού και θειικού οξέος και διαλύματος κυανιούχου νατρίου, τρεις πυρκαγιές και εκρήξεις, καθώς και τον τραυματισμό ενός εργάτη. Η πλειοψηφία των ζημιών που καταγράφηκε στις δεξαμενές αποθήκευσης σχετίζεται με τη φυσική φθορά από τον χρόνο, τη διάβρωση και τις σεισμικές δονήσεις. Οι ρωγμές αυτές εντοπίζονται συνήθως στο κατώτερο τμήμα της δεξαμενής ή κοντά σε σημεία συγκόλλησης.

4.1.7. Στατικός Ηλεκτρισμός

Ο στατικός ηλεκτρισμός ήταν η αιτία 12 δυστυχημάτων σε δεξαμενές, με 6 από αυτά να συμβαίνουν κατά τη διαδικασία λήψης δειγμάτων από δεξαμενές αποθήκευσης με εύφλεκτα υγρά μέσω θυρών πρόσβασης.

Για να μειωθεί η πιθανότητα κινδύνου κατά τη δειγματοληψία, θα πρέπει να αποφεύγονται εργασίες μέσω των θυρών ελεύθερης πρόσβασης (ανθρωποθυρίδων οροφής?). Εάν είναι απαραίτητο να εκτελεστούν εργασίες μέσω αυτών των θυρών, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται εργαλεία και μετρητές κατασκευασμένα από μη αγώγιμα υλικά και να αποφεύγετε η χρήση μεταλλικών εργαλείων.

Επιπλέον, η κίνηση του υγρού σε σωληνογραμμές και οι ταλαντώσεις που μπορεί να προκληθούν από τη λειτουργία μίας αντλίας μπορούν να προκαλέσουν φόρτιση στο ρευστό και τη σωληνογραμμή, με πιθανότητα δημιουργίας σπινθήρα μεταξύ μεταλλικών στοιχείων. Ένα περιστατικό προκλήθηκε από εκκένωση στατικού ηλεκτρισμού κατά τη διάρκεια μεταφοράς ρευστού. Για το λόγο αυτό οι δεξαμενές θα πρέπει να είναι διαθέτουν κατάλληλη γείωση που θα πρέπει να επιθεωρείται σε τακτά χρονικά διαστήματα σύμφωνα με διεθνή πρότυπα (BP Process Safety Series, 2008) (Σχήμα 9).



Σχήμα 9: Γείωση Και Ηλεκτρική Διασύνδεση Δεξαμενών

4.1.8. Ανοιχτές Φλόγες

Ανοιχτές πηγές φωτιάς όπως πυρκαγιές σε γειτονικές μονάδες ή εκτός της εγκατάστασης, από εργασίες συντήρησης, κάπνισμα τσιγάρων και καυτά σωματίδια μπορούν επίσης να πυροδοτήσουν την ανάφλεξη εύφλεκτων

αερίων που βρίσκονται κοντά στις δεξαμενές αποθήκευσης. Τέσσερις περιπτώσεις ατυχημάτων, συμπεριλαμβανομένου ενός περιστατικού σε ένα διυλιστήριο στο Κουβέιτ και ενός άλλου περιστατικού, οφείλονται σε πυρκαγιές ή εκρήξεις που συνέβησαν σε κοντινή απόσταση. Επιπλέον, δύο περιστατικά κατά τη διάρκεια εργασιών καθαρισμού δεξαμενών, αποδόθηκαν στο κάπνισμα τσιγάρων. Επιπρόσθετα, ένα ατύχημα συνέβη σε διυλιστήριο λόγω καυτών σωματιδίων άνθρακα που απελευθερώθηκαν από μία άλλη διεργασία.

4.1.9. Φυσικές Καταστροφές

Η καταστροφή μιας δεξαμενής αποθήκευσης πετρελαίου λόγω σεισμού αποτελεί μια περίπλοκη διαδικασία που εμπλέκει πολλαπλούς παράγοντες: τα χαρακτηριστικά της σεισμικής δόνησης, την κατασκευή της δεξαμενής, την ποιότητα του εδάφους και τις φυσικές ιδιότητες της αποθηκευμένης ύλης, μεταξύ άλλων, που αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους. Μόνο 4 σεισμοί στην ιστορία έχουν οδηγήσει σε σοβαρές περιβαλλοντικές καταστροφές όπως πετρελαιοκηλίδες ή πυρκαγιές. Από αυτά, τρία είχαν συμβεί στην Ιαπωνία και ένα στην Τουρκία.

Επιπλέον, οι τυφώνες είναι συχνό φαινόμενο στις περιοχές όπως οι Μπαχάμες, ο Κόλπος του Μεξικού και η Νοτιοανατολική Ασία, αλλά μόνο τρεις από αυτούς έχουν προκαλέσει σοβαρές ζημιές σε δεξαμενές αποθήκευσης.

4.1.10. Αντιδράσεις

Εξώθερμες αντιδράσεις μπορεί να συμβούν σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν ακαθαρσίες ή ξένες ουσίες στις δεξαμενές αποθήκευσης. Έχουν καταγραφεί 5 περιστατικά χημικών αντιδράσεων σε δεξαμενές αποθήκευσης καυσίμων και πετροχημικών. Τα ποιοι σημαντικά από αυτά είναι: Μία έκρηξη το 1993 σε ένα διυλιστήριο της Αυστραλίας, όπου έσκασε το καπάκι μιας δεξαμενής (ντίζελ) σταθερής οροφής, οφειλόταν στην ενεργοποίηση της καυστικής σόδας που χρησιμοποιήθηκε για τον καθαρισμό αγωγών

πετρελαίου. Το 1979, η αυτανάφλεξη λόγω χημικής αντίδρασης, προκάλεσε πυρκαγιά σε μια δεξαμενή slop σε ένα διυλιστήριο στο Illinois των ΗΠΑ, με αποτέλεσμα την καταστροφή τριών δεξαμενών.

Παραπάνω, αναλύθηκαν πληροφορίες για 242 δυστυχήματα σε δεξαμενές που σημειώθηκαν σε βιομηχανικούς χώρους για την περίοδο από 1960 έως 2003. Οι αιτίες και οι παράγοντες που συνέβαλαν στα δυστυχήματα απεικονίστηκαν αναλυτικά με τη χρήση διαγράμματος ψαροκόκαλου. Πολλά από τα εν λόγω δυστυχήματα θα μπορούσαν να είχαν αποτραπεί με την εφαρμογή αρτιότερων προδιαγραφών κατά τον σχεδιασμό, την κατασκευή, τη συντήρηση καθώς και κατάλληλων διαδικασιών λειτουργίας, παράγοντες που σχετίζονται με την εφαρμογή ενός αποτελεσματικού προγράμματος διαχείρισης ασφάλειας.

4.2. Στατιστική Ανάλυση Περιστατικών Σε Δεξαμενές Αποθήκευσης Καυσίμων

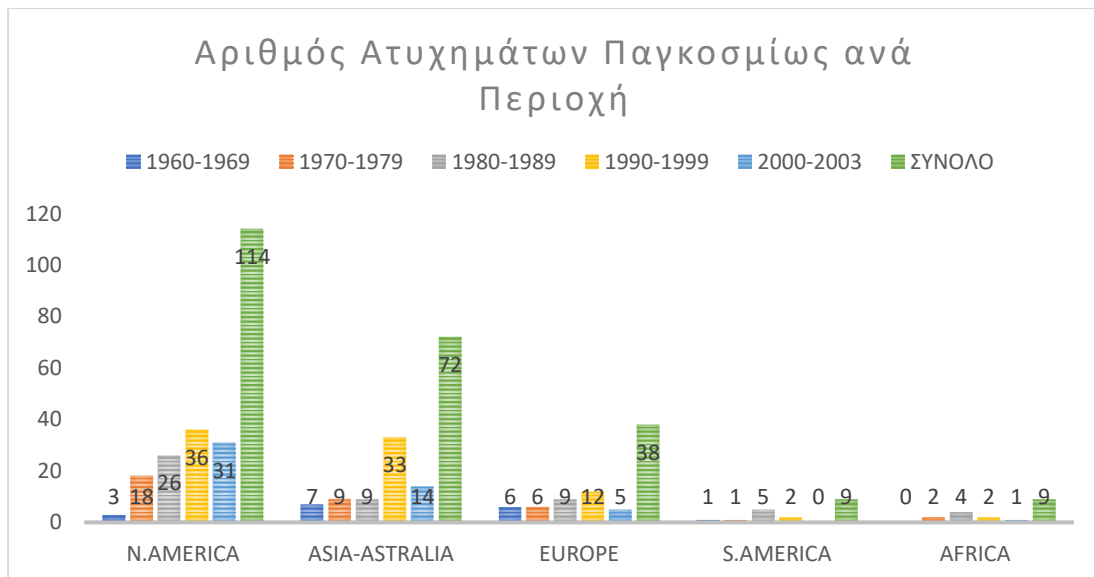
Στην υπο-ενότητα αυτή μελετώνται και αναλύονται στοιχεία από την έρευνα των J. I. Chang, C.C. Lin, 2005 στις εγκαταστάσεις αποθήκευσης καυσίμων, η οποία καλύπτει την περίοδο από το 1960 έως το 2003.

Διεθνώς, η εξέταση των συμβάντων ατυχημάτων και η ανάλυσή τους μπορεί να αποκαλύψει πολύτιμες πληροφορίες για τις εφαρμοσμένες μεθόδους και τα μέτρα ασφαλείας που μπορούν να υιοθετηθούν σε διάφορες περιοχές.

Στους παρακάτω πίνακες 5 και 6 και στο διάγραμμα 2 αποτυπώνονται ο αριθμός των ατυχημάτων παγκοσμίως ανά περιοχή.

| ΠΕΡΙΟΔΟΣ | | NORTH AMERICA | ASIA & AUSTRALIA | EUROPE | SOUTH AMERICA | AFRICA | ΣΥΝΟΛΟ |
|----------|------|---------------|------------------|--------|---------------|--------|--------|
| 1960 | 1969 | 3 | 7 | 6 | 1 | 0 | 17 |
| 1970 | 1979 | 18 | 9 | 6 | 1 | 2 | 36 |
| 1980 | 1989 | 26 | 9 | 9 | 5 | 4 | 53 |
| 1990 | 1999 | 36 | 33 | 12 | 2 | 2 | 85 |
| 2000 | 2003 | 31 | 14 | 5 | 0 | 1 | 51 |
| ΣΥΝΟΛΟ | | 114 | 72 | 38 | 9 | 9 | 242 |

Πίνακας 5: Αριθμός Ατυχημάτων Παγκοσμίως Ανά Περιοχή



Διάγραμμα 2: Αριθμός Ατυχημάτων Παγκοσμίως Ανά Περιοχή

| CONTINENT/COUNTY | ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ | ΠΟΣΟΣΤΟ |
|-----------------------------|--------------------|-------------|
| AFRICA | 9 | 100% |
| SOUTH AFRICA | 5 | 56% |
| NORTH AMERICA | 114 | 100% |
| USA | 105 | 92% |
| MEXICO | 6 | 5% |
| CANADA | 3 | 3% |
| ASIA & AUSTRALIA | 72 | 100% |
| TAIWAN | 19 | 26% |
| JAPAN | 10 | 14% |
| CHINA | 6 | 8% |
| EUROPE | 38 | 100% |
| UK | 6 | 16% |
| ITALY | 4 | 11% |

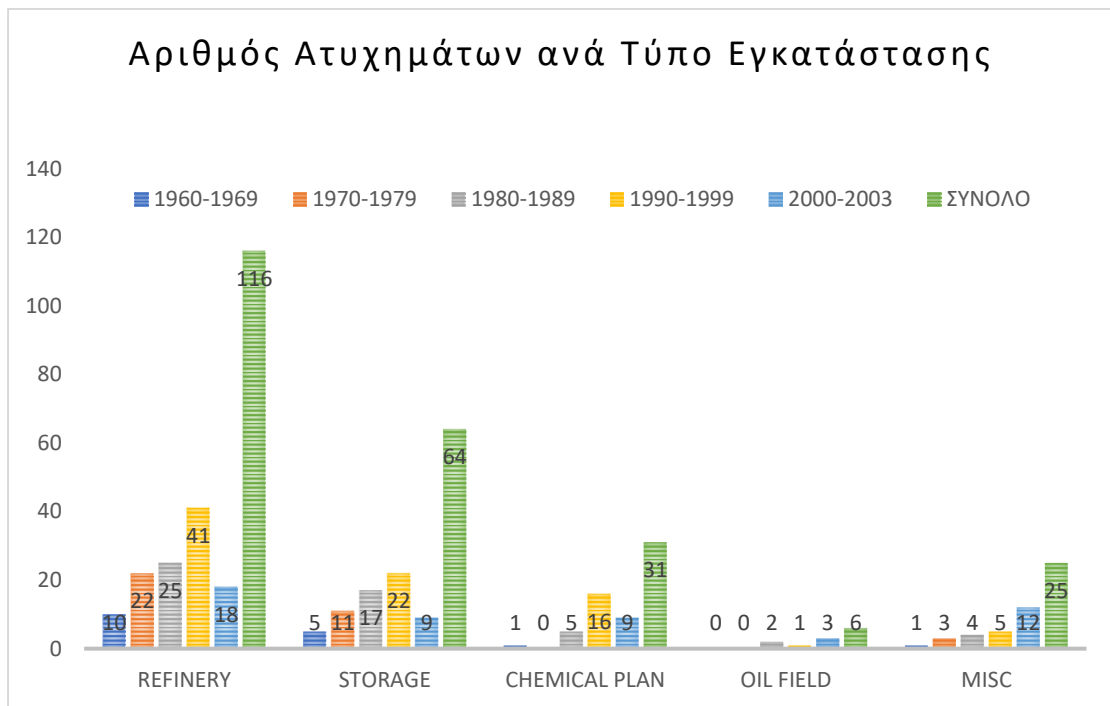
Πίνακας 6: Ποσοστό Ατυχημάτων Παγκοσμίως Ανά Περιοχή

Διαπιστώνουμε ότι στις περιοχές με ανεπτυγμένη βιομηχανία, τα περιστατικά αυξάνονται διότι εκεί λειτουργούν περισσότερες βιομηχανικές μονάδες. Με βάση αυτά τα στοιχεία, μπορούμε να κατανοήσουμε σε ποιες εγκαταστάσεις είναι πιθανότερη η εμφάνιση ατυχημάτων.

Είναι προφανές πως η μεγαλύτερη συχνότητα περιστατικών καταγράφεται σε διυλιστήρια και εγκαταστάσεις αποθήκευσης πετρελαιοειδών όπως διακρίνουμε από τα στοιχεία του πίνακα 7 και του διαγράμματος 3.

| ΠΕΡΙΟΔΟΣ | | REFINERY | TERMINAL/ STORAGE | CHEMICAL PLAN (a) | OIL FIELD | MISC (b). | ΣΥΝΟΛΟ |
|----------|------|----------|----------------------|----------------------|-----------|-----------|--------|
| 1960 | 1969 | 10 | 5 | 1 | 0 | 1 | 17 |
| 1970 | 1979 | 22 | 11 | 0 | 0 | 3 | 36 |
| 1980 | 1989 | 25 | 17 | 5 | 2 | 4 | 53 |
| 1990 | 1999 | 41 | 22 | 16 | 1 | 5 | 85 |
| 2000 | 2003 | 18 | 9 | 9 | 3 | 12 | 51 |
| ΣΥΝΟΛΟ | | 116 | 64 | 31 | 6 | 25 | 242 |

Πίνακας 7: Αριθμός Ατυχημάτων Ανά Τύπο Εγκατάστασης

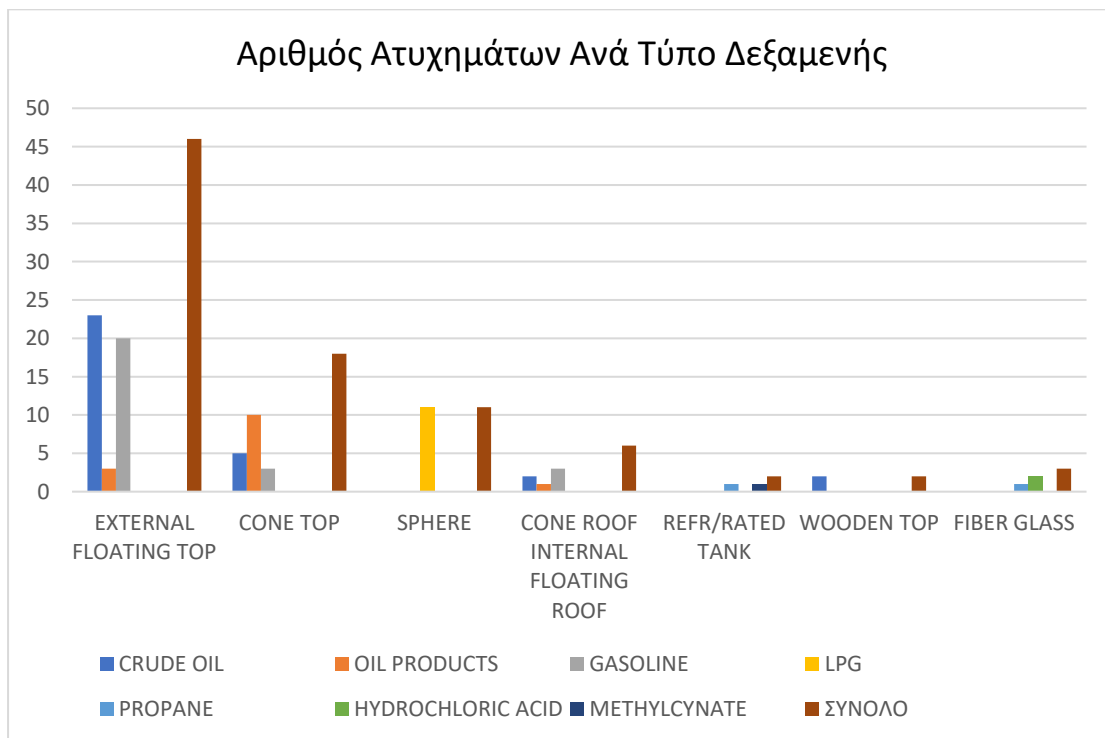


Διάγραμμα 3: Αριθμός Ατυχημάτων Ανά Τύπο Εγκατάστασης

Διάφορες κατηγορίες πετρελαϊκών προϊόντων αποθηκεύονται σε ειδικού τύπου δεξαμενές, εγγυώμενες την ορθή αποθήκευση και προστατεύοντας τις εγκαταστάσεις από πιθανά ατυχήματα. Ωστόσο, έχουν καταγραφεί περιστατικά σε δεξαμενές κάθε τύπου, όπως περιγράφεται στον επικείμενο πίνακα 8 και στο διάγραμμα 4.

| CONTENT | EXTERNAL FLOATING TOP | CONE TOP | SPHERE | CONE ROOF INTERNAL FLOATING TOP | REFR/RATED TANK | WOODEN TOP | FIBER GLASS | ΣΥΝΟΛΟ |
|-------------------|-----------------------|----------|--------|---------------------------------|-----------------|------------|-------------|--------|
| CRUDE OIL | 23 | 5 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 32 |
| OIL PRODUCTS | 3 | 10 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 14 |
| GASOLINE | 20 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 26 |
| LPG | 0 | 0 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 |
| PROPANE | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 2 |
| HYDROCHLORIC ACID | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 |
| METHYL CYANATE | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| ΣΥΝΟΛΟ | 46 | 18 | 11 | 6 | 2 | 2 | 3 | 88 |

Πίνακας 8: Αριθμός Ατυχημάτων Ανά Τύπο Δεξαμενής

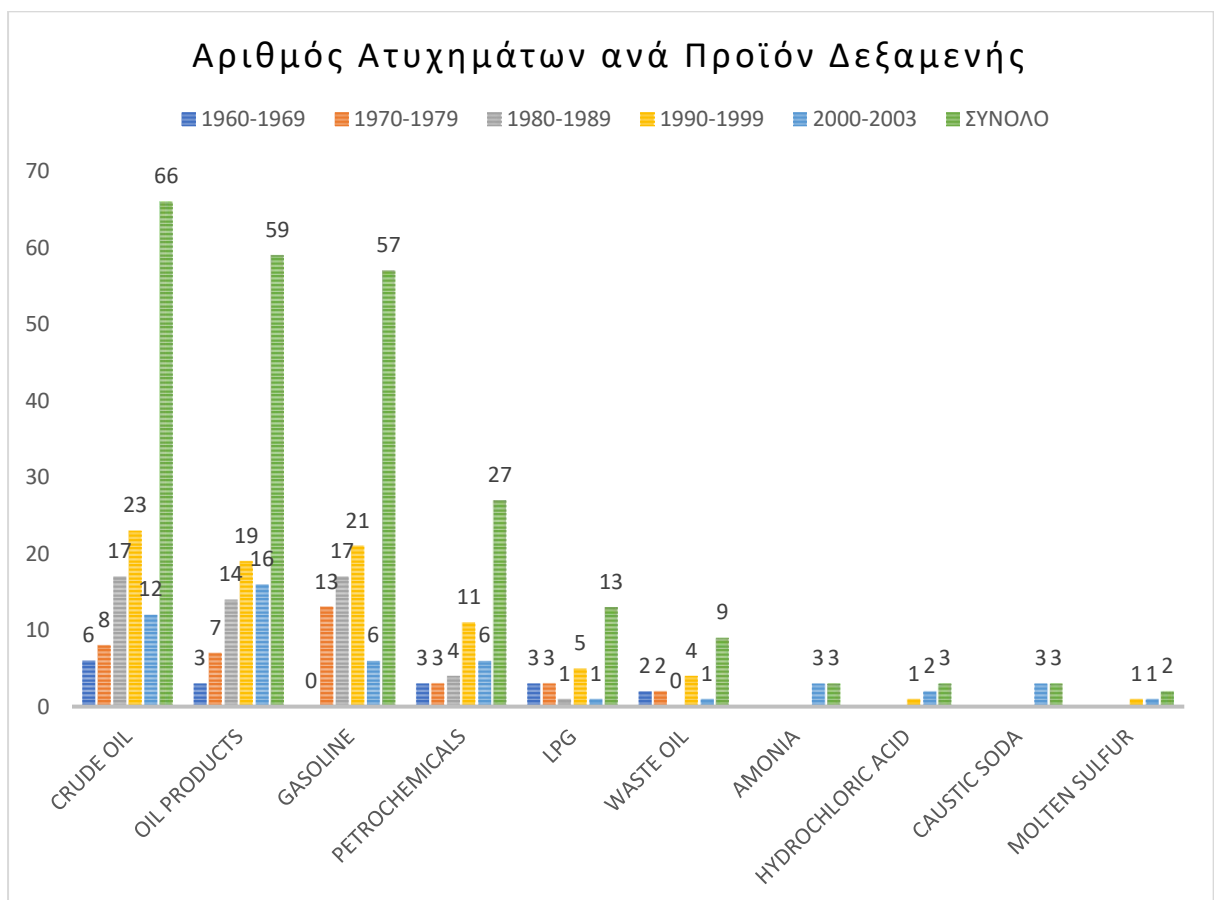


Διάγραμμα 4: Αριθμός Ατυχημάτων Ανά Τύπο Δεξαμενής

Παρατηρείται από τα στοιχεία του πίνακα 9 και του διαγράμματος 5 ότι αυξημένος αριθμός περιστατικών συμβαίνει στις εγκαταστάσεις αποθήκευσης αργού πετρελαίου.

| ΠΕΡΙΟΔΟΣ | CRUDE OIL | OIL PRODUCTS | GASOLINE/NAPHTHA | PETROCHEMICALS | LPG | WASTE OIL WATER | AMMONIA | HYDROCHLORIC ACID | CAUSTIC SODA | MOLTEN SULFUR | ΣΥΝΟΛΟ |
|-----------|-----------|--------------|------------------|----------------|-----|-----------------|---------|-------------------|--------------|---------------|--------|
| 1960-1969 | 6 | 3 | 0 | 3 | 3 | 2 | 0 | | | | 17 |
| 1970-1979 | 8 | 7 | 13 | 3 | 3 | 2 | 0 | | | | 36 |
| 1980-1989 | 17 | 14 | 17 | 4 | 1 | 0 | 0 | | | | 53 |
| 1990-1999 | 23 | 19 | 21 | 11 | 5 | 4 | 0 | 1 | | 1 | 85 |
| 2000-2003 | 12 | 16 | 6 | 6 | 1 | 1 | 3 | 2 | 3 | 1 | 51 |
| ΣΥΝΟΛΟ | 66 | 59 | 57 | 27 | 13 | 9 | 3 | 3 | 3 | 2 | 242 |

Πίνακας 9: Αριθμός Ατυχημάτων Ανά Προϊόν Δεξαμενής



Διάγραμμα 5: Αριθμός Ατυχημάτων Ανά Προϊόν Δεξαμενής

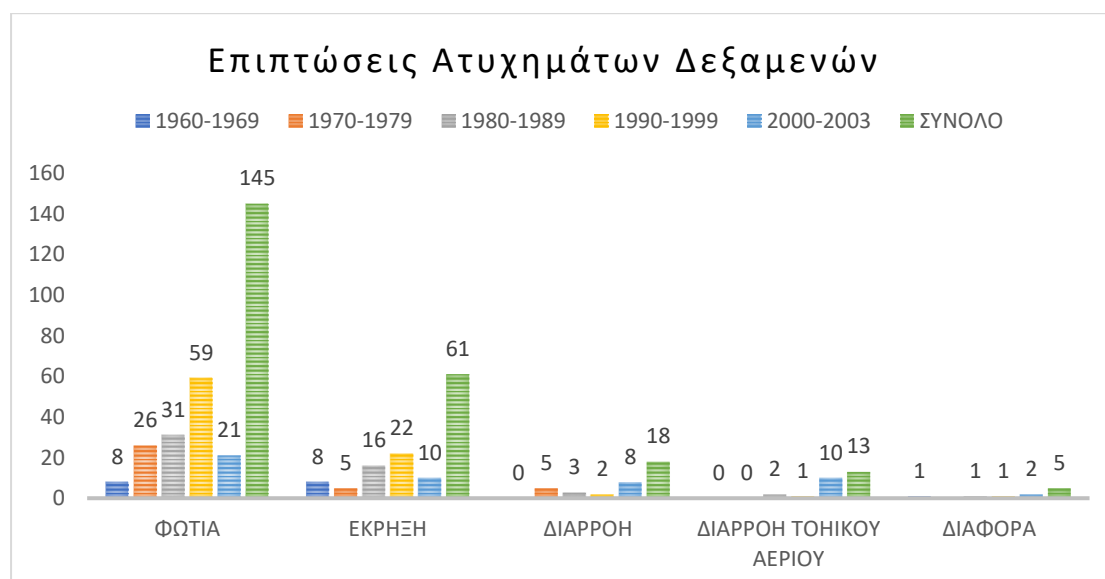
Επιπλέον παρατηρείται από τους πίνακες 8 και 9 ότι οι δεξαμενές που διαθέτουν εξωτερική πλωτή οροφή και οι δεξαμενές αποθήκευσης βενζίνης ακολουθούν σε συχνότητα εμφάνισης περιστατικών.

4.3.Επιπτώσεις περιστατικών (είδη φωτιάς και στατιστικά)

Τα περιστατικά συχνά συνδέονται με την διαρροή εύφλεκτων ή τοξικών ουσιών. Η ανάφλεξη λόγω διαρροής αυτών μπορεί να προκαλέσει φωτιά ή έκρηξη. Υπάρχουν επίσης περιπτώσεις όπου, παρά τη μη ανάφλεξη, η διαρροή οδήγησε σε εξάπλωση τοξικών υλικών εντός και γύρω από την εγκατάσταση. Πληροφορίες σχετικά με τις συνέπειες αυτών των περιστατικών παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα 10.

| ΠΕΡΙΟΔΟΣ | | ΦΩΤΙΑ | ΕΚΡΗΞΗ | ΔΙΑΡΡΟΗ | ΔΙΑΡΡΟΗ ΤΟΞΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ | ΔΙΑΦΟΡΑ | ΥΠΟΣΥΝΟΛΟ |
|----------|------|-------|--------|---------|------------------------|---------|-----------|
| 1960 | 1969 | 8 | 8 | 0 | 0 | 1 | 17 |
| 1970 | 1979 | 26 | 5 | 5 | 0 | | 36 |
| 1980 | 1989 | 31 | 16 | 3 | 2 | 1 | 53 |
| 1990 | 1999 | 59 | 22 | 2 | 1 | 1 | 85 |
| 2000 | 2003 | 21 | 10 | 8 | 10 | 2 | 51 |
| ΣΥΝΟΛΟ | | 145 | 61 | 18 | 13 | 5 | 242 |

Πίνακας 10: Επιπτώσεις Ατυχημάτων Δεξαμενών

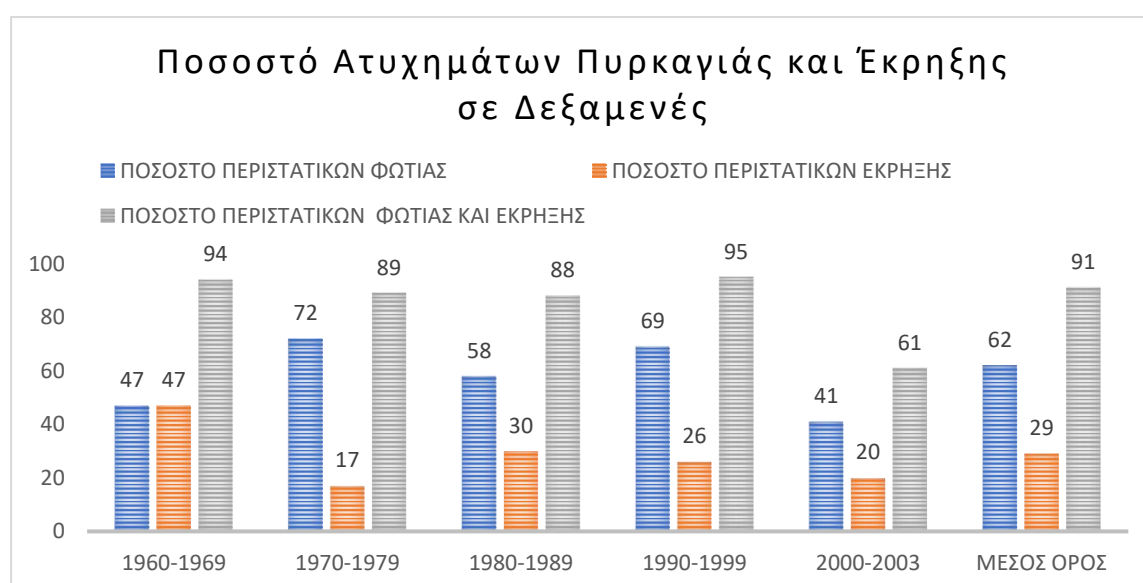


Διάγραμμα 6: Επιπτώσεις Ατυχημάτων Δεξαμενών

Είναι εμφανές ότι η φωτιά και η έκρηξη αποτελούν τις πιο συχνές συνέπειες σε περίπτωση ατυχήματος, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως. Επομένως, διαχωρίζοντας αυτές τις δύο βασικές συνέπειες, προκύπτει ο πίνακας 11 και διακρίνεται ότι το ποσοστό εμφάνισης φωτιάς και έκρηξης είναι πολύ υψηλό.

| ΠΕΡΙΟΔΟΣ | | ΠΟΣΟΣΤΟ ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΩΝ ΦΩΤΙΑΣ | ΠΟΣΟΣΤΟ ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΩΝ ΕΚΡΗΞΗΣ | ΠΟΣΟΣΤΟ ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΩΝ ΦΩΤΙΑΣ & ΕΚΡΗΞΗΣ |
|----------|------|-----------------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| 1960 | 1969 | 47% | 47% | 94% |
| 1970 | 1979 | 72% | 14% | 86% |
| 1980 | 1989 | 58% | 30% | 89% |
| 1990 | 1999 | 69% | 26% | 95% |
| 2000 | 2003 | 41% | 20% | 61% |
| Μ ΟΡΟΣ | | 62% | 29% | 91% |

Πίνακας 11: Ποσοστό Ατυχημάτων Πυρκαγιάς και Έκρηξης Σε Δεξαμενές



Διάγραμμα 7: Ποσοστό Ατυχημάτων Πυρκαγιάς και Έκρηξης Σε Δεξαμενές

Από την ανάλυση των στατιστικών δεδομένων αποδεικνύεται ότι στις δεξαμενές αποθήκευσης πετρελαιοειδών, τα περιστατικά που οδήγησαν σε φωτιά ή έκρηξη, ή η πιθανότητα να σημειωθεί φωτιά ή έκρηξη ανέρχεται στο 91% για την περίοδο 1960-2003. Ωστόσο, όταν λαμβάνονται υπόψη δεδομένα από το έτος 2000 και μετά, αυτή η πιθανότητα μειώνεται στο 61%, κάτι που

ενδεχομένως εξηγείται από την εφαρμογή αυστηρότερων μέτρων ασφάλειας σε τέτοιου τύπου εγκαταστάσεις.

4.4.Ειδικές περιπτώσεις περιστατικών (boilover)

Ένα περιστατικό όπου η οροφή μιας δεξαμενής αργού πετρελαίου καταρρέει μπορεί να εξελιχθεί μετά από μερικές ώρες στο φαινόμενο γνωστό ως Αναβρασμός (boilover). Αυτό το φαινόμενο εμφανίζεται όταν η συνεχής καύση των πιο ελαφριών συστατικών του αργού πετρελαίου προκαλεί την αύξηση της πυκνότητας των θερμών, επιφανειακών υπολειμμάτων με σημείο ζέσεως άνω των 150°C. Αυτά τα υπολείμματα αρχίζουν να κινούνται προς τον πυθμένα, δημιουργώντας ένα θερμό μέτωπο που κατεβαίνει με μεγαλύτερη ταχύτητα από τον ρυθμό καύσης στην επιφάνεια της δεξαμενής, με την μέση ταχύτητα του θερμού μετώπου για το αργό πετρέλαιο να ανέρχεται περίπου στα 0.8 m/hr. Σε δεξαμενές αργού πετρελαίου είναι σύνηθες να υπάρχει ένα στρώμα νερού ή γαλακτώματος νερού-υδρογονανθράκων στον πυθμένα. Όταν το θερμό μέτωπο φτάσει στο επίπεδο του νερού/γαλακτώματος σημειώνεται ξαφνική ατμοποίηση του νερού, με έναν όγκο νερού να μετατρέπεται περίπου σε 1700 όγκους ατμού. Ο εκτινασσόμενος ατμός σηκώνει μαζί του το περιεχόμενο της δεξαμενής, ενώ οι πλούσιοι σε υδρογονάνθρακες ατμοί αναδύονται σε μεγάλο ύψος, όπου αναμειγνύονται με τον ατμοσφαιρικό αέρα και αναφλέγονται, δημιουργώντας μια τεράστια φλόγα σε σχήμα μανιταριού και προκαλώντας απότομη αύξηση στη θερμική ακτινοβολία που εκλύεται από την ανάφλεξη. Η διάμετρος της πύρινης σφαίρας μπορεί να φτάσει μέχρι το πενταπλάσιο της διαμέτρου της δεξαμενής, ενώ σε καταγεγραμμένα περιστατικά η ακτίνα της φωτιάς από τους καιγόμενους υδρογονάνθρακες κατά τη διάρκεια του φαινομένου boilover συνήθως φτάνει μέχρι και τα 85 μέτρα.

Ο χρόνος έως την εκδήλωση του αναβρασμού μπορεί να προ εκτιμηθεί με βάση την αρχική στάθμη της δεξαμενής και την ταχύτητα του θερμικού κύματος. Η πρόοδος του θερμικού κύματος μπορεί να παρακολουθηθεί μέσω της αλλαγής στο χρώμα της δεξαμενής στο επίπεδο του θερμού μετώπου. Επίσης, πριν από

την έκρηξη, συνήθως παρατηρούνται σαφείς ενδείξεις όπως εμφάνιση φλόγας πάνω από τη δεξαμενή λόγω των ανερχόμενων ατμών και ένας αυξανόμενος σε ένταση συριγμός.

Αν και το φαινόμενο του boiler surge αποτελεί ένα από τα πιο επικίνδυνα γεγονότα για τις δυνάμεις πυρόσβεσης, εμφανίζεται σπάνια και η πιθανότητα του μπορεί να προβλεφθεί και να αντιμετωπιστεί από εκπαιδευμένο προσωπικό. Η κατάλληλη προετοιμασία και η γνώση των ενδείξεων που προηγούνται του φαινομένου μπορούν να βοηθήσουν στην αποφυγή των πιο καταστροφικών εκδηλώσεων του, (Azizul Buang, 2014).

