Π Ο Λ Υ Τ Ε Χ Ν Ε Ι Ο Κ Ρ Η Τ Η Σ
Τ Μ Η Μ Α Μ Η Χ Α Ν Ι Κ Ω Ν Π Α Ρ Α Γ Ω Γ Η Σ
Κ Α Ι Δ Ι Ο Ι Κ Η Σ Η Σ
Τ Ο Μ Ε Α Σ Ο Ρ Γ Α Ν Ω Σ Η Σ Κ Α Ι Δ Ι Ο Ι Κ Η Σ Η Σ

«Ανάλυση Ευαισθησίας Παραμέτρων Επικινδυνότητας για τον καθορισμό των Ζωνών Επιπτώσεων και της Τρωτότητας των Εργαζομένων από Βιομηχανικά Ατυχήματα Μεγάλης Έκτασης (ΒΑΜΕ) σε δομημένους χώρους εργασίας»

Διατριβή που υπεβλήθη για τη μερική
ικανοποίηση των απαιτήσεων για την απόκτηση
Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης

Βαγγέλογλου Ευάγγελος

Χανιά 2009

© Ευάγγελος Βαγγέλογλου, 2009

Επιτρέπεται η αντιγραφή μέρους ή όλης της ερευνητικής εργασίας με την προϋπόθεση να γίνεται αναφορά στην πηγή.

Η διατριβή του Ευάγγελου Βαγγέλογλου εγκρίνεται από τους κ.κ.

Δρ. Παπαδάκης Γεώργιος	Επιστ. Υπεύθ. Εργασίας
Δρ. Κοντογιάννης Θωμάς	Αναπληρωτής Καθηγητής
Δρ. Κοσματόπουλος Ηλίας	Επίκουρος Καθηγητής
Δρ. Μουστάκης Βασίλειος	Αναπληρωτής Καθηγητής

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με το πέρας της παρούσας ερευνητικής διατριβής θα ήθελα να ευχαριστήσω ορισμένους ανθρώπους οι οποίοι συνέβαλαν στην υλοποίηση και την επιτυχή ολοκλήρωση της.

Αρχικά, θέλω να εκφράσω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον καθηγητή μου κ. Παπαδάκη Γεώργιο για όλες τις γνώσεις, ιδέες και συμβουλές που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια διεκπεραίωσης της εργασίας μου. Η συνεργασία μας υπήρξε άριστη καθ' όλη τη διάρκεια του μεταπτυχιακού μου και τον ευχαριστώ διότι μου στάθηκε τόσο σαν δάσκαλος, όσο και σαν άνθρωπος.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου, που με στηρίζουν τόσο καιρό και μου συμπαραστάθηκαν κατά τη διάρκεια της διατριβής μου.

Τέλος, ευχαριστώ θερμά την οικογένειά μου για την βοήθεια, την κατανόηση και την στήριξη όλα αυτά τα χρόνια που λείπω από κοντά της, στην οποία αφιερώνεται η παρούσα ερευνητική εργασία.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ..... **IV**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ ..... **VII**

1^{O} ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΣΑΓΩΓΗ **1**

1.1 ΓΕΝΙΚΑ 1
1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ 3
1.3 ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ 4
1.4 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 6

2^{O} ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑΣ **8**

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ 8
2.2 Η ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΣΤΙΣ ΧΩΡΕΣ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗΣ ΈΝΩΣΗΣ 9
2.2.1 Η Οδηγία SEVESO *9*
2.2.2 Η Οδηγία SEVESO II *10*
2.3 ΕΝΑΡΜΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΟΔΗΓΙΑ SEVESO II 14

3° ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ **16**

3.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕ ΕΥΦΛΕΚΤΕΣ ΟΥΣΙΕΣ 16
3.1.1 BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion) *19*
3.1.2 Γλώσσα Φωτιάς/ Πυρσός (Jet Fire/ Flare) *22*
3.1.3 Στιγμιαία Ανάφλεξη (Flash Fire) - Κατάκαυση *23*
3.1.4 Έκρηξη Αερίου Νέφους (Vapour Cloud Explosion - VCE) *24*
3.1.5 Διασπορά νέφους χωρίς ανάφλεξη εύφλεκτου ή τοξικού (Dispersion) *25*
3.1.6 Φωτιά Λίμνης (Pool Fire) *25*
3.2 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ – ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ 27
3.2.1 BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion) *28*
3.2.2 Έκρηξη Αερίου Νέφους (UVCE - VCE) *35*
3.2.3 Φωτιά Λίμνης (Pool Fire) *42*
3.2.4 Συγκεντρωτικός πίνακας παραμέτρων φαινομένων BLEVE, Pool Fire και VCE *49*
3.3 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ – ΖΩΝΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΚΑΙ ΌΡΙΑ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ 52
3.3.1 Επιπτώσεις από θερμική ακτινοβολία *52*
3.3.2 Επιπτώσεις από ωστικό κύμα *53*
3.3.3 Εκτίμηση Πολλαπλασιαστικών Φαινομένων (Domino) *56*

4° ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ **60**

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ 60
4.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ A_W ΚΑΙ A_C 60
4.2.1 Υπολογισμός του συντελεστή απορρόφησης της θερμικής ακτινοβολίας από την υγρασία του αέρα (absorption factor for water vapour α_w) *60*
4.2.2 Υπολογισμός του συντελεστή απορρόφησης της θερμικής ακτινοβολίας από το διοξείδιο του άνθρακα του αέρα (absorption coefficient for carbon-dioxide α_c) *65*
4.3 BLEVE 67
4.3.1 Ανάλυση ευαισθησίας για τη μάζα M της ουσίας *68*
4.3.2 Ανάλυση ευαισθησίας για τον τύπο της ουσίας *70*
4.3.3 Ανάλυση ευαισθησίας για την θερμοκρασία λειτουργίας T_{op} *71*
4.3.4 Ανάλυση ευαισθησίας για την θερμοκρασία περιβάλλοντος T_{α} *75*
4.4 ΈΚΡΗΞΗ ΑΕΡΙΟΥ ΝΕΦΟΥΣ (VCE) 78
4.4.1 Ανάλυση ευαισθησίας για τη μάζα M της ουσίας *79*
4.4.2 Ανάλυση ευαισθησίας για τον τύπο της ουσίας *81*
4.4.3 Ανάλυση ευαισθησίας για την κλάση της έκρηξης CN *81*

4.5 ΦΩΤΙΑ ΛΙΜΝΗΣ (POOL FIRE) 85
4.5.1 Ανάλυση ευαισθησίας για τον τύπο της ουσίας 86
4.5.2 Ανάλυση ευαισθησίας για την διάμετρο D 86
4.5.3 Ανάλυση ευαισθησίας για την θερμοκρασία περιβάλλοντος T_a 89
4.5.4 Ανάλυση ευαισθησίας για την ταχύτητα του ανέμου u_w 91
4.5.5 Ανάλυση ευαισθησίας για το κλάσμα της παραγόμενης θερμότητας καύσης που εκπέμπεται F_s .. 94
4.5.6 Ανάλυση ευαισθησίας για τη συγκέντρωση C_{CO2} του διοξειδίου του άνθρακα στον αέρα 96
4.6 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΖΩΝΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΓΙΑ BLEVE ΚΑΙ POOL FIRE ΜΕ ΓΕΝΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ 99
4.6.1 Συναρτήσεις παραμετρικής ευαισθησίας Ζωνών Επιπτώσεων για BLEVE 100
4.6.2 Συναρτήσεις παραμετρικής ευαισθησίας Ζωνών Επιπτώσεων για Φωτιά Λίμνης (Pool Fire) .. 108

5° ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ (CASE STUDY) 115

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ 115
5.2 ΤΟΠΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ - ΟΙ ΝΕΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΤΟΥ ΔΙΥΛΙΣΤΗΡΙΟΥ 115
5.2.3 Οι νέες μονάδες του διυλιστηρίου 115
5.3 ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΔΙΑΦΥΓΗΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΝΕΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΔΙΥΛΙΣΤΗΡΙΟΥ 117
5.3.1 Μονάδα U31: Μονάδα Απόσταξης Κενού - Vacuum Distillation Unit 122
5.3.2 Μονάδα U32: Μονάδα Πυρόλυσης Ρευστοστερεάς Κλίνης Κωκ - Flexicoking Unit 123
5.3.3 Μονάδα U33: Μονάδα Παραγωγής Υδρογόνου - Hydrogen Production Unit 124
5.3.4 Μονάδα U34_1: Μονάδα Καταλυτικής Πυρόλυσης, Τμήμα Διαχωριστή - Unicracking Unit, Fractionation Section 125
5.3.5 Μονάδα U34_2: Μονάδα Καταλυτικής Πυρόλυσης, Τμήμα Αντιδραστήρων - Unicracking Unit, Reactor Section 126
5.3.6 Μονάδα U34_3: Μονάδα Κατεργασίας με Υδρογόνο, Τμήμα Αντιδραστήρων - Hydrotreating Unit, Reactor Section 127
5.3.7 Μονάδα U36: Μονάδα Αναγέννησης Αμίνης - Amine Regeneration Unit 128
5.3.8 Μονάδα U37: Μονάδα Απογύμνωσης Όξινων Νερών - Sour Water Stripper Unit 129
5.3.9 Μονάδα U38: Μονάδα Ανάκτησης Θείου και Κατεργασίας Αερίων - Sulfur Recovery and Tale Gas Treatment Unit 130
5.4 ΑΤΥΧΗΜΑΤΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ ΚΑΙ ΖΩΝΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ 131
5.4.1 Μονάδα U31: Μονάδα Απόσταξης Κενού - Vacuum Distillation Unit 136
5.4.2 Μονάδα U32: Μονάδα Πυρόλυσης Ρευστοστερεάς Κλίνης Κωκ - Flexicoking Unit 138
5.4.3 Μονάδα U33: Μονάδα Παραγωγής Υδρογόνου - Hydrogen Production Unit 142
5.4.4 Μονάδα U34_1: Μονάδα Καταλυτικής Πυρόλυσης, Τμήμα Διαχωριστή - Unicracking Unit, Fractionation Section 144
5.4.5 Μονάδα U34_2: Μονάδα Καταλυτικής Πυρόλυσης, Τμήμα Αντιδραστήρων - Unicracking Unit, Reactor Section 148
5.4.6 Μονάδα U34_3: Μονάδα Κατεργασίας με Υδρογόνο, Τμήμα Αντιδραστήρων - Hydrotreating Unit, Reactor Section 152
5.4.7 Μονάδα U36: Μονάδα Αναγέννησης Αμίνης - Amine Regeneration Unit 156
5.4.8 Μονάδα U37: Μονάδα Απογύμνωσης Όξινων Νερών - Sour Water Stripper Unit 157
5.4.9 Μονάδα U38: Μονάδα Ανάκτησης Θείου και Κατεργασίας Αερίων - Sulfur Recovery and Tale Gas Treatment Unit 158
5.5 ΣΕΝΑΡΙΑ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΤΑ ΟΠΟΙΑ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΟ CONTROL ROOM 159

6° ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΟΒΛΕΨΕΙΣ ΚΑΙ ΔΙΟΡΘΩΤΙΚΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ 161

6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ 161
6.1.1 Σημαντικές και μη σημαντικές παράμετροι των φαινομένων 161
6.1.2 Κατάταξη των δυσμενέστερων σεναρίων ατυχημάτων που επηρεάζουν το control room της εγκατάστασης βάσει σημαντικότητας επιπτώσεων στους εργαζομένους 162
6.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ Α: ΔΥΣΜΕΝΕΣΤΕΡΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ (ΘΑΝΑΤΟΣ, ΣΟΒΑΡΟΣ ΤΡΑΥΜΑΤΙΣΜΟΣ) 165
6.2.1 BLEVE: Ζώνη 37,5 kW/m^2 και Ζώνη I (15 kW/m^2), Μονάδα U32: Μονάδα Πυρόλυσης Ρευστοστερεάς Κλίνης Κωκ - Flexicoking Unit 165

6.2.2 BLEVE: Ζώνη I (15 kW/m^2), Μονάδα U34_1: Μονάδα Καταλυτικής Πυρόλυσης, Τμήμα Διαχωριστή - Unicracking Unit, Fractionation Section *168*
6.2.3 BLEVE: Ζώνη 37,5 kW/m^2 και Ζώνη I (15 kW/m^2), Μονάδα U34_2: Μονάδα Καταλυτικής Πυρόλυσης, Τμήμα Αντιδραστήρων - Unicracking Unit, Reactor Section *170*
6.2.4 BLEVE: Ζώνη I (15 kW/m^2), Μονάδα U34_3: Μονάδα Κατεργασίας με Υδρογόνο, Τμήμα Αντιδραστήρων - Hydrotreating Unit, Reactor Section *172*
6.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ Β: ΔΥΣΜΕΝΕΙΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ (ΘΑΝΑΤΟΣ, ΣΟΒΑΡΟΣ ΤΡΑΥΜΑΤΙΣΜΟΣ) 174
6.3.1 Pool Fire 100 μέτρων: Ζώνη 37,5 kW/m^2 και Ζώνη I (15 kW/m^2) Μονάδα U31: Μονάδα Απόσταξης Κενού - Vacuum Distillation Unit *174*
6.3.2 Pool Fire 100 μέτρων: Ζώνη I (15 kW/m^2) Μονάδα U32: Μονάδα Πυρόλυσης Ρευστοστερεάς Κλίνης Κωκ - Flexicoking Unit *177*
6.4 ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ Γ: ΛΙΓΟΤΕΡΟ ΔΥΣΜΕΝΕΙΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ (ΣΟΒΑΡΟΣ ΤΡΑΥΜΑΤΙΣΜΟΣ) 178
6.4.1 Εσωτερική Έκρηξη αερίου νέφους (Internal VCE): Ζώνη II (140 mbar) Μονάδα U31: Μονάδα Απόσταξης Κενού - Vacuum Distillation Unit *178*
6.4.2 Έκρηξη αερίου νέφους (UVCE): Ζώνη III (50 mbar) Μονάδα U32: Μονάδα Πυρόλυσης Ρευστοστερεάς Κλίνης Κωκ - Flexicoking Unit *182*
6.4.3 BLEVE: Ζώνη III (3 kW/m^2), Μονάδα U33: Μονάδα Παραγωγής Υδρογόνου - Hydrogen Production Unit *185*
6.4.4 Pool Fire 100 μέτρων: Ζώνη III (3 kW/m^2) Μονάδα U34_1: Μονάδα Καταλυτικής Πυρόλυσης, Τμήμα Διαχωριστή - Unicracking Unit, Fractionation Section *186*
6.5 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΩΝ ΔΙΟΡΘΩΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΩΝ 188

7° ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ 189

7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ 189
7.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 189
7.3 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ 198

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 199

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη παρούσα ερευνητική διατριβή εξετάζεται η επικινδυνότητα τραυματισμού εργαζομένων σε εργατικό ατύχημα που οφείλεται σε έκλυση επικίνδυνων ουσιών ή εκδήλωση φωτιάς ή έκρηξη σε εργασιακούς χώρους με καθορισμένη γεωμετρία. Η ποσοτικοποίηση της επικινδυνότητας βασίζεται στις πιθανότητες: έκλυσης κινδύνων, εξέλιξης σεναρίου βιομηχανικών ατυχημάτων μεγάλης έκτασης (BAME), παρουσίας ή διέλευσης εργαζομένων από τις ζώνες επιπτώσεων και τέλος την πιθανότητα απόκρισης του ατόμου σε δόσεις βλαπτικών παραγόντων. Στο τομέα έχει εκπονηθεί σχετική έρευνα με σημαντικά αποτελέσματα και άμεσα υλοποιήσιμες ερευνητικές προτάσεις από το εργαστήριο Εργονομίας του Πολυτεχνείου Κρήτης. Η παρούσα εργασία θα αναλύσει τα αποτελέσματα των ερευνών αυτών με βάση τα μαθηματικά μοντέλα προσομοίωσης σεναρίων βιομηχανικών ατυχημάτων.

Τα τυποποιημένα φαινόμενα ατυχημάτων που εξετάζονται για επιπτώσεις είναι θερμική ακτινοβολία φωτιάς λίμνης και ανάφλεξης αερίου νέφους και ωστικό κύμα έκρηξης σε περιορισμένο χώρο. Αυτά αναλύονται ως προς τη σημαντικότητά των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν στον υπολογισμό της έκτασης των επιπτώσεων και της συνολικής Επικινδυνότητας. Υιοθετείται προσέγγιση ομαδοποίησης σταθερών παραμέτρων ανάλογα με τον τύπο του φαινομένου όπως ακολουθείται στην ποσοτικοποιημένη εκτίμηση επικινδυνότητας (QRA) από ατυχήματα.

Βασισμένοι σε πραγματικά ατυχήματα (case studies) τα οποία έχουν αναλυθεί στη διεθνή βιβλιογραφία ως προς τις επιπτώσεις τους σε χώρους εργασίας και σε στοιχεία από βάσεις δεδομένων ατυχημάτων, πραγματοποιείται συγκριτική ανάλυση (benchmarking) και εκτίμηση επιπτώσεων σε τυπικές γεωμετρίες εργασιακών χώρων, εφαρμόζοντας προσομοιωτικά μοντέλα (π.χ. SLAB) σε ένα μεγάλο εύρος τιμών παραμέτρων όπως: ποσότητας και ρυθμού διαρροής της επικίνδυνης ουσίας, συνθηκών διεργασιών και ατμοσφαιρικής διασποράς, τύπου και τοποθεσίας σημείου ανάφλεξης, βαθμού συμβολής πολλαπλασιαστικών φαινομένων, κ.α.

Η προτυποποίηση στον καθορισμό ζωνών επιπτώσεων που προκύπτει από την ανάλυση των αποτελεσμάτων, αφορά τους σημαντικότερους τύπους ατυχημάτων και τυπικές γεωμετρίες χώρων εργασίας. Τέτοιες προσπάθειες δεν έχουν καταγραφεί μέχρι σήμερα και ειδικότερα στην προσέγγιση ποσοτικοποίησης της επικινδυνότητας σε εργασιακούς χώρους. Η ερευνητική εργασία προσδιορίζει τιμές αναφοράς στις κρίσιμες παραμέτρους εκτίμησης επιπτώσεων και αναδεικνύει τυπικές κατηγορίες αναγκών χρήστη στα κυριότερα στάδια της συστηματικής ανάλυσης επικινδυνότητας.

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την παρούσα μελέτη παραμετρικής ανάλυσης ευαισθησίας, αναφορικά με τις Ζώνες Επιπτώσεων που πηγάζουν από τα δυσμενέστερα

σενάρια BAME, μπορεί να αποδειχθούν πολύ χρήσιμα για τη μελέτη των φαινομένων και τον καθορισμό των Ζωνών Επιπτώσεων ώστε πάντοτε να προάγεται η ασφάλεια των εργαζομένων.

Βασικό αποτελέσματα της παρούσας εργασίας αποτελεί η κατάταξη των παραμέτρων των προσομοιωτικών μοντέλων των ατυχηματικών φαινομένων βάσει της σημαντικότητας τους στον ακριβή υπολογισμό της έκτασης των επιπτώσεων, που προκαλούνται από κάθε φαινόμενο. Επίσης, οι εξισώσεις βάσει των οποίων υπολογίζεται η μεταβολή της απόστασης από το σημείο έκλυσης του φαινομένου ως τον αποδέκτη, στην οποία εκτείνονται συγκεκριμένα επίπεδα θερμικής ακτινοβολίας από τα φαινόμενα BLEVE και Pool Fire, αποτελεί σημαντικό καινοτόμο επίτευγμα της παρούσας ερευνητικής μελέτης και από αυτές μπορούν να εξαχθούν διάφορα χρήσιμα και ενδιαφέροντα συμπεράσματα σε ανάλογες εγκαταστάσεις που διαχειρίζονται επικίνδυνες ουσίες.

1ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Τον τελευταίο αιώνα στο χώρο της παγκόσμιας Βιομηχανίας και ειδικά στον τομέα της Χημικής Βιομηχανίας, έχουν συμβεί μια σειρά από σοβαρά ατυχήματα, γνωστά σήμερα στην Ελλάδα ως Βιομηχανικά Ατυχήματα Μεγάλης Έκτασης (ΒΑΜΕ), τα οποία κατέδειξαν με δραματικό τρόπο την ανάγκη για συστηματική ανάλυση και μελέτη των προβλημάτων που σχετίζονται με την ασφάλεια των βιομηχανικών εγκαταστάσεων. Ονόματα πόλεων όπως Flixborough (1974), Sevezo (1976), Mexico City (1984), Bhopal (1984), Buncefield (2005) κ.α. έχουν γίνει συνώνυμα με τέτοιου είδους ατυχήματα τα οποία είχαν βαρύτατες επιπτώσεις σε ανθρώπινες ζωές και στο περιβάλλον. Στην Ελλάδα έχουν συμβεί αρκετά ατυχήματα με σοβαρές συνέπειες όπως η πυρκαγιά στην Jet Oil στη Θεσσαλονίκη (1987), το ατύχημα στην ΠΕΤΡΟΛΑ (1992), το ατύχημα στην ΕΚΟ στη Θεσσαλονίκη (1998), κ.α. Τα ατυχήματα αυτά συνέβησαν κατά τη χρήση, αποθήκευση ή μεταφορά επικίνδυνων ουσιών (τοξικών, εύφλεκτων, εκρηκτικών) και τα κύρια χαρακτηριστικά τους ήταν οι καταστροφικές συνέπειες, οι οποίες μετριόνται σε θύματα, υλικές ζημιές με τεράστιο κόστος και επιπτώσεις στο περιβάλλον, τόσο στην περιοχή γύρω από τον τόπο του ατυχήματος, όσο και μακριά από αυτή.

Σε νομοθετικό επίπεδο για το ζήτημα των βιομηχανικών ατυχημάτων, η Ευρωπαϊκή Ένωση εξέδωσε το 1982 την Οδηγία 82/501/EC (SEVESO), η οποία έθεσε το νομοθετικό πλαίσιο για τον έλεγχο των κινδύνων μεγάλων ατυχημάτων στα οποία συμμετέχουν επικίνδυνες ουσίες. Σύμφωνα με τη SEVESO:

«*Ένα ΒΑΜΕ ορίζεται σαν ένα συμβάν όπως μεγάλη διαρροή, πυρκαγιά ή έκρηξη που προκύπτει από ανεξέλεγκτες εξελίξεις κατά τη λειτουργία οποιασδήποτε εγκατάστασης, το οποίο προκαλεί μεγάλους κινδύνους, άμεσους ή απώτερους, για την ανθρώπινη υγεία, εντός ή εκτός της εγκατάστασης, ή/ και για το περιβάλλον, και σχετίζεται με μία ή περισσότερες επικίνδυνες ουσίες.*»

Στα χρόνια που ακολούθησαν από το 1982 έως το 1992, παρόλο που η SEVESO αποδείχτηκε επιτυχής, στην Ευρώπη συνέβησαν περισσότερα από 130 ατυχήματα μεγάλης έκτασης. Το γεγονός αυτό έδειξε την ανάγκη για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας του νομοθετικού πλαισίου όσον αφορά την πρόληψη των μεγάλων ατυχημάτων. Έτσι στις 26/1/1994, η Επιτροπή προχώρησε στην έκδοση μιας πρότασης για την αντικατάσταση της SEVESO από μία νέα Οδηγία, η οποία περιελάμβανε όλες τις

βασικές αρχές της προηγούμενης Οδηγίας, ενώ παράλληλα ενσωμάτωνε επιπρόσθετα μέτρα καλής πρακτικής της διαχείρισης επικινδυνότητας, καθώς και διατάξεις για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας εφαρμογής της. Η πρόταση αυτή μετά από τροποποιήσεις είχε ως αποτέλεσμα το Δεκέμβριο του 1996 να εκδοθεί και από τον Φεβρουάριο του 1997 να τεθεί σε ισχύ η νέα Οδηγία 96/82/EC γνωστή ως SEVESO II, η οποία αντικατέστησε την 82/501/EC. Σύμφωνα με τη SEVESO II, οι εγκαταστάσεις που είναι δυνατόν να περικλείουν κινδύνους ατυχημάτων μεγάλης έκτασης πρέπει να εφαρμόζουν μια πολιτική πρόληψης των κινδύνων αυτών. Η πολιτική αυτή πρέπει να αποβλέπει σε υψηλό επίπεδο προστασίας του ανθρώπου και του περιβάλλοντος με την αποτελεσματική εφαρμογή ενός ολοκληρωμένου Συστήματος Διαχείρισης Ασφάλειας (ΣΔΑ) (Μαχαιρά, 2006).

Επιπλέον οι εγκαταστάσεις αυτές, σύμφωνα με την SEVESO II οφείλουν να υποβάλλουν στις αρμόδιες αρχές μελέτες ασφάλειας (ή κοινοποίηση, ανάλογα με το είδος και μέγεθος της εγκατάστασης) οι οποίες αφορούν στη λειτουργία της εγκατάστασης, τους κινδύνους που ελλοχεύουν από αυτή και τέλος τα μέτρα που έχουν ληφθεί για την ασφάλεια των εργαζομένων και του κοινού εντός και εκτός της εγκατάστασης. Οι μελέτες ασφάλειας συντάσσονται από ανεξάρτητους οργανισμούς και υποβάλλονται στους αρμόδιους και ενδιαφερόμενους φορείς (Υπουργεία, Δήμους, κλπ.). Οι κίνδυνοι που εντοπίζονται στη μελέτη ασφάλειας και η επικινδυνότητα που πηγάζει από αυτούς πρέπει να μην υπερβαίνουν ορισμένα κατώφλια τα οποία έχουν θεσμοθετηθεί από την πολιτεία για κάθε είδους εγκατάσταση στις εκάστοτε περιοχές. Το εύρος των κινδύνων από πιθανά ατυχήματα που εντοπίζονται στις μελέτες ασφάλειας Seveso, αφορά στα ατυχήματα με τη μικρότερη πιθανότητα να συμβούν και τις δυσμενέστερες συνέπειες και όχι στο σύνολο των ατυχημάτων. Συγκεκριμένα δεν εξετάζονται τα ατυχήματα τα οποία θα μπορούσαν να είχαν όχι τόσο δυσμενείς επιπτώσεις και των οποίων η πιθανότητα εμφάνισης είναι χαμηλή.

Οι βιομηχανίες που διαχειρίζονται και αποθηκεύουν μεγάλες ποσότητες επικίνδυνων ουσιών συντάσσουν μελέτες ασφάλειας εντός των πλαισίων των νομοθετικών υποχρεώσεών τους (Οδηγία SEVESO II), με έμφαση στα ατυχήματα που έχουν πολύ σοβαρές επιπτώσεις (worst case σενάρια) και τα οποία έχουν σημαντική πιθανότητα εμφάνισης.

Η ανάλυση QRA περιορίζει το αντικείμενο των μελετών ασφάλειας στα σενάρια ατυχημάτων με μεγάλη επικινδυνότητα π.χ $R>10^{-6}$. Αυτό σημαίνει ότι οι μελέτες που περιλαμβάνουν QRA εξετάζουν κυρίως τις πιο σημαντικές συνέπειες και τα πολύ συχνά ατυχήματα. Οι μελέτες με ντιτερμινιστική προσέγγιση εξετάζουν τα σενάρια με τις σημαντικότερες συνέπειες ανεξαρτήτου αναμενόμενης συχνότητας. Σε οποιαδήποτε περίπτωση οι μελέτες ασφάλειας εντοπίζονται στις επιπτώσεις εκτός εγκατάστασης και στην επικινδυνότητα του κοινού και όχι των εργαζομένων. Η αποτελεσματικότητα της

εφαρμογής της Οδηγίας Seveso II εξετάζεται για δύο χώρες (Ελλάδα και Ολλανδία) για την περίοδο μέχρι το 2003 (Van Steen και Papadakis, 2004).

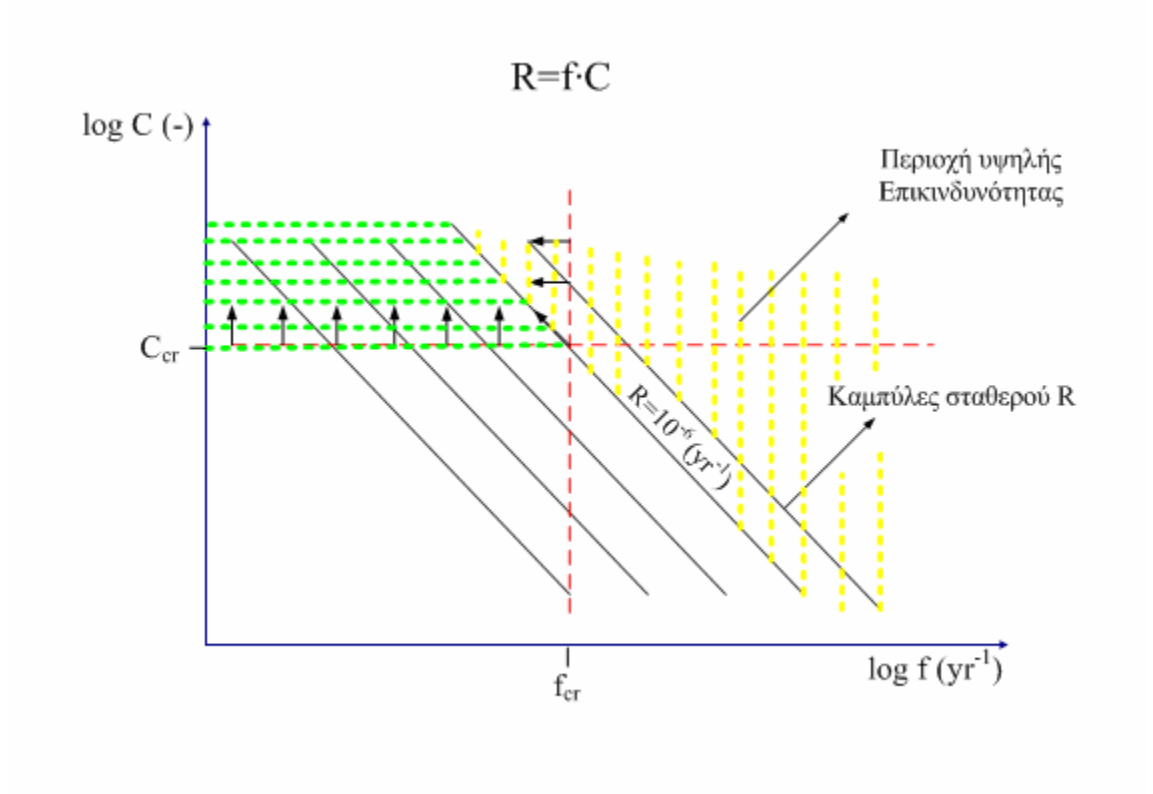
1.2 Σκοπός και αναγκαιότητα της έρευνας

Όπως ειπώθηκε παραπάνω η περιοχή των worst case σεναρίων ατυχημάτων δεν καλύπτεται από τις κλασσικές μελέτες ασφάλειας αναφορικά με την ασφάλεια του κοινού. Οι εταιρείες που διαχειρίζονται επικίνδυνες ουσίες σε μεγάλες ποσότητες υποχρεούνται να συντάσσουν μελέτες: α) σχεδιασμού μονάδων, β) προληπτικής συντήρησης, γ) κατασκευαστικών προτύπων των χώρων και των κτιρίων που βρίσκονται οι εργαζόμενοι, δ) μέσων ατομικής προστασίας, ε) διαδικασιών ασφαλούς λειτουργίας των μονάδων και στ) μέτρων και διαδικασιών των Σχεδίων Έκτακτης Ανάγκης (ΣΕΑ). οι οποίες καλύπτουν μόνο την περιοχή υψηλής επικινδυνότητας. Η περιοχή υψηλής επικινδυνότητας είναι διαγραμμισμένη με κίτρινο χρώμα στο σχήμα 1.2.1.

Σε όλες τις παραπάνω μελέτες η έκταση της ανάλυσης εξαρτάται από τη συχνότητα εμφάνισης των ατυχηματικών σεναρίων f. Συνήθως εξετάζουν τα σενάρια με μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης (π.χ. $>f_{cr}$) και μεγάλη επικινδυνότητα ($R>10^{-6}$ yr^{-1}) που είναι εκείνα τα οποία έχουν συνήθως και μικρότερες επιπτώσεις. Το πεδίο το οποίο καλύπτει τα ατυχηματικά σενάρια με σπανιότερη πιθανότητα εμφάνισης ($<f_{cr}$), μικρή επικινδυνότητα ($R<10^{-6}$ yr^{-1}) και πολύ δυσμενείς επιπτώσεις για τους εργαζομένους μίας εγκατάστασης, δεν έχει ερευνηθεί επαρκώς και το πεδίο αυτό δεν λαμβάνεται υπόψη από τους υπεύθυνους για την ασφάλεια των εργαζομένων στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις καθώς και από τους αρμόδιους φορείς της πολιτείας διότι το μεγαλύτερο βάρος δίδεται στα συχνά εργατικά ατυχήματα. Υπό αυτήν την έννοια, στην παρούσα ερευνητική διατριβή θα εξεταστούν ατυχηματικά σενάρια τα οποία ενέχουν τις δυσμενέστερες επιπτώσεις για τους εργαζόμενους αλλά η πιθανότητα εμφάνισης τους είναι χαμηλή, ενώ ταυτόχρονα η επικινδυνότητα που προέρχεται από αυτά διατηρείται κάτω από την κρίσιμη τιμή ($R<10^{-6}$ yr^{-1}).

Στο διάγραμμα με τις καμπύλες επικινδυνότητας $R = f \cdot C$ που παρουσιάζεται στο σχήμα 1.2.1, όπου R: η επικινδυνότητα και C: η σοβαρότητα των επιπτώσεων, σε κάθε καμπύλη R η επικινδυνότητα παραμένει σταθερή. Υπάρχουν πολλοί συνδυασμοί συχνότητας εμφάνισης f και σοβαρότητας επιπτώσεων C, οι οποίοι δίνουν την ίδια τιμή επικινδυνότητας R. Με βάση τα παραπάνω στη συγκεκριμένη εργασία αναλύεται το τμήμα του διαγράμματος που βρίσκεται σε υψηλές τιμές των επιπτώσεων και το οποίο περιέχεται στην περιοχή που καθορίζεται από τα βέλη στο σχήμα 1.2.1. Η περιοχή που παρουσιάζεται με πράσινες διαγραμμίσεις στο σχήμα 1.2.1, αποτελεί την περιοχή με την οποία δεν ασχολούνται καθόλου οι κλασσικές μελέτες και είναι αυτή που αποτελεί την καινοτομία της παρούσας εργασίας. Επιπλέον λόγω του γεγονότος ότι οι καμπύλες σταθερού R διατηρούν σταθερή την επικινδυνότητα, με αυτό τον τρόπο θεωρείτε ότι

καλύπτονται και όλα τα σενάρια της ίδιας επικινδυνότητας αλλά και μεγαλύτερης συχνότητας.



Σχήμα 1.2.1: Καμπύλες επικινδυνότητας R = f·C

Επομένως η εργασία αυτή επιχειρεί να καλύψει ένα ερευνητικό κομμάτι για την ασφάλεια των εργαζομένων το οποίο καλύπτουν οι μελέτες SEVESO μόνο για τον πολίτη. Εδώ κρίνεται σκόπιμο να ειπωθεί ότι υπάρχει πλέον η τάση όλες οι μελέτες που συντάσσονται για την ασφάλεια μίας εγκατάστασης να χρησιμοποιούνται τα αποτελέσματά τους για το όφελος και την προστασία των εργαζομένων, γεγονός που αποτελεί θετική εξέλιξη για την πρόοδο στον τομέα της ασφάλειας των εργαζομένων.

1.3 Προτεινόμενη μεθοδολογική προσέγγιση

Στην παράγραφο αυτή παρατίθεται η γενική μεθοδολογική προσέγγιση που θα ακολουθηθεί στην εργασία αυτή καθώς και ορισμένες βασικές παραδοχές πάνω στις οποίες βασίστηκε η συγκεκριμένη μελέτη. Υπό αυτή την έννοια τα worst case σενάρια της μελέτης ασφάλειας SEVESO (Παπαδάκης, 2007) για νέες υπό κατασκευή μονάδες διυλιστηρίων, που εξετάζονται στην παρούσα εργασία (βλ. Κεφ. 5 και 6) θεωρούνται αποδεκτά ως έχουν και αποτελούν το πλαίσιο εργασίας της παρούσας μελέτης για το παράδειγμα εφαρμογής (case study).

Τα ατυχηματικά σενάρια και τα αποτελέσματα των σεναρίων ως Επιπτώσεις και Ζώνες Επιπτώσεων που αναλύονται στην παρούσα εργασία, εξετάστηκαν για την παραμετρική τους ευαισθησία χρησιμοποιώντας την μαθηματική ανάλυση και μοντελοποίηση συγκεκριμένων φαινομένων [BLEVE, Φωτιά Λίμνης (Pool Fire), Έκρηξη Αερίου Νέφους (Vapour Cloud Explosion – VCE)]. Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή την ανάλυση είναι οι ίδιες με αυτές με τις οποίες μελετήθηκαν τα worst case σενάρια στη μελέτη ασφάλειας του διυλιστηρίου.

Το κριτήριο ανάλυσης που εφαρμόστηκε είναι η εύρεση των τιμών των παραμέτρων για τις οποίες η έκταση των επιπτώσεων των worst case σεναρίων δεν επηρεάζει τα όρια του σημείου-στόχου που είναι το δωμάτιο ελέγχου (control room) των νέων μονάδων.

Από τα αποτελέσματα της ανάλυσης, εξετάζεται η σχετική σημαντικότητα των παραμέτρων ως προς την ευαισθησία της μεταβολής της έκτασης των Ζωνών Επιπτώσεων και επιπλέον αναγνωρίζεται η δυνατότητα εφαρμογής κατάλληλης μεταβολής στις τιμές των παραμέτρων για την επίτευξη του κριτηρίου. Η δυνατότητα μεταβολής των παραμέτρων καθορίζεται με βάση τις συνθήκες λειτουργίας της εγκατάστασης, την διάταξη του εξοπλισμού, το περιβάλλον, κτλ. Τα στοιχεία που είναι δυνατόν να μεταβληθούν ώστε να υπάρξει επίτευξη του κριτηρίου είναι τα παρακάτω:

- Λειτουργικές επεμβάσεις,
- Χωροθέτηση του εξοπλισμού και των μονάδων,
- Συστήματα ασφάλειας (αποσυμπίεσης, διαχωρισμού, παροχέτευσης) και
- Μέτρα προστασίας στο σημείο-στόχο στο control room της εγκατάστασης (π.χ. πυροπροστασία, ΜΑΠ, κατασκευαστικά στοιχεία του control room).

Επομένως γίνεται φανερό ότι ένας βασικός στόχος της εργασίας αυτής είναι η διερεύνηση σχετικά με το αν είναι αναγκαίο και εφικτό, μέσα από την ανάλυση που θα πραγματοποιηθεί στην παρούσα εργασία, να πραγματοποιηθούν επεμβάσεις:

- στα λειτουργικά συστήματα των μονάδων,
- στη χωροθέτηση του εξοπλισμού και των μονάδων,
- στα συστήματα ασφάλειας,
- στην επαναχωροθέτηση του σημείου-στόχου (control room),
- στα μέτρα προστασίας στο σημείο στόχου και
- στα μέτρα και τις διαδικασίες των Σχεδίων Έκτακτης Ανάγκης (ΣΕΑ),

στις νέες εγκαταστάσεις των διυλιστηρίων με κύριο και βασικό άξονα την προώθηση της ασφάλειας των εργαζομένων εντός των μονάδων.

1.4 Δομή της εργασίας

Η ανάλυση που πραγματοποιείται στην παρούσα εργασία οργανώνεται σε επτά κεφάλαια ως εξής:

Στο δεύτερο κεφάλαιο που ακολουθεί πραγματοποιείται μια γενική περιγραφή της νομοθεσίας για την πρόληψη των κινδύνων από βιομηχανικά ατυχήματα. Συγκεκριμένα, γίνεται ανασκόπηση της ευρωπαϊκής νομοθεσίας για τον έλεγχο των κινδύνων εκδήλωσης μεγάλων ατυχημάτων και ειδικότερα γίνεται αναφορά στην Οδηγία SEVESO. Επίσης, γίνεται αναφορά στην υφιστάμενη ελληνική νομοθεσία και τα βασικότερα θέματα που περιλαμβάνονται σε αυτή.

Στο τρίτο κεφάλαιο πραγματοποιείται αρχικά μία γενική περιγραφή των σεναρίων ατυχημάτων σε εγκαταστάσεις που διαχειρίζονται επικίνδυνες ουσίες. Στη συνέχεια παρουσιάζεται το θεωρητικό και μαθηματικό υπόβαθρο με το οποίο περιγράφονται και ποσοτικοποιούνται οι επιπτώσεις από τα τρία είδη ατυχηματικών φαινομένων που πραγματεύεται η παρούσα εργασία και με τα οποία λαμβάνουν χώρα τα BAME, που είναι:

- θερμική ακτινοβολία από πύρινη σφαίρα,
- ωστικό κύμα από έκρηξη σε περιορισμένο χώρο και
- φωτιά λίμνης ή αερίου νέφους.

Επίσης αναφέρονται οι παράμετροι οι οποίες επηρεάζουν τα φαινόμενα αυτά καθώς και ο τρόπος με τον οποίο σχετίζονται και αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Τέλος παρατίθενται πληροφορίες σχετικά με τις επιπτώσεις που επιφέρουν τα παραπάνω ατυχηματικά φαινόμενα, ενώ παράλληλα γίνεται αναφορά για τις Ζώνες Επιπτώσεων από τα ατυχηματικά φαινόμενα, όπως αυτές ορίζονται από την Πολιτεία.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση της ανάλυσης ευαισθησίας αναφορικά με τις παραμέτρους επικινδυνότητας που χαρακτηρίζουν τα διάφορα είδη ατυχηματικών φαινομένων που μελετώνται στην παρούσα εργασία (BLEVE, VCE, Pool Fire), ώστε να διερευνηθεί η σημαντικότητά των παραμέτρων αυτών στη διακύμανση της συνολικής επικινδυνότητας. Τα λογισμικά πακέτα που χρησιμοποιήθηκαν για το σκοπό αυτό είναι αυτά που περιλαμβάνονται στο πακέτο Effects 7.4 της TNO. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας για τις παραμέτρους επικινδυνότητας των φαινομένων χρησιμοποιούνται στο Κεφ. 6 για τη διερεύνηση των worst case σεναρίων ατυχημάτων που έχουν επιλεγεί από την ανάλυση του παραδείγματος εφαρμογής στο Κεφ. 5.

Στο πέμπτο κεφάλαιο πραγματοποιείται αναλυτική περιγραφή του παραδείγματος εφαρμογής (case study) πάνω στο οποίο βασίστηκε η παρούσα μελέτη για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων, σχετικά με τις νέες μονάδες των διυλιστηρίων. Η περιγραφή αυτή βασίζεται στη μελέτη ασφάλειας των νέων μονάδων του διυλιστηρίου (Παπαδάκης, 2007). Ακόμα παρουσιάζονται τα ατυχηματικά σενάρια BAME τα οποία είναι δυνατόν

να εκδηλωθούν στη συγκεκριμένη μονάδα και επιλέγονται σαν σύνολο αναφοράς της παρούσας μελέτης αυτά με τις δυσμενέστερες επιπτώσεις ως προς τους εργαζόμενους που εργάζονται στο δωμάτιο ελέγχου των νέων μονάδων.

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η υλοποίηση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης ευαισθησίας, για τις παραμέτρους επικινδυνότητας από τα διάφορα ατυχηματικά φαινόμενα, στα worst case σενάρια ατυχημάτων που έχουν επιλεγεί, με βάση την ανάλυση που έγινε στο παράδειγμα εφαρμογής για τις νέες μονάδες των διυλιστηρίων.

Τέλος στο έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα βασικά συμπεράσματα που ήταν δυνατό να εξαχθούν από την έρευνα που πραγματοποιήθηκε και προτείνονται μελλοντικές ερευνητικές κατευθύνσεις, οι οποίες πρόκειται να συμβάλλουν στη διεύρυνση του αντικειμένου της παρούσας μελέτης με στόχο τη συλλογή όσο το δυνατόν περισσότερων γνώσεων και πληροφοριών επί του θέματος της εργασίας, που σε τελική ανάλυση είναι η βελτίωση της ασφάλειας στους χώρους εργασίας στη χημική βιομηχανία.

2ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

Ανασκόπηση Νομοθεσίας

2.1 Εισαγωγή

Το νομοθετικό πλαίσιο που διέπει την προστασία του πληθυσμού από τους τεχνολογικούς κινδύνους είναι σχετικά πρόσφατο. Οι διάφορες χώρες ανάλογα με την τεχνολογική τους πρόοδο και το βαθμό που αντιμετωπίζουν το πρόβλημα του κινδύνου, αναπτύσσουν και την αντίστοιχη νομοθεσία.

Το 1988 το Διεθνές Γραφείο Εργασίας εξέδωσε τον κώδικα για την πρακτική της πρόληψης των βιομηχανικών ατυχημάτων μεγάλης έκτασης. Επίσης, τον Ιούνιο του 1993 στη Γενεύη ψηφίστηκε η 174 Διεθνής Σύμβαση Εργασίας και η 181 Διεθνής Σύσταση Εργασίας για την πρόληψη των σοβαρών βιομηχανικών ατυχημάτων. Σκοπός της Σύμβασης είναι η πρόληψη των σοβαρών ατυχημάτων στα οποία εμπλέκονται επικίνδυνες ουσίες και ο περιορισμός των συνεπειών από τέτοιου είδους ατυχήματα. Από τις εγκαταστάσεις υψηλού κινδύνου, όπου εφαρμόζεται η Σύμβαση αυτή, εξαιρούνται οι πυρηνικές εγκαταστάσεις, οι στρατιωτικές εγκαταστάσεις και οι μεταφορές εκτός εγκατάστασης με άλλο τρόπο πλην αγωγού. Στα επιμέρους άρθρα αναλύονται η ευθύνη των εργοδοτών, οι υποχρεώσεις των αρμόδιων αρχών, τα δικαιώματα και καθήκοντα των εργαζομένων και των εκπροσώπων τους, κ.α. Σύμφωνα με τη Διεθνή Σύσταση Εργασίας, οι διατάξεις της θα πρέπει να εφαρμόζονται σε συνδυασμό με εκείνες της Σύμβασης. Επίσης, η Διεθνής Οργάνωση Εργασίας σε συνεργασία με άλλες σχετικές διεθνείς διακυβερνητικές και μη κυβερνητικές οργανώσεις θα πρέπει να φροντίζει για μια διεθνή ανταλλαγή πληροφοριών σε θέματα:

1. Κατάλληλων πρακτικών ασφάλειας σε εγκαταστάσεις υψηλού κινδύνου συμπεριλαμβανομένων της διοίκησης και της διαδικασίας ασφάλειας.
2. Σοβαρών ατυχημάτων.
3. Διδαγμάτων που αντλήθηκαν από παρ' ολίγον ατύχημα.
4. Τεχνολογιών και διαδικασιών που απαγορεύονται για λόγους ασφάλειας και υγιεινής.
5. Ιατρικής οργάνωσης και τεχνικών που αποσκοπούν στην αντιμετώπιση των συνεπειών ενός σοβαρού ατυχήματος.
6. Μηχανισμών και διαδικασιών που χρησιμοποιούνται από τις αρμόδιες αρχές για να δοθεί ισχύς στην εφαρμογή της Σύμβασης και της Σύστασης.

2.2 Η νομοθεσία στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης

2.2.1 Η Οδηγία SEVESO

Οι αρχές για τη σύγχρονη ευρωπαϊκή νομοθεσία αντιμετώπισης βιομηχανικών ατυχημάτων τέθηκαν με την Οδηγία του 1967 για τις επικίνδυνες ουσίες (Directive 67/548/EEC). Το 1976 η Ευρωπαϊκή Κοινότητα χρηματοδότησε τη μελέτη των κινδύνων που σχετίζονται με επικίνδυνες βιομηχανικές δραστηριότητες. Η μελέτη αυτή αποκάλυψε ότι οι περισσότεροι υφιστάμενοι νόμοι και κανονισμοί σχετικά με τις επικίνδυνες βιομηχανικές δραστηριότητες απευθύνονταν κυρίως στη διασφάλιση της προστασίας των εργαζομένων, της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων και στον έλεγχο της ρύπανσης, αλλά μόνο κάτω από κανονικές συνθήκες λειτουργίας των εγκαταστάσεων. Έτσι, η συγκεκριμένη μελέτη επιβεβαίωσε το γεγονός ότι δεν υπήρχε νομοθετική κάλυψη για την περίπτωση μη κανονικών συνθηκών λειτουργίας μιας εγκατάστασης, ανεξάρτητα από το γενεσιουργό τους αίτιο.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση λαμβάνοντας υπόψη τη βιομηχανική και οικιστική ανάπτυξη, τα βιομηχανικά ατυχήματα μεγάλης έκτασης που συνέβησαν όπως η έκρηξη στο Flixbourgh (Ηνωμένο Βασίλειο 1974) και η διαρροή προπυλενίου στο Beek (Ολλανδία 1975), την πολυπλοκότητα των νέων βιομηχανικών εγκαταστάσεων και την ανάγκη προστασίας του περιβάλλοντος, προχώρησε στη δημιουργία της Οδηγίας *82/501/EC* γνωστή και ως *SEVESO* (24/6/1982) *για τον έλεγχο των κινδύνων ατυχημάτων μεγάλης έκτασης, που περικλείουν ορισμένες βιομηχανικές δραστηριότητες* (EC 82/501 Directive SEVESO). Ονομάστηκε έτσι με αφορμή το ατύχημα στην ομώνυμη πόλη της Β. Ιταλίας το 1976, το οποίο προκάλεσε τη διαφυγή στην ατμόσφαιρα μιας εξαιρετικά τοξικής ουσίας. Η Οδηγία αυτή τέθηκε σε ισχύ στις 8/1/1984 και καθόριζε ένα σύστημα αναγνώρισης εκείνων των βιομηχανικών δραστηριοτήτων που μπορούν να προκαλέσουν βιομηχανικό ατύχημα μεγάλης έκτασης (διασπορά τοξικής ουσίας, μεγάλη φωτιά ή έκρηξη). Οι λεπτομερείς απαιτήσεις της Οδηγίας περιελάμβαναν μέτρα για την πρόληψη και την αντιμετώπιση των μεγάλων ατυχημάτων. Επίσης, ο κατάλογος των επικίνδυνων ουσιών που περιελάμβανε η Οδηγία ήταν ονομαστικός, με αποτέλεσμα οι επικίνδυνες ουσίες για τις οποίες ίσχυε η Οδηγία να προσδιορίζονται κυρίως με βάση το όνομά τους και σε μικρότερο βαθμό με βάση την κατηγορία στην οποία ανήκε η κάθε ουσία. Οι σημαντικότερες απαιτήσεις της SEVESO ήταν οι εξής (Papadakis 2001):

- Κάθε Κράτος Μέλος πρέπει να διορίζει μία αρμόδια αρχή.
- Ο ασκών την εκμετάλλευση της εγκατάστασης υποχρεούται να μπορεί να αποδεικνύει οποιαδήποτε στιγμή στην αρμόδια αρχή ότι έχουν αναγνωριστεί όλοι οι μεγάλοι κίνδυνοι που συνδέονται με την εγκατάσταση και ότι εφαρμόζονται επαρκή μέτρα ασφάλειας για την πρόληψη των ατυχημάτων.

- Οι εγκαταστάσεις στις οποίες υπάρχουν επικίνδυνες ουσίες σε ποσότητες μεγαλύτερες από συγκεκριμένες οριακές τιμές – κατώφλια είναι υποχρεωμένες να υποβάλλουν στην αρμόδια αρχή Γραπτή Κοινοποίηση Ασφάλειας ή Μελέτη (Έκθεση) Ασφάλειας, να συντάσσουν Εσωτερικό Σχέδιο Έκτακτης Ανάγκης και να παρέχουν στην αρμόδια αρχή όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για την προετοιμασία του Εξωτερικού Σχεδίου Έκτακτης Ανάγκης.
- Σε περίπτωση μεγάλων τροποποιήσεων μιας εγκατάστασης, θα πρέπει να ενημερώνεται η αρμόδια αρχή.
- Η αρμόδια αρχή υποχρεούται να προετοιμάζει τον εξωτερικό σχεδιασμό εκτάκτου ανάγκης.
- Τα Κράτη Μέλη υποχρεούνται να διασφαλίζουν ότι ο πληθυσμός που μπορεί να επηρεαστεί από ένα ατύχημα, ενημερώνεται για τα μέτρα ασφάλειας και τις ενέργειες που πρέπει να κάνει σε περίπτωση του ατυχήματος.
- Σε περίπτωση μεγάλου ατυχήματος, ο ασκών την εκμετάλλευση υποχρεούται να ενημερώνει την αρμόδια αρχή, η οποία με τη σειρά της πρέπει να ενημερώνει την Ευρωπαϊκή Επιτροπή.
- Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή υποχρεούται να διατηρεί κατάλογο με τα ατυχήματα που έχουν συμβεί, έτσι ώστε τα Κράτη Μέλη να λαμβάνουν τη γνώση και τις εμπειρίες που αποκομίστηκαν από τα ατυχήματα αυτά για την πρόληψη μελλοντικών ατυχημάτων.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, μία από τις σημαντικότερες απαιτήσεις της Οδηγίας ήταν η υποβολή "Μελέτης Ασφάλειας" (Safety Report) στην αρμόδια αρχή. Η μελέτη αυτή έπρεπε να περιλαμβάνει λεπτομέρειες για την εγκατάσταση, τις επικίνδυνες ουσίες που διαχειρίζεται, τα πιθανά ατυχήματα που μπορεί να συμβούν και τα μέτρα που εφαρμόζει για την πρόληψη, τον έλεγχο και τον περιορισμό των επιπτώσεων από τα ατυχήματα αυτά. Έτσι, οι εγκαταστάσεις έπρεπε να εφαρμόζουν μεθόδους ανάλυσης κινδύνου και ασφάλειας και να αποδεικνύουν ότι οι εργαζόμενοι ήταν κατάλληλα εκπαιδευμένοι και ενημερωμένοι για τους κινδύνους. Επίσης, οι εγκαταστάσεις έπρεπε να αποδεικνύουν ότι εφαρμόζουν τα κατάλληλα μέτρα ασφάλειας για την πρόληψη και αντιμετώπιση των πιθανών ατυχημάτων στα οποία εμπλέκονται επικίνδυνες ουσίες.

Η SEVESO ήταν το πρώτο παράδειγμα μιας διεθνούς νομοθετικής πράξης, η οποία περιελάμβανε τις αρχές για μία ολοκληρωμένη διαχείριση της επικινδυνότητας.

2.2.2 Η Οδηγία SEVESO II

Στα χρόνια που ακολούθησαν από το 1982 έως το 1992, παρόλο που η SEVESO αποδείχτηκε επιτυχής, στην Ευρώπη συνέβησαν περισσότερα από 130 ατυχήματα μεγάλης έκτασης. Το γεγονός αυτό έδειξε την ανάγκη για τη βελτίωση της

αποτελεσματικότητας του νομοθετικού πλαισίου όσον αφορά την πρόληψη των μεγάλων ατυχημάτων.

Επίσης, τα Κράτη Μέλη προχωρούσαν με αρκετά διαφορετικούς ρυθμούς στον εναρμονισμό των εθνικών νομοθετικών πλαισίων με τις διατάξεις της SEVESO, ενώ διαφορετικές σχολές σκέψεις και προβληματισμοί άρχισαν να εκδηλώνονται σχετικά με το εύρος, την εφαρμογή και τα αποτελέσματα της Οδηγίας αυτής.

Στις αρχές της δεκαετίας του ’90 άρχισαν οι συζητήσεις για την επανεξέτασή της Οδηγίας, θέτοντας συγκεκριμένα θέματα όπως τη διεύρυνση του πεδίου εφαρμογής της, τον περιορισμό του ονομαστικού καταλόγου των επικίνδυνων ουσιών δίνοντας περισσότερο βάρος στον προσδιορισμό σχετικών κριτηρίων, την ουσιαστικότερη αντιμετώπιση του σχεδιασμού χρήσεων γης, την αύξηση των καθηκόντων των αρμόδιων αρχών όσον αφορά τις επιθεωρήσεις των επικίνδυνων εγκαταστάσεων, την ανάγκη περαιτέρω μελέτης του φαινομένου Domino, την ενσωμάτωση των εμπειριών που έχουν αποκτηθεί σε άλλη χώρα, κ.α.

Έτσι στις 26/1/1994, η Επιτροπή προχώρησε στην έκδοση μιας πρότασης για την αντικατάσταση της SEVESO από μία νέα Οδηγία η οποία περιελάμβανε όλες τις βασικές αρχές της προηγούμενης Οδηγίας, ενώ παράλληλα ενσωμάτωνε επιπρόσθετα μέτρα καλής πρακτικής της διαχείρισης επικινδυνότητας, καθώς και διατάξεις για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας εφαρμογής της.

Η πρόταση αυτή μετά από τροποποιήσεις είχε ως αποτέλεσμα το Δεκέμβριο του 1996 να εκδοθεί και από τον Φεβρουάριο του 1997 να τεθεί σε ισχύ η νέα Οδηγία *96/82/EC* που είναι γνωστή ως *SEVESO II για την πρόληψη των κινδύνων ατυχημάτων μεγάλης έκτασης στα οποία εμπλέκονται επικίνδυνες ουσίες και τον περιορισμό των συνεπειών τους στον άνθρωπο και το περιβάλλον* (EC 96/82 Directive SEVESO II)**.** Οι αλλαγές που έγιναν στη νέα Οδηγία σε σχέση με την προηγούμενη ήταν σημαντικές, ενώ τα Κράτη Μέλη έπρεπε να εναρμονιστούν με τις νέες διατάξεις της SEVESO II μέχρι το Φεβρουάριο του 1999.

Τα κύρια χαρακτηριστικά της SEVESO II που την διαφοροποιούν από την προηγούμενη Οδηγία είναι τα εξής (Papadakis (Eds), 2001), (Papadakis και Van Steen, 2004), (Safiolea, 1998):

- *Πολιτική Πρόληψης Ατυχημάτων Μεγάλης Έκτασης (Major Accident Prevention Policy - MAPP):* Οι εγκαταστάσεις στις οποίες υπάρχουν επικίνδυνες ουσίες σε ποσότητες ίσες ή μεγαλύτερες από συγκεκριμένες οριακές τιμές-κατώφλια είναι υποχρεωμένες να συντάσσουν μία Πολιτική Πρόληψης Ατυχημάτων Μεγάλης Έκτασης. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα της πολιτικής αυτής είναι η εξοικείωση του οργανισμού με την πιθανότητα ενός μεγάλου ατυχήματος και η παρακίνηση του για την ανάπτυξη στρατηγικών και στόχων για την πρόληψη ανεπιθύμητων γεγονότων που μπορεί να οδηγήσουν σε μεγάλο ατύχημα.

- *Πολλαπλασιαστικά Αποτελέσματα (Domino Effect):* Οι αρμόδιες αρχές, βασιζόμενες στις πληροφορίες που παρέχει ο ασκών την εκμετάλλευση της εγκατάστασης πρέπει να καθορίζουν τις εγκαταστάσεις ή ομάδες εγκαταστάσεων, όπου η πιθανότητα ενός μεγάλου ατυχήματος μπορεί να αυξάνεται λόγω της θέσης και της εγγύτητας αυτών των εγκαταστάσεων.
- *Σύστημα Διαχείρισης Ασφάλειας (Safety Management System - SMS):* Η μελέτη ασφάλειας πρέπει να καταδεικνύει ότι εφαρμόζεται ένα κατάλληλο Σύστημα Διαχείρισης Ασφάλειας (ΣΔΑ) για την υλοποίηση της Πολιτικής Πρόληψης Ατυχημάτων Μεγάλης Έκτασης. Το ΣΔΑ αποτελεί ένα εργαλείο για την επίτευξη της ασφαλούς λειτουργίας της εγκατάστασης και την εφαρμογή της πολιτικής ασφάλειας, λαμβάνοντας υπόψη δραστηριότητες όπως η οργάνωση του οργανισμού, η αναγνώριση κινδύνων και η εκτίμηση επικινδυνότητας, ο έλεγχος λειτουργιών, η εκπαίδευση προσωπικού, η διαχείριση μετατροπών, ο σχεδιασμός εκτάκτου ανάγκης, ο έλεγχος και η παρακολούθηση επιδόσεων.
- *Σχεδιασμός Χρήσεων Γης (Land Use Planning):* Τα Κράτη Μέλη πρέπει να αναπτύσσουν πολιτικές για το σχεδιασμό χρήσεων γης λαμβάνοντας υπόψη τους στόχους της πρόληψης μεγάλων ατυχημάτων και του περιορισμού των συνεπειών τους. Παράλληλα πρέπει να διασφαλίζουν την ανταλλαγή όλων των απαραίτητων πληροφοριών ανάμεσα στις σχετικές αρχές για την ομαλή ανάπτυξη των πολιτικών αυτών.
- *Διατάξεις Πληροφόρησης (Information Provisions):* Το κοινό μπορεί να έχει πρόσβαση στη μελέτη ασφάλειας. Επίσης, το κοινό μπορεί να συμμετέχει ενεργά στη θέσπιση των διαδικασιών που σχετίζονται με το σχεδιασμό χρήσεων γης και τον έλεγχο των μεγάλων ατυχημάτων.
- *Κατηγορίες Επικίνδυνων Ουσιών (Categories of Substances):* Ο ονομαστικός κατάλογος των επικίνδυνων ουσιών έχει απλοποιηθεί και περιοριστεί σε σχέση με την προηγούμενη Οδηγία. Επίσης, η νέα Οδηγία περιλαμβάνει επικίνδυνες ουσίες με τη μορφή γενικών κατηγοριών (π.χ. τοξικές, πολύ εύφλεκτες, επικίνδυνες για το περιβάλλον), σε αντίθεση με την προηγούμενη Οδηγία η οποία αναφερόταν μόνο σε ονομαστικούς καταλόγους επικίνδυνων ουσιών ή βιομηχανικές δραστηριότητες. Έτσι, όλες οι εγκαταστάσεις που αποθηκεύουν επικίνδυνες ουσίες περιλαμβάνονται στη SEVESO II, σε αντίθεση με τη SEVESO η οποία αναφερόταν σε ορισμένες βιομηχανικές δραστηριότητες.

Η νέα Οδηγία εστιάζει περισσότερο στα κοινωνικο-οργανωτικά θέματα της πολιτικής ελέγχου. Η απαίτηση της Οδηγίας για την εφαρμογή μιας Πολιτικής Πρόληψης Ατυχημάτων Μεγάλης Έκτασης μέσω ενός αποτελεσματικού Συστήματος Διαχείρισης Ασφάλειας (ΣΔΑ), δημιούργησε μια νέα περίοδο για την ανάπτυξη και εκτίμηση των διαχειριστικών, οργανωτικών και τεχνικών θεμάτων ασφάλειας. Στο παρελθόν, είχε

δοθεί έμφαση μόνο στη βελτίωση των τεχνικών συστημάτων. Η ανάλυση των μεγάλων ατυχημάτων που είχαν κοινοποιηθεί στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή, είχε δείξει ότι τα γενεσιουργά αίτια της πλειονότητας των ατυχημάτων αυτών ανάγονται κυρίως σε θέματα διαχείρισης ασφάλειας (Papadakis and Amendola 1997).

Η SEVESO II εισάγει την έννοια της βιομηχανικής εγκατάστασης (industrial establishment), η οποία χαρακτηρίζεται από την παρουσία επικίνδυνων ουσιών. Η Οδηγία χωρίζει τις εγκαταστάσεις σε δύο κατηγορίες, για κάθε μία από τις οποίες θέτει διαφορετικές απαιτήσεις: τις *εγκαταστάσεις κοινοποίησης* (lower tier establishments) και τις *εγκαταστάσεις μελέτης ασφάλειας* (upper tier establishments). Οι εγκαταστάσεις κοινοποίησης πρέπει να συντάσσουν μία Πολιτική Πρόληψης Ατυχημάτων Μεγάλης Έκτασης, η οποία θα αποβλέπει σε υψηλό επίπεδο προστασίας του ανθρώπου και του περιβάλλοντος με τα κατάλληλα μέσα, συμπεριλαμβανομένων των κατάλληλων διαχειριστικών συστημάτων (άρθρα 7, 8 και Παράρτημα III). Οι εγκαταστάσεις μελέτης ασφάλειας πρέπει να καταδεικνύουν στη μελέτη ασφάλειας ότι εφαρμόζεται μία Πολιτική Πρόληψης Ατυχημάτων Μεγάλης Έκτασης και ένα Σύστημα Διαχείρισης Ασφάλειας (ΣΔΑ) προς υλοποίησής της (άρθρο 9 και Παράρτημα III).

Ουσιαστικά, οι απαιτήσεις της Οδηγίας για τις πολιτικές και τα διαχειριστικά συστήματα των εγκαταστάσεων κοινοποίησης είναι πανομοιότυπες με αυτές για τις εγκαταστάσεις μελέτης ασφάλειας, με εξαίρεση τα παρακάτω στοιχεία:

- Η Οδηγία αναφέρει ότι οι απαιτήσεις πρέπει να είναι ανάλογες με τους κινδύνους μεγάλων ατυχημάτων που εμφανίζει η εγκατάσταση.
- Δεν είναι απαραίτητη η προετοιμασία λεπτομερής αναφοράς στην οποία να καταδεικνύεται ο τρόπος με τον οποίο λειτουργεί το ΣΔΑ.
- Το έγγραφο που περιγράφει την Πολιτική Πρόληψης Ατυχημάτων Μεγάλης Έκτασης πρέπει να είναι διαθέσιμο στο κοινό, χωρίς να είναι απαραίτητη η υποβολή του στις αρμόδιες αρχές.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η SEVESO II ορίζει τις απαραίτητες διατάξεις για τον έλεγχο των κινδύνων μεγάλων ατυχημάτων σε Κοινοτικό επίπεδο, ωστόσο η επιλογή των μέσων για την εφαρμογή των διατάξεων γίνεται από τις σχετικές αρχές των Κρατών Μελών. Έτσι η εφαρμογή και διαχείριση των απαιτήσεων της Οδηγίας γίνεται σε εθνικό ή τοπικό επίπεδο. Για παράδειγμα, το ΣΔΑ, η μελέτη ασφάλειας και τα σχέδια έκτακτης ανάγκης σχεδιάζονται από τους οργανισμούς και αξιολογούνται από τις αρμόδιες κρατικές αρχές, ενώ η ενημέρωση του κοινού είναι αρμοδιότητα των τοπικών αρχών.

Το συνεχές ενδιαφέρον της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για τον έλεγχο των μεγάλων ατυχημάτων εκφράζεται μέσω των προγραμματισμένων συνεδριάσεων, κάθε δύο χρόνια, της Επιτροπής Αρμόδιων Αρχών (Committee of Competent Authorities) για την ανασκόπηση των εμπειριών των Κρατών Μελών. Επίσης, η Επιτροπή έχει δημιουργήσει

τεχνικές ομάδες εργασίας (Technical Working Group - TWG) για την ανάπτυξη κατευθυντήριων γραμμών στα κύρια θέματα της Οδηγίας, όπως είναι το σύστημα επιθεώρησης, οι μελέτες ασφάλειας, τα διαχειριστικά συστήματα, ο σχεδιασμός χρήσεων γης, οι επικίνδυνες ουσίες για το περιβάλλον, κ.α. Στις ομάδες αυτές συμμετέχουν εκπρόσωποι από τις διάφορες αρμόδιες αρχές και τη βιομηχανία (Μαχαιρά, 2006).

2.3 Εναρμόνιση της Ελληνικής νομοθεσίας με την Οδηγία SEVESO II

Η Ελλάδα εναρμόνισε το εθνικό της δίκαιο με την Οδηγία SEVESO II με την απόφαση ΚΥΑ 5697/590 (ΦΕΚ 405/Β/29.03.2000) που *αφορά στον καθορισμό μέτρων και όρων για την αντιμετώπιση των κινδύνων από ατυχήματα μεγάλης έκτασης σε εγκαταστάσεις ή μονάδες λόγω της ύπαρξης επικίνδυνων ουσιών*. Η εφαρμογή της νομοθεσίας αφορά τόσο σε νέες όσο και σε υφιστάμενες βιομηχανικές δραστηριότητες, που είναι δυνατό να περικλείουν κινδύνους βιομηχανικών ατυχημάτων μεγάλης έκτασης με σημαντικές επιπτώσεις στον άνθρωπο και το περιβάλλον.

Στην παρούσα έρευνα υιοθετούνται οι βασικοί ορισμοί καθώς και όλοι οι ορισμοί, προϋποθέσεις, προδιαγραφές, περιεχόμενα και προβλέψεις που αναφέρονται στην ΚΥΑ 5697/590/00, σχετικά με τους κίνδυνους, την επικινδυνότητα και την Πολιτική Πρόληψης Ατυχημάτων Μεγάλης Έκτασης.

Σύμφωνα με την ΚΥΑ:

"Κίνδυνος είναι η εγγενής ιδιότητα μιας επικίνδυνης ουσίας ή φυσικής κατάστασης που ενδέχεται να βλάψει την ανθρώπινη υγεία ή/ και το περιβάλλον".

"Επικινδυνότητα είναι η πιθανότητα μιας συγκεκριμένης επίπτωσης εντός δεδομένης χρονικής περιόδου ή υπό συγκεκριμένες συνθήκες".

"Επικίνδυνες ουσίες είναι οι ουσίες, μίγματα ή παρασκευάσματα τα οποία πληρούν τα καθοριζόμενα κριτήρια της Οδηγίας, υπό μορφή πρώτης ύλης προϊόντων, παραπροϊόντων, συμπεριλαμβανομένων και εκείνων που ευλόγως αναμένεται να προκύψουν σε περίπτωση ατυχήματος".

"Μεγάλο ατύχημα είναι ένα συμβάν, όπως μεγάλη διαρροή, πυρκαγιά ή έκρηξη που προκύπτει από ανεξέλεγκτες εξελίξεις κατά τη λειτουργία οποιασδήποτε εγκατάστασης, το οποίο προκαλεί μεγάλους κινδύνους, άμεσους ή απώτερους, για την ανθρώπινη υγεία, εντός ή εκτός της εγκατάστασης, ή/ και για το περιβάλλον, και σχετίζεται με μία ή περισσότερες επικίνδυνες ουσίες".

Για την εφαρμογή της Οδηγίας είναι συναρμόδιοι οι Υπουργείο Ανάπτυξης, ΥΠΕΧΩΔΕ, Υπουργείο Απασχόλησης και Κοινωνικής Προστασίας, Υπουργείο Υγείας και Κοινωνικής Αλληλεγγύης και Υπουργείο Εσωτερικών Δημόσιας Διοίκησης και Αποκέντρωσης.

Όπως έχει αναφερθεί, η αποτελεσματικότητα της εφαρμογής της Οδηγίας εξετάζεται για την Ελλάδα μέχρι το 2003 (Van Steen και Papadakis, 2004).

Το Πολυτεχνείο Κρήτης από το 2000 συμβάλει στην εκπαίδευση στα πλαίσια της Οδηγίας Seveso II και στη Διαχείριση της Βιομηχανικής Επικινδυνότητας σε προπτυχιακό και μεταπτυχιακό επίπεδο (http://www.microrisk2001.gr/), (Παπαδάκης, 2003).

.

3ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

Θεωρητικό Υπόβαθρο

3.1 Γενική περιγραφή σεναρίων ατυχημάτων σε μονάδες με εύφλεκτες ουσίες

Η κύρια πηγή κινδύνων για εκδήλωση τεχνολογικών ατυχημάτων μεγάλης έκτασης σε εγκαταστάσεις εύφλεκτων υγρών και εξαιρετικά εύφλεκτων υγροποιημένων αερίων ή υπό πίεση αερίων που συμμετέχουν σε διεργασίες είναι τα μεγάλα δοχεία και δεξαμενές και τα κυκλώματα (υψηλής πίεσης) το περιεχόμενο των οποίων δεν μπορεί να παροχετευτεί σε δευτερεύοντα συστήματα ή συστήματα ανακούφισης σε χρονικό διάστημα μικρότερο από τη διάρκεια της πιθανής διαρροής (ειδικά σε καταστροφικές θραύσεις εξοπλισμού και ακαριαίες διαρροές που διαρκούν μερικά δευτερόλεπτα).

Μειωμένης σοβαρότητας γεγονότα κορυφής μπορεί να προκληθούν σε σωληνογραμμές (μικρές διαρροές ή σοβαρές διαρρήξεις) ή σε μικρότερα δοχεία με χαμηλή πίεση (από διάβρωση, εξωτερική θέρμανση, κλπ.), ή σε συνδέσεις π.χ. φλάντζες, συνδέσεις κατάθλιψης αντλιών, κλπ. Γενικά οι διαρροές στις σωληνογραμμές μπορούν να προκληθούν από διάφορες αιτίες, όπως καταπονήσεις από θερμοκρασίες και πιέσεις, διαβρώσεις, προσκρούσεις, κλπ. Ανάλογες αιτίες είναι υπεύθυνες για ρήξεις δοχείων και δεξαμενών προσωρινής αποθήκευσης.