5. Πηγές Ανάφλεξης Και Αίτιες Διαρροής Σε Εγκαταστάσεις Υγρών Καυσίμων

Συνήθως, οι διαρροές υγρών καυσίμων προέρχονται από εξοπλισμό που δεν είναι πλήρως σφραγισμένος, επιτρέποντας έτσι τη διαφυγή υδρογονανθράκων στο περιβάλλον. Αυτές οι διαρροές μπορεί να είναι η αιτία για ποικιλία ατυχημάτων ή επικίνδυνων καταστάσεων. Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλυθούν τα αίτια διαρροών σε δεξαμενές υγρών καυσίμων και θα προσδιοριστούν τα είδη πηγών ανάφλεξης των πιθανών διαρροών.

5.1.Είδη Πηγών Ανάφλεξης

Η παρουσία μιας ουσίας εντός των ορίων ανάφλεξης δείχνει ότι για την πρόκληση φωτιάς ή έκρηξης απαιτείται μια πηγή που θα ενεργοποιήσει τη διαδικασία καύσης με την παροχή της αναγκαίας ενέργειας. Οι πηγές ανάφλεξης που είναι υπεύθυνες για περισσότερες από 900 πυρκαγιές και εκρήξεις σε βιομηχανικές μονάδες ταξινομούνται βάσει της συχνότητας με την οποία συμβάλλουν σε ατυχήματα σε διάφορες βιομηχανίες. Οι κοινές πηγές ανάφλεξης (Πίνακα 12), ανάλογα με το πόσο συχνά εμφανίζονται σε τέτοια περιστατικά, παρουσιάζονται παρακάτω:

| Είδη Πηγών Ανάφλεξης | |
|----------------------------|---------------------------------------|
| Ηλεκτρικές Πηγές Ανάφλεξης | Ηλεκτρικοί σπινθήρες |
| | Ηλεκτρικά βραχυκυκλώματα |
| | Εκκένωση κεραυνού |
| | Ηλεκτρικό τόξο |
| | Στατικός ηλεκτρισμός |
| | Ηλεκτρική φόρτωση |
| Θερμικές Πηγές Ανάφλεξης | Θερμές επιφάνειες |
| | Πηγές ανοιχτής φλόγας |
| | Εκτοξεύσεις καίόμενων υλικών |
| | Εκπομπές αερίων |
| | Εκρηκτικά μίγματα |
| Μηχανικές Πηγές Ανάφλεξης | Σπινθήρες από μηχανικές ενέργειες |
| | Κρούση και τριβή μηχανικής φύσης |
| | Σπάσιμο μετάλλων |
| | Δονήσεις και συνεχείς κινήσεις κάμψης |

Πίνακας 12: Πηγές Ανάφλεξης (ΦΕΚ 846/Β/31-12-90)

5.1.1. Ηλεκτρικές Πηγές Ανάφλεξης

Οι κυριότερες ηλεκτρικές πηγές ανάφλεξης παρατίθενται παρακάτω:

1. Ηλεκτρικοί σπινθήρες (π.χ., από ηλεκτρικό εξοπλισμό). Αυτοί προκύπτουν όταν δύο φορτισμένα αντικείμενα έρθουν αρκετά κοντά, προκαλώντας τη μετακίνηση των θετικών φορτισμένων σωματιδίων προς τα αρνητικά φορτισμένα, παραγωγή σπινθήρων από ελαστικούς συνδέσμους, κατά τη διάρκεια ενεργοποίησης ή απενεργοποίησης διακοπών, καθώς και στη σύνδεση ή αποσύνδεση πριζών κτλ.

Ηλεκτρικά βραχυκυκλώματα. Ένα βραχυκύκλωμα αναφέρεται στην περίπτωση όπου δύο σημεία ενός ηλεκτρικού κυκλώματος συνδέονται μέσω ενός αγωγού με πολύ χαμηλή ή αμελητέα αντίσταση. Ένα χαρακτηριστικό του βραχυκυκλώματος είναι η ισοδυναμία των δύο άκρων της συνδεδεμένης συσκευής, που σημαίνει ότι το ηλεκτρικό δυναμικό είναι το ίδιο σε κάθε άκρο. Αυτό οδηγεί σε ηλεκτρική διαρροή ρεύματος λόγω της ύπαρξης ηλεκτρικής αντίστασης στη συσκευή.

2. Εκκένωση κεραυνού. Ο κεραυνός αποτελεί μια ηλεκτρική εκκένωση μεταξύ ενός σύννεφου και του εδάφους κατά τη διάρκεια καταιγίδας, προτιμώντας τα υψηλότερα και απομονωμένα αντικείμενα. Η θερμοκρασία που μπορεί να επιτευχθεί από μια τέτοια εκκένωση μπορεί να φτάσει έως και τους 30.000 K.
3. Ηλεκτρικό τόξο (διακόπτες, ηλεκτροκινητήρες, φορητά τηλέφωνα, τηλεχειριστήρια και ραδιόφωνα). Σε πίνακες χαμηλής και μέσης τάσης, όπου ο αέρας αποτελεί το μονωτικό στοιχείο μεταξύ ενεργών μερών (όπως μπάρες και καλώδια), η απόσταση μεταξύ τους είναι κρίσιμη για την αποφυγή ηλεκτρικών εκκενώσεων. Το ηλεκτρικό τόξο προκύπτει όταν η αντοχή του αέρα ως διηλεκτρικό μέσο ξαφνικά υποχωρεί, απελευθερώνοντας μεγάλες ποσότητες ενέργειας και θερμότητας.

4. Στατικός ηλεκτρισμός (π.χ., σε μη γειωμένα φίλτρα σωματιδίων, ή μάνικες μεταφοράς προϊόντων). Ο στατικός ηλεκτρισμός λαμβάνει χώρα με την ίδια αρχή όπως οι ηλεκτρικοί σπινθήρες, αλλά η φόρτιση στα σωματίδια συνήθως προέρχεται από μηχανική τριβή και επηρεάζει όχι μόνο στερεά αλλά και κινούμενα ρευστά.
5. Ηλεκτρική φόρτωση που δημιουργείται από την ενεργοποίηση διαφόρων ειδών εξοπλισμού, όπως συμπιεστές, γεννήτριες, οχήματα και λοιπά συστήματα. Το ηλεκτρικό ρεύμα που απαιτείται από τις μηχανές, είτε αυτό προέρχεται απευθείας από γεννήτριες.

5.1.2. Θερμικές Πηγές Ανάφλεξης

Οι κυριότερες θερμικές πηγές ανάφλεξης παρατίθενται παρακάτω

1. Θερμές επιφάνειες (π.χ., συστήματα θέρμανσης, κλίβανοι, Ή αύξηση θερμοκρασίας εξαρτημάτων εξοπλισμού λόγω των λειτουργικών διαδικασιών.
2. Πηγές ανοιχτής φλόγας. Πηγές φλόγας από εστίες πυρκαγιάς ή διαδικασίες καύσης, ή εργασίες συντήρησης
3. Εκτοξεύσεις καιόμενων υλικών μετά από ανάφλεξη διαρροών υδρογονανθράκων υπό πίεση. Πρόκειται για φλόγες που παράγονται από τη συνεχή καύση καυσίμων, εκτοξευόμενες με σημαντική δύναμη προς μία ή περισσότερες κατευθύνσεις λόγω συγκεκριμένων διεργασιών.
4. Εκπομπές αερίων (π.χ, κινητήρες εσωτερικής καύσης). Εκπομπές από οχήματα και καμινάδες συστημάτων καύσης παράγουν υψηλές θερμοκρασίες.
5. Εκρηκτικά μίγματα. Εκρήξεις από υλικά που μπορούν να παράγουν υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις.
6. Αντιδράσεις από χημικά δραστικά υλικά (πυροφορικά υλικά).

5.1.3. Μηχανικές Πηγές Ανάφλεξης:

1. Σπινθήρες από μηχανικές ενέργειες (όπως από γρήγορο κλείσιμο βαλβίδων): Προέρχονται από την τριβή ή την αλληλεπίδραση των εξαρτημάτων.
2. Κρούση και τριβή μηχανικής φύσης: Αυτά τα φαινόμενα αποτελούν αιτίες για την παραγωγή σπινθήρων.
3. Σπάσιμο μετάλλων: Είναι δυνατόν να παραχθούν σπινθήρες ή θερμική ενέργεια.
4. Δονήσεις και συνεχείς κινήσεις κάμψης, μπορούν επίσης να προκαλέσουν σπινθήρες ή θερμική ενέργεια. (Ηλίας Κούκας, 2019)

5.2. Αιτίες Διαρροής

Η ανάλυση των διαρροών στις δεξαμενές υγρών καυσίμων στοχεύει στην κατανόηση των βασικών αιτιών και των πιθανών συνεπειών τους στο περιβάλλον, την ασφάλεια των εργαζομένων και της εγκατάστασης. Παρακάτω αναφέρονται οι κύριες αιτίες παράγοντες διαρροής στις δεξαμενές υγρών καυσίμων:

1. Αστοχία δεξαμενής (π.χ. λόγω διάτρησης στον πυθμένα εξαιτίας διάβρωσης) .
2. Υπερχειλίση δεξαμενής εξαιτίας εσφαλμένων υπολογισμών της χωρητικότητας, ή ελέγχου πλήρωσης ή λανθασμένη επιλογή δεξαμενής που προκαλεί υπερχειλίση.
3. Σφάλμα του χειριστή.
4. Αστοχία του υλικού λόγω διάβρωσης ή κατασκευαστικού ελαττώματος.
5. Ζημιά στη δεξαμενή από εξωτερική πίεση (π.χ. πρόσκρουση αντικειμένων κατά τη διάρκεια εργασιών συντήρησης πχ μεταφερόμενα φορτία από γεραμούς).
6. Καταστροφή από σοβαρά φυσικά φαινόμενα (π.χ. σεισμός).
7. Βλάβη στο αυτόματο σύστημα μέτρησης στάθμης.
8. Ρήγμα λόγω υπερπίεσης στις σωληνώσεις κατά την παραλαβή.
9. Πρόβλημα στεγανότητας σε βάνες ή σε μόνιμες φλάντζες λόγω κατασκευαστικών ελλείψεων ή αυξημένης πίεσης.

10. Ανεπαρκής λειτουργία των ασφαλιστικών βαλβίδων στις γραμμές παραλαβής / παράδοσης.
11. Αύξηση της πίεσης σωληνογραμμής δεξαμενής εξαιτίας του απότομου κλεισίματος της βάνας σε κύκλωμα κατάθλιψης αντλίας (υδραυλικό πλήγμα).

Μια διαρροή από μια δεξαμενή καυσίμων μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα σοβαρές συνέπειες, όπως η απώλεια ανθρώπινων ζωών, περιβαλλοντική ρύπανση και οικονομικές ζημιές, επισημαίνοντας την αναγκαιότητα για μια ολοκληρωμένη μέθοδο αξιολόγησης και αναγνώρισης επικινδυνότητας για τον εντοπισμό των πηγών κινδύνου που θα εντοπίζει τις πιθανές απειλές προτού αυτές εκδηλωθούν. (Ikwan F, Sanders D and Hassan M, 2021).

6. Μεθοδολογίες Αναγνώρισης Επικινδυνότητας

Σημαντικά ατυχήματα σε χημικές βιομηχανικές μονάδες, πυρηνικές και σε εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, δημιούργησαν την ανάγκη για συστηματική προσέγγιση και καθορισμό των κινδύνων που συνδέονται με την ανάπτυξη και την λειτουργία σύνθετων τεχνολογικών συστημάτων γενικά, και των βιομηχανικών εγκαταστάσεων ειδικότερα. Ως αποτέλεσμα, αναπτύχθηκε μια σειρά μεθοδολογιών που επικεντρώνονται στην αναγνώριση των κυριότερων συνιστωσών της επικινδυνότητας και στην ανάπτυξη δεικτών για την γρήγορη εκτίμησή της, ώστε να αναπτυχθεί ένα πλαίσιο για την υποστήριξη αποφάσεων που στοχεύουν στη ελαχιστοποίηση της.

Η ανάλυση και εκτίμηση της επικινδυνότητας πρέπει γενικά να περιλαμβάνει:

1. Τον εντοπισμό των πηγών κινδύνου.
2. Την ανάπτυξη πιθανών σεναρίων περιστατικών Την εκτίμηση των συνεπειών στην υγεία και ασφάλεια των ανθρώπων, στο περιβάλλον,.(Γεωργιάδου Σ,2011).

Παρακάτω γίνεται ανάλυση και σύγκριση σε μερικές από τις σημαντικότερες μεθοδολογίες αναγνώρισης κινδύνου που χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία πετρελαίου.

6.1.Λίστες Ελέγχου (Checklists)

Οι λίστες ελέγχου αποτελούν οργανωμένες καταγραφές των κινδύνων που έχουν εντοπιστεί σε συγκεκριμένες εργασίες και των αντίστοιχων μέτρων ασφάλειας. Αυτές χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της πληρότητας των μέτρων πρόληψης που εφαρμόζονται σε μια δεδομένη εργασία. Η χρήση τους διευκολύνει:

- Την άμεση εντόπιση των παρόντων κινδύνων μίας διεργασίας.
- Την αξιολόγηση της σοβαρότητας των κινδύνων.
- Την επιβεβαίωση της υλοποίησης απαραίτητων μέτρων ασφαλείας για όλους τους κινδύνους.

Ωστόσο, επειδή πρόκειται για μια ποιοτική προσέγγιση, μπορεί να μην προσφέρει πάντα ξεκάθαρη ιεράρχηση στην εφαρμογή των μέτρων ασφαλείας σε ορισμένες καταστάσεις.

6.2.Ανάλυση «Τι Θα Συμβεί Αν..» («What If.. » Analysis)

Η ανάλυση "Τι θα συμβεί αν" (What if analysis) εξετάζει τις δυνητικά αρνητικές επιδράσεις που ενδέχεται να προκύψουν από τις αποκλίσεις της συνήθους λειτουργίας, όπως είναι η παραγωγή ή η αποθήκευση, σε μια διεργασία ή εγκατάσταση. Αν και αυτή η μέθοδος μπορεί να μην έχει τη δομημένη προσέγγιση άλλων μεθόδων ανάλυσης κινδύνου όπως η HAZOP ή η FMECA, διακρίνεται για την απλότητα και την ευελιξία της, καθιστώντας την εφαρμόσιμη και αποδοτική σε μια ευρεία γκάμα διεργασιών με εντυπωσιακά αποτελέσματα.

Ο προσδιορισμός των αποκλίσεων βασίζεται στην ερώτηση "Τι θα συμβεί εάν" , κάποιο λειτουργικό στοιχείο μιας διεργασίας/εγκατάστασης δεν λειτουργήσει με τον προβλεπόμενο κατά τον σχεδιασμό του τρόπο.

Εφαρμόζεται για όλα τα στοιχεία που συνθέτουν μια διεργασία/εγκατάσταση και ακόμη για τις διαδικασίες που διέπουν την λειτουργία τους.

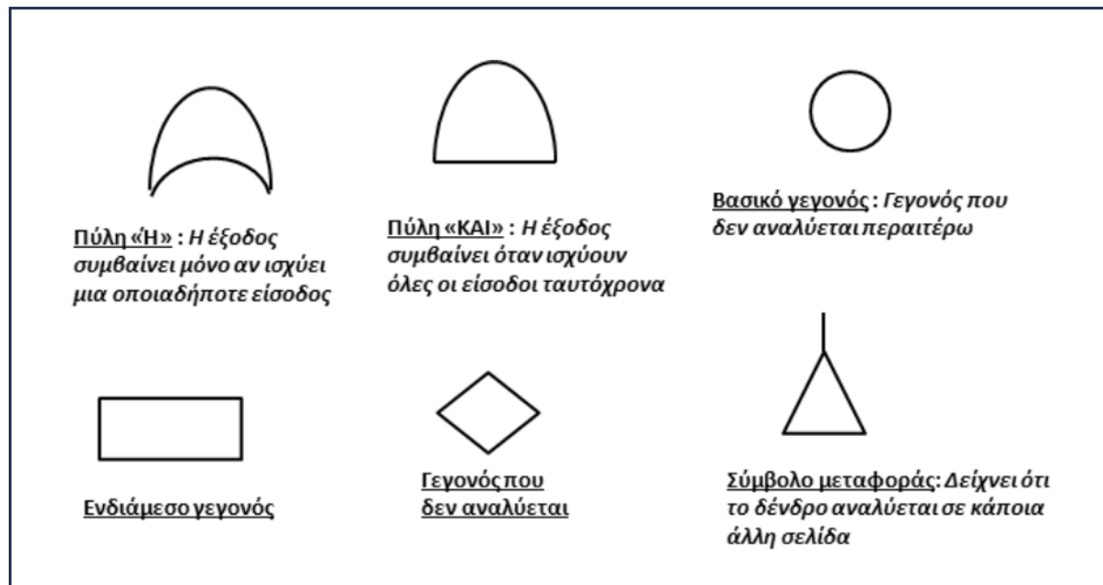
Μία ενδεικτική φόρμα τής What if analysis παρουσιάζεται στον παρακάτω Πίνακα 13.

| ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ: ΜΟΝΑΔΑ : ΣΧΕΔΙΑ : ΕΡΓΟ : | | | ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΕΣ : | | |
|-----------------------------------------------|------------------------------|---------------------|----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| A/A | ΤΙ ΘΑ ΣΥΜΒΕΙ ΑΝ ? WHAT IF | ΚΙΝΔΥΝΟΙ HAZARDS | ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ CONSEQUENCES | ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ SAFEGUARDS | ΕΙΣΗΓΗΣΕΙΣ RECOMMENDATIONS |
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| 4 | | | | | |
| 5 | | | | | |

Πίνακας 13: Παράδειγμα Πίνακα What if analysis

6.3.Ανάλυση δένδρων σφαλμάτων (FTA)

Τα Δένδρα Σφαλμάτων (FT) αναπαριστούν με διάγραμμα λογικής σχεδίασης τους διάφορους τρόπους μέσω των οποίων ενδέχεται να συμβεί ένα κορυφαίο συμβάν. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί επαγωγική σκέψη, αναλύοντας αντίστροφα τα αίτια που οδηγούν σε έναν τέτοιο κορυφαίο συμβάν. Οι διάφορες αιτίες συνδέονται με το κορυφαίο συμβάν μέσω λογικών συνδέσμων, με τους πιο κοινούς να είναι οι «Ή» (OR) και «ΚΑΙ» (AND). Στη σύνδεση «ΚΑΙ», όλες οι εισροές πρέπει να πραγματοποιηθούν για να προκύψει το αποτέλεσμα, ενώ στη «Ή», μία είσοδος αρκεί για την εκδήλωση του αποτελέσματος. Το ακόλουθο Σχήμα 11 περιλαμβάνει τα βασικά σύμβολα που εμφανίζονται στα Δένδρα Σφαλμάτων. Χρησιμοποιώντας αυτές τις λογικές πύλες, η μέθοδος αυτή αναλύει το κρίσιμο συμβάν σε απλούστερα γεγονότα, μέχρι να φτάσει σε ένα επίπεδο για το οποίο υπάρχουν συγκεκριμένα δεδομένα. Τα Δένδρα Σφαλμάτων αποτελούν μια ποσοτική μέθοδο αξιολόγησης κινδύνου και παράλληλα προσφέρουν σημαντικές πληροφορίες ποιοτικού χαρακτήρα σχετικά με τη διαδικασία αποτυχίας ενός σύνθετου συστήματος.



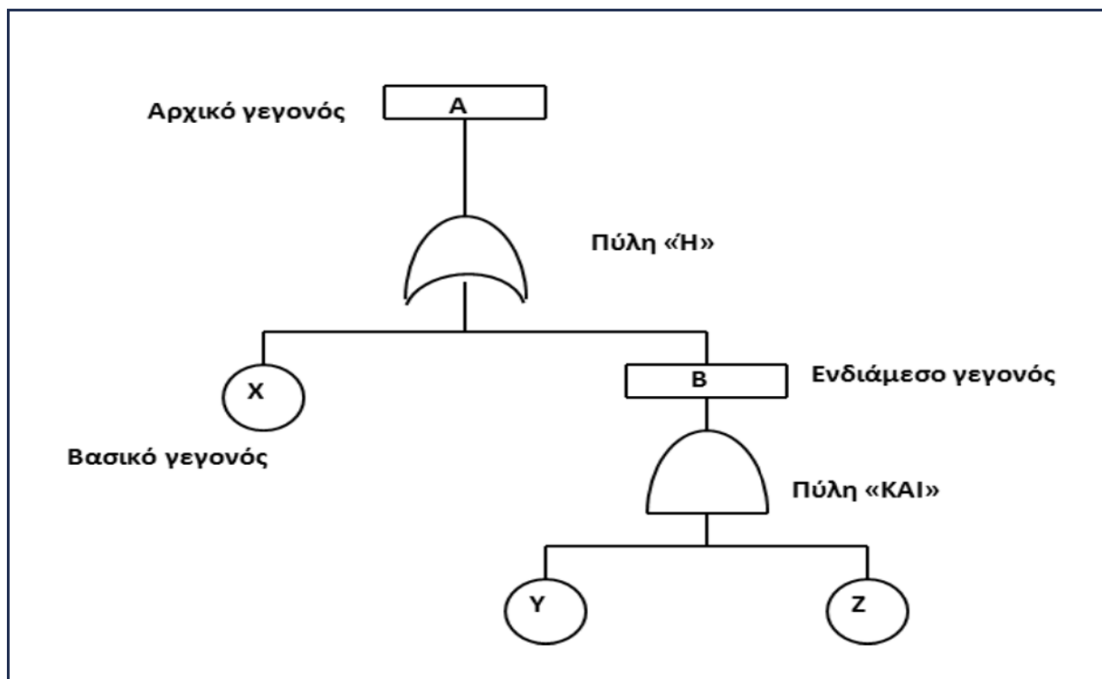
Σχήμα 10: Σύμβολα που χρησιμοποιούνται στην FTA

Η διαδικασία ανάλυσης ενός Δένδρου Σφαλμάτων ξεκινά με την επιλογή ενός κορυφαίου συμβάντος προς ανάλυση και την ταυτοποίηση των πιθανών αιτιών που μπορεί να το προκαλέσουν, προχωρώντας μέσω της λογικής σύνδεσης των αιτιών. Ο αναλυτής θέτει ερωτήματα όπως «Πώς μπορεί να συμβεί αυτό;» ή «Ποιες είναι οι δυνατές αιτίες;», αντιστρέφοντας τη διαδικασία από το κρίσιμο συμβάν μέχρι την ανακάλυψη των βασικών αιτιών, τα λεγόμενα «βασικά γεγονότα». Αυτή η αντίστροφη διερεύνηση συνεχίζεται μέχρι να φτάσει σε σημείο για τα οποία υπάρχουν συγκεκριμένα δεδομένα και δεν χρειάζεται περαιτέρω ανάλυση.

Εξετάζοντας αναλυτικά ένα Δένδρο Σφαλμάτων, παρέχονται σημαντικές πληροφορίες για τους πιθανούς μηχανισμούς αποτυχίας ενός συστήματος και την λογική της δομής του. Με αυτόν τον τρόπο δύναται να αποκαλυφθούν πιθανές αδυναμίες στο σχεδιασμό. Η μέθοδος αναδεικνύει όλους τους δυνατούς και αναγκαίους συνδυασμούς που οδηγούν στο κύριο συμβάν (top event), επιτρέποντας μια συνολική προσέγγιση στην ανάλυση κινδύνων. Η διαδικασία ανάλυσης των βασικών συνδυασμών, γνωστή ως Ανάλυση Θεμελιωδών Ομάδων Διαχωρισμού, αποκαλύπτει τις διάφορες περιπτώσεις συνδυασμών αρχικών γεγονότων που μπορεί να προκαλέσουν το κορυφαίο

συμβάν. Ακολουθεί η ποσοτικοποίηση του κινδύνου, εκτιμώντας την πιθανότητα εκδήλωσης του ανεπιθύμητου γεγονότος, βασιζόμενη στην πληροφορία που προκύπτει από την ανάλυση των βασικών συνδυασμών. Η εκτίμηση αυτή βασίζεται στα δεδομένα που έχουν συλλεγεί για κάθε ένα από τα βασικά γεγονότα και στον τρόπο με τον οποίο αυτά συνδυάζονται για να προκαλέσουν το κύριο συμβάν. Η διαδικασία αυτή απαιτεί τη χρήση ειδικού λογισμικού και ποσοτικών μεθόδων ανάλυσης για την ακριβή υπολογιστική επεξεργασία των πιθανοτήτων και των συνεπειών των διάφορων σεναρίων.

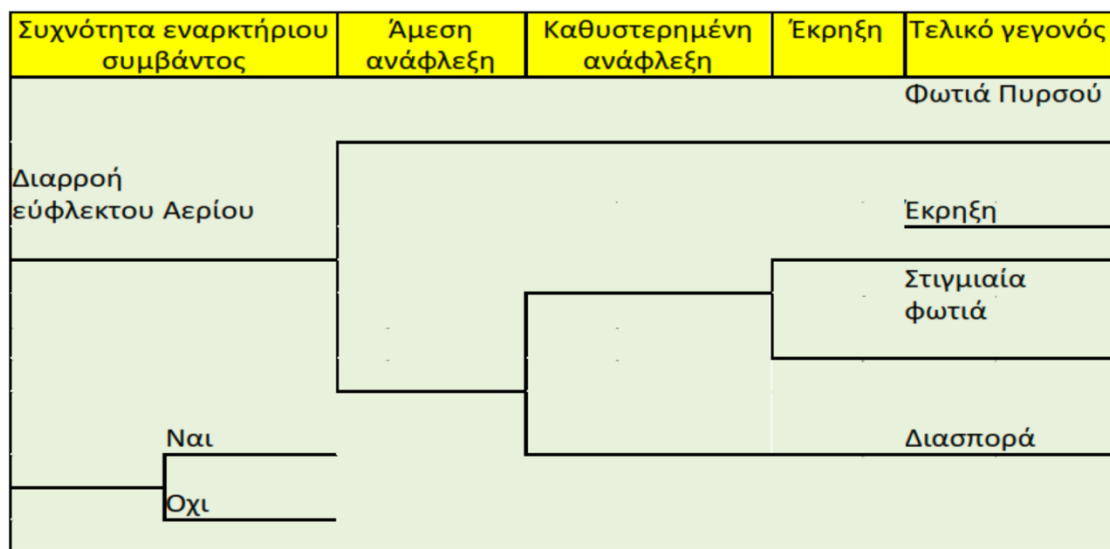
Η ολοκληρωμένη ανάλυση Δένδρου Σφαλμάτων επιτρέπει στους εμπλεκόμενους να αντιληφθούν πλήρως την πολυπλοκότητα και τις πιθανές αδυναμίες ενός συστήματος ή διεργασίας. Μέσω αυτής της προσέγγισης, είναι δυνατόν να αναγνωριστούν και να προληφθούν πιθανές αποτυχίες πριν αυτές συμβούν, βελτιώνοντας έτσι την ασφάλεια και την αξιοπιστία των εγκαταστάσεων και των διεργασιών. Επιπλέον, η διαδικασία αυτή ενισχύει την κατανόηση του προσωπικού σχετικά με τις δυνατές συνέπειες σφαλμάτων ή ατυχημάτων, διευκολύνοντας την εφαρμογή αποτελεσματικών στρατηγικών διαχείρισης κινδύνου. (Γεωργιάδου, 2011)



Σχήμα 11: Παράδειγμα FTA

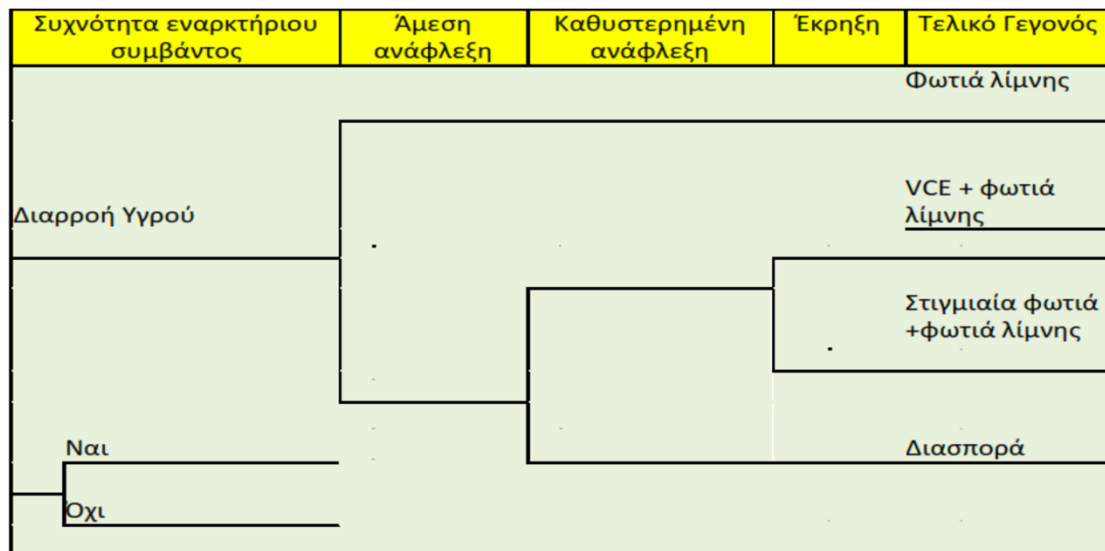
6.4. Event Tree Analysis (ETA)

Η μεθοδολογία δένδρων γεγονότων (ETA) απεικονίζει μέσω γραφήματος όλες τα πιθανά συμβάντα (τελικά γεγονότα) που προκύπτουν από ένα αρχικό συμβάν, το οποίο αντιμετωπίζεται ως γεγονός εκκίνησης βάσει της διαδικασίας αναγνώρισης κινδύνων. Αυτή η απεικόνιση έχει τη μορφή ενός δένδρου. Για παράδειγμα, στο Σχήμα 13 φαίνεται ένα δένδρο γεγονότων για την περίπτωση διαρροής εύφλεκτου αερίου (Λεωνίδας Κ. Αμοιράς, 2020)



Σχήμα 12: ETA Διαρροής Εύφλεκτου Αερίου

Επιπλέον, στο Σχήμα 14 παρουσιάζεται ένα δένδρο γεγονότων για τη διαρροή εύφλεκτου υγρού (Λεωνίδας Κ. Αμοιράς, 2020).



Σχήμα 13: ETA Διαρροής Εύφλεκτου Υγρού

Η μεθοδολογία αποτελείται από τα ακόλουθα βήματα :

1. Αναγνώριση και καθορισμός του αρχικού γεγονότος που θα οδηγήσει στην εκδήλωση συμβάντων με σημαντικές επιπτώσεις (initial event identification).
2. Αναγνώριση των υφιστάμενων μέτρων προστασίας (barriers) από την εκδήλωση του συμβάντος.
3. Αναγνώριση και περιγραφή της πιθανής αλληλουχίας γεγονότων και ανάπτυξη του δέντρου αλληλουχίας γεγονότων
4. Εκτίμηση της συχνότητας του αρχικού γεγονότος, της πιθανότητας αστοχίας των υφιστάμενων μέτρων προστασίας.
5. Υπολογισμός των πιθανοτήτων εκδήλωσης των συμβάντων με τις σοβαρές επιπτώσεις.
6. Εκτίμηση των επιπτώσεων των συμβάντων.
7. Υπολογισμός της επικινδυνότητας (από το γινόμενο πιθανότητας εκδήλωσης και επιπτώσεων συμβάντος).
8. Ανάλυση των αποτελεσμάτων, για αξιολόγηση των υφιστάμενων μέτρων προστασίας και ιεράρχηση των συμβάντων με την μεγαλύτερη συχνότητα.

Τα μέτρα προστασίας (barriers) που σχετίζονται με το περιστατικό θα πρέπει να περιλαμβάνονται στην ανάλυση με τη σειρά με την οποία θα ενεργοποιηθούν.

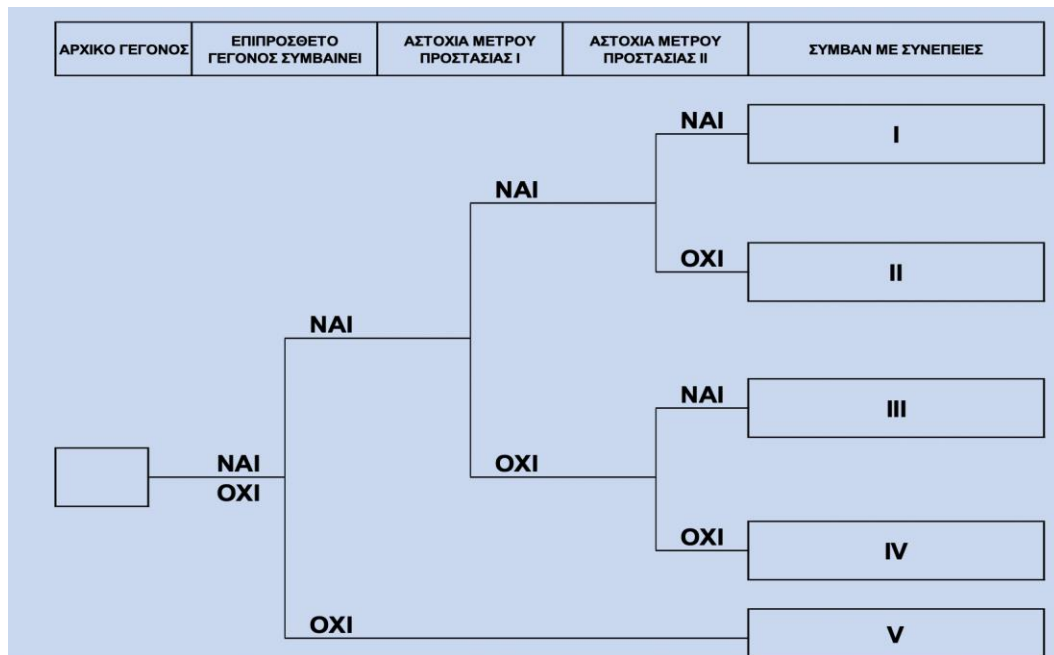
Παραδείγματα μέτρων

- Αυτόματα συστήματα ανίχνευσης αερίων, φωτιάς, καπνού
- Αυτόματα συστήματα απομόνωσης εξοπλισμού
- Αυτόματα συστήματα πυρασφάλειας
- Alarms προειδοποίησης προσωπικού λειτουργίας.

Το κάθε μέτρο προστασίας καλό θα είναι να περιγράφεται με αρνητικό περιεχόμενο, για παράδειγμα «αστοχία του συστήματος πυροπροστασίας», ή «το σύστημα πυρανίχνευσής ΔΕΝ λειτούργησε».

Το ίδιο ισχύει και τα επιπρόσθετα γεγονότα που μπορεί να περιγράψουν στα πλαίσια του ίδιου δέντρου και συνεισφέρουν στις επιπτώσεις, όπως για παράδειγμα «ανάφλεξη διαρροής».

Με τον τρόπο αυτό η απάντηση ΝΑΙ σε κάθε διακλάδωση του «δέντρου» οδηγεί σε ένα συμβάν με δυσμενέστερες συνέπειες και τα συμβάντα που περιγράφονται δεξιά του δένδρου είναι στην ουσία ταξινομημένα από πλευράς συνεπειών.



Σχήμα 14: Παράδειγμα ETA

Εκτός των μέτρων προστασίας στο δέντρο περιγράφονται και επιπρόσθετα γεγονότα που περιλαμβάνονται στην αλληλουχία και συνεισφέρουν στις είδος και τις συνέπειες των τελικών γεγονότων.

Για παράδειγμα σε όλα τα δέντρα αλληλουχίας γεγονότων που σχετίζονται με εκτίμηση επιπτώσεων και έχει ως αρχικό συμβάν μία διαρροή. Πάντα το επιπρόσθετο γεγονός που εξετάζεται είναι η ανάφλεξη της διαρροής και μάλιστα σε δύο χρονικά επίπεδα :

Το πρώτο είναι η άμεση ανάφλεξη και το 2ο η καθυστερημένη ανάφλεξη. Οι επιπτώσεις των συμβάντων για μία διαρροή αερίου είναι πολύ διαφορετικές.

Τα μειονεκτήματα μιας ETA είναι τα ακόλουθα

- Δεν υπάρχει κάποιο «πρότυπο» που είναι αποδεκτό από όλους για γραφική αναπαράσταση του δέντρου αλληλουχίας γεγονότων. Συνήθως υπάρχουν κάποια που προτείνονται εμμέσως από διάφορους οργανισμούς (API, HSE).
- Ένα αρχικό γεγονός μπορεί να αναλυθεί κάθε φορά.

- Δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για περιπτώσεις που η αστοχίες είναι αποτέλεσμα ενός κοινού παράγοντα (common cause failure) για παράδειγμα απώλεια ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να επηρεάσει περισσότερα του ενός μέτρα/συστήματα προστασίας.

Τα βασικά πλεονεκτήματα της μεθόδους είναι ότι

- Είναι απλή και γρήγορη μέθοδος που δεν απαιτεί τη χρήση εξειδικευμένου λογισμικού, με την οποία εύκολα μπορεί να προσομοιωθεί η αλληλουχία γεγονότων που οδήγησαν σε κάποιο συμβάν με συγκεκριμένες επιπτώσεις και να εκτιμηθούν οι πιθανότητες εκδήλωσής του.
- Είναι δυνατό να εξεταστεί γρήγορα η επίπτωση που έχει η λειτουργία των μέτρων/συστημάτων προστασίας στις συνέπειες του αρχικού περιστατικού και η σημασία που έχει η αξιοπιστίας τους .

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν για :

1. Επιβεβαίωση της επικινδυνότητας της διεργασίας και σύγκριση με συγκεκριμένα κριτήρια για την αποδοχή ή μη.
2. Αναγνώριση τομέων της διεργασίας που απαιτούνται βελτιώσεις.
3. Εισήγηση βελτιωτικών μέτρων για τη μείωση της επικινδυνότητας.
4. Λήψη αποφάσεων για την κατανομή διαθέσιμων πόρων για την μείωση της επικινδυνότητας μίας διεργασίας. (Δρ. Τσολάκης, 2019)

6.5.Ανάλυση Bowtie (παπιγιόν)

Η μέθοδος Bowtie αναπτύσσεται μέσω της ενοποίησης της Ανάλυσης Δέντρου Εκδήλωσης (ETA) και της Ανάλυσης Δέντρου Ατυχήματος (FTA) για την εξέταση των αιτιών και των επιπτώσεων ενός κινδύνου σε ένα δεδομένο περιβάλλον ή σύστημα. Αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για την εκτίμηση και

διαχείριση κινδύνων. Επίσης γνωστή ως ανάλυση αιτίας-επίδρασης (CCA), η μέθοδος Bowtie στοχεύει στον εντοπισμό αλληλουχίας γεγονότων που μπορεί να οδηγήσουν σε ανεπιθύμητες εκβάσεις. Εφαρμόζεται κυρίως στα στάδια αναγνώρισης κινδύνου, εκτίμησης κινδύνου και αναλυτικής εξέτασης.

Η διαδικασία ξεκινά με την επιλογή ενός κρίσιμου γεγονότος και καταλήγει στη λεπτομερή εξέταση πιθανών αλληλουχιών γεγονότων και των ελάχιστων συνόλων αιτιών που οδηγούν σε αυτό. Αυτή η τεκμηρίωση αστοχίας ενός συστήματος παρέχει έναν ολοκληρωμένο οδηγό για την εντοπισμό των κινδύνων (μέσω FTA) και των πιθανών επιπτώσεων τους (μέσω ETA). Η ευελιξία και η δυνατότητα παροχής σαφούς εικόνας των κινδύνων και των επιπτώσεων τους καθιστούν την ανάλυση Bowtie ένα πολύτιμο εργαλείο στη διαδικασία διαχείρισης κινδύνων (M.Abubakar, 2015).

6.6.Ανάλυση Αξιολόγησης Κινδύνου (HAZOP)

Η διαδικασία Αξιολόγησης Κινδύνου και Λειτουργικότητας (HAZOP) ανήκει στις λεπτομερέστερες μεθόδους αναγνώρισης κινδύνου και χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση των κινδύνων σε ναυτιλιακά και σε συστήματα εξόρυξης πετρελαίου και φυσικού αερίου και σε μονάδες διύλισης αργού πετρελαίου και πετροχημικών. Αποτελεί μία επαγωγική τεχνική που επεκτείνει την τεχνική Ανάλυσης Αποτυχίας, Αναγνώρισης Επιπτώσεων και Κριτικής Αξιολόγησης (FMECA), εφαρμόζεται από έμπειρες ομάδες προσωπικού εγκαταστάσεων για τον εντοπισμό πιθανών κινδύνων και ζητημάτων λειτουργικότητας εντός των συστημάτων. Η τεχνική αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την ποιοτική ανάλυση στα ενδιάμεσα στάδια του σχεδιασμού για την ανίχνευση πιθανών κινδύνων.

Εξετάζει λεπτομερώς τα στοιχεία ενός συστήματος για να καθορίσει τις συνέπειες της λειτουργίας τους πέρα από τις προβλεπόμενες σχεδιαστικές και λειτουργικές συνθήκες, υπό την καθοδήγηση μιας ειδικευμένης ομάδας ανάλυσης κινδύνων. Κάθε στοιχείο αξιολογείται βάσει συγκεκριμένων λειτουργικών παραμέτρων όπως η πίεση, η ροή, η θερμοκρασία, κλπ. Η

διαδικασία HAZOP απαιτεί λεπτομερή περιγραφή του συστήματος και ολοκληρωμένη κατανόηση των συνθηκών λειτουργίας του.

Η διαδικασία της μελέτης HAZOP περιλαμβάνει:

- Ορισμό του πεδίου εφαρμογής της μελέτης για εστίαση στις πιο κρίσιμες περιοχές.
- Σύσταση μιας κατάλληλης ομάδας που περιλαμβάνει ειδικούς από διάφορους τομείς.
- Συλλογή απαραίτητων δεδομένων και πληροφοριών για την ακριβή κατανόηση της διεργασίας και του συστήματος.
- Ανάλυση της κανονικής λειτουργίας και πιθανών αποκλίσεων που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε κίνδυνο.
- Διαίρεση της διαδικασίας σε ελεγχόμενες υπο-ενότητες για αποδοτικότερη ανάλυση.
- Εκτέλεση λεπτομερούς ανάλυσης επιπτώσεων αποκλίσεων από κανονικές λειτουργικές συνθήκες με χρήση συγκεκριμένων ερωτημάτων και σεναρίων που εξετάζουν πιθανές αποκλίσεις.
- Καταγραφή και τεκμηρίωση όλων των βημάτων της ανάλυσης και των ευρημάτων.
- Ακολουθία διαδικασιών για την εφαρμογή και την παρακολούθηση των συστάσεων που προκύπτουν από την ανάλυση.

Η μέθοδος HAZOP αποτελεί ένα πολύτιμο εργαλείο για την προσδιορισμό και την αντιμετώπιση πιθανών κινδύνων στα πρώιμα στάδια του σχεδιασμού και της λειτουργίας ενός συστήματος, διασφαλίζοντας την ασφάλεια και την αποδοτικότητα των διεργασιών.

6.7. Risk Matrix (Πίνακας Κινδύνου)

Ο πίνακας ανάλυσης κινδύνων αποτελεί μια μέθοδο αξιολόγησης κινδύνου που επιτρέπει την ποιοτική κατάταξη κινδύνων, χωρίς την ανάγκη για ακριβείς

ποσοστιαίες τιμές συχνότητας ενός περιστατικού ή αστοχίας. Αυτή η μέθοδος παρέχει τη δυνατότητα για γρήγορη ποιοτική αξιολόγηση κινδύνων σε οποιοδήποτε στάδιο εξέτασης ενός συστήματος και χρησιμοποιείται ως προκαταρκτικό εργαλείο για την αναγνώριση αυξημένων κινδύνων που απαιτούν λεπτομερέστερη ανάλυση με πιο εξειδικευμένες μεθόδους. Προσφέρει μια διαδικασία επισκόπησης και προτεραιοποίησης των κινδύνων, υποστηρίζοντας την ομάδα ανάλυσης να εστιάσει στις πιο σημαντικές περιπτώσεις κινδύνου. Η μέθοδος αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την αρχική φάση της εκτίμησης κινδύνου, προσφέροντας μία γρήγορη επισκόπηση και ιεράρχηση των κινδύνων σε ένα σύστημα. Ο πίνακας κινδύνου (Πίνακας 13) αποτελείται από μια στήλη πιθανότητας αστοχίας και μια στήλη συνεπειών, με την τελική εκτίμηση κινδύνου να προκύπτει από το γινόμενο αυτών των δύο παραγόντων, παρέχοντας μια βάση για την αξιολόγηση και προτεραιοποίηση των κινδύνων στο σύστημα.

| ΕΠΙΠΕΔΑ ΣΟΒΑΡΟΤΗΤΑΣ | ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΣΟΒΑΡΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ/ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ/ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ | | | | ΕΠΙΠΕΔΑ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ | | | |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|----------------------|----------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| | | | | | ΕΧΕΙ ΣΥΜΒΕΙ ΣΤΗΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ (ΕΡΕΥΝΑΣ & ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ) | ΕΧΕΙ ΣΥΜΒΕΙ ΣΤΗΝ ΕΤΑΙΡΕΙΑ | ΕΧΕΙ ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΕΣ ΑΠΟ ΜΙΑ ΦΟΡΑ ΤΟ ΕΤΟΣ ΣΤΗΝ ΕΤΑΙΡΕΙΑ | ΕΧΕΙ ΣΥΜΒΕΙ ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΕΣ ΑΠΟ ΜΙΑ ΦΟΡΑ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΣΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ |
| | ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ | ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ | ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ | ΦΗΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ | A | B | C | D |
| 0 | ΚΑΝΕΝΑΣ ΤΡΑΥΜΑΤΙΣΜΟΣ | ΚΑΜΜΙΑ ΖΗΜΙΑ | ΚΑΜΜΙΑ ΕΠΙΠΤΩΣΗ | ΚΑΜΜΙΑ ΕΠΙΠΤΩΣΗ | | | | |
| 1 | ΕΛΑΦΡΥΣ ΤΡΑΥΜΑΤΙΣΜΟΣ | ΕΛΑΦΡΙΑ ΖΗΜΙΑ | ΕΛΑΦΡΙΑ ΕΠΙΠΤΩΣΗ | ΕΛΑΦΡΙΑ ΕΠΙΠΤΩΣΗ | ΧΑΜΗΛΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ - ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΤΡΩΝ ΓΙΑ ΣΥΝΕΧΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗ | | | |
| 2 | ΜΕΤΡΙΟΣ ΤΡΑΥΜΑΤΙΣΜΟΣ | ΜΕΤΡΙΑ ΖΗΜΙΑ | ΤΟΠΙΚΗ ΕΠΙΠΤΩΣΗ | ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΗ ΕΠΙΠΤΩΣΗ | | | | |
| 3 | ΣΟΒΑΡΟΣ ΤΡΑΥΜΑΤΙΣΜΟΣ | ΤΟΠΙΚΗ ΖΗΜΙΑ | ΣΟΒΑΡΗ ΕΠΙΠΤΩΣΗ | ΣΗΜΑΝΤΙΚΗ ΕΠΙΠΤΩΣΗ | | | | |
| 4 | ΕΝΑΣ ΘΑΝΑΣΙΜΟΣ ΤΡΑΥΜΑΤΙΣΜΟΣ | ΠΟΛΥ ΣΟΒΑΡΗ ΣΟΒΑΡΗ ΖΗΜΙΑ | ΠΟΛΥ ΣΟΒΑΡΗ ΕΠΙΠΤΩΣΗ | ΕΠΙΠΤΩΣΗ ΣΕ ΕΘΝΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ | | | | |
| 5 | ΠΟΛΛΟΙ ΘΑΝΑΣΙΜΟΙ ΤΡΑΥΜΑΤΙΣΜΟΙ | ΕΚΤΕΤΑΜΕΝΗ ΖΗΜΙΑ | ΜΑΖΙΚΗ ΕΠΙΠΤΩΣΗ | ΔΙΕΘΝΕΣ ΕΠΕΙΣΟΔΙΟ | | | | |

Πίνακας 14: Παράδειγμα Πίνακα κινδύνου

Τα διαφορετικά χρώματα στον παραπάνω πίνακα επισημαίνουν και τα διαφορετικά επίπεδα επικινδυνότητας (ρίσκου) και καθορίζουν την αμεσότητα λήψης μέτρων για την μείωση ή εξάλειψη της επικινδυνότητας.

6.8. Δείκτης DOW F&EI

Ο δείκτης DOW F&EI παρουσιάστηκε για πρώτη φορά το 1964, αναπτύχθηκε σε ένα εκτενές σύστημα αξιολόγησης που ποσοτικοποιεί τον κίνδυνο συμβάντων σε διεργασίες ή συγκεκριμένα μέρη διεργασιών, ενώ παράλληλα εκτιμά τις οικονομικές συνέπειες (κόστος απώλειας εξοπλισμού και διακοπής παραγωγής) από πυρκαγιές ή εκρήξεις. Επιπρόσθετα, λειτουργεί ως κατευθυντήριο οδηγός για την αναγνώριση και εφαρμογή μέτρων προστασίας, βοηθώντας στην κατάταξη της σημαντικότητας των μέτρων αυτών στα διάφορα τμήματα μιας διεργασίας.

Οι σκοποί της μεθοδολογίας DOW F&EI περιλαμβάνουν μια συστηματική και αντικειμενική αξιολόγηση των πιθανών συνεπειών από πυρκαγιές ή εκρήξεις στις διεργασίες, με βάση ιστορικά δεδομένα και παράγοντες που μειώνουν την επικινδυνότητα. Η μεθοδολογία αυτή έχει ευρεία αναγνώριση και χρησιμοποιείται για την εκτίμηση κινδύνων σε διεθνές επίπεδο.

Η μεθοδολογία αυτή στοχεύει στο:

1. Να καθορίσει με ακρίβεια τον προβλεπόμενο αντίκτυπο από πιθανά ατυχήματα πυρκαγιάς ή έκρηξης με βάση ρεαλιστικές παραμέτρους.
2. Να εντοπίσει τα στοιχεία εξοπλισμού που ενδεχομένως θα είχαν τη μεγαλύτερη συνεισφορά στην πρόκληση ή επιδείνωση ενός περιστατικού.
3. Να μεταφέρει στη διεύθυνση ενός οργανισμού τον κίνδυνο που συνεπάγεται η λειτουργία μιας μονάδας, ώστε να εξασφαλιστούν οι απαραίτητες δράσεις προστασίας και αντιμετώπισης των κινδύνων από πυρκαγιά και έκρηξη.

(American Institute of Chemical Engineers, 1994).

6.8.1. Μεθοδολογία Υπολογισμού Του Δείκτη DOW F&EI

Για τη διεξαγωγή μιας ανάλυσης F&EI και την αξιολόγηση των κινδύνων, η ομάδα εργασίας θα πρέπει να έχει τα εξής:

1. Ένα πλήρες διάγραμμα ροής της διεργασίας που να περιλαμβάνει λεπτομέρειες όπως οι συνθήκες λειτουργίας, τα συστατικά των ρευμάτων, και το βασικό σύστημα ελέγχου.
2. Μία λεπτομερής κάτοψη (plot plan) της εγκατάστασης με τον εξοπλισμό της διεργασίας, που να δείχνει τις αποστάσεις μεταξύ των συστημάτων εξοπλισμού και τα σχετικά μεταξύ τους και με άλλες μονάδες.
3. Μια αναλυτική περιγραφή της διεργασίας και κύρια χαρακτηριστικά του εξοπλισμού όπως διαστάσεις, συνθήκες λειτουργίας, και μεγέθη των κύριων αγωγών.
4. Πληροφορίες σχετικά με τα εγκατεστημένα συστήματα προστασίας για προληπτική ή κατασταλτική δράση.
5. Εκτιμήσεις κόστους για την αντικατάσταση του εξοπλισμού της μονάδας σε περίπτωση ζημιάς.
6. Τον επίσημο οδηγό για την εφαρμογή του δείκτη DOW F&EI .
7. Τα απαραίτητα έντυπα για τον υπολογισμό του δείκτη DOW F&EI και των τριών παραγόντων (C1,C2,C3) που μειώνουν την επικινδυνότητα, γνωστοί ως Loss control credit factor (LCCF)

Όσον αφορά τους παράγοντες Loss control credit factor (LCCF) είναι σημαντικό να σημειωθούν τα εξής:

- Ο παράγοντας C1 αφορά τα μέτρα προστασίας που έχουν ενσωματωθεί κατά τον σχεδιασμό της διεργασίας, συμπεριλαμβανομένων των χαρακτηριστικών των υλικών, τις λειτουργικές συνθήκες, τη φύση των χημικών αντιδράσεων, μέτρα για την πρόληψη επικίνδυνων καταστάσεων (όπως απώλειες ισχύος, εκρήξεις) και την αυτοματοποίηση της διεργασίας. Επιπλέον, λαμβάνονται υπ' όψιν διαδικασίες λειτουργίας, καθώς και διαδικασίες αναγνώρισης και αντιμετώπισης επικινδυνότητας.
- Ο παράγοντας C2 εστιάζει σε μέτρα σχεδιασμού που αποσκοπούν στην πρόληψη διαρροών, όπως η απομόνωση μερών της διεργασίας μέσω τηλεχειριζόμενων βαλβίδων, τα ανεξάρτητα συστήματα προστασίας που ενεργοποιούνται για να διασφαλίσουν την ασφαλή λειτουργία της

διεργασίας, και τις δυνατότητες για την ταχεία απομάκρυνση υλικών, είτε αυτά βρίσκονται εντός του εξοπλισμού είτε έχουν διαρρεύσει.

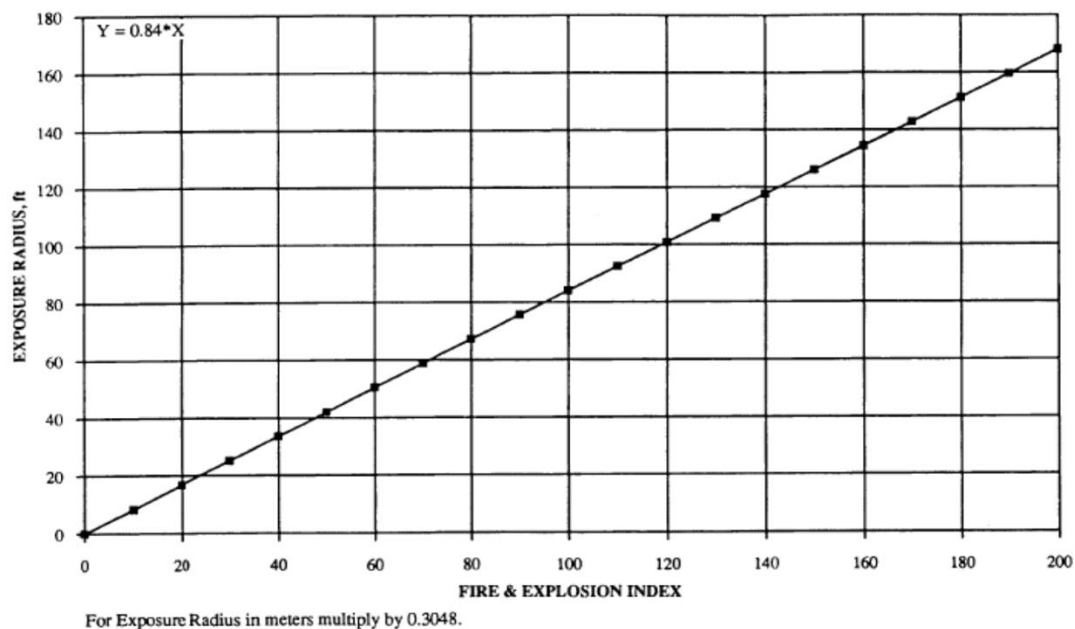
- Ο παράγοντας C3 αξιολογεί την ανίχνευση διαρροών και τα μέτρα πυροπροστασίας, ενσωματώνοντας τόσο παθητικές όσο και ενεργητικές στρατηγικές για την αντιμετώπιση πυρκαγιών, όπως η σχεδίαση για παθητική πυροπροστασία και τα συστήματα πυρόσβεσης.

Η εφαρμογή των LCCF συντελεί στη μείωση της επικινδυνότητας και κατ' επέκταση, στη μείωση του δείκτη DOW F&EI με ένα συγκεκριμένο ποσοστό, το οποίο έχει καθοριστεί με βάση ειδικά κριτήρια. Έτσι, η μεθοδολογία μπορεί να λειτουργήσει ως ελεγκτικός κατάλογος για τα μέτρα προστασίας μιας διεργασίας, καθώς και για τον προσδιορισμό της μείωσης του κινδύνου μέσω της εφαρμογής κάθε προστατευτικού μέτρου. Η αξιολόγηση διαχωρίζει τη διεργασία σε επιμέρους τμήματα, με κάθε τμήμα να αξιολογείται βάσει των υλικών που χρησιμοποιούνται και των συνθηκών λειτουργίας, ενώ υπολογίζονται οι συντελεστές επικινδυνότητας και ο τελικός δείκτης DOW F&EI με βάση την ανάλυση αυτή.

Η διαδικασία συνεχίζεται ως εξής:

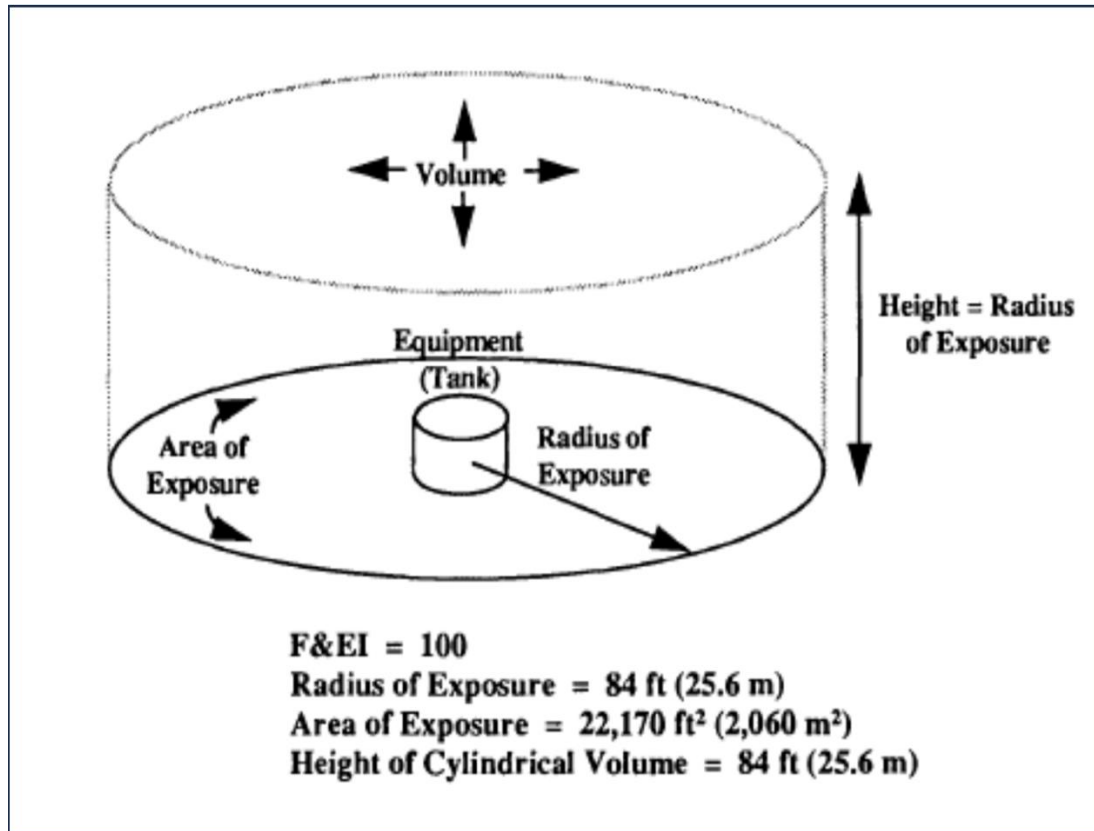
1. Αφού καθοριστεί ο συντελεστής υλικού (MF) για κάθε τμήμα, υπολογίζεται ο γενικός συντελεστής επικινδυνότητας (F1), ο οποίος περιλαμβάνει κινδύνους συνδεδεμένους με εξώθερμες αντιδράσεις και την φύση των χρησιμοποιούμενων υλικών. Αυτός ο συντελεστής επίσης λαμβάνει υπόψη παράγοντες όπως η ευκολία πρόσβασης στον εξοπλισμό και η διάταξη των συσκευών εντός της εγκατάστασης.
2. Ο ειδικός συντελεστής επικινδυνότητας (F2) υπολογίζεται με βάση την ποσότητα και τη φύση των επικίνδυνων υλικών που διαχειρίζεται η εγκατάσταση, με ειδική έμφαση σε πιθανές πηγές ανάφλεξης και διαρροής, καθώς και στοιχεία σχεδιασμού που μπορεί να επηρεάσουν την επικινδυνότητα, όπως οι συνδέσεις εξοπλισμού και η ανθεκτικότητα στη διάβρωση.

3. Ο τελικός παράγοντας κινδύνου για κάθε τμήμα της διεργασίας (F3) προκύπτει από το γινόμενο των F1 και F2, δίνοντας έναν συνολικό δείκτη για την επικινδυνότητα της εκάστοτε μονάδας.
4. Ο δείκτης DOW F&EI υπολογίζεται από τον πολλαπλασιασμό των συντελεστών F3 και MF, παρέχοντας μια αξιολόγηση της συνολικής επικινδυνότητας της διεργασίας.
5. Η ακτίνα επιρροής του κινδύνου για την εγκατάσταση προσδιορίζεται με βάση τον δείκτη DOW F&EI, επιτρέποντας την αξιολόγηση των πιθανών επιπτώσεων στον εξοπλισμό και στις υποδομές της διεργασίας σε περίπτωση ενός ατυχήματος (διάγραμμα 8) .



Διάγραμμα 8: Ακτίνα Επικινδυνότητας

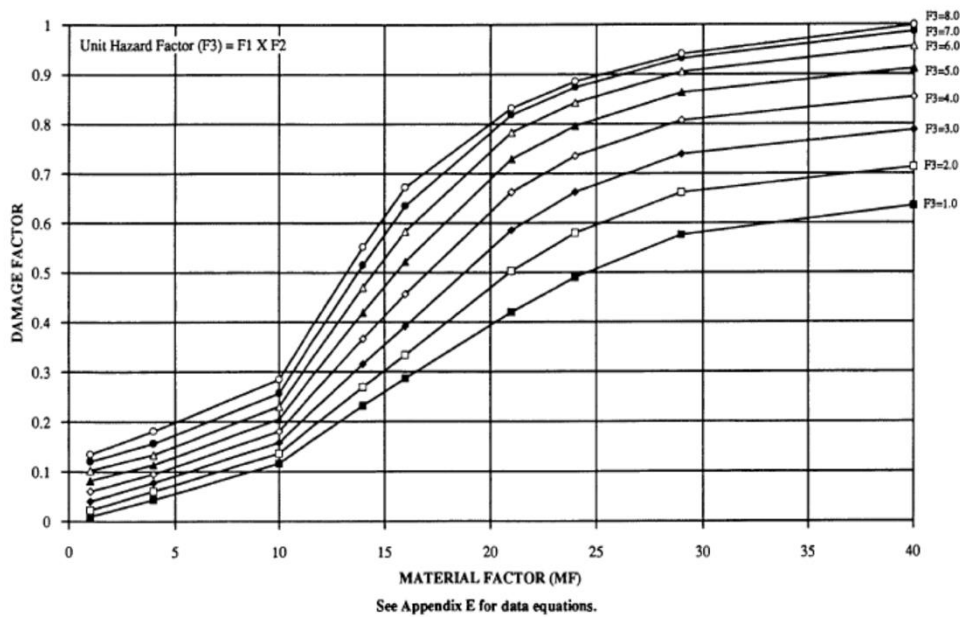
6. Εκτιμάται η ζώνη εκτεθειμένης επιφάνειας γύρω από το συγκεκριμένο τμήμα της διαδικασίας, με βάση την ακτίνα έκθεσης (Σχήμα 16).



Σχήμα 15: Ακτίνα επιρροής του κινδύνου

7. Υπολογίζεται η αξία της περιοχής της διεργασίας που εμπίπτει εντός της ακτίνας εκθέσεως. Το κόστος αυτής της περιοχής μπορεί να καθοριστεί μέσω του κόστους αντικατάστασης είτε του εξοπλισμού εκείνης της συγκεκριμένης περιοχής είτε ολόκληρης διεργασίας.
8. Καθορίζεται ο δείκτης των επιπτώσεων DF (Damage Factor), ο οποίος δηλώνει τις συνέπειες που προκύπτουν από ένα περιστατικό διαρροής και καύσης (πυρκαγιά και έκρηξη) των υλικών που χειρίζεται μια συγκεκριμένη μονάδα της διαδικασίας. Ο δείκτης αυτός υπολογίζεται με βάση το παρακάτω διάγραμμα 9, λαμβάνοντας υπόψη τον παράγοντα F3 και το MF.

FIGURE 8 - DAMAGE FACTOR

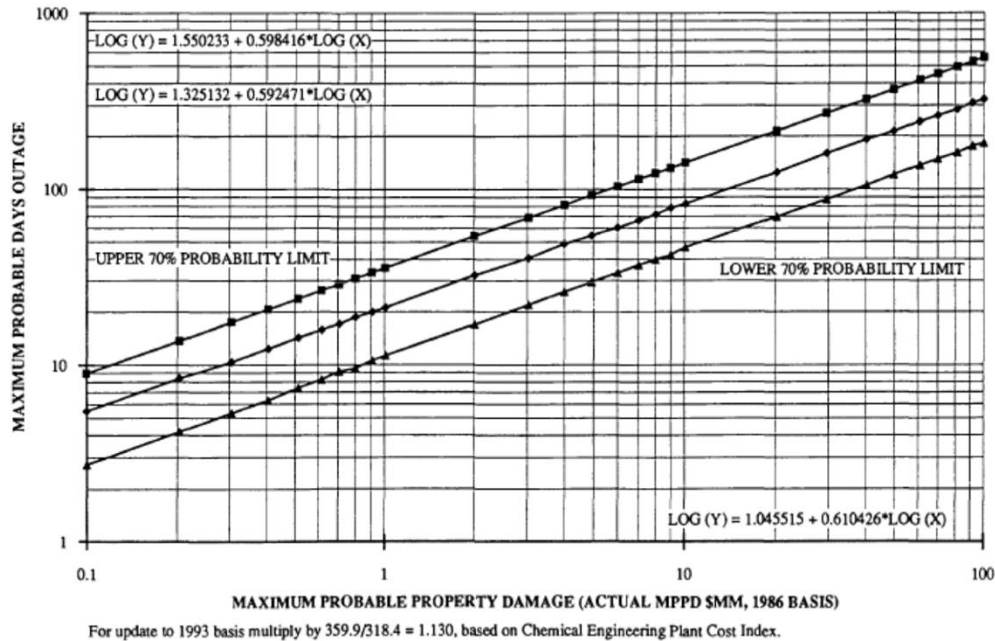


Διάγραμμα 9: Δείκτης Επιπτώσεων DF (Damage Factor)

9. Καθορίζεται η βασική αξία της μέγιστης ενδεχόμενης ζημίας MPPD σε δολάρια ΗΠΑ (Μέγιστη Πιθανή Ζημία Περιουσίας), μέσω του πολλαπλασιασμού του παράγοντα επιπτώσεων με την αξία του τμήματος της διαδικασίας που βρίσκεται εντός της εκτιμώμενης ζώνης έκθεσης. Αυτή η αξία απεικονίζει τη ζημία που μπορεί να προκληθεί στον εξοπλισμό ενός τμήματος διεργασίας από μια πυρκαγιά ή/και μια έκρηξη, αποτελώντας το κόστος πριν από την εφαρμογή οποιωνδήποτε υφιστάμενων μέτρων ελέγχου ζημιών. Η χρήση των μέτρων αυτών μπορεί να μειώσει τις επιπτώσεις από ένα τέτοιο γεγονός, καθώς και το συνολικό κόστος των επιπτώσεων.
10. Καταγράφεται η ελαχιστοποίηση των συνεπειών μέσω της υλοποίησης των διαθέσιμων μέτρων ασφάλειας για την εν λόγω διαδικασία. Αυτή η ελαχιστοποίηση προκύπτει από το πολλαπλασιασμό των τριών Συντελεστών Ελέγχου Κόστους Ζημιάς (LCCF) C1, C2 και C3.
11. Καθορίζεται η ακριβής αξία της μέγιστης εκτιμώμενης ζημίας σε δολάρια ΗΠΑ (AMPPD), βάσει της MPPD και το αποτέλεσμα από τον πολλαπλασιασμό με τον LCCF.

12. Η εκτίμηση των μέγιστων πιθανών ημερών εκτός λειτουργίας της εγκατάστασης γίνεται με την εφαρμογή μιας σχέσης που σχετίζεται με το AMPPD.

FIGURE 9 - MAXIMUM PROBABLE DAYS OUTAGE (MPDO)



Διάγραμμα 10: Εκτίμηση Μέγιστων Πιθανών Ημερών Αδράνειας (MPDO)

13. Η εκτίμηση του κόστους από την διακοπή των επιχειρηματικών λειτουργιών σε δολάρια ΗΠΑ (Διακοπή Επιχείρησης) προκύπτει από το προϊόν της ημερήσιας αξίας παραγωγής επί την εκτιμώμενη μέγιστη διάρκεια αδράνειας της διαδικασίας λόγω του εν λόγω συμβάντος .

Η εφαρμογή του δείκτη DOW F&EI πρέπει να πραγματοποιείται από μια ομάδα έμπειρου προσωπικού στην εκάστοτε εγκατάσταση, ώστε να μπορούν να αξιολογήσουν ακριβώς διάφορα πιθανά σενάρια ατυχημάτων. Αυτό εξασφαλίζει ότι η χρήση της μεθοδολογίας DOW F&EI θα οδηγήσει σε αληθινές βελτιώσεις της ασφάλειας της εγκατάστασης, λαμβάνοντας υπ' όψιν τα οικονομικά περιθώρια.

6.8.2. Ταξινόμηση Επικινδυνότητας από τον δείκτη DOW F&EI

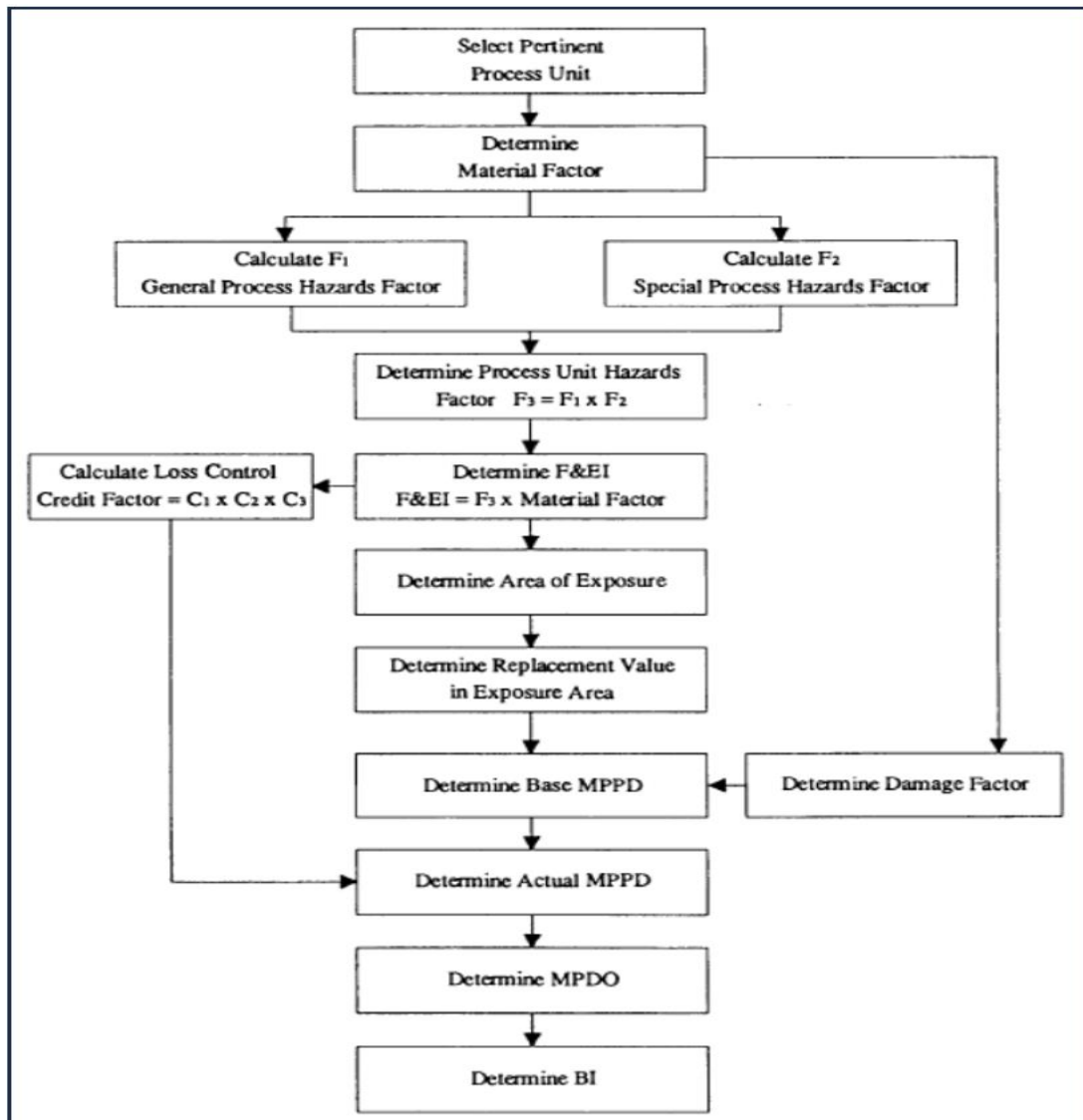
Το μέγεθος που λαμβάνεται από τον δείκτη DOW F&EI αποτελεί δείκτη κινδύνου για ένα συγκεκριμένο στάδιο της διαδικασίας, ακόμα και πριν πραγματοποιηθούν οι εκτιμήσεις για την ακτίνα επικινδυνότητας και το συνολικό κόστος των συνεπειών από ένα περιστατικό πυρκαγιάς ή έκρηξης. Η μεθοδολογία καθοδήγησης περιλαμβάνει έναν πίνακα αξιολόγησής της επικινδυνότητας, με τον οποίο μπορεί να διαβαθμιστεί η επικινδυνότητα διαφόρων τμημάτων μιας διεργασίας ανάλογα με τα υλικά που διαχειρίζεται, τις συνθήκες λειτουργίας και τα μέτρα πρόληψης και αντιμετώπισης έκτακτων περιστατικών.

| ΒΑΘΜΟΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΔΕΙΚΤΗ F&E | |
|----------------------------------------------|------------------------------------|
| ΕΥΡΟΣ ΔΕΙΚΤΗ DOW F&EI (DOW F&EI INDEX RANGE) | ΒΑΘΜΟΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ (DEGREE OF HAZARD) |
| 1 έως 60 | ΜΙΚΡΟΣ |
| 61 έως 96 | ΜΕΤΡΙΟΣ |
| 97 έως 127 | ΕΝΔΙΑΜΕΣΟΣ |
| 128 έως 158 | ΥΨΗΛΟΣ |
| 159 και πάνω | ΠΟΛΥ ΥΨΗΛΟΣ |

Πίνακας 15: Βαθμολογία Επικινδυνότητας

Με τον υπολογισμό του δείκτη DOW F&EI για κάθε στάδιο της διαδικασίας και την κατηγοριοποίησή του βάσει του επιπέδου κινδύνου, μπορούν να καθοριστούν οι προτεραιότητες για την υλοποίηση μέτρων ασφαλείας ή να αξιολογηθεί η επάρκεια των ήδη εφαρμοζόμενων μέτρων.