Ένας παράγοντας κινδύνου απώλειας της αντοχής κελύφους δοχείων είναι ο εγκλωβισμός τους σε πύρινη φλόγα από BLEVE, σε μικρή απόσταση ή εντός φωτιάς λίμνης (POOL FIRES) και σε γλώσσες φωτιάς (JET FIRES) που πιθανόν να προκύψουν από εκδήλωση και άμεση ανάφλεξη σε γειτονικό εξοπλισμό (DOMINO). Η αναπτυσσόμενη στο μέταλλο του περιβλήματος θερμότητα εξασθενεί τη μηχανική αντοχή του. Οι βαλβίδες ασφαλείας, αν και έχουν σχεδιαστεί κατάλληλα μπορεί να μην αποτρέψουν πιθανή ακαριαία θραύση και διαρροή και πιθανό φαινόμενο BLEVE εάν υπάρχει εγκλωβισμένο εύφλεκτο αέριο το οποίο διαρρέει ακαριαία.

Τα αρχικά γεγονότα (initiating events) που εξετάζονται στην παρούσα εργασία είναι η διαρροή λόγω μερικής ρήξης, σε δοχείο ή σε συνδετήριο αγωγό και η ολική ρήξη του δοχείου ή της δεξαμενής (Διυλιστήριο, 2007).

Τα σενάρια ατυχημάτων οδηγούν σε 6 διαφορετικές τελικές καταστάσεις που είναι:

- Ολική Ρήξη (hot/cold total rupture) που οδηγεί σε έκρηξη BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion) - σχηματισμός πύρινης σφαίρας (fireball) εφόσον υπάρχουν ποσότητες από υγροποιημένα εύφλεκτα αέρια

- Γλώσσα φωτιάς ή πυρσός (jet fire/flare) από μερική ρήξη και άμεση ανάφλεξη
- Στιγμιαία ανάφλεξη (flash fire) από δημιουργία εκρηκτικού νέφους το οποίο αναφλέγεται μετά τη διασπορά του
- Έκρηξη νέφους (vapor cloud explosion) από δημιουργία εκρηκτικού νέφους το οποίο αναφλέγεται μετά τη διασπορά του
- Διασπορά (dispersion) αερίου (εύφλεκτου ή τοξικού) μετά από διαρροή αερίου που προέρχεται από τη διαρροή ή και από εξάτμιση πτητικού υγρού που έχει διαρρεύσει
- Σχηματισμός λίμνης καυσίμου και ανάφλεξή της (pool fire).

Οι αναλύσεις γίνονται συνήθως με βάση τις πιθανές επιπτώσεις και την εκτίμηση της σοβαρότητάς τους.

Οι επιπτώσεις όλων των παραπάνω καταστάσεων διακρίνονται σε δύο είδη :

- Θερμική ακτινοβολία, η οποία υπολογίζεται ως θερμική ροή σε σχέση με την απόσταση από τη πηγή ακτινοβολίας
- Ωστικό κύμα, το οποίο υπολογίζεται ως υπερπίεση που παράγεται σε σχέση με την απόσταση από την έκρηξη

Τέλος υπολογίζονται και πιθανές επιπτώσεις από διασπορά εύφλεκτου νέφους.

Για την αντιμετώπιση του ατυχήματος ενδιαφέρει η σημαντικότητα των επιπτώσεων αφού αυτή θα καθορίσει τις απαιτούμενες δράσεις, τη δυνατότητα πραγματοποίησής τους και το διαθέσιμο χρόνο. Η ολική ρήξη δοχείου υποθέτει την ξαφνική εμφάνιση ενός ρήγματος τέτοιου μεγέθους ώστε όλο το περιεχόμενο του διαφεύγει σχεδόν ακαριαία. Τα υγροποιημένα αέρια σε ατμοσφαιρική πίεση, θα μετατραπούν αδιαβατικά σε διφασικό μίγμα υγρού/αερίου και το αέριο θα σχηματίσει μίγμα με τον ατμοσφαιρικό αέρα.

Στην περίπτωση ολικής ρήξης αγωγού, εμφανίζεται ξαφνικά ρήγμα τέτοιου μεγέθους ώστε μπορεί να θεωρηθεί ότι το ρήγμα είναι ίσο με τη διατομή του αγωγού. Στο ρήγμα, τα υγροποιημένα αέρια εξατμίζονται εν μέρει και από τον αγωγό ρέει προς το περιβάλλον διφασικό μίγμα. Κατά την διάρκεια αυτού του αδιαβατικού βρασμού η θερμοκρασία του υγρού στον αγωγό μειώνεται λόγω της θερμότητας εξάτμισης και λόγω της κινητικής ενέργειας που καταναλώνεται κατά την εκροή του μίγματος από τον αγωγό. Το κλάσμα του υγρού που δεν εξατμίζεται δημιουργεί λίμνη στο έδαφος γύρω από το σημείο αστοχίας. Οι λίμνες αυτές συνήθως διατηρούνται σε υγρή φάση για πολύ μικρά χρονικά διαστήματα και δεν αποτελούν κίνδυνο κλιμάκωσης των επιπτώσεων.

Στην περίπτωση μερικής ρήξης στο δοχείο διακρίνονται τρεις περιπτώσεις ανάλογα με το σημείο που εμφανίζεται η αστοχία. Και στις τρεις, ο ρυθμός εκροής εξαρτάται από το μέγεθος του ρήγματος, την διαφορά πίεσης μεταξύ της δεξαμενής και του περιβάλλοντος και την τριβή στο σημείο της διαρροής.

Αν το ρήγμα είναι μεγάλο (καταστροφική θραύση) το μίγμα υγρού – αερίου που διαφεύγει θα έχει τη σύστασή των φάσεων ανάλογα τις συνθήκες και το περιεχόμενο του κυκλώματος στο οποίο λαμβάνει χώρα η θραύση. Ο ρυθμός διαρροής σε αυτή την περίπτωση, είναι μεγάλος (δυσμενέστερη περίπτωση διαρροής), (Διυλιστήριο, 2007).

Σε περίπτωση μερικής ρήξης σε αγωγό ή δοχείο ιδιαίτερη σημασία έχει το σημείο που αυτή εμφανίζεται. Τη διαρροή είναι δυνατό να ακολουθήσει:

- Άμεση ανάφλεξη
- Καθυστερημένη ανάφλεξη, ή
- Διασπορά αερίου νέφους.

Στην περίπτωση που δεν υπάρξει άμεση ανάφλεξη αυτό δημιουργεί μίγμα με τον αέρα και διασπείρεται στην περιοχή γύρω από την διαρροή. Οι σημαντικοί παράμετροι που επιδρούν στον τύπο της διασποράς του αερίου (εύφλεκτου ή τοξικού) νέφους είναι η τοπογραφία της περιοχής και τα μετεωρολογικά στοιχεία. Τα εμπόδια που πιθανόν υπάρχουν στην διαδρομή που ακολουθεί το αέριο όταν εξαπλώνεται στο χώρο επιδρούν σημαντικά στην διασπορά του περιορίζοντάς την. Ιδιαίτερα, στην περίπτωση υπολογισμού των συνεπειών μιας έκρηξης, τα εμπόδια γύρω από την πηγή της διαρροής καθορίζουν το "βαθμό εγκλωβισμού" του εκρηκτικού νέφους. Οι εκρήξεις σε περιβάλλον μονάδας έχουν θεωρηθεί με χαμηλό βαθμό εγκλωβισμού 3% (CPR-14E Yellow Book, 1997). Τα μετεωρολογικά στοιχεία που προσδιορίζουν τη διασπορά είναι η ταχύτητα του ανέμου, η διεύθυνσή του, η κατάσταση ευστάθειας της ατμόσφαιρας (A to G) και το ύψος ανάμιξης. Η ταχύτητα του ανέμου προσδιορίζει την ταχύτητα με την οποία κινείται το αέριο και η κατάσταση ευστάθειας προσδιορίζει τους μηχανισμούς ανάμιξης του νέφους με τον ατμοσφαιρικό αέρα. Λαμβάνονται υπόψη δύο τυπικές καταστάσεις [D (neutral) 5m/s και F (stable) 2m/s].

Την διαρροή ακολουθεί, συνήθως ανάφλεξη, είτε άμεσα είτε με χρονική καθυστέρηση. Συγκεκριμένα, το LPG μπορεί να αναφλεγεί όταν δημιουργήσει μίγμα ορισμένου εύρους συγκεντρώσεων με τον αέρα (~ 2 – 8%). Σε παρόμοιο εύρος τιμών μπορεί να αναφλεγούν και τα ελαφριά κλάσματα (~ 1 – 7%). Ενώ το H_2S και το H_2 θα δημιουργήσουν εκρηκτικό μίγμα σε μεγάλο εύρος συγκεντρώσεων με τον αέρα. Οι συγκεντρώσεις αυτές χαρακτηρίζονται ως κατώτερο και ανώτερο όριο ανάφλεξης (LFL, UFL) και είναι χαρακτηριστικές ιδιότητες κάθε εύφλεκτης ουσίας (Διυλιστήριο, 2007).

	LFL (% κ.ο)	UFL (% κ.ο)
C1	5	15
C3	2.1	9.5

C4	1.6	8.4
Ελαφριά		
Κλάσματα	1.1	7.0
H_2 S	4.3	45.5

Πιθανά σενάρια ατυχήματος που μπορούν να οδηγήσουν σε ανάφλεξη.

Η θερμική ροή που προσπίπτει σε ένα σημείο του χώρου εξαρτάται από την ακτινοβολία που παράγεται κατά την καύση, την απόσταση από την πηγή, την απορρόφηση της ακτινοβολίας από την υγρασία της ατμόσφαιρας και την γωνία του αποδέκτη (παρατηρητή) που δέχεται την ακτινοβολία ως προς την πηγή.

Στην περίπτωση εκρήξεων (LPG, αερίων υδρογονανθράκων) δημιουργείται ωστικό κύμα το οποίο, στη συνέχεια, μεταφέρεται με υψηλές ταχύτητες στο χώρο και είναι δυνατό να προκαλέσει τραυματισμούς ή/ και ζημιές σε κατασκευές (π.χ. κτίρια, εξοπλισμό, δεξαμενές).

Γνώση των μετεωρολογικών συνθηκών σημαίνει γνώση της διεύθυνσης και της ταχύτητας του ανέμου και της κατάστασης ευστάθειας της ατμόσφαιρας. Ως πρότυπες καταστάσεις συνήθως λαμβάνονται οι D5 (κατάσταση ευστάθειας D, ταχύτητα ανέμου 5 m/s) ως πιο πιθανή και F2 (κατάσταση ευστάθειας F, ταχύτητα ανέμου 2 m/s) ως δυσμενέστερη διότι αναμένεται μικρότερη αραίωση του νέφους (εκρηκτικό, τοξικό) και συνεπώς διασπορά του σε μεγαλύτερες αποστάσεις. Σημειώνεται ότι η σχετική υγρασία είναι κρίσιμη παράμετρος για τον υπολογισμό της θερμικής ακτινοβολίας διότι η υγρασία απορροφά την ακτινοβολία και μειώνει σημαντικά τη βαρύτητα των επιπτώσεων. Η μέση σχετική υγρασία που θεωρείται αποδεκτή για την περιοχή των νέων μονάδων είναι 65%.

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζεται η ποιοτική ανάλυση των ατυχημάτων που αναγνωρίστηκαν παραπάνω.

3.1.1 BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion)

Διαφυγή LPG ή άλλων πολύ εύφλεκτων αερίων και δημιουργία έκρηξης BLEVE

Το σοβαρότερο ατύχημα που μπορεί να συμβεί στις παραπάνω συνθήκες με τη συμμετοχή πολύ εύφλεκτων αερίων (υπό πίεση ή υγροποιημένων) είναι η ακαριαία διαφυγή μεγάλης ποσότητας και έκρηξη αυτής. Τα υγροποιημένα αέρια αναμένεται να διαφύγουν υπό μορφή εκτονούμενου νέφους αναβράζοντος υγρού (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion). Αποτελεί συνήθως την κατάληξη μιας μεγάλης φωτιάς στον χώρο του δοχείου ή του κυκλώματος όταν οι φλόγες φτάνουν και προσβάλουν σημεία του κελύφους των δοχείων/ δεξαμενών, ενώ παράλληλα υπάρχουν προβλήματα ψύξης (ανεπαρκής ή ελλιπής). Το περιστατικό BLEVE εξελίσσεται σε δύο στάδια. Στο

πρώτο στάδιο, μετά από την εκδήλωση τοπικής φωτιάς, σε σύντομο χρονικό διάστημα θα δημιουργηθούν οι συνθήκες (υπερπίεση στη δεξαμενή) για ολική ρήξη της δεξαμενής/ δοχείου. Ο χρόνος για την εκδήλωση του ατυχήματος εξαρτάται από τον ρυθμό θέρμανσης της δεξαμενής (αύξηση θερμοκρασίας → αύξηση πίεσης πάνω από την πίεση σχεδιασμού και εξασθένηση του ξηρού κελύφους του δοχείου). Στο μεσοδιάστημα, λόγω π.χ. ανεπαρκούς ψύξης, αυξάνεται ραγδαία η πίεση στην δεξαμενή/ δοχείο λόγω εξαέρωσης και η θερμοκρασία στο κέλυφος της δεξαμενής. Όταν η θερμοκρασία είναι πολύ υψηλή η αντοχή του μετάλλου μειώνεται και ακολουθεί το δεύτερο στάδιο, δηλαδή, η πλήρης ρήξη της δεξαμενής/ δοχείου και η ακαριαία διαφυγή και εκτόνωση του περιεχομένου της.

Ακολουθεί ανάφλεξη και έκρηξη της εκτονωθείσας μάζας σε μεγάλο ύψος ανάλογα με το μέγεθος του δοχείου και το βαθμό πληρότητάς του. Οι επιπτώσεις του ατυχήματος είναι : ωστικό κύμα λόγω της έκρηξης, αλλά κυρίως θερμική ακτινοβολία λόγω της πύρινης σφαίρας και εκτίναξη τμημάτων της δεξαμενής στην γύρω περιοχή. Η διάμετρος της πύρινης σφαίρας που σχηματίζεται είναι συνάρτηση της διαρρεύσασας μάζας του που συμμετέχει στο ατύχημα. Η διάρκεια της σχηματιζόμενης πύρινης σφαίρας είναι της τάξεως των μερικών δευτερολέπτων και είναι επίσης συνάρτηση της μάζας του αερίου. Η πιθανότητα εμφάνισης BLEVE είναι σπάνια ($\sim 10^{-6}$ ανά έτη λειτουργίας), ωστόσο, έχει συμβεί στο παρελθόν σε σχετικές εγκαταστάσεις.

Πύρινη σφαίρα (fireball) LPG

Αναφέρεται ουσιαστικά στο δεύτερο στάδιο του BLEVE, δηλαδή την ανάφλεξη νέφους υγραερίου (σχηματισμός πύρινης σφαίρας) και την μετακίνηση της πύρινης σφαίρας στο χώρο λόγω ανωστικών δυνάμεων. Η επίπτωση που ενδιαφέρει είναι η παραγόμενη θερμική ακτινοβολία. Οι επιπτώσεις σε εξοπλισμό ορίζονται από την ακτίνα της πύρινης σφαίρας λόγω μικρής διάρκειας του φαινομένου.

Στα σχήματα 3.1.1.1 εώς 3.1.1.3 παρακάτω παρουσιάζονται φωτογραφίες από την πειραματική εξέλιξη ενός φαινομένου BLEVE. Στη συγκεκριμένη περίπτωση αρχικά (βλ. Σχήμα 3.1.1.1) δημιουργείται ένα μικρό Jet Fire πολύ μικρής διάρκειας (1-2 sec) και στη συνέχεια λαμβάνει χώρα το BLEVE (βλ. σχήματα 3.1.1.2 και 3.1.1.3) (http://me.queensu.ca/, 2008).

Σχήμα 3.1.1.1: BLEVE: Αρχική διάρρηξη της δεξαμενής κατά 5-10cm και δημιουργία κατακόρυφου Jet Fire (http://me.queensu.ca/, 2008)

Σχήμα 3.1.1.2: BLEVE: Το ρήγμα επεκτείνεται ραγδαία προκαλώντας ολική απώλεια περιεχομένου στη δεξαμενή και δημιουργία BLEVE (http://me.queensu.ca/, 2008)

Σχήμα 3.1.1.3: BLEVE: Επέκταση του Fireball (http://me.queensu.ca/, 2008)

3.1.2 Γλώσσα Φωτιάς/ Πυρσός (Jet Fire/ Flare)

Γλώσσα φωτιάς/ πυρσός (jet fire/flare) από jet LPG ή Gasoline

Διαρροή αερίου υπό πίεση, ή αερίου αναμεμειγμένου με σταγονίδια υγρού, σε ελεύθερο χώρο μέσω ενός ακροφυσίου, σε περίπτωση ανάφλεξης θα προκαλέσει γλώσσα φωτιάς (jet fire). Η γλώσσα φωτιάς θεωρείται ότι καίει από το σημείο διαρροής μέχρι το σημείο του χώρου που η συγκέντρωση του υγραερίου φτάνει στο κατώτερο όριο ανάφλεξης. Η κατεύθυνση της φλόγας μπορεί να σχηματίζει οποιαδήποτε γωνία με το οριζόντιο επίπεδο. Σοβαρότερες επιπτώσεις προκαλούνται όταν η φλόγα είναι οριζόντια. Η επίπτωση που ενδιαφέρει είναι η θερμική ακτινοβολία και κατά συνέπεια η λαμβανόμενη δόση ακτινοβολίας. Η γλώσσα φωτιάς μπορεί να αποτελέσει αιτία κλιμάκωσης επιπτώσεων. Συνήθως το σενάριο αυτό εμφανίζεται μετά από μερική ρήξη στην αέρια φάση (διαρροή αερίου ή διφασικού μίγματος) ή μερική ρήξη στην υγρή φάση (διαρροή υγρού ή διφασικού μίγματος) ανάλογα με την αρχική πίεση του κυκλώματος και το σημείο ρήξης στη συσκευή (κορυφή, πυθμένας, ρεύμα τροφοδοσίας, ρεύμα ανακυκλοφορίας, κλπ).

Στο σχήμα 3.1.2.1 παρακάτω παρουσιάζεται φωτογραφία από την πειραματική εξέλιξη ενός φαινομένου Jet Fire (http://me.queensu.ca/, 2008).

Σχήμα 3.1.2.1: Πειραματική εξέλιξη φαινομένου Jet Fire (http://me.queensu.ca/, 2008)

3.1.3 Στιγμιαία Ανάφλεξη (Flash Fire) - Κατάκαυση

LPG / Gasoline vapour

Διαρροή αερίων μπορεί να μην αναφλεγεί αμέσως και πλησίον του σημείου διαρροής και να οδηγήσει στην στιγμιαία ανάφλεξη του νέφους που σχηματίζεται, όταν αυτό συναντήσει μια πηγή ανάφλεξης, και επιστροφή της φλόγας στο σημείο της διαρροής. Η φλόγα θα καλύψει την περιοχή στην οποία η συγκέντρωση είναι μεγαλύτερη από το κατώτατο όριο αναφλεξιμότητας (LEL). Οι συνέπειες προκαλούνται από την θερμική ακτινοβολία που παράγεται. Δεν αναμένονται επιπτώσεις έξω από τα όρια του νέφους. Η σοβαρότητα των επιπτώσεων εξαρτάται από την ποσότητα της ουσίας που έχει διαρρεύσει και την έκταση της περιοχής που καλύπτει.

Συνήθεις πηγές ανάφλεξης αποτελούν άλλα σημεία των εγκαταστάσεων (θερμές επιφάνειες φούρνων κλπ.) ή ο ανθρώπινος παράγοντας.

Σε συνθήκες διεργασιών στις νέες μονάδες του διυλιστηρίου αναμένεται η ανάφλεξη να λάβει χώρα εντός των μονάδων. Στη παρούσα ανάλυση θεωρείται ότι η ανάφλεξη του εκρηκτικού νέφους λαμβάνει χώρα εντός της ζώνης μέγιστης απόστασης που μπορεί να καλύψει το νέφος εντός 30 s από την στιγμή της διαρροής. Η απόσταση αυτή σε τυπικές συνθήκες είναι της τάξης των 90 έως 200 μέτρων.

Η θνησιμότητα όσων βρεθούν μέσα στα όρια του νέφους αναμένεται να φτάσει το 95% ενώ φωτιές θα προκληθούν στα κτίρια που βρίσκονται στον ίδιο χώρο. Λόγω της μικρής διάρκειας του φαινομένου (γενικά <1 min), σε μια περιοχή κοντινή του νέφους αν και η

θερμική ροή θα είναι σχετικά υψηλή η πιθανότητα εγκαύματος θα είναι μικρή σε σχέση με φωτιές μεγάλης διάρκειας.

3.1.4 Έκρηξη Αερίου Νέφους (Vapour Cloud Explosion - VCE)

LPG / Gasoline vapour

Στην περίπτωση διαρροής σημαντικής ποσότητας αερίου ή εξάτμισης εύφλεκτου αερίου από λίμνη πτητικού καυσίμου το εύφλεκτο αέριο αναμιγνύεται με τον αέρα και είναι δυνατό να σχηματίσει εκρηκτικό νέφος. Εάν δεν υπάρξει άμεση ανάφλεξη το νέφος μπορεί να διασπαρθεί και να εξαπλωθεί στην γύρω περιοχή (η διασπορά εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως την διεύθυνση και ταχύτητα του ανέμου και την διαμόρφωση της γύρω περιοχής). Το νέφος, αρχικά, παραμένει χαμηλά αν πρόκειται για βαρύτερο από τον αέρα νέφος όπως βαρείς υδρογονάνθρακες ή υδρόθειο και συμπεριφέρεται ως βαρύ αέριο ή ανυψώνεται αν πρόκειται για ελαφρύτερο από τον αέρα νέφος όπως μεθάνιο ή υδρογόνο. Όταν το μίγμα συναντήσει πηγή ανάφλεξης αναφλέγεται και εκρήγνυται.

Σημειώνεται ότι οι αρχικές συνθήκες για την δημιουργία στιγμιαίας φωτιάς ή έκρηξης είναι ίδιες, Στην βιβλιογραφία αναφέρεται ότι η πιθανότητα έκρηξης είναι 2/3 και η πιθανότητα στιγμιαίας φωτιάς είναι 1/3. Οι προϋποθέσεις για την εκδήλωση του φαινομένου είναι η διαρροή μιας ελάχιστης κρίσιμης μάζας και η επαρκής ανάμιξη με τον αέρα ώστε να σχηματιστεί μίγμα με συγκέντρωση μέσα στα όρια ανάφλεξης. Σημειώνεται ότι, σύμφωνα με τα ιστορικά δεδομένα, αν το εκρηκτικό νέφος σχηματιστεί τότε είναι σχεδόν βέβαιο ότι θα συναντήσει μια πηγή ανάφλεξης στην γύρω περιοχή. Ο χρόνος μεταξύ της έναρξης της διαρροής και της έκρηξης κυμαίνεται από μερικά δευτερόλεπτα μέχρι και αρκετά λεπτά, σε ιστορικά ατυχημάτων έχουν αναφερθεί χρόνοι μεγαλύτεροι από μια ώρα. Είναι προφανές ότι όσο αυξάνεται ο χρόνος μεταξύ της διαρροής και της έκρηξης τόσο αυξάνεται η βαρύτητα των συνεπειών διότι αυξάνει η έκταση που καλύπτει το νέφος (σε ιστορικές αναλύσεις ατυχημάτων αναφέρονται ατυχήματα στα οποία το νέφος "ταξίδεψε" σε αποστάσεις εκατοντάδων μέτρων πριν γίνει η έκρηξη). Σε συνθήκες διεργασιών στις νέες μονάδες του διυλιστηρίου αναμένεται η ανάφλεξη να λάβει χώρα εντός των μονάδων. Στη παρούσα ανάλυση θεωρείται ότι η ανάφλεξη του εκρηκτικού νέφους λαμβάνει χώρα εντός της ζώνης μέγιστης απόστασης που μπορεί να καλύψει το νέφος εντός 30 s από την στιγμή της διαρροής. Η απόσταση αυτή σε τυπικές συνθήκες είναι της τάξης των 90 έως 200 μέτρων.

Η πιθανότητα να γίνει έκρηξη και η σοβαρότητα των επιπτώσεων εξαρτώνται από το είδος του χώρου στον οποίο εξαπλώνεται το νέφος. Συγκεκριμένα, αυξάνονται σημαντικά όταν αυξάνεται ο «βαθμός εγκλωβισμού» του νέφους λόγω εγκλωβισμού του εύφλεκτου αερίου σε κλειστούς ή ημίκλειστους χώρους στη γύρω περιοχή (π.χ. κτίρια) διότι το ωστικό κύμα δεν εκτονώνεται. Αυτό είναι πιθανότερο με τα βαρύτερα αέρια. Για τα ελαφρύτερα του αέρα αέρια (π.χ. υδρογόνο, μεθάνιο) η έκρηξη πρέπει να θεωρηθεί μη περιορισμένη (Unconfined, UVCE). Για τα εύφλεκτα νέφη LPG και ατμών βενζίνης

θεωρήθηκε χαμηλός βαθμός εγκλωβισμού 3-5 % στη περιοχή των μονάδων και των μεγάλων δεξαμενών.

3.1.5 Διασπορά νέφους χωρίς ανάφλεξη εύφλεκτου ή τοξικού (Dispersion)

(π.χ. H_2S)

Όταν η ποσότητα που διαρρέει δεν είναι αρκετή για να σχηματιστεί εκρηκτικό νέφος ή όταν δεν γίνεται καλή ανάμιξη με τον ατμοσφαιρικό αέρα, τότε το αέριο διασπείρεται στο γύρω χώρο χωρίς να αναφλεγεί. Σημειώνεται ότι οι μετεωρολογικές συνθήκες είναι δυνατό να δημιουργήσουν τοπικές διαφοροποιήσεις στη συγκέντρωση (π.χ. έντονη αστάθεια της ατμόσφαιρας) και να δημιουργηθούν έτσι συνθήκες έκρηξης. Η διασπορά εξαρτάται από τις μετεωρολογικές συνθήκες (διεύθυνση, ταχύτητα του ανέμου, ευστάθεια της ατμόσφαιρας, θερμοκρασία) και τη διαμόρφωση της περιοχής. Η επίπτωση που ενδιαφέρει είναι η συγκέντρωση στο χώρο και η λαμβανόμενη δόση.

Κατά την κατάταξη Pasquill, η ατμοσφαιρική σταθερότητα μεταβάλλεται από την κατάσταση -A- (πολύ τυρβώδης), σε -D- (ουδέτερη), έως -G- (πολύ σταθερή). Στην παρούσα μελέτη οι υπολογισμοί βασίζονται στην επιλογή των αντιπροσωπευτικών τιμών D5 (σταθερότητα D και ταχύτητα ανέμου 5m/s) και F2 (σταθερότητα F και ταχύτητα ανέμου 2m/s). Επίσης έχει επιλεγεί τιμή υγρασίας 65% για τον υπολογισμό των αποστάσεων διάχυσης / διάδοσης.

3.1.6 Φωτιά Λίμνης (Pool Fire)

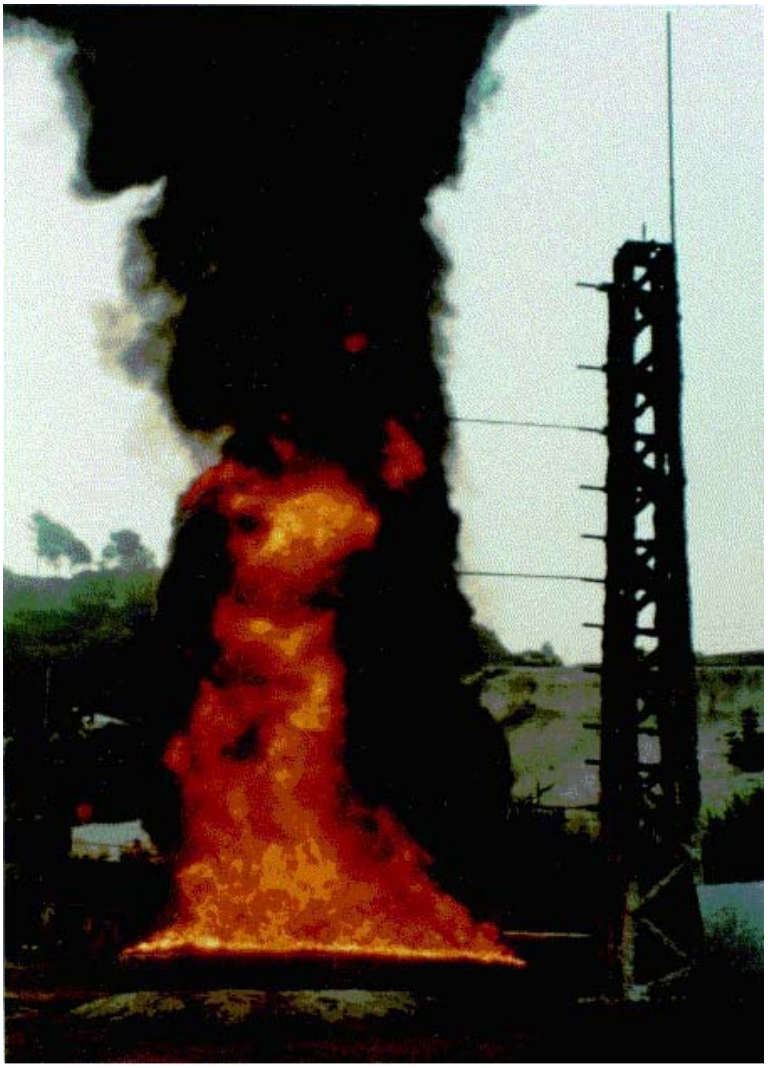
Gasoline / Νάφθα/ Jet Fuel/ Diesel / Βαριά Κλάσματα

Η διαρροή εύφλεκτου υγρού οδηγεί στο σχηματισμό λίμνης η οποία αν αναφλεγεί οδηγεί στο φαινόμενο το οποίο ονομάζεται φωτιά λίμνης. Αν γύρω από την δεξαμενή/ δοχείο υπάρχει ανάχωμα ή παροχετεύεται η υγρή διαρροή πριν συμβεί ανάφλεξη δημιουργείται μια περιορισμένη λίμνη (Confined Pool Fire). Στην περίπτωση αυτή η διάρκεια και η ένταση του φαινομένου εξαρτάται από την ποσότητα διαρροής και από την διάμετρο της λίμνης. Ενδιαφέρει ο υπολογισμός της θερμικής ακτινοβολίας που παράγεται από την καύση. Οι λίμνες καυσίμου έχουν υπολογιστεί σύμφωνα με τις διαστάσεις των νέων μονάδων, τα όρια στα οποία θα κατασκευαστεί σύστημα παροχέτευσης και των αναχωμάτων και τοιχίων που περικλείουν τις μονάδες όπως και τη πιθανή εξάπλωση της λίμνης όταν υπάρχει διαρροή καυσίμου έξω από τα όρια της μονάδας.

Σε περίπτωση μη άμεσης ανάφλεξης μπορεί να δημιουργηθούν εύφλεκτα νέφη μετά από υπολογισμό της εξάτμισης από την λίμνη. Είναι γνωστόν ότι τα αέρια νέφη υγραερίου, και ατμών βενζίνης ή βαρύτερων κλασμάτων κατά τη διασπορά τους, αν δεν αναφλεγούν, συμπεριφέρονται ως νέφη «βαρέως αερίου». Όταν η συγκέντρωση στο νέφος είναι μεγαλύτερη από το LFL τότε υπάρχει πιθανότητα ανάφλεξης με συνέπεια τη φωτιά ή την έκρηξη. Το μέγεθος των συνεπειών εξαρτάται από τις ατμοσφαιρικές

συνθήκες. Κατά την κατάταξη Pasquill, η ατμοσφαιρική σταθερότητα μεταβάλλεται από την κατάσταση A (πολύ ασταθής), σε D (ουδέτερη), έως G (πολύ σταθερή). Οι υπολογισμοί που στηρίζονται στην επιλογή των αντιπροσωπευτικών τιμών D5 (σταθερότητα D και ταχύτητα ανέμου 5m/s) και F2 (σταθερότητα F και ταχύτητα ανέμου 2m/s). Έχει επιλεγεί τιμή υγρασίας 65% για τον υπολογισμό των αποστάσεων διάχυσης /διάδοσης.

Στα σχήματα 3.1.6.1 και 3.1.6.2 παρακάτω παρουσιάζονται φωτογραφίες από περιορισμένες Φωτιές Λίμνης. Στην περίπτωση του ατυχήματος στο Buncefield απεικονίζεται φωτιά οροφής (βλ. σχήμα 3.1.6.2).



Σχήμα 3.1.6.1: Φωτιά λίμνης Gasoline (Chatris et.al., 2001)

Σχήμα 3.1.6.2: Φωτιά οροφής σε δεξαμενή καυσίμων από το ατύχημα στο Buncefield της Αγγλίας το 2005 (http://www.buncefieldinvestigation.gov.uk/, 2008)

3.2 Παράμετροι των φαινομένων – Μαθηματικό υπόβαθρο

Στις προηγούμενες παραγράφους δόθηκε η ποιοτική περιγραφή των φαινομένων ώστε να γίνει κατανοητή η φύση τους και ο τρόπος με τον οποίο εκδηλώνονται. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι παράμετροι από τους οποίους εξαρτώνται τα φαινόμενα αυτά, καθώς και το μαθηματικό υπόβαθρο βάσει του οποίου υπολογίζονται οι επιπτώσεις (θερμική ακτινοβολία, υπερπίεση) που συνεπάγεται η εκδήλωση των φαινομένων αυτών σε συγκεκριμένη απόσταση.

Στο σημείο αυτό χρειάζεται να σημειωθεί ότι η παρουσίαση αυτή δεν θα πραγματοποιηθεί για όλα τα φαινόμενα της προηγούμενης παραγράφου, διότι η μαθηματική μοντελοποίηση για τον υπολογισμό των επιπτώσεων σε μερικά από αυτά (π.χ. Διασπορά νέφους χωρίς ανάφλεξη εύφλεκτου ή τοξικού) είναι εξαιρετικά πολύπλοκη και η παρουσίαση της ξεφεύγει από τους στόχους της παρούσας ερευνητικής εργασίας.

Η μελέτη ασφάλειας για τις νέες μονάδες των διυλιστηρίων, στην οποία βασίζεται το παράδειγμα εφαρμογής της παρούσας εργασίας (Κεφ. 5 και 6), δεν προβλέπει κάποιο σενάριο διασποράς νέφους τοξικού αερίου. Έχουν πραγματοποιηθεί μόνο υπολογισμοί

της διασποράς νέφους εύφλεκτων αερίων, ώστε να μπορούν να μελετηθούν οι επιπτώσεις από την έκρηξη αυτών. Όπως θα παρουσιαστεί αργότερα (Κεφ. 5 και 6), η μόνη περίπτωση απελευθέρωσης τοξικού αερίου (H_2S) παρουσιάζεται στην μονάδα U31 στον πύργο κενού, όμως εκεί δεν υπάρχει διασπορά στην ατμόσφαιρα αφού λόγω μηδενικής πίεσης εντός του πύργου κενού η απελευθέρωση λαμβάνει χώρα στο εσωτερικό ακολουθούμενη από ανάφλεξη του H_2S εντός του πύργου.

Υπό αυτήν την έννοια τα φαινόμενα, των οποίων οι παράμετροι και το μαθηματικό υπόβαθρο υπολογισμού των επιπτώσεών τους σε μία συγκεκριμένη απόσταση, που θα παρουσιαστούν στις επόμενες παραγράφους είναι τα παρακάτω:

- **BLEVE** (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion),
- **Έκρηξη Αερίου Νέφους** (UVCE - VCE) και
- **Φωτιά Λίμνης** (Pool Fire).

3.2.1 BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion)

Όπως αναφέρεται στην παράγραφο 3.1.1, η κύρια επίπτωση του BLEVE είναι η θερμική ακτινοβολία που εκπέμπεται από την πύρινη σφαίρα που δημιουργείται. Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται οι παράμετροι και οι εξισώσεις με τις οποίες μπορεί να υπολογιστεί η θερμική ακτινοβολία που εκπέμπεται σε ορισμένη απόσταση, από την εκδήλωση ενός BLEVE.

Βήμα 1

Αρχικά υπολογίζεται, αν δεν είναι ήδη γνωστή, η μάζα της ουσίας M (π.χ. LPG) που εκλύεται από την ολική ρήξη της δεξαμενής/ δοχείου,

$$M = f \times V \times \rho_{mat} \text{ (kg)} \qquad (3.2.1.1)$$

όπου:

- f = Κλάσμα του όγκου της δεξαμενής/ δοχείου γεμάτο με την υπό πίεση (υγροποιημένη) εύφλεκτη ουσία (βαθμός πληρότητας δοχείου)
- V = Όγκος της δεξαμενής/ δοχείου, σε m^3
- ρ_{mat} = Πυκνότητα της ουσίας εντός της δεξαμενής, σε kg/m^3.

Βήμα 2

Στη συνέχεια υπολογίζεται η ακτίνα r_{fb} της πύρινης σφαίρας από εμπειρικές σχέσεις (Cowley, 1991 & Bagster, 1989),

$$r_{fb} = c_9 \times M^{0.325} \text{ (m)} \qquad (3.2.1.2)$$

όπου: $c_9 = 3.24 m/kg^{0.325}$.

Βήμα 3

Η διάρκεια t του BLEVE υπολογίζεται ως εξής (Cowley, 1991 & Bagster, 1989):

$$t = c_{10} \times M^{0.26} \text{ (s)} \qquad (3.2.1.3)$$

όπου: $c_{10} = 0.852 s / kg^{0.26}$.

Βήμα 4

Το ύψος ανύψωσης της πύρινης σφαίρας είναι (Bagster, 1989):

$$H_{bleve} = 2 \times r_{fb} \text{ (m)} \qquad (3.2.1.4)$$

όπου: H_{bleve} = Κατακόρυφη απόσταση από το κέντρο της πύρινης σφαίρας εώς το έδαφος.

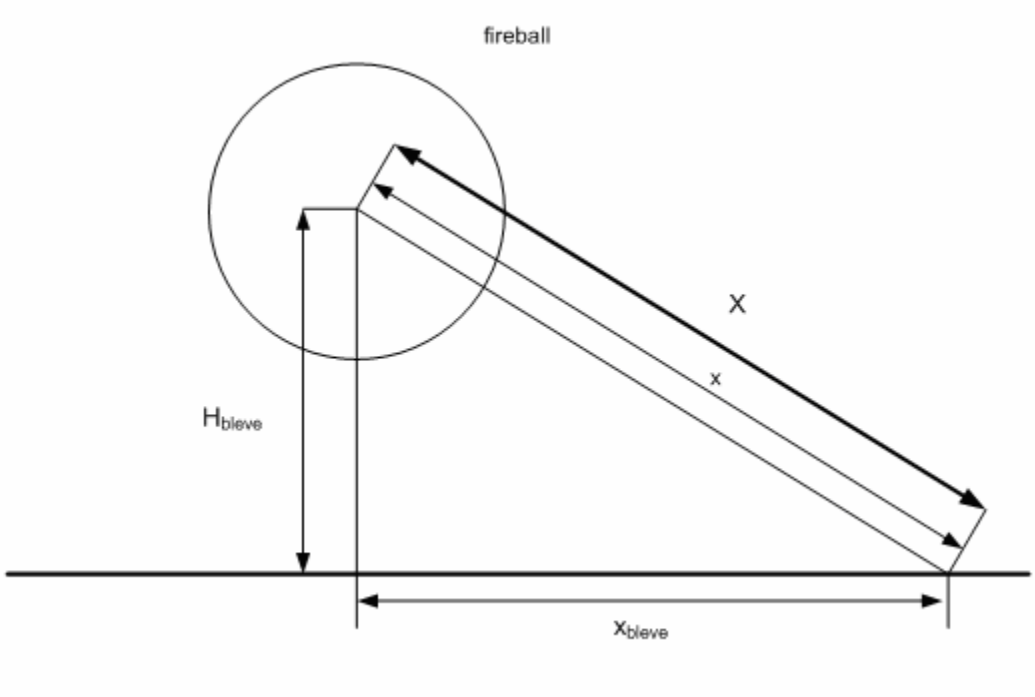
Βήμα 5

Στη συνέχεια υπολογίζεται η απόσταση X από το κέντρο της πύρινης σφαίρας ως το αντικείμενο στο οποίο ενδιαφέρει να υπολογιστεί η προσπίπτουσα ακτινοβολία,

$$\mathrm{X} = \left(x_{bleve}^2 + H_{bleve}^2\right)^{1/2} \text{ (m)} \qquad (3.2.1.5)$$

όπου: x_{bleve} = Οριζόντια από στάση από την προβολή του κέντρου της πύρινης σφαίρας στο έδαφος, ως τον αποδέκτη, σε m.

Οι παραπάνω αποστάσεις φαίνονται στο σχήμα 3.2.1.1.



Σχήμα 3.2.1.1: Αποστάσεις από το κέντρο της πύρινης σφαίρας ως τον αποδέκτη

Βήμα 6

Το επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός της μέγιστης τιμής του γεωμετρικού παράγοντα (view factor), F_{view}, που είναι μία αδιάστατη παράμετρος που καθορίζει σε μεγάλο βαθμό το μέγεθος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Προφανώς παίρνει την τιμή 1 όταν το αντικείμενο βρίσκεται ακριβώς πάνω στην επιφάνεια της πύρινης σφαίρας, ενώ όσο το αντικείμενο απομακρύνεται από αυτή, το F_{view} μειώνεται.

$$F_{view} = \left(r_{fb} / \mathrm{X}\right)^2 \text{(-)} \qquad (3.2.1.6)$$

Βήμα 7

Κατόπιν υπολογίζεται το κλάσμα F_s της παραγόμενης θερμότητας που ακτινοβολείται από την πύρινη σφαίρα (Roberts, 1982),

$$F_s = c_6 \times \left(P_{sv}\right)^{0.32} \text{ (-)} \qquad (3.2.1.7)$$

όπου:

- $c_6 = 0.00325(N/m^2)^{-0.32}$ και
- P_{sv} = Τάση κορεσμένου ατμού της ουσίας εντός της δεξαμενής / δοχείου πριν τη διαφυγή, σε N/m^2.

Να σημειωθεί εδώ ότι για το P_{sv} στην ανάλυση εξετάζονται καθαρές ουσίες, όχι μίγματα, και σε συνθήκες ισορροπίας υγρού-αερίου. Το P_{sv} ουσιαστικά καθορίζεται από τις συνθήκες ισορροπίας στις οποίες βρίσκεται η ουσία εντός της δεξαμενής. Η θερμοκρασία αυτή μπορεί να ληφθεί ότι είναι η θερμοκρασία λειτουργίας T_{op} στην οποία λαμβάνουν χώρα οι διεργασίες στο συγκεκριμένο κύκλωμα. Δηλαδή σε περίπτωση BLEVE που συμβαίνει σε μία δεξαμενή αποθήκευσης LPG, τότε η T_{op} είναι η θερμοκρασία στην οποία βρίσκεται το υγρό LPG εντός της δεξαμενής. Η ανάλυση που πραγματοποιήθηκε για την T_{op} και το πως αυτή επηρεάζει το P_{sv} παρουσιάζεται στο κεφάλαιο 4 στην παράγραφο 4.3.

Βήμα 8

Στο επόμενο βήμα υπολογίζεται το καθαρό ποσό θερμότητας ΔΗ που διατίθεται για ακτινοβολία, σύμφωνα με το ισοζύγιο θερμότητας,

$$\Delta H = \Delta H_c - \Delta H_v - C_p \Delta \mathrm{T} \text{ (J/kg)} \qquad (3.2.1.8)$$

όπου:

- ΔH_c = Θερμότητα καύσης της εύφλεκτης ουσίας στο σημείο ζέσεως, σε J/kg
- ΔH_v = Θερμότητα εξατμίσεως της εύφλεκτης ουσίας στο σημείο ζέσεως, σε J/kg
- C_p = Ειδική θερμότητα (specific heat capacity) σε σταθερή πίεση, σε J/(kg·K)

- ΔT = Διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ φλόγας και θερμοκρασίας περιβάλλοντος, σε βαθμούς K. Το $\Delta T=T_f-T_\alpha$ ουσιαστικά εξαρτάται από τη θερμοκρασία της φλόγας T_f διότι αυτή είναι πολύ μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

Βήμα 9

Στη συνέχεια υπολογίζεται ο ενεργός ρυθμός εκπεμπόμενης ενέργειας στην επιφάνεια της φλόγας (Surface Emissive Power) SEP_{act}. Αν υποτεθεί ότι δεν υπάρχει δημιουργία καπνού, τότε ισχύει: $SEP_{act}=SEP_{max}$, όπου SEP_{max} είναι ο μέγιστος ρυθμός εκπεμπόμενης ενέργειας. Με βάση την υπόθεση αυτή ισχύει:

$$SEP_{act} = \Delta H \times M \times F_s /(4 \times \pi \times r_{fb}^2 \times t) \text{ (J/m}^2\text{s)} \qquad (3.2.1.9)$$

Από μετρήσεις SEP που έχουν πραγματοποιηθεί σε BLEVE αναφέρεται ότι οι πύρινες σφαίρες του βουτανίου έχουν τυπικές μέσες τιμές SEP μεταξύ $300x10^3$ και $350x10^3$ $J/(m^2s)$ (CPR-14E Yellow Book, 1997).

Βήμα 10

Στο επόμενο βήμα υπολογίζεται η απόσταση x από την επιφάνεια της πύρινης σφαίρας ως τον αποδέκτη, που φαίνεται στο σχήμα 3.2.1.1,

$$x = \mathrm{X} - r_{fb} \rightarrow x = \left(x_{bleve}^2 + 4{r_{fb}}^2\right)^{1/2} - r_{fb} \text{ (m)} \qquad (3.2.1.10)$$

Βήμα 11

Κατόπιν χρειάζεται να υπολογιστεί ο συντελεστής απορρόφησης της θερμικής ακτινοβολίας από την υγρασία της ατμόσφαιρας α_w. Ο υπολογισμός αυτός είναι μία κάπως πολύπλοκη διαδικασία, η μοντελοποίηση της οποίας στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται στην παράγραφο 4.2.1.

Βήμα 12

Στη συνέχεια υπολογίζεται ο συντελεστής απορρόφησης της θερμικής ακτινοβολίας από το διοξείδιο του άνθρακα που υπάρχει στην ατμόσφαιρα α_c. Ο υπολογισμός αυτός είναι μία κάπως πολύπλοκη διαδικασία, η μοντελοποίηση της οποίας στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται στην παράγραφο 4.2.2.

Βήμα 13

Στο βήμα αυτό υπολογίζεται η ατμοσφαιρική διαπερατότητα (atmospheric transmissivity) τ_α, με βάση τους συντελεστές α_w και α_c:

$$\tau_a = 1 - \alpha_w - \alpha_c \text{ (-)} \qquad (3.2.1.11)$$

Βήμα 14

Τέλος, μπορεί πλέον να υπολογιστεί η θερμική ακτινοβολία σε μία συγκεκριμένη απόσταση από το κέντρο της πύρινης σφαίρας ως εξής:

$$q'' = SEP_{act} \times F_{view} \times \tau_a \text{ (J/(m}^2\text{·s))} \qquad (3.2.1.12)$$

Να σημειωθεί ότι για τον υπολογισμό του F_{view} χρησιμοποιείται η απόσταση X από το κέντρο της πύρινης σφαίρας ως τον αποδέκτη, ενώ για τον υπολογισμό του τ_a χρησιμοποιείται η απόσταση x από την επιφάνεια της πύρινης σφαίρας ως τον αποδέκτη (CPR-14E Yellow Book, 1997).

Στον πίνακα 3.2.1.1 παρακάτω συνοψίζονται όλοι οι παράγοντες που υπεισέρχονται στον υπολογισμό της προσπίπτουσας θερμικής ροής σε περίπτωση BLEVE.

Πίνακας 3.2.1.1: Παράμετροι για το φαινόμενο BLEVE (CPR-14E Yellow book, 1997)

	BLEVE
1	Ποσότητα εύφλεκτου καυσίμου $M = f \times V \times \rho_{mat}$ (kg)
2	Ακτίνα πύρινης σφαίρας $r_{fb} = c_9 \times M^{0.325}$ (m) $c_9 = 3.24 m/kg^{0.325}$
3	Διάρκεια t του BLEVE $t = c_{10} \times M^{0.26}$ (s) $c_{10} = 0.852 s/kg^{0.26}$
4	Ανύψωση της πύρινης σφαίρας $H_{bleve} = 2 \times r_{fb}$ (m)
5	Απόσταση X από το κέντρο της πύρινης σφαίρας $\mathrm{X} = \left(x_{bleve}^2 + H_{bleve}^2\right)^{1/2}$ (m)
6	View Factor $F_{view} = \left(r_{fb} / \mathrm{X}\right)^2$ (-)
7	Κλάσμα F_s της παραγόμενης θερμότητας που ακτινοβολείται από την πύρινη σφαίρα $F_s = c_6 \times \left(P_{sv}\right)^{0.32}$, $c_6 = 0.00325 (N/m^2)^{-0.32}$
8	Καθαρό ποσό θερμότητας ΔH που είναι διαθέσιμο προς ακτινοβολία $\Delta H = \Delta H_c - \Delta H_v - C_p \Delta \mathrm{T}$ (J/kg)
9	Ενεργός ρυθμός εκπεμπόμενης ενέργειας στην επιφάνεια της φλόγας (Surface Emissive Power) $SEP_{act} = \Delta H M F_s / (4\pi r_{fb}^2 t)$ (J/(m^2·s))
10	Μήκος μεταξύ ελεύθερης επιφάνειας πύρινης σφαίρας και στόχου $x = \mathrm{X} - r_{fb}$ → $x = \left(x_{bleve}^2 + 4 r_{fb}{}^2\right)^{1/2} - r_{fb}$ (m)
11	Συντελεστής απορρόφησης της θερμικής ακτινοβολίας από την υγρασία της ατμόσφαιρας α_w (Absorption factor for water vapour) $p_w = RH \times p_w^o$ (N/m^2) Το γινόμενο $p_w \times x$ είναι γνωστό και από αυτό προκύπτει το a_w.
12	Συντελεστής απορρόφησης της θερμικής ακτινοβολίας από το διοξείδιο του άνθρακα που υπάρχει στην ατμόσφαιρα α_c (Absorption coefficient for carbon-dioxide) $p_c = 30\left(N/m^2\right)$. Το γινόμενο $p_c \times x$ είναι γνωστό και από αυτό προκύπτει το a_c.
13	Ατμοσφαιρική διαπερατότητα τ_α (Atmospheric transmissivity) $\tau_a = 1 - \alpha_w - \alpha_c$ (-) ή $\tau_a = c_7 \left(p_w x\right)^{-0.09}$, $c_7 = 2.02\left(N/m^2\right)^{0.09} m^{0.09}$
14	Ροή θερμότητας σε κάποια απόσταση $q'' = SEP_{act} \times F_{view} \times \tau_a$ (J/(m^2·s))

3.2.2 Έκρηξη Αερίου Νέφους (UVCE - VCE)

Η ποιοτική περιγραφή του φαινομένου της έκρηξης αερίου νέφους παρουσιάστηκε στην παράγραφο 3.1.4. Η κύρια επίπτωση της έκρηξης είναι η υπερπίεση που αναπτύσσεται και εξαπλώνεται στον περιβάλλοντα χώρο από το σημείο της έκρηξης. Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζεται η μεθοδολογία με την οποία μπορεί να υπολογιστεί η υπερπίεση που αναπτύσσεται σε ορισμένη απόσταση, από την εκδήλωση μίας έκρηξης αερίου νέφους (VCE). Η μεθοδολογία αυτή είναι γνωστή στη διεθνή βιβλιογραφία ως Multi-Energy Method (CPR-14E Yellow Book, 1997).

Βήμα 1: Προσδιορισμός του όγκου του αερίου νέφους

Αρχικά προσδιορίζεται η μάζα του αερίου νέφους που διαφεύγει στην ατμόσφαιρα από ένα ατυχηματικό φαινόμενο και που μπορεί να σχηματίσει εκρηκτικό νέφος κάτω από κατάλληλες συνθήκες. Ο στόχος είναι ο προσδιορισμός της ποσότητας του νέφους που βρίσκεται σε εκρηκτική στοιχειομετρία στην ατμόσφαιρα. Αυτό επιτυγχάνεται με τον υπολογισμό της διασποράς του αερίου νέφους.

Κατόπιν υπολογίζεται ο όγκος V_c του αερίου νέφους με πυκνότητα ρ, που περιέχει την ποσότητα εκρηκτικού νέφους Q_{ex} σε στοιχειομετρική συγκέντρωση c_s (c_s σε % κ.ο.) σύμφωνα με τη σχέση:

$$V_c = Q_{ex} / (\rho \cdot c_s) \ (\mathrm{m}^3) \qquad (3.2.2.1)$$

Βήμα 2: Αναγνώριση πιθανών πηγών έκρηξης

Στο βήμα αυτό αναγνωρίζονται πιθανές πηγές έναρξης της έκρηξης σε γειτονικές περιοχές από το κέντρο του αερίου νέφους. Πιθανές πηγές ισχυρής έκρηξης αποτελούν, για παράδειγμα:

- ο εξοπλισμός στον οποίο πραγματοποιούνται οι διεργασίες σε χημικές βιομηχανίες και σε εγκαταστάσεις διυλιστηρίων,
- ο χώρος μεταξύ μεγάλων παράλληλων επιφανειών, όπως γειτονικά κτίρια, πολυώροφα γκαράζ αυτοκινήτων, κτλ.,
- ο χώρος που βρίσκεται εντός κατασκευών σωληνοειδούς τύπου, όπως τούνελ, γέφυρες, διάδρομοι, αποχετευτικά συστήματα, κτλ.,
- ένα εξαιρετικά τυρβοειδές μείγμα αέρα – καυσίμου σε jet λόγω διαρροής υπό υψηλή πίεση.

Όπως είναι προφανές οι παραπάνω αποτελούν πιθανές πηγές ισχυρής έκρηξης διότι αυξάνουν το βαθμό εγκλωβισμού του αερίου νέφους.

Βήμα 3: Προσδιορισμός περιοχών που παρεμβάλλονται από εμπόδια (obstructed regions)

Σε αυτό το βήμα γίνεται ο προσδιορισμός των περιοχών στις οποίες παρεμβάλλονται εμπόδια, ανάλογα με το είδος των εμποδίων και το ποσοστό του χώρου που αυτά καταλαμβάνουν σε σχέση με τον καθορισμένο χώρο της κάθε περιοχής. Για την αναλυτική παρουσίαση της μεθοδολογίας προσδιορισμού των εμποδιζόμενων περιοχών βλ. CPR-14E Yellow Book, 1997.

Στη συνέχεια προσδιορίζεται ο μέγιστος όγκος του αερίου νέφους V_{gr} που μπορεί να βρίσκεται μέσα στις εμποδιζόμενες περιοχές που έχουν καθοριστεί. Πλέον μπορεί να υπολογιστεί ο όγκος V_o του αερίου νέφους που δεν είναι εγκλωβισμένος σε εμπόδια, από τη σχέση:

$$V_o = V_c - V_{gr} \, (\mathrm{m}^3) \qquad (3.2.2.2)$$

Ακόμα υπολογίζεται η ενέργεια Ε της κάθε περιοχής, με εμπόδια και χωρίς εμπόδια, πολλαπλασιάζοντας τα V_{gr} και V_o με την ενέργεια καύσης ανά μονάδα όγκου (συνήθως $E_v = 3.5 MJ/m^3$).

Να σημειωθεί εδώ ότι στη μοντελοποίηση του VCE - UVCE για τον βαθμό εγκλωβισμού του νέφους στο παράδειγμα εφαρμογής (case study) και στη μελέτη ασφάλειας (Παπαδάκης, 2007), έχει θεωρηθεί μέσο ύψος της εγκατάστασης τα 12m.

Βήμα 4: Εκτίμηση της έντασης της έκρηξης σε κάθε περιοχή

Μία συντηρητική προσέγγιση θα ήταν να θεωρηθεί ένταση έκρηξης (ή διαφορετικά κλάση έκρηξης CN με τιμές από 1 – 10, βλ. Κεφ. 4) ίση με 10 (detonation: ταχύτητα διάδοσης του ωστικού κύματος ίση με την ταχύτητα του ήχου) για κάθε περιοχή με μεγάλο βαθμό εγκλωβισμού του αερίου νέφους. Η εκτίμηση αυτή όμως καταλήγει αρκετές φορές σε απαισιόδοξα αποτελέσματα σχετικά με τις επιπτώσεις της έκρηξης στην περιοχή. Μπορεί βέβαια να επιλεγεί ένταση έκρηξης μικρότερης κλάσης, ανάλογα με τις πληροφορίες που υπάρχουν για κάθε περιοχή. Για τις περιοχές στις οποίες δεν υπάρχουν αρκετά ή καθόλου εμπόδια και άρα ο βαθμός εγκλωβισμού είναι μικρός ή πολύ μικρός, επιλέγεται μικρή κλάση έκρηξης (από 1 – 5) ανάλογα με τις συνθήκες (deflagration: ταχύτητα διάδοσης του ωστικού κύματος μικρότερη από την ταχύτητα του ήχου).

Βήμα 5: Συνδυασμός εμποδιζόμενων περιοχών

Στην περίπτωση που χρειάζεται να συμπεριληφθούν στην ανάλυση περισσότερες από μία εμποδιζόμενες περιοχές, τότε ορίζεται μία εναλλακτική υποθετική πηγή έκρηξης η ενέργεια της οποίας ισούται με το άθροισμα των ενεργειών όλων των υπολοίπων αναγνωρισμένων πηγών έκρηξης. Η εναλλακτική πηγή έκρηξης θεωρείται ότι βρίσκεται στο κέντρο των υπολοίπων πηγών έκρηξης, το οποίο υπολογίζεται αναφορικά με τα κέντρα των υπαρχόντων πηγών έκρηξης και τις ενέργειες αυτών.

Βήμα 6: Θέση μη εγκλωβισμένου μέρους του αερίου νέφους

Προσδιορίζεται ένα κέντρο για τον μη εγκλωβισμένο όγκο του αερίου νέφους. Αυτό προσδιορίζεται αναφορικά με τη θέση των κέντρων των μη εμποδιζόμενων περιοχών και τις αντίστοιχες ενέργειες των πηγών έκρηξης τους.

Στο σημείο αυτό έχει προσδιοριστεί ένας συγκεκριμένος αριθμός περιοχών έκρηξης με τα κέντρα τους και τις πηγές έκρηξης μαζί με τις ενέργειες τους Ε. Για κάθε περιοχή έκρηξης μπορούν να υπολογιστούν οι παράμετροι της έκρηξης, ως συνάρτηση της απόστασης από το κέντρο της, με βάση τα διαγράμματα που παρέχονται από την μέθοδο Multi – Energy (CPR-14E Yellow Book, 1997) και τους τύπους που παρατίθενται στα επόμενα βήματα.

Βήμα 7: Υπολογισμός της ακτίνας r_o για κάθε πηγή έκρηξης

Η έκρηξη από την κάθε πηγή μοντελοποιείται με βάση την έκρηξη από ένα ισοδύναμο, ημισφαιρικό σε σχήμα, μείγμα καυσίμου – αέρα με όγκο E/E_v (m^3). Έτσι υπολογίζεται μία εκτίμηση της κλίμακας της έκρηξης, όπου υπολογίζεται η ακτίνα r_o για κάθε πηγή έκρηξης με βάση την παρακάτω σχέση:

$$r_o = \left(3/2 \cdot E/\left(E_v \cdot \pi\right)\right)^{1/3} \text{ (m)} \qquad (3.2.2.3)$$

Βήμα 8: Υπολογισμός των παραμέτρων της έκρηξης

Οι παράμετροι της έκρηξης σε μία συγκεκριμένη απόσταση (ακτίνα) r από την πηγή της έκρηξης προκύπτουν από τα διαγράμματα του CPR-14E Yellow Book αφού υπολογιστεί η κανονικοποιημένη απόσταση r΄ από την εξίσωση 3.2.2.4:

$$r' = r/\left(E/p_a\right)^{1/3} \text{ (-)} \qquad (3.2.2.4)$$

Στη συνέχεια ανάλογα με την κλάση της έκρηξης (CN από 1 εώς 10) και με γνωστή πλέον την κανονικοποιημένη απόσταση r΄ από τα διαγράμματα προκύπτουν οι κανονικοποιημένες τιμές για, τη μέγιστη υπερπίεση P_s΄ (scaled peak side-on overpressure), τη μέγιστη πίεση p_{dyn}΄ (scaled peak pressure) και τη χρονική διάρκεια t_p΄ (scaled positive phase duration) της έκρηξης.

Από τις παραπάνω κανονικοποιημένες τιμές και τις εξισώσεις 3.2.2.5 – 3.2.2.7 υπολογίζονται οι τιμές της μέγιστης υπερπίεσης P_s, της μέγιστης πίεσης p_{dyn} και της χρονικής διάρκειας t_p.

$$P_s = P_s' \cdot p_a \text{ (Pa)} \qquad (3.2.2.5)$$

$$p_{dyn} = p_{dyn}' \cdot p_a \text{ (Pa)} \qquad (3.2.2.6)$$

$$t_p = t_p' \cdot \left(E/p_a\right)^{1/3} / a_a \text{ (s)} \qquad (3.2.2.7)$$

όπου $p_a = 10^5$ (Pa) η ατμοσφαιρική πίεση και $a_a = 340$(m/s) η ταχύτητα του ήχου στον ατμοσφαιρικό αέρα.

Κατόπιν υπολογίζεται από τα διαγράμματα η μορφή του ωστικού κύματος της έκρηξης (blast–wave).

Τέλος υπολογίζεται η θετική ώση που προκαλείται από την έκρηξη, από τον τύπο:

$$i_s = 1/2 \cdot P_s \cdot t_p \text{ (Pa·s)} \qquad (3.2.2.8)$$

Βήμα 9: Σύνθεση του ιστορικού εκρήξεων μίας συγκεκριμένης τοποθεσίας

Η έκρηξη σε μία μη-εγκλωβισμένη περιοχή διαφέρει σημαντικά από την έκρηξη σε μία εγκλωβισμένη. Έκρηξη από μία εγκλωβισμένη περιοχή θα έχει σαν αποτέλεσμα πολύ απότομα και σχετικά σύντομα ωστικά κύματα (μέγιστα – peaks). Από την άλλη η σχετικά αργή καύση του αερίου νέφους σε μία μη-εγκλωβισμένη περιοχή έχει ως αποτέλεσμα τα ωστικά κύματα να έχουν μεγάλη διάρκεια με χαμηλότερα όμως μέγιστα (peaks). Παρόλαυτά, λόγω της επιρροής των αντίστοιχων ενεργειών τους, και τα δύο είδη ωστικών κυμάτων μπορεί να παίζουν σημαντικό ρόλο σε μία συγκεκριμένη τοποθεσία. Τελικά όμως μπορεί να υποτεθεί ότι το ιστορικό εκρήξεων σε μία συγκεκριμένη τοποθεσία υπολογίζεται από της παραμέτρους έκρηξης και τη μορφή του ωστικού κύματος που προκαλούνται από την εγκλωβισμένη περιοχή, υπερνικώντας τις αντίστοιχες από την μη-εγκλωβισμένη.

Στον πίνακα 3.2.2.1 παρακάτω συνοψίζονται οι παράμετροι που υπεισέρχονται στον υπολογισμό της υπερπίεσης που προκαλείται από την έκρηξη αερίου νέφους.

Πίνακας 3.2.2.1: Παράμετροι για το φαινόμενο VCE με τη μέθοδο Multi-Energy (CPR-14E Yellow book, 1997)

	VCE Multi – Energy Method
1	Προσδιορισμός του όγκου του αερίου νέφους $V_c = Q_{ex} / (\rho \cdot c_s)$ (Pa)
2	Αναγνώριση πιθανών πηγών έκρηξης
3	Προσδιορισμός περιοχών που παρεμβάλλονται από εμπόδια (obstructed regions) και του ελεύθερου χώρου αυτών V_r, $V_o = V_c - V_{gr}$ (m^3)
4	Εκτίμηση της έντασης της έκρηξης (κλάση CN = 1 - 10) σε κάθε περιοχή
5	Συνδυασμός εμποδιζόμενων περιοχών
6	Προσδιορίζεται ένα κέντρο για τον μη εγκλωβισμένο όγκο του αερίου νέφους
7	Υπολογισμός της ακτίνας για κάθε πηγή έκρηξης $r_o = (3/2 \cdot E / (E_v \cdot \pi))^{1/3}$ (m)
8	Ορισμός των παραμέτρων έκρηξης $r' = r / (E / p_a)^{1/3}$ $P_s = P_s' \cdot p_a$ (Pa) $p_{dyn} = p_{dyn}' \cdot p_a$ (Pa) $t_p = t_p' \cdot (E / p_a)^{1/3} / a_a$ (s) $i_s = 1/2 \cdot P_s \cdot t_p$ (Pa·s)
9	Σύνθεση του ιστορικού εκρήξεων μίας συγκεκριμένης τοποθεσίας

3.2.3 Φωτιά Λίμνης (Pool Fire)

Όπως αναφέρεται στην παράγραφο 3.1.6, η κύρια επίπτωση της Φωτιάς Λίμνης είναι η θερμική ακτινοβολία που εκπέμπεται από την επιφάνεια της φλόγας. Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται οι παράμετροι και οι εξισώσεις με τις οποίες μπορεί να υπολογιστεί η θερμική ακτινοβολία που εκπέμπεται σε ορισμένη απόσταση από την επιφάνεια της φλόγας, κατά την εκδήλωση μίας φωτιάς λίμνης (Pool Fire). Να αναφερθεί ότι στην παρούσα μελέτη εξετάζονται περιορισμένες φωτιές λίμνης (Confined Pool Fires).

Βήμα 1

Σε πρώτη φάση υπολογίζεται η διάμετρος D της λίμνης. Στην περίπτωση που η λίμνη είναι κυκλική, τότε ως D λαμβάνεται η διάμετρος της λίμνης.

Στην περίπτωση που η λίμνη που σχηματίζεται είναι ορθογώνια ή σχεδόν ορθογώνια με ακανόνιστο όμως σχήμα και ο λόγος μήκος/ πλάτος είναι μικρότερος από 2, τότε υπολογίζεται η ισοδύναμη διάμετρος της λίμνης, σύμφωνα με τα παρακάτω:

Οι λίμνες με ακανόνιστο σχήμα για τις οποίες μπορεί να υπολογιστεί η έκταση της επιφάνειάς τους, μπορούν να θεωρηθούν ως κυκλικές λίμνες, η ισοδύναμη διάμετρος των οποίων υπολογίζεται από την εξίσωση (3.2.3.1)

$$D = (4 \times A_p / \pi)^{1/2} \text{ (m)} \qquad (3.2.3.1)$$

όπου:

- D = Ισοδύναμη διάμετρος της λίμνης, σε m
- A_p = Επιφάνεια της λίμνης, σε m^2.

Οι λίμνες για τις οποίες δεν μπορεί να υπολογιστεί η έκταση της επιφάνειάς τους, αλλά είναι δυνατό να προσδιοριστεί ο όγκος του καυσίμου που έχει διαρρεύσει και το πάχος του στρώματος της λίμνης, η ισοδύναμη διάμετρος της λίμνης υπολογίζεται ως εξής:

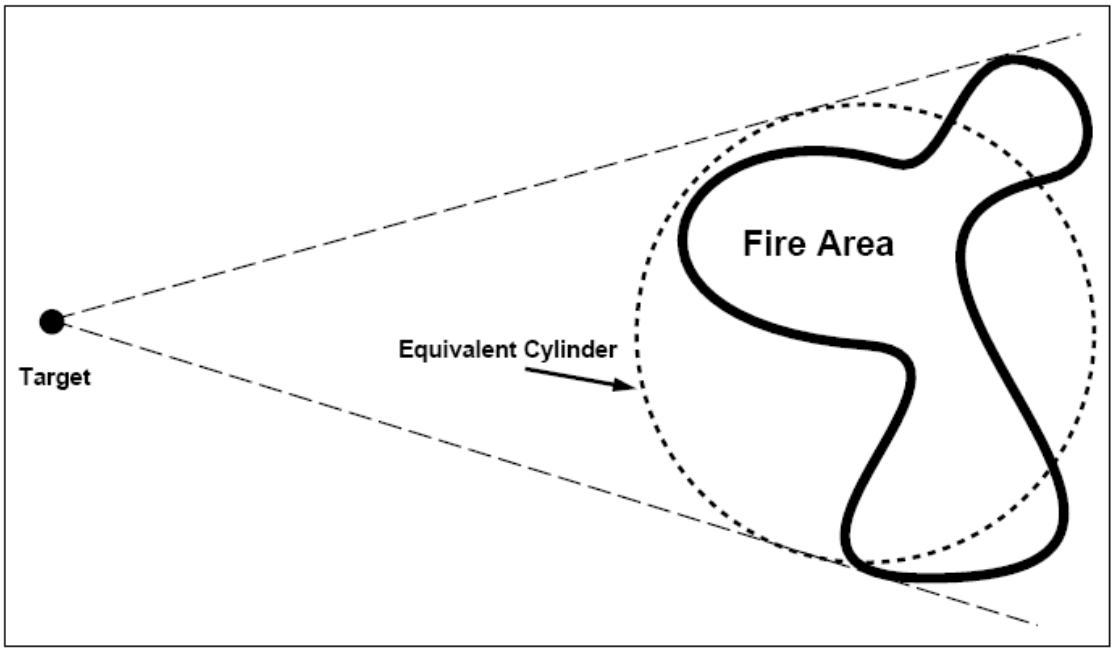
$$D = (4 \times V / (\pi \times \delta))^{1/2} \text{ (m)} \qquad (3.2.3.2)$$

όπου:

- V = Όγκος του διαρρεύσαντος καυσίμου, σε m^3
- δ = Πάχος του στρώματος της λίμνης, σε m.

Στην περίπτωση που ο λόγος μήκος/ πλάτος είναι μεγαλύτερος από 2, τότε η φωτιά λίμνης θεωρείται ότι είναι μία επίπεδη φωτιά (π.χ. ένα τοίχος). Για περαιτέρω πληροφορίες σχετικά με την περίπτωση αυτή, προτείνεται η παραπομπή στο CPR-14E Yellow Book, (βλ. Βιβλιογραφία).

Τέλος στην περίπτωση που η φωτιά λίμνης είναι περιορισμένη (π.χ. εντός αναχώματος), η επιφάνεια, το μήκος και το πλάτος της λίμνης είναι γνωστά μεγέθη. Η ισοδύναμη διάμετρος της λίμνης υπολογίζεται τότε εύκολα από τις παραπάνω εξισώσεις.



Σχήμα 3.2.3.1: Αποτύπωση ισοδύναμης κυλινδρικής επιφάνειας σε Φωτιά λίμνης (McGrattan et.al., 2000)

Βήμα 2

Στη συνέχεια υπολογίζεται ο ρυθμός καύσης m'' του υγρού καυσίμου της λίμνης από τη σχέση:

$$m'' = c_8 \times \Delta H_c / \left(\Delta H_v + C_p \times \Delta T\right) \text{ (kg/(m}^2\text{·s))} \qquad (3.2.3.3)$$

όπου: $c_8 = 0.001 kg / \left(m^2 \cdot s\right)$ και

- ΔH_c = Θερμότητα καύσης της εύφλεκτης ουσίας στο σημείο ζέσεως, σε J/kg
- ΔH_v = Θερμότητα εξατμίσεως της εύφλεκτης ουσίας στο σημείο ζέσεως, σε J/kg
- C_p = Ειδική θερμότητα (specific heat capacity) σε σταθερή πίεση, σε J/(kg·K)
- ΔT = Διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ φλόγας και θερμοκρασίας περιβάλλοντος, σε K.

Βήμα 3

Προσδιορισμός της χαρακτηριστικής ταχύτητας του ανέμου u_c:

$$u_c = \left(g \times m'' \times D / \rho_{air}\right)^{1/3} \text{ (m/s)} \qquad (3.2.3.4)$$

όπου:

- u_c = Χαρακτηριστική ταχύτητα του ανέμου, σε m/s
- g = Επιτάχυνση της βαρύτητας 9.81 m/s^2
- m″ = Ρυθμός καύσης m″ του υγρού καυσίμου σε σταθερές καιρικές συνθήκες, σε kg/(m^2·s)
- D = Διάμετρος της λίμνης, σε m.

Βήμα 4

Προσδιορισμός της κλιμακωμένης ταχύτητας ανέμου u^*:

$$u^* = u_w / u_c \ \text{(-)} \qquad (3.2.3.5)$$

όπου: u_w = Ταχύτητα ανέμου σε ύψος 10 μέτρων, σε m/s.

Βήμα 5

Στη συνέχεια υπολογίζεται το μέσο ύψος L της φωτιάς:

$$L / D = 55 \times \left(m'' / \left(\rho_{air} \times (g \times D)^{1/2}\right)\right)^{0.67} \times \left(u^*\right)^{0.21} \ \text{(-)} \qquad (3.2.3.6)$$

όπου: L = Μέσο ύψος της φλόγας, σε m.

Βήμα 6

Στη συνέχεια υπολογίζεται ο ρυθμός εκπεμπόμενης ενέργειας (Surface Emissive Power) SEP για μία υπό κλίση φλόγα, λόγω της επίδρασης του αέρα, σύμφωνα με τα παρακάτω:

$$SEP_{\max} = \Delta H_c \times m'' \times F_s / (1 + 4 \times L / D) \ \text{(J/(m}^2\text{·s))} \qquad (3.2.3.7)$$

όπου:

- SEP_{max} = Μέγιστος ρυθμός εκπεμπόμενης ενέργειας, σε J/(m^2·s)
- F_s = κλάσμα της παραγόμενης θερμότητας που ακτινοβολείται από την επιφάνεια της φλόγας. Κυμαίνεται μεταξύ 0.1 και 0.4.
- m″ = Ρυθμός καύσης, σε kg/(m^2·s)
- ΔH_c = Θερμότητα καύσης της εύφλεκτης ουσίας στο σημείο ζέσεως, σε J/kg
- L = Μέσο ύψος της φλόγας, σε m
- D = Διάμετρος της λίμνης, σε m.

Ο ενεργός ρυθμός εκπεμπόμενης ενέργειας SEP_{act}, ο οποίος χρειάζεται να υπολογιστεί, προκύπτει ως εξής:

$$SEP_{act} = SEP_{\max} \times (1 - \varsigma) + SEP_{soot} \times \varsigma \ \text{(J/(m}^2\text{·s))} \qquad (3.2.3.8)$$

όπου:

- SEP_{act} = Ενεργός ρυθμός εκπεμπόμενης ενέργειας, σε $J/(m^2 \cdot s)$
- SEP_{soot} = Ρυθμός εκπεμπόμενης ενέργειας από την κάπνα της φλόγας, που ισούται με $20 \cdot 10^3$ $J/(m^2 \cdot s)$, και
- ς = είναι μία σταθερά που η τιμή της για προϊόντα πετρελαίου σε φωτιά λίμνης δίνεται στη βιβλιογραφία ίση με 80% (CPR-14E Yellow Book, 1997).

Βήμα 7

Κατόπιν υπολογίζεται ο συντελεστής απορρόφησης της θερμικής ακτινοβολίας από την υγρασία της ατμόσφαιρας α_w, με τον ίδιο τρόπο όπως και στην περίπτωση του BLEVE (βλ. παράγραφο 4.2.1).

Βήμα 8

Στη συνέχεια υπολογίζεται ο συντελεστής απορρόφησης της θερμικής ακτινοβολίας από το διοξείδιο του άνθρακα που υπάρχει στην ατμόσφαιρα α_c, με τον ίδιο τρόπο όπως και στην περίπτωση του BLEVE (βλ. παράγραφο 4.2.2).

Βήμα 9

Στο βήμα αυτό υπολογίζεται η ατμοσφαιρική διαπερατότητα (atmospheric transmissivity) τ_α,

$$\tau_a = 1 - \alpha_w - \alpha_c \text{ (-)} \qquad (3.2.3.9)$$

Βήμα 10

Το επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός της τιμής του view factor, F_{view}, η οποία είναι μία αδιάστατη παράμετρος που καθορίζει σε μεγάλο βαθμό το μέγεθος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στον αποδέκτη. Κατά τον υπολογισμό του F_{view} διακρίνονται τέσσερις περιπτώσεις:

1. Φωτιά λίμνης και στόχος στο ίδιο επίπεδο.
2. Φωτιά λίμνης στο έδαφος και στόχος σε ένα υπερυψωμένο επίπεδο.
3. Φωτιά λίμνης σε υπερυψωμένο επίπεδο και στόχος στο έδαφος.
4. Φωτιά λίμνης στο έδαφος και στόχος στη σκιά της φλόγας.

Στη μελέτη που πραγματοποιείται εδώ ενδιαφέρει βασικά η $1^η$ περίπτωση.

Ο υπολογισμός του $F_{view,}$ όπως πραγματοποιείται στην παρούσα εργασία για τις φωτιές λίμνης είναι αρκετά πολύπλοκος και δεν παρουσιάζεται αναλυτικά. Για περαιτέρω πληροφορίες και μία αναλυτική παρουσίαση της μοντελοποίησης για τον υπολογισμό του F_{view}, βλ. CPR-14E Yellow Book, 1997.

Βήμα 11

Τέλος μπορεί πλέον να υπολογιστεί η θερμική ακτινοβολία σε μία συγκεκριμένη απόσταση από την επιφάνεια της φωτιάς λίμνης ως εξής:

$$q'' = SEP_{act} \times F_{view} \times \tau_a \text{ (J/(m}^2\text{s))} \qquad (3.2.3.10)$$

Στον πίνακα 3.2.3.1 παρακάτω συνοψίζονται οι παράμετροι που υπεισέρχονται στον υπολογισμό της προσπίπτουσας θερμικής ακτινοβολίας σε περίπτωση Pool Fire.

Πίνακας 3.2.3.1: Παράμετροι για το φαινόμενο Pool Fire (CPR-14E Yellow book, 1997)

	Pool Fire
1	Διάμετρος λίμνης $D = (4A_p / \pi)^{1/2}$ ή $D = (4V/(\pi\delta))^{1/2}$ (m)
2	Burning rate $m'' = m_\infty'' \times \left(1 - e^{-k\times\beta\times D}\right)$ (kg/(m^2·s))
3	Χαρακτηριστική ταχύτητα ανέμου $u_c = \left(g \times m'' \times D / \rho_{air}\right)^{1/3}$ (m/s)
4	Scaled ταχύτητα ανέμου $u^* = u_w / u_c$ (-)
5	Μέσο μήκος φωτιάς $L/D = 55 \times \left(m''/\left(\rho_{air} \times (g \times D)^{1/2}\right)\right)^{0.67} \times \left(u^*\right)^{0.21}$ (-)
6	Flame tilt angle Θ $Fr_{10} = u_w^{\ 2} / (gD)$ (-) $\mathrm{Re} = u_w D / \upsilon$ (-) $\tan\Theta / \cos\Theta = 0.666 Fr_{10}^{\ 0.333}\ \mathrm{Re}^{0.117}$ (-) Αν tanΘ/cosΘ=c τότε: $\Theta = \arcsin\left(\left(\left(4c^2+1\right)^{1/2} - 1\right)/(2c)\right)$ (°)
7	Επιμήκυνση της διαμέτρου Για φωτιά κώνο $D'/D = 1.6(Fr_{10})^{0.061}$ (-) Για φωτιά κύλινδρο $D'/D = 1.5(Fr_{10})^{0.069}$ (-)
8	Surface Emissive Power $SEP_{\max} = F_s m'' \Delta H_c / (1 + 4L/D)\ SEP_{act} = SEP_{\max}(1-\varsigma) + SEP_{soot}\varsigma$ (J/(m^2·s)) Όπου ς=80% και $SEP_{soot} = 20\text{x}10^3$ (J/(m^2·s))
9	Συντελεστής απορρόφησης της θερμικής ακτινοβολίας από την υγρασία της ατμόσφαιρας α_w (Absorption factor for water vapour) $p_w = RH \times p_w^o$ (N/m^2) Το γινόμενο $p_w \times x$ είναι γνωστό και από αυτό προκύπτει το a_w.
10	Συντελεστής απορρόφησης της θερμικής ακτινοβολίας από το διοξείδιο του άνθρακα που υπάρχει στην ατμόσφαιρα α_c (Absorption coefficient for carbon-dioxide) $p_c = 30\left(N/m^2\right)$. Το γινόμενο $p_c \times x$ είναι γνωστό και από αυτό προκύπτει το a_c.
11	Ατμοσφαιρική διαπερατότητα τ_α (Atmospheric transmissivity) $\tau_a = 1 - \alpha_w - \alpha_c$ (-) ή $\tau_a = c_7 (p_w x)^{-0.09},\ c_7 = 2.02\left(N/m^2\right)^{0.09} m^{0.09}$
12	View Factor F_{view}
13	Ροή θερμότητας σε κάποια απόσταση $q'' = SEP_{act} \times F_{view} \times \tau_a$ (J/(m^2·s))

3.2.4 Συγκεντρωτικός πίνακας παραμέτρων φαινομένων BLEVE, Pool Fire και VCE

Πίνακας 3.2.4.1: Παράμετροι των φαινομένων – Συγκεντρωτικός πίνακας (CPR-14E Yellow book, 1997)

	BLEVE	Pool Fire	VCE
1	Ποσότητα εύφλεκτου καυσίμου $M = f \times V \times \rho_{mat}$ (kg)	Διάμετρος λίμνης $D = (4A_p / \pi)^{1/2}$ ή $D = (4V/(\pi\delta))^{1/2}$ (m)	Προσδιορισμός του όγκου του αερίου νέφους $V_c = Q_{ex} / (\rho \cdot c_s)$ (Pa)
2	Ακτίνα πύρινης σφαίρας $r_{fb} = c_9 \times M^{0.325}$ (m) $c_9 = 3.24 m/kg^{0.325}$	Burning rate $m'' = m_\infty'' \times \left(1 - e^{-k \times \beta \times D}\right)$ (kg/(m^2·s))	Αναγνώριση πιθανών πηγών έκρηξης
3	Διάρκεια t του BLEVE $t = c_{10} \times M^{0.26}$ (s) $c_{10} = 0.852 s/kg^{0.26}$	Χαρακτηριστική ταχύτητα ανέμου $u_c = \left(g \times m'' \times D / \rho_{air}\right)^{1/3}$ (m/s)	Προσδιορισμός περιοχών που παρεμβάλλονται από εμπόδια (obstructed regions) και του ελευθέρου χώρου αυτών V_r, $V_o = V_c - V_{gr}$ (m^3)
4	Ανύψωση της πύρινης σφαίρας $H_{bleve} = 2 \times r_{fb}$ (m)	Scaled ταχύτητα ανέμου $u^* = u_w / u_c$ (-)	Εκτίμηση της έντασης της έκρηξης (κλάση CN = 1 - 10) σε κάθε περιοχή
5	Απόσταση X από το κέντρο της πύρινης σφαίρας $\mathrm{X} = \left(x_{bleve}^2 + H_{bleve}^2\right)^{1/2}$ (m)	Μέσο μήκος φωτιάς $L/D = 55 \times \left(m'' / \left(\rho_{air} \times (g \times D)^{1/2}\right)\right)^{0.67} \times \left(u^*\right)^{0.21}$ (-)	Συνδυασμός εμποδιζόμενων περιοχών
6	View Factor $F_{view} = \left(r_{fb} / \mathrm{X}\right)^2$ (-)	Flame tilt angle Θ $Fr_{10} = u_w^{\ 2} / (gD)$ (-) $\mathrm{Re} = u_w D / \upsilon$ (-) $\tan\Theta / \cos\Theta = 0.666 Fr_{10}^{\ 0.333} \mathrm{Re}^{0.117}$ (-)	Προσδιορίζεται ένα κέντρο για τον μη εγκλωβισμένο όγκο του αερίου νέφους

	BLEVE	Pool Fire	VCE
		Αν tanΘ/cosΘ=c τότε: $\Theta = \arcsin\left(\left(\left(4c^2+1\right)^{1/2}-1\right)/(2c)\right)$ (°)	
7	Κλάσμα F_s της παραγόμενης θερμότητας που ακτινοβολείται από την πύρινη σφαίρα $F_s = c_6 \times \left(P_{sv}\right)^{0.32}$, $c_6 = 0.00325(N/m^2)^{-0.32}$	Επιμήκυνση της διαμέτρου Για φωτιά κώνο $D'/D = 1.6\left(Fr_{10}\right)^{0.061}$ (-) Για φωτιά κύλινδρο $D'/D = 1.5\left(Fr_{10}\right)^{0.069}$ (-)	Υπολογισμός της ακτίνας για κάθε πηγή έκρηξης $r_o = \left(3/2 \cdot E/\left(E_v \cdot \pi\right)\right)^{1/3}$ (m)
8	Καθαρό ποσό θερμότητας ΔΗ που είναι διαθέσιμο προς ακτινοβολία $\Delta H = \Delta H_c - \Delta H_v - C_p \Delta T$ (J/kg)	Surface Emissive Power $SEP_{\max} = F_s m'' \Delta H_c / \left(1+4L/D\right)$ $SEP_{act} = SEP_{\max}\left(1-\varsigma\right) + SEP_{soot}\varsigma$ (J/(m^2·s)) Όπου ς=80% και $SEP_{soot} = 20x10^3$ (J/(m^2·s))	Ορισμός των παραμέτρων έκρηξης $r' = r/\left(E/p_a\right)^{1/3}$ $P_s = P_s' \cdot p_a$ (Pa) $p_{dyn} = p_{dyn}' \cdot p_a$ (Pa) $t_p = t_p' \cdot \left(E/p_a\right)^{1/3}/a_a$ (s) $i_s = 1/2 \cdot P_s \cdot t_p$ (Pa·s)
9	Surface Emissive Power $SEP_{act} = \Delta H M F_s / (4\pi r_{fb}^2 t)$ (J/(m^2·s))	Absorption factor for water vapour α_w $p_w = RH \times p_w^o$ (N/m^2) Το γινόμενο $p_w \times x$ είναι γνωστό και από αυτό προκύπτει το a_w.	Σύνθεση του ιστορικού εκρήξεων μίας συγκεκριμένης τοποθεσίας
10	Μήκος μεταξύ ελεύθερης επιφάνειας πύρινης σφαίρας και στόχου $x = X - r_{fb}$ → $x = \left(x_{bleve}^2 + 4r_{fb}^2\right)^{1/2} - r_{fb}$ (m)	Absorption coefficient for carbon-dioxide α_c $p_c = 30\left(N/m^2\right)$. Το γινόμενο $p_c \times x$ είναι γνωστό και από αυτό προκύπτει το a_c.	-

	BLEVE	Pool Fire	VCE
11	Absorption factor for water vapour α_w $p_w = RH \times p_w^o$ (N/m^2) Το γινόμενο $p_w \times x$ είναι γνωστό και από αυτό προκύπτει το a_w.	Ατμοσφαιρική διαπερατότητα τ_α (Atmospheric transmissivity) $\tau_a = 1 - \alpha_w - \alpha_c$ (-) ή $\tau_a = c_7 (p_w x)^{-0.09}$, $c_7 = 2.02 (N/m^2)^{0.09} m^{0.09}$	-
12	Absorption coefficient for carbon-dioxide α_c $p_c = 30 (N/m^2)$. Το γινόμενο $p_c \times x$ είναι γνωστό και από αυτό προκύπτει το a_c.	View Factor F_{view}	-
13	Atmospheric transmissivity τ_α $\tau_a = 1 - \alpha_w - \alpha_c$ (-) ή $\tau_a = c_7 (p_w x)^{-0.09}$, $c_7 = 2.02 (N/m^2)^{0.09} m^{0.09}$	Ροή θερμότητας σε κάποια απόσταση $q'' = SEP_{act} \times F_{view} \times \tau_a$ (J/(m^2·s))	-
14	Ροή θερμότητας σε κάποια απόσταση $q'' = SEP_{act} \times F_{view} \times \tau_a$ (J/(m^2·s))	-	-

3.3 Επιπτώσεις – Ζώνες Επιπτώσεων και Όρια Επικινδυνότητας

Στην παρούσα εργασία ακολουθούνται τα προτεινόμενα από το ΥΠΕΧΩΔΕ όρια για Ζώνες Επιπτώσεων από ΒΑΜΕ όπως προτάθηκε κατά την σύνταξη του Σχεδίου Αντιμετώπισης Τεχνολογικών Ατυχημάτων Μεγάλης Έκτασης (ΣΑΤΑΜΕ) του Θριασίου Πεδίου στην Δυτική Αττική (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2000).

3.3.1 Επιπτώσεις από θερμική ακτινοβολία

Οι επιπτώσεις της θερμικής ακτινοβολίας στον άνθρωπο είναι συνάρτηση της λαμβανόμενης δόσης θερμικής ακτινοβολίας, η οποία υπολογίζεται από την ένταση θερμικής ακτινοβολίας και από το χρόνο έκθεσης του αποδέκτη (άνθρωπος) και εκφράζεται σε TDU (1 TDU=1 $(KW/m^2)^{4/3}$ s). Η δόση υπολογίζεται για ακίνητο ή κινούμενο παρατηρητή και στην τελευταία περίπτωση η ένταση μεταβάλλεται με την απόσταση (Παπαδάκης, 2007).

Στον πίνακα 3.3.1.1 που ακολουθεί δίδονται οι οριακές τιμές επιπτώσεων από θερμική ακτινοβολία. Η δόση έχει θεωρηθεί για ακτινοβολία που διαρκεί 40 δευτερόλεπτα.

Πίνακας 3.3.1.1: Όρια επιπτώσεων θερμικής ακτινοβολίας

ΖΩΝΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ	**Δόση (TDU)**	**Ένταση ακτινοβολίας (KW/m^2)**	**Ένταση ακτινοβολίας (KW/m^2)**
Εγκαύματα γ' βαθμού σε ποσοστό πάνω από 50 % **ΖΩΝΗ Ι** **(ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΚΑΤΑΣΤΟΛΗΣ)**	1500	15	$q = 241/t^{3/4}$
Εγκαύματα γ' βαθμού στο 1% του πληθυσμού **ΖΩΝΗ ΙΙ** **(ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ – ΣΟΒΑΡΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ)**	450	6	$q = 97.7/t^{3/4}$
Εγκαύματα α' βαθμού σε σημαντικό μέρος πληθυσμού **ΖΩΝΗ ΙΙΙ** **(ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ – ΜΕΤΡΙΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ)**	170	3	$q = 47.1/t^{3/4}$

Στον πίνακα 3.3.1.2 δίδονται οι συνέπειες για διάφορες τιμές της θερμικής ακτινοβολίας.

Πίνακας 3.3.1.2: Συνέπειες θερμικής ακτινοβολίας

Ένταση Ακτινοβολίας (KW/m^2)	**Παρατηρούμενη συνέπεια**
37.5	Επαρκής για να προκαλέσει βλάβη στον εξοπλισμό λειτουργίας
25	Ελάχιστη απαιτούμενη ενέργεια για την ανάφλεξη ξύλου σε αόριστα διαρκείς εκθέσεις (μη κατευθυνόμενη)
12.5	Ελάχιστη απαιτούμενη ενέργεια για την κατευθυνόμενη ανάφλεξη ξύλου, την τήξη πλαστικών σωλήνων
9.5	Πρόθυρα πόνου μετά από 8 δευτερόλεπτα, εγκαύματα δευτέρου βαθμού μετά από 20 δευτ.
4	Επαρκής για να προκαλέσει πόνο στο προσωπικό εάν δεν καταφέρει να προφυλαχθεί εντός 20 δευτ. Πιθανές φλύκταινες του δέρματος (έγκαυμα 2ου βαθμού). 0% θνησιμότητα
1.6	Δε θα προκαλέσει ανησυχία μετά από διαρκή έκθεση

3.3.2 Επιπτώσεις από ωστικό κύμα

Οι επιδράσεις στον ανθρώπινο οργανισμό ωστικού κύματος από έκρηξη εκρηκτικών αερίων, είναι οι ακόλουθες:

Άμεσες επιδράσεις: στις άμεσες επιδράσεις της έκρηξης περιλαμβάνονται ο τραυματισμός των πνευμόνων και η διάρρηξη του ακουστικού τύμπανου.

Επιδράσεις λόγω μετατόπισης: λόγω του ωστικού κύματος ένα άτομο μπορεί να εκτιναχθεί σε σχετικά μεγάλη απόσταση και να τραυματιστεί σοβαρά κατά την πτώση του ή από πρόσκρουση σε διάφορα αντικείμενα.

Επιδράσεις από θραύσματα: κατά τη διάρκεια έκρηξης διάφορα αντικείμενα, όπως κομμάτια μετάλλων, γυαλιού, σκυροδέματος, εκτινάσσονται σε σχετικά μεγάλες αποστάσεις. Τα θραύσματα αυτά μπορεί να τραυματίσουν ή ακόμη και να θανατώσουν ένα άτομο. Για τη μελέτη των επιδράσεων από θραύσματα υπάρχουν δύο κατηγορίες θραυσμάτων: εκείνα που είναι αιχμηρά (fragments), όπως τα κομμάτια μετάλλου και γυαλιού και εκείνα που δεν είναι (debris), όπως τα κομμάτια από σκυρόδεμα.

Επιδράσεις από καταρρεύσεις: ένα κτίριο είναι δυνατόν να καταρρεύσει από μια έκρηξη κατά πολύ ασθενέστερη από εκείνη που απαιτείται για να υπάρξουν άμεσες

επιδράσεις στον ανθρώπινο οργανισμό. Τα άτομα που βρίσκονται μέσα στο κτίριο υπό κατάρρευση μπορεί να τραυματιστούν σοβαρά.

Ένα από τα κύρια αποτελέσματα μιας έκρηξης είναι το ωστικό κύμα το οποίο προκαλείται από την απότομη αύξηση της πίεσης και κινείται από το κέντρο της έκρηξης με μια δεδομένη ταχύτητα. Στον πίνακα που ακολουθεί δίδονται οι οριακές τιμές των επιπτώσεων από υπερπίεση.

Πίνακας 3.3.2.1: Οριακές τιμές υπερπίεσης

ΖΩΝΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ	**Υπερπίεση (mbar)**
Σοβαρές και μη επισκευάσιμες ζημιές στο φέροντα οργανισμό και τους τοίχους κτιρίων **ΖΩΝΗ Ι** **(ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΚΑΤΑΣΤΟΛΗΣ)**	350
Ζημιές στο φέροντα οργανισμό και σε εξωτερικούς ή εσωτερικούς τοίχους **ΖΩΝΗ ΙΙ** **(ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ – ΣΟΒΑΡΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ)**	140
Ζημιές σε πόρτες και παράθυρα, ελαφρές ρηγματώσεις σε τοίχους **ΖΩΝΗ ΙΙΙ** **(ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ – ΜΕΤΡΙΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ)**	50

Τέλος στον πίνακα 3.3.2.2, δίδονται οι εκτιμώμενες επιπτώσεις για διάφορες τιμές αναπτυσσόμενης υπερπίεσης.

Πίνακας 3.3.2.2: Συνέπειες από υπερπίεση

Υπερπίεση (psi)	**Αναμενόμενες ζημιές**
0.03	Τυχαία θραύση μεγάλων ήδη καταπονημένων παραθύρων
0.04	Ισχυρός θόρυβος (143dB)
0.10	Θραύση μικρών καταπονημένων παραθύρων

0.15	Τυπική πίεση για ζημιά τζαμιών
0.30	Μερικές ζημιές σε στέγες σπιτιών, θραύση του 10% των τζαμιών
0.40	Περιορισμένη μικρή ζημιά στη δομή
0.50-1.0	Ράγισμα τζαμιών, ζημιές κουφωμάτων παραθύρων
0.7	Μικρές ζημιές στη δομή σπιτιών
1.0	Μερική κατάρρευση σπιτιών, γίνονται μη κατοικήσιμα
1.0-2.0	Κατάρρευση και λύγισμα των αυλακωτών μεταλλικών χωρισμάτων
1.0-8.0	Ελαφροί ως σοβαροί τραυματισμοί λόγω πληγών του δέρματος από ιπτάμενα γυαλιά και άλλα αντικείμενα
1.3	Ελαφριά παραμόρφωση των αλουμινένιων πλαισίων των επενδυμένων κτιρίων
2.0	Μερική κατάρρευση τοίχων και οροφών σπιτιών
2.0-3.0	Ράγισμα
2.3	Χαμηλό όριο σοβαρών δομικών ζημιών
2.4-12.2	Ποσοστό 1-90% ρήξης του ακουστικού τυμπάνου μεταξύ του πληθυσμού που εκτίθεται
2.5	50% καταστροφή των τούβλων των σπιτιών
3.0	Παραμόρφωση του ατσάλινου σκελετού του κτιρίου και απομάκρυνση του από τα θεμέλια
3.0-4.0	Καταστροφή των ατσάλινων χωρισμάτων
4.0	Καταστροφή της επένδυσης ελαφρών βιομηχανικών κτιρίων
5.0-7.0	Σχεδόν ολική καταστροφή σπιτιών
7.0	Αναποδογύρισμα φορτωμένων τρένων
9.0	Συντριβή φορτωμένων βαγονιών τρένων
10.0	Πιθανή ολική καταστροφή κτιρίου
15.5-29.0	Ποσοστό 1-99% θνησιμότητας μεταξύ του πληθυσμού που έχει εκτεθεί λόγω άμεσων συνεπειών φλυκταινών

3.3.3 Εκτίμηση Πολλαπλασιαστικών Φαινομένων (Domino)

Ορίζονται ως ΠΡΩΤΟΓΕΝΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ αυτά που μπορεί να εκδηλωθούν στην εγκατάσταση και να δημιουργήσουν επιπτώσεις (καταστροφικές αστοχίες) σε γειτονικούς εξοπλισμούς της ίδιας της εγκατάστασης ή σε εξοπλισμούς γειτονικών εγκαταστάσεων (ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΗ ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ).

Κατ' αντιστοιχία ορίζονται ως ΠΡΩΤΟΓΕΝΗ ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ αυτά που μπορεί να εκδηλωθούν σε γειτονικές προς την εγκατάσταση βιομηχανικές μονάδες και να δημιουργήσουν επιπτώσεις (καταστροφικές αστοχίες) στους εξοπλισμούς της ίδιας της εγκατάστασης (ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΗ ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ).

Ακτίνα πολλαπλασιαστικών επιπτώσεων θεωρείται η απόσταση από το σημείο του ατυχήματος μέχρι το σημείο που αντιστοιχεί σε χαρακτηριστική τιμή θερμικής ακτινοβολίας ή υπερπίεσης, που είναι δυνατό να προκαλέσει σοβαρή ζημιά σε εξοπλισμό και κατά συνέπεια, δευτερογενές ατύχημα (Παπαδάκης, 2007).

Ζημιές σε εξοπλισμό

Θερμική ακτινοβολία**.** Η παραγόμενη θερμική ακτινοβολία κατά τη διάρκεια ενός ατυχήματος μπορεί να προκαλέσει σημαντικές ζημιές στον εξοπλισμό βιομηχανικών μονάδων. Το μέγεθος της ζημιάς εξαρτάται από την ένταση της θερμικής ακτινοβολίας, τη διάρκεια της έκθεσης, το υλικό (είδος υλικού, σύσταση και πάχος επιφάνειας, θέση και γεωμετρία), την ύπαρξη πρωτογενών πηγών ακτινοβολίας σε επαφή ή μη με την επιφάνεια του υλικού, καθώς και συστημάτων προστασίας (καταιονισμός).

Το AIChE[1] θεωρεί θερμική ακτινοβολία 37.5 kW/m^2 ως το όριο πρόκλησης σοβαρών ζημιών σε εξοπλισμό βιομηχανικών μονάδων (η αντίστοιχη τιμή για κτίρια είναι 12.5 kW/m^2). Ως εμπειρικός κανόνας, αναφέρεται ότι εύφλεκτα υλικά σε βιομηχανικές μονάδες θα υποστούν σοβαρές ζημιές μετά από έκθεση 1000 s στην ανωτέρω θερμική ακτινοβολία. Το TNO (CPR-16E Green Book, 1992) περιγράφει τις ζημιές από θερμική ακτινοβολία με βάση τη συμπεριφορά διαφόρων αντιπροσωπευτικών υλικών (ξύλο, συνθετικά υλικά, γυαλί, και χάλυβας). Σε ότι αφορά το χάλυβα, αύξηση της θερμοκρασίας λόγω της προσπίπτουσας θερμικής ακτινοβολίας μπορεί να προκαλέσει ταχεία μείωση της αντοχής του υλικού και επομένως, αστοχία δομικών στοιχείων. Διακρίνονται δύο επίπεδα ζημιών, το επίπεδο 1 που αφορά σε πλήρη διάρρηξη και το επίπεδο 2 που αφορά σε απλή παραμόρφωση των δομικών στοιχείων. Η κρίσιμη τιμή θερμικής ακτινοβολίας για την πρόκληση ζημιών επιπέδου 1 είναι 100 kW/m^2 (όπως υπολογίζεται με βάση θερμοκρασία αστοχίας του χάλυβα 500 °C). Η κρίσιμη τιμή θερμικής ακτινοβολίας για την πρόκληση ζημιών επιπέδου 2 είναι 25 kW/m^2

[1] "Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapour Cloud Explosions, Flash Fires, and BLEVEs", Center for Chemical Process Safety, AIChE, 1994

(θερμοκρασία παραμόρφωσης χάλυβα 200°C). Γενικά, οι τιμές αυτές αναφέρονται σε εκθέσεις διάρκειας 15-20 min, αλλά μπορεί να ισχύουν και για φαινόμενα μικρότερης διάρκειας (εξαρτάται από τη γεωμετρία και τη θέση του στοιχείου). Συγκριτικά αναφέρεται ότι οι κρίσιμες τιμές θερμικής ακτινοβολίας για ζημιές επιπέδου 1 σε ξύλο και γυαλί είναι 15 kW/m^2 και 4 kW/m^2, αντίστοιχα, ενώ η μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία είναι 1 kW/m^2 (Διυλιστήριο, 2007).

Υπερπίεση. Οι επιπτώσεις μιας έκρηξης σε βιομηχανικό εξοπλισμό μπορούν να εκτιμηθούν σε σχέση με την αναπτυσσόμενη υπερπίεση, ως ακολούθως (CPR-14E Yellow Book, 1997):

- Καταστροφή της κατασκευής στήριξης σφαιρικής δεξαμενής 100 kPa
- Μετακίνηση κυλινδρικής δεξαμενής, αστοχία σωληνώσεων σύνδεσης 50 –100 kPa
- Ζημιά σε αποστακτική στήλη 35 – 80 kPa
- Καταστροφή γέφυρας σωληνογραμμών 40 – 55 kPa
- Ρήγμα σε κενή δεξαμενή πετρελαίου 20 –30 kPa
- Καταστροφή οροφής δεξαμενής 7 kPa

Συγκριτικά, σε ότι αφορά κτίρια, υπερπίεση 70-83 kPa θεωρείται ότι προκαλεί ολική καταστροφή, υπερπίεση 35-50 kPa προκαλεί μερική καταστροφή, υπερπίεση 15-20 kPa προκαλεί σοβαρές αλλά επισκευάσιμες ζημιές, και υπερπίεση 3.5-5 kPa προκαλεί μικρές ζημιές (σπάσιμο παραθύρων, μικρά ρήγματα στους τοίχους). Τα όρια πολλαπλασιαστικών επιπτώσεων από διαφυγή LPG υπολογίζονται με βάση τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά καθενός φαινομένου και τις πιθανές ζημιές σε εξοπλισμό:

Πύρινη σφαίρα (Fireball)

Το φαινόμενο της πύρινης σφαίρας μπορεί να προκληθεί από εκτεταμένη διαρροή υγρού LPG, εάν συμβεί ακαριαία ανάφλεξη. Η φωτιά διαδίδεται ως σφαίρα που μεγαλώνει και κινείται προς τα πάνω λόγω ανώσεως. Η χρονική διάρκεια μιας τέτοιας φωτιάς είναι μικρή (<40 sec), τα επίπεδα ακτινοβολίας όμως είναι εξαιρετικά υψηλά. Σύμφωνα με το TNO (CPR-14E Yellow Book, 1997), το επίπεδο ακτινοβολίας στα όρια της σφαίρας μπορεί να φτάσει τα 200 kW/m^2. **Η ακτίνα της πύρινης σφαίρας θεωρείται ως η ακτίνα πολλαπλασιαστικών επιπτώσεων:** εντός των ορίων της σφαίρας μπορεί να συμβούν σημαντικές καταστροφές εξοπλισμού και κτιρίων. Εκτός των ορίων της σφαίρας, ο κίνδυνος αφορά κυρίως τους ανθρώπους λόγω πιθανών τραυματισμών από τη θερμική ακτινοβολία.

Φωτιά λίμνης υγραερίου (LPG Pool Fire)

Οι επιπτώσεις από φωτιά λίμνης LPG είναι σημαντικά μικρότερες από αυτές της πύρινης σφαίρας. Το επίπεδο ακτινοβολίας στην επιφάνεια της φλόγας είναι της τάξης των 100

kW/m^2 . **Η ακτίνα πολλαπλασιαστικών επιπτώσεων θεωρείται η απόσταση από το κέντρο της λίμνης ως το σημείο του κύκλου που αντιστοιχεί σε τιμή θερμικής ακτινοβολίας 37.5 kW/m^2.**

Γλώσσα φωτιάς (Jet Fire)

Οι ζώνες κινδύνου από φωτιά τύπου jet είναι μικρές και αφορούν κυρίως σε γειτονικό εξοπλισμό που έρχεται σε επαφή με τη γυμνή φλόγα και κατά συνέπεια εκτίθεται σε πολύ υψηλά θερμικά φορτία τα οποία μπορεί να ξεπερνούν την δυναμικότητα των συστημάτων καταιονισμού νερού. **Το μήκος της φλόγας θεωρείται ως η ακτίνα πρόκλησης πολλαπλασιαστικών φαινομένων**.

Φωτιά από ανάφλεξη αερίου νέφους (flash fire) – κατάκαυση

Εκτεταμένη διαρροή και διασπορά υγραερίου μπορεί, αν αναφλεγεί, να οδηγήσει σε φωτιά αερίου νέφους ή έκρηξη. Σε περίπτωση φωτιάς, αυτή θα καλύψει το τμήμα του νέφους που βρίσκεται εντός των ορίων αναφλεξιμότητας και θα επιστρέψει ταχύτατα στην πηγή της διαρροής. Εντός του καιόμενου νέφους υπάρχει κίνδυνος ανάφλεξης εξοπλισμού. Ωστόσο, ο κίνδυνος πρόκλησης πολλαπλασιαστικών φαινομένων είναι μικρός λόγω της μικρής χρονικής διάρκειας του φαινομένου.

Έκρηξη αερίου νέφους (unconfined vapour cloud explosion)

Εκτεταμένη διαρροή, διασπορά και καθυστερημένη ανάφλεξη υγραερίου μπορεί να οδηγήσει σε έκρηξη αερίου νέφους. Οι ζώνες κινδύνου προσδιορίζονται από την υπερπίεση που δημιουργεί η έκρηξη και την απόσταση από το κέντρο του αερίου νέφους, δηλαδή την πηγή του ωστικού κύματος. **Υπερπίεση ίση με 700 mbar μπορεί να προκαλέσει σοβαρές ζημιές σε βαρύ εξοπλισμό και θεωρείται ως το όριο πρόκλησης πολλαπλασιαστικών φαινομένων**. Ωστόσο, για την πρόκληση έκρηξης απαιτούνται συνήθως σημαντικές ποσότητες αερίου (> 1000 Kg) και κάποια μορφή εγκλωβισμού του νέφους, όπως σε μονάδες με πυκνά δομημένο εξοπλισμό σε μικρή επιφάνεια ή εντός συσκευής για confined VCE, ή εντός κτιρίου. Τα ανωτέρω παρουσιάζονται στον πίνακα 3.3.3.1 που ακολουθεί.

Πίνακας 3.3.3.1: Ακτίνες πρόκλησης πολλαπλασιαστικών φαινομένων λόγω θερμικής ακτινοβολίας και υπερπίεσης

Θερμική ακτινοβολία (KW/m^2)	**Περιγραφή επιπτώσεων**	**Σχόλια**
BLEVE Ακτίνα πύρινης σφαίρας	Σημαντικές καταστροφές εξοπλισμού και κτιρίων, και θανατηφόροι τραυματισμοί	Ακτίνα πρόκλησης πολλαπλασιαστικών φαινομένων σε περίπτωση πύρινης σφαίρας

Jet Fire Μήκος φλόγας	Πρόκληση σοβαρών ζημιών σε εξοπλισμό που προσπίπτει η φλόγα	Ακτίνα πρόκλησης πολλαπλασιαστικών φαινομένων σε περίπτωση γλώσσας φωτιάς
Pool Fire 37.5	Πρόκληση σοβαρών ζημιών σε εξοπλισμό σε παρατεταμένη έκθεση	Ακτίνα πρόκλησης πολλαπλασιαστικών φαινομένων σε περίπτωση φωτιάς λίμνης
Υπερπίεση (mbar)	**Περιγραφή επιπτώσεων**	**Σχόλια**
VCE - UVCE 700	Πιθανή ολική καταστροφή κτιρίων και σοβαρές ζημιές σε βαρύ εξοπλισμό	Ακτίνα πρόκλησης πολλαπλασιαστικών φαινομένων

Στην παρούσα εργασία δεν εξετάζονται πολλαπλασιαστικά φαινόμενα (Domino) λόγω θερμικής ακτινοβολίας και υπερπίεσης λόγω του ότι εξετάζονται επιπτώσεις στον άνθρωπο από μικρότερης έντασης θερμικές ροές και υπερπιέσεις. Οι επιπτώσεις σε κατασκευές και κτίρια δεν εξετάζονται στην παρούσα μελέτη.

4° ΚΕΦΑΛΑΙΟ

Ανάλυση Ευαισθησίας Παραμέτρων Επικινδυνότητας

4.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται το ουσιαστικό αντικείμενο της παρούσας ερευνητικής εργασίας, που είναι η ανάλυση ευαισθησίας των παραμέτρων επικινδυνότητας που χαρακτηρίζουν τα διάφορα είδη ατυχημάτων (BLEVE, VCE, Pool Fire), ώστε να διερευνηθεί η σημαντικότητά των παραμέτρων αυτών στη διακύμανση της συνολικής Επικινδυνότητας. Για το σκοπό αυτό θα υιοθετηθεί προσέγγιση ομαδοποίησης σταθερών παραμέτρων ανάλογα με τον τύπο του φαινομένου όπως ακολουθείται στην ποσοτικοποιημένη εκτίμηση επικινδυνότητας από ατυχήματα (QRA).

Στόχος της ανάλυσης αυτής είναι να διερευνηθεί το κατά πόσο είναι δυνατό να μεταβληθεί το εύρος των Ζωνών Επιπτώσεων του κάθε ατυχηματικού φαινομένου (BLEVE, κτλ.), όταν μεταβληθούν οι τιμές στις διάφορες παραμέτρους από τις οποίες εξαρτάται ο υπολογισμός των Επιπτώσεων του φαινομένου.

4.2 Υπολογισμός των συντελεστών απορρόφησης της θερμικής ακτινοβολίας α_w και α_c

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο τρόπος υπολογισμού των συντελεστών απορρόφησης της θερμικής ακτινοβολίας από την υγρασία και το διοξείδιο του άνθρακα του αέρα, όπως μοντελοποιήθηκαν στην παρούσα ερευνητική εργασία.

4.2.1 Υπολογισμός του συντελεστή απορρόφησης της θερμικής ακτινοβολίας από την υγρασία του αέρα (absorption factor for water vapour α_w)

Στη παράγραφο αυτή παρουσιάζεται ο τρόπος υπολογισμού του συντελεστή απορρόφησης της θερμικής ακτινοβολίας από την υγρασία της ατμόσφαιρας α_w. Ο υπολογισμός αυτός είναι μία κάπως πολύπλοκη διαδικασία η οποία παρουσιάζεται στη συνέχεια.

Αρχικά χρειάζεται να υπολογιστεί η μερική τάση ατμών του νερού p_w από τη σχέση:

$$p_w = RH \times p_w^o \text{ (N/m}^2\text{)} \qquad (4.2.1.1)$$

όπου:

- RH = η σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας, σε %
- p_w^o = η κορεσμένη τάση ατμών του νερού στην ατμόσφαιρα, σε N/m^2.

Από βιβλιογραφικά δεδομένα μεταβολής της p_w^o σε σχέση με την θερμοκρασία περιβάλλοντος T_α και μετεωρολογικά στοιχεία για την RH και την T_α από την περιοχή μελέτης, τα οποία παρουσιάζονται αντίστοιχα στους πίνακες 4.2.1.1 και 4.2.1.2, (οι αντίστοιχες καμπύλες παρουσιάζονται στα σχήματα 4.2.1.1 και 4.2.1.2), προέκυψαν οι παρακάτω σχέσεις:

$$p_w^o = 4 \cdot 10^{-5} \cdot e^{0.061 \cdot T_\alpha} \qquad (4.2.1.2)$$

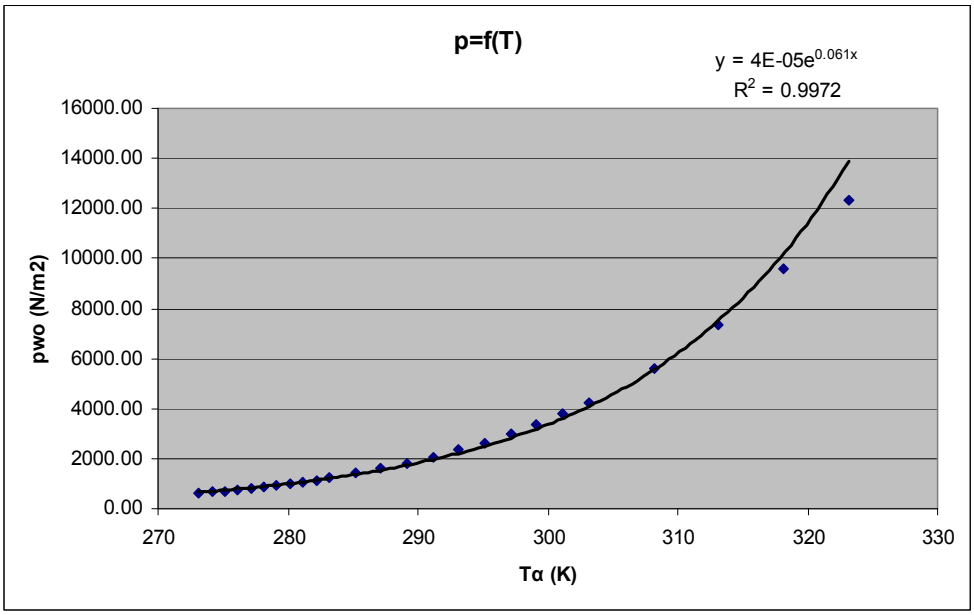
$$RH = 3268.35 \cdot e^{-0.0297 \cdot T_\alpha} \qquad (4.2.1.3)$$

Ο τρόπος υπολογισμού των παραπάνω σχέσεων παρουσιάζεται στη συνέχεια.

- Για την καμπύλη $p_w^o = f(T_\alpha)$ είναι:

Πίνακας 4.2.1.1: Δεδομένα για την καμπύλη $p_w^o = f(T_\alpha)$

T_α (°C)	T_α (K)	p_w^o (N/m^2)
0	273.16	610.76
1	274.16	656.45
2	275.16	705.39
3	276.16	757.36
4	277.16	812.87
5	278.16	871.81
6	279.16	934.57
7	280.16	1001.25
8	281.16	1072.06
9	282.16	1147.27
10	283.16	1227.10
12	285.16	1401.46
14	287.16	1597.40
16	289.16	1790.39
18	291.16	2062.33
20	293.16	2336.91
22	295.16	2641.90
24	297.16	2982.19
26	299.16	3359.74
28	301.16	3778.48
30	303.16	4241.35
35	308.16	5622.12
40	313.16	7374.56
45	318.16	9601.64
50	323.16	12334.74



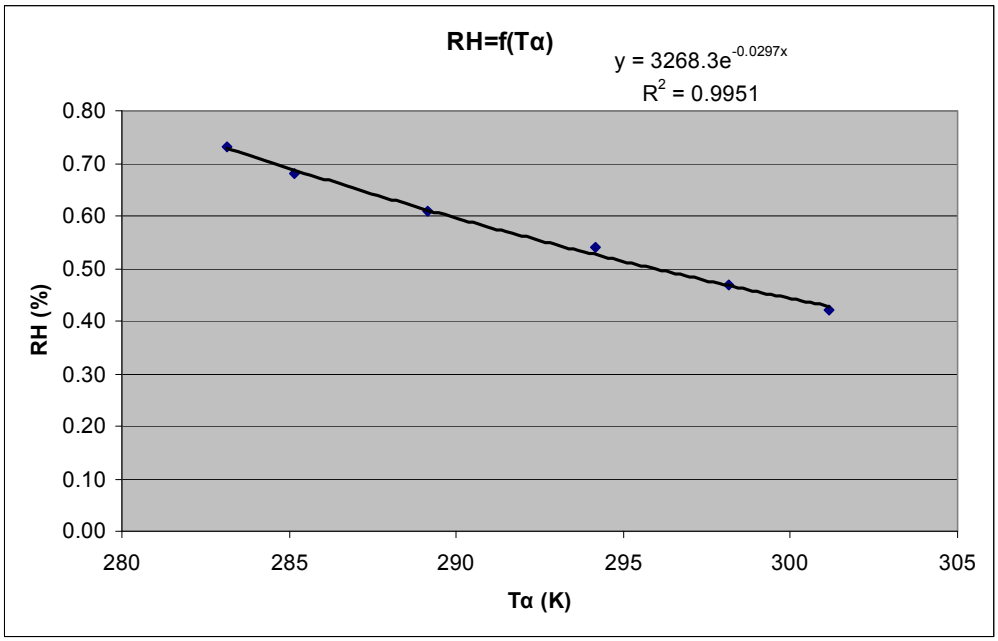
Σχήμα 4.2.1.1: Καμπύλη $p_w^o=f(T_\alpha)$

Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί ότι στην ανάλυση που πραγματοποιείται στην παρούσα εργασία έχει γίνει η παραδοχή ότι η καμπύλη $p_w^o=f(T_\alpha)$ του σχήματος 4.2.1.1 ισχύει και στους -5 °C, (υπάρχει κάποια μικρή διαφοροποίηση στις τιμές που προκύπτουν για το p_w^o σε αυτήν την θερμοκρασία στην πραγματικότητα). Η θερμοκρασία -5 °C έχει χρησιμοποιηθεί στην ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρων επικινδυνότητας στα φαινόμενα BLEVE και Pool Fire, αφού έχει θεωρηθεί ως η ελάχιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος που παρατηρείται στην περιοχή μελέτης.

- Για την καμπύλη $RH=f(T_\alpha)$ είναι:

Πίνακας 4.2.1.2: Δεδομένα για την καμπύλη $RH=f(T_\alpha)$ (ΕΜΥ, 2007)

T_α (°C)	T_α (K)	RH
10	283.16	0.73
12	285.16	0.68
16	289.16	0.61
21	294.16	0.54
25	298.16	0.47
28	301.16	0.42



Σχήμα 4.2.1.2: Καμπύλη RH=f(T_α)

Για την καμπύλη RH=f(T_α) είναι επίσης σκόπιμο να αναφερθεί ότι η διακύμανση (R^2=0,9951<1) που υπάρχει από την παρεμβολή των σημείων, που προκύπτουν από τα δεδομένα του πίνακα 4.2.1.2, έχει συμπεριληφθεί στην ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρων επικινδυνότητας που πραγματοποιήθηκε για τα φαινόμενα BLEVE και POOL FIRE, στην οποία έγινε χρήση της παραπάνω καμπύλης. Επιπλέον βάσει των δεδομένων για την RH και την T_α από τα μετεωρολογικά στοιχεία για την περιοχή μελέτης, έχει πραγματοποιηθεί η υπόθεση ότι η RH μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα με την T_α. Κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί ότι τα δεδομένα αυτά αποτυπώνουν μία μέση κατάσταση της περιοχής της μελέτης. Με βάση την υπόθεση αυτή δεν έχει συμπεριληφθεί στην παρούσα ανάλυση η περίπτωση όπου υπάρχει υψηλή RH και υψηλή T_α, ή χαμηλή RH και χαμηλή T_α, περιπτώσεις οι οποίες είναι αρκετά πιθανό να εκδηλωθούν.

Από την εξίσωση (4.2.1.1) σε συνδυασμό με τις (4.2.1.2) και (4.2.1.3) προκύπτει:

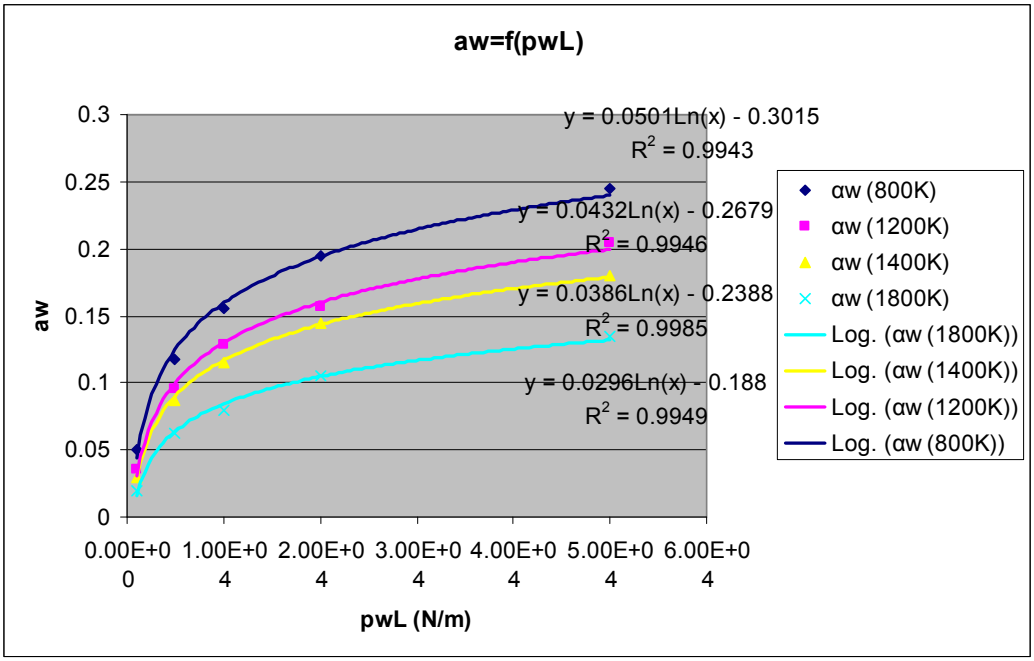
$$p_w = 0.1307 \cdot e^{0.0313 \cdot T_\alpha} \qquad (4.2.1.4)$$

Από βιβλιογραφικά δεδομένα (CPR-14E Yellow Book, 1997), τα οποία παρουσιάζονται στον πίνακα 4.2.1.3 για το α_w συναρτήσει του γινομένου $p_w \cdot L$ και της θερμοκρασίας της φλόγας T_f, προκύπτουν οι καμπύλες του σχήματος 4.2.1.3. Στη βιβλιογραφία υπάρχουν «fixed» τιμές για το $p_w \cdot L$ και το α_w (L η απόσταση από την επιφάνεια της φλόγας ως τον αποδέκτη στον οποίο προσπίπτει η ακτινοβολία).

Στον πίνακα 4.2.1.3 υπολογίζεται η παράμετρος α_w για τυπικές τιμές $p_w \cdot L$ από 10^3 έως $5 \cdot 10^4$ και εύρος θερμοκρασίας φλόγας T_f = 800 - 1800 K.

Πίνακας 4.2.1.3: Δεδομένα για την καμπύλη $\alpha_w = f(p_w \cdot L)$

T_f (K)	α_w ($p_wL=10^3$)	α_w ($p_wL=5x10^3$)	α_w ($p_wL=10^4$)	α_w ($p_wL=2x10^4$)	α_w ($p_wL=5x10^4$)
800	0.05	0.118	0.155	0.195	0.245
1200	0.035	0.095	0.128	0.157	0.205
1400	0.03	0.087	0.115	0.145	0.18
1800	0.019	0.062	0.08	0.105	0.135



Σχήμα 4.2.1.3: Καμπύλη $\alpha_w = f(p_w \cdot L)$

Από τις προσεγγιστικές εξισώσεις του σχήματος 4.2.1.3 σε συνδυασμό με τη συνάρτηση $p_w(T_\alpha)$ (σχέση 4.2.1.4) προκύπτει η αναγωγή για το α_w ως προς T_α και x, για 4 διαφορετικές θερμοκρασίες φλόγας T_f. Οι εξισώσεις που προκύπτουν, σύμφωνα με τις οποίες μπορεί να υπολογιστεί το α_w, είναι συναρτήσεις της θερμοκρασίας περιβάλλοντος T_α και της απόστασης x, από την επιφάνεια της φλόγας ως τον αποδέκτη στον οποίο προσπίπτει η ακτινοβολία.

Για λόγους απλότητας και αποφυγής επαναλήψεων παρουσιάζονται αναλυτικά οι εξισώσεις και κάποια σχόλια σχετικά με αυτές, μόνο για την θερμοκρασία T_f = 800K, ενώ όλες οι εξισώσεις για τις 4 διαφορετικές θερμοκρασίες φλόγας T_f παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον πίνακα 4.2.1.4 παρακάτω.

Για T_f = 800 K από το σχήμα 4.2.1.3, προκύπτει:

$$a_w = 0.050 \cdot \ln\left(0.1307 \cdot e^{0.0313 \cdot T_\alpha} \cdot x\right) - 0.3015 \quad \rightarrow$$

$$a_w = 0.00157 \cdot T_\alpha + 0{,}050 \cdot \ln x - 0.403 \,(-) \qquad (4.2.1.5)$$

Οι μερικές παράγωγοι ως προς T_α και x είναι:

$$\frac{\partial a_w}{\partial T_a} = 0.00157 \qquad (4.2.1.6)$$

$$\frac{\partial a_w}{\partial x} = 0.050 \cdot \frac{1}{x} \qquad (4.2.1.7)$$

Οι εξισώσεις 4.2.1.6 και 4.2.1.7 δείχνουν τη μεταβολή του συντελεστή α_w σε σχέση με την θερμοκρασία περιβάλλοντας T_α και την απόσταση x, αντίστοιχα. Από την 4.2.1.6 φαίνεται ότι ο συντελεστής α_w μεταβάλλεται σταθερά ως προς την θερμοκρασία, ενώ από την 4.2.1.7 φαίνεται ότι ο συντελεστής α_w μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα με την απόσταση από την επιφάνεια της φλόγας.

Πίνακας 4.2.1.4: Συγκεντρωτική παρουσίαση εξισώσεων για το α_w

T_f (K)	a_w	$\frac{\partial a_w}{\partial T_a}$	$\frac{\partial a_w}{\partial x}$
800	$0.00157 \cdot T_\alpha + 0{,}050 \cdot \ln x - 0.403$	0.00157	$0.050 \cdot \frac{1}{x}$
1200	$0.00135 \cdot T_\alpha + 0{,}0432 \cdot \ln x - 0.356$	0.00135	$0.0432 \cdot \frac{1}{x}$
1400	$0.00121 \cdot T_\alpha + 0{,}0386 \cdot \ln x - 0.317$	0.00121	$0.0386 \cdot \frac{1}{x}$
1800	$0.00093 \cdot T_\alpha + 0{,}0296 \cdot \ln x - 0.248$	0.00093	$0.0296 \cdot \frac{1}{x}$

4.2.2 Υπολογισμός του συντελεστή απορρόφησης της θερμικής ακτινοβολίας από το διοξείδιο του άνθρακα του αέρα (absorption coefficient for carbon-dioxide α_c)

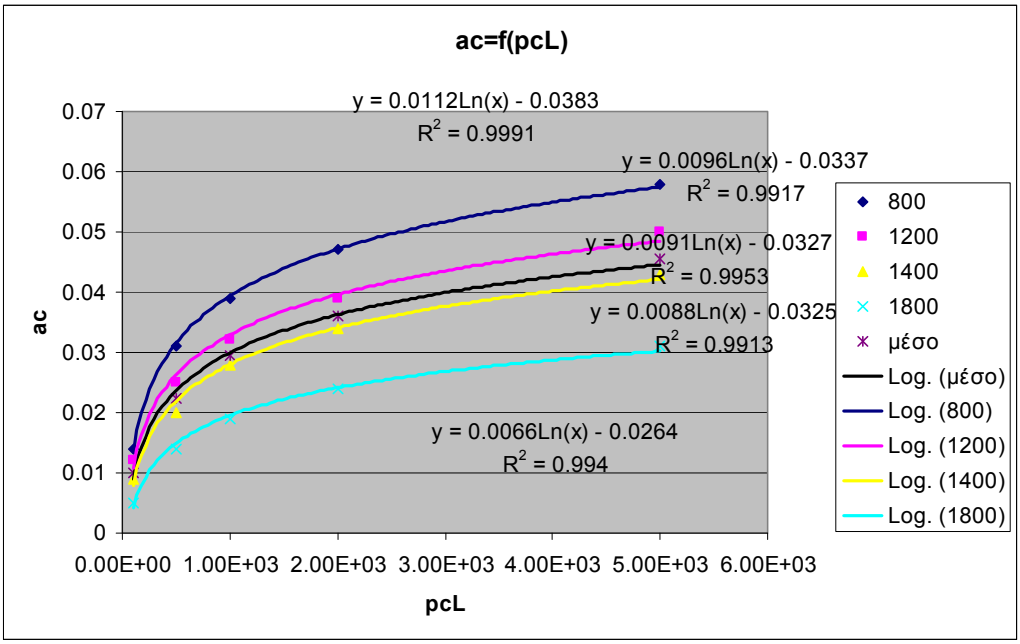
Στη παράγραφο αυτή παρουσιάζεται ο τρόπος υπολογισμού του συντελεστή απορρόφησης της θερμικής ακτινοβολίας από το διοξείδιο του άνθρακα που βρίσκεται στην ατμόσφαιρα α_c. Για το σκοπό αυτό χρειάζεται η τάση ατμών του διοξειδίου του άνθρακα p_c

Από βιβλιογραφικά δεδομένα (CPR-14E Yellow Book, 1997), τα οποία παρουσιάζονται στον πίνακα 4.2.2.1 για το α_c συναρτήσει του γινομένου p_c·L και της θερμοκρασίας της φλόγας T_f, όπου με p_c συμβολίζεται η τάση ατμών του διοξειδίου του άνθρακα,

προκύπτουν οι καμπύλες του σχήματος 4.2.2.1. Στη βιβλιογραφία υπάρχουν «fixed» τιμές για το $p_c \cdot L$ και το α_c. Με L ουσιαστικά συμβολίζεται η απόσταση x από την επιφάνεια της φλόγας ως το αντικείμενο στο οποίο προσπίπτει η ακτινοβολία.

Πίνακας 4.2.2.1: Δεδομένα για την καμπύλη $\alpha_c=f(p_c \cdot L)$

T_f (°K)	α_c ($p_cL=10^2$)	α_c ($p_cL=5x10^2$)	α_c ($p_cL=10^3$)	α_c ($p_cL=2x10^3$)	α_c ($p_cL=5x10^3$)	α_c (μέσο)
800	0.014	0.031	0.039	0.047	0.058	0.0378
1200	0.012	0.025	0.032	0.039	0.05	0.0316
1400	0.009	0.02	0.028	0.034	0.043	0.0268
1800	0.005	0.014	0.019	0.024	0.031	0.0186



Σχήμα 4.2.2.1: Καμπύλη $\alpha_c=f(p_c \cdot L)$

Από τις προσεγγιστικές εξισώσεις του σχήματος 4.2.2.1 προκύπτουν τα παρακάτω για το α_c, για 4 διαφορετικές θερμοκρασίες φλόγας T_f. Οι εξισώσεις που προκύπτουν, σύμφωνα με τις οποίες μπορεί να υπολογιστεί το α_c, είναι συναρτήσεις της απόστασης x από την επιφάνεια της φλόγας ως το αντικείμενο στο οποίο προσπίπτει η ακτινοβολία. Επίσης στην παρακάτω ανάλυση έχει θεωρηθεί ότι p_c = 30 N/m^2 σταθερό στον ατμοσφαιρικό αέρα (CPR-14E Yellow Book, 1997).

Ομοίως με την προηγούμενη παράγραφο για λόγους απλότητας και αποφυγής επαναλήψεων παρουσιάζονται αναλυτικά οι εξισώσεις και κάποια σχόλια σχετικά με αυτές, μόνο για την θερμοκρασία T_f = 800K, ενώ όλες οι εξισώσεις για τις 4

διαφορετικές θερμοκρασίες φλόγας T_f παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον πίνακα 4.2.2.2 παρακάτω.

Για $T_f = 800°K$ από το σχήμα 4.2.2.1, προκύπτει τελικά για το α_c:

$$a_c = 0.0112 \cdot \ln(30 \cdot x) - 0.0383 \rightarrow$$

$$a_c = 0.0112 \cdot \ln(x) - 0.0002 \ (-) \qquad (4.2.2.1)$$

$$\frac{\partial a_c}{\partial T_a} = 0 \qquad (4.2.2.2)$$

$$\frac{\partial a_c}{\partial x} = 0.0112 \cdot \frac{1}{x} \qquad (4.2.2.3)$$

Οι εξισώσεις 4.2.2.2 και 4.2.2.3 δείχνουν τη μεταβολή του συντελεστή α_c σε σχέση με την θερμοκρασία περιβάλλοντας T_α και την απόσταση x, αντίστοιχα. Από την 4.2.2.2 φαίνεται ότι ο συντελεστής α_c δεν μεταβάλλεται με την θερμοκρασία περιβάλλοντος, ενώ από την 4.2.2.3 φαίνεται ότι μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα με την απόσταση από την επιφάνεια της φλόγας.

Πίνακας 4.2.2.2: Συγκεντρωτική παρουσίαση εξισώσεων για το α_c

T_f (K)	a_c	$\frac{\partial a_c}{\partial T_a}$	$\frac{\partial a_c}{\partial x}$
800	$0.0112 \cdot \ln(x) - 0.0002$	0	$0.0112 \cdot \frac{1}{x}$
1200	$0.0096 \cdot \ln(x) - 0.0011$	0	$0.0096 \cdot \frac{1}{x}$
1400	$0.0088 \cdot \ln(x) - 0.0026$	0	$0.0088 \cdot \frac{1}{x}$
1800	$0.0066 \cdot \ln(x) - 0.004$	0	$0.0066 \cdot \frac{1}{x}$

4.3 BLEVE

Το μαθηματικό υπόβαθρο για τον υπολογισμό της θερμικής ακτινοβολίας από την εκδήλωση ενός BLEVE παρουσιάστηκε στην παράγραφο 3.2.1. Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζεται η διερεύνηση που έγινε γύρω από τη σημαντικότητα των παραμέτρων επικινδυνότητας για το φαινόμενο BLEVE, δηλαδή τις παραμέτρους εκείνες που καθορίζουν το μέγεθος της θερμικής ακτινοβολίας που εκπέμπεται σε ορισμένη απόσταση, καθώς και τις επιπτώσεις που προκύπτουν από την εκδήλωση ενός BLEVE.

Από την ανάλυση ευαισθησίας βρέθηκε ότι στο φαινόμενο BLEVE οι ανεξάρτητες μεταξύ τους παράμετροι που καθορίζουν το μέγεθος της θερμικής ακτινοβολίας και τελικά το εύρος των Ζωνών Επιπτώσεων (Ζώνες I, II, III) είναι:

- Η μάζα της ουσίας M
- Ο τύπος της ουσίας (LPG, Gasoline)
- Η θερμοκρασία λειτουργίας T_{op}
- Η θερμοκρασία περιβάλλοντος T_{α}.

Το ζητούμενο είναι να βρεθεί ποιες από αυτές τις παραμέτρους επηρεάζουν περισσότερο το μέγεθος της θερμικής ακτινοβολίας και κατά συνέπεια το εύρος των Ζωνών Επιπτώσεων (Ζώνες I, II, III) κατά την εκδήλωση ενός BLEVE. Επομένως τα αποτελέσματα από την ανάλυση ευαισθησίας των παραμέτρων επικινδυνότητας θα είναι οι αποστάσεις, από την προβολή στο έδαφος του κέντρου της πύρινης σφαίρας, στις οποίες εξαντλώνται οι Ζώνες Επιπτώσεων I, II και III.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η ανάλυση ευαισθησίας για κάθε παράμετρο ξεχωριστά, θεωρώντας ότι όλες οι υπόλοιπες παραμένουν σταθερές σε μία συγκεκριμένη τιμή. Οι σταθερές τιμές που ορίζονται για όλες τις παραπάνω παραμέτρους είναι οι εξής:

- M = 1000 kg
- Τύπος ουσίας = LPG (Προπάνιο)
- T_{op} = 20 °C
- T_{α} = 20 °C

4.3.1 Ανάλυση ευαισθησίας για τη μάζα M της ουσίας

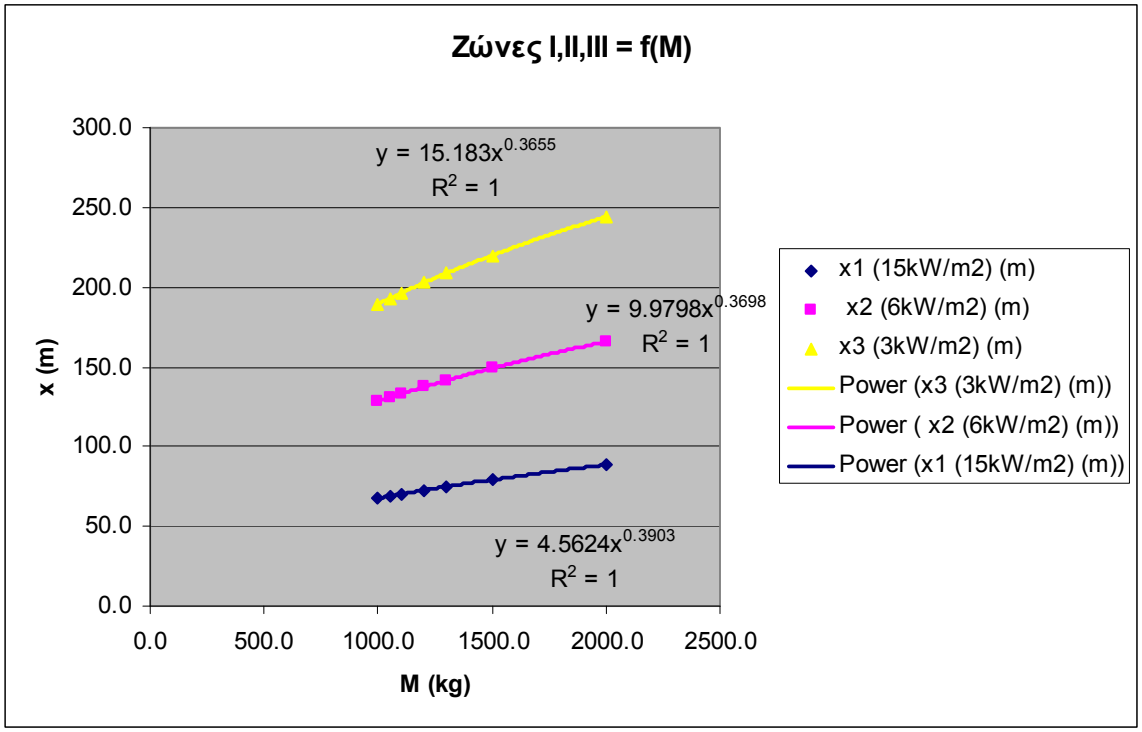
Θεωρώντας όλες τις άλλες παραμέτρους σταθερές, στην παράγραφο αυτή παρουσιάζεται η ανάλυση ευαισθησίας για τη μάζα M της ουσίας που συμμετέχει στο φαινόμενο BLEVE.

Από τα δεδομένα του Πίνακα 4.3.1.1 προκύπτουν οι καμπύλες του σχήματος 4.3.1.1 για τις αποστάσεις των τριών Ζωνών Επιπτώσεων I, II και III συναρτήσει της μάζας M που συμμετέχει στο φαινόμενο BLEVE.

Πίνακας 4.3.1.1: Δεδομένα για την ανάλυση ευαισθησίας της μάζα M

M (kg)	r_{fb} (m)	t (s)	H_{bleve} (m)	x_1 (15kW/m2) (m)	x_2 (6kW/m2) (m)	x_3 (3kW/m2) (m)
1000.0	30.59	5.13	61.18	67.6	128.4	189.6
1050.0	31.08	5.20	62.15	68.9	130.7	193.1
1100.0	31.55	5.26	63.10	70.2	133.0	196.4
1200.0	32.45	5.38	64.91	72.6	137.4	202.7
1300.0	33.31	5.50	66.62	74.9	141.5	208.7

1500.0	34.90	5.70	69.79	79.2	149.2	219.9
2000.0	38.32	6.15	76.63	88.6	165.9	244.3



Σχήμα 4.3.1.1: Ανάλυση ευαισθησίας για την μάζα M

Από το σχήμα 4.3.1.1 προκύπτει ότι η απόσταση στην οποία λαμβάνουν χώρα οι Ζώνες Επιπτώσεων I, II και III, μεταβάλλεται με την μάζα M ως εξής:

- Ζώνη I (15 kW/m^2):

$$x_1 = 4.5624 \cdot M^{0.3903} \text{ (m)} \qquad (4.3.1.1)$$

$$\frac{\partial x_1}{\partial M} = 1.7807 \cdot M^{-0.6097} \text{ (m/kg)} \qquad (4.3.1.2)$$

- Ζώνη II (6 kW/m^2):

$$x_2 = 9.9798 \cdot M^{0.3698} \text{ (m)} \qquad (4.3.1.3)$$

$$\frac{\partial x_2}{\partial M} = 3.6905 \cdot M^{-0.6302} \text{ (m/kg)} \qquad (4.3.1.4)$$

- Ζώνη III (3 kW/m^2):

$$x_3 = 15.183 \cdot M^{0.3655} \text{ (m)} \qquad (4.3.1.5)$$

$$\frac{\partial x_3}{\partial M} = 5.5494 \cdot M^{-0.6345} \text{ (m/kg)} \qquad (4.3.1.6)$$

Με τη βοήθεια των παραπάνω εξισώσεων, παρουσιάζεται στον πίνακα 4.3.1.2 το πόσο μεταβάλλονται οι Ζώνες Επιπτώσεων (I, II, III), καθώς και η διάρκεια του BLEVE, το ύψος ανύψωσης και η ακτίνα της πύρινης σφαίρας, για μία μεταβολή της μάζας M της ουσίας κατά 10%.

Πίνακας 4.3.1.2: Ανάλυση ευαισθησίας για μεταβολή της μάζας κατά 10%

M (kg)	1000.0	
ΔM (kg)	10%	
r_{fb} (m)	**$\pm\Delta r_{fb}$ (m)**	**$\Delta r_{fb}/r_{fb}$**
30.59	1.00	3.3%
t (s)	**±Δt (s)**	**Δt/t**
5.13	0.13	2.6%
H_{bleve} (m)	**$\pm\Delta H_{bleve}$ (m)**	**$\Delta H_{bleve}/H_{bleve}$**
61.18	1.99	3.3%
x_1 (15kW/m2) (m)	**$\pm\Delta x_1$ (m)**	**$\Delta x_1/x_1$**
67.6	2.6	3.9%
x_2 (6kW/m2) (m)	**$\pm\Delta x_2$ (m)**	**$\Delta x_2/x_2$**
128.4	4.8	3.7%
x_3 (3kW/m2) (m)	**$\pm\Delta x_3$ (m)**	**$\Delta x_3/x_3$**
189.6	6.9	3.7%

Από τον πίνακα 4.3.1.2 φαίνεται ότι για μεταβολή της μάζας κατά 10%, η απόσταση στην οποία συναντάται η Ζώνη I μεταβάλλεται κατά 3,9%, η Ζώνη II κατά 3,7% και η Ζώνη III κατά 3,7%.

Όπως προκύπτει από το σχήμα 4.3.1.1 και τα αποτελέσματα του πίνακα 4.3.1.2, η μάζα της ουσίας M είναι μία πολύ σημαντική παράμετρος η οποία επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό το εύρος των επιπτώσεων του φαινομένου BLEVE.

4.3.2 Ανάλυση ευαισθησίας για τον τύπο της ουσίας

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζεται η ανάλυση ευαισθησίας για τον τύπο της ουσίας που συμμετέχει στο φαινόμενο BLEVE. Από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στην παρούσα εργασία για τον τύπο της ουσίας προκύπτει ότι αυτή αποτελεί μία σημαντική παράμετρο η οποία επηρεάζει το εύρος των επιπτώσεων του φαινομένου BLEVE. Παρόλαυτά δεν είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί ανάλυση ευαισθησίας για την παράμετρο αυτή διότι ο τύπος της ουσίας είναι μία «fixed» παράμετρος με την οποία δεν γίνεται να πειραματιστείς, όπως είναι εφικτό για τις άλλες παραμέτρους. Δηλαδή η ουσία θα είναι είτε LPG, είτε LNG, είτε Gasoline, κλπ., τα αποτελέσματα για τις οποίες, όσων αφορά τις αποστάσεις των Ζωνών Επιπτώσεων είναι συγκεκριμένα.

Με βάση τα παραπάνω, για 1.000kg από τις δύο ουσίες, LPG και Gasoline (βενζίνη) που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία για το φαινόμενο BLEVE, η μεταβολή των αποστάσεων στις οποίες συναντώνται οι Ζώνες Επιπτώσεων I, II και III παρουσιάζεται στον πίνακα 4.3.2.1.

Όπως γίνεται εύκολα φανερό από τον πίνακα 4.3.2.1, για 1.000kg Gasoline και T_{op} = 20 °C, δεν υφίσταται καν Ζώνη I. Όπως προέκυψε από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε για την περίπτωση της βενζίνης, όταν T_{op} = 20 °C, η Ζώνη I εμφανίζεται όταν M = 52.000 kg, ενώ όταν M = 1.000 kg η Ζώνη I υφίσταται για T_{op} = 50 °C.