Στο παρακάτω διάγραμμα παρατίθεται σχηματικά τα διάφορα στάδια εφαρμογής της μεθοδολογίας.



Σχήμα 16: Υπολογισμός Ανάλυσης Κινδύνου Σύμφωνα με το Αμερικανικό Ινστιτούτο Χημικών Μηχανικών (1994)

6.8.3. Σύγκριση μεθοδολογιών αναγνώρισης επικινδυνότητας και του Δείκτη DOW F&EI

Ο επόμενος πίνακας περιγράφει εν συντομία τα βασικά στοιχεία των μεθόδων αναγνώρισης επικινδυνότητας που χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία πετρελαίου :

| APPLICABILITY | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------------------------------------|--------------|------|----------------------------|------|---------------------------|------|--------------|------------------------|---------------------------------|------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------|
| METHOD | Operating Mode | | Hazard level | | Process or Task Complexity | | Number of Scenarios Found | | Process Type | | Experience with Process or Task | | Details Available for Process | | |
| | Continuous | Batch, Startup, Shutdown, online maintenance | Low | High | Low | High | Low | High | Flow | Mechanical, Electrical | Low | High | Low (i.e., conceptual design) | Medium (i.e., detailed design) | High (i.e., pre-startup or operating unit) |
| QUALITATIVE – Identify and evaluate hazards and judge risk by voting of multi-disciplinary team | | | | | | | | | | | | | | | |
| Checklist | X | X | X | | X | | X | | X | X | X | X | X | | |
| Preliminary Hazard Review | X | X | | X | | X | X | | X | X | X | | X | | |
| What-If | X | X | X | | X | | X | | X | X | X | X | X | X | X |
| What-If/Checklist | X | X | X | | X | | X | | X | X | X | X | X | X | X |
| 2 Guide Word | | X | | X | X | | | X | X | X | | X | | | X |
| HAZOP (full set of guide words) | X | X | | X | | X | | X | X | | X | X | | X | X |
| FMEA | X | | | X | | X | | X | | X | X | X | | X | X |
| QUANTITATIVE – Numerically estimate the risk to aid in judgment of a scenario that is already identified; typically not a team | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fire/Explosion Index | X | X | | X | X | X | NA | NA | X | | | X | | X | X |
| Toxicity Index | X | X | | X | X | X | NA | NA | X | | | X | | X | X |
| LOPA | X | X | | X | X | X | NA | NA | X | X | | X | | X | X |
| Fault Tree Analysis | X | X | | X | | X | NA | NA | X | X | | X | | X | X |
| Event Tree Analysis | X | X | | X | | X | NA | NA | X | X | | X | | X | X |
| Human Reliability Analysis | | X | | X | | X | NA | NA | X | X | X | X | | X | X |

Πίνακας 16: Σύγκριση Διαφορετικών Μεθόδων Εκτίμησης Επικινδυνότητας(Lee's Loss Prevention in the Process Industries,2005)

Η μεθοδολογία DOW F&EI, θα αναλυθεί εκτενέστερα στα επόμενα κεφάλαια 7 και 8 αυτής της εργασίας. Από τον Πίνακα 15 είναι φανερά τα πλεονεκτήματα του δείκτη DOW F&EI, τα οποία περιλαμβάνουν:

1. Είναι ποσοτικός δείκτης, προσφέροντας μία τιμή επικινδυνότητας που επιτρέπει τη σύγκριση διαφορετικών διεργασιών.
2. Εφαρμόζεται σε ποικίλες διεργασίες, τόσο συνεχείς όσο και ασυνεχείς, από απλές έως πολύπλοκες, ειδικά σε εγκαταστάσεις με υψηλούς κινδύνους όπως τα πετρελαιοειδή.
3. Είναι εφαρμόσιμος σε διάφορα λειτουργικά στάδια της μονάδας, από την κανονική λειτουργία έως την εκκίνηση.
4. Προσφέρει γρήγορη αξιολόγηση και σύγκριση επικινδυνότητας διαφόρων τμημάτων της εγκατάστασης, διευκολύνοντας την οριοθέτηση προτεραιοτήτων για την εφαρμογή μέτρων μείωσης κινδύνων.

Αντίθετα, μερικά μειονεκτήματα περιλαμβάνουν:

1. Η εφαρμογή της μεθοδολογίας απαιτεί εξειδικευμένη γνώση από την ομάδα που την χειρίζεται, αν και η ομάδα δεν χρειάζεται να είναι μεγάλη σε μέγεθος.
2. Απαιτείται πρόσβαση σε εκτενή δεδομένα σχεδιασμού και λειτουργίας, αν και τα δεδομένα αυτά είναι γενικά διαθέσιμα από τον σχεδιασμό της μονάδας.
3. Δεν προβλέπει την εξέταση σεναρίων λειτουργίας με την ίδια λεπτομέρεια που προσφέρουν πιο εξειδικευμένες μέθοδοι ανάλυσης κινδύνου, όπως η HAZOP, η οποία εξετάζει διαφορετικά λειτουργικά σενάρια και πιθανές ανωμαλίες στη διαδικασία.

Αυτά τα χαρακτηριστικά της μεθοδολογίας DOW F&EI καθιστούν εφικτή την οργανωμένη και αποτελεσματική αξιολόγηση των κινδύνων σε μια εγκατάσταση, δίνοντας έμφαση στην πρόληψη και την μείωση της επικινδυνότητας. Παρόλο που έχει κάποιες περιορισμένες δυνατότητες στη λεπτομερή εξέταση σεναρίων, η ευελιξία και η πρακτικότητα της εφαρμογής της σε διάφορες συνθήκες την καθιστούν πολύτιμο εργαλείο για την ασφαλή λειτουργία και τον σχεδιασμό βιομηχανικών διεργασιών.

7.Εφαρμογή Dow F&EI σε Εγκατάσταση Δεξαμενών Υγρών Καυσίμων

Τα προϊόντα που παράγονται από βιομηχανικές μονάδες ή διυλιστήρια μεταφέρονται σε χώρους αποθήκευσης προτού διατεθούν στην αγορά μέσω διαφόρων μεταφορικών διαύλων. Στις εγκαταστάσεις ενός διυλιστηρίου, τα παραγόμενα προϊόντα αποθηκεύονται σε ειδικές δεξαμενές, είτε με πλωτή είτε με σταθερή οροφή, αναλόγως της φύσης του αποθηκευμένου προϊόντος. Πραγματοποιήθηκε ανάλυση για 18 δεξαμενές διαφορετικών μεγεθών, και προϊόντων όπως απεικονίζονται στον πίνακα 16.

Στον πίνακα 17 παρουσιάζονται τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των δεξαμενών και οι ποσότητες των αποθηκευμένων προϊόντων.

| ΔΕΞ/ΝΗ | Προϊόν | Πυκνότητα [Tn/ m ³] | Τύπος Δεξαμενής | Διάμετρος Δεξαμενής [m] | Μέγιστο Ύψος Δεξαμενής | Επιφάνεια Δεξαμενής [m ²] | Όγκος Καυσίμου [m ³] | Μάζα Καυσίμου [Tn] |
|--------|------------------|---------------------------------|-----------------|-------------------------|------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|--------------------|
| ΔΕΞ-1 | Diesel | 0,824 | Σταθερή Οροφή | 30 | 15 | 707 | 10.598 | 8.732 |
| ΔΕΞ-2 | Diesel | 0,824 | Σταθερή Οροφή | 45 | 15 | 1590 | 23.844 | 19.648 |
| ΔΕΞ-3 | Diesel | 0,824 | Σταθερή Οροφή | 60 | 25 | 2826 | 70.650 | 58.216 |
| ΔΕΞ-4 | Κηροζίνη | 0,8 | Σταθερή Οροφή | 30 | 15 | 707 | 10.598 | 8.478 |
| ΔΕΞ-5 | Κηροζίνη | 0,8 | Σταθερή Οροφή | 45 | 15 | 1590 | 23.844 | 19.076 |
| ΔΕΞ-6 | Κηροζίνη | 0,8 | Σταθερή Οροφή | 60 | 25 | 2826 | 70.650 | 56.520 |
| ΔΕΞ-7 | Αμόλυβδη Βενζίνη | 0,74 | Πλωτή Οροφή | 30 | 15 | 707 | 10.598 | 7.842 |
| ΔΕΞ-8 | Αμόλυβδη Βενζίνη | 0,74 | Πλωτή Οροφή | 45 | 15 | 1590 | 23.844 | 17.645 |
| ΔΕΞ-9 | Αμόλυβδη Βενζίνη | 0,74 | Πλωτή Οροφή | 60 | 25 | 2826 | 70.650 | 52.281 |
| ΔΕΞ-10 | Μαζούτ | 0,99 | Σταθερή Οροφή | 30 | 15 | 707 | 10.598 | 10.492 |
| ΔΕΞ-11 | Μαζούτ | 0,99 | Σταθερή Οροφή | 45 | 15 | 1590 | 23.844 | 23.606 |
| ΔΕΞ-12 | Μαζούτ | 0,99 | Σταθερή Οροφή | 60 | 25 | 2826 | 70.650 | 69.944 |
| ΔΕΞ-13 | Naphtha | 0,74 | Σταθερή Οροφή | 15 | 30 | 177 | 5.299 | 3.921 |
| ΔΕΞ-14 | Naphtha | 0,74 | Σταθερή Οροφή | 25 | 60 | 491 | 29.438 | 21.784 |
| ΔΕΞ-15 | Ethyl Alcohol | 0,788 | Σταθερή Οροφή | 15 | 30 | 177 | 5.299 | 4.175 |
| ΔΕΞ-16 | Ethyl Alcohol | 0,788 | Σταθερή Οροφή | 25 | 60 | 491 | 29.438 | 23.197 |

| | | | | | | | | |
|--------|----------------|-------|---------------|----|----|--------|--------|--------|
| ΔΕΞ-17 | Methyl Alcohol | 0,791 | Σταθερή Οροφή | 15 | 30 | 10.598 | 5.299 | 4.191 |
| ΔΕΞ-18 | Methyl Alcohol | 0,791 | Σταθερή Οροφή | 25 | 60 | 70.650 | 29.438 | 23.285 |

Πίνακας 17: Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά Των Δεξαμενών Και Οι Ποσότητες Των Αποθηκευμένων Προϊόντων

Σύμφωνα με τη μεθοδολογία DOW F&EI, απαιτείται ο καθορισμός του συντελεστή υλικού MF (material factor) για κάθε μία από τις δεξαμενές ως εξής(Πίνακας 18):

| ΔΕΞ/ΝΗ | ΠΡΟΙΟΝ | ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜF |
|--------|------------------|----------------|
| ΔΕΞ-1 | Diesel | 10 |
| ΔΕΞ-2 | Diesel | |
| ΔΕΞ-3 | Diesel | |
| ΔΕΞ-4 | Κηροζίνη | |
| ΔΕΞ-5 | Κηροζίνη | |
| ΔΕΞ-6 | Κηροζίνη | |
| ΔΕΞ-7 | Αμόλυβδη Βενζίνη | 16 |
| ΔΕΞ-8 | Αμόλυβδη Βενζίνη | |
| ΔΕΞ-9 | Αμόλυβδη Βενζίνη | |
| ΔΕΞ-10 | Μαζούτ | 10 |
| ΔΕΞ-11 | Μαζούτ | |
| ΔΕΞ-12 | Μαζούτ | |
| ΔΕΞ-13 | Naphtha | |
| ΔΕΞ-14 | Naphtha | |
| ΔΕΞ-15 | Ethyl alcohol | 16 |
| ΔΕΞ-16 | Ethyl alcohol | |
| ΔΕΞ-17 | Methyl alcohol | |
| ΔΕΞ-18 | Methyl alcohol | |

Πίνακας 18: Συντελεστής Υλικού MF (Material Factor)

Αφού καθοριστεί ο συντελεστής υλικού, ακολουθεί ο υπολογισμός του παράγοντα κινδύνου της μονάδας διεργασίας (F3) μέσω του πολλαπλασιασμού του παράγοντα γενικών διεργασιών (F1) επί του παράγοντα των ειδικών κινδύνων της διεργασίας (F2). Δηλαδή, πραγματοποιείται η αξιολόγηση και ο υπολογισμός για τους γενικούς παράγοντες διεργασιών (F1) και τους ειδικούς κινδύνους της διεργασίας (F2),

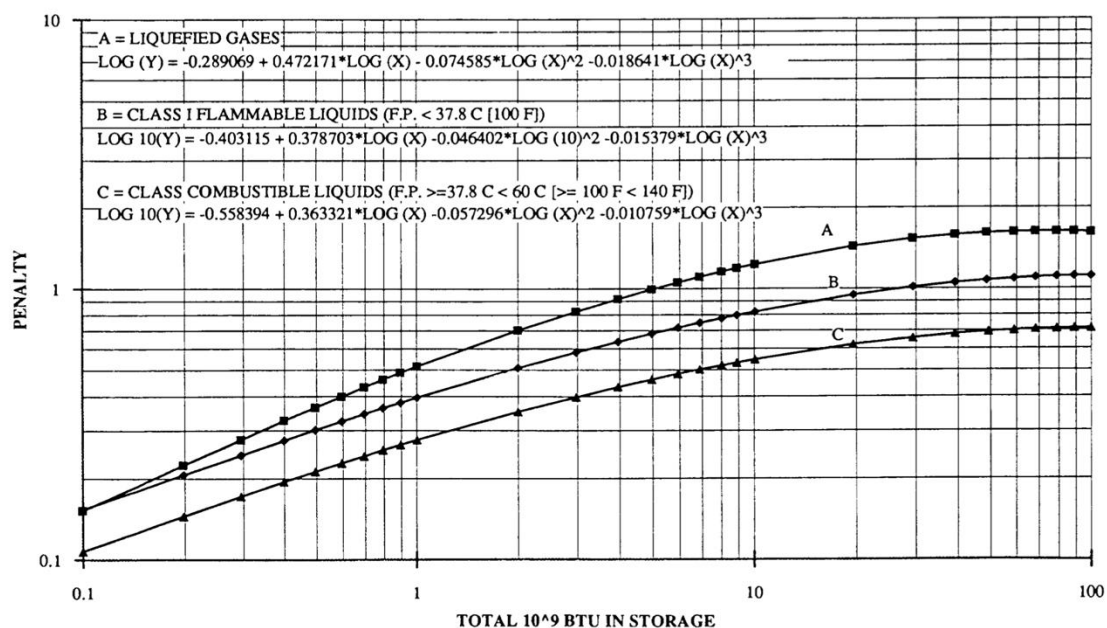
αναλύοντας τις ακόλουθες παραμέτρους από το εγχειρίδιο DOW F&EI INDEX που αφορούν τον δεξαμενισμό υγρών καυσίμων :

1. Διαχείριση και Μετακίνηση Υλικών
2. Προσπελασιμότητα
3. Διαχείριση Αποχέτευσης και Αντιμετώπιση Διαρροών

Μετά την προσθήκη όλων των αντίστοιχων συντελεστών επιβάρυνσης (penalties) και την ενσωμάτωση της τιμής ένα (1) ως κύριου συντελεστή, καταλήγουμε στον δείκτη για τις γενικές διαδικασίες (F1) για κάθε μία από τις δεξαμενές αποθήκευσης. Στη συνέχεια της ανάλυσης, για τον υπολογισμό του δείκτη DOW F&EI για κάθε μία από τις έξι δεξαμενές, είναι απαραίτητος ο καθορισμός του δείκτη ειδικών κινδύνων (F2). Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της επιβολής κυρώσεων σε καθένα από τους εξής ειδικούς τομείς που σχετίζονται με την αποθήκευση υγρών καυσίμων:

1. Τοξικές Ουσίες
2. Κάτω από Κανονική Ατμοσφαιρική Πίεση (< 500 mm Hg))
3. Εκτέλεση Εργασιών σε ή κοντά στα όρια Αναφλεξιμότητας για αποθήκευση εύφλεκτων υγρών.
4. Παρουσία Εύφλεκτων/Ασταθών Υλικών για αποθηκευμένα υγρά ή αέρια.
5. Διάβρωση.
6. Διαρροές από Μηχανικές Συνδέσεις .
7. Χρήση Εξοπλισμού Πυρόσβεσης.

Συγκεκριμένα για τον τομέα της ποσότητας εύφλεκτου/ υλικού η ο συντελεστής επιβάρυνσης κατόπιν υπολογισμών (διαγράμματος 11 του εγχειριδίου DOW F&EI INDEX) απεικονίζεται στον παρακάτω πίνακα 19.



Διάγραμμα 11: Ποινή ποσότητας καύσιμου δεξαμενής

| ΔΕΞ/ΝΗ | Προϊόν | Όγκος Καυσίμου [m ³] | HC [Btu/lb] | Quantity Penalty |
|--------|------------------|----------------------------------|-------------|------------------|
| ΔΕΞ-1 | Diesel | 10.598 | 18.800 | 0,26 |
| ΔΕΞ-2 | Diesel | 23.844 | 18.800 | 0,37 |
| ΔΕΞ-3 | Diesel | 70.650 | 18.800 | 0,54 |
| ΔΕΞ-4 | Κηροζίνη | 10.598 | 21.800 | 0,28 |
| ΔΕΞ-5 | Κηροζίνη | 23.844 | 21.800 | 0,38 |
| ΔΕΞ-6 | Κηροζίνη | 70.650 | 21.800 | 0,56 |
| ΔΕΞ-7 | Αμόλυβδη βενζίνη | 10.598 | 17.500 | 0,25 |
| ΔΕΞ-8 | Αμόλυβδη βενζίνη | 23.844 | 17.500 | 0,34 |
| ΔΕΞ-9 | Αμόλυβδη βενζίνη | 70.650 | 17.500 | 0,51 |
| ΔΕΞ-10 | Μαζούτ | 10.598 | 21.300 | 0,30 |
| ΔΕΞ-11 | Μαζούτ | 23.844 | 21.300 | 0,41 |
| ΔΕΞ-12 | Μαζούτ | 70.650 | 21.300 | 0,60 |
| ΔΕΞ-13 | Naphtha | 10.598 | 15.000 | 0,23 |
| ΔΕΞ-14 | Naphtha | 70.650 | 15.000 | 0,48 |
| ΔΕΞ-15 | Ethyl alcohol | 10.598 | 11.570 | 0,21 |
| ΔΕΞ-16 | Ethyl alcohol | 70.650 | 11.570 | 0,45 |
| ΔΕΞ-17 | Methyl alcohol | 10.598 | 9.888 | 0,20 |
| ΔΕΞ-18 | Methyl alcohol | 70.650 | 9.888 | 0,43 |

Πίνακας 19: Ποινή ποσότητας καύσιμου δεξαμενής

Χρησιμοποιώντας το εγχειρίδιο DOW F&EI INDEX και συνυπολογίζοντας τους υπολογισμούς για την ποινή που αφορά την ποσότητα του καυσίμου, αξιολογήθηκαν οι κίνδυνοι για κάθε μία από τις 18 δεξαμενές υγρών καυσίμων. Προσθέτοντας όλες τις ποινές μαζί με μία βασική ποινή (μονάδα), προκύπτει ο υπολογισμός του δείκτη F2.

Ο δείκτης F3 προκύπτει από το γινόμενο του δείκτη γενικής επικινδυνότητας της διεργασίας (F1) επί τον δείκτη ειδικής επικινδυνότητας (F2).

Ο Δείκτης Κινδύνου για την Εκάστοτε Διεργασία (F3) κατά κανόνα δεν ξεπερνά τον αριθμό οκτώ (8), επομένως σε περίπτωση υψηλότερης τιμής, εφαρμόζεται ως ανώτατο όριο η τιμή οκτώ (8). Από την ανάλυση του δεξαμενισμού πετρελαιοειδών διαπιστώνουμε ότι καμία δεξαμενή δεν έχει δείκτη F3 ανώτερο του 8.

Έχοντας πλέον υπολογίσει τους δείκτες F1, F2, και F3 και γνωρίζοντας τον δείκτη υλικού (material factor), καθορίζουμε τον αντίστοιχο δείκτη πυρκαγιάς και έκρηξης DOW F&EI για κάθε δεξαμενή, όπως αυτός αποτυπώνεται στον επόμενο πίνακα.

Αφού έχουμε ορίσει τους δείκτες F1, F2, και F3 και με τον δείκτη του υλικού MF (material factor) να είναι ήδη γνωστός, καταλήγουμε στον καθορισμό του δείκτη κινδύνου πυρκαγιάς και έκρηξης DOW F&EI για κάθε δεξαμενή. Ο εν λόγω δείκτης παρουσιάζεται αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα 20.

| ΔΕΞ/ΝΗ | Προϊόν | Όγκος Καυσίμου (m ³) | F1 | F2 | F3 | MF | Fire and Explosion Index |
|--------|------------------|----------------------------------|------|------|------|----|--------------------------|
| ΔΕΞ-1 | Diesel | 10.598 | 1,95 | 3,11 | 6,06 | 10 | 60,65 |
| ΔΕΞ-2 | Diesel | 23.844 | 1,95 | 3,22 | 6,28 | 10 | 62,79 |
| ΔΕΞ-3 | Diesel | 70.650 | 1,95 | 3,39 | 6,61 | 10 | 66,11 |
| ΔΕΞ-4 | Κηροζίνη | 10.598 | 1,95 | 3,13 | 6,10 | 10 | 61,04 |
| ΔΕΞ-5 | Κηροζίνη | 23.844 | 1,95 | 3,23 | 6,30 | 10 | 62,99 |
| ΔΕΞ-6 | Κηροζίνη | 70.650 | 1,95 | 3,41 | 6,65 | 10 | 66,50 |
| ΔΕΞ-7 | Αμόλυβδη Βενζίνη | 10.598 | 1,95 | 3,10 | 6,05 | 16 | 96,72 |
| ΔΕΞ-8 | Αμόλυβδη Βενζίνη | 23.844 | 1,95 | 3,19 | 6,22 | 16 | 99,53 |

| | | | | | | | |
|--------|------------------|--------|------|------|------|----|--------|
| ΔΕΞ-9 | Αμόλυβδη Βενζίνη | 70.650 | 1,95 | 3,36 | 6,55 | 16 | 104,83 |
| ΔΕΞ-10 | Μαζούτ | 10.598 | 1,95 | 3,15 | 6,14 | 10 | 61,43 |
| ΔΕΞ-11 | Μαζούτ | 23.844 | 1,95 | 3,26 | 6,36 | 10 | 63,57 |
| ΔΕΞ-12 | Μαζούτ | 70.650 | 1,95 | 3,45 | 6,73 | 10 | 67,28 |
| ΔΕΞ-13 | Naphtha | 5.299 | 1,95 | 3,08 | 6,01 | 10 | 60,06 |
| ΔΕΞ-14 | Naphtha | 29.438 | 1,95 | 3,33 | 6,49 | 10 | 64,94 |
| ΔΕΞ-15 | Ethyl Alcohol | 5.299 | 1,95 | 3,06 | 5,97 | 16 | 95,47 |
| ΔΕΞ-16 | Ethyl Alcohol | 29.438 | 1,95 | 3,30 | 6,44 | 16 | 102,96 |
| ΔΕΞ-17 | Methyl Alcohol | 5.299 | 1,95 | 3,05 | 5,95 | 16 | 95,16 |
| ΔΕΞ-18 | Methyl Alcohol | 29.438 | 1,95 | 3,28 | 6,40 | 16 | 102,34 |

Πίνακας 20: Fire and Explosion Index(F&EI)

Αφού ολοκληρώθηκε ο υπολογισμός του δείκτη DOW F&EI, μπορούμε να καθορίσουμε το επίπεδο κινδύνου για κάθε δεξαμενή, βάσει της κατάταξης που απεικονίζεται στον πίνακα 19. Η κατηγοριοποίηση του κινδύνου για τις δεξαμενές, σύμφωνα με αυτήν την ταξινόμηση, παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα 20 :

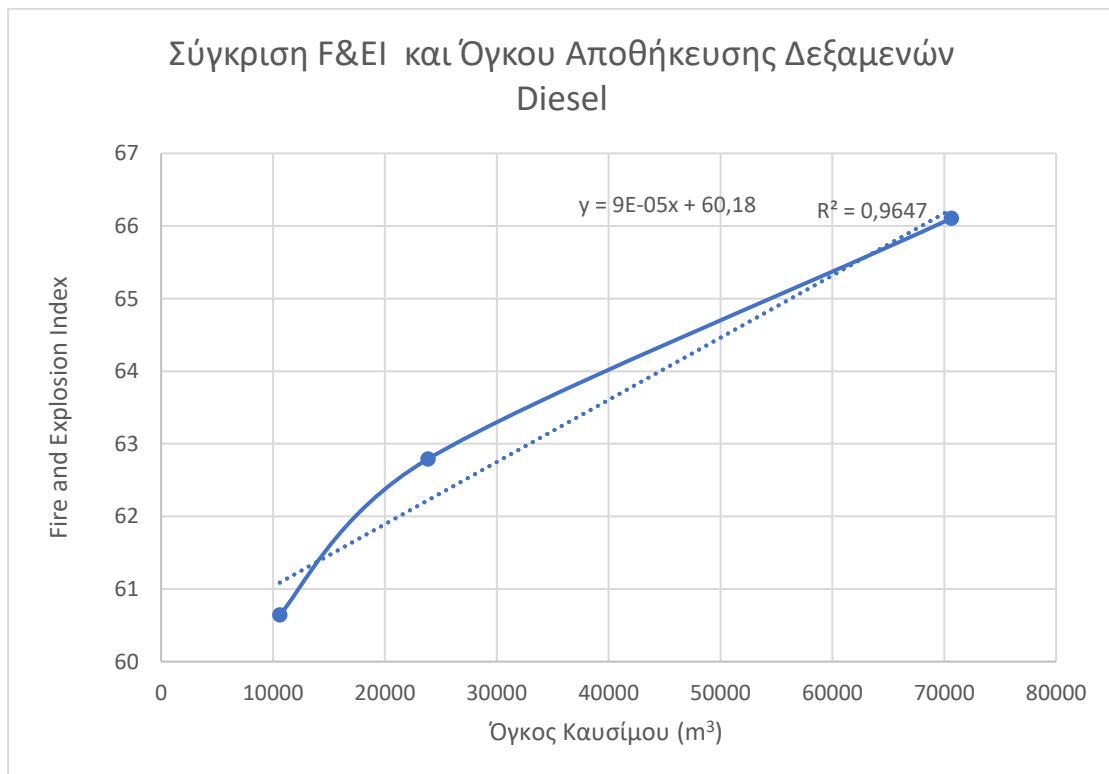
| ΔΕΞ/ΝΗ | Προϊόν | Όγκος Καυσίμου (m ³) | Fire And Explosion Index | Βαθμός Επικινδυνότητας |
|--------|------------------|----------------------------------|--------------------------|------------------------|
| ΔΕΞ-1 | Diesel | 10.598 | 60,65 | ΜΕΤΡΙΟΣ |
| ΔΕΞ-2 | Diesel | 23.844 | 62,79 | ΜΕΤΡΙΟΣ |
| ΔΕΞ-3 | Diesel | 70.650 | 66,11 | ΜΕΤΡΙΟΣ |
| ΔΕΞ-4 | Κηροζίνη | 10.598 | 61,04 | ΜΕΤΡΙΟΣ |
| ΔΕΞ-5 | Κηροζίνη | 23.844 | 62,99 | ΜΕΤΡΙΟΣ |
| ΔΕΞ-6 | Κηροζίνη | 70.650 | 66,50 | ΜΕΤΡΙΟΣ |
| ΔΕΞ-7 | Αμόλυβδη Βενζίνη | 10.598 | 96,72 | ΕΝΔΙΑΜΕΣΟΣ |
| ΔΕΞ-8 | Αμόλυβδη Βενζίνη | 23.844 | 99,53 | ΕΝΔΙΑΜΕΣΟΣ |
| ΔΕΞ-9 | Αμόλυβδη Βενζίνη | 70.650 | 104,83 | ΕΝΔΙΑΜΕΣΟΣ |
| ΔΕΞ-10 | Μαζούτ | 10.598 | 61,43 | ΜΕΤΡΙΟΣ |
| ΔΕΞ-11 | Μαζούτ | 23.844 | 63,57 | ΜΕΤΡΙΟΣ |
| ΔΕΞ-12 | Μαζούτ | 70.650 | 67,28 | ΜΕΤΡΙΟΣ |
| ΔΕΞ-13 | Naphtha | 10.598 | 60,06 | ΜΕΤΡΙΟΣ |
| ΔΕΞ-14 | Naphtha | 70.650 | 64,94 | ΜΕΤΡΙΟΣ |
| ΔΕΞ-15 | Ethyl alcohol | 10.598 | 95,47 | ΕΝΔΙΑΜΕΣΟΣ |

| | | | | |
|--------|----------------|--------|--------|------------|
| ΔΕΞ-16 | Ethyl alcohol | 70.650 | 102,96 | ΕΝΔΙΑΜΕΣΟΣ |
| ΔΕΞ-17 | Methyl alcohol | 10.598 | 95,16 | ΕΝΔΙΑΜΕΣΟΣ |
| ΔΕΞ-18 | Methyl alcohol | 70.650 | 102,34 | ΕΝΔΙΑΜΕΣΟΣ |

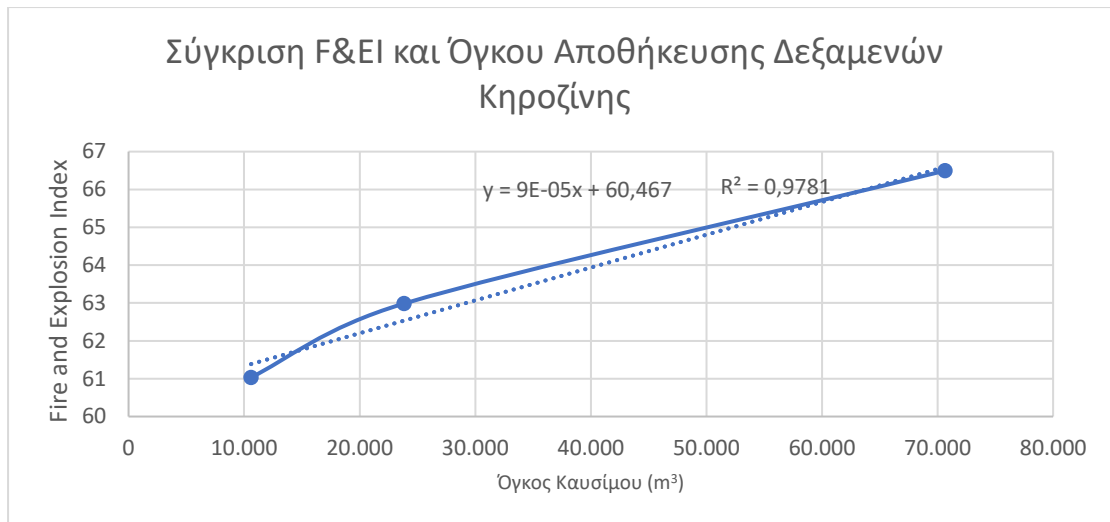
Πίνακας 21: Επίπεδο κινδύνου Δεξαμενών με υπάρχοντα μέτρα προστασίας

7.1 Σύγκριση Fire And Explosion Index Διαφορετικών Καυσίμων Με Διαφορετικά Μεγέθη Δεξαμενών Αποθήκευσης

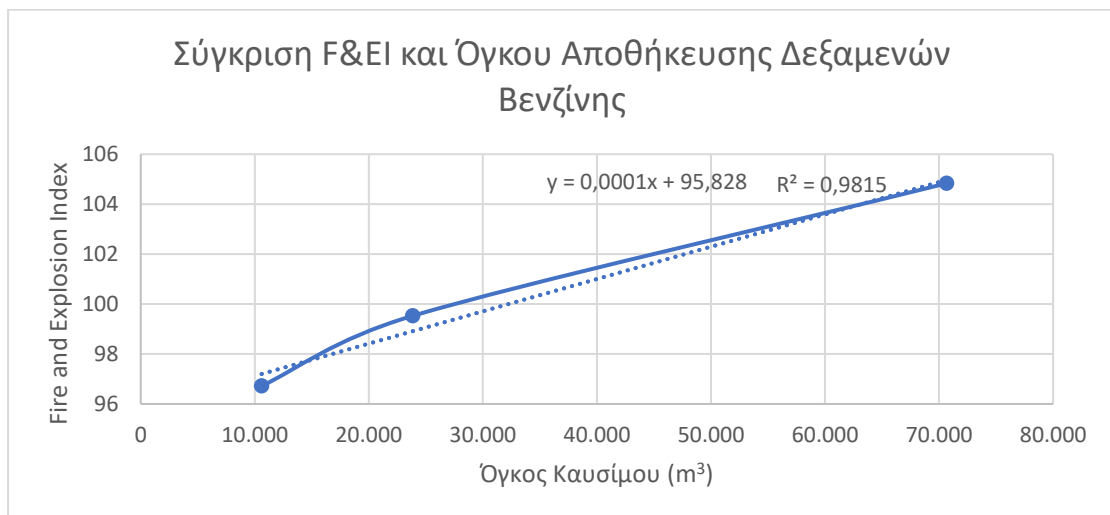
Παρακάτω θα γίνει σύγκριση του Fire And Explosion Index με τον όγκο αποθήκευσης (Lt), για τα καύσιμα Diesel, κηροζίνης, αμόλυβδης βενζίνης και μαζούτ. Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για κάθε ένα από τα παραπάνω καύσιμα :