Πίνακας 4.3.2.1: Ανάλυση ευαισθησίας για την μάζα M

Τύπος ουσίας	x_1 (15kW/m2) (m)	x_2 (6kW/m2) (m)	x_3 (3kW/m2) (m)
LPG	67.6	128.4	189.6
Gasoline	-	55.9	97.9

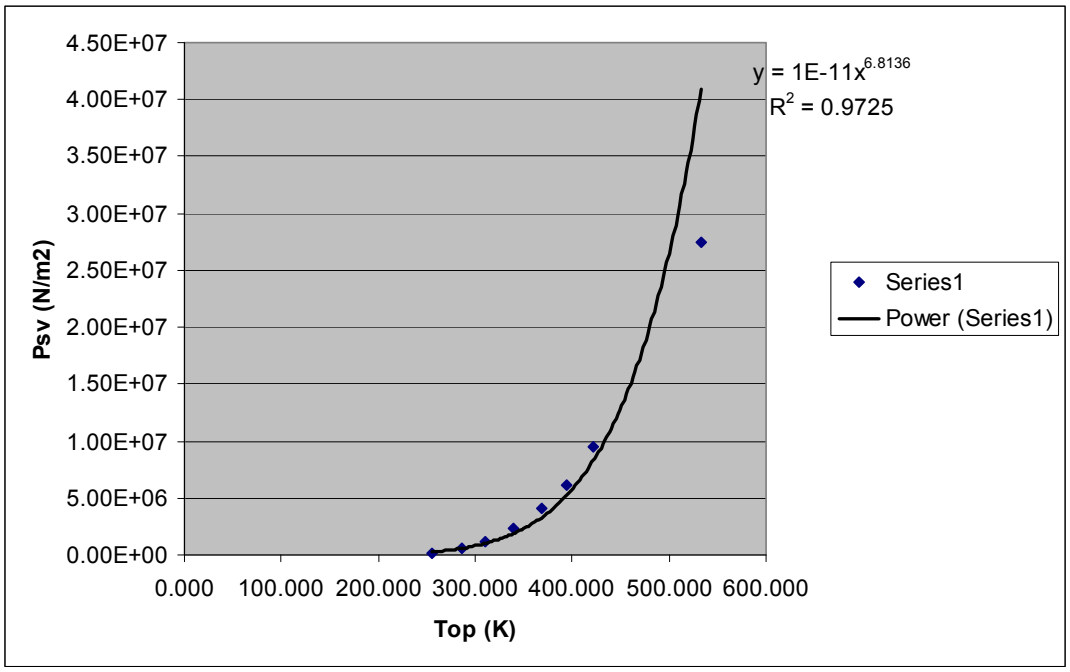
4.3.3 Ανάλυση ευαισθησίας για την θερμοκρασία λειτουργίας T_{op}

Θεωρώντας όλες τις άλλες παραμέτρους σταθερές, στην παράγραφο αυτή παρουσιάζεται η ανάλυση ευαισθησίας για την θερμοκρασία λειτουργίας T_{op}. Η μεταβολή της T_{op} επηρεάζει διάφορες παραμέτρους του φαινομένου BLEVE, από αυτές που παρουσιάστηκαν στην παράγραφο 3.3.1, όπως την τάση κορεσμένου ατμού της ουσίας εντός της δεξαμενής/ δοχείου P_{sv}, που με τη σειρά της επηρεάζει το κλάσμα F_s της παραγόμενης θερμότητας που ακτινοβολείται από την πύρινη σφαίρα και τον ενεργό ρυθμό εκπεμπόμενης ενέργειας στην επιφάνεια της φλόγας (Surface Emissive Power) SEP_{act}.

Από τα δεδομένα του πίνακα 4.3.3.1, που αφορούν τη μεταβολή της P_{sv} ως προς την T_{op}, προκύπτει η καμπύλη του σχήματος 4.3.3.1.

Πίνακας 4.3.3.1: Δεδομένα για την μεταβολή της P_{sv} ως προς την T_{op} για LPG (Προπάνιο) (Smith & Van Ness, 1959)

T_{op} (°C)	T_{op} (°K)	P_{sv} (N/m^2)
-17.78	255.382	1.74E+05
12.78	285.938	5.88E+05
37.78	310.938	1.21E+06
65.56	338.716	2.31E+06
96.11	369.271	4.04E+06
121.11	394.271	6.10E+06
148.89	422.049	9.55E+06
260.00	533.160	2.75E+07



Σχήμα 4.3.3.1: Καμπύλη $P_{sv} = f(T_{op})$ για LPG (Προπάνιο)

Όπως προκύπτει από το σχήμα 4.3.3.1 η εξίσωση ισορροπίας με την όποια μεταβάλλεται η P_{sv} σε συνάρτηση με την θερμοκρασία T_{op} για καύσιμο LPG μπορεί να θεωρηθεί ότι παρουσιάζεται από τη σχέση:

$$P_{sv} = 10^{-11} \cdot T_{op}^{\ 6,8136} \, (\mathrm{N/m^2}) \qquad (4.3.3.1)$$

Η αντίστοιχη εξίσωση για καύσιμο Gasoline είναι:

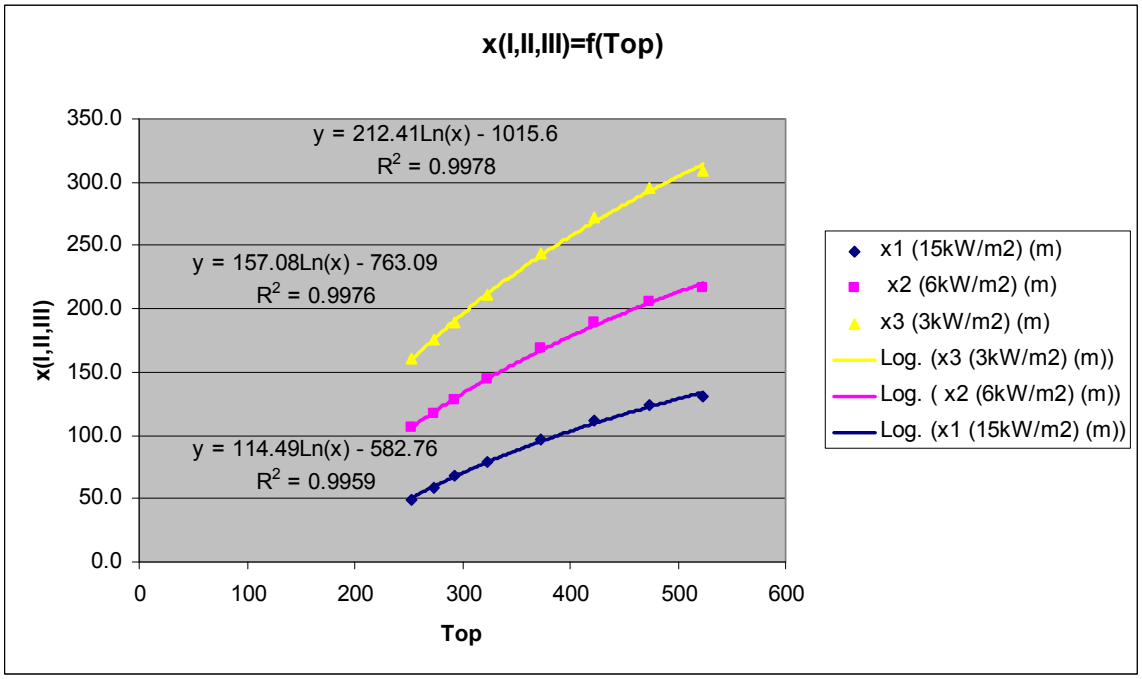
$$P_{sv} = 9 \cdot 10^{-19} \cdot T_{op}^{\ 9,0854} \, (\mathrm{N/m^2}) \qquad (4.3.3.2)$$

Οι παραπάνω εξισώσεις χρειάζεται να σημειωθεί ότι ισχύουν μόνο για καθαρές ουσίες και όχι για μίγματα. Επομένως η χρήση τους για τον υπολογισμό της P_{sv} πρέπει να γίνεται με προσοχή αναφορικά με την ακρίβεια των υπολογισμών. Εκτός των άλλων η ακρίβεια με την οποία παρεμβάλλονται τα δεδομένα από τις εξισώσεις αυτές δεν είναι πολύ μεγάλη, αφού όπως φαίνεται από το σχήμα 4.3.3.1 για το LPG είναι R^2=0,9725 < 1. Μέχρι την θερμοκρασία T_{op} = 500 K (για LPG) μπορεί όμως να θεωρηθεί ικανοποιητική. Για Gasoline η ακρίβεια είναι ικανοποιητική μέχρι T_{op} = 600 K όπως προέκυψε από την ανάλυση.

Με βάση αυτές τις υποθέσεις, από την εξίσωση 4.3.3.1 προέκυψαν οι τιμές της P_{sv} για τις αντίστοιχες τιμές θερμοκρασίας λειτουργίας T_{op} που φαίνονται στον πίνακα 4.3.3.2, στον οποίο παρουσιάζεται επίσης και η μεταβολή των αποστάσεων των τριών Ζωνών Επιπτώσεων I, II και III συναρτήσει της θερμοκρασίας λειτουργίας T_{op}.

Πίνακας 4.3.3.2: Ανάλυση ευαισθησίας για την T_{op} για LPG (Προπάνιο)

T_{op} (°C)	T_{op} (K)	P_{sv} (N/m^2)	F_s	x_1 (15kW/m2) (m)	x_2 (6kW/m2) (m)	x_3 (3kW/m2) (m)
-20	253.16	2.38E+05	0.171	49.3	106.1	160.3
0	273.16	3.99E+05	0.201	58.9	117.4	175.1
20	293.16	6.45E+05	0.235	67.6	128.4	189.6
50	323.16	1.25E+06	0.291	79.6	144.2	210.8
100	373.16	3.34E+06	0.398	97.2	168.5	243.7
150	423.16	7.87E+06	0.523	112.0	189.7	272.5
200	473.16	1.68E+07	0.667	123.4	206.3	295.3
250	523.16	3.34E+07	0.831	130.3	216.3	309.2



Σχήμα 4.3.3.2: Ανάλυση ευαισθησίας για την T_{op} για LPG (Προπάνιο)

Από το σχήμα 4.3.3.2 προκύπτει ότι η απόσταση στην οποία λαμβάνουν χώρα οι Ζώνες Επιπτώσεων I, II και III, μεταβάλλεται με την θερμοκρασία λειτουργίας T_{op} ως εξής:

- Ζώνη I (15 kW/m^2):

$$x_1 = 114.49 \cdot \ln(T_{op}) - 582.76 \ \text{(m)} \qquad (4.3.3.3)$$

$$\frac{\partial x_1}{\partial T_{op}} = 114.49 \cdot \frac{1}{T_{op}} \ \text{(m/K)} \qquad (4.3.3.4)$$

- Ζώνη II (6 kW/m^2):

$$x_2 = 157.08 \cdot \ln(T_{op}) - 763.09 \ \text{(m)} \qquad (4.3.3.5)$$

$$\frac{\partial x_2}{\partial T_{op}} = 157.08 \cdot \frac{1}{T_{op}} \text{ (m/K)} \qquad (4.3.3.6)$$

- Ζώνη ΙΙΙ (3 kW/m^2):

$$x_3 = 212.41 \cdot \ln(T_{op}) - 1015.6 \text{ (m)} \qquad (4.3.3.7)$$

$$\frac{\partial x_3}{\partial T_{op}} = 212.41 \cdot \frac{1}{T_{op}} \text{ (m/K)} \qquad (4.3.3.8)$$

Με τη βοήθεια των παραπάνω εξισώσεων, παρουσιάζεται στον πίνακα 4.3.3.3 η ευαισθησία των Ζωνών Επιπτώσεων (I, II, III) και της τάσης κορεσμένου ατμού P_{sv} της ουσίας εντός της δεξαμενής/ δοχείου, στις μεταβολές της θερμοκρασίας λειτουργίας T_{op}. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η μεταβολή της θερμοκρασίας λειτουργίας είναι ίση με 10%.

Πίνακας 4.3.3.3: Ανάλυση ευαισθησίας για μεταβολή της θερμοκρασίας λειτουργίας T_{op} κατά 10%

T_{op} (°C)	20	**ΔT_{op} (K)**
T_{op} (K)	293.2	10%
P_{sv} (N/m^2)	**$\pm\Delta P_{sv}$ (N/m^2)**	**$\Delta P_{sv}/P_{sv}$**
6.45E+05	3.00E+04	4.6%
x_1 (15kW/m2) (m)	**$\pm\Delta x_1$ (m)**	**$\Delta x_1/x_1$**
67.6	0.8	1.2%
x_2 (6kW/m2) (m)	**$\pm\Delta x_2$ (m)**	**$\Delta x_2/x_2$**
129.2	1.1	0.8%
x_3 (3kW/m2) (m)	**$\pm\Delta x_3$ (m)**	**$\Delta x_3/x_3$**
191.0	1.4	0.8%

Όπως προκύπτει από την παρουσίαση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης ευαισθησίας για την T_{op} από το σχήμα 4.3.3.2 και τον πίνακα 4.3.3.3, αυτή είναι μία παράμετρος η οποία επηρεάζει σε κάποιο βαθμό το μέγεθος της θερμικής ακτινοβολίας που εκπέμπεται και κατά συνέπεια το εύρος των επιπτώσεων του φαινομένου BLEVE.

Στο σημείο αυτό, κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί ότι η τάση κορεσμένου ατμού της ουσίας εντός της δεξαμενής / δοχείου P_{sv}, η οποία επηρεάζεται από την θερμοκρασία T_{op}, είναι μία παράμετρος που εξαρτάται κάθε φορά από τις συνθήκες τις οποίες επικρατούν όταν συμβαίνει ένα ατύχημα BLEVE. Για παράδειγμα σε ένα «Cold» BLEVE, στο οποίο λαμβάνει χώρα ολική διάρρηξη της δεξαμενής από κάποιο εξωτερικό χτύπημα και όχι από φωτιά και αύξηση της θερμότητας της ουσίας εντός της δεξαμενής, η πίεση P_{sv} ισούται με την πίεση στην οποία βρίσκεται η ουσία εντός της δεξαμενής σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας. Στη περίπτωση μίας δεξαμενής LPG η πίεση αυτή μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ 6 – 8 Bar. Όμως στην περίπτωση που το BLEVE δημιουργείται από

φωτιά στο χώρο της δεξαμενής, όπου συμβαίνει αύξηση της θερμότητας της ουσίας και εκτόνωση της με ολική διάρρηξη της δεξαμενής, τότε η πίεση P_{sv} ισούται με την πίεση στην οποία βρισκόταν η αέρια φάση της ουσίας εντός της δεξαμενής, τη στιγμή που συμβαίνει η ρήξη και συνεπώς υψηλότερη της κανονικής πίεσης λειτουργίας αφού έχει προηγηθεί θέρμανση. Η πίεση αυτή εξαρτάται από πολλούς παράγοντες και είναι πολύ δύσκολο εώς αδύνατο να προβλεφθεί σε ένα ατύχημα. Η τιμή της μπορεί να κυμαίνεται σε ένα μεγάλο εύρος τιμών, πρακτικά από 12 εώς 200 Bar (οι υψηλές πιέσεις αναφέρονται στην περίπτωση διεργασιών και όχι σε αποθήκευση σε δεξαμενές). 12 Bar θεωρείται το όριο στο οποίο ανοίγει το ασφαλιστικό μίας δεξαμενής.

4.3.4 Ανάλυση ευαισθησίας για την θερμοκρασία περιβάλλοντος T_α

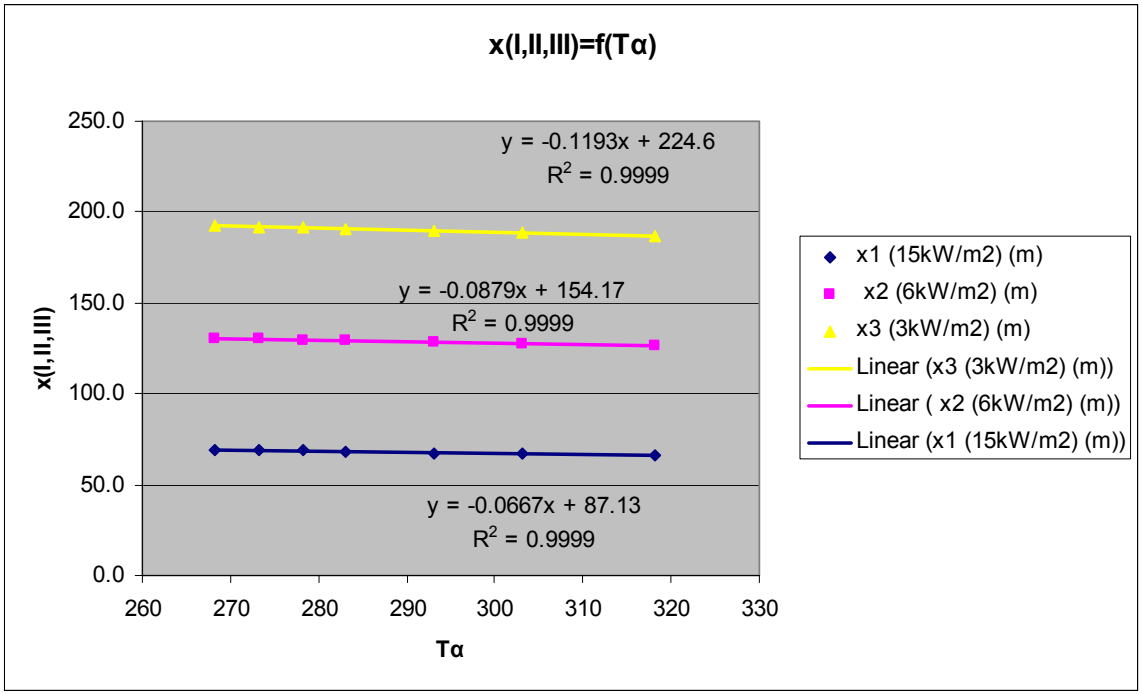
Θεωρώντας όλες τις άλλες παραμέτρους σταθερές, στη παράγραφο αυτή παρουσιάζεται η ανάλυση ευαισθησίας για την θερμοκρασία περιβάλλοντος T_α. Η μεταβολή της T_α επηρεάζει διάφορες παραμέτρους του φαινομένου BLEVE, από αυτές που παρουσιάστηκαν στην παράγραφο 3.3.1, όπως είναι η κορεσμένη τάση ατμών του νερού στον αέρα p_w^o και η σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας RH. Οι δύο αυτές παράμετροι με τη σειρά τους επηρεάζουν τη μερική τάση ατμών του νερού p_w, συνεπώς επηρεάζουν το συντελεστή απορρόφησης της θερμικής ακτινοβολίας από την υγρασία της ατμόσφαιρας α_w και τελικά επηρεάζουν την ατμοσφαιρική μεταδοτικότητα τ_a, άρα και το μέγεθος της θερμικής ακτινοβολίας που εκπέμπεται κατά την εκδήλωση ενός BLEVE.

Η ανάλυση ευαισθησίας για την θερμοκρασία περιβάλλοντος T_α και το πως η μεταβολή της επηρεάζει την κορεσμένη τάση ατμών του νερού στον αέρα p_w^o και τη σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας RH, έχει παρουσιαστεί παραπάνω στην παράγραφο 4.2.1. Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζεται η διερεύνηση για την ευαισθησία των Ζωνών Επιπτώσεων I, II και III σε σχέση με την θερμοκρασία περιβάλλοντος T_α.

Από τα δεδομένα του Πίνακα 4.3.4.1 προκύπτουν οι καμπύλες του σχήματος 4.3.4.1 για τις αποστάσεις των τριών Ζωνών Επιπτώσεων I, II και III συναρτήσει της θερμοκρασίας περιβάλλοντος T_α.

Πίνακας 4.3.4.1: Δεδομένα για την ανάλυση ευαισθησίας της θερμοκρασίας περιβάλλοντος T_α

T_α (°C)	T_α (K)	x_1 (15kW/m2) (m)	x_2 (6kW/m2) (m)	x_3 (3kW/m2) (m)
-5	268.16	69.2	130.6	192.6
0	273.16	68.9	130.1	192.0
5	278.16	68.6	129.7	191.4
10	283.16	68.3	129.3	190.8
20	293.16	67.6	128.4	189.6
30	303.16	66.9	127.5	188.5
45	318.16	65.9	126.2	186.6



Σχήμα 4.3.4.1: Ανάλυση ευαισθησίας για την θερμοκρασία περιβάλλοντος T_α

Από το σχήμα 4.3.4.1 προκύπτει ότι η απόσταση στην οποία λαμβάνουν χώρα οι Ζώνες Επιπτώσεων I, II και III, μεταβάλλεται με την θερμοκρασία περιβάλλοντος T_α ως εξής:

- Ζώνη I (15 kW/m^2):

$$x_1 = -0.0667 \cdot T_a + 87.13 \ \text{(m)} \tag{4.3.4.1}$$

$$\frac{\partial x_1}{\partial T_a} = -0.0667 \ \text{(m/K)} \tag{4.3.4.2}$$

- Ζώνη II (6 kW/m^2):

$$x_2 = -0.0879 \cdot T_a + 154.17 \ \text{(m)} \tag{4.3.4.3}$$

$$\frac{\partial x_2}{\partial T_a} = -0.0879 \ \text{(m/K)} \tag{4.3.4.4}$$

- Ζώνη III (3 kW/m^2):

$$x_3 = -0.1193 \cdot T_a + 224.6 \ \text{(m)} \tag{4.3.4.5}$$

$$\frac{\partial x_3}{\partial T_a} = -0.1193 \ \text{(m/K)} \tag{4.3.4.6}$$

Με τη βοήθεια των παραπάνω εξισώσεων, παρουσιάζονται στους πίνακες 4.3.4.2 και 4.3.4.3 δύο παραδείγματα σχετικά με την ευαισθησία των Ζωνών Επιπτώσεων (I, II, III) στις μεταβολές της θερμοκρασίας περιβάλλοντος T_α. Στα συγκεκριμένα παραδείγματα η μεταβολή της θερμοκρασίας περιβάλλοντος είναι ίση με 10% και 100% αντίστοιχα.

Πίνακας 4.3.4.2: Παράδειγμα ανάλυσης ευαισθησίας για μεταβολή της θερμοκρασίας περιβάλλοντος T_α κατά 10%

T_α (°C)	20	**ΔT_α (K)**
T_α (K)	293.2	10%
x_1 (15kW/m2) (m)	**$\pm\Delta x_1$ (m)**	**$\Delta x_1/x_1$**
67.6	0.1	0.2%
x_2 (6kW/m2) (m)	**$\pm\Delta x_2$ (m)**	**$\Delta x_2/x_2$**
128.4	0.2	0.1%
x_3 (3kW/m2) (m)	**$\pm\Delta x_3$ (m)**	**$\Delta x_3/x_3$**
189.6	0.2	0.1%

Πίνακας 4.3.4.3: Παράδειγμα ανάλυσης ευαισθησίας για μεταβολή της θερμοκρασίας περιβάλλοντος T_α κατά 100%

T_α (°C)	20	**ΔT_α (K)**
T_α (K)	293.2	100%
x_1 (15kW/m2) (m)	**$\pm\Delta x_1$ (m)**	**$\Delta x_1/x_1$**
67.6	1.3	2.0%
x_2 (6kW/m2) (m)	**$\pm\Delta x_2$ (m)**	**$\Delta x_2/x_2$**
128.4	1.8	1.4%
x_3 (3kW/m2) (m)	**$\pm\Delta x_3$ (m)**	**$\Delta x_3/x_3$**
189.6	2.4	1.3%

Όπως γίνεται εύκολα φανερό από τους πίνακες 4.3.4.2 και 4.3.4.3, η θερμοκρασία περιβάλλοντος T_α είναι μία παράμετρος η μεταβολή της οποίας έχει μικρή επίδραση στο εύρος των Ζωνών Επιπτώσεων I, II και III. Ουσιαστικά για μεταβολή της θερμοκρασίας περιβάλλοντος κατά 100%, η Ζώνη I μεταβάλλεται μόνο κατά 2%, η Ζώνη II κατά 1,4% και η Ζώνη III κατά 1,3%. Επομένως από την ανάλυση ευαισθησίας προκύπτει ότι η θερμοκρασίας περιβάλλοντος T_α δεν αποτελεί σημαντική παράμετρο στη μεταβολή των Ζωνών Επιπτώσεων στο φαινόμενο BLEVE, όπως ήταν άλλωστε αναμενόμενο σε τόσο έντονο και σύντομο φαινόμενο.

Από τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες παραγράφους για την ανάλυση ευαισθησίας των παραμέτρων του φαινομένου BLEVE, παρουσιάζεται στη συνέχεια στον πίνακα 4.3.5.3 μία ιεράρχηση των παραμέτρων αυτών με βάση τη σημαντικότητα και την επίδραση τους στο μέγεθος της θερμικής ακτινοβολίας που αναπτύσσεται σε ένα φαινόμενο BLEVE, οπότε κατά συνέπεια και στον καθορισμό των αποστάσεων των Ζωνών Επιπτώσεων I, II και III.

Πίνακας 4.3.4.4: Ιεράρχηση παραμέτρων με βάση τη σημαντικότητά τους για το φαινόμενο Bleve

Α/Α	Παράμετροι	Σημαντικότητα
1	Μάζα Μ της ουσίας	Πολύ Σημαντική
2	Θερμοκρασία λειτουργίας T_{op}	Λίγο Σημαντική
3	Θερμοκρασία περιβάλλοντος T_{α}	Ασήμαντη

Χρειάζεται να σημειωθεί ότι η παράμετρος που αφορά στον τύπο της ουσίας δεν συμπεριλήφθηκε στον πίνακα 4.3.5.3 διότι όπως φάνηκε στην παράγραφο 4.3.5.2 δεν μπορούν να προκύψουν ουσιαστικά αποτελέσματα για την ανάλυση ευαισθησίας αυτής της παραμέτρου. Παρόλαυτά αποτελεί μία σημαντική παράμετρο.

4.4 Έκρηξη Αερίου Νέφους (VCE)

Το μαθηματικό υπόβαθρο για τον υπολογισμό της υπερπίεσης από την εκδήλωση μίας έκρηξης αερίου νέφους (VCE) παρουσιάστηκε στην παράγραφο 3.2.4. Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζεται η διερεύνηση που έγινε γύρω από τη σημαντικότητα των παραμέτρων επικινδυνότητας για το φαινόμενο VCE, δηλαδή τις παραμέτρους εκείνες που καθορίζουν το μέγεθος της υπερπίεσης που αναπτύσσεται σε ορισμένη απόσταση, καθώς και τις επιπτώσεις που προκύπτουν από την εκδήλωση ενός VCE.

Από την ανάλυση ευαισθησίας βρέθηκε ότι στο φαινόμενο της έκρηξης αερίου νέφους οι σημαντικότεροι παράμετροι οι οποίες καθορίζουν το μέγεθος της υπερπίεσης που δημιουργείται από την έκρηξη και τελικά το εύρος των Ζωνών Επιπτώσεων (Ζώνες I, II, III) είναι:

- Η μάζα της ουσίας Μ
- Ο τύπος της ουσίας (LPG, Gasoline, H_2S)
- Η κλάση της έκρηξης CN, η οποία εξαρτάται με τη σειρά της από:
  - ✓ Το βαθμό εγκλωβισμού (confinement) του αερίου νέφους και
  - ✓ Την ενέργεια της πηγής έναυσης της έκρηξης (Ignition energy)

Το ζητούμενο είναι να βρεθεί ποιες από αυτές τις παραμέτρους επηρεάζουν περισσότερο και κατά πόσο το μέγεθος της υπερπίεσης και κατά συνέπεια το εύρος των Ζωνών Επιπτώσεων (Ζώνες I, II, III) κατά την εκδήλωση ενός VCE. Επομένως τα αποτελέσματα από την ανάλυση ευαισθησίας των παραμέτρων επικινδυνότητας θα είναι οι αποστάσεις, από το κέντρο της έκρηξης, στις οποίες λαμβάνουν χώρα οι Ζώνες Επιπτώσεων I, II και III. Αξίζει να παρατηρηθεί ότι τα δεδομένα που υπάρχουν στη βιβλιογραφία για τον βαθμό εγκλωβισμού του αερίου νέφους και την ενέργεια της πηγής έναυσης της έκρηξης είναι στην ουσία ποιοτικά και έχουν προκύψει από την εμπειρία από αληθινές

περιπτώσεις και διάφορα πειράματα. Αυτό που είναι χρήσιμο να παρουσιαστεί στην παρούσα εργασία είναι το πως οι δύο αυτές παράμετροι επηρεάζουν την κλάση της έκρηξης, μέσα στα πλαίσια που επιτρέπει η ύπαρξη ποιοτικών κυρίως δεδομένων, και το πως μεταβάλλονται οι υπερπιέσεις που αναπτύσσονται ανάλογα με την κλάση της έκρηξης.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η ανάλυση ευαισθησίας για κάθε παράμετρο ξεχωριστά, θεωρώντας ότι όλες οι υπόλοιπες παραμένουν σταθερές σε μία συγκεκριμένη τιμή. Οι σταθερές τιμές που ορίζονται για όλες τις παραπάνω παραμέτρους είναι οι εξής:

- M = 1000 kg
- Τύπος ουσίας = LPG (Προπάνιο)
- CN = 5

Να σημειωθεί εδώ ότι για CN = 5 δεν υφίσταται η Ζώνη I (350mbar). Η υπερπίεση των 350mbar εμφανίζεται για CN από 6 εώς 10. Για την ανάλυση ευαισθησίας επιλέχθηκε η τιμή 5 για τη CN διότι αντιπροσωπεύει την πραγματική κατάσταση που συναντήθηκε στο παράδειγμα εφαρμογής για τις νέες μονάδες του διυλιστηρίου και το οποίο παρουσιάζεται στο κεφάλαιο 5.

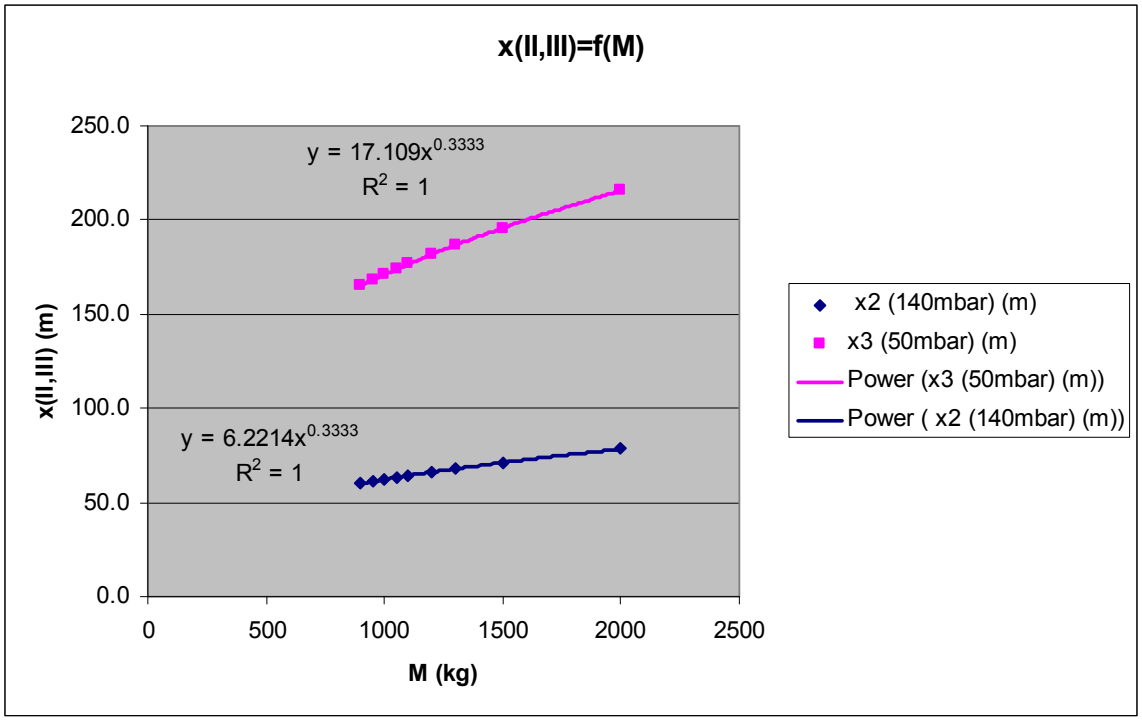
4.4.1 Ανάλυση ευαισθησίας για τη μάζα M της ουσίας

Στην παρούσα παράγραφο παρουσιάζεται η ανάλυση ευαισθησίας για τη μάζα M της ουσίας που συμμετέχει στο φαινόμενο της έκρηξης αερίου νέφους, θεωρώντας όλες τις άλλες παραμέτρους σταθερές.

Από τα δεδομένα του Πίνακα 4.4.1.1 προκύπτουν οι καμπύλες του σχήματος 4.4.1.1 για τις αποστάσεις των Ζωνών Επιπτώσεων II και III συναρτήσει της μάζας M που συμμετέχει στο φαινόμενο VCE.

Πίνακας 4.4.1.1: Δεδομένα για την ανάλυση ευαισθησίας της μάζα M

M (kg)	x_1 (350mbar) (m)	x_2 (140mbar) (m)	x_3 (50mbar) (m)
900	-	60.1	165.2
950	-	61.2	168.2
1000	-	62.2	171.1
1050	-	63.2	173.9
1100	-	64.2	176.6
1200	-	66.1	181.8
1300	-	67.9	186.7
1500	-	71.2	195.9
2000	-	78.4	215.6



Σχήμα 4.4.1.1: Ανάλυση ευαισθησίας για τη μάζα M

Από το σχήμα 4.4.1.1 προκύπτει ότι η απόσταση στην οποία λαμβάνουν χώρα οι Ζώνες Επιπτώσεων II και III, μεταβάλλεται με την μάζα M ως εξής:

- Ζώνη II (140 mbar):

$$x_2 = 6.2214 \cdot M^{0.3333} \text{ (m)} \qquad (4.4.1.1)$$

$$\frac{\partial x_2}{\partial M} = 2.0736 \cdot M^{-0.6667} \text{ (m/kg)} \qquad (4.4.1.2)$$

- Ζώνη III (50 mbar):

$$x_3 = 17.109 \cdot M^{0.3333} \text{ (m)} \qquad (4.4.1.3)$$

$$\frac{\partial x_3}{\partial M} = 5.7024 \cdot M^{-0.6667} \text{ (m/kg)} \qquad (4.4.1.4)$$

Με τη βοήθεια των παραπάνω εξισώσεων, παρουσιάζεται στον πίνακα 4.4.1.2 το πόσο μεταβάλλονται οι Ζώνες Επιπτώσεων (I, II, III), για μία μεταβολή της μάζας της ουσίας κατά 10%.

Πίνακας 4.4.1.2: Παράδειγμα ανάλυσης ευαισθησίας για μεταβολή της μάζας κατά 10%

M (kg)	1000.0	
ΔM (kg)	10%	
x_1 (350mbar) (m)	**$\pm\Delta x_1$ (m)**	**$\Delta x_1/x_1$**
-	-	-
x_2 (140mbar) (m)	**$\pm\Delta x_2$ (m)**	**$\Delta x_2/x_2$**

62.2	2.1	3.3%
x_3 (50mbar) (m)	**$\pm\Delta x_3$ (m)**	**$\Delta x_3/x_3$**
171.1	5.7	3.3%

Από την παρουσίαση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης ευαισθησίας για τη μάζα M της ουσίας από το σχήμα 4.4.1.1 και τον πίνακα 4.4.1.2, προκύπτει ότι αυτή είναι μία σημαντική παράμετρος η οποία επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό το μέγεθος της υπερπίεσης που αναπτύσσεται και επομένως το εύρος των επιπτώσεων του φαινομένου VCE.

Από τον πίνακα 4.4.1.2 φαίνεται ότι για μεταβολή της μάζας κατά 10%, η απόσταση στην οποία συναντάται η Ζώνη ΙΙ μεταβάλλεται κατά 3,3% και η Ζώνη ΙΙΙ επίσης κατά 3,3%.

4.4.2 Ανάλυση ευαισθησίας για τον τύπο της ουσίας

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζεται η ανάλυση ευαισθησίας για τον τύπο της ουσίας που συμμετέχει στο φαινόμενο VCE, θεωρώντας όλες τις άλλες παραμέτρους σταθερές. Από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στην παρούσα εργασία για τον τύπο της ουσίας προκύπτει ότι αυτή αποτελεί μία σημαντική παράμετρο η οποία επηρεάζει το εύρος των επιπτώσεων της έκρηξης αερίου νέφους. Παρόλαυτά όπως και παραπάνω δεν είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί ανάλυση ευαισθησίας για την παράμετρο αυτή για τους ίδιους λόγους που παρουσιάστηκαν στην παράγραφο 4.3.2. Οι ουσίες που εξετάστηκαν είναι το υδρόθειο (H_2S), η βενζίνη (Gasoline) και το LPG (Προπάνιο).

Στον Πίνακα 4.4.2.1 παρουσιάζονται οι αποστάσεις στις οποίες λαμβάνουν χώρα οι υπερπιέσεις για τις Ζώνες Επιπτώσεων ΙΙ και ΙΙΙ για τις τρεις διαφορετικές ουσίες.

Πίνακας 4.4.2.1: Δεδομένα για την ανάλυση ευαισθησίας του τύπου της ουσίας

Τύπος ουσίας	**x_1 (350mbar) (m)**	**x_2 (140mbar) (m)**	**x_3 (50mbar) (m)**
H2S	-	67.8	186.3
Gasoline	-	45.2	124.2
LPG	-	62.2	171.1

Από τα δεδομένα του πίνακα 4.4.2.1 παρατηρείται ότι οι αποστάσεις στις οποίες λαμβάνουν χώρα οι Ζώνες Επιπτώσεων διαφέρουν αρκετά για τις τρεις ουσίες, με τη βενζίνη (Gasoline) να διαφοροποιείται σημαντικά σε σχέση με τις άλλες δύο ουσίες. Τη χειρότερη συμπεριφορά, η οποία μεταφράζεται σε μεγαλύτερες αποστάσεις, παρουσιάζει το υδρόθειο (H_2S), που είναι η ελαφρύτερη ουσία από τις τρεις.

4.4.3 Ανάλυση ευαισθησίας για την κλάση της έκρηξης CN

Θεωρώντας όλες τις άλλες παραμέτρους σταθερές, στη παράγραφο αυτή παρουσιάζεται η ανάλυση ευαισθησίας για την κλάση της έκρηξης. Η κλάση της έκρηξης εξαρτάται

όπως ειπώθηκε παραπάνω και από δύο άλλες παραμέτρους οι οποίες είναι ο βαθμός εγκλωβισμού του αερίου νέφους και η ενέργεια της πηγής έναυσης της έκρηξης. Στον πίνακα 4.4.3.1 παρουσιάζεται ο τρόπος που συνδυάζονται οι δύο αυτές παράμετροι και επηρεάζουν την κλάση της έκρηξης.

Η κλάση της έκρηξης CN παίρνει τιμές από 1 εώς 10, με αύξουσα σοβαρότητα. Η έκρηξη κλάσης 10 είναι η πιο ισχυρή έκρηξη που μπορεί να υπάρξει και στην διεθνή ορολογία καλείται «detonation». Οι εκρήξεις όλων των υπόλοιπων κλάσεων αποκαλούνται στην διεθνή ορολογία με τον όρο «deflagration».

Για τον βαθμό εγκλωβισμού ορίζονται τρεις καταστάσεις (CPR-14E Yellow Book, 1997):

- Υψηλός – High (H)
- Χαμηλός – Low (L)
- Μηδενικός – None (N).

Για την ενέργεια της πηγής έναυσης της έκρηξης ορίζονται δύο καταστάσεις (CPR-14E Yellow Book, 1997):

- Υψηλή – High (H)
- Χαμηλή – Low (L).

Στον πίνακα 4.4.3.1 παρουσιάζονται επίσης τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τις αποστάσεις στις οποίες λαμβάνουν χώρα οι Ζώνες Επιπτώσεων I, II και III συναρτήσει της κλάσης έκρηξης CN, η γραφική απεικόνιση των οποίων παρουσιάζεται στο σχήμα 4.4.3.1.

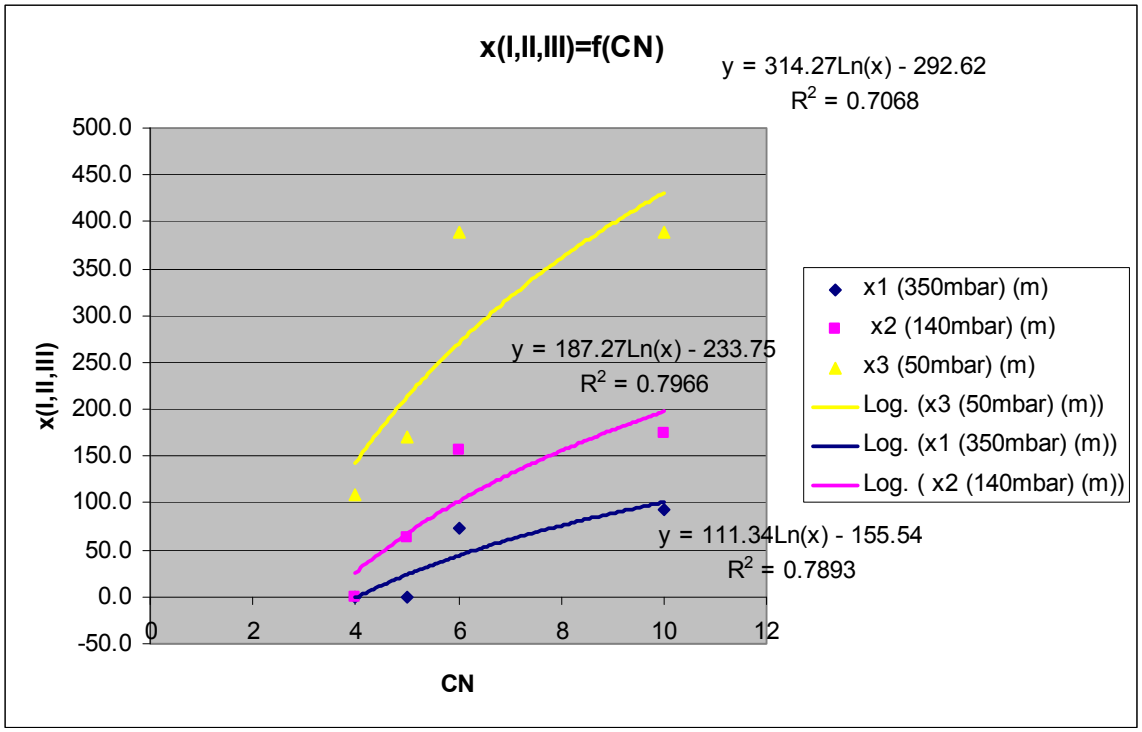
Όπως προκύπτει από τον πίνακα 4.4.3.1 οι αποστάσεις για τις Ζώνες Επιπτώσεων μεταβάλλονται σημαντικά με την κλάση της έκρηξης. Οι κλάσεις 6 και 10 βρίσκονται πιο κοντά ως προς τα αποτελέσματα τους, ενώ στις κλάσεις 4 και 5 τα αποτελέσματα αλλάζουν κατά πολύ. Για κλάση έκρηξης ίση με 5 δεν υφίσταται η Ζώνη I ενώ για κλάση έκρηξης ίση με 4 δεν υφίσταται ούτε η Ζώνη II. Δηλαδή, εκρήξεις κλάσης 5 δεν μπορούν να αναπτύξουν υπερπιέσεις 350mbar (Ζώνη I) και εκρήξεις κλάσης 4 δεν αναπτύσσουν υπερπιέσεις ούτε καν 140mbar (Ζώνη II).

Πίνακας 4.4.3.1: Ανάλυση ευαισθησίας της κλάσης έκρηξης

CN	Βαθμός Εγκλωβισμού	Ενέργεια Έναυσης	x_1 (350mbar) (m)	x_2 (140mbar) (m)	x_3 (50mbar) (m)
10	H	H	93.3	175.0	388.9
6	H	L	73.9	155.6	388.9
	L	H			
	N	H			
5	H	L	-	62.2	171.1
	L	H			

	N	H			
4	N	H	-	-	108.9
	L	L			

Όπως φαίνεται από τον πίνακα 4.4.3.1 οι συνδυασμοί των παραμέτρων του βαθμού εγκλωβισμού και της ενέργειας έναυσης που δίνουν κλάση έκρηξης ίση με 5 και 6 είναι οι ίδιοι. Ο διαχωρισμός σε κλάση έκρηξης 6 ή 5 οφείλεται κυρίως στην ύπαρξη ή όχι εγκλωβισμού του αερίου νέφους σε παράλληλα εμπόδια (Parallel plane confinement). Παρόλαυτά ο διαχωρισμός αυτός δεν μπορεί να γίνει με μεγάλη ακρίβεια διότι όπως ειπώθηκε προηγουμένως τα δεδομένα αυτά είναι ποιοτικά και σχετικά και υπό αυτήν την έννοια για τον ίδιο συνδυασμό των παραμέτρων αυτών μπορεί να προκύψουν διαφορετικές κλάσης έκρηξης. Με άλλα λόγια η βιβλιογραφία παρέχει ένα εύρος της κλάσης έκρηξης για κάθε συνδυασμό των δύο παραμέτρων. Για παράδειγμα για βαθμό εγκλωβισμού υψηλό (H) και ενέργεια έναυσης χαμηλή (L) η κλάση έκρηξης κυμαίνεται μεταξύ 5-7 αν υπάρχει εγκλωβισμός σε παράλληλα επίπεδα και μεταξύ 4-5 αν δεν υπάρχει εγκλωβισμός (CPR-14E Yellow Book, 1997).



Σχήμα 4.4.3.1: Ανάλυση ευαισθησίας για την κλάση της έκρηξης CN

Επιπλέον να αναφερθεί ότι οι προσεγγιστικές συναρτήσεις που προκύπτουν από την γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων του πίνακα 4.4.3.1 για τις Ζώνες Επιπτώσεων συναρτήσει της κλάσης της έκρηξης CN και που παρουσιάζονται στο σχήμα 4.4.3.1, δεν έχουν κάποια ουσιαστική χρησιμότητα λόγω της μεγάλης απόκλισης που εμφανίζεται (R^2<<1).

Σε γενικές γραμμές πάντως και με βάση τα αποτελέσματα του πίνακα 4.4.3.1 μπορεί να ειπωθεί ότι **η κλάση της έκρηξης αποτελεί την σημαντικότερη παράμετρο στο φαινόμενο VCE** και επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τις συνέπειες μίας έκρηξης και επομένως και τις αποστάσεις στις οποίες αναπτύσσονται οι υπερπιέσεις των Ζωνών Επιπτώσεων I, II και III. Για παράδειγμα από την κλάση 5 στην κλάση 6 υπάρχει υπερδιπλασιασμός της απόστασης στην οποία λαμβάνουν χώρα οι Ζώνες Επιπτώσεων II και III ενώ για κλάση 6 λαμβάνει χώρα και η Ζώνη Επιπτώσεων I, η οποία δεν υφίσταται για την κλάση 5. Από την άλλη, από την κλάση 6 στην κλάση 10, οι διαφορές στις αποστάσεις είναι πολύ μικρότερες. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι και οι ενδιάμεσες κλάσεις μεταξύ 6 και 10 παρουσιάζουν μικρές διαφορές μεταξύ τους, γεγονός το οποίο τις καθιστά όλες πολύ σοβαρές εκρήξεις, μίας και η έκρηξη κλάσης 10 είναι η ισχυρότερη έκρηξη που μπορεί να υπάρξει, σύμφωνα με την μέθοδο Multi-Energy που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των συνεπειών της έκρηξης αερίου νέφους στην παρούσα εργασία (CPR-14E Yellow Book, 1997).

Τέλος να αναφερθεί ότι με βάση τη βιβλιογραφία (CPR-14E Yellow Book, 1997) και όπως φαίνεται και από τον πίνακα 4.4.3.1, η Ζώνη Επιπτώσεων III (50 mbar) λαμβάνει χώρα στην ίδια ακριβώς απόσταση για όλες τις εκρήξεις κλάσης 6 εώς 10. Αυτό οφείλεται στο ότι οι εκρήξεις κλάσης 6 εώς 9 εκφυλίζονται, όσων αφορά την απόσταση στην οποία αναπτύσσονται συγκεκριμένες υπερπιέσεις, σε εκρήξεις κλάσης 10 (detonation) από μία συγκεκριμένη απόσταση και πέρα από το κέντρο της έκρηξης. Η υπερπίεση των 50 mbar (Ζώνη Επιπτώσεων III) αναπτύσσεται πάντα στην ίδια απόσταση για τις κλάσεις 6 εώς 10.

Όπως παρουσιάστηκε και στα προηγούμενα φαινόμενα από τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες παραγράφους για την ανάλυση ευαισθησίας των παραμέτρων του φαινομένου VCE, παρουσιάζεται στη συνέχεια στον πίνακα 4.4.3.2 η ιεράρχηση των παραμέτρων αυτών με βάση τη σημαντικότητα και την επίδραση τους στο μέγεθος της υπερπίεσης που αναπτύσσεται από μία έκρηξη αερίου νέφους, οπότε κατά συνέπεια και στον καθορισμό των αποστάσεων των Ζωνών Επιπτώσεων I,II και III.

Πίνακας 4.4.3.2: Ιεράρχηση παραμέτρων με βάση τη σημαντικότητά τους για το φαινόμενο VCE

Α/Α	Παράμετροι	Σημαντικότητα
1	Κλάση της έκρηξης CN	Πολύ Σημαντική
2	Μάζα M της ουσίας εντός εκρηκτικού νέφους	Σημαντική

Όπως και προηγουμένως η παράμετρος που αφορά στον τύπο της ουσίας δεν συμπεριλήφθηκε στον πίνακα 4.4.3.2.

4.5 Φωτιά Λίμνης (Pool Fire)

Το μαθηματικό υπόβαθρο για τον υπολογισμό της θερμικής ακτινοβολίας από την εκδήλωση φωτιάς λίμνης παρουσιάστηκε στην παράγραφο 3.2.6. Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζεται η διερεύνηση που έγινε γύρω από τη σημαντικότητα των παραμέτρων επικινδυνότητας για το φαινόμενο της φωτιάς λίμνης, δηλαδή τις παραμέτρους εκείνες που καθορίζουν το μέγεθος της θερμικής ακτινοβολίας που εκπέμπεται σε ορισμένη απόσταση, καθώς και τις επιπτώσεις που προκύπτουν από την εκδήλωση μίας φωτιάς λίμνης (Pool Fire).

Από την ανάλυση ευαισθησίας βρέθηκε ότι στο φαινόμενο Pool Fire οι παράμετροι οι οποίες καθορίζουν το μέγεθος της θερμικής ακτινοβολίας και τελικά το εύρος των Ζωνών Επιπτώσεων (Ζώνες I, II, III) είναι:

- Ο τύπος της ουσίας (Diesel, Gasoline, LPG, Jet Fuel)
- Η ισοδύναμη διάμετρος της λίμνης D
- Η θερμοκρασία περιβάλλοντος T_α
- Η ταχύτητα του ανέμου u_w
- Κλάσμα της παραγόμενης θερμότητας καύσης που εκπέμπεται (Fraction combustion heat radiated) F_s
- Η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) στον αέρα C_{CO2}.

Το ζητούμενο είναι να βρεθεί ποιες από αυτές τις παραμέτρους επηρεάζουν περισσότερο και κατά πόσο το μέγεθος της θερμικής ακτινοβολίας και κατά συνέπεια το εύρος των Ζωνών Επιπτώσεων (Ζώνες I, II, III) κατά την εκδήλωση ενός Pool Fire. Επομένως τα αποτελέσματα από την ανάλυση ευαισθησίας των παραμέτρων επικινδυνότητας θα είναι οι αποστάσεις, από το κέντρο της φωτιάς λίμνης, στις οποίες λαμβάνουν χώρα οι Ζώνες Επιπτώσεων I, II και III.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η ανάλυση ευαισθησίας για κάθε παράμετρο ξεχωριστά, θεωρώντας ότι όλες οι υπόλοιπες παραμένουν σταθερές σε μία συγκεκριμένη τιμή. Οι σταθερές τιμές που ορίζονται για όλες τις παραπάνω παραμέτρους είναι οι εξής:

- Τύπος ουσίας = Diesel
- D = 50 m
- T_α = 20 °C
- u_w = 2 m/s
- F_s = 30%
- C_{CO2} = 3 %.

Να σημειωθεί σε αυτό το σημείο ότι στη παρούσα εργασία εξετάζονται φωτιές λίμνης οι οποίες είναι περιορισμένες (confined) σε ένα καθορισμένο χώρο, όπως για παράδειγμα το ανάχωμα γύρω από μία δεξαμενή ή τα αναχώματα των μονάδων εντός του διυλιστηρίου.

4.5.1 Ανάλυση ευαισθησίας για τον τύπο της ουσίας

Θεωρώντας όλες τις άλλες παραμέτρους σταθερές, παρουσιάζεται στη συνέχεια η ανάλυση ευαισθησίας για τον τύπο της ουσίας που συμμετέχει στο φαινόμενο της φωτιάς λίμνης. Όπως και στα προηγούμενα φαινόμενα από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στην εργασία αυτή για τον τύπο της ουσίας προκύπτει ότι αυτή αποτελεί μία σημαντική παράμετρο η οποία έχει επίδραση στο εύρος των επιπτώσεων της φωτιάς λίμνης. Παρόλαυτά όπως και προηγουμένως, δεν είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί ανάλυση ευαισθησίας για την παράμετρο αυτή για τους ίδιους λόγους που παρουσιάστηκαν στην παράγραφο 4.3.2. Οι ουσίες που εξετάστηκαν είναι Diesel, βενζίνη (Gasoline), LPG (Προπάνιο) και Jet Fuel (JP-5).

Στον Πίνακα 4.5.1.1 παρουσιάζονται οι αποστάσεις των Ζωνών Επιπτώσεων I, II και III συναρτήσει των τεσσάρων παραπάνω διαφορετικών ουσιών.

Πίνακας 4.5.1.1: Ανάλυση ευαισθησίας του τύπου της ουσίας

Τύπος ουσίας	x_1 (15kW/m2) (m)	x_2 (6kW/m2) (m)	x_3 (3kW/m2) (m)
Diesel	35.1	57.6	79.9
Gasoline	40.1	68.3	96.5
LPG	48.8	86.0	123.8
JP-5	39.0	66.5	94.1

Από τα δεδομένα του πίνακα 4.5.1.1 παρατηρείται ότι οι αποστάσεις στις οποίες λαμβάνουν χώρα οι Ζώνες Επιπτώσεων I, II και III διαφοροποιούνται για τις τέσσερις ουσίες. Τη χειρότερη συμπεριφορά, η οποία μεταφράζεται σε μεγαλύτερες αποστάσεις, παρουσιάζει το LPG, που είναι η πιο πτητική ουσία από τις τέσσερις. Η βενζίνη (Gasoline) και το JP-5 δεν διαφέρουν σημαντικά. Το Diesel είναι η ουσία που παρουσιάζει τις μικρότερες συνέπειες από τις τέσσερις, αφού αποτελεί ένα βαρύ κλάσμα που αναπτύσσει και τη μικρότερη θερμοκρασία φλόγας όταν καίγεται σε μία φωτιά λίμνης, σε σχέση με τις άλλες ουσίες.

4.5.2 Ανάλυση ευαισθησίας για την διάμετρο D

Θεωρώντας όλες τις άλλες παραμέτρους σταθερές, παρουσιάζεται στη συνέχεια η ανάλυση ευαισθησίας που πραγματοποιήθηκε στην παρούσα εργασία για την ισοδύναμη διάμετρο D της φωτιάς λίμνης.

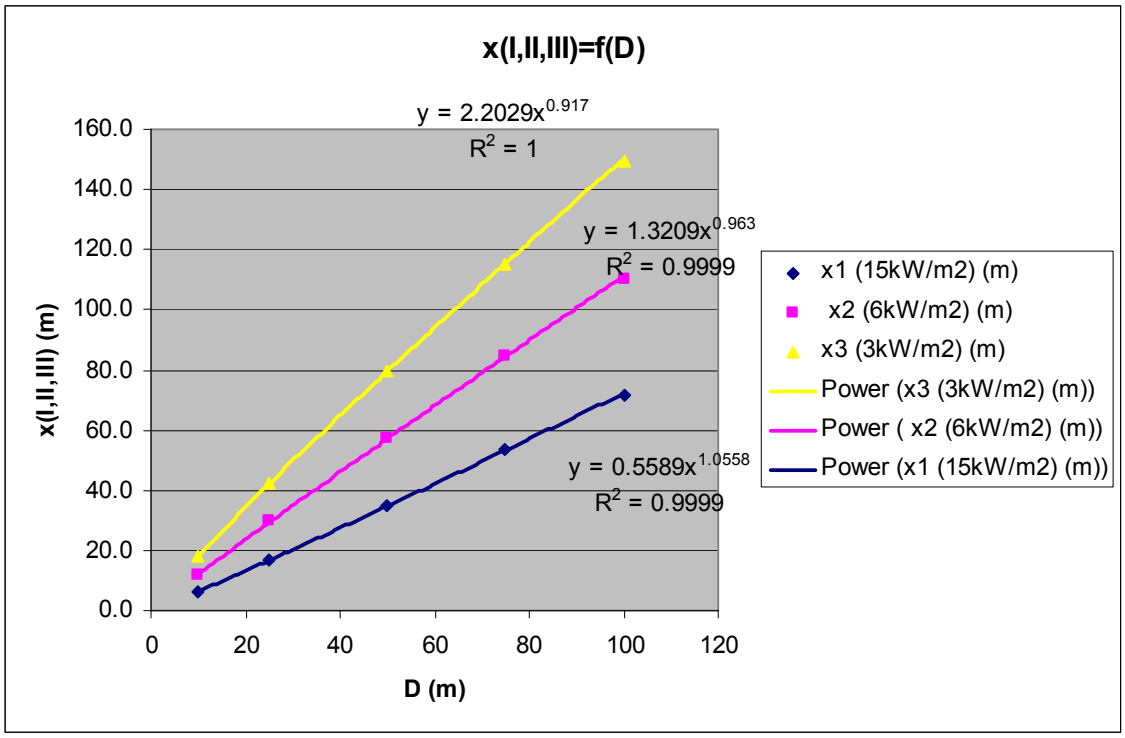
Να σημειωθεί ότι στην παρούσα εργασία όπου οι φωτιές λίμνης που εξετάζονται είναι περιορισμένες (Confined Pool Fire) η ισοδύναμη διάμετρος D της φωτιάς λίμνης ισούται

με τη διάμετρο της επιφάνειας που περικλείεται από το ανάχωμα, αν υποτεθεί ότι η επιφάνεια αυτή είναι κυκλική. Όλες οι επιφάνειες ανεξάρτητα από τη μορφή που έχουνε μπορούν να προσεγγιστούν με αρκετή ακρίβεια με μία κυκλική επιφάνεια. Για το λόγο αυτό είναι ικανοποιητική η παραπάνω υπόθεση (CPR-14E Yellow Book, 1997).

Από τα δεδομένα του Πίνακα 4.5.2.1 προκύπτουν οι καμπύλες του σχήματος 4.5.2.1 για τις αποστάσεις των τριών Ζωνών Επιπτώσεων I, II και III συναρτήσει της διαμέτρου D.

Πίνακας 4.5.2.1: Δεδομένα για την ανάλυση ευαισθησίας της διαμέτρου της λίμνης

Διάμετρος D (m)	**x_1 (15kW/m2) (m)**	**x_2 (6kW/m2) (m)**	**x_3 (3kW/m2) (m)**
10	6.3	12.0	18.1
25	16.9	29.6	42.4
50	35.1	57.6	79.9
75	53.3	84.4	115.4
100	71.5	110.4	149.7



Σχήμα 4.5.2.1: Ανάλυση ευαισθησίας για την διάμετρο D

Από το σχήμα 4.5.2.1 προκύπτει ότι η απόσταση στην οποία λαμβάνουν χώρα οι Ζώνες Επιπτώσεων I, II και III, μεταβάλλεται με την διάμετρο D ως εξής:

- Ζώνη I (15 kW/m^2):

$$x_1 = 0{,}5589 \cdot D^{1.0558} \text{ (m)} \quad (4.5.2.1)$$

$$\frac{\partial x_1}{\partial D} = 0{,}590 \cdot D^{0.0558} \text{ (-)} \quad (4.5.2.2)$$

- Ζώνη ΙΙ (6 kW/m^2):

$$x_2 = 1{,}3209 \cdot D^{0.963} \text{ (m)} \quad (4.5.2.3)$$

$$\frac{\partial x_2}{\partial D} = 1{,}272 \cdot D^{-0.037} \text{ (-)} \quad (4.5.2.4)$$

- Ζώνη ΙΙΙ (3 kW/m^2):

$$x_3 = 2{,}2029 \cdot D^{0.917} \text{ (m)} \quad (4.5.2.5)$$

$$\frac{\partial x_3}{\partial D} = 2{,}020 \cdot D^{-0.083} \text{ (-)} \quad (4.5.2.6)$$

Με τη βοήθεια των παραπάνω εξισώσεων, παρουσιάζεται στον πίνακα 4.5.2.2 ένα παράδειγμα για την ευαισθησία των Ζωνών Επιπτώσεων (Ι, ΙΙ, ΙΙΙ) στη μεταβολή της διαμέτρου D της φωτιάς λίμνης. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η μεταβολή της διαμέτρου είναι ίση με 10%.

Πίνακας 4.5.2.2: Παράδειγμα ανάλυσης ευαισθησίας για μεταβολή της διαμέτρου D κατά 20%

D (m)	50	
ΔD (m)	10%	
x_1 (15kW/m2) (m)	**$\pm\Delta x_1$ (m)**	**$\Delta x_1/x_1$**
34.8	3.7	10.6%
x_2 (6kW/m2) (m)	**$\pm\Delta x_2$ (m)**	**$\Delta x_2/x_2$**
57.1	5.5	9.6%
x_3 (3kW/m2) (m)	**$\pm\Delta x_3$ (m)**	**$\Delta x_3/x_3$**
79.6	7.3	9.2%

Όπως γίνεται φανερό από τα αποτελέσματα της παραπάνω ανάλυσης που παρουσιάζονται στο σχήμα 4.5.2.1 και τον πίνακα 4.5.2.2, η διάμετρος D της φωτιάς λίμνης είναι μία παράμετρος η μεταβολή της οποίας έχει σημαντική επίδραση στο εύρος των Ζωνών Επιπτώσεων Ι, ΙΙ και ΙΙΙ, συγκριτικά με τις άλλες παραμέτρους, όπως θα φανεί στη συνέχεια. Ουσιαστικά για μεταβολή της διαμέτρου D κατά 10%, η Ζώνη Ι μεταβάλλεται κατά 10,6%, η Ζώνη ΙΙ κατά 9,6% και η Ζώνη ΙΙΙ κατά 9,2%. Όπως προέκυψε από την ανάλυση και αξίζει να παρατηρηθεί, η Ζώνη Ι παρουσιάζει τη μεγαλύτερη ευαισθησία στις μεταβολές της διαμέτρου D, με τις άλλες Ζώνες Επιπτώσεων να ακολουθούν.

4.5.3 Ανάλυση ευαισθησίας για την θερμοκρασία περιβάλλοντος T_α

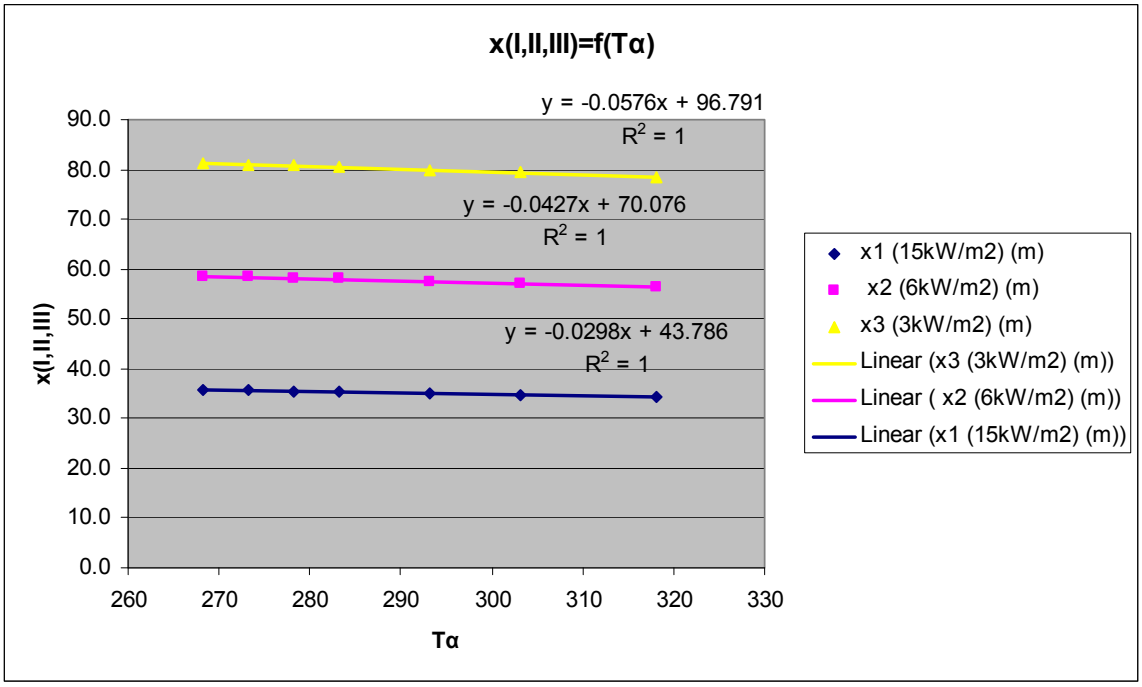
Θεωρώντας όλες τις άλλες παραμέτρους σταθερές, στη παράγραφο αυτή παρουσιάζεται η ανάλυση ευαισθησίας για την θερμοκρασία περιβάλλοντος T_α. Η μεταβολή της T_α επηρεάζει διάφορες παραμέτρους του φαινομένου Pool Fire, από αυτές που παρουσιάστηκαν στην παράγραφο 3.3.1, όπως είναι η κορεσμένη τάση ατμών του νερού στον αέρα p_w^o και η σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας RH. Οι δύο αυτές παράμετροι με τη σειρά τους επηρεάζουν τη μερική τάση ατμών του νερού p_w, συνεπώς επηρεάζουν το συντελεστή απορρόφησης της θερμικής ακτινοβολίας από την υγρασία της ατμόσφαιρας α_w και τελικά επηρεάζουν την ατμοσφαιρική μεταδοτικότητα τ_a, άρα και το μέγεθος της θερμικής ακτινοβολίας που εκπέμπεται κατά την εκδήλωση ενός Pool Fire.

Η ανάλυση ευαισθησίας για την θερμοκρασία περιβάλλοντος T_α και το πως η μεταβολή της επηρεάζει την κορεσμένη τάση ατμών του νερού στον αέρα p_w^o και τη σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας RH, έχουν παρουσιαστεί στην παράγραφο 4.2.1. Στην παρούσα παράγραφο παρουσιάζεται η διερεύνηση για την ευαισθησία των Ζωνών Επιπτώσεων I, II και III σε σχέση με την θερμοκρασία περιβάλλοντος T_α.

Από τα δεδομένα του Πίνακα 4.5.3.1 προκύπτουν οι καμπύλες του σχήματος 4.5.3.1 για τις αποστάσεις των τριών Ζωνών Επιπτώσεων I, II και III συναρτήσει της θερμοκρασίας περιβάλλοντος T_α.

Πίνακας 4.5.3.1: Δεδομένα για την ανάλυση ευαισθησίας της θερμοκρασίας περιβάλλοντος T_α

T_α (°C)	T_α (K)	x_1 (15kW/m2) (m)	x_2 (6kW/m2) (m)	x_3 (3kW/m2) (m)
-5	268.16	35.8	58.6	81.3
0	273.16	35.7	58.4	81.1
5	278.16	35.5	58.2	80.8
10	283.16	35.4	58.0	80.5
20	293.16	35.1	57.6	79.9
30	303.16	34.8	57.1	79.3
45	318.16	34.3	56.5	78.5



Σχήμα 4.5.3.1: Ανάλυση ευαισθησίας για την θερμοκρασία περιβάλλοντος T_α

Από το σχήμα 4.5.3.1 προκύπτει ότι η απόσταση στην οποία λαμβάνουν χώρα οι Ζώνες Επιπτώσεων I, II και III, μεταβάλλεται με την θερμοκρασία περιβάλλοντος T_α ως εξής:

- Ζώνη I (15 kW/m^2):

$$x_1 = -0{,}0298 \cdot T_a + 43{,}786 \ \text{(m)} \qquad (4.5.3.1)$$

$$\frac{\partial x_1}{\partial T_a} = -0{,}0298 \ \text{(m/K)} \qquad (4.5.3.2)$$

- Ζώνη II (6 kW/m^2):

$$x_2 = -0{,}0427 \cdot T_a + 70{,}076 \ \text{(m)} \qquad (4.5.3.3)$$

$$\frac{\partial x_2}{\partial T_a} = -0{,}0427 \ \text{(m/K)} \qquad (4.5.3.4)$$

- Ζώνη III (3 kW/m^2):

$$x_3 = -0{,}0576 \cdot T_a + 96{,}791 \ \text{(m)} \qquad (4.5.3.5)$$

$$\frac{\partial x_3}{\partial T_a} = -0{,}0576 \ \text{(m/K)} \qquad (4.5.3.6)$$

Με τη βοήθεια των παραπάνω εξισώσεων, παρουσιάζονται στους πίνακες 4.5.3.2 και 4.5.3.3 δύο παραδείγματα σχετικά με την ευαισθησία των Ζωνών Επιπτώσεων (I, II, III)

στις μεταβολές της θερμοκρασίας περιβάλλοντος T_α. Στα συγκεκριμένα παραδείγματα η μεταβολή της θερμοκρασίας περιβάλλοντος είναι ίση με 10% και 100% αντίστοιχα.

Πίνακας 4.5.3.2: Παράδειγμα ανάλυσης ευαισθησίας για μεταβολή της θερμοκρασίας περιβάλλοντος T_α κατά 10%

T_α (°C)	20	**ΔT_α (K)**
T_α (K)	293.2	10%
x_1 (15kW/m2) (m)	**$\pm\Delta x_1$ (m)**	**$\Delta x_1/x_1$**
35.0	0.1	0.2%
x_2 (6kW/m2) (m)	**$\pm\Delta x_2$ (m)**	**$\Delta x_2/x_2$**
57.6	0.1	0.1%
x_3 (3kW/m2) (m)	**$\pm\Delta x_3$ (m)**	**$\Delta x_3/x_3$**
79.9	0.1	0.1%

Πίνακας 4.5.3.3: Παράδειγμα ανάλυσης ευαισθησίας για μεταβολή της θερμοκρασίας περιβάλλοντος T_α κατά 100%

T_α (°C)	20	**ΔT_α (K)**
T_α (K)	293.2	100%
x_1 (15kW/m2) (m)	**$\pm\Delta x_1$ (m)**	**$\Delta x_1/x_1$**
35.0	0.6	1.7%
x_2 (6kW/m2) (m)	**$\pm\Delta x_2$ (m)**	**$\Delta x_2/x_2$**
57.6	0.9	1.5%
x_3 (3kW/m2) (m)	**$\pm\Delta x_3$ (m)**	**$\Delta x_3/x_3$**
79.9	1.2	1.4%

Όπως γίνεται εύκολα φανερό από τους πίνακες 4.5.3.2 και 4.5.3.3, όπως και στο φαινόμενο BLEVE έτσι και στο Pool Fire, η θερμοκρασία περιβάλλοντος T_α είναι μία παράμετρος η μεταβολή της οποίας έχει μικρή επίδραση στο εύρος των Ζωνών Επιπτώσεων I, II και III. Ουσιαστικά για μεταβολή της θερμοκρασίας περιβάλλοντος κατά 100%, η Ζώνη I μεταβάλλεται μόνο κατά 1,7%, η Ζώνη II κατά 1,5% και η Ζώνη III κατά 1,4%. Αξίζει να παρατηρηθεί ότι η Ζώνη I προκύπτει να είναι πιο ευαίσθητη στις μεταβολές της θερμοκρασίας περιβάλλοντος σε σχέση με τις άλλες Ζώνες Επιπτώσεων. Τελικά το συμπέρασμα που προκύπτει από την ανάλυση ευαισθησίας είναι ότι η θερμοκρασία περιβάλλοντος T_α δεν αποτελεί σημαντική παράμετρο στη μεταβολή των Ζωνών Επιπτώσεων στο φαινόμενο Pool Fire.

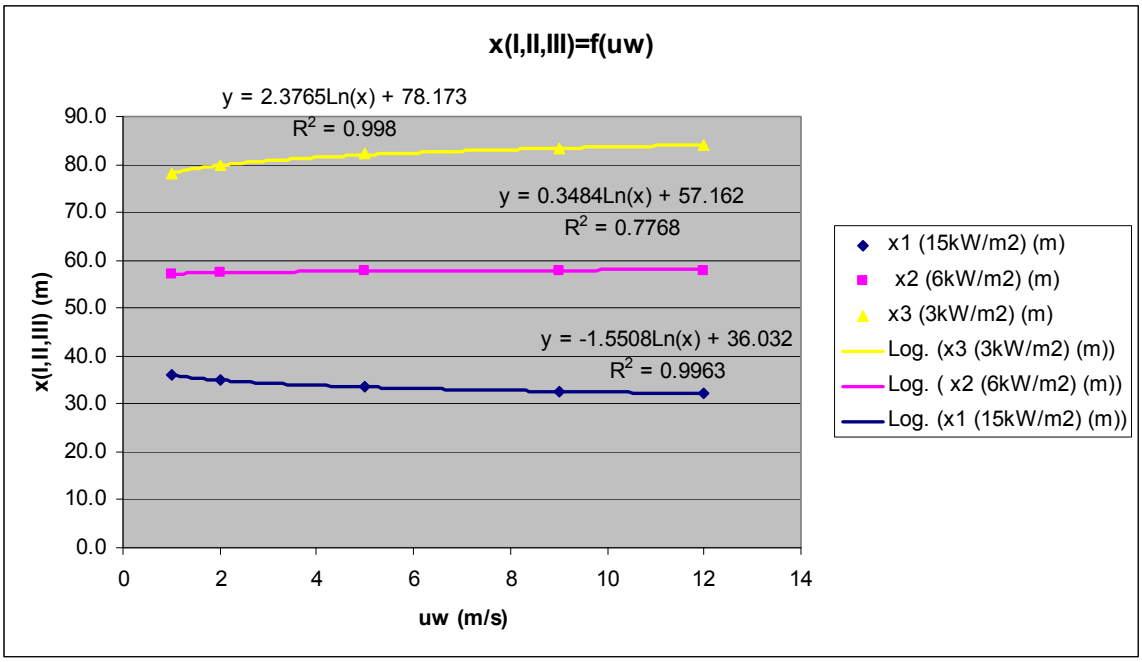
4.5.4 Ανάλυση ευαισθησίας για την ταχύτητα του ανέμου u_w

Στην παρούσα παράγραφο παρουσιάζεται η ανάλυση ευαισθησίας για την ταχύτητα του ανέμου u_w που επικρατεί στην περιοχή που εξελίσσεται η φωτιά λίμνης, θεωρώντας όλες τις άλλες παραμέτρους, που επηρεάζουν το φαινόμενο Pool Fire, σταθερές.