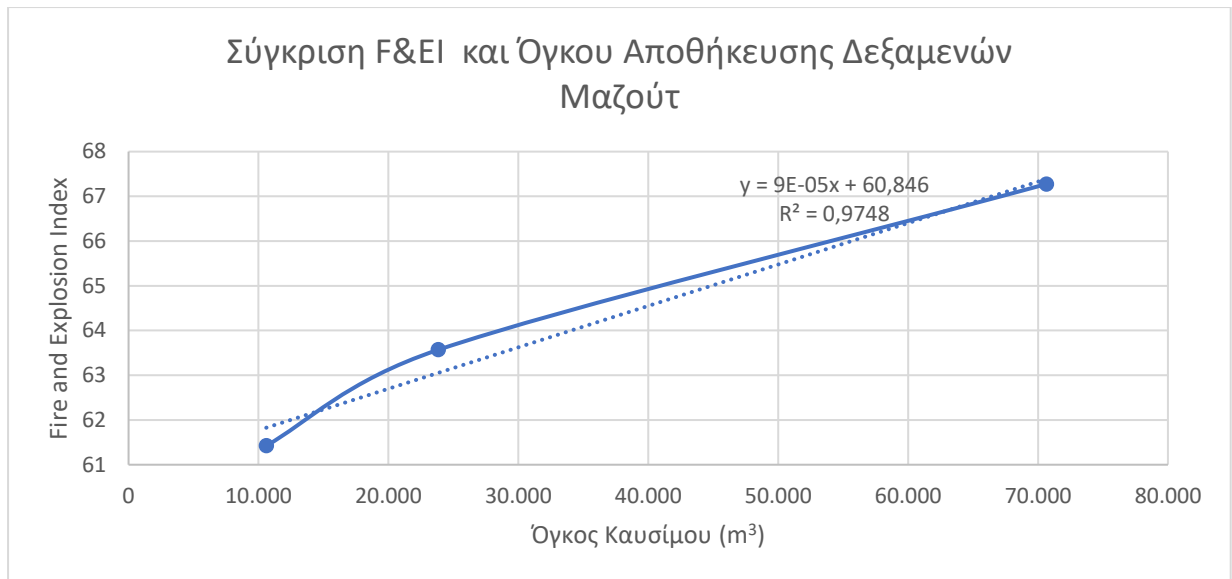
Διάγραμμα 12: Σύγκριση F&EI και Όγκου Αποθήκευσης Δεξαμενών Diesel



Διάγραμμα 13: Σύγκριση F&EI και Όγκου Αποθήκευσης Δεξαμενών Κηροζίνης

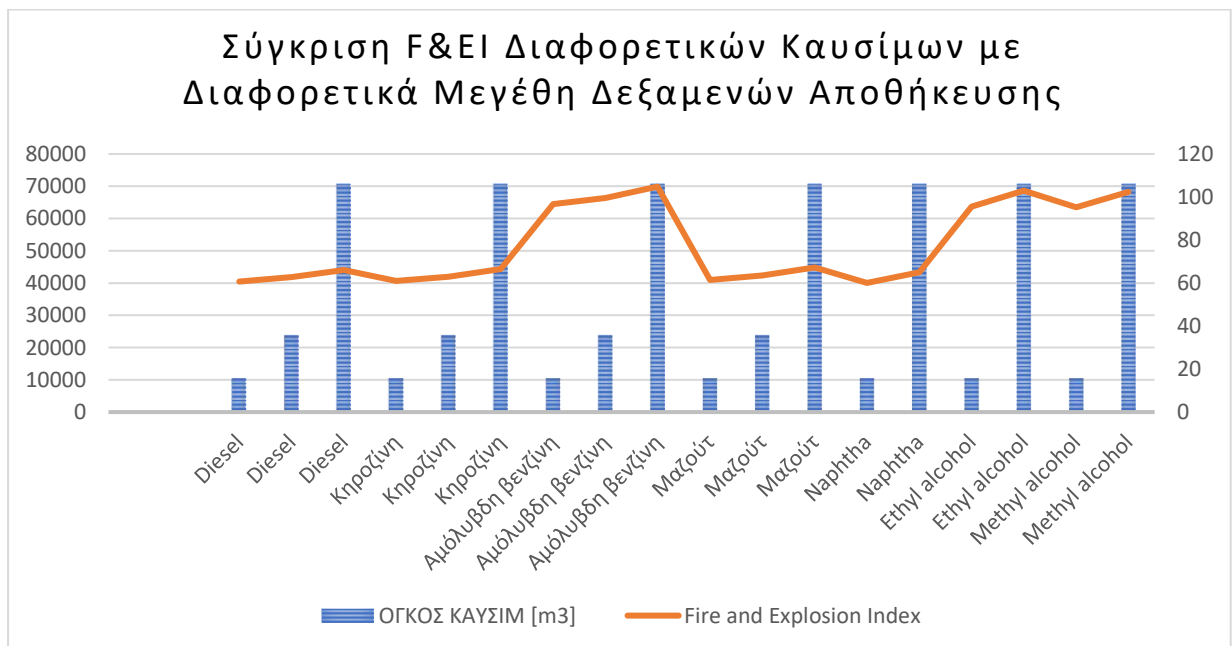


Διάγραμμα 14: Σύγκριση F&EI και Όγκου Αποθήκευσης Δεξαμενών Βενζίνης



Διάγραμμα 15: Σύγκριση F&EI και Όγκου Αποθήκευσης Δεξαμενών Μαζούτ

Έχει μεγάλη σημασία η ανάλυση της επίδρασης που ίδια καύσιμα σε διαφορετικού μεγέθους χωρητικότητας δεξαμενές και διαφορετικά καύσιμα σε δεξαμενές με ίδια αποθηκευτική ικανότητα μπορούν να έχουν στον δείκτη DOW F&EI. Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης απεικονίζονται στο παρακάτω διάγραμμα 16:



Διάγραμμα 16: Συσχέτιση δείκτη DOW F&EI με όγκο καυσίμων δεξαμενών

Από το παραπάνω διαγράμματα, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η αμόλυβδη βενζίνη διαθέτει υψηλότερη επικινδυνότητα σε σύγκριση με τα άλλα καύσιμα, ανεξαρτήτως του μεγέθους της δεξαμενής που χρησιμοποιείται για την αποθήκευσή τους. Η αιθυλική αλκοόλη και η μεθυλική αλκοόλη παρουσιάζουν αντίστοιχά παρόμοια με την αμόλυβδη βενζίνη υψηλό δείκτη επικινδυνότητας Το Ντίζελ κίνησης και Κηροζίνη έχουν συγκρίσιμες επικινδυνότητες όταν αποθηκεύονται σε παρόμοιες ποσότητες, ενώ το μαζούτ φαίνεται να παρουσιάζει ελαφρώς αυξημένη επικινδυνότητα σε σχέση με τα προηγούμενα δύο.

7.2. Υπολογισμός της Ακτίνας Έκθεσης Καταστροφικού Συμβάντος σε Εγκατάσταση Δεξαμενών Υγρών Καυσίμων

Η διαδικασία εκτίμησης της ζώνης επιπτώσεων λόγω ενός καταστροφικού συμβάντος, έχει ζωτική σημασία για τον για τον σχεδιασμό των μέτρων αντιμετώπισης έκτακτης ανάγκης. Υπάρχουν κανονισμοί (ΦΕΚ 846/Β, 31/12/1990) που καθορίζουν την τοποθέτηση εξοπλισμού σε μια μονάδα βάσει αυτών των κριτηρίων.

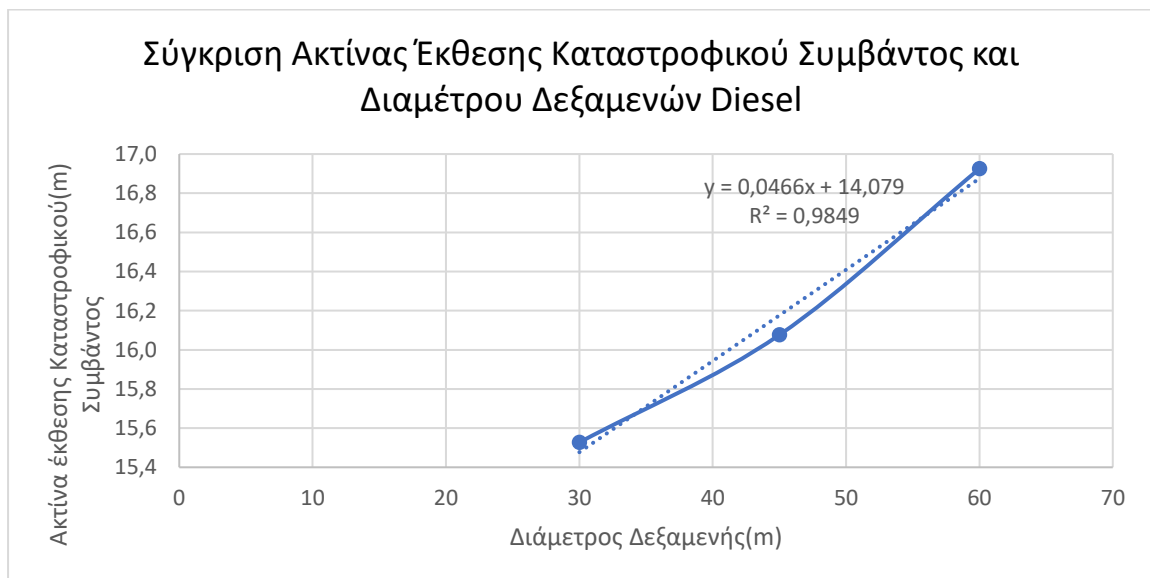
Μετά την εφαρμογή του δείκτη DOW F&EI στις δεξαμενές που εξετάστηκαν, οι τελευταίες εμφανίζουν ζώνες επιπτώσεων που αποτυπώνονται στον Πίνακά 22:

| ΔΕΞ/ΝΗ | Προϊόν | Όγκος Καυσίμου (m ³) | Fire And Explosion Index | Ακτίνα Έκθεσης (m) | Επιφάνεια Έκθεσης (m ²) |
|--------|------------------|----------------------------------|--------------------------|--------------------|-------------------------------------|
| ΔΕΞ-1 | Diesel | 10.598 | 60,65 | 15,5 | 757 |
| ΔΕΞ-2 | Diesel | 23.844 | 62,79 | 16,1 | 812 |
| ΔΕΞ-3 | Diesel | 70.650 | 66,11 | 16,9 | 899 |
| ΔΕΞ-4 | Κηροζίνη | 10.598 | 61,04 | 15,6 | 767 |
| ΔΕΞ-5 | Κηροζίνη | 23.844 | 62,99 | 16,1 | 817 |
| ΔΕΞ-6 | Κηροζίνη | 70.650 | 66,50 | 17,0 | 910 |
| ΔΕΞ-7 | Αμόλυβδη βενζίνη | 10.598 | 96,72 | 24,8 | 1.926 |
| ΔΕΞ-8 | Αμόλυβδη βενζίνη | 23.844 | 99,53 | 25,5 | 2.039 |
| ΔΕΞ-9 | Αμόλυβδη βενζίνη | 70.650 | 104,83 | 26,8 | 2.262 |
| ΔΕΞ-10 | Μαζούτ | 10.598 | 61,43 | 15,7 | 777 |

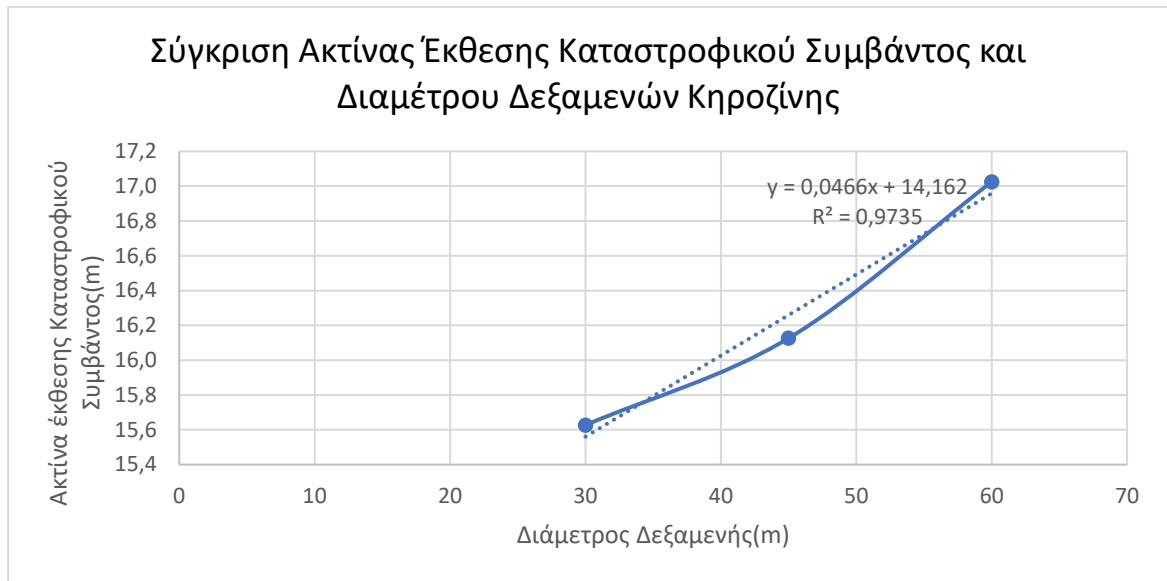
| | | | | | |
|--------|----------------|--------|--------|------|-------|
| ΔΕΞ-11 | Μαζούτ | 23.844 | 63,57 | 16,3 | 832 |
| ΔΕΞ-12 | Μαζούτ | 70.650 | 67,28 | 17,2 | 932 |
| ΔΕΞ-13 | Naphtha | 10.598 | 60,06 | 15,4 | 742 |
| ΔΕΞ-14 | Naphtha | 70.650 | 64,94 | 16,6 | 868 |
| ΔΕΞ-15 | Ethyl alcohol | 10.598 | 95,47 | 24,4 | 1.876 |
| ΔΕΞ-16 | Ethyl alcohol | 70.650 | 102,96 | 26,4 | 2.182 |
| ΔΕΞ-17 | Methyl alcohol | 10.598 | 95,16 | 24,4 | 1.864 |
| ΔΕΞ-18 | Methyl alcohol | 70.650 | 102,34 | 26,2 | 2.156 |

Πίνακας 22: Ακτίνες και επιφάνειες εκθέσεων για κάθε δεξαμενή

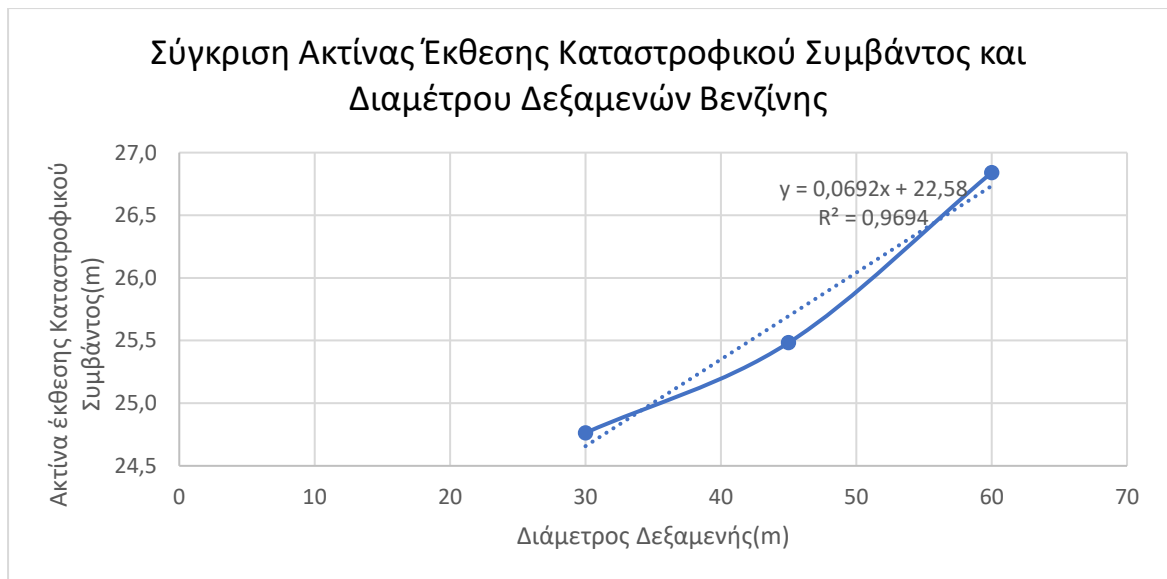
Όπως απεικονίζεται στα παρακάτω διαγράμματα, υπάρχει σαφής συσχέτιση μεταξύ της ακτίνας έκθεσης ενός συμβάντος με το είδος του καύσιμου αλλά και της ποσότητας του καύσιμου που μπορεί να αποθηκευτεί σε μια δεξαμενή.



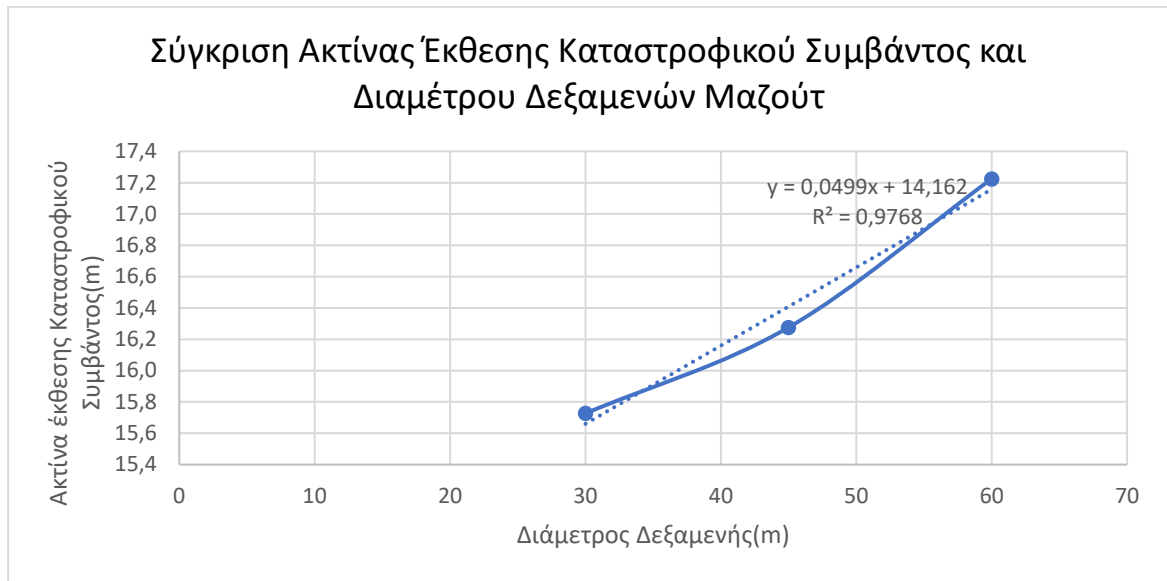
Διάγραμμα 17: Σύγκριση Ακτίνας Έκθεσης Καταστροφικού Συμβάντος και Διαμέτρου Δεξαμενών Diesel



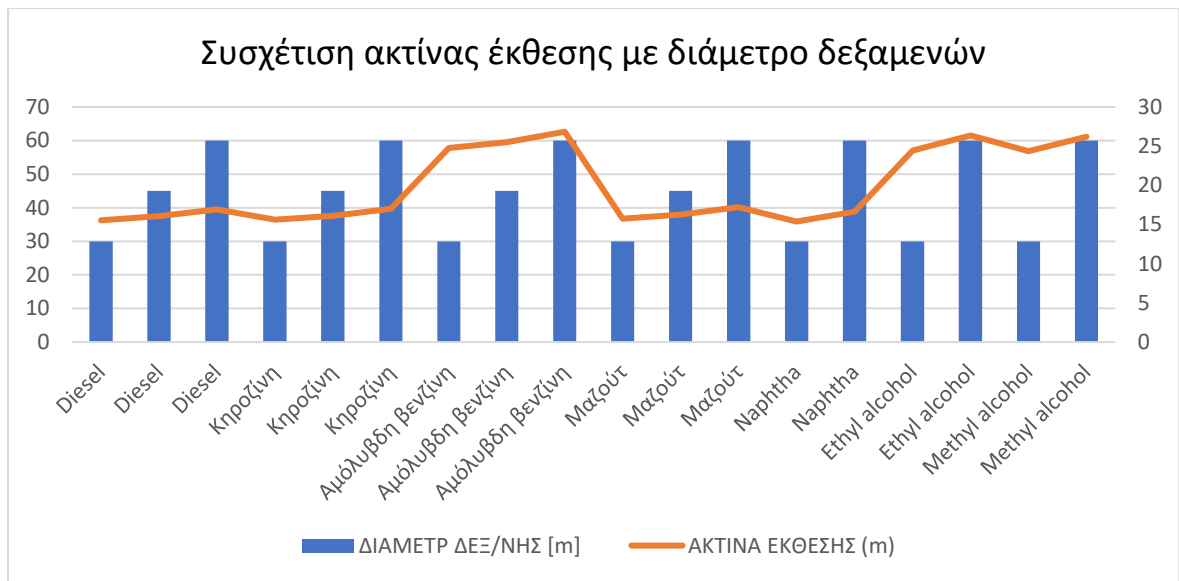
Διάγραμμα 18: Σύγκριση Ακτίνας Έκθεσης Καταστροφικού Συμβάντος και Διαμέτρου Δεξαμενών Κηροζίνης



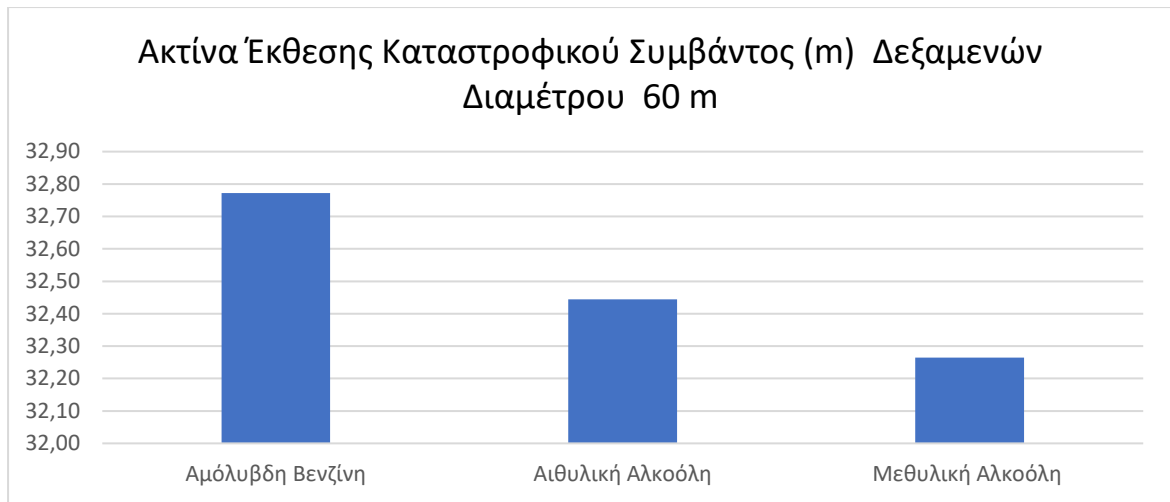
Διάγραμμα 19: Σύγκριση Ακτίνας Έκθεσης Καταστροφικού Συμβάντος και Διαμέτρου Δεξαμενών Βενζίνης



Διάγραμμα 20: Σύγκριση Ακτίνας Έκθεσης Καταστροφικού Συμβάντος και Διαμέτρου Δεξαμενών Μαζούτ



Διάγραμμα 21: Συσχέτιση ακτίνας έκθεσης με διάμετρο δεξαμενών



Διάγραμμα 22: Ακτίνα Έκθεσης Καταστροφικού Συμβάντος (m) Δεξαμενών Διαμέτρου 60 m

Από το παραπάνω διαγράμματα, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η αμόλυβδη βενζίνη διαθέτει μεγαλύτερη ακτίνα έκθεσης καταστροφικού συμβάντος σε σύγκριση με τα άλλα καύσιμα, ανεξαρτήτως του μεγέθους της δεξαμενής που χρησιμοποιείται για την αποθήκευσή τους. Η αιθυλική αλκοόλη και η μεθυλική αλκοόλη παρουσιάζουν αντίστοιχα παρόμοια με την αμόλυβδη βενζίνη ακτίνα έκθεσης καταστροφικού συμβάντος.

7.3.Υπολογισμός Των Loss Control Measures σε Εγκατάσταση Δεξαμενών Υγρών Καυσίμων

Σύμφωνα με την μεθοδολογία DOW F&EI, σε κάθε μέτρο ελέγχου έχει καθοριστεί ένα εύρος τιμών για την μείωση της επικινδυνότητας, τα λεγόμενα Loss Control Credits, (LCCs) τα οποία προέρχονται από εμπειρικά δεδομένα. Η μεθοδολογία παρέχει οδηγίες για την επιλογή της κατάλληλης τιμής ανάλογα με ειδικά κριτήρια για κάθε κατηγορία C1, C2 και C3. Η συνολική επίδραση των επιμέρους παραγόντων μείωσης της επικινδυνότητας δίνει τον τελικό παράγοντα μείωσης της επικινδυνότητας, τον Loss control credit factor (LCCF).

Τα LCCF και οι σχετικοί πιστωτικοί παράγοντες, με τις παραδοχές που έγιναν για την εγκατάσταση αποθήκευσης υγρών καυσίμων σύμφωνα με τον οδηγό DOW F&EI, αναλύονται και παρουσιάζονται ως εξής:

Για τον υπολογισμό του παράγοντα ελέγχου διαδικασίας (Process Control Credit Factor) - C1, λαμβάνονται υπόψη οι εξής παράμετροι:

a. Διαθεσιμότητα ενέργειας για καταστάσεις έκτακτης ανάγκης: Είναι ζωτικής σημασίας η παροχή ενέργειας για έκτακτες συνθήκες, καθορίζοντας έναν συντελεστή στο 0,98.

b. Σύστημα ψύξης: Εξασφαλίζεται ψύξη για το 150% των απαιτήσεων τουλάχιστον 10 λεπτά, ορίζοντας συντελεστή στο 0,97.

c. Προστασία από υπερπίεση: υφίσταται εξοπλισμός για την προστασία από υπερπίεση, με συντελεστή 0,84.

d. Διακοπή λειτουργίας για έκτακτες ανάγκες: Ενεργοποιείται μόνο ένας συναγερμός, ορίζοντας έναν συντελεστή στο 0,96.

e. Εξ αποστάσεως έλεγχος: Χρησιμοποιείται υπολογιστικός έλεγχος, με συντελεστή 0,93.

f. Αδρανές αέριο: Η περίπτωση δεν καλύπτεται από αδρανές αέριο, χρησιμοποιώντας συντελεστή 1.

g. Οδηγίες ασφαλούς λειτουργίας: Αντικατοπτρίζονται με συντελεστή 0,95.

h. Επαναξιολόγηση χημικών αντιδράσεων: Δεν εκτελείται, χρησιμοποιώντας συντελεστή 1

i. Άλλες μελέτες ανάλυσης κινδύνου: Πραγματοποιείται HAZOP ανάλυση, επομένως χρησιμοποιείται συντελεστής 0,94.

| Process Control Credit Factor (C1) | | | | | |
|------------------------------------|---------------------|--------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------|
| Feature | Credit Factor Range | Credit Factor Used | Feature | Credit Factor Range | Credit Factor Used |
| a. Emergency Power | 0.98 | 0,98 | f. InertGas | 0.94 to 0.96 | 1 |
| b. Cooling | 0.97 to 0.9 | 0,97 | g. Operating InstructionsProcedu | 0.91 to 0.99 | 0,95 |
| c. Explosion Control | 0.84 to 0.9 | 0,84 | h. Reactive Chemical Review | 0.91 to 0.98 | 1 |
| d. Emergency Shutdown | 0.96 to 0.9 | 0,96 | i. Other Process Hazard Analysis | 0.91 to 0.98 | 0,94 |
| e. Computer Control | 0.93 to 0.9 | 0,93 | | | |
| | | C1 Value | | 0,64 | |

Πίνακας 23: Υπολογισμός Παράγοντα Ελέγχου Διαδικασίας C1

Ο υπολογισμός του συντελεστή πιστώσεως για την απομόνωση υλικών (C2) περιλαμβάνει:

a. Βαλβίδες Τηλεχειρισμού

Η εγκατάσταση έχει βαλβίδες απομόνωσης που λειτουργούν μέσω τηλεχειρισμού, επιτρέποντας την άμεση απομόνωση των δεξαμενών αποθήκευσης ή κύριων σημείων των συστημάτων μεταφοράς σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Αυτό οδηγεί σε έναν συντελεστή μείωσης κινδύνου 0,98.

b. Σύστημα Εκτόνωσης Υλικού (Dump/Blowdown)

Σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης, ενδεχόμενες διαρροές κατευθύνονται απευθείας σε λεκάνες ασφαλείας. Γι' αυτό το λόγο, χρησιμοποιείται συντελεστής 0,98.

c. Αποχετευτικό Σύστημα

Οι δεξαμενές είναι τοποθετημένες εντός λεκάνης ασφαλείας σχεδιασμένης για την αντιμετώπιση εκτεταμένων διαρροών, καλύπτοντας ολόκληρο τον χώρο της εγκατάστασης. Αυτό δικαιολογεί τη χρήση ενός συντελεστή 0,91.

d. Αυτόματα ηλεκτρονικά συστήματα προστασίας (Interlock)

Οι δεξαμενές δεν διαθέτουν interlocks που θα διακόπτουν την παροχή σε περίπτωση ανίχνευσης υπερβολικά υψηλής στάθμης αποφεύγοντας την υπερχειλίση. Επομένως, χρησιμοποιείται συντελεστής 1.

| Material Isolation Credit Factor (C2) | | | | | |
|---------------------------------------|---------------------|--------------------|--------------|---------------------|--------------------|
| Feature | Credit Factor Range | Credit Factor Used | Feature | Credit Factor Range | Credit Factor Used |
| a. Remote Control Valves | 0.96 to 0.9 | 0,98 | c. Drainage | 0.91 to 0.97 | 0,91 |
| b. Dump/Blowdown | 0.96 to 0.9 | 0,98 | d. Interlock | 0.98 | 1 |
| | | C2 Value | 0,87 | | |

Πίνακας 24: Υπολογισμός Συντελεστή Πιστώσεως Απομόνωσης Υλικών C2

Για τον καθορισμό του συντελεστή πυροπροστασίας (C3), λαμβάνουμε υπόψη τα εξής:

a. Ανίχνευση Διαρροών

Επειδή τα συστήματα ανίχνευσης αερίων ενεργοποιούν μόνο συναγερμό και περιορίζονται σε συγκεκριμένες ζώνες, αποφασίστηκε η χρήση ενός συντελεστή 0,98.

b. Κατασκευαστικό Υλικό Εξοπλισμού

Χρησιμοποιείται συντελεστής 1.

c. Εφαρμογή Νερού Πυρόσβεσης

Χρησιμοποιείται αντίστοιχη διάταξη με πίεση λειτουργίας μεγαλύτερη από 100 psi. Επομένως, χρησιμοποιείται συντελεστής 0,94.

d. Ειδικά Συστήματα Πυρόσβεσης

Καθώς δεν υπάρχουν συστήματα με halon ή παρόμοια, ορίστηκε συντελεστής 1.

e. Συστήματα Ψεκασμού (Καταιονισμού)

Υφίστανται στην εγκατάσταση, με υπολογιζόμενο μέσο συντελεστή (ανά επιφάνεια δεξαμενής) συντελεστής 0,81.

f. Κουρτίνες Νερού»

Υφίστανται στην εγκατάσταση από κουρτίνες νερού που δικαιολογεί συντελεστή 0,97.

g. Συστήματα Αφρού

Υφίστανται στην εγκατάσταση από κουρτίνες νερού που δικαιολογεί συντελεστή 0,95.

h. Φορητά Μέσα Πυρόσβεσης

Η δυνατότητα χρήσης φορητών συσκευών πυρόσβεσης και συστημάτων ρίψης αφρού από μεγάλη απόσταση μας επιτρέπει να επιλέξουμε συντελεστή 0,93.

i. Προστασία Καλωδίων

Χρησιμοποιείται συντελεστής 0,96.

| Fire Protection Credit Factor (C3) | | | | | |
|------------------------------------|---------------------|--------------------|--------------------------------|---------------------|--------------------|
| Feature | Credit Factor Range | Credit Factor Used | Feature | Credit Factor Range | Credit Factor Used |
| a. Leak Detection | 0.94 to 0.9 | 0,98 | f. Water Curtains | 0.97 to 0.98 | 0,97 |
| b. Structural Steel | 0.95 to 0.9 | 1 | g. Foam | 0.92 to 0.97 | 0,95 |
| c. Fire Water Supply | 0.94 to 0.9 | 0,94 | h. Hand Extinguishers/Monitors | 0.93 to 0.98 | 0,93 |
| d. Special Systems | 0.91 | 1 | i. Cable Protection | 0.94 to 0.98 | 0,96 |
| e. Sprinkler Systems | 0.74 to 0.9 | 0,81 | | | |
| | | C3 Value | 0,61 | | |

Πίνακας 25: Υπολογισμός Συντελεστή C3

Ολοκληρώνοντας την αξιολόγηση, καταλήγουμε σε μια συνολική βαθμολογία για κάθε κατηγορία απώλειας ελέγχου με βάση τα τρία κριτήρια (C1, C2, C3). Η τελική αξιολόγηση απώλειας ελέγχου για την εγκατάσταση προκύπτει από το γινόμενο των συντελεστών C1, C2, και C3, προσδίδοντας έναν συνολικό πιστωτικό παράγοντα για την αξιολόγηση του κινδύνου πυρκαγιάς και έκρηξης στην εγκατάσταση αποθήκευσης υγρών καυσίμων.

$$\text{Loss Control Credit Factor} = C1 \times C2 \times C3 = 0,34$$

7.4. Προτάσεις για την Περαιτέρω Μείωση του Κινδύνου σε Εγκατάσταση Δεξαμενών Υγρών Καυσίμων

Αναφορικά με τις τρεις κατηγορίες των χαρακτηριστικών ελέγχου απώλειας (C1, C2, C3), υπάρχουν βελτιωτικοί παράγοντες που μπορούν να ενισχυθούν την εγκατάσταση αποθήκευσης υγρών καυσίμων. Οι προτεινόμενες βελτιώσεις για τη μείωση της επικινδυνότητας, σύμφωνα με το American Institute of Chemical Engineers (1994), περιλαμβάνουν:

Παράγοντας Ελέγχου Διαδικασίας (Process Control Credit Factor) (C1):

Οι βελτιώσεις στον τομέα αυτό περιλαμβάνουν τη χρήση αδρανούς αερίου, όπου είναι εφικτό (πχ σε δεξαμενές νάφθας/αλκοόλης) την ενίσχυση των διαδικασιών λειτουργίας της εγκατάστασης, τη συνεχή εφαρμογή προγράμματος αναγνώρισης κινδύνων χημικών, τη βελτίωση των εκτιμήσεων επικινδυνότητας, και τη χρήση διαφορετικών τύπων αναλύσεων κινδύνου από την προηγούμενη HAZOP.

Βελτίωση των οδηγιών λειτουργίας και συνεχής εκπαίδευση του προσωπικού μπορεί να μειώσει τον παράγοντα στην εγκατάσταση αποθήκευσης υγρών καυσίμων σε 0,91 από 0,95.

Η συνεχής εφαρμογή προγράμματος αναγνώρισης κινδύνων χωρίς διακοπές, που θα μπορούσε να μειώσει επίσης τον αντίστοιχο παράγοντα σε 0,91 από 0,94.

Σύμφωνα με το εγχειρίδιο εφαρμογής του δείκτη DOW F&EI, η εφαρμογή μιας ποσοτικής εκτίμησης κινδύνου προσφέρει υψηλότερο συντελεστή μείωσης επικινδυνότητας συγκριτικά με τη μελέτη HAZOP. Η συμπληρωματική εφαρμογή της μελέτης HAZOP, παρέχει καλύτερα συμπεράσματα για την επικινδυνότητα κάθε δεξαμενής, βοηθώντας τόσο το προσωπικό της εγκατάστασης όσο και τον πληθυσμό που διαμένει κοντά σε αυτή. Με την εφαρμογή μιας ποσοτικής εκτίμησης κινδύνου, ο συντελεστής θα βελτιωθεί από 0,91 σε 0,94.

7.4.1. Παράγοντας Απομόνωσης Υλικών (Material Isolation Credit Factor) (C2)

a. Στην εγκατάσταση αποθήκευσης υγρών καυσίμων μπορεί να τοποθετηθούν αυτοματοποιημένες βάνες, οι οποίες επιτρέπουν την απομακρυσμένη λειτουργία για να απομονώσουν ή να μεταγγίζουν κατά τη διάρκεια εκτάκτων αναγκών. Εάν εφαρμοστεί ένα συστηματικό πρόγραμμα επιθεώρησης και συντήρησης για τις βάνες αυτές, ο παράγοντας πιστωτικού ελέγχου θα βελτιωθεί από 0,98 σε 0,96.

b. Σύστημα Εκτόνωσης Υλικού (Dump/Blowdown)

επιπρόσθετα την εγκατάσταση αποθήκευσης υγρών καυσίμων μπορεί να τοποθετηθεί σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης, ενδεχόμενες διαρροές κατευθύνονται απευθείας σε λεκάνες ασφαλείας που να είναι τοποθετημένες σε περιοχή εκτός της περιοχής των δεξαμενών. Με αυτόν τον τρόπο ο παράγοντας πιστωτικού ελέγχου θα βελτιωθεί από 0,98 σε 0,96.