Από τα δεδομένα του Πίνακα 4.5.4.1 προκύπτουν οι καμπύλες του σχήματος 4.5.4.1 για τις αποστάσεις των τριών Ζωνών Επιπτώσεων I, II και III συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου u_w.

Πίνακας 4.5.4.1: Δεδομένα για την ανάλυση ευαισθησίας της διαμέτρου της λίμνης

Ταχύτητα ανέμου u_w (m/s)	x_1 (15kW/m2) (m)	x_2 (6kW/m2) (m)	x_3 (3kW/m2) (m)
1	35.9	57.0	78.1
2	35.1	57.6	79.9
5	33.6	58.0	82.1
9	32.6	57.9	83.4
12	32.1	57.8	84.0



Σχήμα 4.5.4.1: Ανάλυση ευαισθησίας για την ταχύτητα ανέμου u_w

Από το σχήμα 4.5.4.1 προκύπτει ότι η απόσταση στην οποία λαμβάνουν χώρα οι Ζώνες Επιπτώσεων I, II και III, μεταβάλλεται με την ταχύτητα ανέμου u_w ως εξής:

- Ζώνη I (15 kW/m^2):

$$x_1 = -1{,}5508 \cdot \ln(u_w) + 36{,}032 \ \text{(m)} \qquad (4.5.4.1)$$

$$\frac{\partial x_1}{\partial u_w} = -1{,}5508 \cdot \frac{1}{u_w} \ \text{(s)} \qquad (4.5.4.2)$$

- Ζώνη II (6 kW/m^2):

$$x_2 = 0{,}3484 \cdot \ln(u_w) + 57{,}162 \ \text{(m)} \qquad (4.5.4.3)$$

$$\frac{\partial x_2}{\partial u_w} = 0{,}3484 \cdot \frac{1}{u_w} \text{ (s)} \qquad (4.5.4.4)$$

- Ζώνη ΙΙΙ (3 kW/m^2):

$$x_3 = 2{,}3765 \cdot \ln(u_w) + 78{,}173 \text{ (m)} \qquad (4.5.4.5)$$

$$\frac{\partial x_3}{\partial u_w} = 2{,}3765 \cdot \frac{1}{u_w} \text{ (s)} \qquad (4.5.4.6)$$

Με τη βοήθεια των παραπάνω εξισώσεων, παρουσιάζεται στον πίνακα 4.5.4.2 ένα παράδειγμα σχετικά με την ευαισθησία των Ζωνών Επιπτώσεων (Ι, ΙΙ, ΙΙΙ) στη μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου u_w. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου είναι ίση με 10%.

Πίνακας 4.5.4.2: Παράδειγμα ανάλυσης ευαισθησίας για μεταβολή της ταχύτητας ανέμου u_w κατά 10%

u_w (m/s)	2	
Δu_w (m/s)	10%	
x_1 (15kW/m2) (m)	**$\pm\Delta x_1$ (m)**	**$\Delta x_1/x_1$**
35.0	0.16	0.4%
x_2 (6kW/m2) (m)	**$\pm\Delta x_2$ (m)**	**$\Delta x_2/x_2$**
57.4	0.03	0.1%
x_3 (3kW/m2) (m)	**$\pm\Delta x_3$ (m)**	**$\Delta x_3/x_3$**
79.8	0.24	0.3%

Με βάση την ανάλυση ευαισθησίας και τα αποτελέσματά της που παρουσιάζονται στο σχήμα 4.5.4.1 και στον πίνακα 4.5.4.2, προκύπτει ότι η ταχύτητα ανέμου u_w είναι μία παράμετρος η μεταβολή της οποίας έχει μικρή επίδραση στο εύρος των Ζωνών Επιπτώσεων Ι, ΙΙ και ΙΙΙ.

Επιπλέον από το σχήμα 4.5.4.1 παρατηρείται ότι με την μεταβολή της θερμοκρασίας οι τρεις καμπύλες της απόστασης που λαμβάνουν χώρα οι Ζώνες Επιπτώσεων Ι, ΙΙ και ΙΙΙ συναρτήσει της u_w, παρουσιάζουν εντελώς διαφορετική συμπεριφορά. Υπό αυτήν την έννοια με την αύξηση της ταχύτητας του ανέμου u_w, η απόσταση της Ζώνης Ι αυξάνεται, η απόσταση της Ζώνης ΙΙ αυξάνεται ελάχιστα αρχικά και στη συνέχεια τείνει να σταθεροποιηθεί γύρω από μία συγκεκριμένη τιμή, ενώ τέλος η απόσταση της Ζώνης ΙΙΙ μειώνεται. Αξίζει να σημειωθεί επίσης ότι η προσεγγιστική καμπύλη 4.5.4.2 για την Ζώνη ΙΙ παρουσιάζει μία σχετικά μεγάλη απόκλιση από τα πραγματικά δεδομένα (R^2=0.7768), η οποία όμως δεν γίνεται αντιληπτή στην πράξη λόγω της πολύ μικρής διακύμανσης των τιμών που παίρνει η απόσταση για την Ζώνη ΙΙ, γεγονός που φαίνεται και από το παράδειγμα στον πίνακα 4.5.4.2. Έτσι από τον πίνακα 4.5.4.2 παρατηρείται ότι για μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου u_w κατά 10%, η Ζώνη Ι μεταβάλλεται κατά 0,4%, η Ζώνη ΙΙ κατά μόλις 0,1% και η Ζώνη ΙΙΙ κατά 0,3%. Όπως προέκυψε από την ανάλυση και αξίζει να παρατηρηθεί, η Ζώνη Ι παρουσιάζει τη μεγαλύτερη ευαισθησία,

ως ποσοστιαία μεταβολή, στις μεταβολές της ταχύτητας του ανέμου u_w, ενώ ως απόλυτο νούμερο, τη μεγαλύτερη μεταβολή παρουσιάζει η Ζώνη ΙΙΙ.

4.5.5 Ανάλυση ευαισθησίας για το κλάσμα της παραγόμενης θερμότητας καύσης που εκπέμπεται F_s

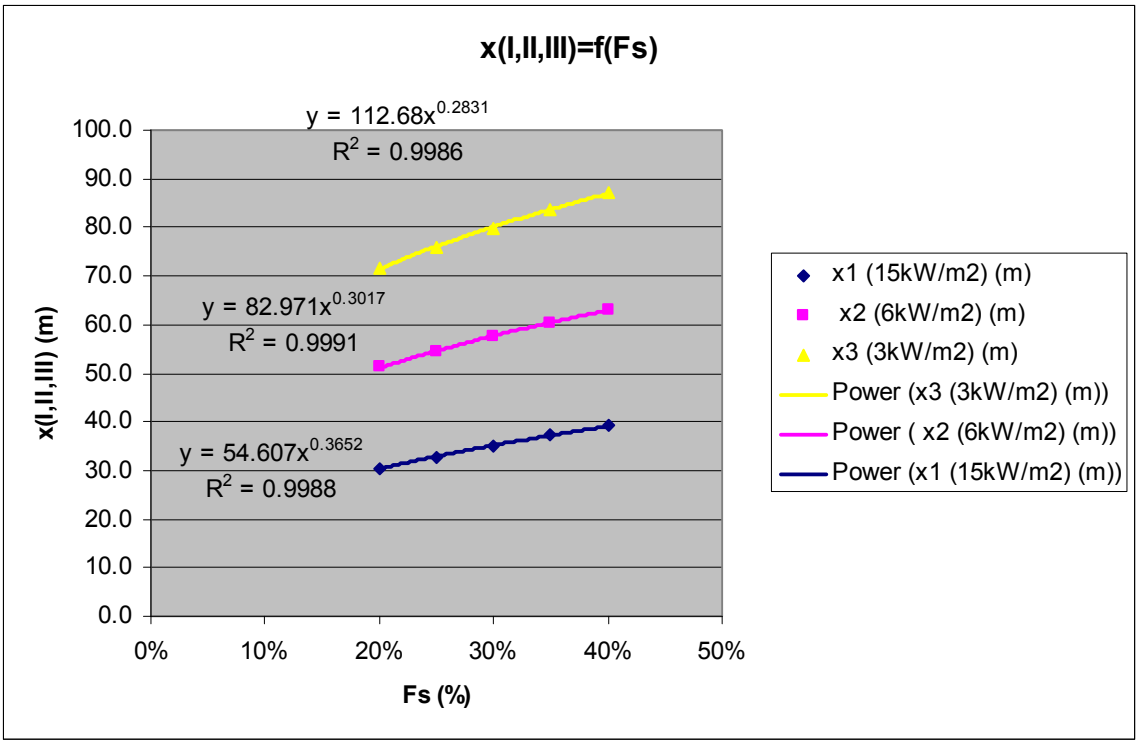
Θεωρώντας όλες τις άλλες παραμέτρους σταθερές, παρουσιάζεται στη συνέχεια η ανάλυση ευαισθησίας για το κλάσμα της παραγόμενης θερμότητας καύσης που εκπέμπεται F_s (Fraction combustion heat radiated) από μία φωτιά λίμνης.

Να αναφερθεί εδώ ότι το κλάσμα της παραγόμενης θερμότητας καύσης που εκπέμπεται F_s είναι μία παράμετρος για την οποία δεν υπάρχουν ακριβή στοιχεία και δεδομένα στη διεθνή βιβλιογραφία. Η τιμή του κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 0,1 και 0,4. Από διάφορα πειράματα που έχουν πραγματοποιηθεί προκύπτει ότι η τιμή του εξαρτάται τόσο από τον τύπο της ουσίας που συμμετέχει στο Pool Fire, όσο και από την διάμετρο της λίμνης, αλλά δεν είναι σαφής ο τρόπος σύνδεσης αυτών των παραμέτρων μεταξύ τους. Στην παρούσα εργασία θεωρήθηκε ως σταθερή τιμή του F_s η τιμή 0,3 που είναι και η πιο συνηθισμένη για τους περισσότερους υδρογονάνθρακες.

Από τα δεδομένα του Πίνακα 4.5.5.1 προκύπτουν οι καμπύλες του σχήματος 4.5.5.1 για τις αποστάσεις των τριών Ζωνών Επιπτώσεων Ι, ΙΙ και ΙΙΙ συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου u_w.

Πίνακας 4.5.5.1: Δεδομένα για την ανάλυση ευαισθησίας του κλάσματος F_s

Κλάσμα F_s (%)	**x_1 (15kW/m2) (m)**	**x_2 (6kW/m2) (m)**	**x_3 (3kW/m2) (m)**
20%	30.5	51.2	71.7
25%	32.8	54.5	75.9
30%	35.1	57.6	79.9
35%	37.2	60.4	83.7
40%	39.2	63.1	87.2



Σχήμα 4.5.5.1: Ανάλυση ευαισθησίας για το κλάσμα F_s

Από το σχήμα 4.5.5.1 προκύπτει ότι η απόσταση στην οποία λαμβάνουν χώρα οι Ζώνες Επιπτώσεων I, II και III, μεταβάλλεται με το κλάσμα F_s ως εξής:

- Ζώνη I (15 kW/m^2):

$$x_1 = 54{,}607 \cdot F_s^{\,0.3652} \ \text{(m)} \qquad (4.5.5.1)$$

$$\frac{\partial x_1}{\partial F_s} = 19{,}9424 \cdot F_s^{\,-0.6348} \ \text{(m)} \qquad (4.5.5.2)$$

- Ζώνη II (6 kW/m^2):

$$x_2 = 82{,}971 \cdot F_s^{\,0.3017} \ \text{(m)} \qquad (4.5.5.3)$$

$$\frac{\partial x_2}{\partial F_s} = 25{,}0323 \cdot F_s^{\,-0.6983} \ \text{(m)} \qquad (4.5.5.4)$$

- Ζώνη III (3 kW/m^2):

$$x_3 = 112{,}68 \cdot F_s^{\,0.2831} \ \text{(m)} \qquad (4.5.5.5)$$

$$\frac{\partial x_3}{\partial F_s} = 31{,}8997 \cdot F_s^{\,-0.7169} \ \text{(m)} \qquad (4.5.5.6)$$

Με τη βοήθεια των παραπάνω εξισώσεων, παρουσιάζεται στον πίνακα 4.5.5.2 ένα παράδειγμα για την ευαισθησία των Ζωνών Επιπτώσεων (I, II, III) στη μεταβολή του

κλάσματος F_s της παραγόμενης θερμότητας καύσης που εκπέμπεται. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η μεταβολή του F_s είναι ίση με 10%.

Πίνακας 4.5.5.2: Παράδειγμα ανάλυσης ευαισθησίας για μεταβολή του κλάσματος F_s κατά 10%

F_s	30%	
ΔF_s	10%	
x_1 (15kW/m2) (m)	**$\pm\Delta x_1$ (m)**	**$\Delta x_1/x_1$**
35.2	1.3	3.7%
x_2 (6kW/m2) (m)	**$\pm\Delta x_2$ (m)**	**$\Delta x_2/x_2$**
57.7	1.7	3.0%
x_3 (3kW/m2) (m)	**$\pm\Delta x_3$ (m)**	**$\Delta x_3/x_3$**
80.1	2.3	2.8%

Όπως γίνεται φανερό από το σχήμα 4.5.5.1 και τον πίνακα 4.5.5.2, το κλάσμα F_s είναι μία παράμετρος η μεταβολή της οποίας έχει κάποια επίδραση στο εύρος των Ζωνών Επιπτώσεων I, II και III και όπως φαίνεται από τον πίνακα 4.5.5.2 ουσιαστικά για μεταβολή του κλάσματος F_s κατά 10%, η Ζώνη I μεταβάλλεται κατά 3,7%, η Ζώνη II κατά 3,0% και η Ζώνη III κατά 2,8%.

4.5.6 Ανάλυση ευαισθησίας για τη συγκέντρωση C_{CO2} του διοξειδίου του άνθρακα στον αέρα

Θεωρώντας όλες τις άλλες παραμέτρους σταθερές, παρουσιάζεται στη συνέχεια η ανάλυση ευαισθησίας για τη συγκέντρωση C_{CO2} του διοξειδίου του άνθρακα στον αέρα και το πως αυτή επηρεάζει το μέγεθος της θερμικής ακτινοβολίας που εκπέμπεται, άρα και το εύρος των επιπτώσεων του φαινομένου Pool Fire.

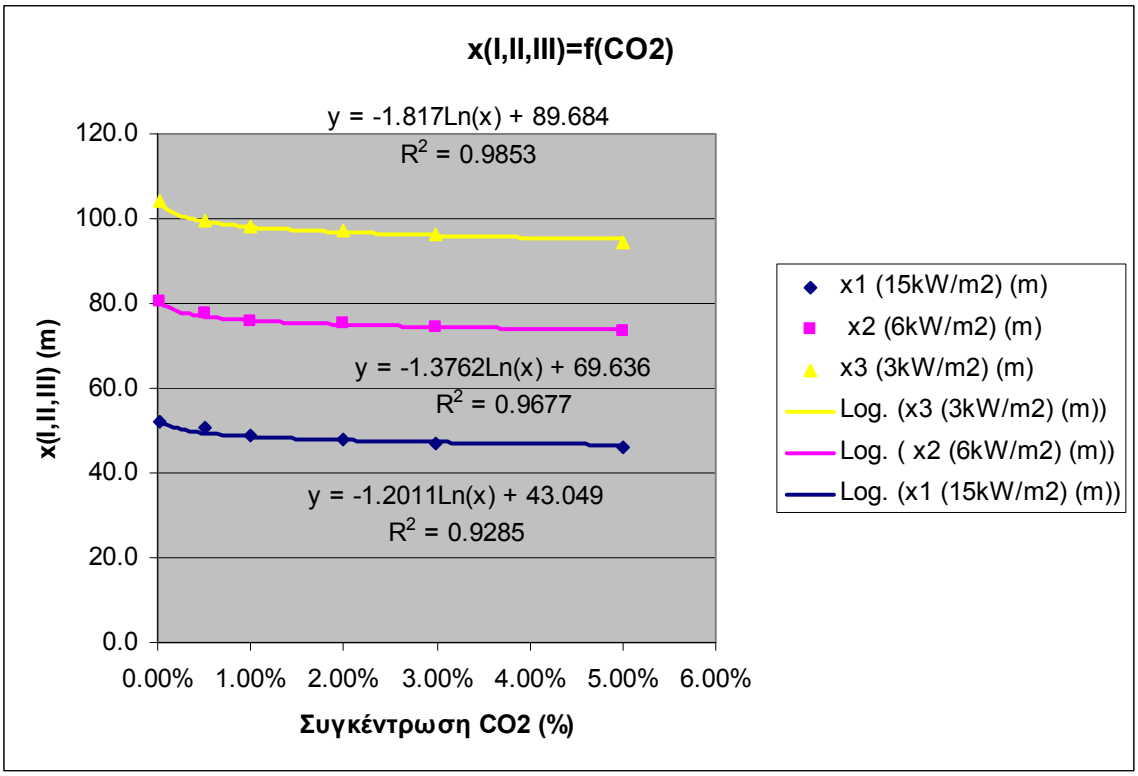
Να σημειωθεί εδώ ότι η παράμετρος της συγκέντρωσης C_{CO2} του διοξειδίου του άνθρακα στον αέρα έχει ληφθεί από το λογισμικό Effects 7.4 της TNO. Οι τιμές για τις αποστάσεις των Ζωνών Επιπτώσεων I, II και III συγκριτικά με τις διάφορες τιμές της παραμέτρου στον Πίνακα 4.5.6.1 έχουν υπολογιστεί με βάση αυτό το λογισμικό. Η βιβλιογραφία στην οποία βασίστηκε η παρούσα εργασία δεν προέβλεπε αυτήν την παράμετρο. Έχει συμπεριληφθεί απλά για λόγους πληρότητας της εργασίας, αφού η παράμετρος αυτή λαμβάνεται υπόψη από μελέτες ασφάλειας σε εγκαταστάσεις SEVESO.

Από τα δεδομένα του Πίνακα 4.5.6.1 προκύπτουν οι καμπύλες του σχήματος 4.5.6.1 για τις αποστάσεις των τριών Ζωνών Επιπτώσεων I, II και III συναρτήσει της συγκέντρωσης C_{CO2} (% v.v).

Πίνακας 4.5.6.1: Δεδομένα για την ανάλυση ευαισθησίας της συγκέντρωσης C_{CO2}

Συγκέντρωση C_{CO2} (% v.v)	**x_1 (15kW/m2) (m)**	**x_2 (6kW/m2) (m)**	**x_3 (3kW/m2) (m)**
0.03%	52.3	80.4	104.2
0.50%	50.5	77.8	99.8

1.00%	48.7	76.0	98.0
2.00%	47.9	75.1	97.1
3.00%	47.0	74.3	96.2
5.00%	46.1	73.4	94.5



Σχήμα 4.5.6.1: Ανάλυση ευαισθησίας για την συγκέντρωση C_{CO2}

Από το σχήμα 4.5.6.1 προκύπτει ότι η απόσταση στην οποία λαμβάνουν χώρα οι Ζώνες Επιπτώσεων I, II και III, μεταβάλλεται με την συγκέντρωση C_{CO2} ως εξής:

- Ζώνη I (15 kW/m^2):

$$x_1 = -1.2011 \cdot \ln(C_{CO2}) + 43.049 \ \text{(m)} \qquad (4.5.6.1)$$

$$\frac{\partial x_1}{\partial C_{CO2}} = -1.2011 \cdot \frac{1}{C_{CO2}} \ \text{(m / \% v.v)} \qquad (4.5.6.2)$$

- Ζώνη II (6 kW/m^2):

$$x_2 = -1.3762 \cdot \ln(C_{CO2}) + 69.636 \ \text{(m)} \qquad (4.5.6.3)$$

$$\frac{\partial x_2}{\partial C_{CO2}} = -1.3762 \cdot \frac{1}{C_{CO2}} \ \text{(m / \% v.v)} \qquad (4.5.6.4)$$

- Ζώνη III (3 kW/m^2):

$$x_3 = -1.817 \cdot \ln(C_{CO2}) + 89.684 \ \text{(m)} \qquad (4.5.6.5)$$

$$\frac{\partial x_3}{\partial C_{CO2}} = -1.817 \cdot \frac{1}{C_{CO2}} \text{ (m / \% v.v)} \qquad (4.5.6.6)$$

Με τη βοήθεια των παραπάνω εξισώσεων, παρουσιάζεται στον πίνακα 4.5.6.2 ένα παράδειγμα για την ευαισθησία των Ζωνών Επιπτώσεων (I, II, III) στη μεταβολή της συγκέντρωσης C_{CO2}. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η μεταβολή της C_{CO2} είναι ίση με 10%.

Πίνακας 4.5.6.2: Παράδειγμα ανάλυσης ευαισθησίας για μεταβολή της συγκέντρωσης C_{CO2} κατά 10%

C_{CO2}	3.00%	
ΔC_{CO2}	10%	
x_1 (15kW/m2) (m)	**$\pm\Delta x_1$ (m)**	**$\Delta x_1/x_1$**
47.3	0.1	0.3%
x_2 (6kW/m2) (m)	**$\pm\Delta x_2$ (m)**	**$\Delta x_2/x_2$**
74.5	0.1	0.2%
x_3 (3kW/m2) (m)	**$\pm\Delta x_3$ (m)**	**$\Delta x_3/x_3$**
96.1	0.2	0.2%

Όπως γίνεται φανερό από τον πίνακα 4.5.6.2, η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στον αέρα C_{CO2} είναι μία παράμετρος η μεταβολή της οποίας έχει μικρή επίδραση στο εύρος των Ζωνών Επιπτώσεων I, II και III. Ουσιαστικά για μεταβολή της συγκέντρωσης C_{CO2} κατά 10%, η Ζώνη I μεταβάλλεται κατά μόλις 0,3%, η Ζώνη II κατά 0,2% και η Ζώνη III επίσης κατά 0,2%.

Όπως αναφέρθηκε και στα προηγούμενα φαινόμενα από τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες παραγράφους για την ανάλυση ευαισθησίας των παραμέτρων του φαινομένου Pool Fire, στον πίνακα 4.5.6.2 παρουσιάζεται η ιεράρχηση των παραμέτρων αυτών με βάση τη σημαντικότητα και την επίδραση τους στο μέγεθος της θερμικής ακτινοβολίας που αναπτύσσεται από μία φωτιά λίμνης, οπότε κατά συνέπεια και στον καθορισμό των αποστάσεων των Ζωνών Επιπτώσεων I, II και III.

Πίνακας 4.5.6.3: Ιεράρχηση παραμέτρων με βάση τη σημαντικότητά τους για το φαινόμενο Pool Fire

Α/Α	**Παράμετροι**	**Σημαντικότητα**
1	Ισοδύναμη διάμετρος λίμνης D	Πολύ Σημαντική
2	Κλάσμα της παραγόμενης θερμότητας καύσης που εκπέμπεται F_s	Λίγο Σημαντική
3	Ταχύτητα ανέμου u_w	Ασήμαντη
4	Θερμοκρασία περιβάλλοντος T_α	Ασήμαντη
5	Συγκέντρωση C_{CO2}	Ασήμαντη

Όπως και προηγουμένως η παράμετρος που αφορά στον τύπο της ουσίας δεν συμπεριλήφθηκε στον πίνακα 4.5.6.3.

Γενικές παρατηρήσεις

Η ανάλυση για τα παραπάνω φαινόμενα πραγματοποιήθηκε με βάση το μαθηματικό υπόβαθρο του CPR-14E Yellow Book, η λογισμική εφαρμογή του οποίου είναι εξαιρετικά διαδεδομένη αφού χρησιμοποιείται από πληθώρα αναλυτών στο χώρο της βιομηχανικής ασφάλειας.

Χρειάζεται να σημειωθεί, ότι οι εξισώσεις που παρουσιάστηκαν παραπάνω, ως αποτέλεσμα της ανάλυσης ευαισθησίας, και οι οποίες αφορούν στη μεταβολή των αποστάσεων των Ζωνών Επιπτώσεων I, II και III σε συνάρτηση με τις διάφορες μεταβλητές που επηρεάζουν τα παραπάνω ατυχηματικά φαινόμενα, ισχύουν μόνο για τις συγκεκριμένες τιμές των λοιπών παραμέτρων (μάζα, τύπος ουσίας, κτλ.) που έχουν οριστεί στην κάθε παράγραφο και όχι γενικά για οποιεσδήποτε τιμές των παραμέτρων αυτών. Αυτό ισχύει διότι η ανάλυση ευαισθησίας βασίστηκε σε συγκεκριμένα παραδείγματα ώστε να προκύψουν πραγματικά και ουσιαστικά αποτελέσματα για την ευαισθησία του κάθε φαινομένου στις παραμέτρους που το επηρεάζουν, για τα τρία όρια των Ζωνών Επιπτώσεων όπως αυτές ορίζονται από την ευρωπαϊκή οδηγία SEVESO II. Επιπλέον η μεθοδολογία (Multi-Energy Method) που προτείνεται στο CPR-14E Yellow Book για το φαινόμενο της έκρηξης αερίου νέφους (VCE) και που υιοθετείται στη παρούσα εργασία βασίζεται κυρίως σε διαγράμματα και γραφικές παραστάσεις που απεικονίζουν τις σχέσεις των διαφόρων μεταβλητών και έτσι δεν επιτρέπει την ανάλυση του φαινομένου με γενικό τρόπο μέσα από γενικές εξισώσεις που να έχουν εφαρμογή για κάθε τιμή των μεταβλητών, παρά μόνο μέσα από συγκεκριμένα παραδείγματα.

Από την άλλη, η μαθηματική μοντελοποίηση για τα φαινόμενα BLEVE και Pool Fire βασίζεται σε γενικές εξισώσεις που βρίσκουν εφαρμογή σε κάθε περίπτωση, οι οποίες όμως είναι αρκετά πολύπλοκες. Με τις κατάλληλες παραδοχές οι εξισώσεις αυτές απλοποιούνται με αποτέλεσμα να μετατρέπονται σε χρήσιμα εργαλεία για την ανάλυση που ενδιαφέρει στην παρούσα εργασία, όπως παρουσιάζεται στην επόμενη παράγραφο.

4.6 Συναρτήσεις παραμετρικής ευαισθησίας Ζωνών Επιπτώσεων για BLEVE και Pool Fire με γενική εφαρμογή

Σε αυτήν την παράγραφο παρουσιάζονται οι εξισώσεις που δίνουν την απόσταση στην οποία η τιμή της εκπεμπόμενης θερμικής ακτινοβολίας, από τα φαινόμενα BLEVE και Pool Fire, λαμβάνει συγκεκριμένη τιμή, σε συνάρτηση με τις μεταβλητές από τις οποίες εξαρτώνται τα φαινόμενα αυτά. Επομένως γίνεται αντιληπτό ότι με αυτές τις εξισώσεις είναι δυνατόν να υπολογιστούν οι αποστάσεις των Ζωνών Επιπτώσεων I, II και III. Οι εξισώσεις αυτές έχουν γενική εφαρμογή για μεγάλο εύρος τιμών των μεταβλητών των

δύο φαινομένων. Να σημειωθεί ότι οι μεταβλητές που παρουσιάζονται σε αυτήν την παράγραφο έχουν ήδη οριστεί στο Κεφ. 3.

4.6.1 Συναρτήσεις παραμετρικής ευαισθησίας Ζωνών Επιπτώσεων για BLEVE

Η απόσταση x για συγκεκριμένη τιμή της εκπεμπόμενης θερμικής ακτινοβολίας q″ συναρτήσει των υπολοίπων μεταβλητών από τις οποίες εξαρτάται το φαινόμενο BLEVE δίνεται από την εξίσωση 4.6.1.1 (CPR-14E Yellow Book, 2007).

$$x = \left[A \cdot P_{sv}^{\ 0,32} \cdot e^{-0,0028 \cdot T_\alpha} \cdot M^{0,71} - 41,99 \cdot M^{0,65}\right]^{0,5} \text{ (m)} \qquad (4.6.1.1)$$

όπου: $A = 6,62 \cdot 10^{-4} \cdot \dfrac{\Delta H}{q''}$ και

- M: Μάζα της ουσίας, σε kg.

- P_{sv}: Τάση κορεσμένου ατμού της ουσίας εντός της δεξαμενής / δοχείου πριν τη διαφυγή, σε N/m^2.

- T_α: Θερμοκρασία περιβάλλοντος, σε K.

- q″: Θερμική ακτινοβολία σε συγκεκριμένη απόσταση από το κέντρο της πύρινης σφαίρας, $J/(m^2 \cdot s) = W/m^2$.

- ΔH: Καθαρό ποσό θερμότητας που είναι διαθέσιμο προς ακτινοβολία, σε J/kg.

Η εξίσωση 4.6.1.1 έχει προκύψει με βάση την παραδοχή ότι στο φαινόμενο συμμετέχει αρκετή ποσότητα μάζας M της καύσιμης ουσίας. Γενικά η ακρίβεια της εξίσωσης είναι αρκετά ικανοποιητική για μάζα M της ουσίας μεγαλύτερη από 6 τόνους. Η υπόθεση αυτή βρίσκεται σε πλήρη συμφωνία με τις περιπτώσεις BLEVE που αναλύονται στο παράδειγμα εφαρμογής στην παρούσα εργασία, αλλά και γενικότερα με τις περιπτώσεις που αναλύονται γενικά στη βιομηχανία.

Επίσης οι παράγωγοι της 4.6.1.1 ως προς M και T_α είναι:

$$\frac{\partial x}{\partial M} = \frac{1}{x} \cdot \left(A_1 \cdot P_{sv}^{\ 0,32} \cdot e^{-0,0028 \cdot T_\alpha} \cdot M^{-0,29} - 13,65 \cdot M^{-0,32}\right) \qquad (4.6.1.2)$$

όπου: $A_1 = 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot \dfrac{\Delta H}{q''}$,

$$\frac{\partial x}{\partial T_\alpha} = \frac{1}{x} \cdot \left(A_2 \cdot P_{sv}^{\ 0,32} \cdot M^{0,71} \cdot e^{-0,0028 \cdot T_\alpha}\right) \qquad (4.6.1.3)$$

όπου: $A_2 = -9,3 \cdot 10^{-7} \cdot \dfrac{\Delta H}{q''}$.

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τις παραπάνω εξισώσεις για τη μεταβολή της απόστασης x συναρτήσει της μάζας M και της θερμοκρασίας T_a είναι τα εξής:

- Από την εξίσωση 4.6.1.2 συμπεραίνεται ότι για μεγάλες αποστάσεις (μεγάλο x) και για μεγαλύτερες μάζες (μεγάλο M) οι εκτιμήσεις των Ζωνών Επιπτώσεων γίνονται πιο ακριβείς αφού η ευαισθησία τους μικραίνει. Αυτό φαίνεται και στα σχήματα 4.6.1.2, 4.6.1.5 και 4.6.1.8 αναφορικά με τη μάζα, καθώς και στα σχήματα 4.6.1.3, 4.6.1.6 και 4.6.1.9 αναφορικά με την απόσταση x. Αξίζει να παρατηρηθεί ότι αναφορικά με τη μάζα, η κλίση της $\partial x / \partial M$ είναι περίπου αντιστρόφως ανάλογη της κυβικής ρίζας της μάζας M.
- Από την εξίσωση 4.6.1.3 συμπεραίνεται ότι η θερμοκρασία περιβάλλοντος T_α δεν επηρεάζει σημαντικά την ευαισθησία η οποία είναι ιδιαιτέρως μικρή, ενώ μειώνεται αρκετά για μεγαλύτερες αποστάσεις (μεγάλο x), όπως φαίνεται και από τα σχήματα 4.6.1.3, 4.6.1.6 και 4.6.1.9. Ακόμα από τα σχήματα 4.6.1.2, 4.6.1.5 και 4.6.1.8 παρατηρείται ότι η ευαισθησία μειώνεται όσο αυξάνει η μάζα M, γεγονός που θεωρείται αναμενόμενο αφού η αύξηση της μάζας συνεπάγεται αύξηση της απόστασης x, όπως προκύπτει από τις γραφικές παραστάσεις της εξίσωσης 4.6.1.1 συναρτήσει της M που παρουσιάζονται στα σχήματα 4.6.1.1, 4.6.1.4 και 4.6.1.7.

Στη συνέχεια παρατίθενται οι γραφικές παραστάσεις των εξισώσεων 4.6.1.1 – 4.6.1.3 συναρτήσει της μάζας M της ουσίας που συμμετέχει στο φαινόμενο BLEVE καθώς και οι παραστάσεις των εξισώσεων 4.6.1.2 – 4.6.1.3 συναρτήσεις της απόστασης x, για τις τρεις περιπτώσεις των Ζωνών Επιπτώσεων I, II και III, δηλαδή για:

1) $q'' = 15.000,00\ W/m^2 = 15\ kW/m^2$,
2) $q'' = 6.000,00\ W/m^2 = 6\ kW/m^2$, και
3) $q'' = 3.000,00\ W/m^2 = 3\ kW/m^2$.

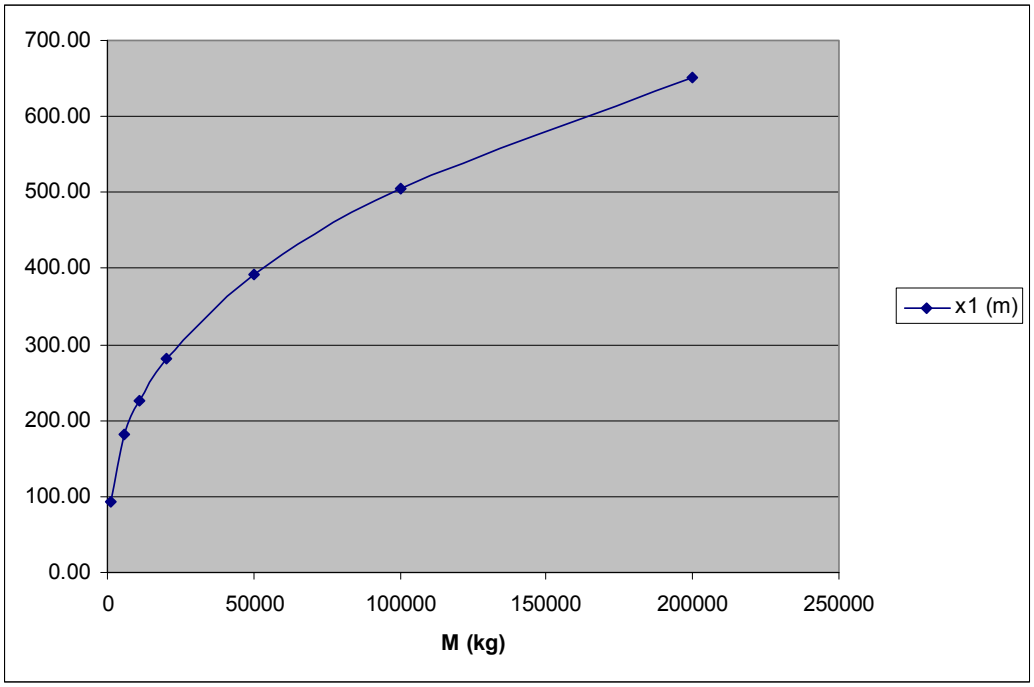
Τα δεδομένα για τις γραφικές παραστάσεις παρουσιάζονται στους Πίνακες 4.6.1.1 – 4.6.1.3 και οι υπολογισμοί έχουν γίνει για BLEVE με LPG και θερμοκρασία περιβάλλοντος T_α=20°C = 293,16 K και θερμοκρασία λειτουργίας T_{op}=100°C = 373,16 K.

1) <u>Ζώνη Επιπτώσεων I</u> ($q'' = 15\ kW/m^2$)

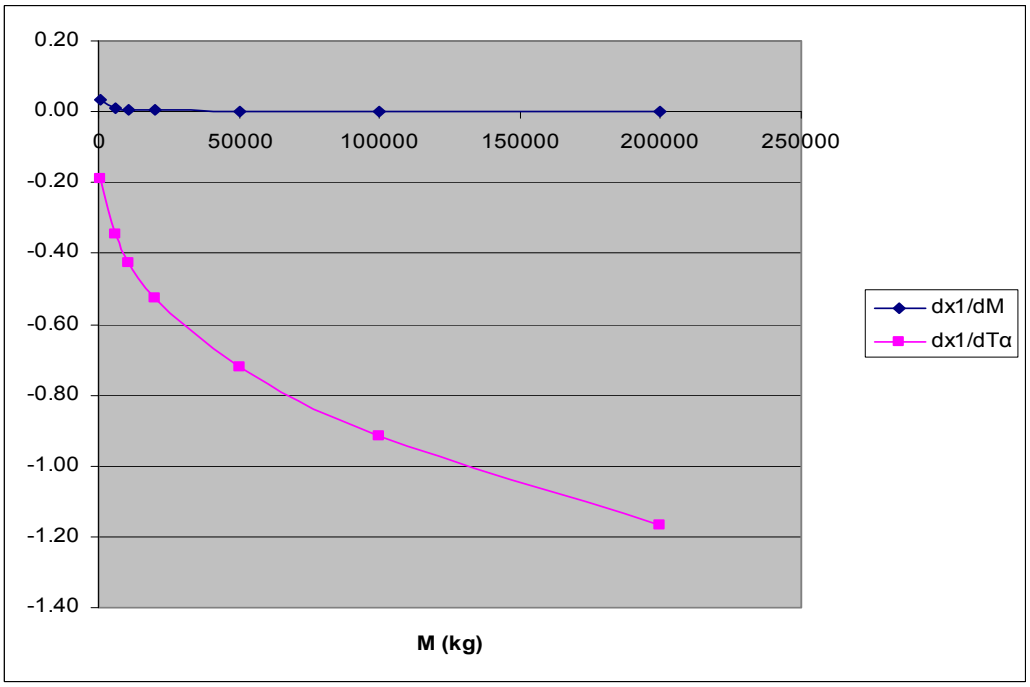
Πίνακας 4.6.1.1: Δεδομένα για την απόσταση x_1 και των παραγώγων της ως προς M και T_α συναρτήσει της μάζας M για το φαινόμενο BLEVE

M (kg)	x_1 (m)	dx_1/dM	dx_1/dT_α
1000	93.882	0.032	-0.188
6000	181.144	0.010	-0.347
11000	226.095	0.007	-0.428
20000	281.260	0.005	-0.526
50000	392.821	0.003	-0.722

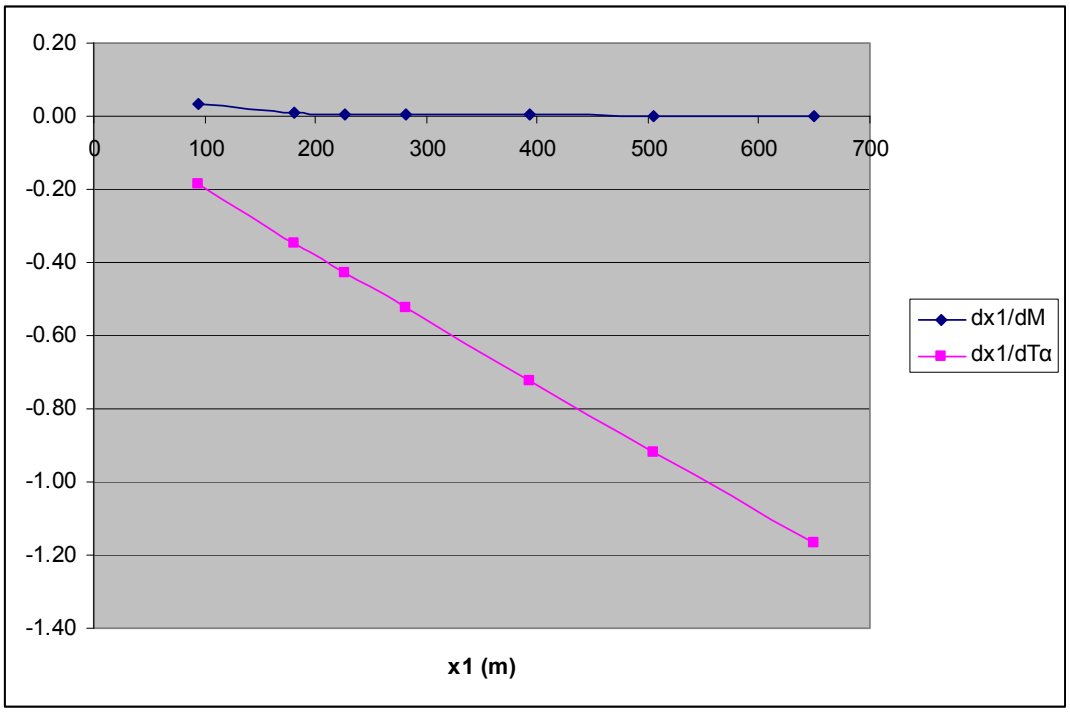
100000	505.558	0.002	-0.918
200000	650.438	0.001	-1.167



Σχήμα 4.6.1.1: Μεταβολή της απόστασης x_1 συναρτήσει της μάζας M



Σχήμα 4.6.1.2: Ανάλυση ευαισθησίας της απόστασης x_1 ως προς M και T_α συναρτήσει της μάζας M

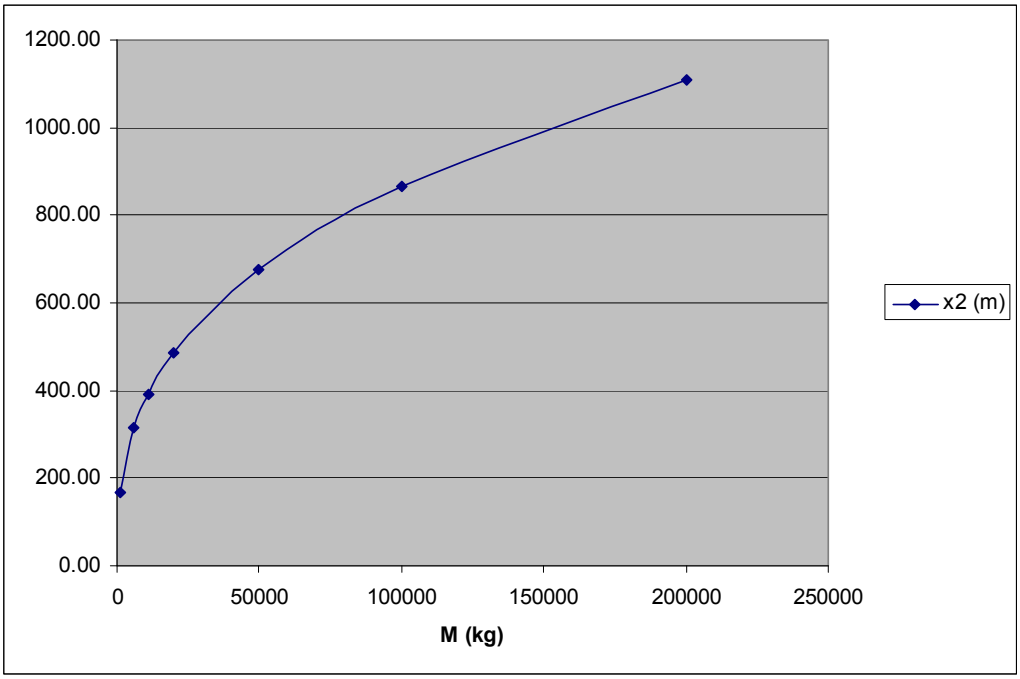


Σχήμα 4.6.1.3: Μεταβολή των παραγώγων της απόστασης x_1 ως προς M και T_α συναρτήσει της απόστασης x_1

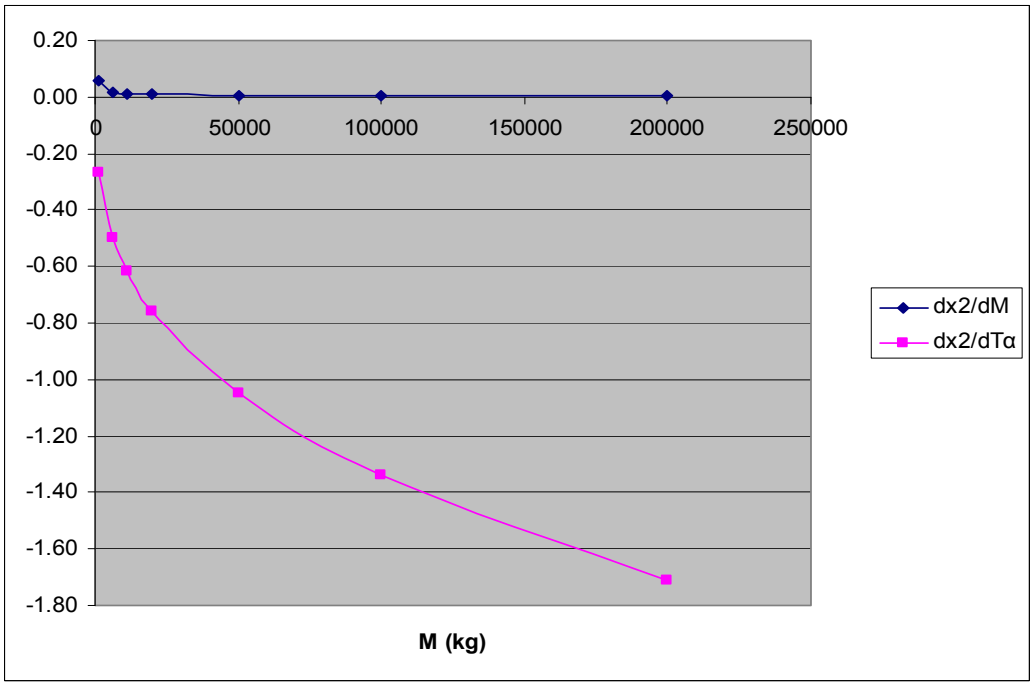
2) Ζώνη Επιπτώσεων ΙΙ ($q'' = 6\ kW/m^2$)

Πίνακας 4.6.1.2: Δεδομένα για την απόσταση x_2 και των παραγώγων της ως προς M και T_α συναρτήσει της μάζας M για το φαινόμενο BLEVE

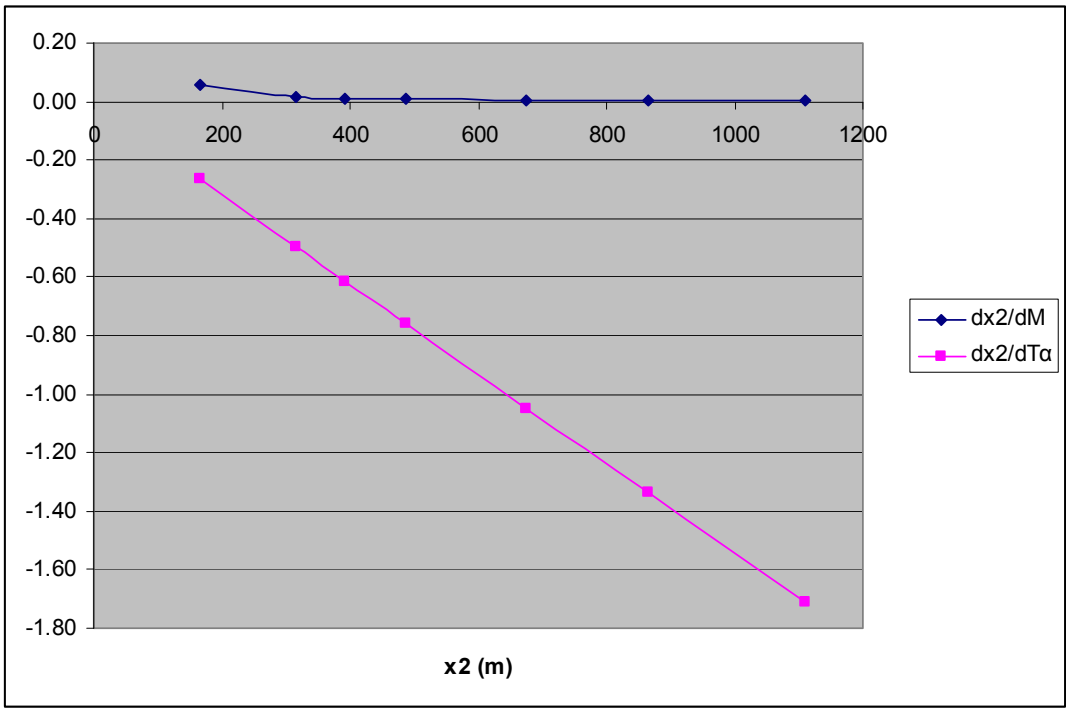
M (kg)	x_2 (m)	dx_2/dM	dx_2/dT_α
1000	166.277	0.058	-0.265
6000	316.264	0.018	-0.498
11000	393.033	0.012	-0.616
20000	486.944	0.008	-0.760
50000	676.128	0.005	-1.049
100000	866.590	0.003	-1.338
200000	1110.598	0.002	-1.708



Σχήμα 4.6.1.4: Μεταβολή της απόστασης x_2 συναρτήσει της μάζας M



Σχήμα 4.6.1.5: Ανάλυση ευαισθησίας της απόστασης x_2 ως προς M και T_α συναρτήσει της μάζας M

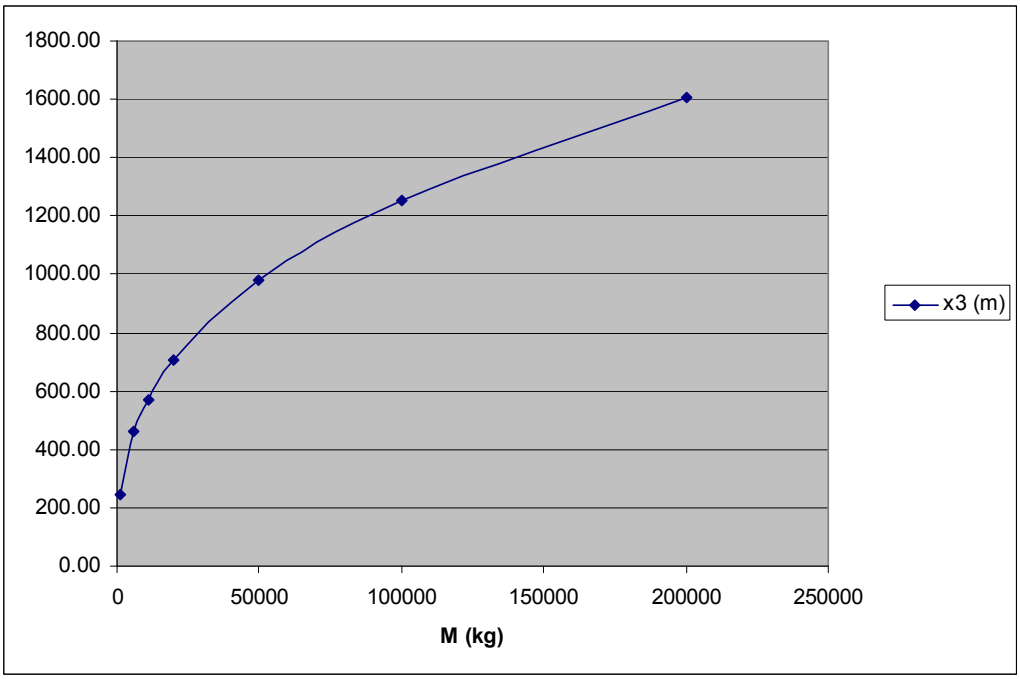


Σχήμα 4.6.1.6: Μεταβολή των παραγώγων της απόστασης x_2 ως προς M και T_α συναρτήσει της απόστασης x_2

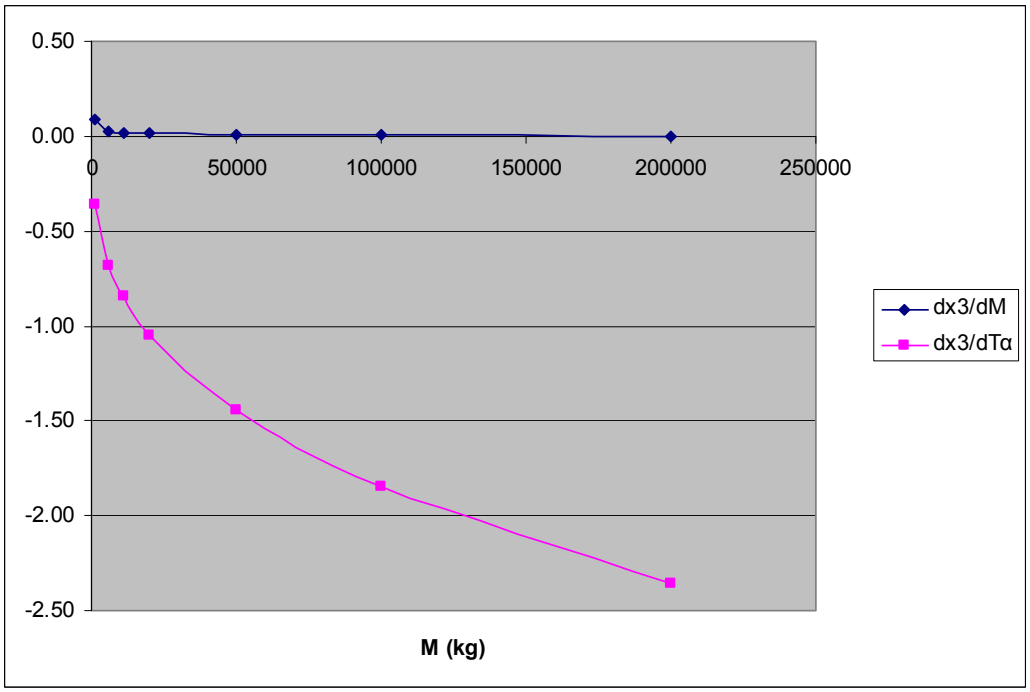
3) <u>Ζώνη Επιπτώσεων ΙΙΙ</u> ($q'' = 3\ kW/m^2$)

Πίνακας 4.6.1.3: Δεδομένα για την απόσταση x_3 και των παραγώγων της ως προς M και T_α συναρτήσει της μάζας M για το φαινόμενο BLEVE

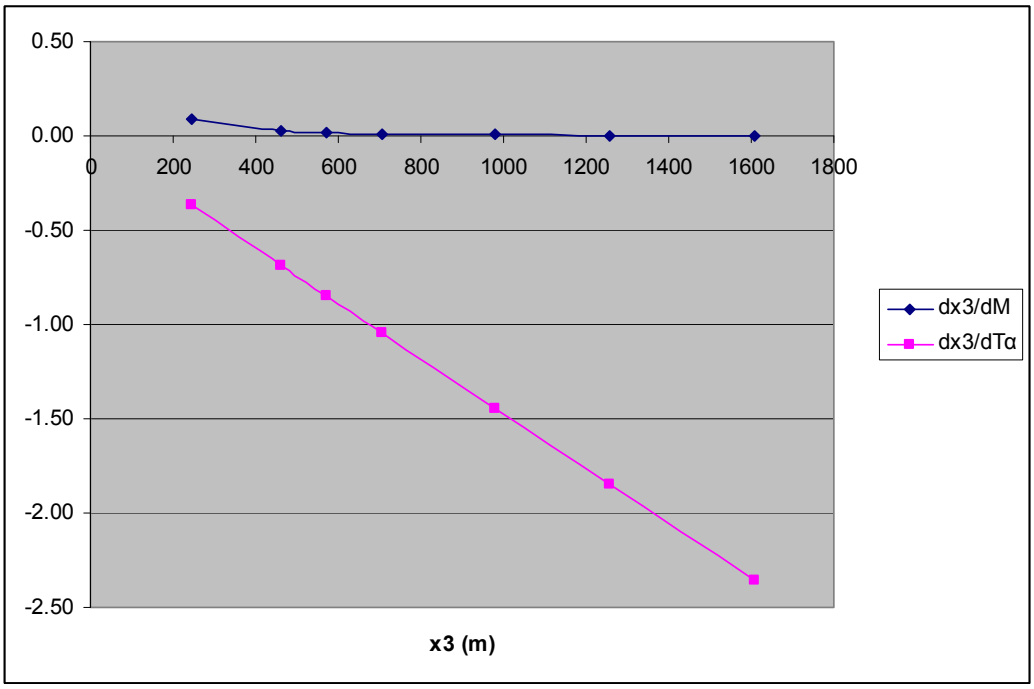
M (kg)	x_3 (m)	dx_3/dM	dx_3/dT_α
1000	242.978	0.086	-0.363
6000	460.478	0.027	-0.683
11000	571.607	0.018	-0.847
20000	707.432	0.012	-1.046
50000	980.757	0.007	-1.446
100000	1255.638	0.004	-1.848
200000	1607.491	0.003	-2.361



Σχήμα 4.6.1.7: Μεταβολή της απόστασης x_3 συναρτήσει της μάζας M



Σχήμα 4.6.1.8: Ανάλυση ευαισθησίας της απόστασης x_3 ως προς M και T_α συναρτήσει της μάζας M



Σχήμα 4.6.1.9: Μεταβολή των παραγώγων της απόστασης x_3 ως προς M και T_α συναρτήσει της απόστασης x_3

<u>Παρατήρηση αναφορικά με τη θερμοκρασία λειτουργίας T_{op}</u>

Στην παράγραφο 4.3.3 παρουσιάστηκε η ανάλυση ευαισθησίας για την θερμοκρασία λειτουργίας T_{op} στο φαινόμενο BLEVE. Για καύσιμη ουσία LPG, αν συνδυαστούν οι εξισώσεις 4.6.1.1 και 4.3.3.1 που παρατίθενται ξανά, προκύπτει η εξίσωση 4.6.1.4 που εμπεριέχει την παράμετρο της θερμοκρασίας T_{op}.

$$x = \left[A \cdot P_{sv}^{\ 0,32} \cdot e^{-0,0028 \cdot T_\alpha} \cdot M^{0,71} - 41,99 \cdot M^{0,65}\right]^{0,5} \text{(m)} \qquad (4.6.1.1)$$

όπου: $A = 6,62 \cdot 10^{-4} \cdot \dfrac{\Delta H}{q''}$.

$$P_{sv} = 10^{-11} \cdot T_{op}^{\ 6,8136} \text{(N/m}^2\text{)} \qquad (4.3.3.1)$$

Είναι:

$$x = \left[A \cdot 3,02 \cdot 10^{-4} \cdot T_{op}^{\ 2,18} \cdot e^{-0,0028 \cdot T_\alpha} \cdot M^{0,71} - 41,99 \cdot M^{0,65}\right]^{0,5} \text{(m)} \qquad (4.6.1.4)$$

Για την εξίσωση 4.6.1.4 ισχύουν όλες οι υποθέσεις που αναφέρθηκαν για την εξίσωση 4.3.3.1 στην παράγραφο 4.3.3. Με άλλα λόγια η χρήση της εμπεριέχει κάποιο ρίσκο, ενώ ταυτόχρονα ισχύει μόνο για καθαρές ουσίες και όχι μίγματα ουσιών. Στη παρούσα εργασία γίνεται η υπόθεση ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ουσία LPG, αφού στις

περισσότερες περιπτώσεις ως LPG έχει θεωρηθεί το καθαρό προπάνιο, του οποίου οι ιδιότητες είναι πολύ κοντά σε αυτές του LPG.

Στην ανάλυση που θα πραγματοποιηθεί στο Κεφ. 6, όπου εφαρμόζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης παραμετρικής ευαισθησίας και άρα οι παραπάνω εξισώσεις στο παράδειγμα εφαρμογής, δεν θα γίνει χρήση της 4.6.1.4 για διάφορους λόγους. Πρώτον διότι η θερμοκρασία λειτουργίας T_{op} αποτελεί μία παράμετρο για το BLEVE που δεν θεωρείται «Σημαντική» ή «Πολύ Σημαντική», δεύτερον διότι η παράμετρος της θερμοκρασίας λειτουργίας είναι μία παράμετρος η οποία καθορίζεται από τις διαδικασίες και τα χαρακτηριστικά των διεργασιών του διυλιστηρίου στις οποίες η τιμή της T_{op} είναι δεδομένη και εξαιρετικά δύσκολο έως αδύνατο να μεταβληθεί και τρίτον διότι η χρήση της, όπως έχει ήδη ειπωθεί εμπεριέχει κάποιο κίνδυνο για τους υπολογισμούς των αποστάσεων των Ζωνών Επιπτώσεων.

4.6.2 Συναρτήσεις παραμετρικής ευαισθησίας Ζωνών Επιπτώσεων για Φωτιά Λίμνης (Pool Fire)

Ομοίως η απόσταση x για συγκεκριμένη τιμή της εκπεμπόμενης θερμικής ακτινοβολίας q″ συναρτήσει των υπολοίπων μεταβλητών από τις οποίες εξαρτάται το φαινόμενο της Φωτιάς Λίμνης δίνεται από την εξίσωση 4.6.2.1 (CPR-14E Yellow Book, 2007).

$$x = \left(B \cdot D \cdot e^{-0,0028 \cdot T_\alpha}\right)^{0,917} \text{ (m)} \qquad (4.6.2.1)$$

όπου: $B = \left(0,02 \cdot F_s \cdot m'' \cdot \Delta H_c + 4,852 \cdot 10^3\right) \cdot \frac{1}{q''}$ και

- D: Διάμετρος της Φωτιάς Λίμνης, σε m.

- F_s: Κλάσμα της παραγόμενης θερμότητας που ακτινοβολείται από την επιφάνεια της φλόγας. Κυμαίνεται μεταξύ 0.1 και 0.4.

- m″: Ρυθμός καύσης του υγρού καυσίμου της λίμνης, σε $kg/(m^2 \cdot s)$.

- ΔH_c: Θερμότητα καύσης της εύφλεκτης ουσίας στο σημείο ζέσεως, σε J/kg.

- T_α: Θερμοκρασία περιβάλλοντος, σε K.

Χρειάζεται να σημειωθεί στο σημείο αυτό ότι η απόσταση x στην εξίσωση 4.6.2.1 αναφέρεται στην απόσταση από την επιφάνεια της φλόγας της φωτιάς λίμνης μέχρι το στόχο και όχι στην απόσταση από το κέντρο της φωτιάς λίμνης. Όμως στα Κεφ. 5 και 6 οι αποστάσεις για τις Ζώνες Επιπτώσεων αναφέρονται πάντα στην απόσταση από το κέντρο της φωτιάς λίμνης. Για να βρεθεί αυτή, αρκεί στην απόσταση που δίνεται από την 4.6.2.1 να προστεθεί η ισοδύναμη ακτίνα R της φωτιάς λίμνης (ήμισυ της ισοδύναμης διαμέτρου D).

Ακόμα η εξίσωση 4.6.2.1 έχει προκύψει με βάση τις παρακάτω παραδοχές:

- $\frac{X}{R} >> 1 \Rightarrow X >> R \Rightarrow x + R >> R \Rightarrow x >> 0$. Δηλαδή έχει θεωρηθεί απόσταση X από το κέντρο της φωτιάς λίμνης έως τον αποδέκτη, μεγαλύτερη από την ισοδύναμη ακτίνα της φωτιάς λίμνης (η απόσταση x είναι από το μέτωπο της φωτιάς λίμνης που θεωρείται ότι βρίσκεται στο ύψος της ισοδύναμης ακτίνας, έως τον αποδέκτη), και
- $\frac{L}{R} \cong 1 \Rightarrow L \cong R$. Δηλαδή έχει θεωρηθεί μήκος φλόγας L (ύψος της φωτιάς λίμνης) περίπου ίσο με την ισοδύναμη ακτίνα της φωτιάς λίμνης, υπόθεση η οποία ισχύει για τις φωτιές λίμνης που εξετάζονται στο παράδειγμα εφαρμογής στην παρούσα εργασία.

Επίσης οι παράγωγοι της 4.6.2.1 ως προς D, T_α και F_s είναι:

$$\frac{\partial x}{\partial D} = 0{,}917 \cdot \left(B \cdot e^{-0{,}0028 \cdot T_\alpha}\right)^{0.917} \cdot D^{-0{,}083} = 0{,}917 \cdot \frac{x}{D} \qquad (4.6.2.2)$$

$$\frac{\partial x}{\partial T_\alpha} = -0{,}0026 \cdot \left(B \cdot D \cdot e^{-0{,}0028 \cdot T_\alpha}\right)^{0.917} = -0{,}0026 \cdot x \qquad (4.6.2.3)$$

$$\frac{\partial x}{\partial F_s} = B_1 \cdot B^{-0{,}083} \left(D \cdot e^{-0{,}0028 \cdot T_\alpha}\right)^{0.917} = \frac{B_1}{B} \cdot x \qquad (4.6.2.4)$$

όπου: $B_1 = 0{,}018 \cdot m'' \cdot \Delta H_c \cdot \frac{1}{q''}$.

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τις παραπάνω εξισώσεις για τη μεταβολή της απόστασης x συναρτήσει της διαμέτρου D, της θερμοκρασίας T_a και του κλάσματος της παραγόμενης θερμότητας F_s είναι τα εξής:

- Από την εξίσωση 4.6.2.2 προκύπτει ότι lnx / lnD = 0,917 το οποίο είναι περίπου ίσο με τη μονάδα, δηλαδή lnx / lnD ~ 1. Άρα η κλίση των λογαρίθμων είναι σταθερή και περίπου ίση με τη μονάδα. Επομένως συμπεραίνεται ότι για καθορισμένες λίμνες (σταθερή αναλογία ύψους φλόγας με διάμετρο λίμνης όπως αυτές που μελετώνται στο παράδειγμα εφαρμογής στα επόμενα κεφάλαια), η παραμετρική ευαισθησία της απόστασης x με τη διάμετρο μπορεί να θεωρηθεί σταθερή. Όπως φαίνεται και από τα σχήματα 4.6.2.2, 4.6.2.4 και 4.6.2.6 παρακάτω, η παράγωγος της απόστασης x με τη διάμετρο μεταβάλλεται κυρίως στο διάστημα της διαμέτρου D [0, 100 m], ενώ για μεγαλύτερη D είναι σχεδόν σταθερή.
- Από την εξίσωση 4.6.2.3 προκύπτει ότι όσο πιο μακριά από τη φλόγα βρίσκεται ο στόχος που ενδιαφέρει, τόσο μειώνεται η κλίση της απόστασης x με την θερμοκρασία T_α. Αυτό σημαίνει ότι οι ατμοσφαιρικές συνθήκες για μεγάλα x μπορούν να αλλοιώσουν το αποτέλεσμα της εκτίμησης της έκτασης των Ζωνών Επιπτώσεων,

αφού μειώνεται η ευαισθησία. Το γεγονός αυτό φαίνεται και από τα σχήματα 4.6.2.2, 4.6.2.4 και 4.6.2.6, όπου προκύπτει το ίδιο ακριβώς συμπέρασμα για τη μεταβολή της $\partial x / \partial T_\alpha$ συναρτήσει της διαμέτρου D.

- Τέλος από την εξίσωση 4.6.2.4 προκύπτει ότι η παραμετρική ευαισθησία της απόστασης x ως προς το κλάσμα F_s αυξάνεται για μεγάλες αποστάσεις (μεγάλο x). Αυτό συνεπάγεται ότι για μικρά x η ευαισθησία ως προς F_s είναι μικρή, όσο όμως αυξάνεται η απόσταση του σημείου – στόχου μειώνεται η ακρίβεια στον υπολογισμό της έκτασης των Ζωνών Επιπτώσεων. Τα παραπάνω φαίνονται καθαρά και από τα σχήματα 4.6.2.1, 4.6.2.3 και 4.6.2.5, όπου όπως και πριν, προκύπτουν τα ίδια συμπεράσματα για τη μεταβολή της $\partial x / \partial F_s$ συναρτήσει της διαμέτρου D, αφού αύξηση της D οδηγεί σε αύξηση του x όπως φαίνεται από την εξίσωση 4.6.2.1.

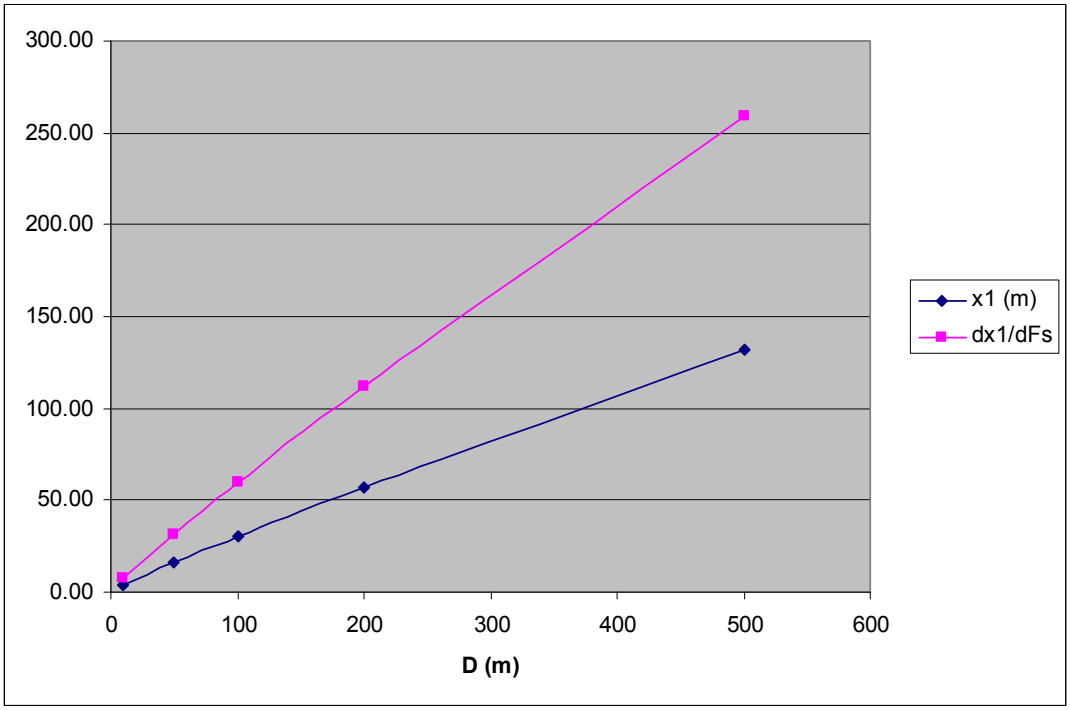
Ομοίως με τη προηγούμενη παράγραφο στη συνέχεια παρατίθενται οι γραφικές παραστάσεις (βλ. Σχήματα 4.6.2.1 – 4.6.2.6) των εξισώσεων 4.6.2.1 – 4.6.2.4 συναρτήσει της διαμέτρου D της φωτιάς λίμνης για τις τρεις περιπτώσεις των Ζωνών Επιπτώσεων I, II και III.

Τα δεδομένα των γραφικών παραστάσεων παρουσιάζονται στους Πίνακες 4.6.2.1 – 4.6.2.3 και οι υπολογισμοί έχουν γίνει για Φωτιά Λίμνης με Diesel και θερμοκρασία περιβάλλοντος T_α = 20°C = 293,16 K.