7.4.2. Παράγοντας Προστασίας Πυρκαγιάς (Fire Protection Credit Factor) (C3)

a. Οι σύγχρονες τεχνολογίες στα συστήματα πυροπροστασίας έχουν εξελιχθεί σε σημείο όπου επιτρέπουν την αξιόπιστη και αυτοματοποιημένη επέμβαση σε εξοπλισμό. Στις δεξαμενές που εξετάστηκαν μπορούν να εγκατασταθούν ανιχνευτές διαρροής που επιτρέπουν την έγκαιρη ενεργοποίηση μέτρων αντίδρασης (όπως απομόνωση δεξαμενών) για την αποτροπή ανάφλεξης. Με την εγκατάσταση αυτοματοποιημένων συστημάτων ενεργοποίησης, ο συντελεστής μείωσης κινδύνου αναμένεται να μειωθεί σε 0,94 από 0,98.

d. Εξετάζουμε επίσης τη χρήση συστημάτων αφρού με αυτόματης ενεργοποίηση για την κατάσβεση επικίνδυνων πυρκαγιών και επιτυγχάνεται μείωση του συντελεστή επικινδυνότητας στο 0,92.

i. Με την βελτιστοποίηση της καλωδιακής υποδομής στη μονάδα, θα μπορούσαμε να μειώσουμε τον συντελεστή επικινδυνότητας από 0,98 σε 0,94. Αυτό θα επιτυγχάνονταν αν η καλωδίωση ήταν θαμμένη κάτω από την επιφάνεια του εδάφους σε αντίστοιχες διαστάσεις τάφρου, με αποτέλεσμα την χρήση ενός βελτιωμένου παράγοντα πιστωτικού ελέγχου 0,94.

Στον Παρακάτω πίνακα 26 παρουσιάζεται ο υπολογισμός του Loss Control Credit Factor με τα περαιτέρω μέτρα μείωσης του κινδύνου στην εγκατάσταση δεξαμενών υγρών καυσίμων.

| Process Control Credit Factor (C1) | | | | | |
|--------------------------------------------------|---------------------|--------------------|-----------------------------------|---------------------|--------------------|
| Feature | Credit Factor Range | Credit Factor Used | Feature | Credit Factor Range | Credit Factor Used |
| a. Emergency Pov | 0.98 | 0,98 | f. InertGas | 0.94 to 0.96 | 1 |
| b. Cooling | 0.97 to 0.99 | 0,97 | g. Operating InstructionsProcedur | 0.91 to 0.99 | 0,91 |
| c. Explosion Cont | 0.84 to 0.98 | 0,84 | h. Reactive Chemical Review | 0.91 to 0.98 | 1 |
| d. Ernerrrencv Sh | 0.96 to 0.99 | 0,96 | i. Other Process Hazard Analysis | 0.91 to 0.98 | 0,91 |
| e. Computer Con | 0.93 to 0.99 | 0,93 | | | |
| | | C1 Value | | | 0,59 |
| Material Isolation Credit Factor (C2) | | | | | |
| Feature | Credit Factor Range | Credit Factor Used | Feature | Credit Factor Range | Credit Factor Used |
| a. Remote Contro | 0.96 to 0.98 | 0,96 | c. Drainage | 0.91 to 0.97 | 0,91 |
| b. Dump/Blowd | 0.96 to 0.98 | 0,96 | d. Interlock | 0.98 | 1 |
| | | C2 Value | | | 0,84 |
| Fire Protection Credit Factor (C3) | | | | | |
| Feature | Credit Factor Range | Credit Factor Used | Feature | Credit Factor Range | Credit Factor Used |
| a. Leak Detection | 0.94 to 0.98 | 0,94 | f. Water Curtains | 0.97 to 0.98 | 0,97 |
| b. StructuralStee | 0.95 to 0.98 | 1 | g. Foam | 0.92 to 0.97 | 0,92 |
| c. Fire Water Sup | 0.94 to 0.97 | 0,94 | h. Hand Extinguishers/Monitors | 0.93 to 0.98 | 0,93 |
| d. Special System | 0.91 | 1 | i. Cable Protection | 0.94 to 0.98 | 0,94 |
| e. Sprinkler Syste | 0.74 to 0.97 | 0,81 | | | |
| | | C3 Value | | | 0,56 |
| Loss Control Credit Factor = C1 X C2 X C3 | | | | 0,28 | |

Πίνακας 26: Υπολογισμός LCCF με περαιτέρω μέτρα μείωσης επικινδυνότητας

Επιπρόσθετα, στον Παρακάτω πίνακα 27 γίνεται ο υπολογισμός του Loss Control Credit Factor χωρίς μέτρα μείωσης επικινδυνότητας στην εγκατάσταση δεξαμενών υγρών καυσίμων.

| Process Control Credit Factor (C1) | | | | | |
|--------------------------------------------------|---------------------|--------------------|--------------------------------------|---------------------|--------------------|
| Feature | Credit Factor Range | Credit Factor Used | Feature | Credit Factor Range | Credit Factor Used |
| a. Emergency Power | 0.98 | 0,98 | f. Inert Gas | 0.94 to 0.96 | 1 |
| b. Cooling | 0.97 to 0.99 | 0,99 | g. Operating Instructions/Procedures | 0.91 to 0.99 | 0,99 |
| c. Explosion Control | 0.84 to 0.98 | 0,98 | h. Reactive Chemical Review | 0.91 to 0.98 | 1 |
| d. Emergency Shutdown | 0.96 to 0.99 | 0,99 | i. Other Process Hazard Analysis | 0.91 to 0.98 | 0,98 |
| e. Computer Control | 0.93 to 0.99 | 0,99 | | | |
| | | C1 Value | | 0,90 | |
| Material Isolation Credit Factor (C2) | | | | | |
| Feature | Credit Factor Range | Credit Factor Used | Feature | Credit Factor Range | Credit Factor Used |
| a. Remote Control Valves | 0.96 to 0.98 | 0,98 | c. Drainage | 0.91 to 0.97 | 0,97 |
| b. Dump/Blowdown | 0.96 to 0.98 | 0,98 | d. Interlock | 0.98 | 1 |
| | | C2 Value | | 0,93 | |
| Fire Protection Credit Factor (C3) | | | | | |
| Feature | Credit Factor Range | Credit Factor Used | Feature | Credit Factor Range | Credit Factor Used |
| a. Leak Detection | 0.94 to 0.98 | 0,98 | f. Water Curtains | 0.97 to 0.98 | 0,98 |
| b. Structural Steel | 0.95 to 0.98 | 0,98 | g. Foam | 0.92 to 0.97 | 0,97 |
| c. Fire Water Supply | 0.94 to 0.97 | 0,97 | h. Hand Extinguishers/Monitors | 0.93 to 0.98 | 0,98 |
| d. Special Systems | 0.91 | 1 | i. Cable Protection | 0.94 to 0.98 | 0,98 |
| e. Sprinkler Systems | 0.74 to 0.97 | 1 | | | |
| | | C3 Value | | 0,82 | |
| Loss Control Credit Factor = C1 X C2 X C3 | | | | | 0,69 |

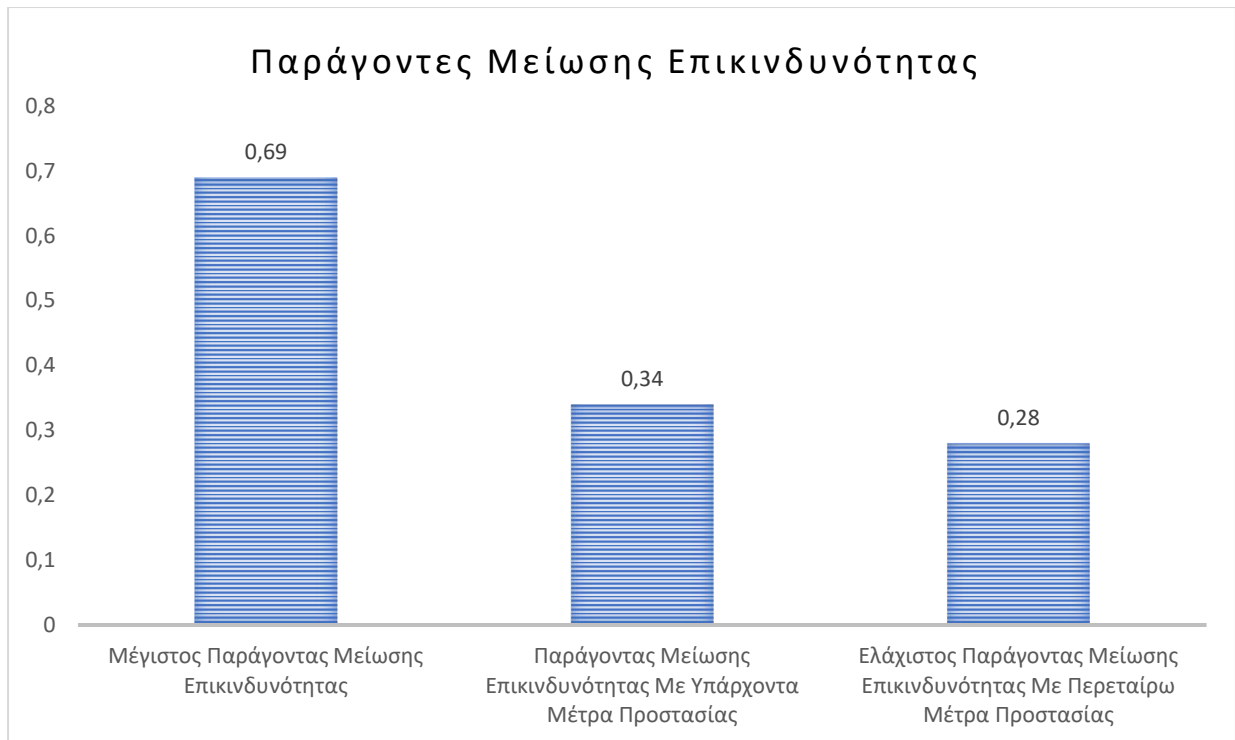
Πίνακας 27: Υπολογισμός LCCF χωρίς μέτρα μείωσης επικινδυνότητας

7.5. Αξιολόγηση Μεθόδων Μείωσης Της Επικινδυνότητας

Η παρούσα ανάλυση καταδεικνύει ότι οι δεξαμενές αποθήκευσης υγρών καυσίμων είναι δυνατό να οδηγήσουν σε σοβαρά περιστατικά, όπως φωτιά ή έκρηξη. Ακολουθεί ο πίνακας 27 και το διάγραμμα 14 που απεικονίζουν τον ελάχιστο και τον μέγιστο παράγοντα μείωσης του κινδύνου απώλειας, καθώς και την πραγματική κατάσταση υπό τις επικρατούσες συνθήκες στην εγκατάσταση αποθήκευσης υγρών καυσίμων. Η έκταση της ζημιάς στην ιδιοκτησία εξαρτάται από το μέγεθος του παράγοντα μείωσης επικινδυνότητας.

| Παράγοντες Μείωσης Επικινδυνότητας | Τιμές |
|------------------------------------------------------------------|-------|
| Παράγοντας Μείωσης Επικινδυνότητας Χωρίς Μέτρα Προστασίας | 0,69 |
| Παράγοντας Μείωσης Επικινδυνότητας Με Υπάρχοντα Μέτρα Προστασίας | 0,34 |
| Παράγοντας Μείωσης Επικινδυνότητας Με Περεταίρω Μέτρα Προστασίας | 0,28 |

Πίνακας 28: Τιμές Παράγοντα Μείωση Επικινδυνότητας



Διάγραμμα 23: Τιμές Παράγοντα Μείωση Επικινδυνότητας

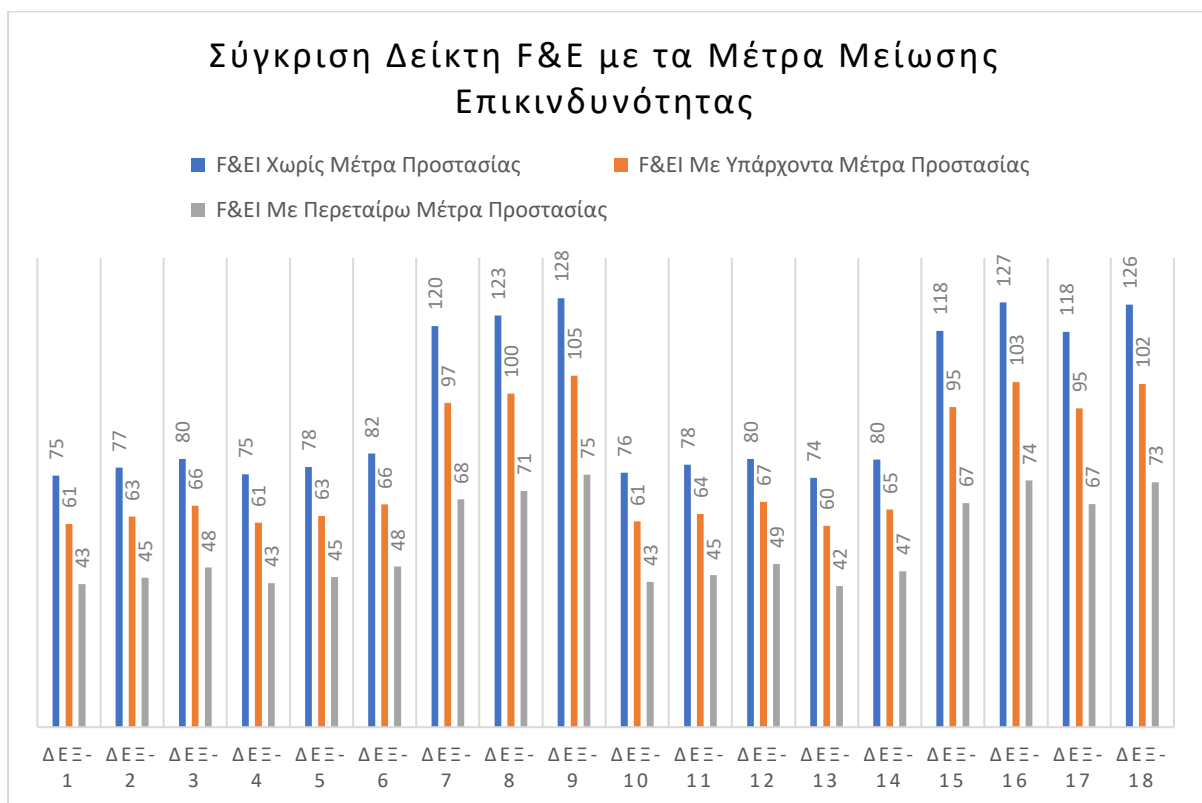
Αναλύοντας περαιτέρω, διαπιστώνουμε ότι με την εφαρμογή πρόσθετων μέτρων, είτε μέσω της ενίσχυσης του υπάρχοντος μηχανολογικού εξοπλισμού της εγκατάστασης είτε μέσω της βελτιστοποίησης των λειτουργικών διαδικασιών, επιτυγχάνεται μείωση της επικινδυνότητας και αποτυπώνεται στον παρακάτω πίνακα 29.

| ΔΕΞ/ΝΗ | Προϊόν | Όγκος Καυσίμου [m ³] | Fire And Explosion Index | Βαθμός Επικινδυνότητας με Υπάρχοντα μέτρα Προστασίας | Fire And Explosion Index | Βαθμός Επικινδυνότητας με Επιπρόσθετα μέτρα Προστασίας |
|--------|------------------|----------------------------------|--------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------|
| ΔΕΞ-1 | Diesel | 10.598 | 60,65 | ΜΕΤΡΙΟΣ | 42,66 | ΜΙΚΡΟΣ |
| ΔΕΞ-2 | Diesel | 23.844 | 62,79 | ΜΕΤΡΙΟΣ | 44,60 | ΜΙΚΡΟΣ |
| ΔΕΞ-3 | Diesel | 70.650 | 66,11 | ΜΕΤΡΙΟΣ | 47,61 | ΜΙΚΡΟΣ |
| ΔΕΞ-4 | Κηροζίνη | 10.598 | 61,04 | ΜΕΤΡΙΟΣ | 43,01 | ΜΙΚΡΟΣ |
| ΔΕΞ-5 | Κηροζίνη | 23.844 | 62,99 | ΜΕΤΡΙΟΣ | 44,78 | ΜΙΚΡΟΣ |
| ΔΕΞ-6 | Κηροζίνη | 70.650 | 66,50 | ΜΕΤΡΙΟΣ | 47,97 | ΜΙΚΡΟΣ |
| ΔΕΞ-7 | Αμόλυβδη Βενζίνη | 10.598 | 96,72 | ΕΝΔΙΑΜΕΣΟΣ | 67,97 | ΜΕΤΡΙΟΣ |
| ΔΕΞ-8 | Αμόλυβδη Βενζίνη | 23.844 | 99,53 | ΕΝΔΙΑΜΕΣΟΣ | 70,52 | ΜΕΤΡΙΟΣ |
| ΔΕΞ-9 | Αμόλυβδη Βενζίνη | 70.650 | 104,83 | ΕΝΔΙΑΜΕΣΟΣ | 75,33 | ΜΕΤΡΙΟΣ |
| ΔΕΞ-10 | Μαζούτ | 10.598 | 61,43 | ΜΕΤΡΙΟΣ | 43,37 | ΜΙΚΡΟΣ |
| ΔΕΞ-11 | Μαζούτ | 23.844 | 63,57 | ΜΕΤΡΙΟΣ | 45,31 | ΜΙΚΡΟΣ |
| ΔΕΞ-12 | Μαζούτ | 70.650 | 67,28 | ΜΕΤΡΙΟΣ | 48,68 | ΜΙΚΡΟΣ |
| ΔΕΞ-13 | Naphtha | 5.299 | 60,06 | ΜΕΤΡΙΟΣ | 42,13 | ΜΙΚΡΟΣ |

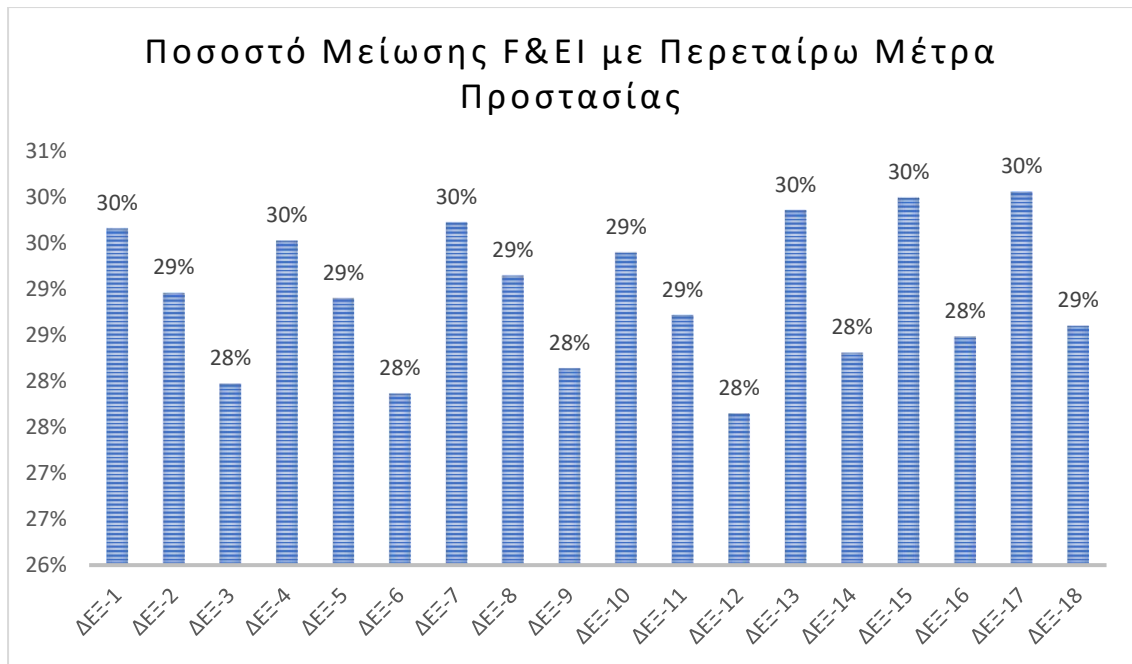
| | | | | | | |
|--------|----------------|--------|--------|------------|-------|---------|
| ΔΕΞ-14 | Naphtha | 29.438 | 64,94 | ΜΕΤΡΙΟΣ | 46,55 | ΜΙΚΡΟΣ |
| ΔΕΞ-15 | Ethyl Alcohol | 5.299 | 95,47 | ΕΝΔΙΑΜΕΣΟΣ | 66,84 | ΜΕΤΡΙΟΣ |
| ΔΕΞ-16 | Ethyl Alcohol | 29.438 | 102,96 | ΕΝΔΙΑΜΕΣΟΣ | 73,63 | ΜΕΤΡΙΟΣ |
| ΔΕΞ-17 | Methyl Alcohol | 5.299 | 95,16 | ΕΝΔΙΑΜΕΣΟΣ | 66,55 | ΜΕΤΡΙΟΣ |
| ΔΕΞ-18 | Methyl Alcohol | 29.438 | 102,34 | ΕΝΔΙΑΜΕΣΟΣ | 73,07 | ΜΕΤΡΙΟΣ |

Πίνακας 29: Σύγκριση βαθμού επικινδυνότητα

Η αποτελεσματική μείωση της επικινδυνότητας οδηγεί στη μείωση της μέγιστης πιθανής ζημιάς στην εγκατάσταση, ενώ η βελτίωση στην ασφάλεια κάθε δεξαμενής είναι εμφανής και μέσω της μείωσης του δείκτη DOW F&EI. Η επίδραση αυτών των βελτιώσεων αποτυπώνεται στα παρακάτω διαγράμματα 24 και 25, όπου φαίνεται η μείωση του δείκτη DOW F&EI μετά την εφαρμογή των βελτιωτικών μέτρων.



Διάγραμμα 24: Σύγκριση Δείκτη F&E Με Τα Μέτρα Μείωσης Επικινδυνότητας



Διάγραμμα 25: Ποσοστό Μείωσης F&EΙ Με Περεταίρω Μέτρα Προστασίας

8.Οικονομικές Συνέπειες από Καταστροφικό Συμβάν στην Εγκατάσταση Δεξαμενών Υγρών Καύσιμων

Η πρόκληση καταστροφικού συμβάντος στην εγκατάσταση δεξαμενών υγρών καύσιμων έχει σημαντικές οικονομικές επιπτώσεις για την επιχείρηση, τόσο από την καταστροφή των δεξαμενών και των περιεχομένων της όσο και από τη διακοπή της λειτουργίας που μπορεί να επιφέρει η απώλεια κάποιων δεξαμενών, σε μεγάλο τμήμα της επιχείρησης.

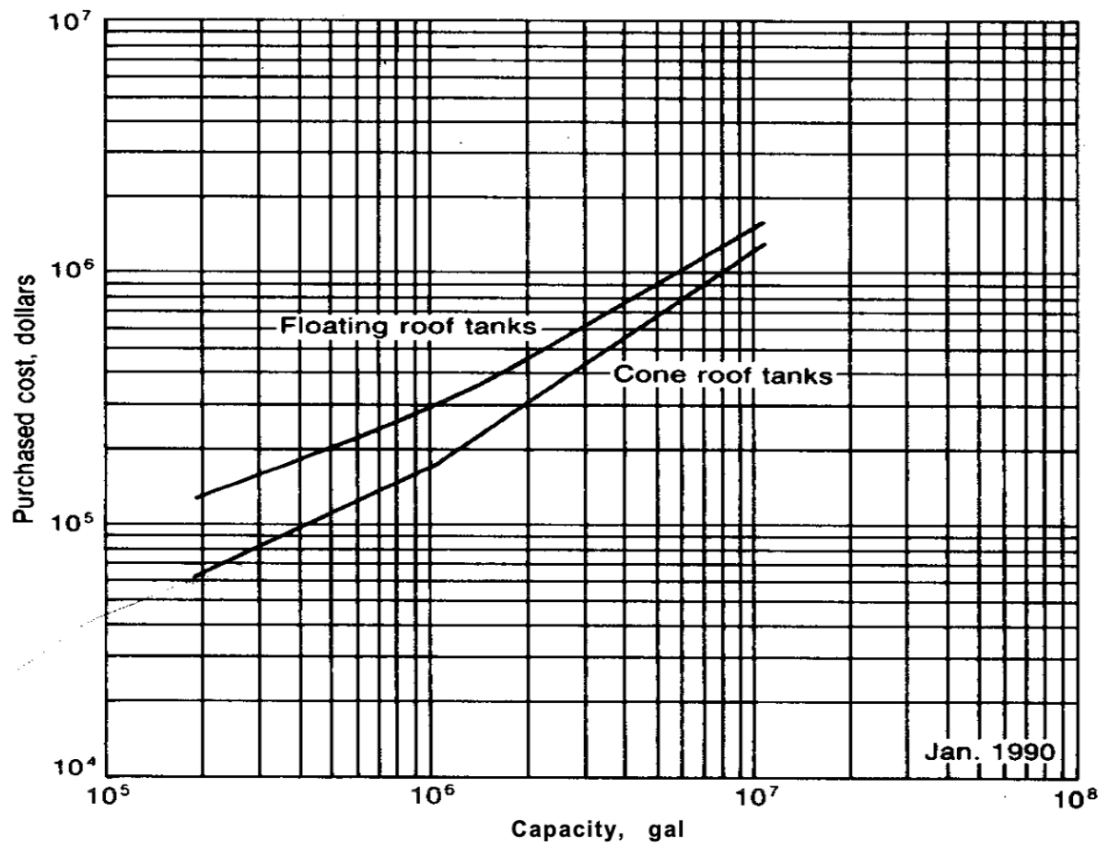
8.1.Υπολογισμός Συνολικής Ζημίας Από Καταστροφικό Συμβάν

Η κάθε πληγείσα δεξαμενή έχει οικονομική αξία, η οποία προκύπτει από το κόστος αντικατάστασης της κατεστραμμένης δεξαμενής και του καυσίμου που αποθηκεύεται εκεί.

Η τιμή αντικατάστασης υπολογίζεται ως: Τρέχον κόστος X 0,82

Ο συντελεστής 0,82 αντανακλά το κόστος για στοιχεία που δεν απαιτούν αντικατάσταση, όπως η προετοιμασία του τόπου, οι δρόμοι, οι υπόγειες εγκαταστάσεις και τα θεμέλια, καθώς και τα μηχανικά έξοδα, και μπορεί να τροποποιηθεί ανάλογα με πιο ακριβείς εκτιμήσεις.

Στην προκειμένη περίπτωση για να υπολογιστεί το τρέχον κόστος (Έτος 2024), υπολογίζεται το κόστος της κάθε δεξαμενής το έτος 1990 σύμφωνα με το παρακάτω διάγραμμα 26 (Max S. Peters Klaus D. Timmerhaus,1991) και ανάγεται με χρήση του δείκτη CEPCI (CE Plant Cost Index) το κόστος κάθε δεξαμενής για το έτος 2024.



Διάγραμμα 26: Υπολογισμός κόστους δεξαμενών

Επιπρόσθετα υπολογίζεται το κόστος καυσίμου και το συνολικό κόστος κάθε δεξαμενής (Κόστος δεξαμενής + Κόστος καυσίμου). Στον Πίνακα 30 παρουσιάζεται λεπτομερώς η διαδικασία εύρεσης του μέγιστου κόστους κάθε δεξαμενής

| ΔΕΞ/ΝΗ | ΠΡΟΙΟΝ | ΠΥΚΝΟΤ [tn/m3] | ΤΥΠΟΣ ΔΕΞ/ΝΗΣ | ΔΙΑΜΕΤΡ ΔΕΞ/ΝΗΣ [m] | ΜΕΓΙΣΤ ΥΨΟΣ ΠΛ/ΣΗΣ | ΕΠΙΦ/Α ΔΕΞ/ΝΗΣ [m2] | ΟΓΚΟΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ [m3] | ΜΑΖΑ ΚΑΥΣΙΜΟΥ [tn] | Τιμή Δεξαμενής το έτος 1990 \$ | Τιμή Δεξαμενής το έτος 2024 \$ | Κόστος Καυσίμου (\$/M3) | Κόστος Καυσίμου Δεξαμενής (\$) | Συνολικό Κόστος Δεξαμενής (\$) |
|--------|---------------------|-------------------|------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| ΔΕΞ-1 | Diesel | 0,824 | ΣΤΑΘΕΡΗ ΟΡΟΦΗ | 30 | 15 | 707 | 10.598 | 8.732 | 320.000 | 716.152 | 773 | 8.191.868 | 8.908.020 |
| ΔΕΞ-2 | Diesel | 0,824 | ΣΤΑΘΕΡΗ ΟΡΟΦΗ | 45 | 15 | 1590 | 23.844 | 19.648 | 800.000 | 1.790.380 | 773 | 18.431.702 | 20.222.082 |
| ΔΕΞ-3 | Diesel | 0,824 | ΣΤΑΘΕΡΗ ΟΡΟΦΗ | 60 | 25 | 2826 | 70.650 | 58.216 | 1.200.000 | 2.685.570 | 773 | 54.612.450 | 57.298.020 |
| ΔΕΞ-4 | Κηροζίνη | 0,8 | ΣΤΑΘΕΡΗ ΟΡΟΦΗ | 30 | 15 | 707 | 10.598 | 8.478 | 320.000 | 716.152 | 800 | 8.478.000 | 9.194.152 |
| ΔΕΞ-5 | Κηροζίνη | 0,8 | ΣΤΑΘΕΡΗ ΟΡΟΦΗ | 45 | 15 | 1590 | 23.844 | 19.076 | 800.000 | 1.790.380 | 800 | 19.075.500 | 20.865.880 |
| ΔΕΞ-6 | Κηροζίνη | 0,8 | ΣΤΑΘΕΡΗ ΟΡΟΦΗ | 60 | 25 | 2826 | 70.650 | 56.520 | 1.200.000 | 2.685.570 | 800 | 56.520.000 | 59.205.570 |
| ΔΕΞ-7 | Αμόλυβδη βενζίνη | 0,74 | ΠΛΩΤΗ ΟΡΟΦΗ | 30 | 15 | 707 | 10.598 | 7.842 | 320.000 | 716.152 | 930 | 9.855.675 | 10.571.827 |
| ΔΕΞ-8 | Αμόλυβδη βενζίνη | 0,74 | ΠΛΩΤΗ ΟΡΟΦΗ | 45 | 15 | 1590 | 23.844 | 17.645 | 800.000 | 1.790.380 | 930 | 22.175.269 | 23.965.649 |
| ΔΕΞ-9 | Αμόλυβδη βενζίνη | 0,74 | ΠΛΩΤΗ ΟΡΟΦΗ | 60 | 25 | 2826 | 70.650 | 52.281 | 1.200.000 | 2.685.570 | 930 | 65.704.500 | 68.390.070 |
| ΔΕΞ-10 | Μαζούτ | 0,99 | ΣΤΑΘΕΡΗ ΟΡΟΦΗ | 30 | 15 | 707 | 10.598 | 10.492 | 320.000 | 716.152 | 659 | 6.983.753 | 7.699.905 |
| ΔΕΞ-11 | Μαζούτ | 0,99 | ΣΤΑΘΕΡΗ ΟΡΟΦΗ | 45 | 15 | 1590 | 23.844 | 23.606 | 800.000 | 1.790.380 | 659 | 15.713.443 | 17.503.823 |
| ΔΕΞ-12 | Μαζούτ | 0,99 | ΣΤΑΘΕΡΗ ΟΡΟΦΗ | 60 | 25 | 2826 | 70.650 | 69.944 | 1.200.000 | 2.685.570 | 659 | 46.558.350 | 49.243.920 |
| ΔΕΞ-13 | Naphtha | 0,74 | ΣΤΑΘΕΡΗ ΟΡΟΦΗ | 15 | 30 | 177 | 5.299 | 3.921 | 320.000 | 716.152 | 663 | 3.513.071 | 4.229.223 |
| ΔΕΞ-14 | Naphtha | 0,74 | ΣΤΑΘΕΡΗ ΟΡΟΦΗ | 25 | 60 | 491 | 29.438 | 21.784 | 1.200.000 | 2.685.570 | 663 | 19.517.063 | 22.202.633 |
| ΔΕΞ-15 | Ethyl alcohol | 0,788 | ΣΤΑΘΕΡΗ ΟΡΟΦΗ | 15 | 30 | 177 | 5.299 | 4.175 | 320.000 | 716.152 | 932 | 4.938.435 | 5.654.587 |
| ΔΕΞ-16 | Ethyl alcohol | 0,788 | ΣΤΑΘΕΡΗ ΟΡΟΦΗ | 25 | 60 | 491 | 29.438 | 23.197 | 1.200.000 | 2.685.570 | 932 | 27.435.750 | 30.121.320 |
| ΔΕΞ-17 | Methyl alcohol | 0,791 | ΣΤΑΘΕΡΗ ΟΡΟΦΗ | 15 | 30 | 177 | 5.299 | 4.191 | 320.000 | 716.152 | 700 | 3.709.125 | 4.425.277 |
| ΔΕΞ-18 | Methyl alcohol | 0,791 | ΣΤΑΘΕΡΗ ΟΡΟΦΗ | 25 | 60 | 491 | 29.438 | 23.285 | 1.200.000 | 2.685.570 | 700 | 20.606.250 | 23.291.820 |

Πίνακας 30: Υπολογισμός συνολικού κόστους δεξαμενών

Από τα προηγούμενα δεδομένα, υπολογίζουμε την τιμή της βασικής μέγιστης πιθανής ζημιάς ιδιοκτησίας (MPPD) για κάθε δεξαμενή, χρησιμοποιώντας την εξίσωση: $BASE\ MPPD = VALUE\ OF\ AREA \times DAMAGE\ FACTOR$. Η εξίσωση αυτή παρουσιάζεται στο εγχειρίδιο DOW F&EI και υπολογίζεται με τον πολλαπλασιασμό της αξίας της εκτεθειμένης επιφάνειας επί τον παράγοντα βλάβης (DF). Ο παράγοντας βλάβης (Damage Factor) καθορίζεται από τον

παράγοντα κινδύνου της μονάδας επεξεργασίας (F3) και τον συντελεστή υλικών (MF), όπως προσδιορίζεται στο διάγραμμα 9 σελίδα 90.

Ο DF αναπαριστά το συνολικό αποτέλεσμα της πυρκαγιάς και της ζημιάς από έκρηξη που μπορεί να προκληθεί από την απελευθέρωση καυσίμου ή ενέργειας στη δεξαμενή. Οι τιμές του παράγοντα βλάβης (Damage Factor) για κάθε δεξαμενή απεικονίζεται στον επόμενο πίνακα 31.