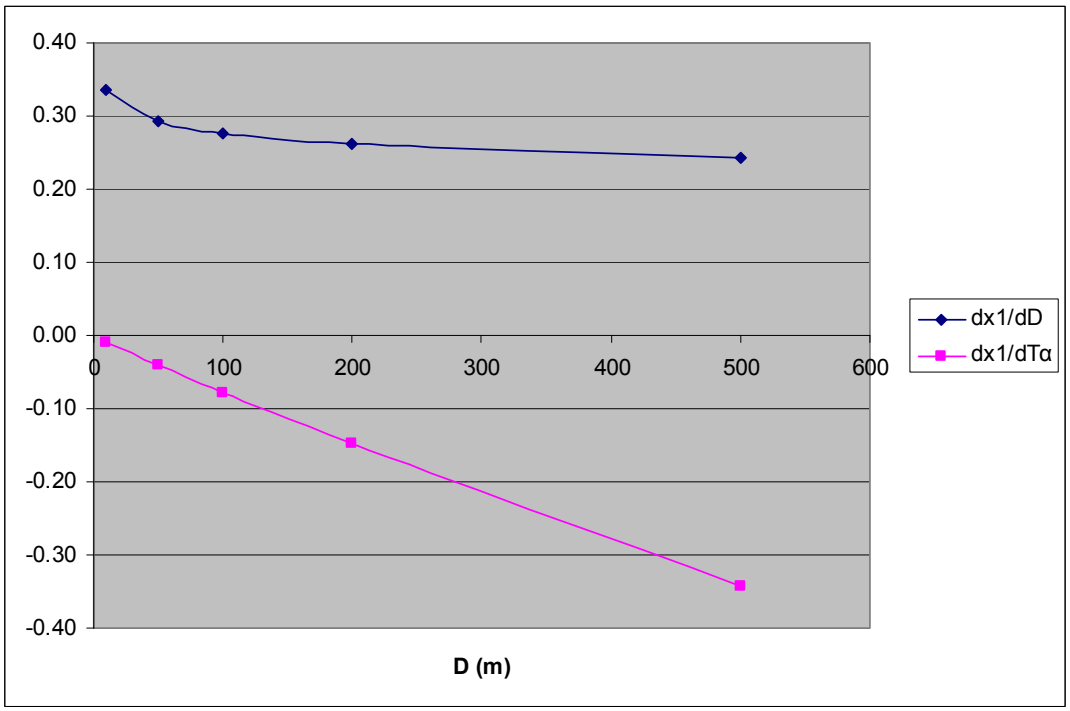
1) <u>Ζώνη Επιπτώσεων I</u> ($q'' = 15\ kW/m^2$)

Πίνακας 4.6.2.1: Δεδομένα για την απόσταση x_1 και των παραγώγων της ως προς D, T_α, και F_s συναρτήσει της διαμέτρου D για το φαινόμενο της Φωτιάς Λίμνης

D (m)	x_1 (m)	dx_1/dD	dx_1/dT_α	dx_1/dF_s
10	3.660	0.336	-0.010	7.184
50	16.014	0.294	-0.042	31.429
100	30.237	0.277	-0.079	59.344
200	57.092	0.262	-0.148	112.052
500	132.278	0.243	-0.344	259.616



Σχήμα 4.6.2.1: Μεταβολή της απόστασης x_1 και της παραγώγου της x_1 ως προς F_s συναρτήσει της διαμέτρου D

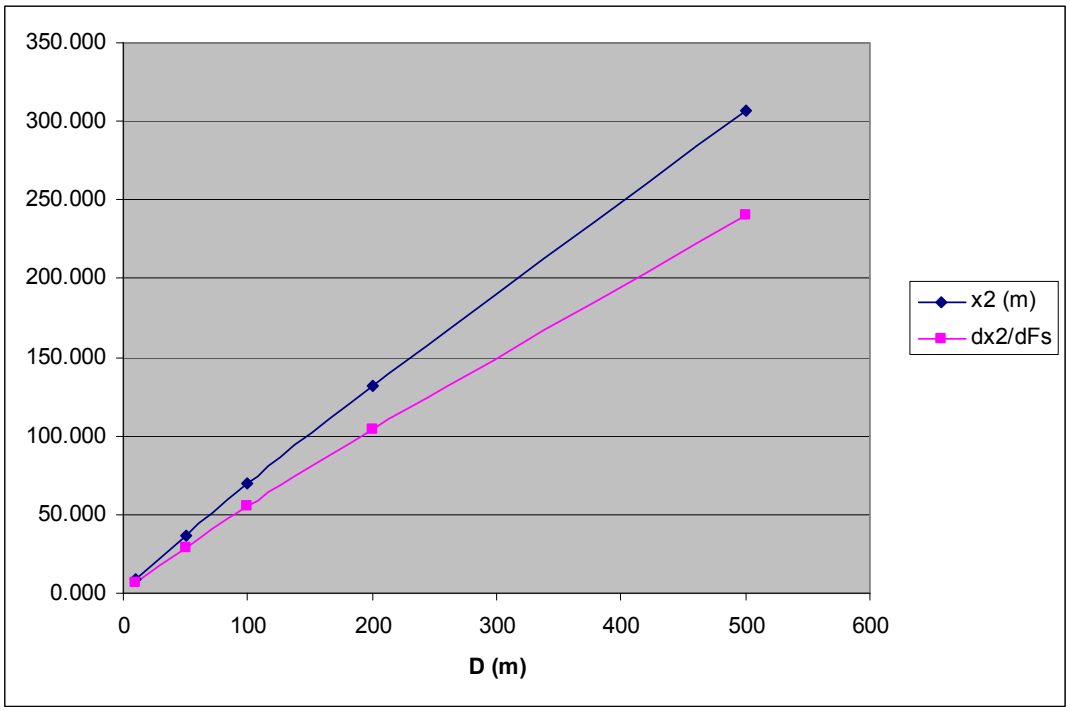


Σχήμα 4.6.2.2:Ανάλυση ευαισθησίας της απόστασης x_1 ως προς D και T_α συναρτήσει της διαμέτρου D

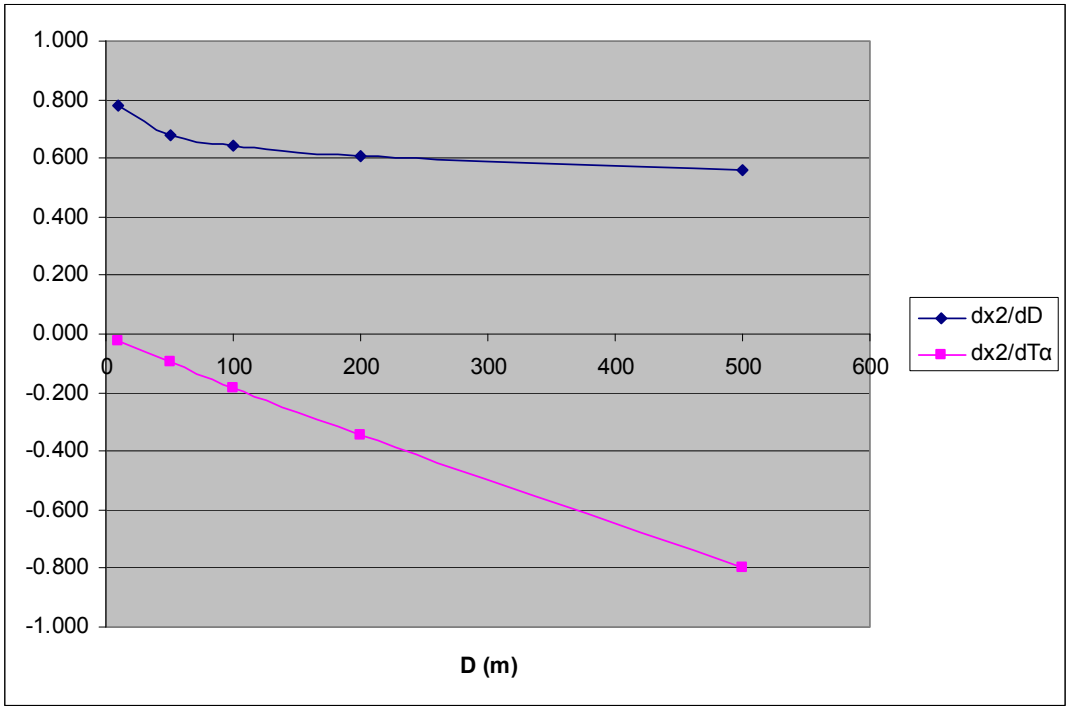
2) Ζώνη Επιπτώσεων ΙΙ ($q'' = 6\ kW/m^2$)

Πίνακας 4.6.2.2: Δεδομένα για την απόσταση x_2 και των παραγώγων της ως προς D, T_α, και F_s συναρτήσει της διαμέτρου D για το φαινόμενο της Φωτιάς Λίμνης

D (m)	x_2 (m)	dx_2/dD	dx_2/dT_α	dx_2/dF_s
10	8.481	0.778	-0.022	6.658
50	37.102	0.680	-0.096	29.127
100	70.056	0.642	-0.182	54.998
200	132.278	0.606	-0.344	103.846
500	306.477	0.562	-0.797	240.604



Σχήμα 4.6.2.3: Μεταβολή της απόστασης x_2 και της παραγώγου της x_1 ως προς F_s συναρτήσει της διαμέτρου D

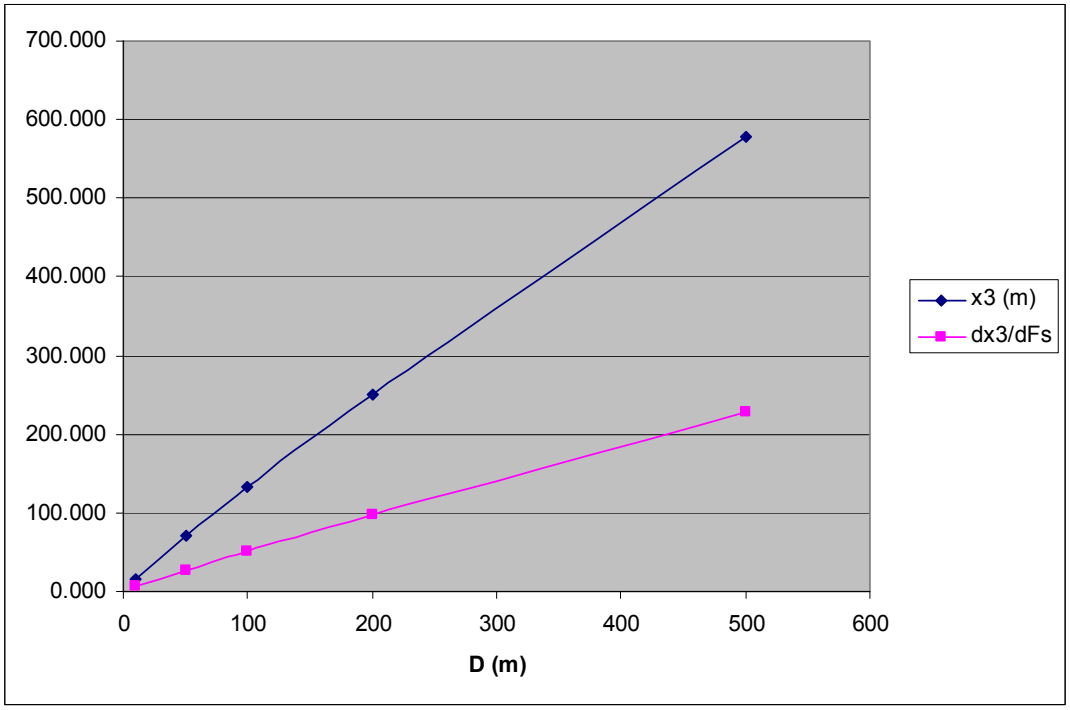


Σχήμα 4.6.2.4: Ανάλυση ευαισθησίας της απόστασης x_2 ως προς D και T_α συναρτήσει της διαμέτρου D

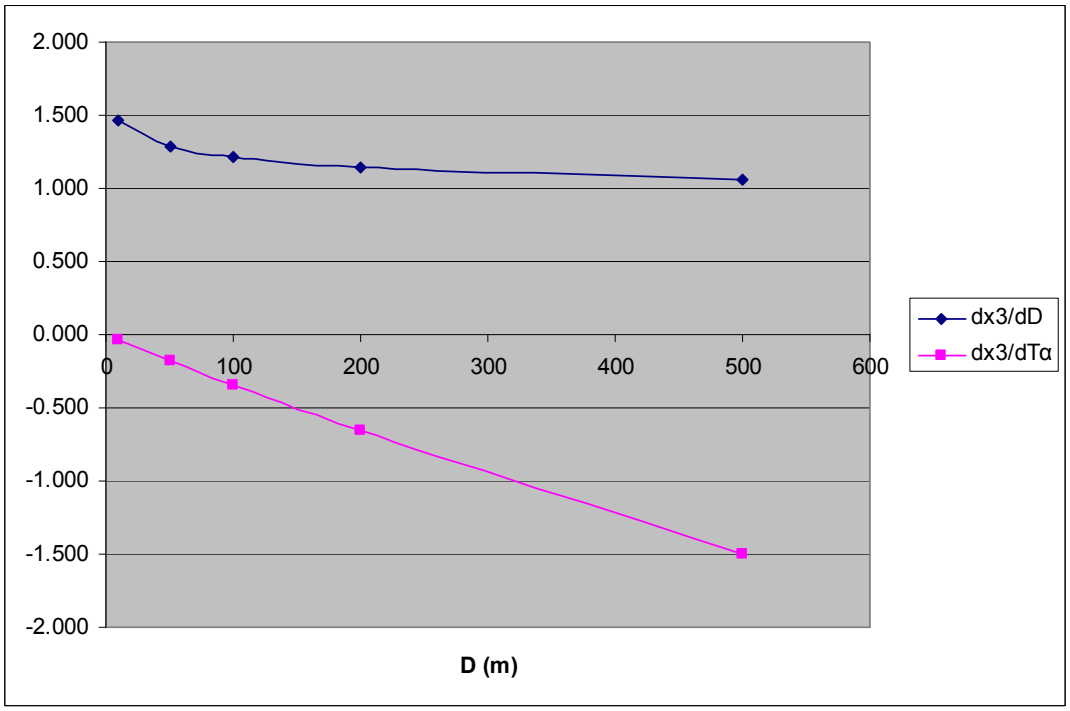
3) <u>Ζώνη Επιπτώσεων ΙΙΙ</u> ($q'' = 3\ kW/m^2$)

Πίνακας 4.6.2.3: Δεδομένα για την απόσταση x_3 και των παραγώγων της ως προς D, T_α, και F_s συναρτήσει της διαμέτρου D για το φαινόμενο της Φωτιάς Λίμνης

D (m)	x_3 (m)	dx_3/dD	dx_3/dT_α	dx_3/dF_s
10	16.014	1.468	-0.042	6.286
50	70.056	1.285	-0.182	27.499
100	132.278	1.213	-0.344	51.923
200	249.765	1.145	-0.649	98.041
500	578.686	1.061	-1.505	227.152



Σχήμα 4.6.2.5: Μεταβολή της απόστασης x_3 και της παραγώγου της x_1 ως προς F_s συναρτήσει της διαμέτρου D



Σχήμα 4.6.2.6: Ανάλυση ευαισθησίας της απόστασης x_3 ως προς D και T_α συναρτήσει της διαμέτρου D

5° ΚΕΦΑΛΑΙΟ

Περιγραφή Παραδείγματος Εφαρμογής (Case Study)

5.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται το παράδειγμα εφαρμογής (case study) που πραγματοποιήθηκε για τις ανάγκες της παρούσας ερευνητικής διατριβής και έχει σαν κύριο στόχο την εφαρμογή της ανάλυσης ευαισθησίας παραμέτρων επικινδυνότητας στις νέες μονάδες διυλιστηρίων τα αποτελέσματα της οποίας παρουσιάζονται στα επόμενα κεφάλαια.

5.2 Τόπος εφαρμογής - Οι νέες μονάδες του διυλιστηρίου

Οι εταιρείες διυλιστηρίων έχουν πληθώρα δραστηριοτήτων το εύρος των οποίων περιλαμβάνει:

- Διύλιση αργού πετρελαίου και διάθεση καυσίμων.
- Εμπορία προϊόντων πετρελαίου συμπεριλαμβανομένων και των διεθνών πωλήσεων.
- Έρευνα και παραγωγή υδρογονανθράκων.
- Παραγωγή και εμπορία πετροχημικών και χημικών.
- Παραγωγή και εμπορία ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση φυσικού αερίου.
- Συμμετοχή στο φυσικό αέριο.
- Παροχή μελετών και τεχνικών υπηρεσιών για τεχνικά έργα συναφή με θέματα υδρογονανθράκων.
- Συμμετοχή στη μεταφορά αργού πετρελαίου και προϊόντων (αγωγοί, θαλάσσιες μεταφορές)

5.2.3 Οι νέες μονάδες του διυλιστηρίου

Στο σχήμα 5.2.3.1 παρουσιάζεται η κάτοψη των νέων μονάδων του διυλιστηρίου. Από αυτές, οι μονάδες που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία και οι οποίες παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα είναι οι εξής:

- U31: Μονάδα Απόσταξης Κενού – Vacuum Distillation Unit (VDU)
- U32: Μονάδα Flexicoking – Flexicoking Unit (FXK)
- U33: Μονάδα Παραγωγής Υδρογόνου – Hydrogen Production Unit (HPU)
- U34: Hydrocracker Unit (HCU)

- ✓ U34_1: Μονάδα Καταλυτικής Πυρόλυσης, Τμήμα Διαχωριστή – Unicracking Unit, Fractionation Section
- ✓ U34_2: Μονάδα Καταλυτικής Πυρόλυσης, Τμήμα Αντιδραστήρων – Unicracking Unit, Reactor Section
- ✓ U34_3: Μονάδα Κατεργασίας με Υδρογόνο, Τμήμα Αντιδραστήρων – Hydrotreating Unit, Reactor Section

- U36: Μονάδα Αναγέννησης Αμίνης – Amine Regeneration Unit (ARU)
- U37: Μονάδα Απογύμνωσης Όξινων Νερών – Sour Water Stripper (SWS)
- U38: Μονάδα Ανάκτησης Θείου και Κατεργασίας Αερίων – Sulfur Recovery and Tale Gas Treatment Unit (SRU & TGT)

Σχήμα 5.2.3.1: Κάτοψη των νέων μονάδων του διυλιστηρίου

Πληροφορίες σχετικές με τις δραστηριότητες των μονάδων αυτών, τις ουσίες που διακινούνται και επεξεργάζονται, καθώς και τις ποσότητες των ουσιών που είναι πιθανό να διαρρεύσουν από τον κρίσιμο εξοπλισμό των μονάδων, παρουσιάζονται για τα σημαντικότερα σενάρια στις επόμενες παραγράφους.

5.3 Καταστάσεις Διαφυγής για τις νέες μονάδες διυλιστηρίου

Οι εγκαταστάσεις που διαχειρίζονται ή αποθηκεύουν επικίνδυνες ουσίες μεγαλύτερες από τις οριακές ποσότητες σύμφωνα με την ΚΥΑ 5697/590/2000 και την αναθεώρηση της, ΚΥΑ 12044/613/ΦΕΚ 376/19 Μαρτίου 2007, υπάγονται στις υποχρεώσεις του άρθρου 8 των παραπάνω ΚΥΑ για σύνταξη και υποβολή Μελέτης Ασφάλειας.

Όλες οι επικίνδυνες ουσίες που λαμβάνουν μέρος στις διεργασίες των νέων μονάδων του διυλιστηρίου σαν τροφοδοσία, σαν τελικά αλλά και σαν ενδιάμεσα προϊόντα, αναφέρονται αναλυτικά στη περιγραφή των μονάδων και στη Μελέτη Ασφάλειας του υφιστάμενου διυλιστηρίου. Τα χαρακτηριστικά στοιχεία των επικίνδυνων ουσιών παρατίθενται στα φύλλα δεδομένων ασφάλειας υλικών (MSDS).

Οι ακριβείς ποσότητες των επικίνδυνων ουσιών που υπεισέρχονται στις διεργασίες των νέων μονάδων του διυλιστηρίου, υπολογίστηκαν στη παρούσα μελέτη λαμβάνοντας υπόψη τις παρακάτω παραδοχές (Παπαδάκης, 2007).

1. την χωρητικότητα όλων των συσκευών και δοχείων κάθε μονάδας (από τα κατασκευαστικά και λειτουργικά στοιχεία του νέου εξοπλισμού)
2. την χωρητικότητα των σωληνώσεων τροφοδοσίας, εξόδου και άλλων συνδετήριων σωληνώσεων κάθε δοχείου
3. τη σύσταση των ρευμάτων εισόδου και εξόδου κάθε συσκευής και δοχείου (από τα ισοζύγια μάζας των ρευμάτων για διάφορες περιπτώσεις τροφοδοσίας)
4. τις συνθήκες κάθε διεργασίας (π.χ. θερμοκρασία, πίεση λειτουργίας, παροχές ρευμάτων, πυκνότητα αερίου και υγρής φάσης στις συνθήκες λειτουργίας, σύσταση υγρής και αερίου φάσεων), και
5. το βαθμό πληρότητας κάθε συσκευής και δοχείου σε υγρά και αέρια φάση λαμβάνοντας υπόψη και άλλους παράγοντες όπως παρουσία καταλύτη, σταθερής κλίνης, διαλύματος έκπλυσης, φίλτρου, κλπ.

Τα απαραίτητα στοιχεία για την παραπάνω ανάλυση λήφθηκαν από τα διαθέσιμα αρχεία των νέων μονάδων. Συγκεκριμένα, για κάθε μονάδα κυρίως λήφθηκαν υπόψη:

- τα Διαγράμματα Ροής των Διεργασιών (Process Flow Diagrams)
- τα Δελτία Δεδομένων Εξοπλισμού (Equipment Data Sheet)
- τα Σχέδια Σωληνώσεων και Συσκευών (Pipe and Instrumentation Diagrams)
- τα Σχέδια Διάταξης των συσκευών στις μονάδες με Κατόψεις και Τομές (Plot Plans, Elevations, Equipment lists)

- τα ισοζύγια μάζας και συστατικών για κάθε ρεύμα εισόδου και εξόδου στον κρίσιμο εξοπλισμό, και
- τις προδιαγραφές των διεργασιών και των ασφαλών συνθηκών λειτουργίας του εξοπλισμού, των συσκευών και σωληνώσεων.

Τα σημαντικότερα από τα στοιχεία αυτά είναι διαθέσιμα εφόσον απαιτηθούν. Τα στοιχεία αυτά αναφέρονται σε τυπικό παράδειγμα τροφοδοσίας Αργού Iranian Heavy και σε τυπική αναφορά λειτουργίας των μονάδων (SOR – Start Of Run, EOR – End Of Run).

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό του περιεχομένου σε επικίνδυνες ουσίες (hold up) του κρίσιμου εξοπλισμού: δοχείων και συνδετήριων σωληνώσεων (ρευμάτων τροφοδοσίας, ανακυκλοφορίας, εξόδου) όπως και των συνολικών κυκλωμάτων είναι η παρακάτω (Παπαδάκης, 2007):

1. Προσδιορίζονται οι συσκευές, δοχεία και συνδέσεις σε κάθε μονάδα με την σειρά που υπεισέρχονται στη ροή των διεργασιών,
2. Προσδιορίζονται οι συνδετήριες σωληνώσεις των παραπάνω συσκευών και κυκλωμάτων,
3. Υπολογίζονται οι χωρητικότητες των συσκευών και σωληνώσεων από τις διαστάσεις τους, τη μορφή τους, τα κατασκευαστικά και λειτουργικά τους χαρακτηριστικά, τις αποστάσεις τους από τις συσκευές με τις οποίες συνδέονται ή με τις οποίες απομονώνονται με βάνες (π.χ. ROVs) ή αντλίες/συμπιεστές στα συνδετήρια ρεύματα,
4. Προσδιορίζονται από τα ισοζύγια μάζας τα κύρια συστατικά των ρευμάτων τροφοδοσίας (αέριων και υγρών) και εισροών στα δοχεία όπως και των εκροών από τα δοχεία και τις συσκευές,
5. Προσδιορίζονται τα συστατικά που θα βρίσκονται σε αέρια και υγρά φάση σε ατμοσφαιρικές συνθήκες μετά την διαφυγή των μειγμάτων στα οποία βρίσκονται στην ατμόσφαιρα (προσδιορισμός ποσότητας καθαρής ουσίας μετά τη διαρροή)
6. Υπολογίζονται οι ποσότητες των υγρών και αερίων συστατικών που περιέχονται σε κάθε συσκευή, δοχείο, ρεύμα ή κύκλωμα που μπορεί να διαχωριστεί από τα υπόλοιπα κυκλώματα με τη διακοπή τροφοδοσίας και της λειτουργίας αντλίας ή συμπιεστή. Οι ποσότητες των υγρών και αέριων συστατικών (σε ΚΣ) εκτιμώνται από τις ποσότητες των συστατικών στην υγρή και αέρια φάση υπό ΚΣ. Για το σκοπό αυτό απαιτούνται στοιχεία πληρότητας κάθε συσκευής σε υγρή και αέρια φάση, μέσες συστάσεις και πυκνότητες φάσεων στις συσκευές και τα ρεύματα και στοιχεία εκτόνωσης (αδιαβατικής) των φάσεων από τις συνθήκες λειτουργίας σε ατμοσφαιρικές συνθήκες.

Τα αποτελέσματα των εκτιμήσεων των ποσοτήτων των επικίνδυνων ουσιών (Inventories) ανά εξοπλισμό, κύκλωμα και μονάδα παρουσιάζονται στους Πίνακες του παραρτήματος Ι.

Μετά τον προσδιορισμό των σημαντικότερων πιθανών πηγών κινδύνου στις νέες μονάδες του διυλιστηρίου (Ανάλυση Κινδύνου) χαρακτηρίζεται και επιλέγεται ο κρίσιμος εξοπλισμός στον οποίο μπορεί να προκληθούν καταστάσεις βλάβης με απώτερη συνέπεια

τη διαφυγή αέριας /υγρής φάσης στο περιβάλλον και πιθανή ανάφλεξη της διαρροής ή διασπορά αερίου τοξικού νέφους.

Η επιτυχής ή όχι λειτουργία των συστημάτων μπορεί να αναλυθεί σε περισσότερα βασικά γεγονότα (με την συνθήκη ότι οι αστοχίες λαμβάνουν χώρα όταν τα εναρκτήρια γεγονότα είναι ενεργά) όπως αστοχίες συσκευών /εξαρτημάτων, ενέργεια χειριστή, κλπ.) με συνέπεια την απώλεια περιεχομένου – Loss Of Containment, LOC. Όλες οι δυνατές περιπτώσεις απώλειας περιεχομένου έχουν μελετηθεί και επιλέγονται οι καταστάσεις βλάβης και διαρροές στις οποίες συμμετέχουν οι μεγαλύτερες ποσότητες των επικίνδυνων ουσιών. Σημειώνεται ότι η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για όλα τα πιθανά σενάρια ατυχημάτων σε όλα τα επιλεγμένα τμήματα των μονάδων που εμφανίζουν τον υψηλότερο κίνδυνο. Στη συνέχεια αναπτύσσονται τα λογικά μοντέλα που περιλαμβάνουν κάθε πιθανό εναρκτήριο γεγονός και την απόκριση του όλου εγκατεστημένου συστήματος στο γεγονός αυτό. Προσδιορίζονται με το τρόπο αυτό οι ακολουθίες γεγονότων σε μορφή Δένδρων Γεγονότων (Event Tree) που αποτελούνται από ένα εναρκτήριο γεγονός, άλλες πιθανές καταστάσεις βλάβης (αστοχίες) του συστήματος που λογικά είναι πιθανόν να λάβουν χώρα ταυτοχρόνως ή έπονται χρονικά και τις ενέργειες των χειριστών για κάθε τμήμα μονάδος που εξετάζεται. Οι ακολουθίες γεγονότων (ατυχημάτων) καταλήγουν σε καταστάσεις βλάβης της μονάδας ή του κυκλώματος οι οποίες συνεπάγονται την διαφυγή του περιεχομένου σε υγρή και αέρια φάση εκτός του κελύφους (περιβλήματος) του δοχείου ή της σωλήνωσης (στο περιβάλλον) και την πιθανή ανάφλεξη ή διασπορά του αέριου νέφους.

Στην παρούσα ανάλυση δεν λαμβάνονται υπόψη οι συχνότητες των εναρκτήριων γεγονότων και οι πιθανότητες βλαβών (αστοχιών) και ανθρωπίνων σφαλμάτων. Δεν αποτελεί αντικείμενο της παρούσας μελέτης να διασφαλίσει την αξιοπιστία των κριτηρίων μέσα από τα οποία θα διαπιστωθεί η ασφαλής εφαρμογή των βιβλιογραφικών και εμπειρικών δεδομένων σχετικά με τις πιθανότητες γεγονότων στις υπό εξέταση νέες μονάδες. Δεν λαμβάνεται συνεπώς υπόψη η πιθανότητα εμφάνισης των διαφόρων ακολουθιών γεγονότων. Η κάθε ακολουθία γεγονότων εξετάζεται ως γεγονός που έχει συμβεί (πιθανότητα =1) και υπολογίζονται οι δυσμενέστερες επιπτώσεις του. Σημειώνεται ότι σύμφωνα με τις Οδηγίες της Ε.Ε. η επιλογή μιας συγκεκριμένης μεθοδολογίας μπορεί να γίνει με βάση τα χαρακτηριστικά της μονάδας ή την επικινδυνότητα, η ποσοτικοποίηση της οποίας μπορεί να καταδείξει ότι ένα ανεπιθύμητο γεγονός έχει πολύ μικρή πιθανότητα εμφάνισης (Παπαδάκης, 2007).

Δύο κατηγορίες διαφυγής έχουν εξετασθεί:

- Διαφυγή υγρού και διφασικού μίγματος από τα δοχεία
- Διαφυγή υγρού ή διφασικού μίγματος από τις σωληνώσεις.

Για κάθε πιθανό σημείο διαφυγής στα τμήματα των μονάδων που παρουσιάζονται υπολογίζεται η συνολική μάζα που διέρρευσε, ο μέσος ρυθμός διαρροής και ο μέγιστος χρόνος διαρροής για κάθε φάση σε Ατμοσφαιρικές Συνθήκες και για κάθε μία από τις παρακάτω περιπτώσεις:

- Καταστροφική θραύση δοχείου (θραύση του κελύφους κατά τη διάμετρο του εξοπλισμού)
- Ρήγμα στο δοχείο στην σωλήνωση τροφοδοσίας ή εξόδου (ρήγμα του κελύφους κατά την διάμετρο της σωλήνωσης τροφοδοσίας, ανακυκλοφορίας ή εξόδου, όποια είναι μεγαλύτερη)
- Καταστροφική θραύση σωλήνωσης (θραύση του κελύφους κατά τη διάμετρο της σωλήνωσης).

Στη παρούσα εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δυσμενέστερων περιπτώσεων στις μονάδες υψηλότερου κινδύνου. Οι περιπτώσεις που παρουσιάζονται αφορούν τον κρίσιμο εξοπλισμό και τα κρίσιμα κυκλώματα των μονάδων.

Συνθήκες διαρροής από τον κρίσιμο εξοπλισμό των νέων μονάδων

Οι συνθήκες διαφυγής και διαρροής επικίνδυνων ουσιών εξετάζονται για τα δυσμενέστερα σενάρια ατυχημάτων στο κρίσιμο εξοπλισμό και τα κρίσιμα κυκλώματα των νέων μονάδων. Οι κατηγορίες παράκαμψης κελύφους ή αστοχίας και διαφυγής περιεχομένου στα κρίσιμα συστήματα που εξετάζονται περιλαμβάνουν (Παπαδάκης, 2007):

Για τα δοχεία και τον εξοπλισμό των μονάδων, διαφυγή της συνολικής ποσότητας υγρού και αερίου κάθε κυκλώματος που περιλαμβάνει κρίσιμο εξοπλισμό και μπορεί να διαχωριστεί άμεσα από την υπόλοιπη μονάδα μετά από διακοπή της παροχής των συνδετήριων ρευμάτων μέσω ROVs, ή διακοπή της λειτουργίας της αντλίας τροφοδοσίας ή του συμπιεστή στο κύκλωμα, ή με άλλο σύστημα απομόνωσης μετά από:

- Καταστροφική θραύση του κυκλώματος στον κρίσιμο εξοπλισμό
- Ρήγμα στο κέλυφος του κρίσιμου εξοπλισμού
- Θραύση συνδετήριας σωλήνωσης στο κρίσιμο εξοπλισμό

Για κάθε πιθανό σημείο διαφυγής στα τμήματα των μονάδων και στα κυκλώματα που εξετάζονται υπολογίζεται η συνολική μάζα υγρού και αερίου που διέρρευσε, ο μέσος ρυθμός διαρροής και ο μέγιστος χρόνος διαρροής για κάθε φάση. Υγρά και αέρια λαμβάνονται όσα βρίσκονται σε υγρή και αέρια φάση σε Ατμοσφαιρικές Συνθήκες μετά την διαρροή τους από το κύκλωμα (περίβλημα) και τη διαφυγή τους στην ατμόσφαιρα.

Οι θραύσεις και τα ρήγματα στον εξοπλισμό και τις σωληνώσεις νοούνται ως:

- Καταστροφική θραύση εξοπλισμού είναι η καταστροφική θραύση του κελύφους του κατά τη πλήρη διάμετρο του εξοπλισμού (δοχείου)
- Ρήγμα στον εξοπλισμό είναι η θραύση και άνοιγμα τμήματος του κελύφους μικρότερο (~20%) της διαμέτρου του εξοπλισμού ή καταστροφική θραύση της μεγαλύτερης συνδετήριας σωλήνωσης (τροφοδοσίας ή εξόδου) κατά τη πλήρη διάμετρο της σωλήνωσης

- Θραύση σωλήνωσης είναι θραύση σωλήνωσης κυκλώματος με τη μεγαλύτερη διάμετρο κατά τη πλήρη διάμετρο της σωλήνωσης.

Κάθε σημείο διαφυγής περιγράφεται από τα παρακάτω στοιχεία (εάν είναι σχετικά):

- Το τμήμα του κυκλώματος στο οποίο ανήκει ο εξοπλισμός,
- Τη συσκευή/δοχείο στο οποίο λαμβάνει χώρα η διάρρηξη τοιχώματος και διαρροή (αντιδραστήρας, δοχείο, εναλλάκτης, φούρνος)
- Η διάμετρος του κελύφους του δοχείου
- Το σημείο στο οποίο εξετάζεται η αστοχία σε δοχείο (είσοδος/ έξοδος / πυθμένας δοχείου, κατάθλιψη / αναρρόφηση αντλίας, ανακυκλοφορία, κλπ) και η διάμετρος της συνδετήριας σωλήνωσης
- Ο κωδικός του ρεύματος σε σωλήνωση και η διάμετρος της σωλήνωσης
- Οι συνθήκες κανονικής λειτουργίας της διεργασίας (πίεση, θερμοκρασία)
- Η διάμετρος της οπής στην οποία λαμβάνει χώρα και εξετάζεται η διαρροή.

Για κάθε πιθανή διαρροή από εξοπλισμό ή κύκλωμα υπολογίζεται:

- η συνολική μάζα αερίου και υγρού που διέρρευσε (αέρια θεωρούνται όλα τα συστατικά που αναμένεται να είναι σε αέρια φάση σε ατμοσφαιρικές συνθήκες),
- ο μέσος ρυθμός διαρροής αερίου και υγρού, και
- ο μέγιστος χρόνος διαρροής στις παραπάνω συνθήκες.

Στη παρούσα εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δυσμενέστερων διαρρήξεων στις κρίσιμες μονάδες που ενέχουν τον υψηλότερο κίνδυνο.

Στη συνέχεια στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται οι κυριότερες και δυσμενέστερες καταστάσεις διαφυγής για κάθε μονάδα, ενώ στη τελευταία στήλη κάθε πίνακα αναφέρονται τα αντίστοιχα ατυχηματικά σενάρια. Οι πίνακες αυτοί, που παρουσιάζονται στις παραγράφους 5.3.1 έως 5.4.1, έχουν ληφθεί από τη μελέτη ασφάλειας για τις νέες μονάδες των διυλιστηρίων (Παπαδάκης, 2007).

5.3.1 Μονάδα U31: Μονάδα Απόσταξης Κενού - Vacuum Distillation Unit

Πίνακας 5.3.1.1: Καταστάσεις βλάβης στη μονάδα U31: Vacuum Distillation Unit

ΜΟΝΑΔΑ ΑΠΟΣΤΑΞΗΣ ΚΕΝΟΥ - VACUUM DISTILLATION UNIT UNIT 31 Circuit	ΣΥΣΚΕΥΗ - VACUUM DISTILLATION ITEM	ΣΕΝΑΡΙΟ	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ Διαρροής ανά Συσκευή [kg]	CRUDE	HEAVY DIESEL	LIGHT DIESEL	JET FUEL/ KERO	ΝΑΦΗΤΗΑ	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ Διαρροής ΥΓΡΟΥ ανά ΣΥΣΚΕΥΗ [kg]	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ Διαρροής ΥΓΡΟΥ ανά ΚΥΚΛΩΜΑ [kg]	LPG, CH4, H2	H2S	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ Διαρροής ΑΕΡΙΟΥ ανά ΣΥΣΚΕΥΗ [kg]	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ Διαρροής ΑΕΡΙΟΥ ανά ΚΥΚΛΩΜΑ [kg]	ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 1=BLEVE or JET FIRE 2=FLAMMABLE CLOUD 3= UVCE 4=POOL FIRE
ΚΑΥΣΤΗΡΑΣ ΚΕΝΟΥ - VACUUM HEATER	V-001 ΔΟΧΕΙΟ ΕΚΤΟΝΩΣΗΣ (SURGE DRUM)	ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΗ ΘΡΑΥΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ V-001 SURGE DRUM	67753		v	v			67669	67669	0.0	0.0	84.6	85	U31VDU_Sc1_V-001 SURGE_DRUM_1/2/3/4
ΣΤΗΛΗ ΑΠΟΣΤΑΞΗΣ ΚΕΝΟΥ - VACUUM DISTILLATION COLUMN	C-001 ΠΥΡΓΟΣ ΚΕΝΟΥ (VACUUM TOWER) EA-001	ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΗ ΘΡΑΥΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ C-001 VACUUM TOWER EA-001	355711		v	v			355569	392620	0.0	0.3	142.5	144	U31VDU_Sc6_C-001 VACUUM_TOWER EA-001_1/2/3/4

5.3.2 Μονάδα U32: Μονάδα Πυρόλυσης Ρευστοστερεάς Κλίνης Κωκ - Flexicoking Unit

Πίνακας 5.3.2.1: Ατυχηματικά σενάρια στη μονάδα U32: Flexicoking Unit

ΜΟΝΑΔΑ ΠΥΡΟΛΥΣΗΣ ΡΕΥΣΤΟΣΤΕΡΕΑΣ ΚΛΙΝΗΣ ΚΩΚ - FLEXICOKING UNIT UNIT 32 Circuit	ΣΥΣΚΕΥΗ - FLEXICOKER ITEM	ΣΕΝΑΡΙΟ	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ Διαρροής ανά Συσκευή [kg]	CRUDE	HEAVY DIESEL	LIGHT DIESEL	JET FUEL/ KERO	NAPHTHA	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ Διαρροής ΥΓΡΟΥ ανά ΣΥΣΚΕΥΗ [kg]	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ Διαρροής ΥΓΡΟΥ ανά ΚΥΚΛΩΜΑ [kg]	LPG, C1, H2, CO	H2S	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ Διαρροής ΑΕΡΙΟΥ ανά ΣΥΣΚΕΥΗ [kg]	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ Διαρροής ΑΕΡΙΟΥ ανά ΚΥΚΛΩΜΑ [kg]	ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 1=BLEVE or JET FIRE 2=FLAMMABLE CLOUD 3= UVCE 4=POOL FIRE
FLUID SOLIDS SECTION	*R-001 REACTOR*	ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΗ ΘΡΑΥΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ R-001 REACTOR	**14786**		˅				**13190**	*13189.7*	˅		**1595.8**	*1595.8*	**U32FLEXCOK_Sc3_R001 REACTOR_1/2/3/4**
FRACTIONATOR SECTION	**C-005 FRACTIONATOR**	ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΗ ΘΡΑΥΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ C-005 FRACTIONATOR	**176733**		˅				**176027**	**218169**	˅	˅	**706.2**	**839**	**U32FLEXCOK_Sc17_ C-005_FRACTIONATOR_1/2/3/4**
LIGHT ENDS SECTION	**C-010 ABSORBER DEETHANIZER**	ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΗ ΘΡΑΥΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ C-010 ABSORBER DEETHANIZER	**59034**					˅	**41783**	**49230**	˅	˅	**17251.4**	**20326**	**U32FLEXCOK_Sc26_C-010 ABSORBER_DEETHANIZER_1/2/3/4**

5.3.3 Μονάδα U33: Μονάδα Παραγωγής Υδρογόνου - Hydrogen Production Unit

Πίνακας 5.3.3.1: Ατυχηματικά σενάρια στη μονάδα U33: Hydrogen Production Unit

ΜΟΝΑΔΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ - HYDROGEN PRODUCTION UNIT UNIT 33 Circuit	ΣΥΣΚΕΥΗ - HYDROGEN PRODUCTION ITEM	ΣΕΝΑΡΙΟ	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ Διαρροής ανά Συσκευή [kg]	CRUDE	HEAVY DIESEL	LIGHT DIESEL	JET FUEL/ KERO	NAPHTHA	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ Διαρροής ΥΓΡΟΥ ανά ΣΥΣΚΕΥΗ [kg]	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ Διαρροής ΥΓΡΟΥ ανά ΚΥΚΛΩΜΑ [kg]	LPG	H2, CH4, CO	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ Διαρροής ΑΕΡΙΟΥ ανά ΣΥΣΚΕΥΗ [kg]	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ Διαρροής ΑΕΡΙΟΥ ανά ΚΥΚΛΩΜΑ [kg]	ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 1=BLEVE or JET FIRE 2=FLAMMABLE CLOUD 3= UVCE 4=POOL FIRE
FEED	#1, #3 V-001 LPG FEED SURGE DRUM	ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΗ ΘΡΑΥΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ V-001 LPG FEED SURGE DRUM	6060						0	0	˅		6059.7	6060	U33HPU_Sc1_V-001 LPG FEED SURGE DRUM_1/2/3/4
HYDROGENERATOR AREA	R-001 1st HYDROGENERATOR E-001 A/B , E-002 FEED PREHEATER	ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΗ ΘΡΑΥΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ R-001 1st HYDROGENERATOR	205						0	0	˅	˅	204.7	1592	U33HPU_Sc4_R-001 1st HYDROGENERATOR _1/2/3/4
	R-002 2nd HYDROGENERATOR	ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΗ ΘΡΑΥΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ R-002 2nd HYDROGENERATOR	730						0	0	˅	˅	730.2	1592	U33HPU_Sc5_R-002 2nd_HYDROGENERATOR_1/2/3/4

5.3.4 Μονάδα U34_1: Μονάδα Καταλυτικής Πυρόλυσης, Τμήμα Διαχωριστή - Unicracking Unit, Fractionation Section

Πίνακας 5.3.4.1: Ατυχηματικά σενάρια στη μονάδα U34_1: Unicracking Unit, Fractionation Section

ΜΟΝΑΔΑ ΚΑΤΑΛΥΤΙΚΗΣ ΠΥΡΟΛΥΣΗΣ, ΤΜΗΜΑ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΗ - UNICRACKING UNIT FRACTIONATION SECTION UNIT 34_1 Circuit	ΣΥΣΚΕΥΗ - FRACTIONATION ITEM	ΣΕΝΑΡΙΟ	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ Διαρροής ανά Συσκευή [kg]	CRUDE	HEAVY DIESEL	LIGHT DIESEL	JET FUEL/ KERO	NAPHTHA	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ Διαρροής ΥΓΡΟΥ ανά ΣΥΣΚΕΥΗ [kg]	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ Διαρροής ΥΓΡΟΥ ανά ΚΥΚΛΩΜΑ [kg]	LPG, CH4, H2	H2S	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ Διαρροής ΑΕΡΙΟΥ ανά ΣΥΣΚΕΥΗ [kg]	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ Διαρροής ΑΕΡΙΟΥ ανά ΚΥΚΛΩΜΑ [kg]	ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 1=BLEVE or JET FIRE 2=FLAMMABLE CLOUD 3= UVCE 4=POOL FIRE
HT HP STRIPPER AREA	#103+#104, C-045 HC STRIPPER EA 043/042, #105	ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΗ ΘΡΑΥΣΗ C-045 HC STRIPPER	64314			ν	ν	ν	39730	51473	23227	772	24584.6	31916	U34HCFRACTION_Sc3_C-045 HC_STRIPPER_1/2/3/4
PRODUCT FRACTIONATOR AREA	#201+#399, C-052 PRODUCT FRACTIONATOR , #202 (#248,#268,#288)	ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΗ ΘΡΑΥΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ C-052 PRODUCT FRACTIONATOR	289384				ν	ν	286602	292027	0	0	2781.5	2795	U34HCFRACTION_Sc15_C-052 PRODUCT_FRACTIONATOR_1/2/3/4
DEETHANIZER AREA	#602, C-058 DEETHANIZER E-057 E-058 E-059, #603 (#625)	ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΗ ΘΡΑΥΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ C-058 DEETHANIZER E-057 E-058 E-059	5274					ν	3262	3277	1844	53	2011.9	3116	U34HCFRACTION_Sc22_C058 DEETHANIZER E-057-E-059_1/2/3/4

5.3.5 Μονάδα U34_2: Μονάδα Καταλυτικής Πυρόλυσης, Τμήμα Αντιδραστήρων - Unicracking Unit, Reactor Section

Πίνακας 5.3.5.1: Ατυχηματικά σενάρια στη μονάδα U34_2: Unicracking Unit, Reactor Section

ΜΟΝΑΔΑ ΚΑΤΑΛΥΤΙΚΗΣ ΠΥΡΟΛΥΣΗΣ, ΤΜΗΜΑ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΩΝ - UNICRACKING UNIT REACTOR SECTION UNIT 34_2 Circuit	ΣΥΣΚΕΥΗ - REACTOR SECTION ITEM	ΣΕΝΑΡΙΟ	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ Διαρροής ανά Συσκευή [kg]	CRUDE	HEAVY DIESEL	LIGHT DIESEL	JET FUEL/ KERO	ΝΑΦΗΤΗΑ	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ Διαρροής ΥΓΡΟΥ ανά ΣΥΣΚΕΥΗ [kg]	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ Διαρροής ΥΓΡΟΥ ανά ΚΥΚΛΩΜΑ [kg]	LPG, CH4, H2	H2S	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ Διαρροής ΑΕΡΙΟΥ ανά ΣΥΣΚΕΥΗ [kg]	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ Διαρροής ΑΕΡΙΟΥ ανά ΚΥΚΛΩΜΑ [kg]	ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 1=BLEVE or JET FIRE 2=FLAMMABLE CLOUD 3= UVCE 4=POOL FIRE
REACTOR AREA	#180, HC HOT SEPARATOR 34-V-023, #182	ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΗ ΘΡΑΥΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ HC HOT SEPARATOR 34-V-023	17924					<	9055	35934	3460.0	609.4	8869.4	39518	U34HCREACTOR_Sc18_V-023 HC_HOT_SEPARATOR _1/2/3/4
	#186 (#185+#293), HC HOT SEPARATOR VAPOR-CONDENSER 34-EA-007, HC COLD SEPARATOR 34-V-025, #101	ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΗ ΘΡΑΥΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ HC HOT SEPARATOR VAPOR-CONDENSER 34-EA-007, HC COLD SEPARATOR 34-V-025	12343					<	779	35934	9974.9	888.7	11563.8	39518	U34HCREACTOR_Sc23_V-025_EA-007 HC_HOT_SEPARATOR_VAPOR-CONDENSER HC COLD SEPARATOR _1/2/3/4

5.3.6 Μονάδα U34_3: Μονάδα Κατεργασίας με Υδρογόνο, Τμήμα Αντιδραστήρων - Hydrotreating Unit, Reactor Section

Πίνακας 5.3.6.1: Ατυχηματικά σενάρια στη μονάδα U34_3: Hydrotreating Unit, Reactor Section

ΜΟΝΑΔΑ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΕ ΥΔΡΟΓΟΝΟ, ΤΜΗΜΑ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΩΝ - HYDROTREATING UNIT REACTOR SECTION UNIT 34_3 Circuit	ΣΥΣΚΕΥΗ - HYDROTREATING UNIT REACTOR SECTION ITEM	ΣΕΝΑΡΙΟ	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ Διαρροής ανά Συσκευή [kg]	CRUDE	HEAVY DIESEL	LIGHT DIESEL	JET FUEL/ KERO	NAPHTHA	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ Διαρροής ΥΓΡΟΥ ανά ΣΥΣΚΕΥΗ [kg]	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ Διαρροής ΥΓΡΟΥ ανά ΚΥΚΛΩΜΑ [kg]	LPG, CH4, H2	H2S	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ Διαρροής ΑΕΡΙΟΥ ανά ΣΥΣΚΕΥΗ [kg]	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ Διαρροής ΑΕΡΙΟΥ ανά ΚΥΚΛΩΜΑ [kg]	ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 1=BLEVE or JET FIRE 2=FLAMMABLE CLOUD 3= UVCE 4=POOL FIRE
HT FEED AREA	#204, HT FEED SURGE DRUM 34-V-002, #231	U34HCREACTOR_Sc3_V-002 HT_FEED_SURGE DRUM _1/2/3/4	7593		ν			ν	7575	10742	0.0	0.0	18.1	26	U34HCREACTOR_Sc3_V-002 HT_FEED_SURGE DRUM _1/2/3/4
HT HYDROTREATING REACTOR CIRCUIT	#188, HT SEPARATOR 34-V-003, #101	ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΗ ΘΡΑΥΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ HT SEPARATOR 34-V-003	9884			ν	ν	ν	909	2793	7786.0	425.0	8974.8	11309	U34HCREACTOR_Sc16_V-003 HT_SEPARATOR _1/2/3/4

5.3.7 Μονάδα U36: Μονάδα Αναγέννησης Αμίνης - Amine Regeneration Unit

Πίνακας 5.3.7.1: Ατυχηματικά σενάρια στη μονάδα U36: Amine Regeneration Unit

ΜΟΝΑΔΑ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗΣ ΑΜΙΝΗΣ - AMINE RECOVERY UNIT (ARU) UNIT 36 Circuit	ΣΥΣΚΕΥΗ - ARU ITEM	ΣΕΝΑΡΙΟ	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ Διαρροής ανά Συσκευή [kg]	WATER	DEA	LIGHT DIESEL	JET FUEL/ KERO	NAPHTHA	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ Διαρροής ΥΓΡΟΥ ανά ΣΥΣΚΕΥΗ [kg]	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ Διαρροής ΥΓΡΟΥ ανά ΚΥΚΛΩΜΑ [kg]	LPG, CH4	H2S	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ Διαρροής ΑΕΡΙΟΥ ανά ΣΥΣΚΕΥΗ [kg]	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ Διαρροής ΑΕΡΙΟΥ ανά ΚΥΚΛΩΜΑ [kg]	ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 1=BLEVE or JET FIRE 2=FLAMMABLE CLOUD 3= UVCE 4=POOL FIRE
REGENERATOR AREA	P001A/B, #8 C-001A AMINE REGENERATOR No1 #14	ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΗ ΘΡΑΥΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ C-001A AMINE REGENERATOR No1	37602	v	9212.5				36838	82587	0.0	676.8	764.3	2359	U36ARU_Sc2_C-001A AMINE_REGENERATOR_No1_1/2/3/4

5.3.8 Μονάδα U37: Μονάδα Απογύμνωσης Όξινων Νερών - Sour Water Stripper Unit

Πίνακας 5.3.8.1: Ατυχηματικά σενάρια στη μονάδα U37: Sour Water Stripper Unit

ΜΟΝΑΔΑ ΑΠΟΓΥΜΝΩΣΗΣ ΟΞΙΝΩΝ ΝΕΡΩΝ - SOUR WATER STRIPPER (SWS) UNIT 37 Circuit	ΣΥΣΚΕΥΗ - SWS UNIT 37 ITEM	ΣΕΝΑΡΙΟ	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ Διαρροής ανά Συσκευή [kg]	WATER	DEA	LIGHT DIESEL	JET FUEL/ KERO	ΝΑΦΗΤΗΑ	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ Διαρροής ΥΓΡΟΥ ανά ΣΥΣΚΕΥΗ [kg]	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ Διαρροής ΥΓΡΟΥ ανά ΚΥΚΛΩΜΑ [kg]	LPG, CH4	H2S	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ Διαρροής ΑΕΡΙΟΥ ανά ΣΥΣΚΕΥΗ [kg]	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ Διαρροής ΥΓΡΟΥ ανά ΚΥΚΛΩΜΑ [kg]	ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 1=BLEVE or JET FIRE 2=FLAMMABLE CLOUD 3= UVCE 4=POOL FIRE
ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΠΟΓΥΜΝΩΤΗ (STRIPPER AREA)	# 11 C 001 /B ΑΠΟΓΥΜΝΩΤΗΣ ΟΞΙΝΩΝ ΝΕΡΩΝ (SOUR WATER STRIPPER) # 13, #17	ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΗ ΘΡΑΥΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ SOUR WATER STRIPPER	37777	ν	0.0				27186	31350	0	1631.1	10591.3	1676	U37SWS_Sc6_C-001_B SOUR_WATER STRIPPER_1/2/3/4

5.3.9 Μονάδα U38: Μονάδα Ανάκτησης Θείου και Κατεργασίας Αερίων - Sulfur Recovery and Tale Gas Treatment Unit

Πίνακας 5.3.9.1: Ατυχηματικά σενάρια στη μονάδα U38: Sulfur Recovery and TGT Unit

ΜΟΝΑΔΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΘΕΙΟΥ & ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΕΡΙΩΝ - SULFUR RECOVERY & TALE GAS TREATMENT UNIT (SRU & TGT UNIT) UNIT 38 Circuit	FLEXICOKER UNIT 32 Circuit Item ΣΗΜΕΙΟ ΔΙΑΦΥΓΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗ - ΔΟΧΕΙΟ-ΣΩΛΗΝΩΣΗ	ΣΕΝΑΡΙΟ	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ Διαρροής ανά Συσκευή [kg]	WATER	DEA	LIGHT DIESEL	JET FUEL/ KERO	NAPHTHA	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ Διαρροής ΥΓΡΟΥ ανά ΣΥΣΚΕΥΗ [kg]	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ Διαρροής ΥΓΡΟΥ ανά ΚΥΚΛΩΜΑ [kg]	LPG, CH4	H2S	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ Διαρροής ΑΕΡΙΟΥ ανά ΣΥΣΚΕΥΗ [kg]	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ Διαρροής ΑΕΡΙΟΥ ανά ΚΥΚΛΩΜΑ [kg]	ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 1=BLEVE or JET FIRE 2=FLAMMABLE CLOUD 3= UVCE 4=POOL FIRE
ΠΕΡΙΟΧΗ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ (REGENARATOR AREA)	C 401 ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ (REGENERATOR)	ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΗ ΘΡΑΥΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ REGENERATOR	32901	ν	0.0				29584		0.0	331.7	3316.7	357.4	U38SRU_Sc27_C-401 REGENERATOR_1/2/3/4

5.4 Ατυχηματικά σενάρια και Ζώνες Επιπτώσεων

Στη συνέχεια στον πίνακα 5.4.1 παρουσιάζονται τα δυσμενέστερα ατυχηματικά σενάρια και οι ζώνες επιπτώσεων αυτών, όπως προέκυψαν για όλες τις μονάδες του διυλιστηρίου από τις καταστάσεις βλάβης της προηγούμενης παραγράφου. Οι ζώνες επιπτώσεων του πίνακα 5.4.1 αφορούν τα δυσμενέστερα σενάρια (worst case scenario) από κάθε φαινόμενο για όλες τις μονάδες του διυλιστηρίου. Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται για τις ζώνες επιπτώσεων στους παρακάτω πίνακες έχουν υπολογιστεί με τη βοήθεια του λογισμικού Effects 7.4 της TNO.

Πίνακας 5.4.1: Συγκεντρωτικός αναλυτικός πίνακας επιλεγμένων σεναρίων και αντίστοιχων ζωνών επιπτώσεων για όλες τις μονάδες

ΜΟΝΑΔΑ - UNIT CIRCUIT		ΜΟΝΑΔΑ ΑΠΟΣΤΑΞΗΣ ΚΕΝΟΥ - VACUUM DISTILLATION UNIT UNIT 31 Circuit	ΜΟΝΑΔΑ ΠΥΡΟΛΥΣΗΣ ΡΕΥΣΤΟΣΤΕΡΕΑΣ ΚΛΙΝΗΣ ΚΩΚ - FLEXICOKING UNIT UNIT 32 Circuit			ΜΟΝΑΔΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ - HYDROGEN PRODUCTION UNIT UNIT 33 Circuit	ΜΟΝΑΔΑ ΚΑΤΑΛΥΤΙΚΗΣ ΠΥΡΟΛΥΣΗΣ, ΤΜΗΜΑ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΗ - UNICRACKING UNIT FRACTIONATION SECTION UNIT 34_1 Circuit		ΜΟΝΑΔΑ ΚΑΤΑΛΥΤΙΚΗΣ ΠΥΡΟΛΥΣΗΣ, ΤΜΗΜΑ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΩΝ - UNICRACKING UNIT REACTOR SECTION UNIT 34_2 Circuit	ΜΟΝΑΔΑ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΕ ΥΔΡΟΓΟΝΟ, ΤΜΗΜΑ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΩΝ - HYDROTREATING UNIT REACTOR SECTION UNIT 34_3 Circuit		ΜΟΝΑΔΑ ΑΝΑΓΕΝΗΣΗΣ ΑΜΙΝΗΣ - AMINE RECOVERY UNIT (ARU) UNIT 36 Circuit	ΜΟΝΑΔΑ ΑΠΟΓΥΜΝΩΣΗΣ ΟΞΙΝΩΝ ΝΕΡΩΝ - SOUR WATER STRIPPER (SWS) UNIT 37 Circuit	ΜΟΝΑΔΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΘΕΙΟΥ & ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΕΡΙΩΝ - SULFUR RECOVERY & TALE GAS TREATMENT UNIT (SRU & TGT UNIT) UNIT 38 Circuit
ΣΥΣΚΕΥΗ - ITEM		C-001 ΠΥΡΓΟΣ ΚΕΝΟΥ (VACUUM TOWER) EA-001	C-010 ΑΠΑΙΘΑΝΙΟΤΗΣ (ABSORBER DEETHANIZER)	R-001 ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑΣ (REACTOR)	C-005 ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΗΣ (FRACTIONATOR)	#1, #3 V-001 LPG ΔΟΧΕΙΟ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ (FEED SURGE DRUM)	#103+#104, C-045 HC ΑΠΟΓΥΜΝΩΤΗΣ (HC STRIPPER) EA 043/042, #105	#201+#399, C-052 ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΗΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ (PRODUCT FRACTIONATOR), #202(#248,#268, #288)	#180, HC HOT SEPARATOR 34-V-023, #182	#188, HT SEPARATOR 34-V-003, #101	#204, HT ΔΟΧΕΙΟ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ (HT FEED SURGE DRUM) 34-V-002, #231	P001A/B, #8 C-001A ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΑΜΙΝΗΣ (AMINE REGENERATOR) No1 #14	# 11 C 001 /B ΑΠΟΓΥΜΝΩΤΗΣ ΟΞΙΝΩΝ ΝΕΡΩΝ (SOUR WATER STRIPPER) # 13, #17	C 401 ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ (REGENERATOR)
ΣΕΝΑΡΙΟ		ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΗ ΘΡΑΥΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ C-001 VACUUM TOWER EA-001	ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΗ ΘΡΑΥΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ C-010 ABSORBER DEETHANIZER	ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΗ ΘΡΑΥΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ R-001 REACTOR	ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΗ ΘΡΑΥΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ C-005 FRACTIONATOR	ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΗ ΘΡΑΥΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ V-001 LPG FEED SURGE DRUM	ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΗ ΘΡΑΥΣΗ C-045 HC STRIPPER	ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΗ ΘΡΑΥΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ C-052 PRODUCT FRACTIONATOR	ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΗ ΘΡΑΥΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ HC HOT SEPARATOR 34-V-023	ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΗ ΘΡΑΥΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ HT SEPARATOR 34-V-003	U34HCREACTOR_Sc3_V-002 HT_FEED_SURGE DRUM _1/2/3/4	ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΗ ΘΡΑΥΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ C-001A AMINE REGENERATOR No1	ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΗ ΘΡΑΥΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ SOUR WATER STRIPPER	ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΗ ΘΡΑΥΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ REGENERATOR

ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ Διαρροής ανά Συσκευή [kg]		355711	59034	14786	176733	6060	64314	289384	17924	9884	7593	37602	37777	32901
CRUDE												v	v	v
HEAVY DIESEL		v		v	v						v	9212.5	0.0	0.0
LIGHT DIESEL		v					v			v				
JET FUEL/ KERO							v	v		v				
ΝΑΡΗΤΗΑ			v				v	v	v	v	v			
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ Διαρροής ΥΓΡΟΥ ανά ΣΥΣΚΕΥΗ [kg]		355569	41783	13190	176027	0	39730	286602	9055	909	7575	36838	27186	29584
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ Διαρροής ΥΓΡΟΥ ανά ΚΥΚΛΩΜΑ [kg]		392620	49230	*13189.7*	218169	0	51473	292027	35934	2793	10742	82587	31350	
LPG, CH4, H2		0.0	v	v	v	v	23227	0	3460.0	7786.0	0.0	0.0	0	0.0
H2S		0.3	v		v		772	0	609.4	425.0	0.0	676.8	1631.1	331.7
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ Διαρροής ΑΕΡΙΟΥ ανά ΣΥΣΚΕΥΗ [kg]		142.5	17251.4	1595.8	706.2	6059.7	24584.6	2781.5	8869.4	8974.8	18.1	764.3	10591.3	3316.7

ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ Διαρροής ΑΕΡΙΟΥ ανά ΚΥΚΛΩΜΑ [kg]		144	20326	*1595.8*	839	6060	31916	2795	39518	11309	26	2359	1676	357.4
ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 1=BLEVE or JET FIRE 2=FLAMMABLE CLOUD 3= UVCE 4=POOL FIRE		U31VDU_Sc6_C-001 VACUUM_TOWER EA-001_1/2/3/4	U32FLEXCOK_Sc26_C-010 ABSORBER_DEETHANIZER_1/2/3/4	U32FLEXCOK_Sc3_R001 REACTOR_1/2/3/4	U32FLEXCOK_Sc17_C-005_FRACTIONATOR_1/2/3/4	U33HPU_Sc1_V-001 LPG FEED SURGE DRUM_1/2/3/4	U34HCFRACTION_Sc3_C-045 HC_STRIPPER_1/2/3/4	U34HCFRACTION_Sc15_C-052 PRODUCT_FRACTIONATOR_1/2/3/4	U34HCREACTOR_Sc18_V-023 HC_HOT_SEPARATOR_1/2/3/4	U34HCREACTOR_Sc16_V-003 HT_SEPARATOR_1/2/3/4	U34HCREACTOR_Sc3_V-002 HT_FEED_SURGE DRUM_1/2/3/4	U36ARU_Sc2_C-001A AMINE_REGENERATOR_No1_1/2/3/4	U37SWS_Sc6_C-001_B SOUR_WATER STRIPPER_1/2/3/4	U38SRU_Sc27_C-401 REGENERATOR_1/2/3/4
BLEVE R Fireball [m] Διάρκεια [s] or JET FIRE Μήκος Jet [m]			81.4 / 11.2 235 KW/m2 Liq JET 134 m Gas JET 42 m για 135 s			54.9 / 4.3 328 KW/m2	94.3 / 12.6 278 KW/m2		101 / 13.3 617 KW/m2	67.3 / 9.6 395 KW/m2 LPG JET 523 m 1/2 s		H2S 40.4 / 6.4 70 KW/m2	H2S 36 / 5.8 67 KW/m2	21.1 / 3.8 202 KW/m2
37,5 kW/m2			81.4			70	90		315	127		40	36	21
15 kW/m2			205			195	280		520	275		40	36	55
6 kW/m2			380			330	480		880	440		72	63	100
3 kW/m2			530			460	690		1220	620		135	120	140
1 kW/m2			880			750	980		2050	1000		245	217	240
ΝΕΦΟΣ - FLASH FIRE						Ignited at 30s	Ignited at 30s	Ignited at 30s	Ignited at 30s	Ignited at 30s		Ignited at 30s	Ignited at 30s	Ignited at 30s
Stability Class				D5 F2		D5 F2	D5 F2	D5 F2	D5 F2	D5 F2		D5 F2	D5 F2	D5 F2
Max Explosive Mass Kg														
LFL DW														
UFL DW														

UVCE		Detonation inside tower 95 % confinment		Ignited at 30s 3% confinment		Ignited at 30s 3% confinment		Ignited at 30s 3% confinment	Ignited at 30s 3% confinment	Ignited at 30s 3% confinment		Ignited at 30s 3% confinment	Ignited at 30s 3% confinment	Ignited at 30s 3% confinment
700 mbar		40		0 0		0 0		0 0	0 0	0 0		0 0	0 0	0 0
350 mbar		52		0 0		0 0		0 0	0 0	0 0		0 0	0 0	0 0
140 mbar		98		29 57		29 57		29 57	29 57	29 57		29 57	29 57	29 57
50 mbar		220		75 150		75 150		75 150	75 150	75 150		75 150	75 150	75 150
10 mbar		980		400 800		400 800		400 800	400 800	400 800		400 800	400 800	400 800
ΦΩΤΙΑ ΛΙΜΝΗΣ Διάμετρος m		**50** **100**			**50** **100**			**50** **100**	**25** **50**		**25** **50**			
Max Διάρκεια Καύσης min		**61.76**			**34.32**			**45.94**	**22.63**		**6.77**			
37,5 kW/m2		47 95			47 95			47 95	24 47		24 47			
15 kW/m2		75 140			75 140			75 140	40 75		40 75			
6 kW/m2		108 200			108 200			108 200	57 108		57 108			
3 kW/m2		140 250			140 250			140 250	75 140		75 140			
1 kW/m2		210 360			210 360			210 360	112 210		112 210			

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται αναλυτικά τα ατυχηματικά σενάρια του πίνακα 5.4.1 για κάθε μονάδα ξεχωριστά και αποτυπώνονται στην κάτοψη του σχεδίου των νέων μονάδων οι ζώνες επιπτώσεών τους. Το σημείο στόχος, που είναι το control room των νέων μονάδων παρουσιάζεται σε όλα τα παρακάτω σχήματα με ένα κόκκινο ορθογώνιο.

5.4.1 Μονάδα U31: Μονάδα Απόσταξης Κενού - Vacuum Distillation Unit

Από τον πίνακα 5.4.1 προκύπτει ότι στη μονάδα U31 είναι πιθανό να συμβούν δύο είδη φαινομένων τα οποία είναι τα εξής:

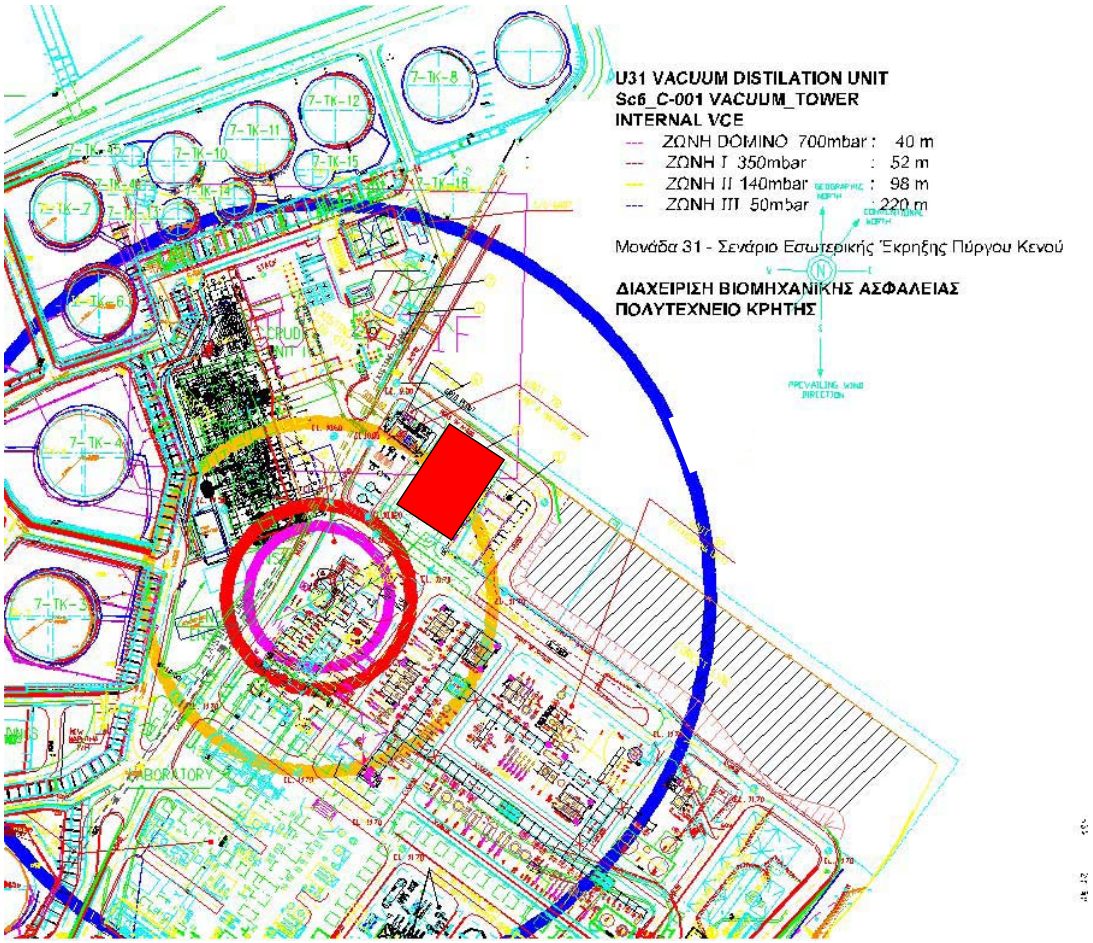
- Έκρηξη νέφους αερίων (UVCE) και
- Φωτιά λίμνης (pool fire).

Το σενάριο από το οποίο μπορούν να προκληθούν αυτά τα 2 φαινόμενα είναι η καταστροφική θραύση του κυκλώματος C-001 στον πύργο κενού EA-001 (Vacuum Tower EA-001). Η ποσότητα υγρών καυσίμων που εκλύεται συνολικά από καταστροφική θραύση στο συγκεκριμένο κύκλωμα βρέθηκε ίση με 392.620kg light diesel και heavy diesel. Η αντίστοιχη ποσότητα αερίων είναι ίση με 142,5kg H_2S.

- Η περίπτωση της έκρηξης νέφους αερίων αφορά σε έκρηξη πολύ περιορισμένη (στη παρούσα μελέτη θεωρήθηκε βαθμός περιορισμού ίσος με 95%) των 142,5kg H_2S εντός του Vacuum Tower EA-001 που οδηγεί σε έκρηξη πολύ υψηλής ενέργειας (detonation). Στον πύργο κενού EA-001 οι διεργασίες που γίνονται, λαμβάνουν χώρα σε περιβάλλον κενού και ως εκ τούτου στην περίπτωση καταστροφικής θραύσης δεν θα υπάρξει απελευθέρωση των 142,5kg H_2S προς το περιβάλλον, άλλα η έκρηξη θα σημειωθεί εντός του πύργου. Οι ζώνες επιπτώσεων της έκρηξης αυτής παρουσιάζονται στον πίνακα 5.4.1.1 και αποτυπώνονται γραφικά στο σχέδιο του σχήματος 5.4.1.1. Όπως φαίνεται πολύ παραστατικά από το σχήμα 5.4.1.1 η Ζώνη Domino (700mbar) και η Ζώνη I (350mbar) δεν φθάνουν το control room. **Η Ζώνη II (140mbar) είναι αυτή η οποία επηρεάζει το control room** ενώ εννοείται ότι το control room περιέχεται και εντός της Ζώνης III (50mbar).

Πίνακας 5.4.1.1: Ζώνες επιπτώσεων (σε m) από έκρηξη νέφους αερίων (VCE) στη μονάδα U31: Vacuum Distillation Unit

UVCE	700 mbar	350 mbar	140 mbar	50 mbar	10 mbar
Detonation inside tower 95 % confinment	40	52	98	220	980



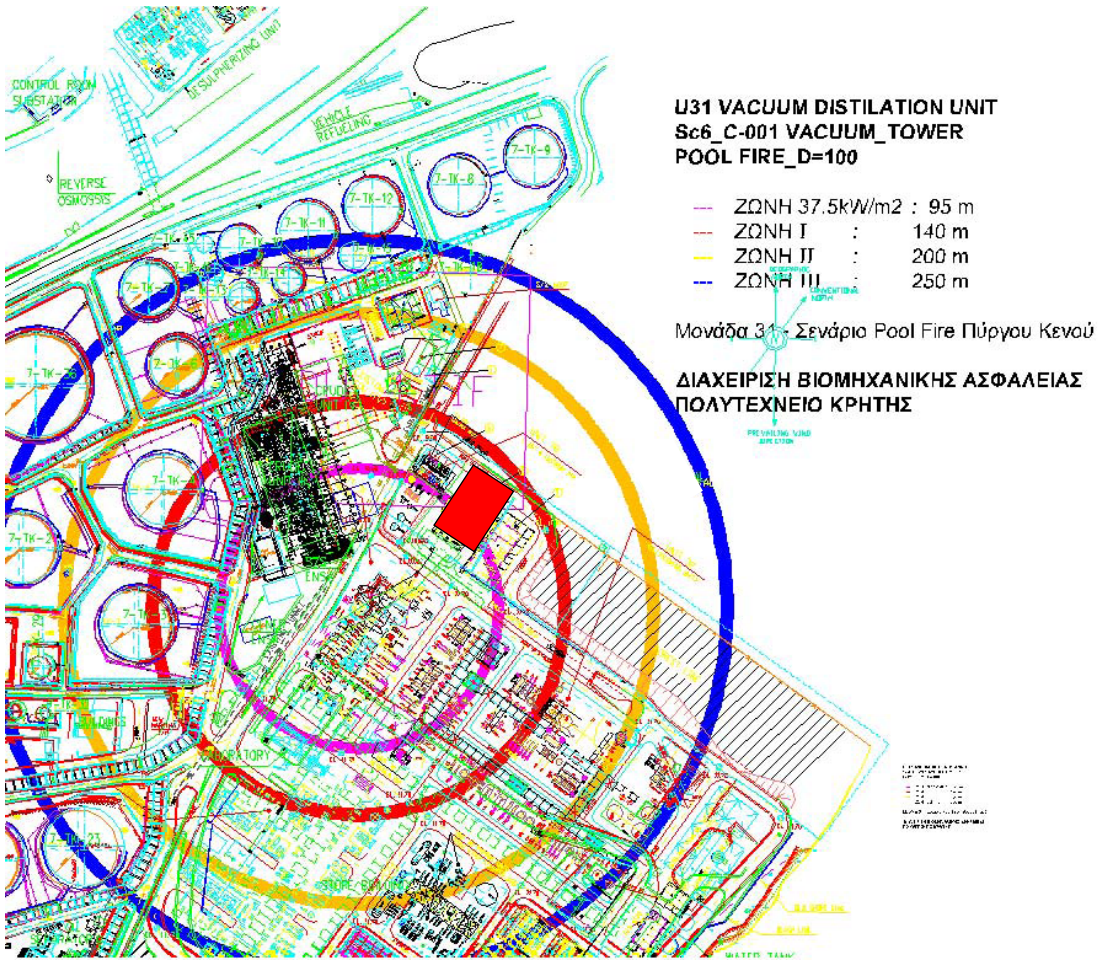
Σχήμα 5.4.1.1: Ζώνες επιπτώσεων (σε m) από έκρηξη νέφους αερίων (VCE) στη μονάδα U31: Vacuum Distillation Unit

- Επιπλέον τα 392.620kg light diesel και heavy diesel, αν υπάρξει μία πηγή ανάφλεξης, οδηγούν στη δημιουργία φωτιάς λίμνης περιορισμένης σε ανάχωμα διαμέτρου είτε 50m είτε 100m, ενώ οι ζώνες επιπτώσεων αυτών παρουσιάζονται στον πίνακα 5.4.1.2 και αποτυπώνονται γραφικά στο σχέδιο του σχήματος 5.4.1.2 (μόνο για την περίπτωση της φωτιάς λίμνης με διάμετρο 100m). Όπως φαίνεται πολύ παραστατικά από το σχήμα 5.4.1.2 **η Ζώνη Domino (37,5kW/m^2) επηρεάζει το control room, ενώ αυτό βρίσκεται ολόκληρο εντός της Ζώνης I (15 kW/m^2)**.