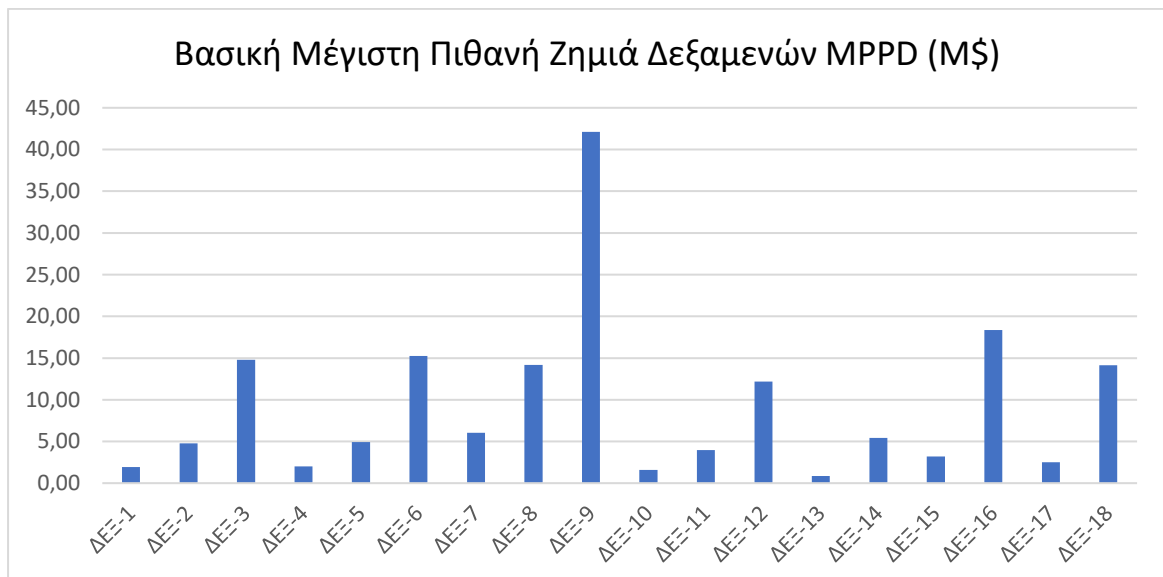
| ΔΕΞ/ΝΗ | Προϊόν | Παράγοντας Κινδύνου F3 | Συντελεστής Υλικών Μ F | Fire and Explosion Index | Επιφάνεια Έκθεσης (m ²) | Παράγοντας Βλάβης DF |
|--------|------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------------------|----------------------|
| ΔΕΞ-1 | Diesel | 6,06 | 10 | 61 | 757 | 0,22 |
| ΔΕΞ-2 | Diesel | 6,28 | 10 | 63 | 812 | 0,24 |
| ΔΕΞ-3 | Diesel | 6,61 | 10 | 66 | 899 | 0,26 |
| ΔΕΞ-4 | Κηροζίνη | 6,10 | 10 | 61 | 767 | 0,22 |
| ΔΕΞ-5 | Κηροζίνη | 6,30 | 10 | 63 | 817 | 0,24 |
| ΔΕΞ-6 | Κηροζίνη | 6,65 | 10 | 66 | 910 | 0,26 |
| ΔΕΞ-7 | Αμόλυβδη Βενζίνη | 6,05 | 16 | 97 | 1.926 | 0,58 |
| ΔΕΞ-8 | Αμόλυβδη Βενζίνη | 6,22 | 16 | 100 | 2.039 | 0,6 |
| ΔΕΞ-9 | Αμόλυβδη Βενζίνη | 6,55 | 16 | 105 | 2.262 | 0,62 |
| ΔΕΞ-10 | Μαζούτ | 6,14 | 10 | 61 | 777 | 0,21 |
| ΔΕΞ-11 | Μαζούτ | 6,36 | 10 | 64 | 832 | 0,23 |
| ΔΕΞ-12 | Μαζούτ | 6,73 | 10 | 67 | 932 | 0,25 |
| ΔΕΞ-13 | Naphtha | 6,01 | 10 | 60 | 742 | 0,21 |
| ΔΕΞ-14 | Naphtha | 6,49 | 10 | 65 | 868 | 0,25 |
| ΔΕΞ-15 | Ethyl Alcohol | 5,97 | 16 | 95 | 1.876 | 0,58 |
| ΔΕΞ-16 | Ethyl Alcohol | 6,44 | 16 | 103 | 2.182 | 0,62 |
| ΔΕΞ-17 | Methyl Alcohol | 5,95 | 16 | 95 | 1.864 | 0,58 |
| ΔΕΞ-18 | Methyl Alcohol | 6,40 | 16 | 102 | 2.156 | 0,62 |

Πίνακας 31: Υπολογισμός Επιφάνεια Έκθεσης και Παράγοντας Βλάβης (DF)

Με τη χρήση αυτών των παραγόντων, προσδιορίζεται η βασική μέγιστη πιθανή ζημιά στην εγκατάσταση MPPD (Πίνακας 32), παρέχοντας έναν πολύτιμο δείκτη για τις οικονομικές συνέπειες ενός καταστροφικού συμβάντος σε αυτή τη μονάδα.

| ΔΕΞ/ΝΗ | Προϊόν | Συνολικό Κόστος Δεξαμενής (\$) | Κόστος Δεξαμενής Χωρίς έξοδα απώλειας αντικατάστασης (\$) | Συνολικό Κόστος Δεξαμενής Χωρίς έξοδα απώλειας αντικατάστασης (\$) | DF | MPPD (\$) |
|--------|------------------|--------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|------|------------|
| ΔΕΞ-1 | Diesel | 8.908.020 | 587.245 | 8.779.112 | 0,22 | 1.931.405 |
| ΔΕΞ-2 | Diesel | 20.222.082 | 1.468.112 | 19.899.814 | 0,24 | 4.775.955 |
| ΔΕΞ-3 | Diesel | 57.298.020 | 2.202.168 | 56.814.618 | 0,26 | 14.771.801 |
| ΔΕΞ-4 | Κηροζίνη | 9.194.152 | 587.245 | 9.065.245 | 0,22 | 1.994.354 |
| ΔΕΞ-5 | Κηροζίνη | 20.865.880 | 1.468.112 | 20.543.612 | 0,24 | 4.930.467 |
| ΔΕΞ-6 | Κηροζίνη | 59.205.570 | 2.202.168 | 58.722.168 | 0,26 | 15.267.764 |
| ΔΕΞ-7 | Αμόλυβδη Βενζίνη | 10.571.827 | 587.245 | 10.442.920 | 0,58 | 6.056.893 |
| ΔΕΞ-8 | Αμόλυβδη Βενζίνη | 23.965.649 | 1.468.112 | 23.643.381 | 0,6 | 14.186.028 |
| ΔΕΞ-9 | Αμόλυβδη Βενζίνη | 68.390.070 | 2.202.168 | 67.906.668 | 0,62 | 42.102.134 |
| ΔΕΞ-10 | Μαζούτ | 7.699.905 | 587.245 | 7.570.997 | 0,21 | 1.589.909 |
| ΔΕΞ-11 | Μαζούτ | 17.503.823 | 1.468.112 | 17.181.555 | 0,23 | 3.951.758 |
| ΔΕΞ-12 | Μαζούτ | 49.243.920 | 2.202.168 | 48.760.518 | 0,25 | 12.190.129 |
| ΔΕΞ-13 | Naphtha | 4.229.223 | 587.245 | 4.100.316 | 0,21 | 861.066 |
| ΔΕΞ-14 | Naphtha | 22.202.633 | 2.202.168 | 21.719.230 | 0,25 | 5.429.808 |
| ΔΕΞ-15 | Ethyl Alcohol | 4.690.215 | 587.245 | 4.561.307 | 0,58 | 3.204.894 |
| ΔΕΞ-16 | Ethyl Alcohol | 24.763.695 | 2.202.168 | 24.280.293 | 0,62 | 18.375.509 |
| ΔΕΞ-17 | Methyl Alcohol | 3.365.527 | 587.245 | 3.236.620 | 0,58 | 2.491.894 |
| ΔΕΞ-18 | Methyl Alcohol | 17.404.320 | 2.202.168 | 16.920.918 | 0,62 | 14.141.219 |

Πίνακας 32: Υπολογισμός MPPD



Διάγραμμα 27: Βασική Μέγιστη Πιθανή Ζημιά Δεξαμενών MPPD (Μ\$)

Η κατανόηση και η κατάλληλη προετοιμασία για αυτές τις συνέπειες είναι κρίσιμη για τη διαχείριση των κινδύνων και την ελαχιστοποίηση του αντίκτυπου σε μία επιχείρηση.

Η μεθοδολογία για τον καθορισμό του συντελεστή μείωσης κινδύνου (CF) υπολογίζεται από τον πολλαπλασιασμό των παραγόντων C1, C2, και C3 των υπάρχοντων μέτρων προστασίας μείωσης επικινδυνότητας. Αυτός ο συντελεστής, όταν πολλαπλασιαστεί με την βασική μέγιστη πιθανή ζημιά ιδιοκτησίας MPPD, υπολογίζεται η πραγματικής πιθανής ζημιάς ιδιοκτησίας Actual MPPD και απεικονίζεται στον παρακάτω πίνακα 33.

| ΔΕΞ/ΝΗ | Προϊόν | MPPD (\$) | Actual MPPD Με Υπάρχοντα Μέτρα Προστασίας Μείωσης Επικινδυνότητας (\$) |
|--------|------------------|------------|------------------------------------------------------------------------|
| ΔΕΞ-1 | Diesel | 1.931.405 | 656.678 |
| ΔΕΞ-2 | Diesel | 4.775.955 | 1.623.825 |
| ΔΕΞ-3 | Diesel | 14.771.801 | 5.022.412 |
| ΔΕΞ-4 | Κηροζίνη | 1.994.354 | 678.080 |
| ΔΕΞ-5 | Κηροζίνη | 4.930.467 | 1.676.359 |
| ΔΕΞ-6 | Κηροζίνη | 15.267.764 | 5.191.040 |
| ΔΕΞ-7 | Αμόλυβδη Βενζίνη | 6.056.893 | 2.059.344 |
| ΔΕΞ-8 | Αμόλυβδη Βενζίνη | 14.186.028 | 4.823.250 |
| ΔΕΞ-9 | Αμόλυβδη Βενζίνη | 42.102.134 | 14.314.726 |
| ΔΕΞ-10 | Μαζούτ | 1.589.909 | 540.569 |
| ΔΕΞ-11 | Μαζούτ | 3.951.758 | 1.343.598 |
| ΔΕΞ-12 | Μαζούτ | 12.190.129 | 4.144.644 |
| ΔΕΞ-13 | Naphtha | 861.066 | 292.763 |
| ΔΕΞ-14 | Naphtha | 5.429.808 | 1.846.135 |
| ΔΕΞ-15 | Ethyl Alcohol | 3.204.894 | 1.089.664 |
| ΔΕΞ-16 | Ethyl Alcohol | 18.375.509 | 6.247.673 |
| ΔΕΞ-17 | Methyl Alcohol | 2.491.894 | 847.244 |
| ΔΕΞ-18 | Methyl Alcohol | 14.141.219 | 4.808.014 |

Πίνακας 33: Υπολογισμός Actual MPPD Με Υπάρχοντά Μέτρα Προστασίας Μείωσης Επικινδυνότητας

Προχωρώντας στην ανάλυση των οικονομικών απωλειών, η αξιολόγηση της Μέγιστης Πιθανής Ημερήσιας Διακοπής ΜΡDΟ αποτελεί ένα κρίσιμο στάδιο για τον υπολογισμό της πιθανής Διακοπής Λειτουργίας ΒΙ (Business Interruption) μετά από ένα καταστροφικό γεγονός. Η οικονομική σημασία της επιχειρηματικής διακοπής μπορεί να ισούται ή ακόμα και να υπερβαίνει την αξία της ζημιάς στην ιδιοκτησία, ανάλογα με τα αποθέματα και τη ζήτηση των

προϊόντων. Ποικίλοι παράγοντες μπορούν να επηρεάσουν τη σχέση μεταξύ του MPDO και της ζημίας ιδιοκτησίας.

Χρησιμοποιώντας τον Πραγματικό MPDD και το διάγραμμα 10 σελίδας 91, υπολογίζουμε την μέγιστη ημερήσια πιθανή διακοπή.

Τα αποτελέσματα αυτού του υπολογισμού εμφανίζονται στον πίνακα 34 για κάθε δεξαμενή.

| ΔΕΞ/ΝΗ | Προϊόν | Actual MPPD (\$) | MPDO (days) |
|--------|------------------|------------------|-------------|
| ΔΕΞ-1 | Diesel | 656.678 | 53 |
| ΔΕΞ-2 | Diesel | 1.623.825 | 90 |
| ΔΕΞ-3 | Diesel | 5.022.412 | 178 |
| ΔΕΞ-4 | Κηροζίνη | 678.080 | 54 |
| ΔΕΞ-5 | Κηροζίνη | 1.676.359 | 92 |
| ΔΕΞ-6 | Κηροζίνη | 5.191.040 | 181 |
| ΔΕΞ-7 | Αμόλυβδη βενζίνη | 2.059.344 | 104 |
| ΔΕΞ-8 | Αμόλυβδη βενζίνη | 4.823.250 | 174 |
| ΔΕΞ-9 | Αμόλυβδη βενζίνη | 14.314.726 | 333 |
| ΔΕΞ-10 | Μαζούτ | 540.569 | 47 |
| ΔΕΞ-11 | Μαζούτ | 1.343.598 | 81 |
| ΔΕΞ-12 | Μαζούτ | 4.144.644 | 159 |
| ΔΕΞ-13 | Naphtha | 292.763 | 32 |
| ΔΕΞ-14 | Naphtha | 1.846.135 | 98 |
| ΔΕΞ-15 | Ethyl Alcohol | 1.089.664 | 71 |
| ΔΕΞ-16 | Ethyl Alcohol | 6.247.673 | 203 |
| ΔΕΞ-17 | Methyl Alcohol | 847.244 | 61 |
| ΔΕΞ-18 | Methyl Alcohol | 4.808.014 | 173 |

Πίνακας 34: Υπολογισμός MPDO

Συνοψίζοντας, υπολογίζεται το κόστος σε \$ της διακοπής λειτουργίας της μονάδας μέσω του πρόσφατα υπολογισμένου MPDO (BI). Σύμφωνα με το εγχειρίδιο DOW F&EI ο υπολογισμός του BI γίνεται βάσει του ακόλουθου τύπου: $BI = (MPDO/30) * VPM * 0,70$, όπου το VPM αναφέρεται στη μηνιαία αξία παραγωγής και το 0,70 συμβολίζει τα σταθερά κόστη και τα κέρδη. Για κάθε δεξαμενή, η υποθετική μηνιαία αξία παραγωγής έχει εκτιμηθεί όπως απεικονίζεται στον παρακάτω πίνακα 35.

| ΔΕΞ/ΝΗ | Προϊόν | VPM (Μ\$) |
|--------|------------------|-----------|
| ΔΕΞ-1 | Diesel | 0,75 |
| ΔΕΞ-2 | Diesel | 0,75 |
| ΔΕΞ-3 | Diesel | 0,75 |
| ΔΕΞ-4 | Κηροζίνη | 0,85 |
| ΔΕΞ-5 | Κηροζίνη | 0,85 |
| ΔΕΞ-6 | Κηροζίνη | 0,85 |
| ΔΕΞ-7 | Αμόλυβδη βενζίνη | 0,95 |
| ΔΕΞ-8 | Αμόλυβδη βενζίνη | 0,95 |
| ΔΕΞ-9 | Αμόλυβδη βενζίνη | 0,95 |
| ΔΕΞ-10 | Μαζούτ | 0,70 |

| | | |
|--------|----------------|------|
| ΔΕΞ-11 | Μαζούτ | 0,70 |
| ΔΕΞ-12 | Μαζούτ | 0,70 |
| ΔΕΞ-13 | Naphtha | 0,80 |
| ΔΕΞ-14 | Naphtha | 0,80 |
| ΔΕΞ-15 | Ethyl Alcohol | 0,80 |
| ΔΕΞ-16 | Ethyl Alcohol | 0,80 |
| ΔΕΞ-17 | Methyl Alcohol | 0,80 |
| ΔΕΞ-18 | Methyl Alcohol | 0,80 |

Πίνακας 35: Υπολογισμός VPM

Στην συνέχεια, ο πίνακας 36 δείχνει τις ζημιές της επιχείρησης από τη διακοπή λειτουργίας ανάλογα με την δεξαμενή που επηρεάζεται. Προσθέτοντας τα κόστη από την ζημιά στον εξοπλισμό και τη διακοπή λειτουργίας μίας δεξαμενής καταλήγουμε στο συνολικό κόστος που προκαλείται από ένα καταστροφικό γεγονός, ανάλογα με το μέγεθος και το καύσιμο κάθε δεξαμενής.

| ΔΕΞ/ΝΗ | Προϊόν | MPPD (days) | Κόστος Από Διακοπή Λειτουργίας ΒΙ (Μ\$) | Συνολική Ζημία (Μ\$) |
|--------|------------------|-------------|-----------------------------------------|----------------------|
| ΔΕΞ-1 | Diesel | 53 | 0,92 | 1,51 |
| ΔΕΞ-2 | Diesel | 90 | 1,58 | 3,05 |
| ΔΕΞ-3 | Diesel | 178 | 3,11 | 5,31 |
| ΔΕΞ-4 | Κηροζίνη | 54 | 1,06 | 1,65 |
| ΔΕΞ-5 | Κηροζίνη | 92 | 1,83 | 3,30 |
| ΔΕΞ-6 | Κηροζίνη | 181 | 3,60 | 5,80 |
| ΔΕΞ-7 | Αμόλυβδη Βενζίνη | 104 | 2,31 | 2,90 |
| ΔΕΞ-8 | Αμόλυβδη Βενζίνη | 174 | 3,85 | 5,32 |
| ΔΕΞ-9 | Αμόλυβδη Βενζίνη | 333 | 7,38 | 9,58 |
| ΔΕΞ-10 | Μαζούτ | 47 | 0,77 | 1,35 |
| ΔΕΞ-11 | Μαζούτ | 81 | 1,32 | 2,79 |
| ΔΕΞ-12 | Μαζούτ | 159 | 2,59 | 4,79 |
| ΔΕΞ-13 | Naphtha | 32 | 0,61 | 1,19 |
| ΔΕΞ-14 | Naphtha | 98 | 1,83 | 4,03 |
| ΔΕΞ-15 | Ethyl Alcohol | 64 | 1,33 | 1,92 |
| ΔΕΞ-16 | Ethyl Alcohol | 180 | 3,77 | 5,97 |
| ΔΕΞ-17 | Methyl Alcohol | 52 | 1,14 | 1,73 |
| ΔΕΞ-18 | Methyl Alcohol | 145 | 3,21 | 5,41 |

Πίνακας 36: Υπολογισμός Κόστους Από Διακοπή Λειτουργίας ΒΙ και Συνολική Ζημίας

8.2.Εξέταση Βελτίωσης Συνολικής Ζημίας Με Μέτρα Μείωσης Επικινδυνότητας

Στην εγκατάσταση δεξαμενών υγρών καυσίμου εφαρμόζονται τα μέτρα που περιγράφονται στην δεύτερη παράγραφο του κεφαλαίου 7, με στόχο να

περιοριστεί η πιθανότητα εκδήλωσης καταστροφικού συμβάντος και να μετριαστούν τόσο οι οικονομικές όσο και οι άλλες επιπτώσεις του. Ακολουθώντας αυτήν την προσέγγιση, η συνολική ζημιά σε κάθε δεξαμενή μειώνεται, όπως διακρίνεται στον πίνακα 37.

| ΔΕΞ/ΝΗ | Συνολική Ζημία Χωρίς Μέτρα Προστασίας Μείωσης Επικινδυνότητας (Μ\$) | Συνολική Ζημία Με Υπάρχοντα Μέτρα Προστασίας Μείωσης Επικινδυνότητας (Μ\$) | Ποσοστό Βελτίωσης Συνολικής Ζημίας Με Υπάρχοντα Μέτρα Προστασίας Μείωσης Επικινδυνότητας |
|--------|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| ΔΕΞ-1 | 1,67 | 1,51 | 9,7% |
| ΔΕΞ-2 | 3,27 | 3,05 | 6,8% |
| ΔΕΞ-3 | 5,65 | 5,31 | 6,0% |
| ΔΕΞ-4 | 1,85 | 1,65 | 10,6% |
| ΔΕΞ-5 | 3,56 | 3,30 | 7,2% |
| ΔΕΞ-6 | 6,24 | 5,80 | 7,0% |
| ΔΕΞ-7 | 3,14 | 2,90 | 7,6% |
| ΔΕΞ-8 | 5,70 | 5,32 | 6,6% |
| ΔΕΞ-9 | 10,35 | 9,58 | 7,4% |
| ΔΕΞ-10 | 1,52 | 1,35 | 11,2% |
| ΔΕΞ-11 | 3,02 | 2,79 | 7,7% |
| ΔΕΞ-12 | 5,14 | 4,79 | 6,8% |
| ΔΕΞ-13 | 1,32 | 1,19 | 9,8% |
| ΔΕΞ-14 | 4,27 | 4,03 | 5,6% |
| ΔΕΞ-15 | 1,89 | 1,92 | 6,0% |
| ΔΕΞ-16 | 5,88 | 5,97 | 5,8% |
| ΔΕΞ-17 | 1,64 | 1,73 | 5,6% |
| ΔΕΞ-18 | 5,14 | 5,41 | 5,3% |

Πίνακας 37: Ποσοστό Βελτίωσης Συνολικής ζημίας ΜΕ Υπάρχοντα Μέτρα Προστασίας Μείωσης Επικινδυνότητας

Φαίνεται ξεκάθαρα από διάγραμμα 28 ότι η μεγαλύτερη ζημιά (9,6 Μ\$) παρατηρείται στην πιο επικίνδυνη Δεξαμενή (ΔΕΞ-9 Αμόλυβδης Βενζίνης) .



Διάγραμμα 28: Συνολική ζημία με υπάρχοντα μέτρα προστασίας μείωσης επικινδυνότητας

Με τα υπάρχοντα μέτρα προστασίας μείωσης επικινδυνότητας παρατηρείται από Διάγραμμα 29 ότι υπάρχει μείωση της συνολικής ζημιάς από 5,3% έως 11,2%



Διάγραμμα 29: Ποσοστό Βελτίωσης Συνολικής ζημιάς με υπάρχοντα μέτρα προστασίας μείωσης επικινδυνότητας

Επιπλέον, στην εγκατάσταση δεξαμενών εξετάζεται η εφαρμογή επιπρόσθετων μέτρων που περιγράφονται στην τρίτη παράγραφο του κεφαλαίου 7, με στόχο να βελτιστοποιηθεί η πιθανότητα εκδήλωσης καταστροφικού συμβάντος. Επομένως, με αυτήν την βελτίωση, η συνολική ζημιά σε κάθε δεξαμενή απεικονίζεται στον παρακάτω Πίνακα 38

| ΔΕΞ/ΝΗ | Συνολική Ζημία ΜΕ Υπάρχοντα Μέτρα Προστασίας Μείωσης Επικινδυνότητας (Μ\$) | Συνολική Ζημία ΜΕ Επιπρόσθετα Μέτρα Προστασίας Μείωσης Επικινδυνότητας (Μ\$) | Ποσοστό Βελτίωσης Συνολικής Ζημίας ΜΕ Επιπρόσθετα Μέτρα Προστασίας Μείωσης Επικινδυνότητας |
|--------|----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| ΔΕΞ-1 | 1,51 | 1,44 | 4,9% |
| ΔΕΞ-2 | 3,05 | 2,89 | 5,2% |
| ΔΕΞ-3 | 5,31 | 4,97 | 6,3% |
| ΔΕΞ-4 | 1,65 | 1,57 | 4,7% |
| ΔΕΞ-5 | 3,30 | 3,12 | 5,6% |
| ΔΕΞ-6 | 5,80 | 5,42 | 6,5% |
| ΔΕΞ-7 | 2,90 | 2,65 | 8,6% |
| ΔΕΞ-8 | 5,32 | 4,90 | 7,9% |
| ΔΕΞ-9 | 9,58 | 8,92 | 6,9% |
| ΔΕΞ-10 | 1,35 | 1,32 | 2,2% |
| ΔΕΞ-11 | 2,79 | 2,70 | 3,4% |
| ΔΕΞ-12 | 4,79 | 4,59 | 4,1% |
| ΔΕΞ-13 | 1,19 | 1,16 | 2,6% |
| ΔΕΞ-14 | 4,03 | 3,84 | 4,6% |
| ΔΕΞ-15 | 1,77 | 1,63 | 8,4% |
| ΔΕΞ-16 | 5,55 | 5,21 | 6,4% |
| ΔΕΞ-17 | 1,55 | 1,43 | 8,2% |
| ΔΕΞ-18 | 4,89 | 4,60 | 6,2% |

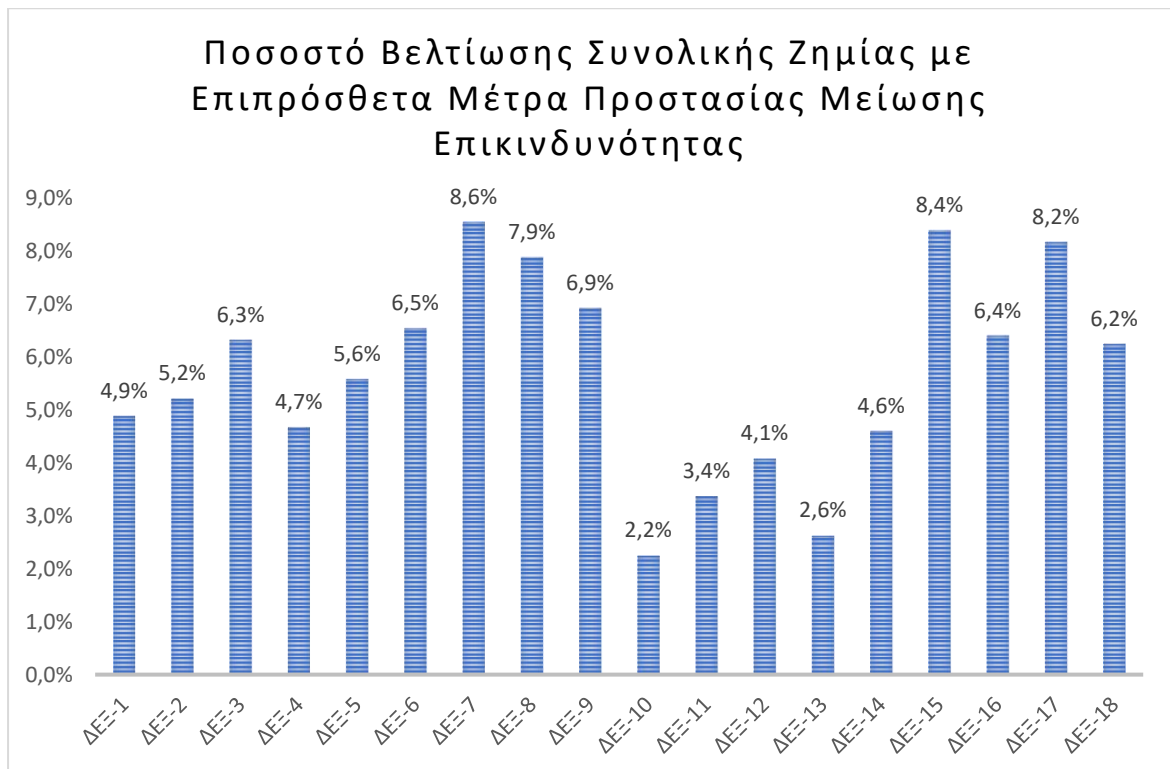
Πίνακας 38: Ποσοστό Βελτίωσης Συνολικής Ζημίας με Επιπρόσθετα Μέτρα Προστασίας Μείωσης Επικινδυνότητας

Με τα επιπλέον μέτρα μείωσης επικινδυνότητας παρατηρείται από το Διάγραμμα 30 ότι η μεγαλύτερη ζημιά (8,9 Μ\$) παρατηρείται στην πιο επικίνδυνη Δεξαμενή (ΔΕΞ-9 Αμόλυβδης Βενζίνης) και υπάρχει μία μείωση της τάξεως 7% σε σχέση με τα υπάρχοντα μέτρα προστασίας μείωσης επικινδυνότητας.



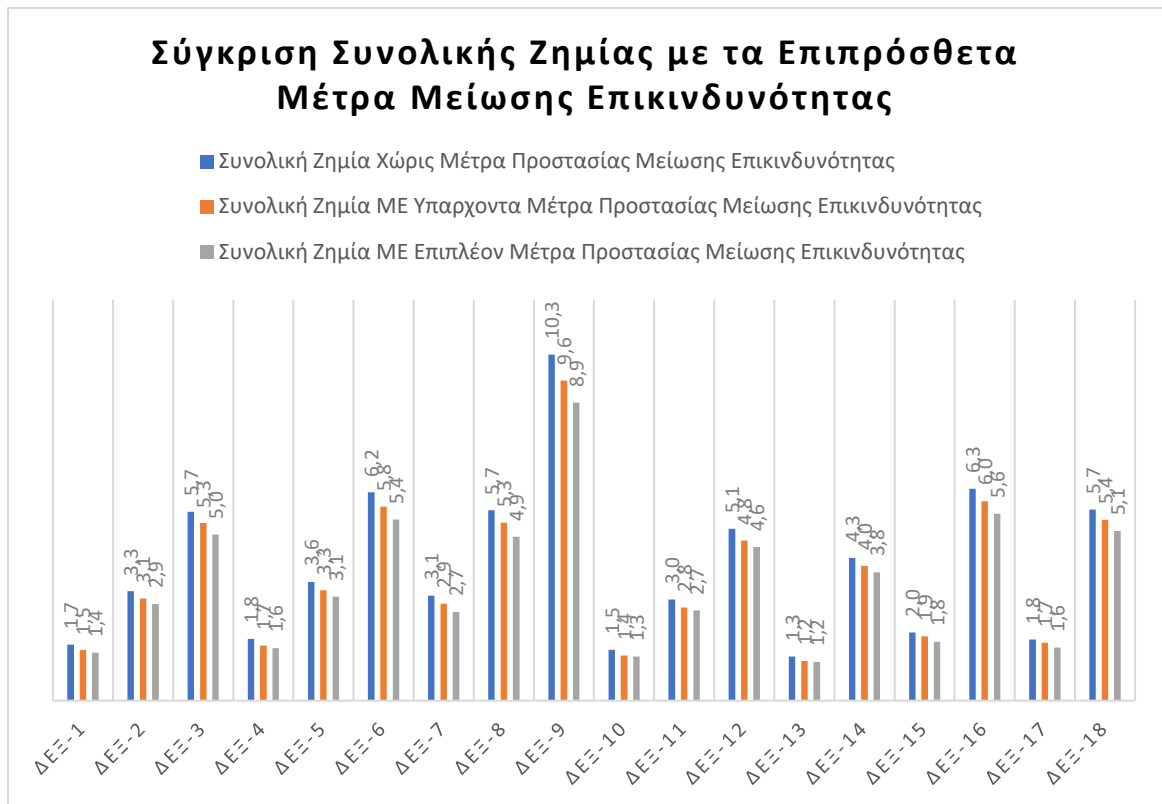
Διάγραμμα 30: Συνολική Ζημία με Επιπρόσθετα Μέτρα Προστασίας Μείωσης Επικινδυνότητας

Επιπρόσθετα με τα επιπλέον μέτρα μείωσης επικινδυνότητας παρατηρείται από διάγραμμα 31 ότι υπάρχει μείωση της συνολικής ζημιάς από 2,2% έως 8,6%



Διάγραμμα 31: Ποσοστό βελτίωσης συνολικής ζημιάς με επιπρόσθετα μέτρα προστασίας μείωσης επικινδυνότητας

Στο παρακάτω διάγραμμα 32 φαίνεται η επίδραση στην συνολική ζημία των βελτιωτικών μέτρων προστασίας για την μείωση της επικινδυνότητας.



Διάγραμμα 32: Σύγκριση Συνολικής Ζημίας Με Τα Μέτρα Μείωσης Επικινδυνότητας

9. Εκλυόμενη Θερμική Ακτινοβολία Φωτιάς Οροφής Δεξαμενών Υγρών Καυσίμων

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται συνοπτικά η μεταβολή της θερμικής ακτινοβολίας από φωτιά στη οροφή της δεξαμενής. Η φωτιά προκύπτει από ολική βύθιση της οροφής της δεξαμενής. Οι υπολογισμοί έγιναν με χρήση του προγράμματος Phast, (Μούστης Άγγελος, Asprofos) - για δεξαμενές Diesel και Κηροζίνης (Κεφ.7) σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 20 °C, ταχύτητα ανέμου 0,1 m/sec και σχετική υγρασία 0,5.

Τέλος, γίνεται υπολογισμός της εκλυόμενης θερμικής ακτινοβολίας των ανωτέρω δεξαμενών, στα όρια της υπολογιζόμενης (στο Κεφ. 7.2) ακτίνας έκθεσης καταστροφικού συμβάντος σύμφωνα με τον δείκτη DOW F&EI.

9.1. Φωτιά Οροφής Δεξαμενής Εύφλεκτου Υγρού

Η φωτιά στην οροφή δεξαμενής εύφλεκτου υγρού προσομοιάζεται με φωτιά λίμνης εύφλεκτου υγρού διαμέτρου ίσης με τη διάμετρο της δεξαμενής.

Το μέγεθος της φωτιάς καθορίζεται από τη διάμετρο της δεξαμενής και έχει σαν συνέπεια την έκλυση θερμικής ακτινοβολίας και τη διασπορά αερίων καύσης. Η φωτιά ξεκινάει από το ύψος της στάθμης του υγρού το οποίο υπολογίζεται από το περιεχόμενο της δεξαμενής. Για τους υπολογισμούς θεωρήθηκε ότι το ύψος της στάθμης του υγρού ήταν ίσο με το ύψος της δεξαμενής (προσομοίωση βύθισης οροφής μετά από ρήξη εξαιτίας υπερπλήρωσής).

Σε περίπτωση μη άμεσης ανάφλεξης είναι πιθανό να δημιουργηθούν εύφλεκτα νέφη από την εξάτμιση των υδρογονανθράκων που θα διασπαρθούν γύρω από το χώρο εκδήλωσης της διαρροής.

Όταν η συγκέντρωση στο νέφος είναι μεγαλύτερη από το κάτω όριο αναφλεξιμότητας (LEL), τότε σε περίπτωση καθυστερημένης ανάφλεξης από

μία πηγή ανάφλεξης εντός της εγκατάστασης, είναι δυνατό να εκδηλωθεί φωτιά αερίου νέφους (flash fire) ή έκρηξη (explosion) (Δρ. Τσολάκης, 2019).

9.2. Διαδικασία Εύρεσης Εκλυόμενης Θερμικής Ακτινοβολίας

Στην υποενότητα αυτή περιγράφεται και αναλύεται συνοπτικά η διαδικασία υπολογισμού της εκλυόμενης θερμικής ακτινοβολίας από μία φωτιά στην οροφή δεξαμενής (C.J.H. van de Bosch, 1996)

Σύμφωνα με το μοντέλο σημειακής πηγής (Point source model), η θερμική ακτινοβολία που σε προσπίπτει σε στόχο που βρίσκεται σε κάποια απόσταση (l_p) από τη φλόγα υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση :

$$Q_I = F_V * \tau * Q_t = F_V * \tau * n_{rad} * mc * \Delta H_c$$

Όπου

τ : ατμοσφαιρική διαπερατότητα

Q_I : η ακτινοβολία που δέχεται ο στόχος (kW m^{-2})

Q_t : η ακτινοβολούμενη ενέργεια από τη φλόγα (kW)

n_{rad} : το ποσοστό της συνολικής ενέργειας που απελευθερώνεται από την καύση (αδιάστατο)

ΔH_c : ενθαλπία καύσης καυσίμου (kJ/kg)

mc : ο ρυθμός καύσης του καυσίμου (kg/s)

Ο ρυθμός καύσης του καυσίμου υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση :

$$mc = m * A_{pool}$$

A_{pool} : η επιφάνεια της λίμνης (m^2)

D : η διάμετρος της λίμνης (m)

m : επιφανειακός ρυθμός καύσης θεωρείται σταθερός ίσος με m^∞

Ο επιφανειακός ρυθμός καύσης m^∞ για μερικά καύσιμα απεικονίζεται στον παρακάτω πίνακα 39 (C.J.H. van de Bosch, 1996).

| Flammable Material | m_{∞} ((kg/m ² .s)) |
|---------------------|---------------------------------------|
| Liq. H ₂ | 0,169 |
| LNG | 0,078 |
| LPG | 0,099 |
| Butane | 0,078 |
| Hexane | 0,074 |
| Heptane | 0,101 |
| Benzene | 0,085 |
| Xylene | 0,090 |
| Gasoline | 0,055 |
| Kerosene | 0,039 |
| JP-5 | 0,054 |
| Methanol | 0,015 |
| Ethanol | 0,015 |

Πίνακας 39: Επιφανειακός Ρυθμός Καύσης m_{∞}

F_v : παράγοντας μορφής είναι το ποσοστό της φλόγας που είναι ορατό από το στόχο. Η τιμή του για το μοντέλο σημειακής πηγής υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση :

$$F_v = \frac{1}{4\pi I_p^2}$$

I_p : είναι η απόσταση μεταξύ του γεωμετρικού κέντρου της φλόγας και του στόχου (m)

Ένα μέρος της θερμικής ακτινοβολίας που εκπέμπεται από μία φωτιά απορροφάται από την ατμόσφαιρα (κυρίως από την υγρασία που περιέχεται σε αυτή) με αποτέλεσμα ένα μέρος της να φτάνει στον αποδέκτη.

Η ατμοσφαιρική διαπερατότητα (τ) (atmospheric transmissivity) χρησιμοποιείται για να περιγράψει το ποσοστό της ακτινοβολίας που δεν απορροφάται από την ατμόσφαιρα και φτάνει στον αποδέκτη.

Εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ της φλόγας-αποδέκτη και την περιεκτικότητα νερού στην ατμόσφαιρα που εκφράζεται από τη μερική πίεση του νερού στην ατμόσφαιρα.