Πίνακας 5.4.1.2: Ζώνες επιπτώσεων (σε m) από φωτιά λίμνης (POOL FIRE) στη μονάδα U31: Vacuum Distillation Unit

ΦΩΤΙΑ ΛΙΜΝΗΣ Διάμετρος m	Max Διάρκεια Καύσης min	37,5 kW/m2	15 kW/m2	6 kW/m2	3 kW/m2	1 kW/m2

50 100	61.76	47 95	75 140	108 200	140 250	210 360



Σχήμα 5.4.1.2: Ζώνες επιπτώσεων (σε m) από φωτιά λίμνης (POOL FIRE) στη μονάδα U31: Vacuum Distillation Unit

5.4.2 Μονάδα U32: Μονάδα Πυρόλυσης Ρευστοστερεάς Κλίνης Κωκ - Flexicoking Unit

Από τον πίνακα 5.4.1 προκύπτει ότι στη μονάδα U32 είναι πιθανό να συμβούν τέσσερα είδη φαινομένων τα οποία είναι τα εξής:

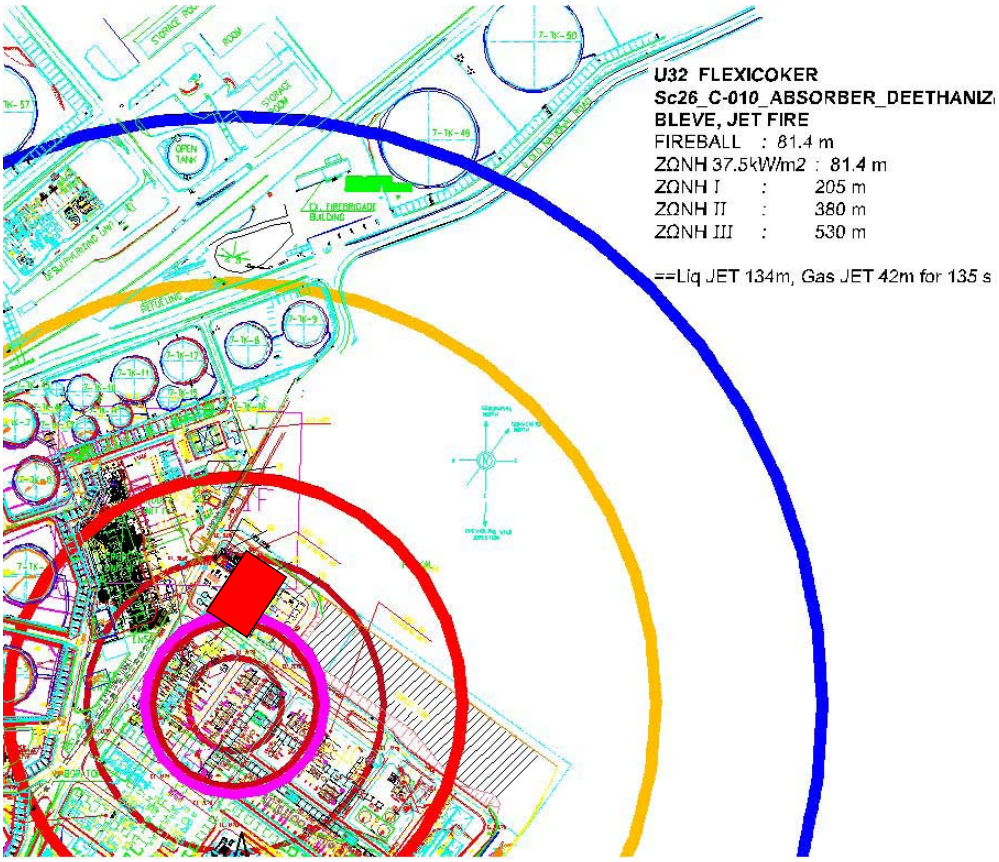
- BLEVE
- Jet fire
- Έκρηξη νέφους αερίων (UVCE) και
- Φωτιά λίμνης (pool fire).

Τα παραπάνω φαινόμενα μπορούν να προκληθούν από τα ακόλουθα 3 σενάρια:

- BLEVE και Jet fire από καταστροφική θραύση κυκλώματος C-0100 Absorber Deethanizer, όπου απελευθερώνονται συνολικά στο κύκλωμα 20.326kg αερίων υδρογονανθράκων στα οποία συμπεριλαμβάνεται και μία μικρή ποσότητα υδρόθειου (H_2S). Οι ζώνες επιπτώσεων των δύο αυτών φαινομένων παρουσιάζονται στον πίνακα 5.4.2.1 και αποτυπώνονται γραφικά στο σχέδιο του σχήματος 5.4.2.1. Όπως προκύπτει από το σχήμα 5.4.2.1 **η Ζώνη Domino (37,5 kW/m^2) επηρεάζει το control room, ενώ βρίσκεται ολόκληρο εντός της Ζώνης I (15 kW/m^2)** και στα δύο φαινόμενα, αφού οι ζώνες επιπτώσεών τους ταυτίζονται.

Πίνακας 5.4.2.1: Ζώνες επιπτώσεων (σε m) από BLEVE και JET FIRE στη μονάδα U32: Flexicoking Unit

BLEVE R Fireball [m] Duration [s] or JET FIRE Jet length [m]	37,5 kW/m2	15 kW/m2	6 kW/m2	3 kW/m2	1 kW/m2
81.4 / 11.2 235 KW/m2 Liq JET 134 m Gas JET 42 m for 135 s	81.4	205	380	530	880

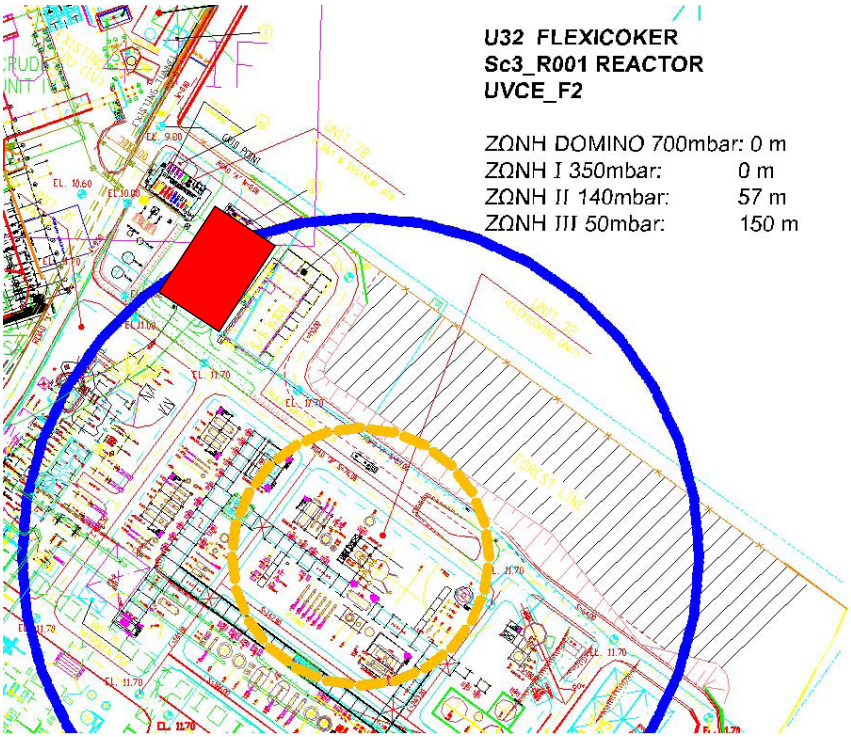


Σχήμα 5.4.2.1: Ζώνες επιπτώσεων (σε m) από BLEVE και JET FIRE στη μονάδα U32: Flexicoking Unit

- Έκρηξη νέφους αερίων από καταστροφική θραύση κυκλώματος R-001 Reactor, όπου απελευθερώνονται συνολικά 1595,8kg αερίου LPG μέρος των οποίων σχηματίζει εκρηκτικό μείγμα στην ατμόσφαιρα, ανάλογα πάντα με τις μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν. Οι ζώνες επιπτώσεων από την έκρηξη του νέφους αερίων για συνθήκες ατμόσφαιρας D5 και F2 κατά Pasquill παρουσιάζονται στον πίνακα 5.4.2.2 και αποτυπώνονται γραφικά στην κάτοψη των μονάδων στο σχήμα 5.4.2.2 (μόνο για την περίπτωση με συνθήκες ατμόσφαιρας F2). Όπως εύκολα φαίνεται από το σχήμα 5.4.2.2, μόνο **η Ζώνη III (50 mbar) επηρεάζει το control room**. Η Ζώνη II (140 mbar) δεν φθάνει στο control room, ενώ είναι άξιο παρατήρησης το γεγονός ότι λόγω του ότι η έκρηξη έχει χαμηλή αρχική ενέργεια (έχει θεωρηθεί blast strength=5) και λαμβάνει χώρα με χαμηλό ποσοστό εγκλωβισμού (3% confinement), δεν δημιουργούνται υπερπιέσεις αντίστοιχες της Ζώνης I (350 mbar) και της Ζώνης DOMINO (700mbar).

Πίνακας 5.4.2.2: Ζώνες επιπτώσεων (σε m) από UVCE στη μονάδα U32: Flexicoking Unit

UVCE	700 mbar	350 mbar	140 mbar	50 mbar	10 mbar
Ignited at 30s	0	0	29	75	400
3% confinment	0	0	57	150	800

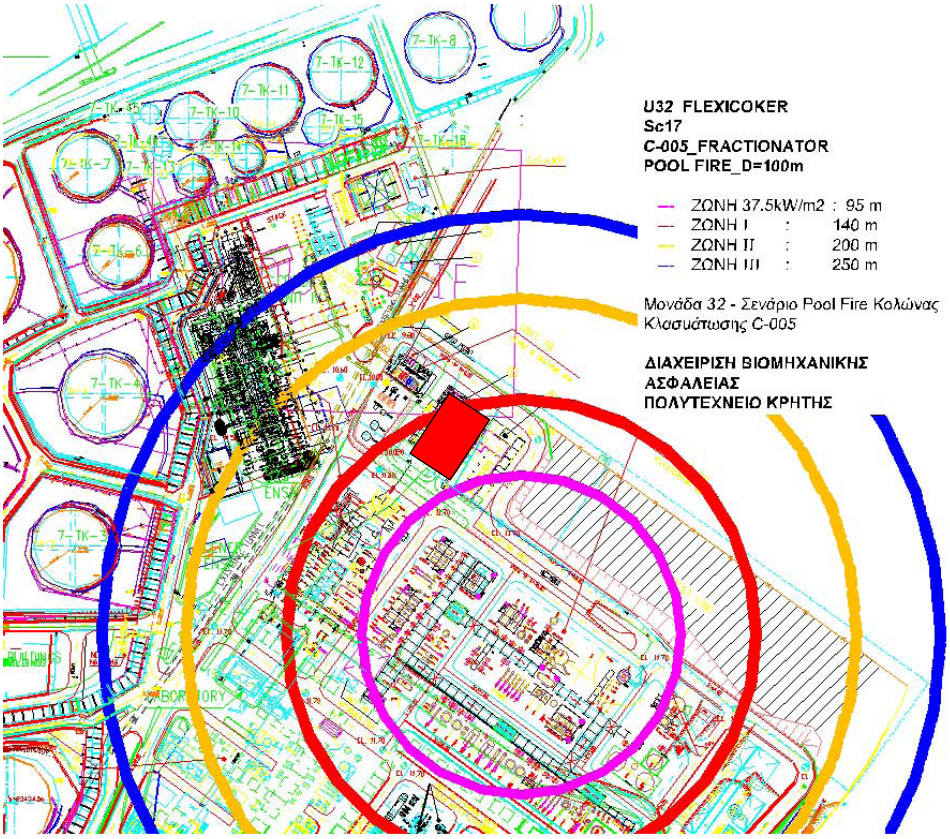


Σχήμα 5.4.2.2: Ζώνες επιπτώσεων (σε m) από UVCE (για F2) στη μονάδα U32: Flexicoking Unit

- Φωτιά λίμνης από καταστροφική θραύση κυκλώματος C-005 Fractionator, όπου απελευθερώνονται συνολικά 218.169kg heavy diesel. Οι ζώνες επιπτώσεων από τη φωτιά λίμνης, περιορισμένη σε ανάχωμα διαμέτρου 50m είτε 100m, παρουσιάζονται στον πίνακα 5.4.2.3. Στο σχήμα 5.4.2.3 αποτυπώνονται γραφικά οι ζώνες επιπτώσεων για τη φωτιά λίμνης περιορισμένη σε ανάχωμα διαμέτρου 100m και όπως γίνεται εύκολα φανερό, **η Ζώνη I (15kW/m^2) είναι αυτή που επηρεάζει το control room** της εγκατάστασης.

Πίνακας 5.4.2.3: Ζώνες επιπτώσεων (σε m) από POOL FIRE στη μονάδα U32: Flexicoking Unit

ΦΩΤΙΑ ΛΙΜΝΗΣ Διάμετρος m	Max Διάρκεια Καύσης min	37,5 kW/m2	15 kW/m2	6 kW/m2	3 kW/m2	1 kW/m2
50	34.32	47	75	108	140	210
100		95	140	200	250	360



Σχήμα 5.4.2.3: Ζώνες επιπτώσεων (σε m) από POOL FIRE (D=100m) στη μονάδα U32: Flexicoking Unit

5.4.3 Μονάδα U33: Μονάδα Παραγωγής Υδρογόνου - Hydrogen Production Unit

Από τον πίνακα 5.4.1 προκύπτει ότι στη μονάδα U33 είναι πιθανό να συμβούν δύο είδη φαινομένων τα οποία είναι τα εξής:

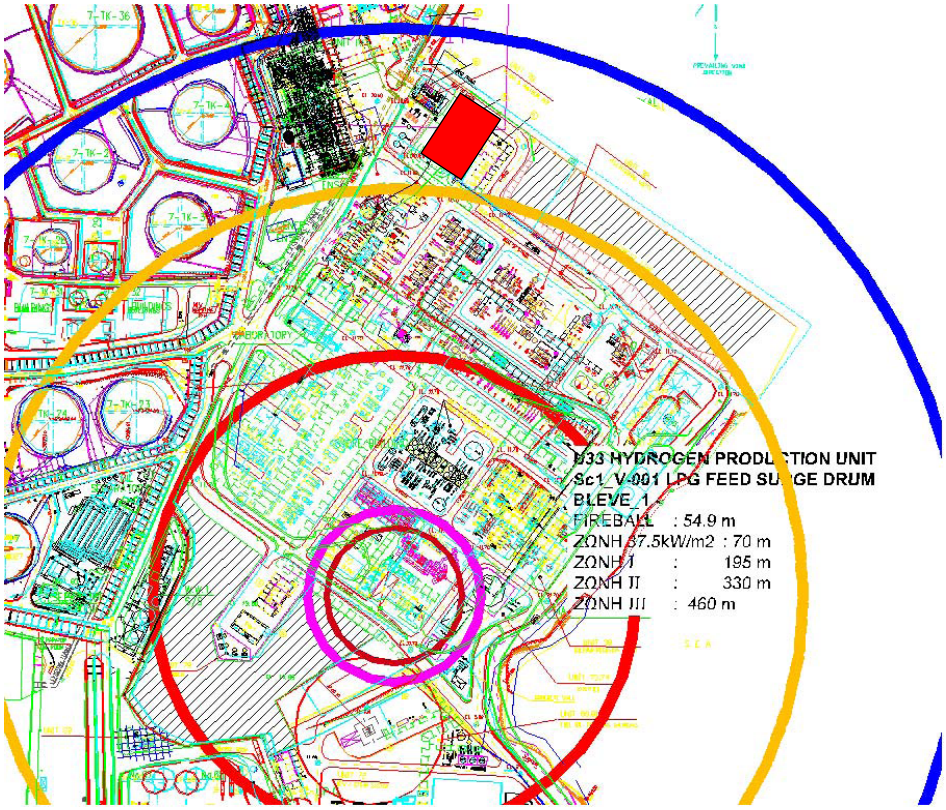
- BLEVE
- Έκρηξη νέφους αερίων (UVCE).

Τα παραπάνω φαινόμενα μπορούν να προκληθούν από τα ακόλουθα σενάρια:

- BLEVE από καταστροφική θραύση κυκλώματος V-001 LPG Feed Surge Drum, όπου απελευθερώνονται συνολικά 6.060kg αερίου LPG. Οι ζώνες επιπτώσεων για το φαινόμενο αυτό παρουσιάζονται στον πίνακα 5.4.3.1 και αποτυπώνονται γραφικά στην κάτοψη του σχήματος 5.4.3.1. Όπως προκύπτει από το σχήμα 5.4.3.1 **η Ζώνη III (3 kW/m^2) είναι αυτή η οποία επηρεάζει το control room**. Στη συγκεκριμένη περίπτωση παρατηρείται ότι η Ζώνη II (6 kW/m^2) εκτείνεται σε απόσταση η οποία πλησιάζει αρκετά κοντά στο control room, όμως δεν επηρεάζει το control room της εγκατάστασης.

Πίνακας 5.4.3.1: Ζώνες επιπτώσεων (σε m) από BLEVE στη μονάδα U33: Hydrogen Production Unit

BLEVE R Fireball [m] Duration [s] or JET FIRE Jet length [m]	37,5 kW/m2	15 kW/m2	6 kW/m2	3 kW/m2	1 kW/m2
54.9 / 4.3 328 KW/m2	70	195	330	460	750

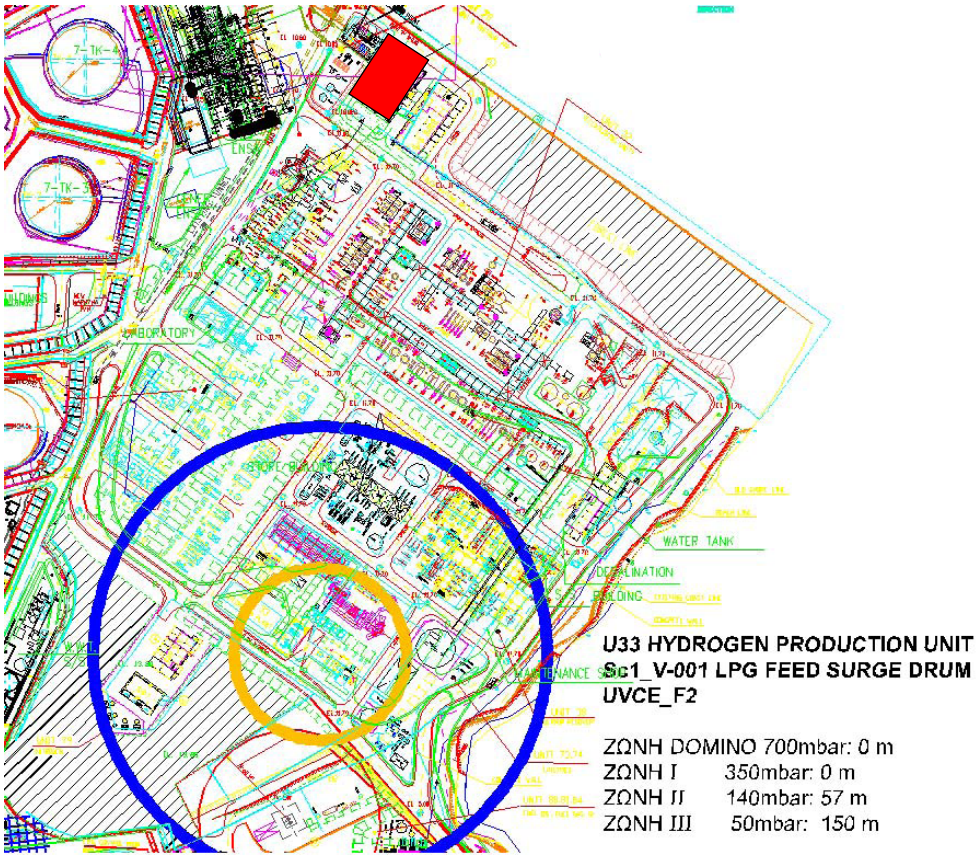


Σχήμα 5.4.3.1: Ζώνες επιπτώσεων (σε m) από BLEVE στη μονάδα U33: Hydrogen Production Unit

- Έκρηξη νέφους αερίων από καταστροφική θραύση κυκλώματος V-001 LPG Feed Surge Drum όπως και στο BLEVE, όπου απελευθερώνονται συνολικά 6.060kg αερίου LPG μέρος των οποίων σχηματίζει εκρηκτικό μείγμα στην ατμόσφαιρα, ανάλογα πάντα με τις μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν. Οι ζώνες επιπτώσεων από την έκρηξη του νέφους αερίων για συνθήκες ατμόσφαιρας D5 και F2 κατά Pasquill παρουσιάζονται στον πίνακα 5.4.3.2 και αποτυπώνονται γραφικά στην κάτοψη των μονάδων στο σχήμα 5.4.3.2 (μόνο για την περίπτωση με συνθήκες ατμόσφαιρας F2). Από το σχήμα 5.4.3.2 γίνεται φανερό ότι **καμία Ζώνη Επιπτώσεων δεν επηρεάζει το control room**, ενώ αξίζει να παρατηρηθεί για άλλη μία φορά ότι επειδή η έκρηξη έχει χαμηλή αρχική ενέργεια (έχει θεωρηθεί blast strength=5) και λαμβάνει χώρα με χαμηλό ποσοστό εγκλωβισμού (3% confinement), δεν δημιουργούνται υπερπιέσεις αντίστοιχες της Ζώνης I (350 mbar) και της Ζώνης DOMINO (700mbar).

Πίνακας 5.4.3.2: Ζώνες επιπτώσεων (σε m) από UVCE στη μονάδα U33: Hydrogen Production Unit

UVCE	700 mbar	350 mbar	140 mbar	50 mbar	10 mbar
Ignited at 30s 3% confinment	0 0	0 0	29 57	75 150	400 800



Σχήμα 5.4.3.2: Ζώνες επιπτώσεων (σε m) από UVCE (για F2)στη μονάδα U33: Hydrogen Production Unit

5.4.4 Μονάδα U34_1: Μονάδα Καταλυτικής Πυρόλυσης, Τμήμα Διαχωριστή - Unicracking Unit, Fractionation Section

Από τον πίνακα 5.4.1 προκύπτει ότι στη μονάδα U34_1 είναι πιθανό να συμβούν τρία είδη φαινομένων τα οποία είναι τα εξής:

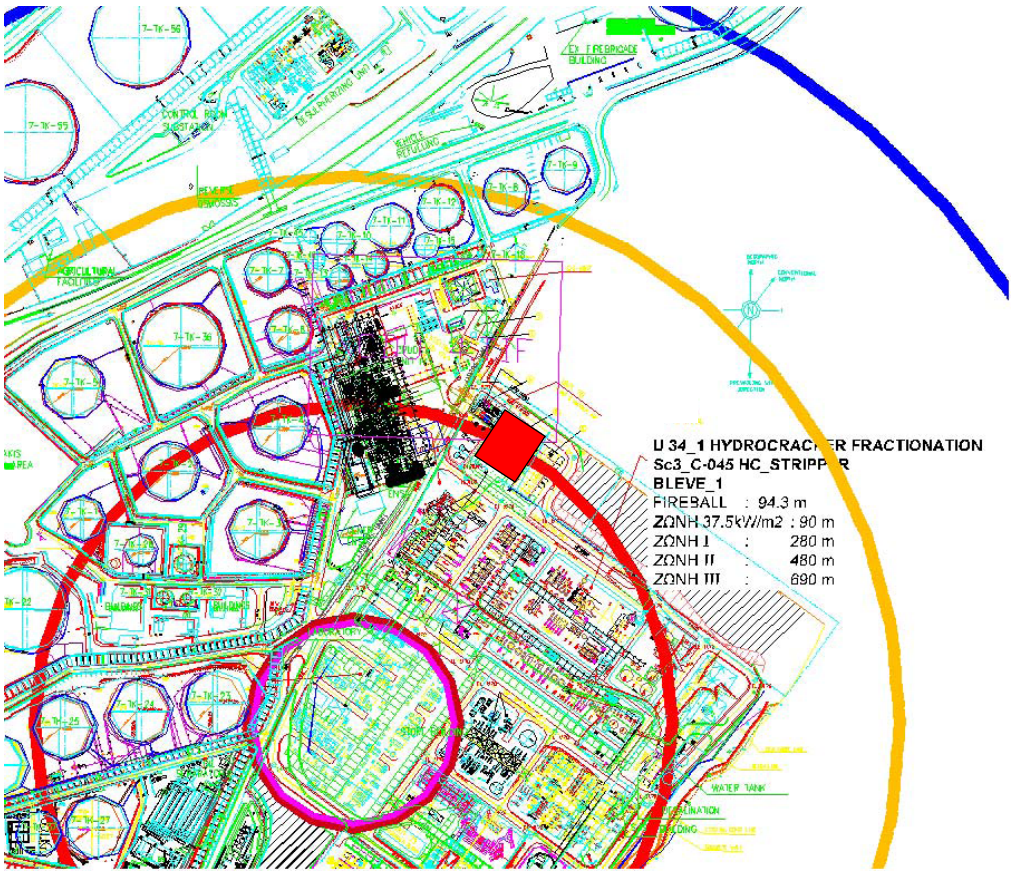
- BLEVE
- Έκρηξη νέφους αερίων (UVCE) και
- Φωτιά λίμνης (Pool fire).

Τα παραπάνω φαινόμενα μπορούν να προκληθούν από τα ακόλουθα σενάρια:

- BLEVE από καταστροφική θραύση C-045 HC Stripper, όπου απελευθερώνονται συνολικά στο κύκλωμα 31.916kg αερίων καυσίμων, κυρίως LPG, ενώ ένα μικρό μέρος αυτών αποτελείται από υδρόθειο (H_2S). Οι ζώνες επιπτώσεων για το φαινόμενο αυτό παρουσιάζονται στον πίνακα 5.4.4.1 και αποτυπώνονται γραφικά στην κάτοψη του σχήματος 5.4.4.1. Όπως προκύπτει από το σχήμα 5.4.4.1 **η Ζώνη I (15 kW/m^2) είναι αυτή που επηρεάζει το control room**.

Πίνακας 5.4.4.1: Ζώνες επιπτώσεων (σε m) από BLEVE στη μονάδα U34_1: Unicracking Unit, Fractionation Section

BLEVE R Fireball [m] Duration [s] or JET FIRE Jet length [m]	37,5 kW/m2	15 kW/m2	6 kW/m2	3 kW/m2	1 kW/m2
94.3 / 12.6 278 KW/m2	90	280	480	690	980



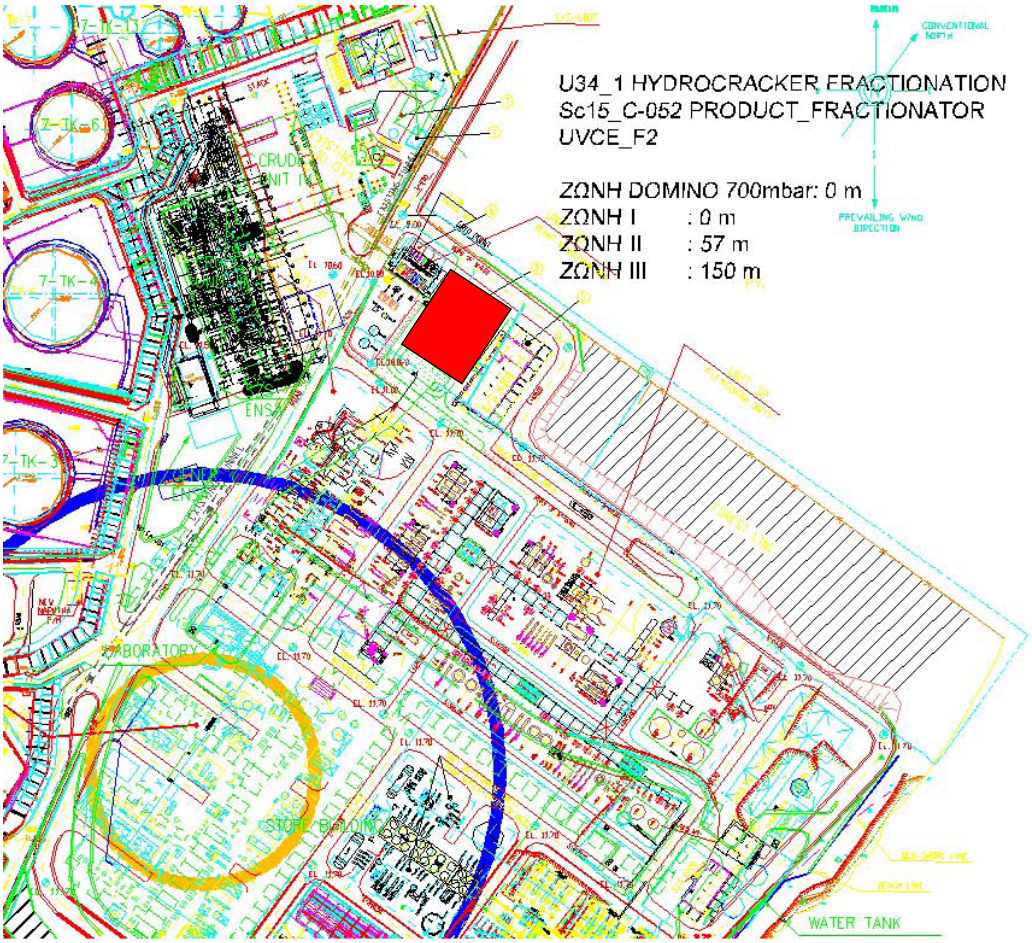
Σχήμα 5.4.4.1: Ζώνες επιπτώσεων (σε m) από BLEVE στη μονάδα U34_1: Unicracking Unit, Fractionation Section

- Έκρηξη νέφους αερίων από καταστροφική θραύση κυκλώματος C-052 Product Fractionator, όπου απελευθερώνονται συνολικά 2.795kg αερίων υδρογονανθράκων, κυρίως LPG, μέρος των οποίων σχηματίζει εκρηκτικό μείγμα στην ατμόσφαιρα, ανάλογα πάντα με τις μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν. Οι ζώνες επιπτώσεων από την έκρηξη του νέφους αερίων για συνθήκες ατμόσφαιρας D5 και F2 κατά Pasquill παρουσιάζονται στον πίνακα 5.4.4.2 και αποτυπώνονται γραφικά στην κάτοψη των μονάδων στο σχήμα 5.4.4.2 (μόνο για την περίπτωση με συνθήκες ατμόσφαιρας F2). Από το σχήμα 5.4.4.2 γίνεται φανερό ότι **καμία Ζώνη επιπτώσεων δεν επηρεάζει το control room**. Επιπλέον για τους ίδιους λόγους που αναφέρθηκαν στις προηγούμενες

παραγράφους, για άλλη μία φορά δεν δημιουργούνται υπερπιέσεις αντίστοιχες των Ζωνών I και DOMINO.

Πίνακας 5.4.4.2: Ζώνες επιπτώσεων (σε m) από UVCE στη μονάδα U34_1: Unicracking Unit, Fractionation Section

UVCE	700 mbar	350 mbar	140 mbar	50 mbar	10 mbar
Ignited at 30s	0	0	29	75	400
3% confinment	0	0	57	150	800



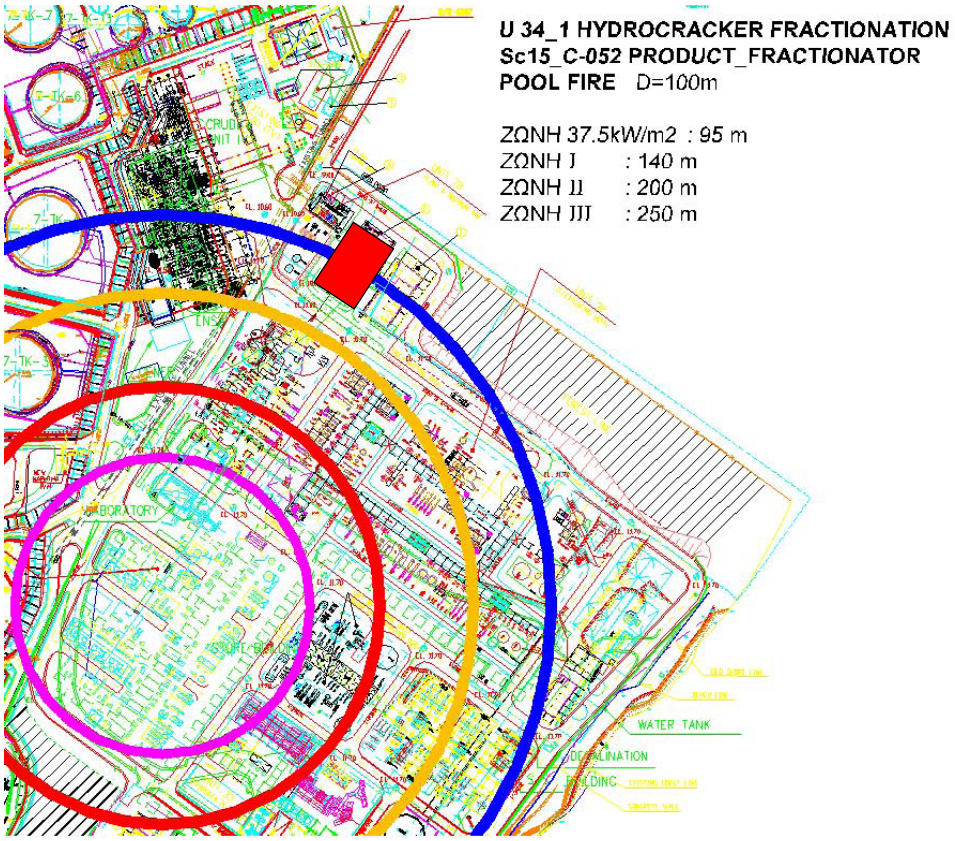
Σχήμα 5.4.4.2: Ζώνες επιπτώσεων (σε m) από UVCE (για F2) στη μονάδα U34_1: Unicracking Unit, Fractionation Section

- Φωτιά λίμνης από καταστροφική θραύση κυκλώματος C-052 Product Fractionator, όπου απελευθερώνονται συνολικά 292.027kg Jet Fuel και Naphtha. Οι ζώνες επιπτώσεων από τη φωτιά λίμνης, περιορισμένη σε ανάχωμα διαμέτρου 50m είτε 100m, παρουσιάζονται στον πίνακα 5.4.4.3. Στο σχήμα 5.4.4.3 αποτυπώνονται γραφικά

οι ζώνες επιπτώσεων για τη φωτιά λίμνης περιορισμένη σε ανάχωμα διαμέτρου 100m και όπως γίνεται εύκολα φανερό, **η Ζώνη ΙΙΙ (3 kW/m^2) είναι αυτή που επηρεάζει το control room** της εγκατάστασης.

Πίνακας 5.4.4.3: Ζώνες επιπτώσεων (σε m) από φωτιά λίμνης στη μονάδα U34_1: Unicracking Unit, Fractionation Section

ΦΩΤΙΑ ΛΙΜΝΗΣ Διάμετρος m	Max Διάρκεια Καύσης min	37,5 kW/m2	15 kW/m2	6 kW/m2	3 kW/m2	1 kW/m2
50	45.94	47	75	108	140	210
100		95	140	200	250	360



Σχήμα 5.4.4.3: Ζώνες επιπτώσεων (σε m) από POOL FIRE (για D=100m) στη μονάδα U34_1: Unicracking Unit, Fractionation Section

5.4.5 Μονάδα U34_2: Μονάδα Καταλυτικής Πυρόλυσης, Τμήμα Αντιδραστήρων - Unicracking Unit, Reactor Section

Από τον πίνακα 5.4.1 προκύπτει ότι στη μονάδα U34_2 είναι πιθανό να συμβούν τρία είδη φαινομένων τα οποία είναι τα εξής:

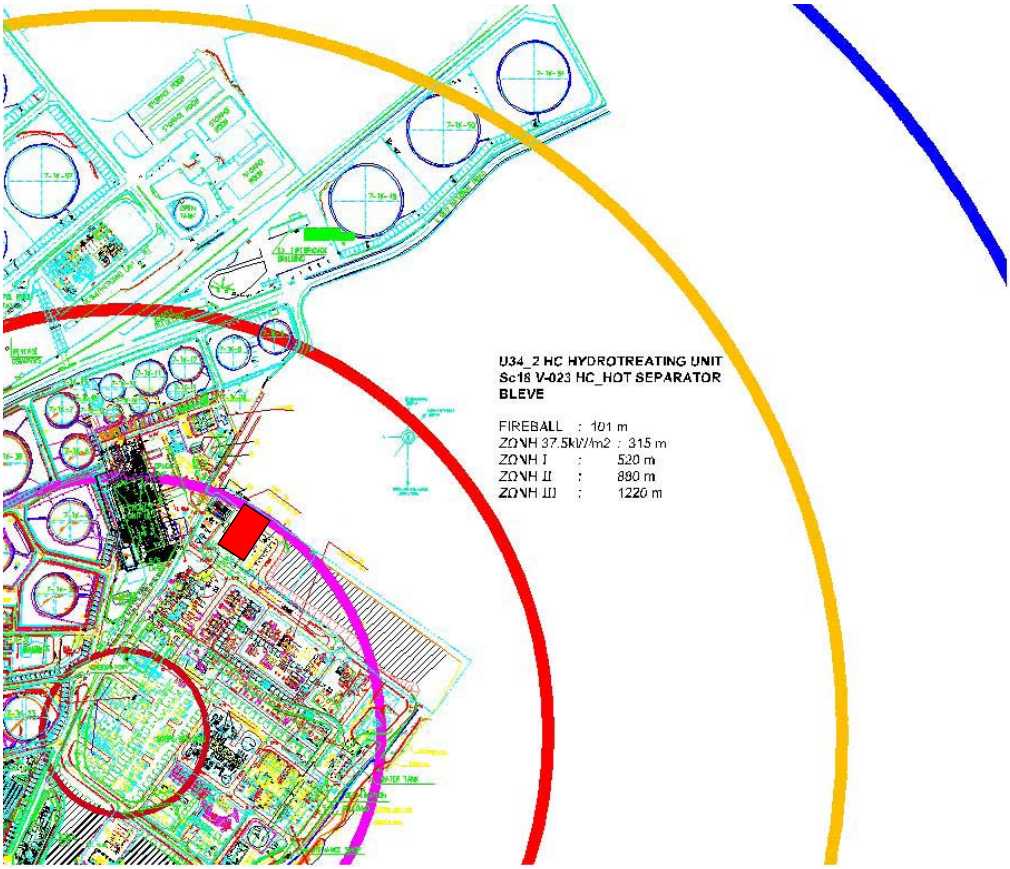
- BLEVE
- Έκρηξη νέφους αερίων (UVCE) και
- Φωτιά λίμνης (Pool fire).

Τα παραπάνω φαινόμενα μπορούν να προκληθούν από τα ακόλουθα σενάρια:

- BLEVE από καταστροφική θραύση κυκλώματος HC Hot Separator 34-V-023, όπου απελευθερώνονται συνολικά στο κύκλωμα 39.518kg αερίων καυσίμων, κυρίως LPG, ενώ ένα μικρό μέρος αυτών αποτελείται από υδρόθειο (H_2S). Οι ζώνες επιπτώσεων για το φαινόμενο αυτό παρουσιάζονται στον πίνακα 5.4.5.1 και αποτυπώνονται γραφικά στην κάτοψη του σχήματος 5.4.5.1. Όπως προκύπτει από το σχήμα 5.4.5.1 **το control room περιέχεται ολόκληρο στη Ζώνη DOMINO (37,5 kW/m^2), οπότε κατ'επέκταση και στη Ζώνη I (15 kW/m^2)**.

Πίνακας 5.4.5.1: Ζώνες επιπτώσεων (σε m) από BLEVE στη μονάδα U34_2: Unicracking Unit, Reactor Section

BLEVE R Fireball [m] Duration [s] or JET FIRE Jet length [m]	37,5 kW/m2	15 kW/m2	6 kW/m2	3 kW/m2	1 kW/m2
101 / 13.3 617 KW/m2	315	520	880	1220	2050

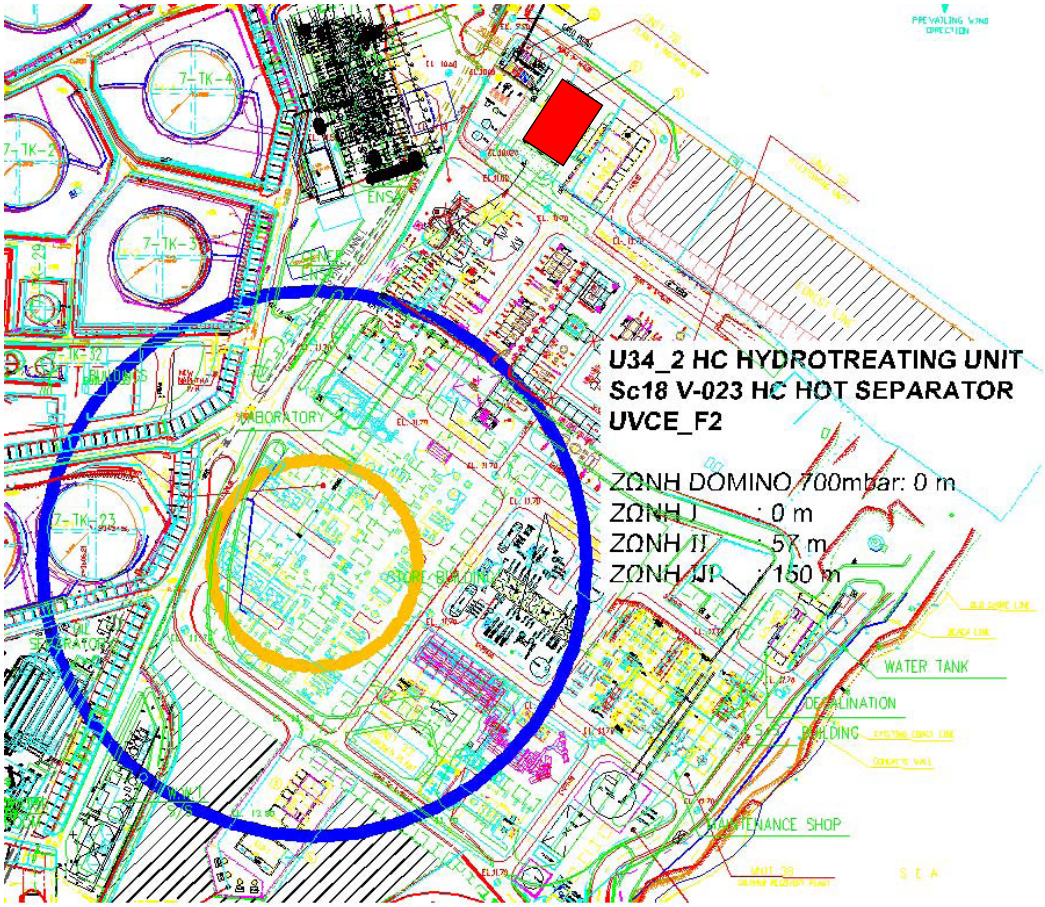


Σχήμα 5.4.5.1: Ζώνες επιπτώσεων (σε m) από BLEVE στη μονάδα U34_2: Unicracking Unit, Reactor Section

- Έκρηξη νέφους αερίων από καταστροφική θραύση κυκλώματος HC Hot Separator 34-V-023, όπου απελευθερώνονται συνολικά 39.518kg αερίων καυσίμων, κυρίως LPG, μέρος των οποίων σχηματίζει εκρηκτικό μείγμα στην ατμόσφαιρα, ανάλογα πάντα με τις μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν. Οι ζώνες επιπτώσεων από την έκρηξη του νέφους αερίων για συνθήκες ατμόσφαιρας D5 και F2 κατά Pasquill παρουσιάζονται στον πίνακα 5.4.5.2 και αποτυπώνονται γραφικά στην κάτοψη των μονάδων στο σχήμα 5.4.5.2 (μόνο για την περίπτωση με συνθήκες ατμόσφαιρας F2). Από το σχήμα 5.4.5.2 γίνεται φανερό ότι **καμία Ζώνη επιπτώσεων δεν επηρεάζει το control room**. Επιπλέον για τους ίδιους λόγους που αναφέρθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους, για άλλη μία φορά δεν δημιουργούνται υπερπιέσεις αντίστοιχες των Ζωνών I και DOMINO.

Πίνακας 5.4.5.2: Ζώνες επιπτώσεων (σε m) από UVCE στη μονάδα U34_2: Unicracking Unit, Reactor Section

UVCE	700 mbar	350 mbar	140 mbar	50 mbar	10 mbar
Ignited at 30s 3% confinment	0 0	0 0	29 57	75 150	400 800

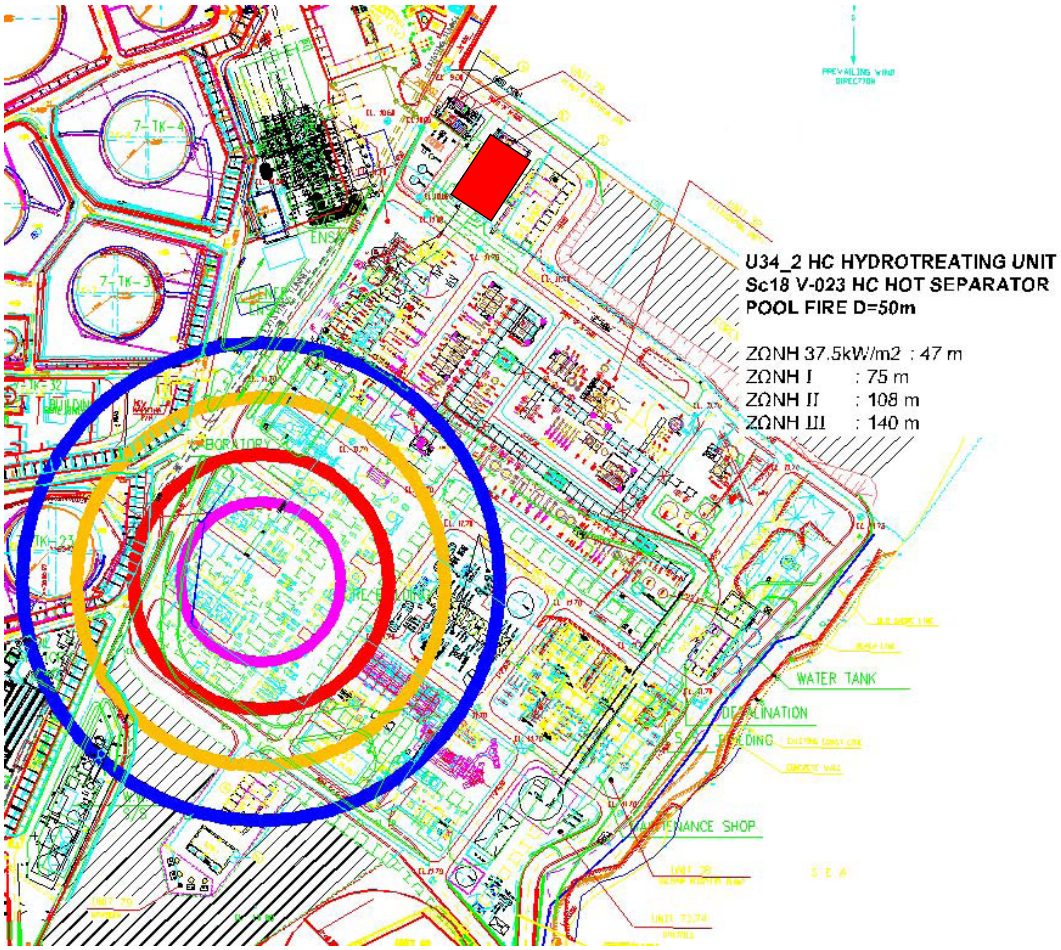


Σχήμα 5.4.5.2: Ζώνες επιπτώσεων (σε m) από UVCE (για F2) στη μονάδα U34_2: Unicracking Unit, Reactor Section

- Φωτιά λίμνης από καταστροφική θραύση κυκλώματος HC Hot Separator 34-V-023, όπου απελευθερώνονται συνολικά 35.934kg Naphtha. Οι ζώνες επιπτώσεων από τη φωτιά λίμνης, περιορισμένη σε ανάχωμα διαμέτρου 25m είτε 50m, παρουσιάζονται στον πίνακα 5.4.5.3. Στο σχήμα 5.4.5.3 αποτυπώνονται γραφικά οι ζώνες επιπτώσεων για τη φωτιά λίμνης, περιορισμένη σε ανάχωμα διαμέτρου 50m και όπως γίνεται φανερό, **καμία Ζώνη επιπτώσεων δεν επηρεάζει το control room**.

Πίνακας 5.4.5.3: Ζώνες επιπτώσεων (σε m) από φωτιά λίμνης στη μονάδα U34_2: Unicracking Unit, Reactor Section

ΦΩΤΙΑ ΛΙΜΝΗΣ Διάμετρος m	Max Διάρκεια Καύσης min	37,5 kW/m2	15 kW/m2	6 kW/m2	3 kW/m2	1 kW/m2
25	22.63	24	40	57	75	112
50		47	75	108	140	210



Σχήμα 5.4.5.3: Ζώνες επιπτώσεων (σε m) από POOL FIRE (για D=50m) στη μονάδα U34_2: Unicracking Unit, Reactor Section

5.4.6 Μονάδα U34_3: Μονάδα Κατεργασίας με Υδρογόνο, Τμήμα Αντιδραστήρων - Hydrotreating Unit, Reactor Section

Από τον πίνακα 5.4.1 προκύπτει ότι στη μονάδα U34_3 είναι πιθανό να συμβούν τέσσερα είδη φαινομένων τα οποία είναι τα εξής:

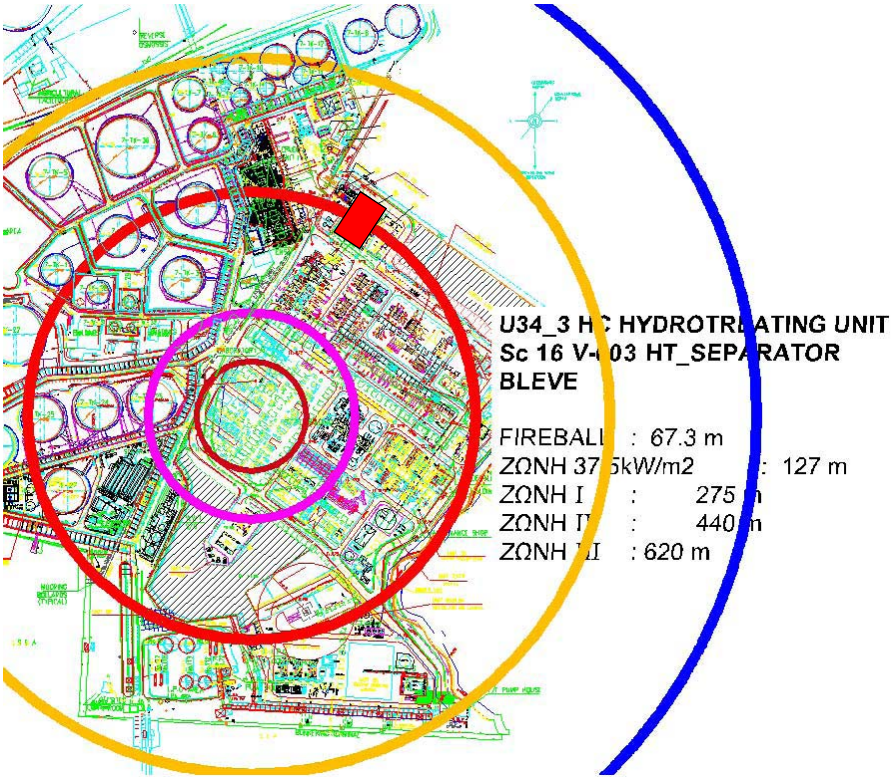
- BLEVE
- Jet fire
- Έκρηξη νέφους αερίων (UVCE) και
- Φωτιά λίμνης (pool fire).

Τα παραπάνω φαινόμενα μπορούν να προκληθούν από τα ακόλουθα σενάρια:

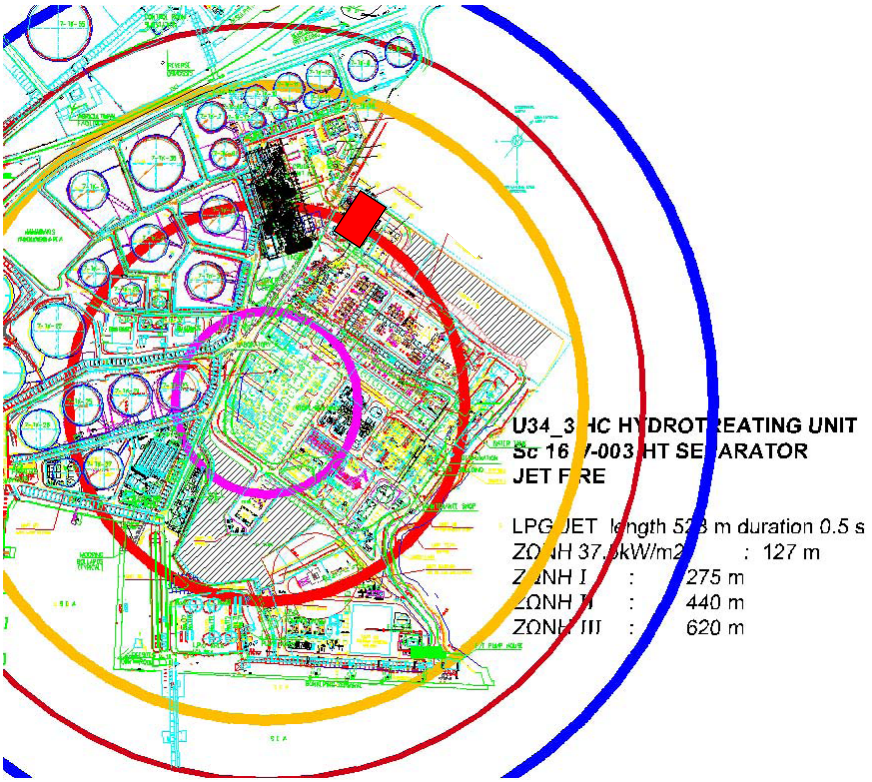
- BLEVE και Jet fire από καταστροφική θραύση κυκλώματος HT Separator 34-V-003, όπου απελευθερώνονται συνολικά στο κύκλωμα 11.309kg αερίων καυσίμων, κυρίως LPG, στα οποία συμπεριλαμβάνεται και μία μικρή ποσότητα υδρόθειου (H_2S). Οι ζώνες επιπτώσεων των δύο αυτών φαινομένων παρουσιάζονται στον πίνακα 5.4.6.1 και αποτυπώνονται γραφικά στις κατόψεις των σχημάτων 5.4.6.1 και 5.4.6.2. Όπως προκύπτει από τα σχήματα 5.4.6.1 και 5.4.6.2 **το control room και στις δύο περιπτώσεις επηρεάζεται από τη Ζώνη I (15 kW/m^2)**. Ειδικά στην περίπτωση του JET FIRE (βλ. σχήμα 5.4.6.2) το jet που δημιουργείται έχει μήκος 523m, γεγονός που σημαίνει ότι αν αυτό στοχεύει το control room, τότε το τελευταίο βρίσκεται εντός του jet.

Πίνακας 5.4.6.1: Ζώνες επιπτώσεων (σε m) από BLEVE και Jet fire στη μονάδα U34_3:Hydrotreating Unit, Reactor Section

BLEVE R Fireball [m] Duration [s] or JET FIRE Jet length [m]	37,5 kW/m2	15 kW/m2	6 kW/m2	3 kW/m2	1 kW/m2
67.3 / 9.6 395 KW/m2 LPG JET 523 m 1/2 s	127	275	440	620	1000



Σχήμα 5.4.6.1: Ζώνες επιπτώσεων (σε m) από BLEVE στη μονάδα U34_3:Hydrotreating Unit, Reactor Section

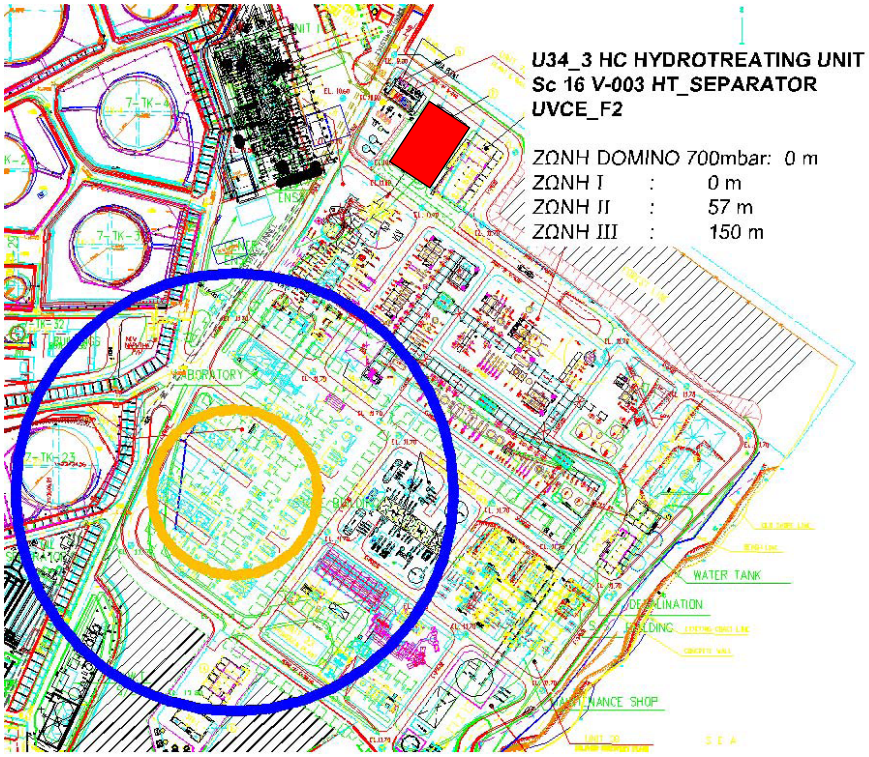


Σχήμα 5.4.6.2: Ζώνες επιπτώσεων (σε m) από JET FIRE στη μονάδα U34_3:Hydrotreating Unit, Reactor Section

- Έκρηξη νέφους αερίων από καταστροφική θραύση κυκλώματος HT Separator 34-V-003, όπου απελευθερώνονται συνολικά 11.309kg αερίων καυσίμων, κυρίως LPG, μέρος των οποίων σχηματίζει εκρηκτικό μείγμα στην ατμόσφαιρα, ανάλογα πάντα με τις μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν. Οι ζώνες επιπτώσεων από την έκρηξη του νέφους αερίων για συνθήκες ατμόσφαιρας D5 και F2 κατά Pasquill παρουσιάζονται στον πίνακα 5.4.6.2 και αποτυπώνονται γραφικά στην κάτοψη των μονάδων στο σχήμα 5.4.6.3 (μόνο για την περίπτωση με συνθήκες ατμόσφαιρας F2). Από το σχήμα 5.4.6.3 γίνεται φανερό ότι **καμία Ζώνη επιπτώσεων δεν επηρεάζει το control room**. Επίσης για τους ίδιους λόγους που αναφέρθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους, και στη περίπτωση αυτή δεν δημιουργούνται υπερπιέσεις αντίστοιχες των Ζωνών I και DOMINO.

Πίνακας 5.4.6.2: Ζώνες επιπτώσεων (σε m) από UVCE στη μονάδα U34_3:Hydrotreating Unit, Reactor Section

UVCE	700 mbar	350 mbar	140 mbar	50 mbar	10 mbar
Ignited at 30s	0	0	29	75	400
3% confinment	0	0	57	150	800

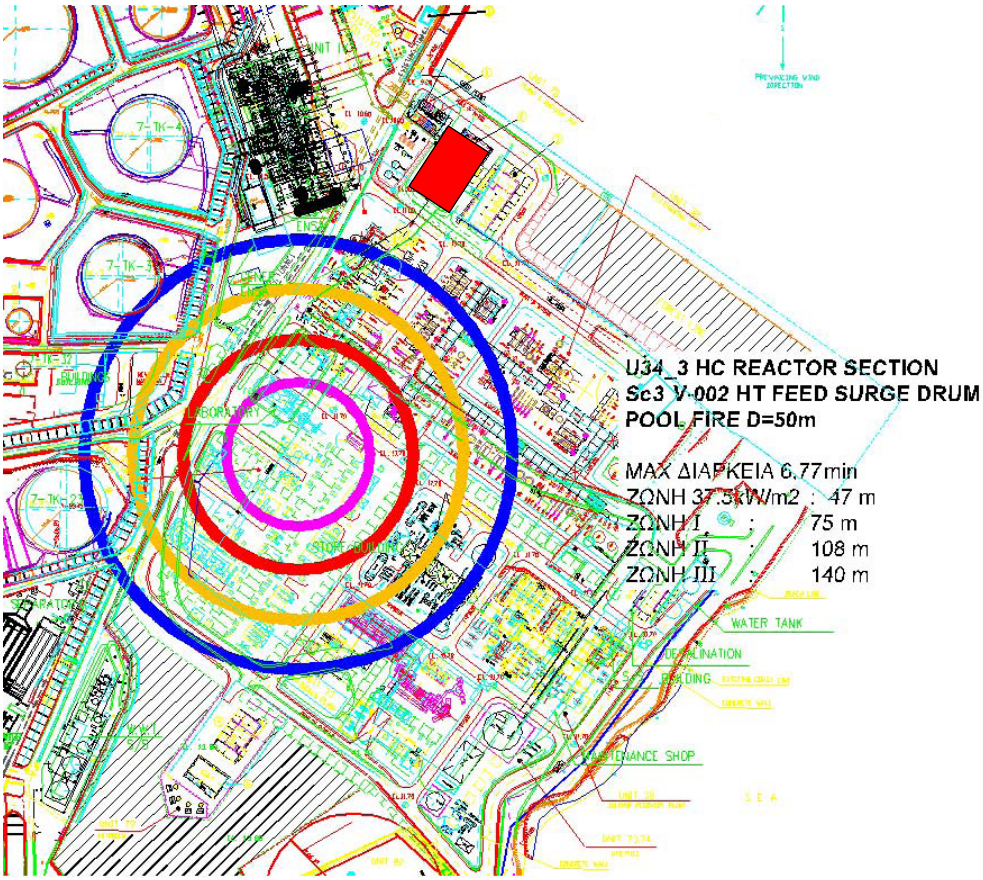


Σχήμα 5.4.6.3: Ζώνες επιπτώσεων (σε m) από UVCE (για F2) στη μονάδα U34_3:Hydrotreating Unit, Reactor Section

- Φωτιά λίμνης από καταστροφική θραύση κυκλώματος HT Separator 34-V-003, όπου απελευθερώνονται συνολικά 10.742kg heavy diesel και Naphtha. Οι ζώνες επιπτώσεων από τη φωτιά λίμνης, περιορισμένη σε ανάχωμα διαμέτρου 25m είτε 50m, παρουσιάζονται στον πίνακα 5.4.6.3. Στο σχήμα 5.4.6.4 αποτυπώνονται γραφικά οι ζώνες επιπτώσεων για τη φωτιά λίμνης, περιορισμένη σε ανάχωμα διαμέτρου 50m και όπως γίνεται φανερό **καμία Ζώνη επιπτώσεων δεν επηρεάζει το control room** της εγκατάστασης.

Πίνακας 5.4.6.3: Ζώνες επιπτώσεων (σε m) από φωτιά λίμνης στη μονάδα U34_3:Hydrotreating Unit, Reactor Section

ΦΩΤΙΑ ΛΙΜΝΗΣ Διάμετρος m	Max Διάρκεια Καύσης min	37,5 kW/m2	15 kW/m2	6 kW/m2	3 kW/m2	1 kW/m2
25	6.77	24	40	57	75	112
50		47	75	108	140	210



Σχήμα 5.4.6.4: Ζώνες επιπτώσεων (σε m) από POOL FIRE (για D=50m) στη μονάδα U34_3:Hydrotreating Unit, Reactor Section

5.4.7 Μονάδα U36: Μονάδα Αναγέννησης Αμίνης - Amine Regeneration Unit

Από τον πίνακα 5.4.1 προκύπτει ότι στη μονάδα U36 είναι πιθανό να συμβούν δύο είδη φαινομένων τα οποία είναι τα εξής:

- BLEVE και
- Έκρηξη νέφους αερίων (UVCE).

Τα παραπάνω φαινόμενα μπορούν να προκληθούν από τα ακόλουθα σενάρια:

- BLEVE από καταστροφική θραύση κυκλώματος C-001A Amine Regenerator No1, όπου απελευθερώνονται συνολικά στο κύκλωμα 2.359kg αερίου υδροθείου (H_2S). Οι ζώνες επιπτώσεων για το φαινόμενο αυτό παρουσιάζονται στον πίνακα 5.4.7.1. **Καμία από τις Ζώνες επιπτώσεων δεν επηρεάζει το control room**.

Πίνακας 5.4.7.1: Ζώνες επιπτώσεων (σε m) από BLEVE στη μονάδα U36: ARU

BLEVE R Fireball [m] Duration [s] or JET FIRE Jet length [m]	37,5 kW/m2	15 kW/m2	6 kW/m2	3 kW/m2	1 kW/m2
H2S 40.4 / 6.4 70 KW/m2	40	40	72	135	245

- Έκρηξη νέφους αερίων από καταστροφική θραύση κυκλώματος C-001A Amine Regenerator No1, όπου απελευθερώνονται συνολικά 2.359kg αερίου υδροθείου (H_2S), μέρος των οποίων σχηματίζει εκρηκτικό μείγμα στην ατμόσφαιρα, ανάλογα πάντα με τις μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν. Οι ζώνες επιπτώσεων από την έκρηξη του νέφους αερίων για συνθήκες ατμόσφαιρας D5 και F2 κατά Pasquill παρουσιάζονται στον πίνακα 5.4.7.2. **Καμία από τις Ζώνες επιπτώσεων δεν επηρεάζει το control room**.

Πίνακας 5.4.7.2: Ζώνες επιπτώσεων (σε m) από UVCE στη μονάδα U36: ARU

UVCE	700 mbar	350 mbar	140 mbar	50 mbar	10 mbar
Ignited at 30s 3% confinment	0 0	0 0	29 57	75 150	400 800

5.4.8 Μονάδα U37: Μονάδα Απογύμνωσης Όξινων Νερών - Sour Water Stripper Unit

Από τον πίνακα 5.4.1 προκύπτει ότι στη μονάδα U37 είναι πιθανό να συμβούν δύο είδη φαινομένων τα οποία είναι τα εξής:

- BLEVE και
- Έκρηξη νέφους αερίων (UVCE).

Τα παραπάνω φαινόμενα μπορούν να προκληθούν από τα ακόλουθα σενάρια:

- BLEVE από καταστροφική θραύση κυκλώματος Sour Water Stripper, όπου απελευθερώνονται συνολικά στο κύκλωμα 1.676kg αερίου υδροθείου (H_2S). Οι ζώνες επιπτώσεων για το φαινόμενο αυτό παρουσιάζονται στον πίνακα 5.4.8.1. **Καμία από τις Ζώνες επιπτώσεων δεν επηρεάζει το control room**.

Πίνακας 5.4.8.1: Ζώνες επιπτώσεων (σε m) από BLEVE στη μονάδα U37: SWS Unit

BLEVE R Fireball [m] Duration [s] or JET FIRE Jet length [m]	37,5 kW/m2	15 kW/m2	6 kW/m2	3 kW/m2	1 kW/m2
H2S 36 / 5.8 67 KW/m2	36	36	63	120	217

- Έκρηξη νέφους αερίων από καταστροφική θραύση κυκλώματος Sour Water Stripper, όπου απελευθερώνονται συνολικά 1.676kg αερίου υδροθείου (H_2S), μέρος των οποίων σχηματίζει εκρηκτικό μείγμα στην ατμόσφαιρα, ανάλογα πάντα με τις μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν. Οι ζώνες επιπτώσεων από την έκρηξη του νέφους αερίων για συνθήκες ατμόσφαιρας D5 και F2 κατά Pasquill παρουσιάζονται στον πίνακα 5.4.8.2. **Καμία από τις Ζώνες επιπτώσεων δεν επηρεάζει το control room**.

Πίνακας 5.4.8.2: Ζώνες επιπτώσεων (σε m) από UVCE στη μονάδα U37: SWS Unit

UVCE	700 mbar	350 mbar	140 mbar	50 mbar	10 mbar
Ignited at 30s 3% confinment	0 0	0 0	29 57	75 150	400 800

5.4.9 Μονάδα U38: Μονάδα Ανάκτησης Θείου και Κατεργασίας Αερίων - Sulfur Recovery and Tale Gas Treatment Unit

Από τον πίνακα 5.4.1 προκύπτει ότι στη μονάδα U38 είναι πιθανό να συμβούν δύο είδη φαινομένων τα οποία είναι τα εξής:

- BLEVE και
- Έκρηξη νέφους αερίων (UVCE).

Τα παραπάνω φαινόμενα μπορούν να προκληθούν από τα ακόλουθα σενάρια:

- BLEVE από καταστροφική θραύση κυκλώματος Regenerator, όπου απελευθερώνονται συνολικά στο κύκλωμα 357,4kg αερίου υδροθείου (H_2S). Οι ζώνες επιπτώσεων για το φαινόμενο αυτό παρουσιάζονται στον πίνακα 5.4.9.1. **Καμία από τις Ζώνες επιπτώσεων δεν επηρεάζει το control room**.

Πίνακας 5.4.9.1: Ζώνες επιπτώσεων (σε m) από BLEVE στη μονάδα U38: Sulfur Recovery and TGT Unit

BLEVE R Fireball [m] Duration [s] or JET FIRE Jet length [m]	37,5 kW/m2	15 kW/m2	6 kW/m2	3 kW/m2	1 kW/m2
21.1 / 3.8 202 KW/m2	21	55	100	140	240

- Έκρηξη νέφους αερίων από καταστροφική θραύση κυκλώματος Regenerator, όπου απελευθερώνονται συνολικά στο κύκλωμα 357,4kg αερίου υδροθείου (H_2S), μέρος των οποίων σχηματίζει εκρηκτικό μείγμα στην ατμόσφαιρα, ανάλογα πάντα με τις μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν. Οι ζώνες επιπτώσεων από την έκρηξη του νέφους αερίων για συνθήκες ατμόσφαιρας D5 και F2 κατά Pasquill παρουσιάζονται στον πίνακα 5.4.8.2. **Καμία από τις Ζώνες επιπτώσεων δεν επηρεάζει το control room**.

Πίνακας 5.4.9.2: Ζώνες επιπτώσεων (σε m) από UVCE στη μονάδα U38: Sulfur Recovery and TGT Unit

UVCE	700 mbar	350 mbar	140 mbar	50 mbar	10 mbar
Ignited at 30s 3% confinment	0 0	0 0	29 57	75 150	400 800

5.5 Σενάρια ατυχημάτων τα οποία επηρεάζουν το Control Room

Με βάση τις ζώνες επιπτώσεων από κάθε ατυχηματικό φαινόμενο που παρουσιάστηκαν παραπάνω, στην παρούσα παράγραφο πραγματοποιείται μία συγκέντρωση όλων των σεναρίων ατυχημάτων (από αυτά που επελέγησαν ως δυσμενέστερα και παρουσιάζονται στον πίνακα 5.4.1 στην αρχή της παραγράφου 5.4), τα οποία μπορούν να έχουν επιπτώσεις στο control room των νέων μονάδων που μελετώνται στη παρούσα εργασία, όπως αυτά ήδη παρουσιάστηκαν και επισημάνθηκαν στην παράγραφο 5.4. Δηλαδή επιλέγονται εκείνα τα σενάρια ατυχημάτων των όποιων το εύρος των επιπτώσεών τους φτάνει ή ξεπερνάει την απόσταση στην οποία βρίσκεται το control room της εγκατάστασης, ενώ για το καθένα από αυτά αναφέρεται και η Ζώνη επιπτώσεων (Ζώνη I, II, ή III) η οποία έχει επίδραση στο control room της εγκατάστασης.