Στη συνέχεια από την μερική πίεση του νερού στην ατμόσφαιρα P_w και την απόσταση της φλόγας από τον αποδέκτη υπολογίζεται η ατμοσφαιρική διαπερατότητα τα από τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$\begin{aligned}\tau &= 1,53 * P_w * d \text{ για } P_w d < 10^4 \text{ Nm}^{-1} \\ \tau &= 2,02 * (P_w * d)^{-0,09} \text{ για } P_w d < 10^5 \text{ Nm}^{-1} \\ \tau &= 2,85 * (P_w * d)^{-0,12} \text{ για } P_w d < 10^5 \text{ Nm}\end{aligned}$$

P_w : η μερική πίεση του νερού στην ατμόσφαιρα (Nm^{-2})

d : η απόσταση φλόγας - αποδέκτη (m)

τ : ατμοσφαιρική διαπερατότητα

(C.J.H. van de Bosch, 1996)

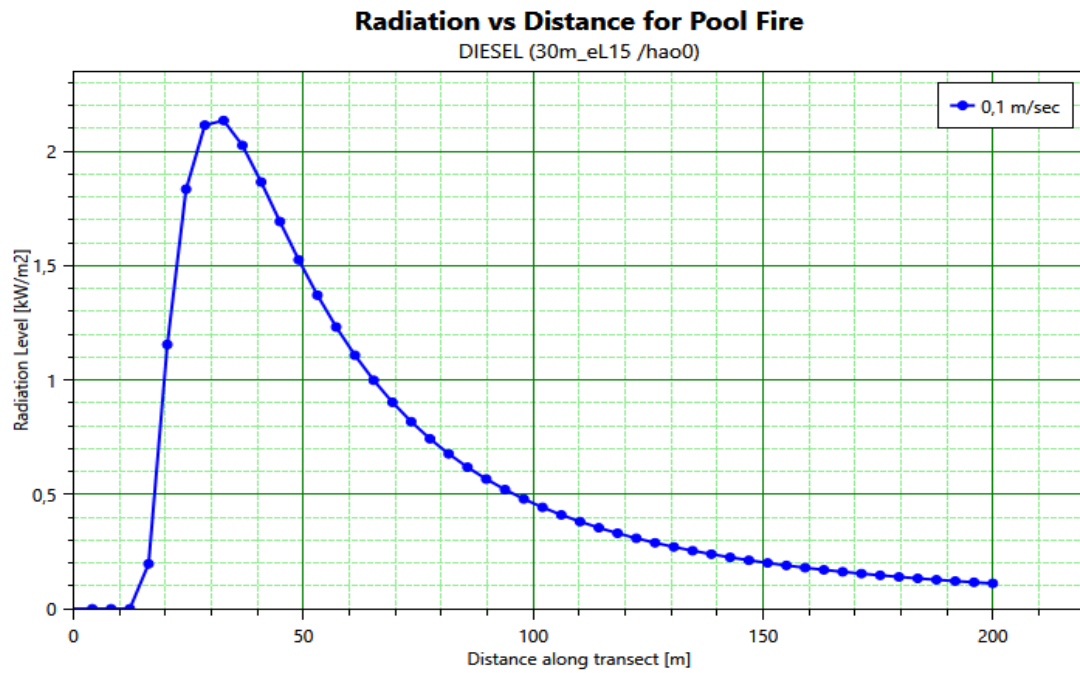
Οι τιμές του παράγοντα μορφής και της ατμοσφαιρικής διαπερατότητας υπολογίστηκαν αυτόματα από τα μοντέλα που διαθέτει το λογισμικό Phast. Τα παραπάνω μοντέλα είναι τυπικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται σε μελέτες.

9.3.Υπολογισμός Εκλυόμενης Θερμικής ακτινοβολίας Δεξαμενών Diesel

Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα του υπολογισμού του μήκους φλόγας και της θερμικής ακτινοβολίας από την φωτιά των εξεταζόμενων δεξαμενών Diesel σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 20 °C, ταχύτητα ανέμου 0,1 m/sec και σχετική υγρασία 0,5. Για τον υπολογισμό της θερμικής ακτινοβολίας έγινε χρήση του προγράμματος Phast και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω. Η θερμική ακτινοβολία είναι στο επίπεδο του εδάφους.

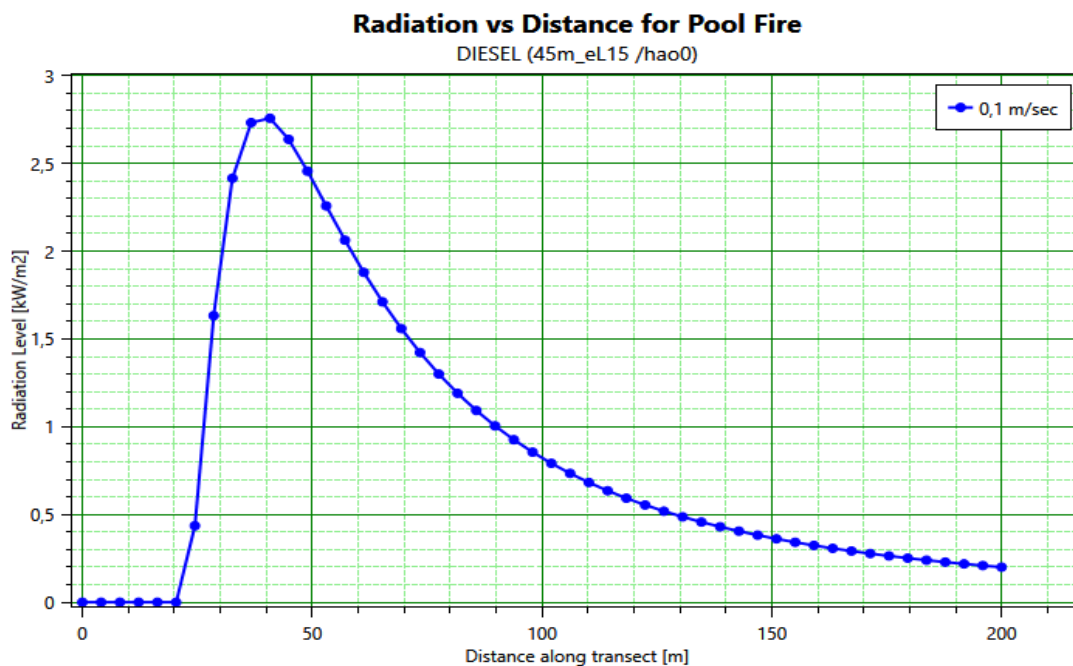
Το μήκος φλόγας ανέρχεται σε **28,37 m** και η θερμική ακτινοβολία για την εξεταζόμενη δεξαμενή Diesel

(ΔΕΞ-1, 10.598 m³) απεικονίζεται στο παρακάτω διάγραμμα 33.



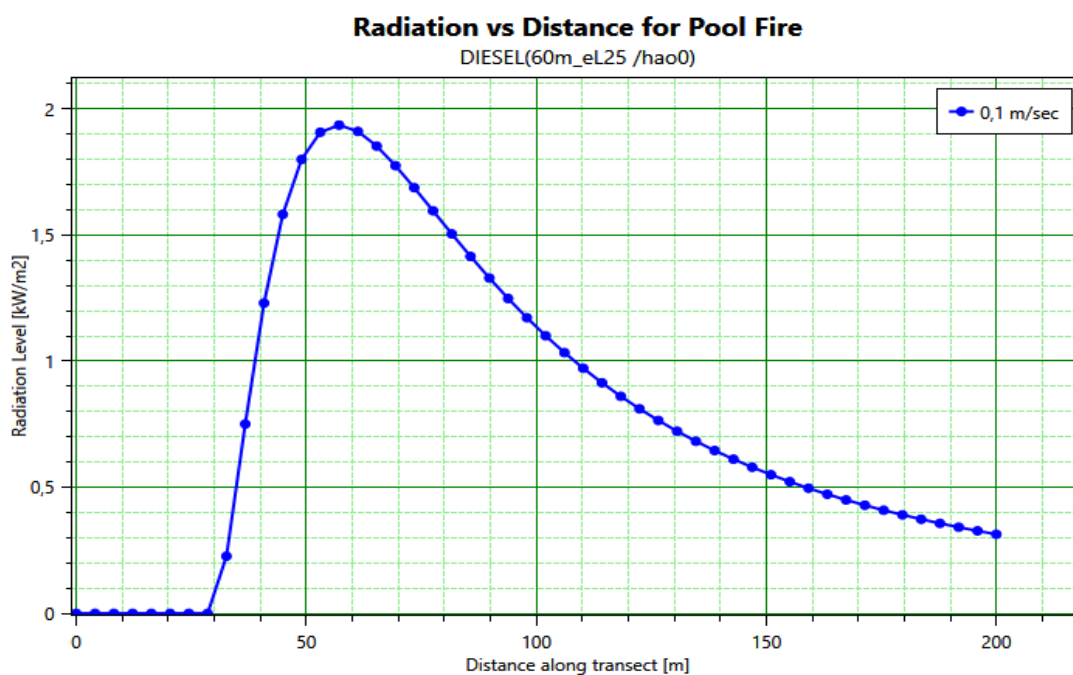
Διάγραμμα 33: Θερμική Ακτινοβολία Στο Επίπεδο Του Εδάφους ΔΕΞ-1

Το μήκος φλόγας ανέρχεται σε **37,6 m** και η θερμική ακτινοβολία για την εξεταζόμενη δεξαμενή Diesel (ΔΕΞ-2, 23.844 m³) απεικονίζεται στο παρακάτω διάγραμμα 34.



Διάγραμμα 34: Θερμική Ακτινοβολία Στο Επίπεδο Του Εδάφους ΔΕΞ-2

Το μήκος φλόγας ανέρχεται σε **45,9 m** και η θερμική ακτινοβολία για την εξεταζόμενη δεξαμενή Diesel (ΔΕΞ-3, 70.650 m³) απεικονίζεται στο παρακάτω διάγραμμα 35.

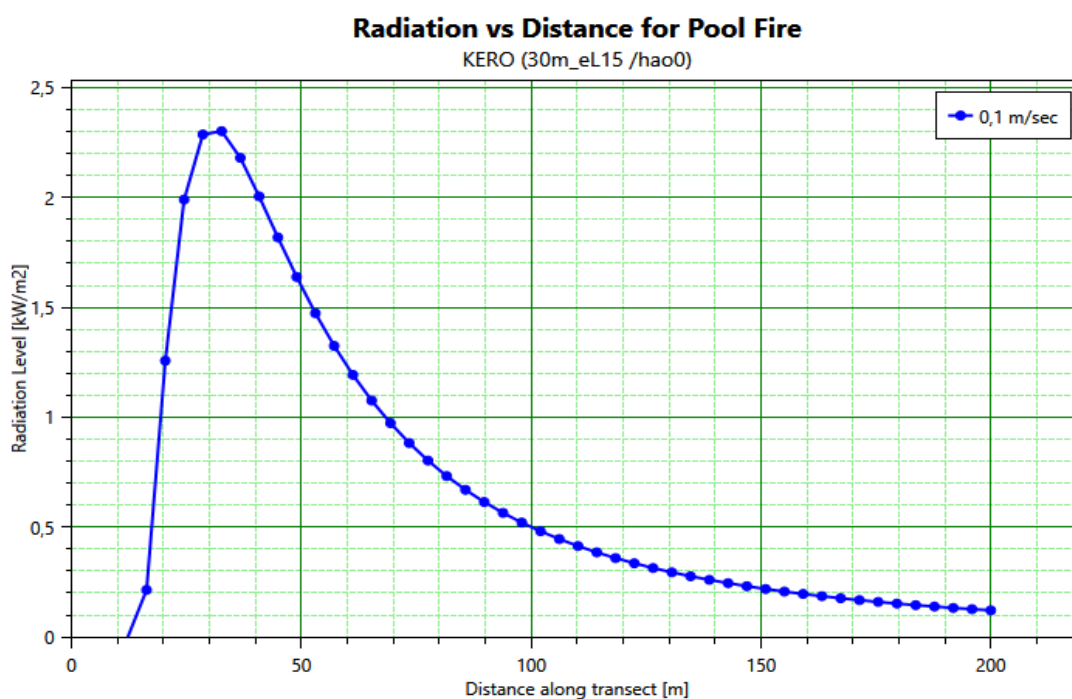


Διάγραμμα 35: Θερμική Ακτινοβολία Στο Επίπεδο Του Εδάφους ΔΕΞ-3

9.4.Υπολογισμός Εκλυόμενης Θερμικής ακτινοβολίας Δεξαμενών Κηροζίνης

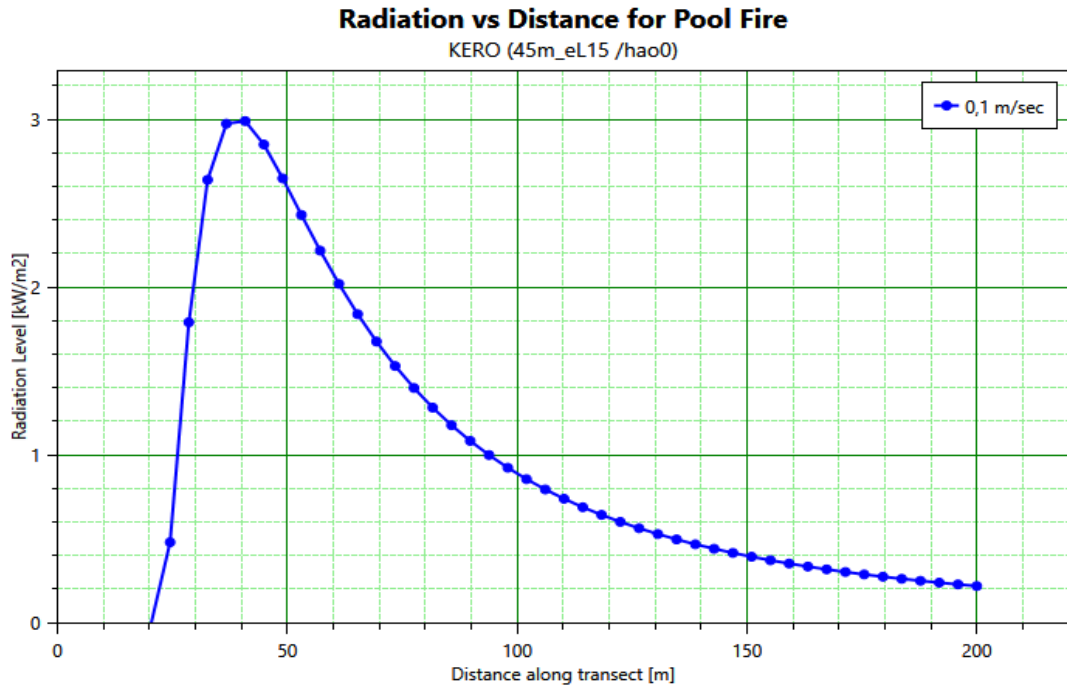
Όμοια, ο υπολογισμός της θερμικής ακτινοβολίας από την φωτιά λίμνης των εξεταζόμενων δεξαμενών κηροζίνης σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 20 °C, ταχύτητα ανέμου 0,1 m/sec και σχετική υγρασία 0,5, παρουσιάζεται παρακάτω.

Το μήκος φλόγας ανέρχεται σε 31 m και η θερμική ακτινοβολία για την εξεταζόμενη δεξαμενή Κηροζίνης (ΔΕΞ-4, 10.598 m³) απεικονίζεται στο παρακάτω διάγραμμα 36.



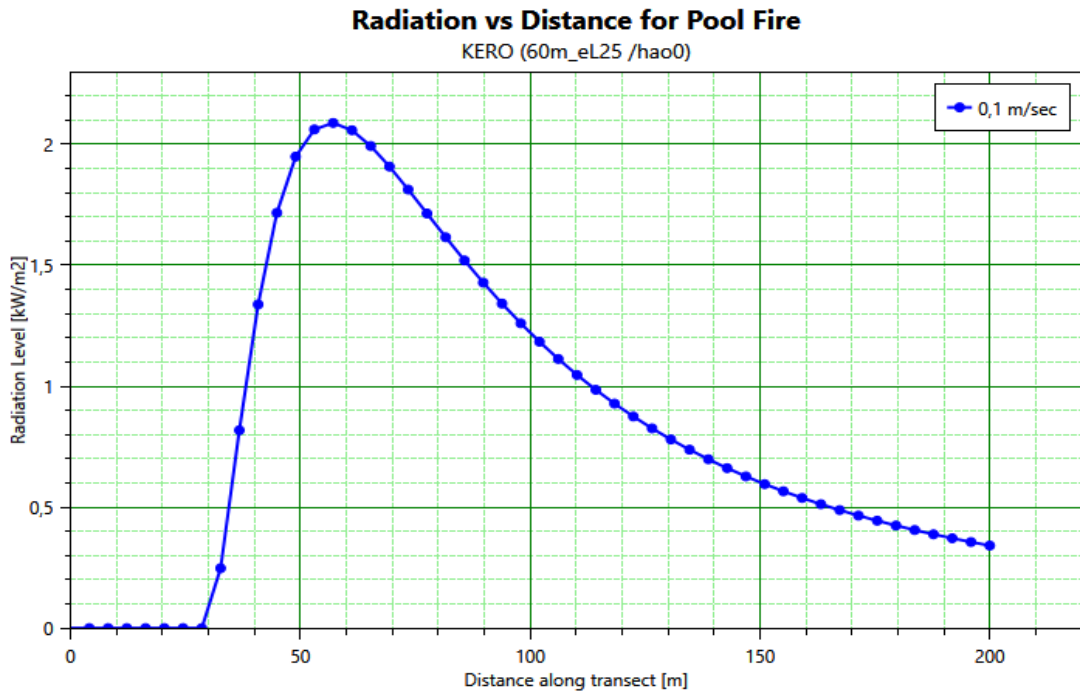
Διάγραμμα 36: Θερμική Ακτινοβολία Στο Επίπεδο Του Εδάφους ΔΕΞ-4

Το μήκος φλόγας ανέρχεται σε 41,1 m και η θερμική ακτινοβολία για την εξεταζόμενη δεξαμενή Κηροζίνης (ΔΕΞ-5, 23.844 m³) απεικονίζεται στο παρακάτω διάγραμμα 37.



Διάγραμμα 37: Θερμική Ακτινοβολία Στο Επίπεδο Του Εδάφους ΔΕΞ-5

Το μήκος φλόγας ανέρχεται σε **50,2 m** και η θερμική ακτινοβολία για την εξεταζόμενη δεξαμενή Κηροζίνης (ΔΕΞ-6, 70.650 m³) απεικονίζεται στο παρακάτω διάγραμμα 38.



Διάγραμμα 38: Θερμική Ακτινοβολία Στο Επίπεδο Του Εδάφους ΔΕΞ-6

9.5. Σύγκριση Θερμικής Ακτινοβολίας Με Ακτίνα Έκθεσης Καταστροφικού Συμβάντος Και Διάσταση Δεξαμενών

Στη συνέχεια, από τα παραπάνω διαγράμματα 33 μέχρι 38 γίνεται υπολογισμός της εκλυόμενης θερμικής ακτινοβολίας των δεξαμενών Diesel και Κηροζίνης, στα όρια της υπολογιζόμενης (στο Κεφ. 7.2) ακτίνας έκθεσης καταστροφικού συμβάντος σύμφωνα με τον δείκτη DOW F&EI. Τα αποτελέσματα αποτυπώνονται στον παρακάτω πίνακα 40.

| ΔΕΞ/ΝΗ | Προϊόν | Όγκος Καυσίμου (m ³) | Ακτίνα Έκθεσης (m) | Μέγιστη Θερμική Ακτινοβολία Στο Επίπεδο Του Εδάφους (KW/m ²) |
|--------|----------|----------------------------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| ΔΕΞ-1 | Diesel | 10.598 | 15 | 2,1 |
| ΔΕΞ-2 | Diesel | 23.844 | 16 | 2,8 |
| ΔΕΞ-3 | Diesel | 70.650 | 17 | 1,9 |
| ΔΕΞ-4 | Κηροζίνη | 10.598 | 16 | 2,3 |
| ΔΕΞ-5 | Κηροζίνη | 23.844 | 16 | 3 |
| ΔΕΞ-6 | Κηροζίνη | 70.650 | 17 | 2 |

Πίνακας 40: Εκλυόμενη Θερμική Ακτινοβολία Δεξαμενών Diesel και Κηροζίνης

Επιπρόσθετα, στον παρακάτω πίνακα 41 γίνεται αποτύπωση του μήκους της φλόγας της φωτιάς οροφής και της ακτίνας έκθεσης για θερμική ακτινοβολία στο επίπεδο του εδάφους μέχρι 1 kw/m² σε σύγκριση με τον δείκτη F&EI των εξεταζόμενων δεξαμενών.

| ΔΕΞ/ΝΗ | Προϊόν | Fire And Explosion Index | Μήκος Φλόγας (m) | Ακτίνα Έκθεσης (m) Για Θερμική Ακτινοβολία Στο Επίπεδο Του Εδάφους Μέχρι 1(KW/m ²) |
|--------|----------|--------------------------|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ΔΕΞ-1 | Diesel | 60,65 | 28 | 65 |
| ΔΕΞ-2 | Diesel | 62,79 | 38 | 90 |
| ΔΕΞ-3 | Diesel | 66,11 | 46 | 106 |
| ΔΕΞ-4 | Κηροζίνη | 61,04 | 31 | 65 |
| ΔΕΞ-5 | Κηροζίνη | 62,99 | 41 | 94 |
| ΔΕΞ-6 | Κηροζίνη | 66,50 | 50 | 111 |

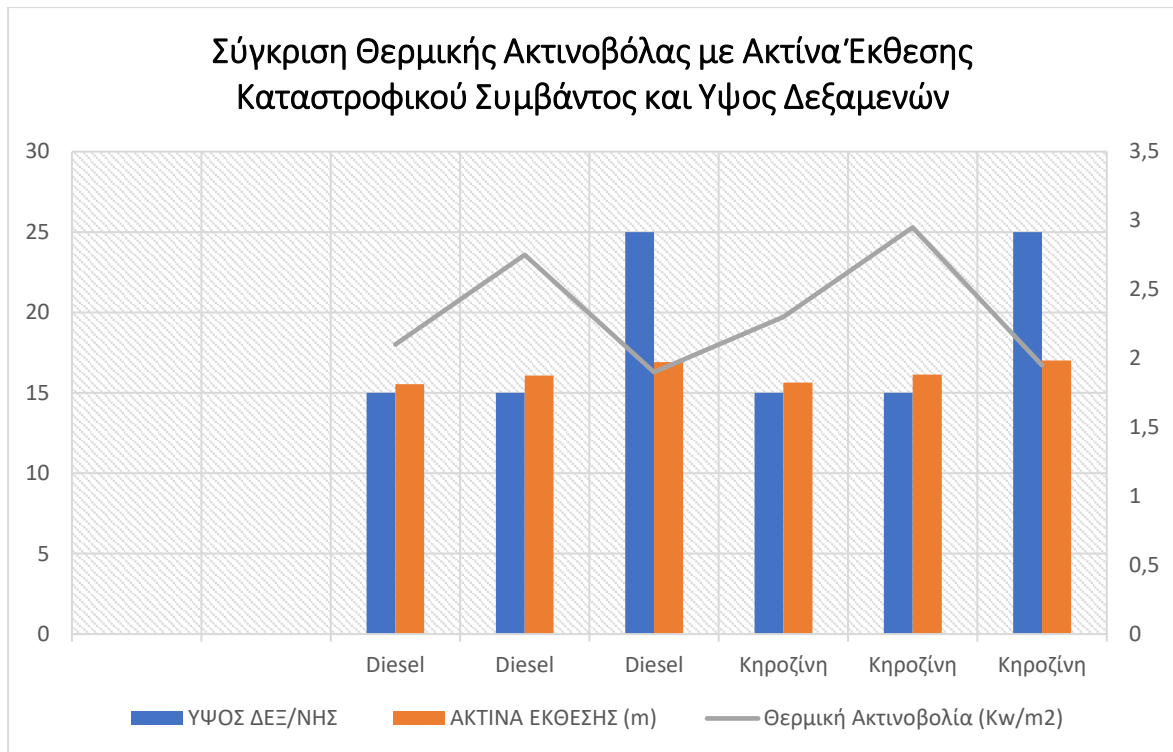
Πίνακας 41: Μήκος Φλόγας Δεξαμενών Diesel και Κηροζίνης και Ακτίνα Έκθεσης για Θερμική Ακτινοβολία στο Επίπεδο Του Εδάφους Μέχρι 1 KW/m²



Σχήμα 17: Φωτιά Οροφής Δεξαμενής Εύφλεκτου Υγρού

Από το παρακάτω διάγραμμα 39 συμπεραίνουμε ότι οι δεξαμενές 2 και 5 που έχουν μικρότερο ύψος από τις δεξαμενές 3 και 6, παρουσιάζουν συγκριτικά αυξημένη θερμική ακτινοβολία στο επίπεδο του εδάφους. Αντίστοιχα, οι δεξαμενές 2 και 5 που έχουν μεγαλύτερο όγκο και ίδιο ύψος με τις δεξαμενές 1 και 4, παρουσιάζουν συγκριτικά μεγαλύτερη θερμική ακτινοβολία.

Επιπλέον, παρατηρείται ότι οι δεξαμενές με καύσιμο Κηροζίνης, που έχει μεγαλύτερο βαθμό πτητικότητάς σε σύγκριση με το Diesel, εκλύουν περισσότερη θερμική ακτινοβολία.



Διάγραμμα 39: Θερμική Ακτινοβόλα στα Όρια της Ακτίνας Έκθεσης Καταστροφικού Συμβάντος

Στον παρακάτω πίνακα 42 αποτυπώνονται οι Ζώνες Επιπτώσεων Θερμικής Ακτινοβόλας (ΦΕΚ 846/Β, 31/12/1990).

| Ζώνες Επιπτώσεων | Δόση (Tdu) | Ένταση Ακτινοβολίας (Kw/m ²) |
|---------------------------------------------------------|------------|------------------------------------------|
| Ζώνη I (Προστασία Δυνάμεων Καταστολής) | 1500 | 15 |
| Ζώνη II (Προστασίας Πληθυσμού - Σοβαρές Επιπτώσεις) | 450 | 6 |
| Ζώνη III (Προστασίας Πληθυσμού - Μέτριες Επιπτώσεις) | 170 | 3 |

Πίνακας 42: Ζώνες Επιπτώσεων Θερμικής Ακτινοβόλας

Τα επίπεδα θερμικής ακτινοβολίας είναι μικρότερα από αυτά των ζωνών επικινδυνότητας.

Τα χαμηλά επίπεδα θερμικής ακτινοβολίας στο έδαφος οφείλονται στο γεγονός ότι σύμφωνα με το μοντέλο ένα μεγάλο μέρος της φλόγας δεν εκπέμπει θερμική ακτινοβολία εξαιτίας του μεγάλου ποσοστού καπνού που εκλύεται και μειώνει την ενέργεια που εκλύεται ως θερμική ακτινοβολίας (Σχήμα 17).

10. Συμπεράσματα

Στην ανωτέρω εργασία παρουσιάστηκαν οι δυνατότητες που προσφέρει η εφαρμογή της μεθοδολογίας του δείκτη DOW F&EI στην αξιολόγηση της επικινδυνότητας μίας εγκατάστασης αποθήκευσης υγρών καυσίμων. Εξετάστηκε συγκριτικά η επικινδυνότητα διαφορετικών καυσίμων, σε διαφορετικού μεγέθους και τύπου (Σταθερής Οροφής/Πλωτής Οροφής) δεξαμενές αποθήκευσης. Στη συνέχεια προτάθηκαν τρόποι για την επίτευξη ασφαλέστερων επιπέδων, όπως ορίζονται από το εγχειρίδιο DOW F&EI .

Η μελέτη ανέδειξε ότι η επικινδυνότητα κάθε δεξαμενής συνδέεται σε μεγάλο βαθμό με τις ποσότητες καυσίμων που αποθηκεύονται.

Επιπλέον, από την μελέτη παρατηρείται ότι η Αμόλυβδη Βενζίνη διαθέτει την υψηλότερη επικινδυνότητα σε σύγκριση με τα άλλα καύσιμα, ανεξαρτήτως του μεγέθους της δεξαμενής που χρησιμοποιείται για την αποθήκευσή τους. Η Αιθυλική Αλκοόλη και η Μεθυλική Αλκοόλη (που χρησιμοποιούνται είτε για την παραγωγή αιθέρων που προστίθενται στη βενζίνη είτε προστίθενται απευθείας στη βενζίνη) παρουσιάζουν αντίστοιχά παρόμοια με την αμόλυβδη βενζίνη υψηλό δείκτη επικινδυνότητας. Το Ντίζελ κίνησης και Κηροζίνη έχουν συγκρίσιμες επικινδυνότητες όταν αποθηκεύονται σε παρόμοιες ποσότητες, ενώ το Μαζούτ παρουσιάζει ελαφρώς αυξημένη επικινδυνότητα σε σχέση με τα προηγούμενα δύο.

Εξετάστηκαν επιπλέον μέτρα για τη μείωση της επικινδυνότητας στην εγκατάσταση αποθήκευσης υγρών καυσίμων μέσω της ενίσχυσης του υπάρχοντος μηχανολογικού εξοπλισμού της εγκατάστασης είτε μέσω της βελτιστοποίησης των λειτουργικών διαδικασιών, επιτυγχάνοντας μείωση της επικινδυνότητας σε ποσοστό από 28 % έως 30 %.

Επιπρόσθετα, υπολογίστηκε η εκλυόμενη θερμική ακτινοβολία των δεξαμενών Ντίζελ και Κηροζίνης, στα όρια της ακτίνας έκθεσης καταστροφικού συμβάντος σύμφωνα με τον δείκτη DOW F&EI.

Η εφαρμογή της μεθοδολογίας DOW F&EI κατέδειξε την ζώνη των μεγαλύτερων επιπτώσεων και το κόστος αποκατάστασης λειτουργίας, δείχνοντας τα σημεία όπου πρέπει να δοθεί προτεραιότητα για βελτιώσεις. Μέσα από αυτή την ανάλυση, έγινε εμφανής η ανάγκη για εστίαση της προσοχής σε συγκεκριμένες δεξαμενές που παρουσιάζουν υψηλότερους κινδύνους και τη λήψη κατάλληλων μέτρων για μείωση της επικινδυνότητας

Τέλος, από την μελέτη αυτή, διαπιστώνεται ότι η μεθοδολογία DOW F&EI αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο που μπορεί να βοηθήσει στην αξιολόγηση και στην ιεράρχηση των κινδύνων επικινδυνότητας των διαφόρων δεξαμενών μιας εγκατάστασης αποθήκευσης υγρών καυσίμων. Η εφαρμογή της μπορεί να διευκολύνει σημαντικά τον σχεδιασμό και τη λειτουργία της.

Κατάλληλα αναπτυγμένο λογισμικό που θα βασίζεται στο DOW F&EI μπορεί να ενσωματώσει αυτή τη μεθοδολογία σε μια εγκατάσταση, καθιστώντας την αξιολόγηση κινδύνων πιο εύκολη και αποτελεσματική.

Βιβλιογραφία

1. American Institute of Chemical Engineers. (1994). Dow's Fire & Explosion Index Hazard Classification Guide. Seventh Edition
2. American Petroleum Institute (API) 620 (2002) Design and Construction of Large, Welded, Low-Pressure Storage Tanks. Tenth Edition
3. American Petroleum Institute (API) Recommended Practice. (2021), Management of Atmospheric Storage Tank Fires
4. Argyropoulos, M.N. Christolis, Z. Nivolianitou, N.C. Markatos. (2011). A hazards assessment methodology for large liquid hydrocarbon fuel tanks
5. Azizul Buang. (2014). Boilover in Liquid Hydrocarbon Tank Fires. Loughborough University.
6. BP Process Safety Series. (2008). Safe Tank Farms and (Un)loading Operations
7. C.J.H. van de Bosch. (1996). Method for the Calculation of Physical Effects. The Netherlands Organization of Applied Scientific Research (TNO).
8. GexCon AS. (2008). “Accident Investigation Following the Vest Tank Explosion at Sløvåg”. Ref. no: GexCon-08-F45543-O-1
9. Ikwan F, Sanders D and Hassan M. (2021). Safety Evaluation of Leak in a Storage Tank using Fault Tree Analysis and Risk Matrix Analysis. University of Portsmouth
10. James I. Chang, Cheng-Chung Lin. (2005). A study of storage tank accidents
11. Jason K. Levy. (2017). Risk Analysis of a Fuel Storage Terminal Using HAZOP and FTA. International Journal of Environmental Research and Public Health.

12. Jian Shuai*, Kejiang Han, Xuerui Xu. (2012). Risk-based inspection for large-scale crude oil tanks. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 25 (2012). p.166-177
13. Lee's F. (2005). *Loss Prevention in the Process Industries: Hazard Identification, Assessment and Control*. Loughborough University
14. M.ABUBAKAR, 2015, Risk-Based Framework For Safety Management Of Onshore Tank Farm Operations.
15. Persson και Lonnermark. (2004). Tank Fires Review of fire incidents 1951-2003)
16. Max S. Peters Klaus D. Timmerhaus. (1991). *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*. Fourth Edition. p.540
17. Αργυρόπουλος. (2006). Προσομοίωση Διασποράς Τοξικών Ρύπων Και Εκτίμηση Επιπτώσεων στο Περιβάλλον από Πυρκαγιές σε Δεξαμενές Καυσίμων για την Εφαρμογή της Οδηγίας Seveso ii. ΕΜΠ
18. Γεωργιάδου Σ. 2011, Μεθοδολογία Υποστήριξης Αποφάσεων Αντιμετώπισης Αστοχιών Μεγάλης Έκτασης με Χρήση Πολυκριτηριακών Εξελικτικών Αλγορίθμων.
19. Δρ. Τσολάκης. (2019). Module, Process Safety in Hydrocarbons Processes-Risk Assessment, Lecture 1: Storage tanks incident statistics. ΠΑΔΑ
20. Δρ. Τσολάκης. (2019). Module, Process Safety in Hydrocarbons Processes-Risk Assessment, Lecture 3: Process Hazard Analysis Methods. ΠΑΔΑ
21. Δρ. Τσολάκης. (2019). Module, Process Safety in Hydrocarbons Processes-Risk Assessment, Lecture 9: Legislation regarding Control of Major Hazards. The SEVESO Directive requirements Safety. ΠΑΔΑ
22. Ηλίας Κούκας . (2019). Ανάλυση Και Μοντελοποίηση Στατιστικά Κρίσιμων Κίνδυνων Και Συνέπειων Σε Μονάδες Αποθήκευσης Και Διακίνησης Πετρελαιοειδών. ΑΠΘ

23. ΚΥΑ 5607/590, Καθορισμός μέτρων και όρων για την αντιμετώπιση των κινδύνων από ατυχήματα μεγάλης έκτασης σε εγκαταστάσεις ή μονάδες λόγω της ύπαρξης επικίνδυνων ουσιών
24. Λεωνίδας Κ. Αμοιράς, 2020, Βιομηχανικά Ατυχήματα Μεγάλης Έκτασης: Ανάλυση, Νομοθεσία, Πρόληψη και Αντιμετώπιση. Μελέτη Περίπτωσης Βιομηχανικής Μονάδας Διύλισης Πετρελαίου. ΕΑΠ
25. Μούστης Άγγελος, Asprofos. Υπολογισμοί με χρήση του προγράμματος Phast.
26. Οδηγία 2003/105/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 16ης Δεκεμβρίου 2003, για τροποποίηση της οδηγίας 96/82/ΕΚ του Συμβουλίου για την αντιμετώπιση των κινδύνων μεγάλων ατυχημάτων σχετιζόμενων με επικίνδυνες ουσίες
27. Οδηγία 2012/18/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 4ης Ιουλίου 2012, για την αντιμετώπιση των κινδύνων μεγάλων ατυχημάτων σχετιζόμενων με επικίνδυνες ουσίες και για την τροποποίηση και στη συνέχεια την κατάργηση της οδηγίας 96/82/ΕΚ του Συμβουλίου Κείμενο που παρουσιάζει ενδιαφέρον για τον ΕΟΧ
28. Οδηγία 67/548/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 27ης Ιουνίου 1967 περί προσεγγίσεως των νομοθετικών, κανονιστικών και διοικητικών διατάξεων που αφορούν στην ταξινόμηση, συσκευασία και επισήμανση των επικινδύνων ουσιών
29. Οδηγία 82/501/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 24ης Ιουνίου 1982 περί του κινδύνου ατυχημάτων μεγάλης έκτασης τον οποίον περικλείουν ορισμένες βιομηχανικές δραστηριότητες
30. Οδηγία 88/610/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 24ης Νοεμβρίου 1988 για την τροποποίηση της οδηγίας 82/501/ΕΟΚ περί του κινδύνου ατυχημάτων μεγάλης έκτασης τον οποίο περικλείουν ορισμένες βιομηχανικές δραστηριότητες

31. Οδηγία 96/82/ΕΚ του Συμβουλίου της 9ης Δεκεμβρίου 1996 για την αντιμετώπιση των κινδύνων μεγάλων ατυχημάτων σχετιζόμενων με επικίνδυνες ουσίες
32. ΦΕΚ 846/Β, 31/12/1990, Καθορισμός τεχνικών προδιαγραφών, διαμόρφωσης, σχεδίασης, κατασκευής, ασφαλούς λειτουργίας και πυροπροστασίας εγκαταστάσεων διυλιστηρίων και λοιπών βιομηχανιών πετρελαίου