Ανά μονάδα τα ατυχηματικά σενάρια και οι αντίστοιχες Ζώνες Επιπτώσεών τους, τα οποία επηρεάζουν το control room είναι τα εξής:

- **Μονάδα U31: Μονάδα Απόσταξης Κενού - Vacuum Distillation Unit**
  - ✓ Εσωτερική Έκρηξη νέφους αερίων (Internal VCE): **Ζώνη II** (140 mbar),
  - ✓ Φωτιά Λίμνης 100 μέτρων (POOL FIRE): **Ζώνη DOMINO** (37,5 kW/m^2), επομένως και η **Ζώνη I** (15 kW/m^2).

- **Μονάδα U32: Μονάδα Πυρόλυσης Ρευστοστερεάς Κλίνης Κωκ - Flexicoking Unit**
  - ✓ BLEVE: **Ζώνη** 37,5 kW/m^2, επομένως και η **Ζώνη I** (15 kW/m^2),
  - ✓ Έκρηξη νέφους αερίων (UVCE): **Ζώνη III** (50 mbar),
  - ✓ Φωτιά Λίμνης 100 μέτρων (POOL FIRE): **Ζώνη I** (15 kW/m^2).

- **Μονάδα U33: Μονάδα Παραγωγής Υδρογόνου - Hydrogen Production Unit**
  - ✓ BLEVE: **Ζώνη III** (3 kW/m^2). Επίσης η **Ζώνη II** (6 kW/m^2) βρίσκεται πολύ κοντά στο control room, οπότε θα διερευνηθεί αν μπορεί και αυτή να επηρεάσει το control room, κάτω από κατάλληλες συνθήκες (βλ. Κεφάλαιο 6).

- **Μονάδα U34_1: Μονάδα Καταλυτικής Πυρόλυσης, Τμήμα Διαχωριστή - Unicracking Unit, Fractionation Section**
  - ✓ BLEVE: **Ζώνη I** (15 kW/m^2),
  - ✓ Φωτιά Λίμνης 100 μέτρων (POOL FIRE) : **Ζώνη III** (3 kW/m^2).

- **Μονάδα U34_2: Μονάδα Καταλυτικής Πυρόλυσης, Τμήμα Αντιδραστήρων - Unicracking Unit, Reactor Section**
  - ✓ BLEVE: **Ζώνη** 37,5 kW/m^2, επομένως και η **<u>Ζώνη Ι</u>** (15 kW/m^2).

- **Μονάδα U34_3: Μονάδα Κατεργασίας με Υδρογόνο, Τμήμα Αντιδραστήρων - Hydrotreating Unit, Reactor Section**
  - ✓ BLEVE: **<u>Ζώνη Ι</u>** (15 kW/m^2).

- **Μονάδα U36: Μονάδα Αναγέννησης Αμίνης - Amine Regeneration Unit**
  - ✓ Κανένα ατυχηματικό σενάριο δεν επηρεάζει το control room.

- **Μονάδα U37: Μονάδα Απογύμνωσης Όξινων Νερών - Sour Water Stripper Unit**
  - ✓ Κανένα ατυχηματικό σενάριο δεν επηρεάζει το control room.

- **Μονάδα U38: Μονάδα Ανάκτησης Θείου και Κατεργασίας Αερίων - Sulfur Recovery and Tale Gas Treatment Unit**
  - ✓ Κανένα ατυχηματικό σενάριο δεν επηρεάζει το control room.

6° ΚΕΦΑΛΑΙΟ

Προβλέψεις και Διορθωτικές Ενέργειες σύμφωνα με τα Αποτελέσματα της Ανάλυσης

6.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας των παραμέτρων επικινδυνότητας για τα σενάρια ατυχημάτων που εξετάστηκαν στη μελέτη και των όποιων το εύρος των επιπτώσεών τους καλύπτει το control room της εγκατάστασης.

Στόχος της ανάλυσης αυτής είναι να διερευνηθούν οι προβλέψεις και οι διορθωτικές ενέργειες που καθιστούν δυνατό να μεταβληθεί το εύρος των Ζωνών Επιπτώσεων του κάθε ατυχηματικού φαινομένου (BLEVE, Pool Fire, UVCE), με σκοπό την σημαντική μείωση των επιπτώσεων στο control room. Αυτό επιτυγχάνεται με την εξέταση του κατά πόσο είναι δυνατόν να μεταβληθούν οι διάφορες παράμετροι από τις οποίες εξαρτάται το φαινόμενο. Από την ανάλυση θα εξαιρεθούν οι μονάδες U36, U37 και U38, διότι όπως φάνηκε παραπάνω τα ατυχηματικά σενάρια που είναι πιθανό να συμβούν σε αυτές, δεν έχουν καμία επίπτωση στο control room της εγκατάστασης.

6.1.1 Σημαντικές και μη σημαντικές παράμετροι των φαινομένων

Όπως παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 4, από την ανάλυση ευαισθησίας για τις παραμέτρους των ατυχηματικών φαινομένων, κάποιες από αυτές είναι σημαντικές και επηρεάζουν ουσιαστικά το εύρος των επιπτώσεων των φαινομένων, ενώ άλλες όχι, έχοντας πολύ μικρή εώς μηδενική επίδραση στο εύρος επιπτώσεων των φαινομένων.

Στην ανάλυση που πραγματοποιείται στο κεφάλαιο αυτό για την εξαγωγή και παρουσίαση των αποτελεσμάτων που αφορούν στην εφαρμογή της ανάλυσης ευαισθησίας στο παράδειγμα εφαρμογής για τις νέες μονάδες του διυλιστηρίου, λαμβάνονται υπόψιν μόνο οι «**Σημαντικές**» και «**Πολύ Σημαντικές**» παράμετροι για κάθε φαινόμενο. Έτσι, με βάση τους πίνακες 4.3.4.4, 4.4.3.2 και 4.5.6.3, **οι παράμετροι οι οποίες είναι σημαντικές και θα εξεταστούν για κάθε φαινόμενο στην ανάλυση που θα ακολουθήσει** είναι:

<u>Σημαντικές παράμετροι</u>

- **Bleve**:
    1. Μάζα M της ουσίας (kg).

- **Έκρηξη αερίου νέφους (VCE)**:
  1. Κλάση της έκρηξης CN (-) και
  2. Μάζα M της ουσίας (kg).
- **Φωτιά λίμνης (Pool Fire)**:
  1. Ισοδύναμη διάμετρος λίμνης D (m).

6.1.2 Κατάταξη των δυσμενέστερων σεναρίων ατυχημάτων που επηρεάζουν το control room της εγκατάστασης βάσει σημαντικότητας επιπτώσεων στους εργαζομένους

Από την ανάλυση που έγινε στο προηγούμενο κεφάλαιο για τις Ζώνες Επιπτώσεων από κάθε ατυχηματικό φαινόμενο στις νέες μονάδες του διυλιστηρίου και τα αποτελέσματα για τα φαινόμενα που επηρεάζουν το control room και παρουσιάζονται στην παράγραφο 5.5, προκύπτει η κατάταξη των φαινομένων αυτών σε τρεις κατηγορίες (Α, Β και Γ) ανάλογα με τη σημαντικότητα των επιπτώσεων που αυτά μπορούν να επιφέρουν στους εργαζόμενους στο control room της εγκατάστασης, που παρουσιάζεται παρακάτω.

Κατηγορία Α.

Οι δυσμενέστερες περιπτώσεις αναφορικά με τις πιθανές επιπτώσεις στους εργαζόμενους στο control room για τα δυσμενέστερα φαινόμενα είναι οι εξής:

- Από τη **Μονάδα U32: Μονάδα Πυρόλυσης Ρευστοστερεάς Κλίνης Κωκ - Flexicoking Unit**
  - ✓ BLEVE: **Ζώνη 37,5 kW/m^2**, επομένως και η **<u>Ζώνη I</u>** (15 kW/m^2),
- Από τη **Μονάδα U34_1: Μονάδα Καταλυτικής Πυρόλυσης, Τμήμα Διαχωριστή - Unicracking Unit, Fractionation Section**
  - ✓ BLEVE: **<u>Ζώνη I</u>** (15 kW/m^2),
- Από τη **Μονάδα U34_2: Μονάδα Καταλυτικής Πυρόλυσης, Τμήμα Αντιδραστήρων - Unicracking Unit, Reactor Section**
  - ✓ BLEVE: **Ζώνη 37,5 kW/m^2**, επομένως και η **<u>Ζώνη I</u>** (15 kW/m^2), και
- Από τη **Μονάδα U34_3: Μονάδα Κατεργασίας με Υδρογόνο, Τμήμα Αντιδραστήρων - Hydrotreating Unit, Reactor Section**
  - ✓ BLEVE: **<u>Ζώνη I</u>** (15 kW/m^2).

Από τα τέσσερα παραπάνω ατυχηματικά σενάρια αυτά που παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για περαιτέρω έρευνα είναι τα BLEVE στις μονάδες U34_1 και U34_3, διότι όπως φάνηκε από τα σχήματα 5.4.4.1 και 5.4.6.1 στο Κεφάλαιο 5, η Ζώνη I (15kW/m^2)

φτάνει οριακά το control room της εγκατάστασης. Επομένως έχει νόημα να διερευνηθεί αν κάποια μεταβολή στις σημαντικές παραμέτρους που επηρεάζουν το φαινόμενο BLEVE, μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της εκπεμπόμενης θερμικής ακτινοβολίας ώστε η Ζώνη I να μην επηρεάζει πλέον το control room.

Αντίστοιχη διερεύνηση μπορεί να γίνει και για τα φαινόμενα BLEVE στις μονάδες U32 και U34_2, στις οποίες όπως φάνηκε από τα σχήματα 5.4.2.1 και 5.4.5.1, το control room περιέχεται εντός της Ζώνης 37,5kW/m^2. Το ενδιαφέρον σε αυτή την περίπτωση είναι να διερευνηθεί αν γίνεται, με κατάλληλη μεταβολή των σημαντικών παραμέτρων, να αποτραπεί η Ζώνη 37,5kW/m^2 και να μειωθεί σε Ζώνη I. Σε οποιαδήποτε περίπτωση **το σενάριο BLEVE στη μονάδα U34_2 είναι το χειρότερο από πλευράς επιπτώσεων στο control room και στους εργαζόμενους εντός αυτού,** από όλα τα δυσμενέστερα σενάρια στην εγκατάσταση όπως παρουσιάζονται στην παράγραφο 5.5.

Ένας από τους λόγους για το παραπάνω συμπέρασμα είναι το γεγονός ότι το φαινόμενο BLEVE έχει πολύ μικρή διάρκεια (μερικά δευτερόλεπτα) και τα βελτιωτικά μέτρα που είναι δυνατόν να ληφθούν σχετίζονται με την εγγενή ασφάλεια και τις κατασκευαστικές παραμέτρους του χώρου που βρίσκονται οι εργαζόμενοι. Παρόμοια κατάσταση ισχύει και για την έκρηξη αερίου νέφους, όμως στα σενάρια που έχουν μελετηθεί για τις νέες μονάδες δεν υπάρχει σενάριο έκρηξης του οποίου η Ζώνη I να επηρεάζει το control room της εγκατάστασης.

Ακόμα όπως ειπώθηκε στην παράγραφο 6.1.1 και στο Κεφάλαιο 4, στο φαινόμενο BLEVE ο παράγοντας που επηρεάζει σημαντικά το μέγεθος των επιπτώσεων είναι η μάζα M που συμμετέχει στο φαινόμενο. Συνεπώς τα μέτρα ασφαλείας πρέπει να ενταθούν, στη μέγιστη ποσότητα του καυσίμου που συμμετέχει στο BLEVE και στη σωστή λειτουργία των ασφαλιστικών στις δεξαμενές (μέτρο για αποφυγή αύξησης της πίεσης P_{sv}).

Τέλος, κατασκευαστικά οι χώροι του προσωπικού πρέπει να αντέξουν το θερμικό shock των φαινομένων και το προσωπικό να τηρεί τις διαδικασίες ασφαλείας που ορίζονται για την εγκατάσταση.

Κατηγορία Β.

Τα αμέσως πιο σημαντικά φαινόμενα από άποψη σοβαρών επιπτώσεων από θερμική ακτινοβολία είναι **οι μεγάλες Φωτιές Λίμνης (ισοδύναμης διαμέτρου 100 μέτρων)** στις μονάδες:

- **Μονάδα U31: Μονάδα Απόσταξης Κενού - Vacuum Distillation Unit**
  - ✓ Φωτιά Λίμνης 100 μέτρων (POOL FIRE): **Ζώνη 37,5 kW/m^2** (**DOMINO**), επομένως και η **<u>Ζώνη I</u>** (15 kW/m^2), και

- **Μονάδα U32: Μονάδα Πυρόλυσης Ρευστοστερεάς Κλίνης Κωκ - Flexicoking Unit**
  - ✓ Φωτιά Λίμνης 100 μέτρων (POOL FIRE): **Ζώνη I** (15 kW/m^2),

οι οποίες είναι σε άμεση γειτνίαση με το control room. Όπως και στην περίπτωση των BLEVE παραπάνω, έτσι και στην περίπτωση των δύο αυτών φαινομένων Pool Fire είναι χρήσιμο να διερευνηθεί η συμπεριφορά των Ζωνών Επιπτώσεων "DOMINO" και "I" όταν μεταβληθούν οι σημαντικοί παράγοντες του φαινομένου Pool Fire που παρουσιάζονται στην παράγραφο 6.1.1. Όπως φαίνεται στο σχήμα 5.4.1.2 στο Κεφάλαιο 5, για τη φωτιά λίμνης στη μονάδα U31, το control room βρίσκεται ολόκληρο εντός της Ζώνης I ενώ μέρος αυτού επηρεάζεται από τη Ζώνη 37,5 kW/m^2 (DOMINO). Επίσης από το σχήμα 5.4.2.3 για τη φωτιά λίμνης στη μονάδα U32, φαίνεται ότι η Ζώνη I επηρεάζει ένα μεγάλο μέρος του control room αλλά όχι ολόκληρο. Επομένως είναι χρήσιμο να διερευνηθεί αν κατάλληλη μεταβολή των σημαντικών παραμέτρων μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της εκπεμπόμενης θερμικής ακτινοβολίας, τέτοια που να συνεπάγεται απελευθέρωση του control room από τις Ζώνες 37,5 kW/m^2 και I για τις δύο παραπάνω περιπτώσεις.

Οι μικρότερες λίμνες καυσίμου στις ίδιες μονάδες όπως φάνηκε από την ανάλυση που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 5 δεν επηρεάζουν το control room της εγκατάστασης.

Για το φαινόμενο Pool Fire, η Ζώνη 37,5 kW/m^2 μπορεί να αναφέρεται και ως Ζώνη DOMINO. Σε ένα BLEVE η Ζώνη 37,5 kW/m^2 μπορεί να διαρκέσει μόλις λίγα δευτερόλεπτα, γεγονός που δεν στοιχειοθετεί φαινόμενο DOMINO. Για αυτό το λόγο και δεν αναφέρονται οι Ζώνες 37,5 kW/m^2 στο φαινόμενο BLEVE παραπάνω ως DOMINO.

Για τα φαινόμενα Pool Fire υπάρχει χρόνος για επέμβαση και περιορισμό των επιπτώσεων τους. Το φαινόμενο της φωτιάς λίμνης αντιμετωπίζεται με διάφορες σωστές πρακτικές. Τα μέτρα που προτείνεται να ληφθούν είναι κατ΄αρχήν ο περιορισμός της λίμνης του διαρρεύσαντος καυσίμου ώστε οι λίμνες να μην φτάνουν την έκταση της ισοδύναμης λίμνης των 100 μέτρων. Επίσης περιορισμός της εκλυόμενης ποσότητας εάν είναι δυνατόν στο χρόνο εξέλιξης του φαινομένου. Ακόμα μπορούν να διαμορφωθούν κατάλληλα οι κλίσεις στο έδαφος της εγκατάστασης ώστε το καύσιμο που διαρρέει να απομακρύνεται από τις επικίνδυνες για πρόκληση ατυχήματος περιοχές της εγκατάστασης και να συγκεντρώνεται σε μία ασφαλή περιοχή. Τέλος κρίνεται σκόπιμη η άμεση επέμβαση από ειδικά εκπαιδευμένη ομάδα για περιορισμό των επιπτώσεων στο control room.

Κατηγορία Γ.

Σοβαρός τραυματισμός μπορεί να προκληθεί στις περιπτώσεις που το προσωπικό εκτεθεί σε Ζώνες Επιπτώσεων II και III. Από την παραπάνω ανάλυση προκύπτει ότι τέτοιες περιπτώσεις είναι:

- Από τη **Μονάδα U31: Μονάδα Απόσταξης Κενού - Vacuum Distillation Unit**
  - ✓ Εσωτερική Έκρηξη νέφους αερίων (Internal VCE): **Ζώνη ΙΙ** (140 mbar),
- Από τη **Μονάδα U32: Μονάδα Πυρόλυσης Ρευστοστερεάς Κλίνης Κωκ - Flexicoking Unit**
  - ✓ Έκρηξη νέφους αερίων (UVCE): **Ζώνη ΙΙΙ** (50 mbar),
- Από τη **Μονάδα U33: Μονάδα Παραγωγής Υδρογόνου - Hydrogen Production Unit**
  - ✓ BLEVE: **Ζώνη ΙΙΙ** (3 kW/m^2). Επίσης, η **Ζώνη ΙΙ** (6 kW/m^2) βρίσκεται πολύ κοντά στο control room, οπότε θα διερευνηθεί αν μπορεί και αυτή να επηρεάσει το control room, κάτω από κατάλληλες συνθήκες,
- Από τη **Μονάδα U34_1: Μονάδα Καταλυτικής Πυρόλυσης, Τμήμα Διαχωριστή - Unicracking Unit, Fractionation Section**
  - ✓ Φωτιά Λίμνης 100 μέτρων (POOL FIRE) : **Ζώνη ΙΙΙ** (3 kW/m^2).

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η ανάλυση για τα δυσμενέστερα ατυχηματικά φαινόμενα των νέων μονάδων του διυλιστηρίου και την αντίστοιχη Ζώνη Επιπτώσεων που έχει επίδραση στο control room της εγκατάστασης, με βάση τη σοβαρότητα των επιπτώσεων (Κατηγορίες Α, Β και Γ) των φαινομένων αυτών στους εργαζομένους που βρίσκονται εντός του control room της εγκατάστασης, όπως αυτά παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη παράγραφο.

6.2 Κατηγορία Α: Δυσμενέστερες περιπτώσεις (Θάνατος, Σοβαρός Τραυματισμός)

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η ανάλυση που πραγματοποιήθηκε για τις περιπτώσεις της **κατηγορίας Α** αναφορικά με τις πιθανές σοβαρές επιπτώσεις στους εργαζόμενους στο control room.

6.2.1 BLEVE: Ζώνη 37,5 kW/m^2 και Ζώνη Ι (15 kW/m^2), Μονάδα U32: Μονάδα Πυρόλυσης Ρευστοστερεάς Κλίνης Κωκ - Flexicoking Unit

Το φαινόμενο BLEVE στη μονάδα U32 προκαλείται από καταστροφική θραύση του κυκλώματος C-010 Absorber Deethanizer, όπου απελευθερώνονται συνολικά στο κύκλωμα 20.326 kg αερίων υδρογονανθράκων, κυρίως LPG, στα οποία συμπεριλαμβάνεται και μία μικρή ποσότητα υδρόθειου (H_2S).

Παραπάνω αναφέρθηκε η σημαντική παράμετρος για το φαινόμενο BLEVE και από τα δεδομένα που υπάρχουν διαθέσιμα είναι γνωστό ότι στο συγκεκριμένο ατυχηματικό σενάριο στη μονάδα U32 η τιμή της παραμέτρου αυτής είναι:

1. Μάζα M της ουσίας = 20.326 kg LPG.

Επίσης είναι γνωστό ότι το πλησιέστερο σημείο του control room απέχει απόσταση ίση με 77,40 m από το σημείο που βρίσκεται ο εξοπλισμός στον οποίο αναφέρεται το συγκεκριμένο ατυχηματικό σενάριο. Από τον πίνακα 5.4.2.1 και το σχήμα 5.4.2.1 είναι επίσης γνωστό ότι η Ζώνη 37,5 kW/m^2 και η Ζώνη I εκτείνονται στα 81,4 m και στα 205 m αντίστοιχα. Η Ζώνη 37,5 kW/m^2 αγγίζει οριακά το control room και μπορεί σχετικά εύκολα με μικρές μεταβολές στις τιμές των παραμέτρων να μην επηρεάζει το control room της εγκατάστασης.

<u>Διερεύνηση για τη Ζώνη 37,5 kW/m^2</u>

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα και τα αποτελέσματα για την ανάλυση ευαισθησίας από την εξίσωση 4.6.1.1 (βλ. παράγραφο 4.6.1) που παρατίθεται ξανά παρακάτω:

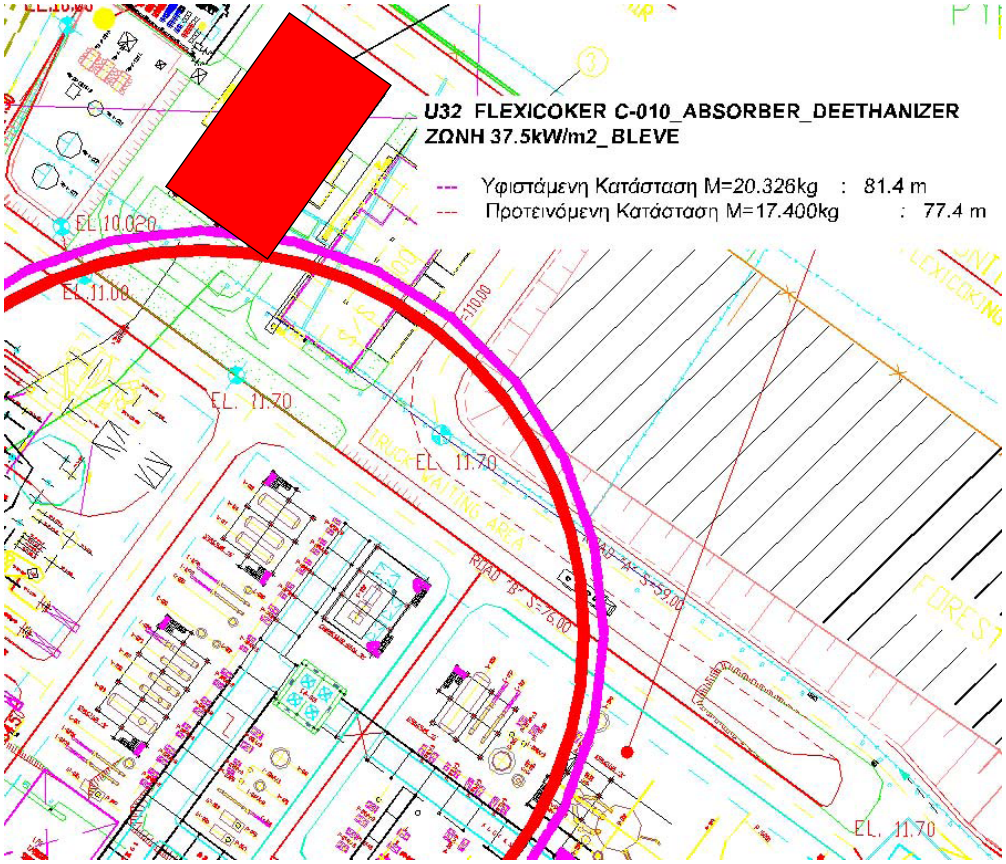
$$x = \left[A \cdot P_{sv}^{\ 0,32} \cdot e^{-0,0028 \cdot T_\alpha} \cdot M^{0,71} - 41,99 \cdot M^{0,65}\right]^{0,5} \text{ (m)} \qquad (4.6.1.1)$$

για τη μεταβολή των Ζωνών Επιπτώσεων (I, II, III και 37,5 kW/m^2), μπορεί να βρεθεί η μέγιστη δυνατή μάζα M_{max} για την οποία η Ζώνη 37,5 kW/m^2 δεν επηρεάζει το control room. Για την κρίσιμη απόσταση x = 77,40 m, η μέγιστη αυτή μάζα είναι:

$$x_{37,5\,\mathrm{kW/m^2}} = \left[A \cdot P_{sv}^{\ 0,32} \cdot e^{-0,0028 \cdot T_\alpha} \cdot M_{\max}^{\ 0,71} - 41,99 \cdot M_{\max}^{\ 0,65}\right]^{0,5} = 77,4 \Rightarrow$$

$$M_{\max} = 17.400 \text{ (kg)}$$

Η μάζα M_{max} προκύπτει να είναι ίση με 17.400 kg αερίων υδρογονανθράκων, δηλαδή μειωμένη κατά 2.926 kg που αντιστοιχεί σε **ποσοστό μείωσης ίσο με 14,4%**. Στο σχήμα 6.2.1.1 παριστάνονται οι ακτίνες στις οποίες εκτείνεται η Ζώνη 37,5 kW/m^2 για τιμές της μάζας M ίσες με 20.326 kg και 17.400 kg.



Σχήμα 6.2.1.1: Διερεύνηση για τη μάζα M της ουσίας αναφορικά με τη Ζώνη 37,5 kW/m^2

<u>Διερεύνηση για τη Ζώνη I</u>

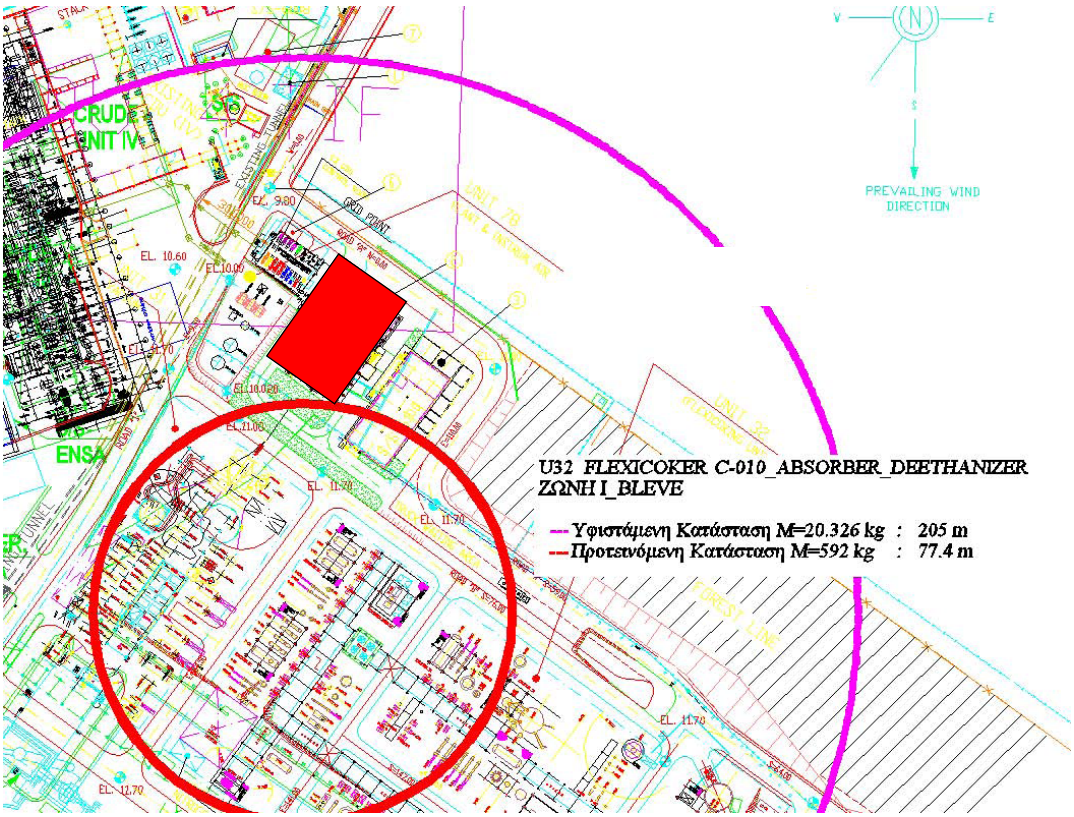
Ακόμα από την εξίσωση 4.6.1.1 μπορεί να βρεθεί η μέγιστη δυνατή μάζα M_{max} για την οποία η Ζώνη I δεν επηρεάζει το control room.

Είναι:

$$x_1 = \left[A \cdot P_{sv}^{\ 0,32} \cdot e^{-0,0028 \cdot T_\alpha} \cdot M_{\max}^{\ 0,71} - 41,99 \cdot M_{\max}^{\ 0,65}\right]^{0,5} = 77,4 \Rightarrow$$

$$M_{\max} = 592 \text{ (kg)}$$

Στο σχήμα 6.2.1.2 παριστάνονται οι ακτίνες στις οποίες εκτείνεται η Ζώνη I για τιμές της μάζας M ίσες με 20.326 kg και 592 kg.



Σχήμα 6.2.1.2: Διερεύνηση για τη μάζα M της ουσίας αναφορικά με τη Ζώνη I

Επομένως παρατηρείται ότι για να μην επηρεάζει η Ζώνη I το control room της εγκατάστασης, χρειάζεται να ελαττωθεί δραματικά η μάζα M της ουσίας στο συγκεκριμένο εξοπλισμό κατά 19.734 kg, δηλαδή **μείωση κατά 97,1%**. Η μείωση αυτή πρέπει να εξετασθεί αν είναι εφικτό να επιτευχθεί με ενεργοποίηση ή εγκατάσταση κατάλληλων συστημάτων ασφάλειας.

6.2.2 BLEVE: Ζώνη I (15 kW/m^2), Μονάδα U34_1: Μονάδα Καταλυτικής Πυρόλυσης, Τμήμα Διαχωριστή - Unicracking Unit, Fractionation Section

Το φαινόμενο BLEVE στη μονάδα U34_1 προκαλείται από την καταστροφική θραύση του C-045 HC Stripper, όπου απελευθερώνονται συνολικά στο κύκλωμα 31.916 kg αερίων καυσίμων, κυρίως LPG, ενώ ένα μικρό μέρος αυτών αποτελείται από υδρόθειο (H_2S).

Από τα δεδομένα που υπάρχουν διαθέσιμα είναι γνωστό ότι στο συγκεκριμένο ατυχηματικό σενάριο στη μονάδα U34_1 η τιμή της σημαντικής παραμέτρου είναι:

1. Μάζα M της ουσίας = 31.916 kg LPG.

Επίσης είναι γνωστό ότι το πλησιέστερο σημείο του control room απέχει απόσταση ίση με 256 m από το σημείο που βρίσκεται ο εξοπλισμός στον οποίο αναφέρεται το συγκεκριμένο ατυχηματικό σενάριο. Από τον πίνακα 5.4.4.1 και το σχήμα 5.4.4.1 είναι

επίσης γνωστό ότι η Ζώνη Ι εκτείνεται σε ακτίνα 280 m. Επομένως παρατηρείται ότι χρειάζεται να μειωθεί κατά 24 m (280-256=24 m) η απόσταση στην οποία εκτείνεται η Ζώνη Ι, ώστε αυτή να μην επηρεάζει πλέον το control room της εγκατάστασης.

<u>Διερεύνηση για τη Ζώνη Ι</u>

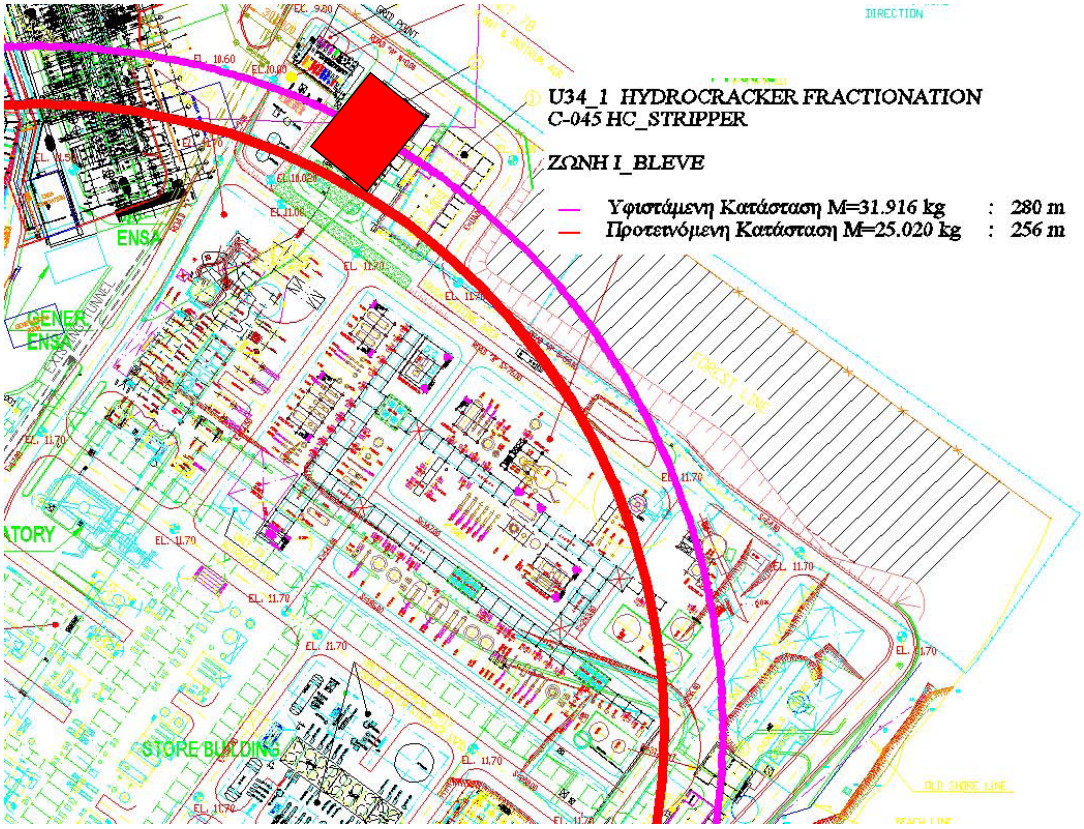
Με βάση τα παραπάνω δεδομένα και από την εξίσωση 4.6.1.1 (βλ. παράγραφο 4.6.1) μπορεί να βρεθεί η μέγιστη δυνατή μάζα M_{max} για την οποία η Ζώνη Ι δεν επηρεάζει το control room.

Είναι:

$$x_1 = \left[A \cdot P_{sv}^{\ 0,32} \cdot e^{-0,0028 \cdot T_\alpha} \cdot M_{\max}^{\ 0,71} - 41,99 \cdot M_{\max}^{\ 0,65}\right]^{0,5} = 256 \Rightarrow$$

$$M_{\max} = 25.020 \text{ (kg)}$$

Στο σχήμα 6.2.2.1 παριστάνονται οι ακτίνες στις οποίες εκτείνεται η Ζώνη Ι για τιμές της μάζας Μ ίσες με 31.916 kg και 25.020 kg.



Σχήμα 6.2.2.1: Διερεύνηση για τη μάζα Μ της ουσίας αναφορικά με τη Ζώνη Ι

Συνεπώς για να μην επηρεάζει η Ζώνη Ι το control room της εγκατάστασης, χρειάζεται να ελαττωθεί η μάζα Μ της ουσίας στο συγκεκριμένο εξοπλισμό κατά 6.896 kg (31.916 - 25.020 = 6.896 kg). δηλαδή **μείωση κατά 21,6%**. Όπως παραπάνω η μείωση αυτή

πρέπει να εξετασθεί αν είναι εφικτό να επιτευχθεί με ενεργοποίηση ή εγκατάσταση κατάλληλων συστημάτων ασφάλειας.

6.2.3 BLEVE: Ζώνη 37,5 kW/m^2 και Ζώνη I (15 kW/m^2), Μονάδα U34_2: Μονάδα Καταλυτικής Πυρόλυσης, Τμήμα Αντιδραστήρων - Unicracking Unit, Reactor Section

Το φαινόμενο BLEVE στη μονάδα U34_2 προκαλείται από την καταστροφική θραύση του κυκλώματος HC Hot Separator 34-V-023, όπου απελευθερώνονται συνολικά στο κύκλωμα 39.518kg αερίων καυσίμων, κυρίως LPG, ένα μικρό μέρος των οποίων αποτελείται από υδρόθειο (H_2S).

Από τα δεδομένα που υπάρχουν διαθέσιμα είναι γνωστό ότι στο συγκεκριμένο ατυχηματικό σενάριο στη μονάδα U34_2 η τιμή της σημαντικής παραμέτρου για το φαινόμενο BLEVE είναι:

1. Μάζα M της ουσίας = 39.518 kg LPG.

Επίσης όπως και στην μονάδα U34_1, το πλησιέστερο σημείο του control room απέχει απόσταση ίση με 256 m από το σημείο που βρίσκεται ο εξοπλισμός στον οποίο αναφέρεται το συγκεκριμένο ατυχηματικό σενάριο. Από τον πίνακα 5.4.5.1 και το σχήμα 5.4.5.1 είναι επίσης γνωστό ότι η Ζώνη 37,5 kW/m^2 και η Ζώνη I εκτείνονται στα 315 m και στα 520 m αντίστοιχα.

<u>Διερεύνηση για τη Ζώνη 37,5 kW/m^2</u>

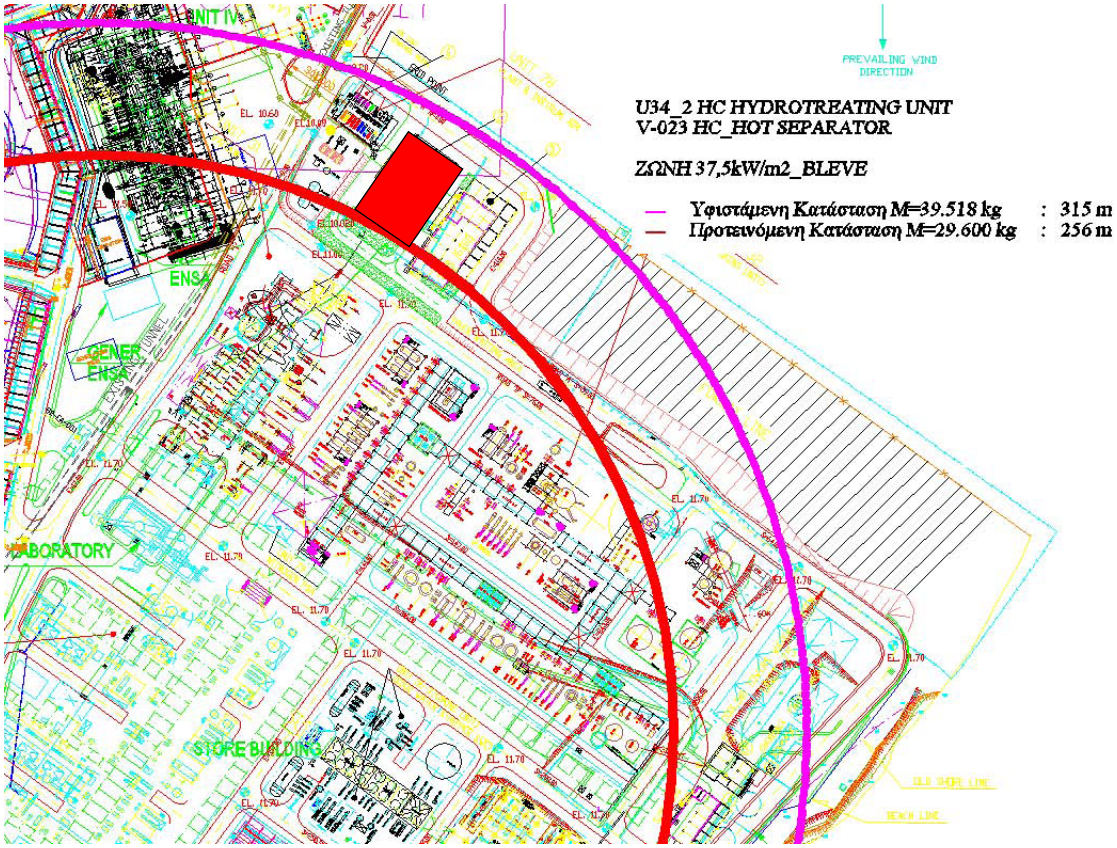
Από την εξίσωση 4.6.1.1 μπορεί να βρεθεί η μέγιστη δυνατή μάζα M_{max} για την οποία η Ζώνη 37,5 kW/m^2 δεν επηρεάζει το control room. Για να συμβεί αυτό χρειάζεται να ελαττωθεί κατά 59 m (315 - 256 = 59 m) η απόσταση στην οποία εκτείνεται η Ζώνη 37,5 kW/m^2 :

Είναι:

$$x_{37,5\,\mathrm{kW/m^2}} = \left[A \cdot P_{sv}^{\;0,32} \cdot e^{-0,0028 \cdot T_\alpha} \cdot M_{\max}^{\;0,71} - 41,99 \cdot M_{\max}^{\;0,65}\right]^{0,5} = 256 \Rightarrow$$

$$M_{\max} = 29.600 \text{ (kg)}.$$

Η μάζα M_{max} προκύπτει να είναι ίση με 29.600 kg αερίων υδρογονανθράκων. Στο σχήμα 6.2.3.1 παριστάνονται οι ακτίνες στις οποίες εκτείνεται η Ζώνη 37,5 kW/m^2 για τιμές της μάζας M ίσες με 39.518 kg και 29.600 kg.



Σχήμα 6.2.3.1: Διερεύνηση για τη μάζα M της ουσίας αναφορικά με τη Ζώνη 37,5 kW/m^2

Επομένως παρατηρείται ότι χρειάζεται να ελαττωθεί η μάζα M της ουσίας κατά 9.918 kg, δηλαδή **μείωση κατά 25,1%**, στο συγκεκριμένο εξοπλισμό προκειμένου να μην επηρεάζεται από την Ζώνη 37,5 kW/m^2 το control room της εγκατάστασης.

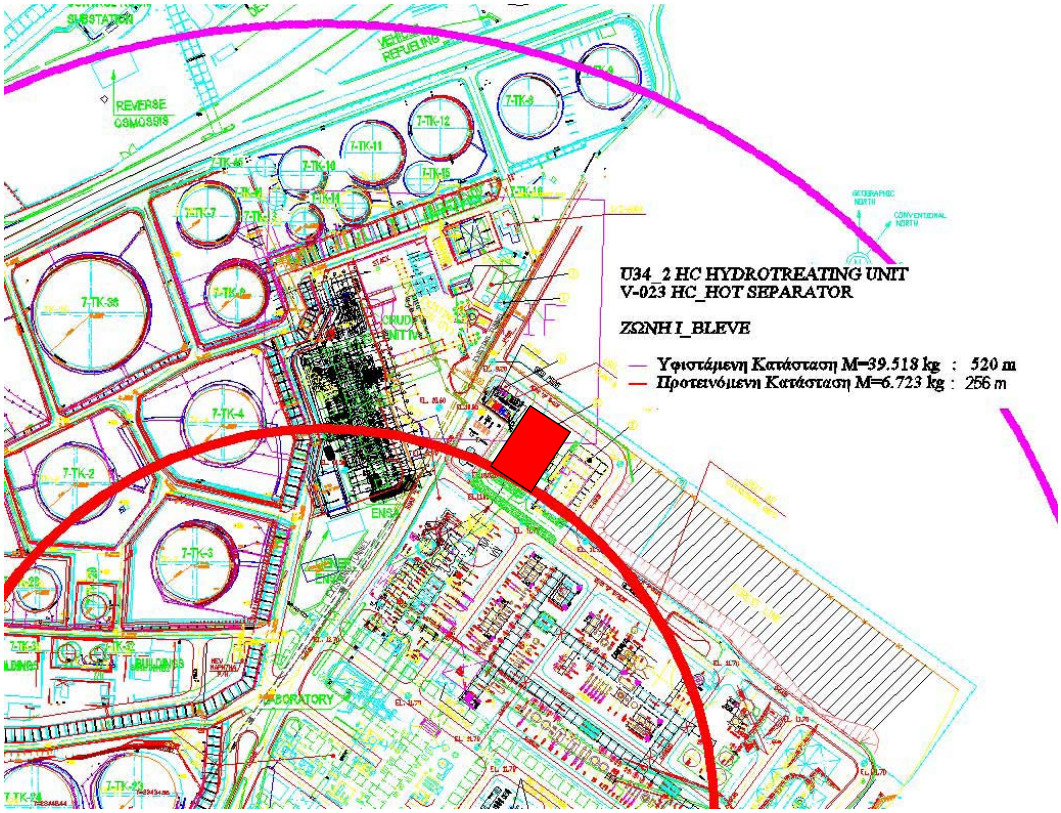
<u>Διερεύνηση για τη Ζώνη I</u>

Από την εξίσωση 4.6.1.1 η μέγιστη δυνατή μάζα M_{max} για την οποία η Ζώνη I δεν επηρεάζει το control room είναι:

$$x_1 = \left[A \cdot P_{sv}^{\;0,32} \cdot e^{-0,0028 \cdot T_\alpha} \cdot M_{\max}^{\;0,71} - 41,99 \cdot M_{\max}^{\;0,65}\right]^{0,5} = 256 \Rightarrow$$

$$M_{\max} = 6.723 \text{ (kg)}$$

Στο σχήμα 6.2.3.2 παριστάνονται οι ακτίνες στις οποίες εκτείνεται η Ζώνη I για τιμές της μάζας M ίσες με 39.518 kg και 6.723 kg.



Σχήμα 6.2.3.2: Διερεύνηση για τη μάζα M της ουσίας αναφορικά με τη Ζώνη 37,5 kW/m^2

Επομένως παρατηρείται ότι χρειάζεται να μειωθεί η μάζα M της ουσίας κατά 32.795 kg, που αντιστοιχεί σε **ποσοστό μείωσης ίσο με 83%**, στο συγκεκριμένο εξοπλισμό προκειμένου να μην επηρεάζεται από την Ζώνη I το control room της εγκατάστασης.

6.2.4 BLEVE: Ζώνη I (15 kW/m^2), Μονάδα U34_3: Μονάδα Κατεργασίας με Υδρογόνο, Τμήμα Αντιδραστήρων - Hydrotreating Unit, Reactor Section

Το φαινόμενο BLEVE στη μονάδα U34_3 προκαλείται από την καταστροφική θραύση του κυκλώματος HT Separator 34-V-003, όπου απελευθερώνονται συνολικά στο κύκλωμα 11.309 kg αερίων καυσίμων, κυρίως LPG, ένα μικρό μέρος των οποίων αποτελείται από υδρόθειο (H_2S).

Από τα δεδομένα που υπάρχουν διαθέσιμα είναι γνωστό ότι στο συγκεκριμένο ατυχηματικό σενάριο στη μονάδα U34_3 οι τιμές των σημαντικών παραμέτρων για το φαινόμενο BLEVE είναι:

1. Μάζα M της ουσίας = 11.309 kg LPG.

Επίσης όπως και στην μονάδα U34_1, το πλησιέστερο σημείο του control room απέχει απόσταση ίση με 256 m από το σημείο που βρίσκεται ο εξοπλισμός στον οποίο αναφέρεται το συγκεκριμένο ατυχηματικό σενάριο. Από τον πίνακα 5.4.6.1 και το σχήμα 5.4.6.1 είναι επίσης γνωστό ότι η Ζώνη I εκτείνεται σε ακτίνα 275 m. Άρα η απόσταση

στην οποία εκτείνεται η Ζώνη Ι χρειάζεται να ελαττωθεί κατά 19 m (275-256=19 m), ώστε αυτή να μην επηρεάζει το control room της εγκατάστασης.

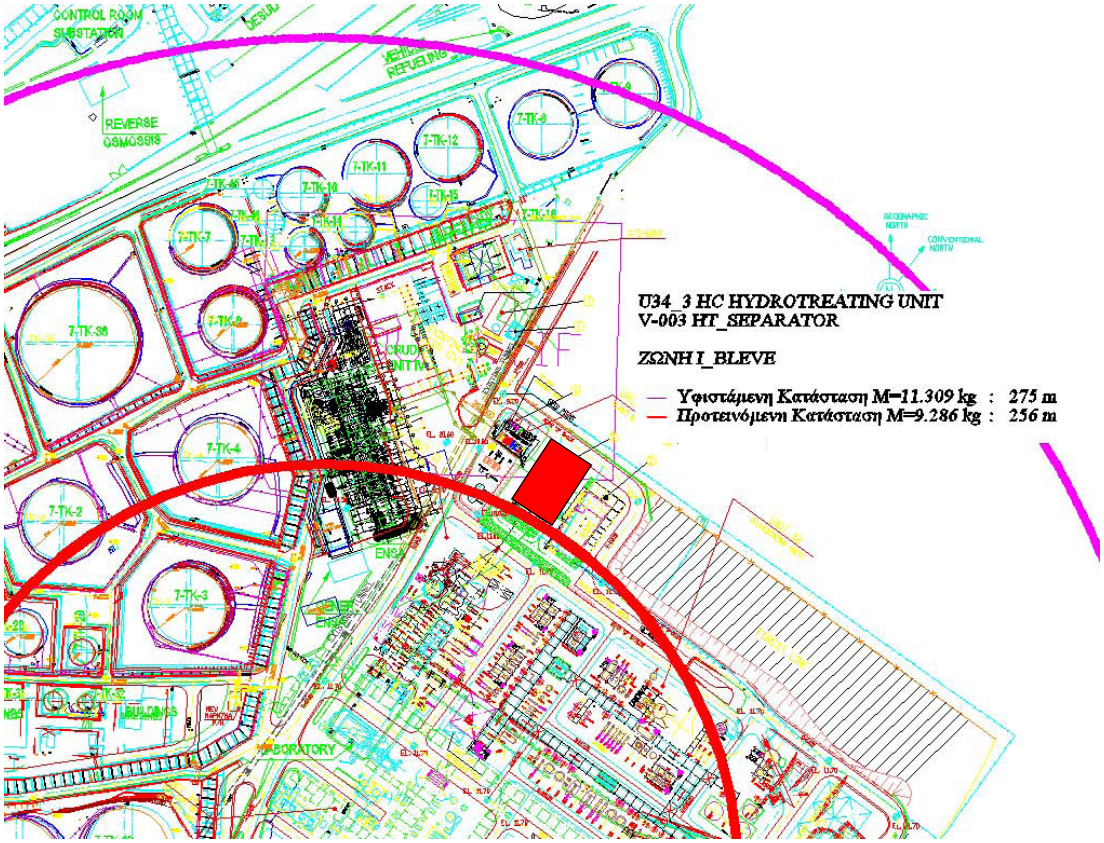
<u>Διερεύνηση για τη Ζώνη Ι</u>

Από την εξίσωση 4.6.1.1 η μέγιστη δυνατή μάζα M_{max} για την οποία η Ζώνη Ι δεν επηρεάζει το control room είναι:

$$x_1 = \left[A \cdot P_{sv}^{\ 0,32} \cdot e^{-0,0028 \cdot T_\alpha} \cdot M_{\max}^{\ 0,71} - 41,99 \cdot M_{\max}^{\ 0,65}\right]^{0,5} = 256 \Rightarrow$$

$$M_{\max} = 9.286 \text{ (kg)}$$

Η μάζα M_{max} προκύπτει να είναι ίση με 9.286 kg αερίων υδρογονανθράκων. Στο σχήμα 6.2.1.1 παριστάνονται οι ακτίνες στις οποίες εκτείνεται η Ζώνη Ι για τιμές της μάζας Μ ίσες με 11.309 kg και 9.286 kg.



Σχήμα 6.2.1.1: Διερεύνηση για τη μάζα Μ της ουσίας αναφορικά με τη Ζώνη Ι

Συνεπώς παρατηρείται ότι χρειάζεται να μειωθεί η μάζα Μ της ουσίας κατά 2.023 kg, που αντιστοιχεί σε **ποσοστό μείωσης ίσο με 17,9%**, στο συγκεκριμένο εξοπλισμό προκειμένου να μην επηρεάζεται από την Ζώνη Ι το control room της εγκατάστασης.

6.3 Κατηγορία Β: Δυσμενείς περιπτώσεις (Θάνατος, Σοβαρός Τραυματισμός)

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζεται η ανάλυση που πραγματοποιήθηκε για τις περιπτώσεις της **κατηγορίας Β** αναφορικά με τις πιθανές επιπτώσεις στους εργαζόμενους στο control room.

6.3.1 Pool Fire 100 μέτρων: Ζώνη 37,5 kW/m^2 και Ζώνη Ι (15 kW/m^2) Μονάδα U31: Μονάδα Απόσταξης Κενού - Vacuum Distillation Unit

Το φαινόμενο Pool Fire στη μονάδα U31 προκαλείται από την καταστροφική θραύση του κυκλώματος C-001 στον πύργο κενού EA-001 (Vacuum Tower EA-001), όπου απελευθερώνονται συνολικά στο κύκλωμα 392.620 kg καυσίμου Diesel.

Από τα δεδομένα που υπάρχουν διαθέσιμα είναι γνωστό ότι για το συγκεκριμένο ατυχηματικό σενάριο στη μονάδα U31 η τιμή της σημαντικής παραμέτρου, που είναι η ισοδύναμη διάμετρος της φωτιάς λίμνης είναι:

1. Ισοδύναμη διάμετρος D της φωτιάς λίμνης = 100 m.

Ακόμα είναι γνωστό ότι το πλησιέστερο σημείο του control room απέχει απόσταση ίση με 71 m από το σημείο που βρίσκεται ο εξοπλισμός στον οποίο αναφέρεται το συγκεκριμένο ατυχηματικό σενάριο. Από τον πίνακα 5.4.1.2 και το σχήμα 5.4.1.2 είναι επίσης γνωστό ότι η Ζώνη 37,5 kW/m^2 (DOMINO) και η Ζώνη Ι εκτείνονται στα 95 m και στα 140 m αντίστοιχα. Συνεπώς προκειμένου η Ζώνη 37,5 kW/m^2 να μην επηρεάζει το control room της εγκατάστασης χρειάζεται να μειωθεί η ακτίνα της επίδρασης της κατά 24 m (95 – 71 = 24 m) και της Ζώνης Ι αντίστοιχα κατά 69 m (140 – 71 = 69 m).

Στο σημείο αυτό χρειάζεται να αναφερθεί ότι η Ζώνη 37,5 kW/m^2 και η Ζώνη Ι με ακτίνες 95m και 140 m αντίστοιχα έχουν υπολογιστεί στη μελέτη ασφάλειας, στην οποία βασίστηκε το παράδειγμα εφαρμογής στο Κεφ. 5 (Παπαδάκης, 2007), για κλάσμα της παραγόμενης θερμότητας καύσης F_s ίσο με 60% (Συνηθισμένη τιμή για τους κοινούς υδρογονάνθρακες F_s = 30%).

<u>Διερεύνηση για τη Ζώνη 37,5 kW/m^2 (DOMINO)</u>

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα και τα αποτελέσματα για την ανάλυση ευαισθησίας από την εξίσωση 4.6.2.1 (βλ. παράγραφο 4.6.2) που παρατίθεται ξανά παρακάτω:

$$x = \left(B \cdot D \cdot e^{-0,0028 \cdot T_\alpha}\right)^{0,917} \text{(m)} \qquad (4.6.2.1)$$

όπου: $\mathrm{B} = \left(0,02 \cdot F_s \cdot m'' \cdot \Delta H_c + 4,852 \cdot 10^3\right) \cdot \dfrac{1}{q''}$

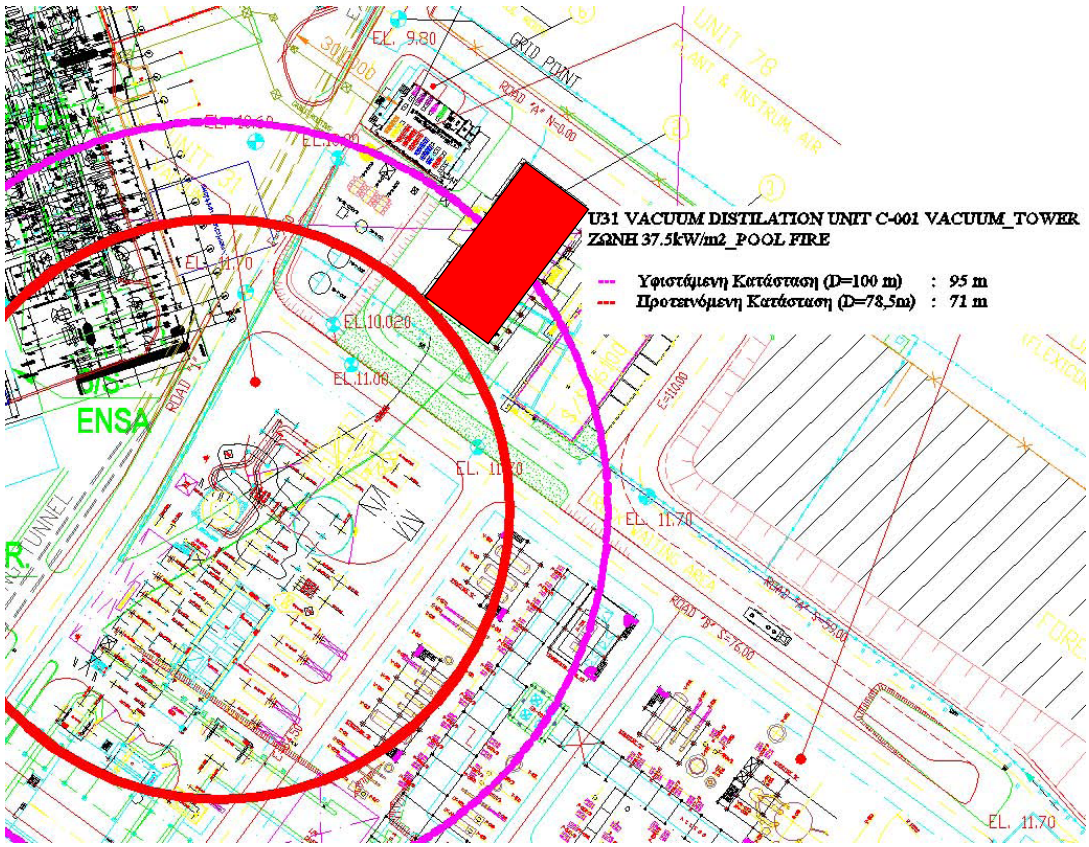
για τη μεταβολή των Ζωνών Επιπτώσεων (I, II, III και 37,5 kW/m^2), μπορεί να βρεθεί η μέγιστη δυνατή ισοδύναμη διάμετρος D_{max} για την οποία η Ζώνη 37,5 kW/m^2 δεν επηρεάζει το control room.

Είναι:

$$x_{37,5kW/m^2} = \left(B \cdot D_{\max} \cdot e^{-0,0028 \cdot T_\alpha}\right)^{0,917} = 71 \Rightarrow$$

$$D_{\max} = 78,5 \text{ (m)}$$

Η διάμετρος D_{max} προκύπτει να είναι ίση με 78,5 m. Στο σχήμα 6.3.1.1 παριστάνονται οι ακτίνες στις οποίες εκτείνεται η Ζώνη 37,5 kW/m^2 για τιμές της διαμέτρου D ίσες με 100 m και 78,5 m.



Σχήμα 6.3.1.1: Διερεύνηση για τη διάμετρο D της φωτιάς λίμνης αναφορικά με τη Ζώνη 37,5 kW/m^2

Επομένως χρειάζεται να μειωθεί η ισοδύναμη διάμετρος D της φωτιάς λίμνης κατά 21,5 m στο συγκεκριμένο εξοπλισμό προκειμένου να μην επηρεάζεται από την Ζώνη 37,5 kW/m^2 το control room της εγκατάστασης. Η μείωση αυτή αντιστοιχεί σε **μείωση της επιφάνειας της φωτιάς λίμνης κατά 38,4%**.

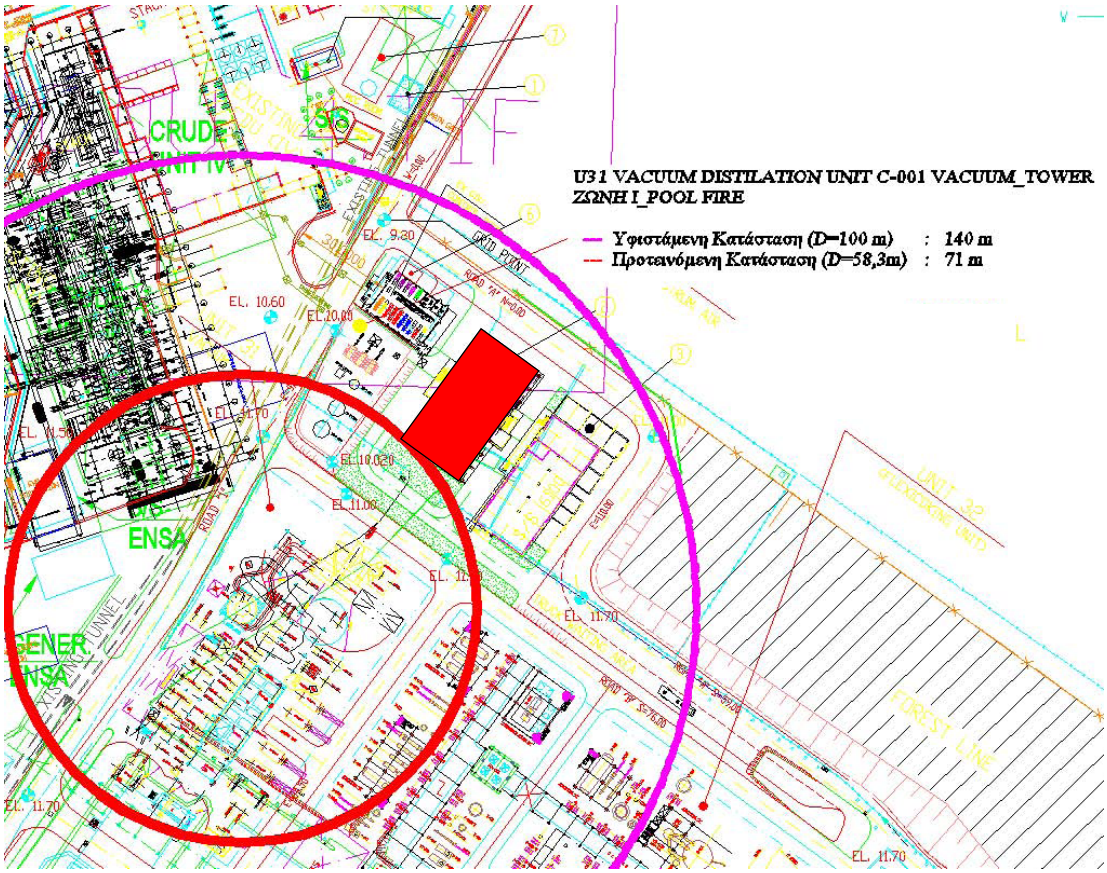
<u>Διερεύνηση για τη Ζώνη I</u>

Από την εξίσωση 4.6.2.1 η μέγιστη δυνατή διάμετρος D_{max} για την οποία η Ζώνη I δεν επηρεάζει το control room είναι:

$$x_1 = \left(B \cdot D_{\max} \cdot e^{-0,0028 \cdot T_\alpha}\right)^{0,917} = 71 \Rightarrow$$

$$D_{\max} = 58,3 \ \text{(m)}$$

Η διάμετρος D_{max} προκύπτει να είναι ίση με 58,3 m. Στο σχήμα 6.3.1.2 παριστάνονται οι ακτίνες στις οποίες εκτείνεται η Ζώνη I για τιμές της διαμέτρου D ίσες με 100m και 58,3m.



Σχήμα 6.3.1.2: Διερεύνηση για τη διάμετρο D της φωτιάς λίμνης αναφορικά με τη Ζώνη I

Επομένως χρειάζεται να μειωθεί η ισοδύναμη διάμετρος D της φωτιάς λίμνης κατά 41,7 m στο συγκεκριμένο εξοπλισμό προκειμένου να μην επηρεάζεται από την Ζώνη I το control room της εγκατάστασης. Η μείωση αυτή αντιστοιχεί σε **μείωση της επιφάνειας της φωτιάς λίμνης κατά 66%**.

6.3.2 Pool Fire 100 μέτρων: Ζώνη I (15 kW/m^2) Μονάδα U32: Μονάδα Πυρόλυσης Ρευστοστερεάς Κλίνης Κωκ - Flexicoking Unit

Το φαινόμενο Pool Fire στη μονάδα U32 προκαλείται από την καταστροφική θραύση του κυκλώματος C-005 Fractionator, όπου απελευθερώνονται συνολικά 218.169 kg heavy Diesel.

Από τα δεδομένα που υπάρχουν διαθέσιμα είναι γνωστό ότι για το συγκεκριμένο ατυχηματικό σενάριο στη μονάδα U32 η τιμή της σημαντικής παραμέτρου, που είναι η ισοδύναμη διάμετρος της φωτιάς λίμνης είναι:

1. Ισοδύναμη διάμετρος D της φωτιάς λίμνης = 100 m.

Ακόμα είναι γνωστό ότι το πλησιέστερο σημείο του control room απέχει απόσταση ίση με 113,30 m από το σημείο που βρίσκεται ο εξοπλισμός στον οποίο αναφέρεται το συγκεκριμένο ατυχηματικό σενάριο. Από τον πίνακα 5.4.2.3 και το σχήμα 5.4.2.3 είναι επίσης γνωστό ότι η Ζώνη I εκτείνεται στα 140 m. Συνεπώς προκειμένου η Ζώνη I να μην επηρεάζει το control room της εγκατάστασης χρειάζεται να μειωθεί η ακτίνα της επίδρασης της κατά 26,7 m (140 – 113.3 = 26,7 m).

Όπως και στην προηγούμενη παράγραφο χρειάζεται να αναφερθεί ότι η Ζώνη I με ακτίνα 140 m έχει υπολογιστεί για κλάσμα της παραγόμενης θερμότητας καύσης F_s ίσο με 60% (Παπαδάκης, 2007).

<u>Διερεύνηση για τη Ζώνη I</u>

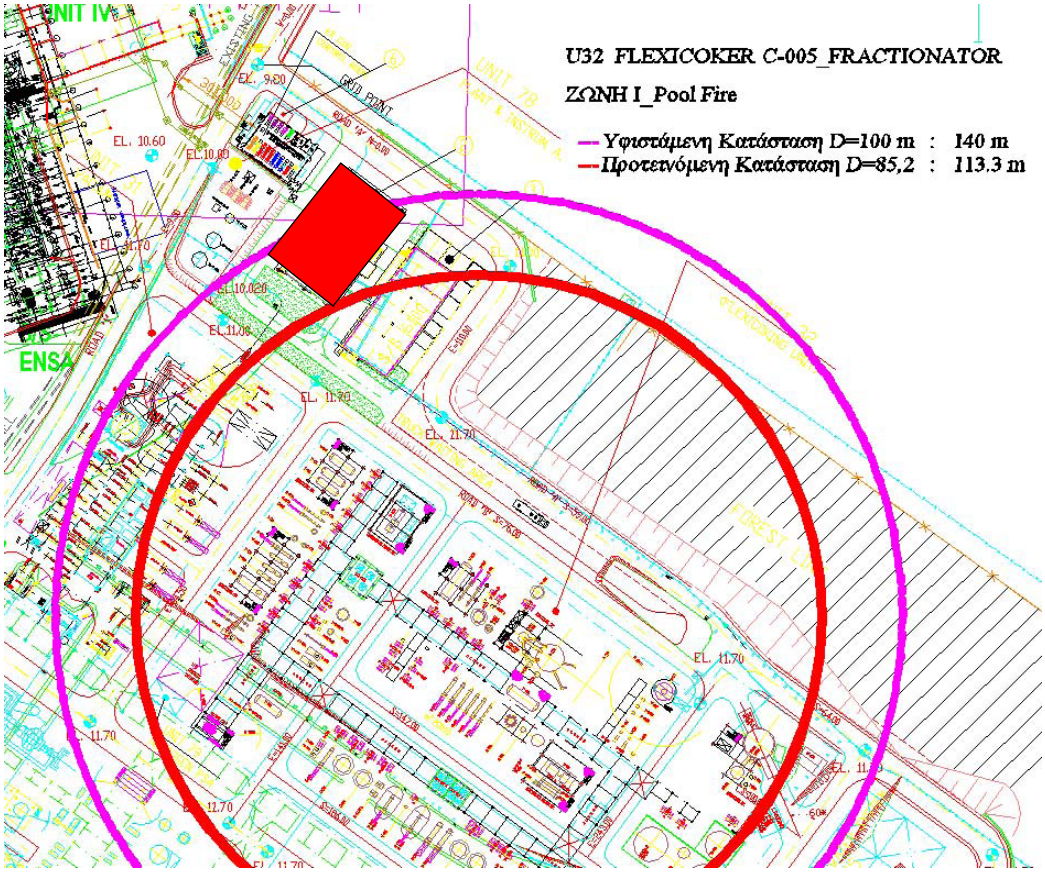
Από την εξίσωση 4.6.2.1 η μέγιστη δυνατή διάμετρος D_{max} για την οποία η Ζώνη I δεν επηρεάζει το control room είναι:

$$x_1 = \left(B \cdot D_{\max} \cdot e^{-0,0028 \cdot T_\alpha}\right)^{0,917} = 113.3 \Rightarrow$$

$$D_{\max} = 85,2 \text{ (m)}$$

Η διάμετρος D_{max} προκύπτει να είναι ίση με 85,2 m. Στο σχήμα 6.3.1.2 παριστάνονται οι ακτίνες στις οποίες εκτείνεται η Ζώνη I για τιμές της διαμέτρου D ίσες με 100 m και 85,2 m.

Επομένως χρειάζεται να μειωθεί η ισοδύναμη διάμετρος D της φωτιάς λίμνης κατά 14,8m στο συγκεκριμένο εξοπλισμό προκειμένου να μην επηρεάζεται από την Ζώνη I το control room της εγκατάστασης. Η μείωση αυτή αντιστοιχεί σε **μείωση της επιφάνειας της φωτιάς λίμνης κατά 27,4%**.



Σχήμα 6.3.2.1: Διερεύνηση για τη διάμετρο D της φωτιάς λίμνης αναφορικά με τη Ζώνη I

6.4 Κατηγορία Γ: Λιγότερο δυσμενείς περιπτώσεις (Σοβαρός Τραυματισμός)

Στην παρούσα παράγραφο παρουσιάζεται η ανάλυση που πραγματοποιήθηκε για τις περιπτώσεις της **κατηγορίας Γ** αναφορικά με τις πιθανές επιπτώσεις στους εργαζόμενους στο control room.

6.4.1 Εσωτερική Έκρηξη αερίου νέφους (Internal VCE): Ζώνη II (140 mbar) Μονάδα U31: Μονάδα Απόσταξης Κενού - Vacuum Distillation Unit

Το φαινόμενο VCE στη μονάδα U31 προκαλείται από την καταστροφική θραύση του κυκλώματος C-001 στον πύργο κενού EA-001 (Vacuum Tower EA-001), όπου απελευθερώνονται συνολικά στο κύκλωμα 142,5 kg αερίου H_2S.

Η συγκεκριμένη περίπτωση VCE αφορά σε έκρηξη πολύ περιορισμένη (βαθμός περιορισμού ίσος με 95%) των 142,5 kg H_2S εντός του Vacuum Tower EA-001 που οδηγεί σε έκρηξη πολύ υψηλής ενέργειας (detonation). Στον πύργο κενού EA-001 οι διεργασίες που γίνονται, λαμβάνουν χώρα σε περιβάλλον κενού και ως εκ τούτου στην

περίπτωση καταστροφικής θραύσης δεν θα υπάρξει απελευθέρωση των 142,5 kg H_2S προς το περιβάλλον, άλλα η έκρηξη θα σημειωθεί εντός του πύργου.

Από τα δεδομένα που υπάρχουν διαθέσιμα είναι γνωστό ότι στο συγκεκριμένο ατυχηματικό σενάριο οι τιμές των σημαντικών παραμέτρων του φαινομένου VCE είναι:

1. Κλάση της έκρηξης CN = 10 και
2. Μάζα M της ουσίας = 142,5 kg H_2S.

Επίσης είναι γνωστό ότι το πλησιέστερο σημείο του control room απέχει απόσταση ίση με 71 m από το σημείο που βρίσκεται ο εξοπλισμός στον οποίο αναφέρεται το συγκεκριμένο ατυχηματικό σενάριο. Από τον πίνακα 5.4.1.1 και το σχήμα 5.4.1.1 είναι επίσης γνωστό ότι η Ζώνη ΙΙ εκτείνεται σε ακτίνα 98 m. Επομένως χρειάζεται να μειωθεί κατά 27 m (98 - 71 = 27 m) η απόσταση στην οποία εκτείνεται η Ζώνη ΙΙ, ώστε αυτή να μην επηρεάζει πλέον το control room της εγκατάστασης.

<u>Διερεύνηση για την Κλάση της έκρηξης CN</u>

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα και από τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας που παρουσιάστηκαν στο Κεφ. 4 (βλ. παράγραφο 4.4) μπορεί να βρεθεί η μεγαλύτερη δυνατή κλάση της έκρηξης CN_{max} για την οποία η Ζώνη ΙΙ δεν επηρεάζει το control room.

Από την ανάλυση που έχει πραγματοποιηθεί για τον υπολογισμό των επιπτώσεων του φαινομένου της έκρηξης αερίου νέφους, με βάση τη μεθοδολογία Multi-Energy που περιγράφεται στα Κεφ. 3 (βλ. παράγραφος 3.2.2) και Κεφ. 4 (βλ. παράγραφο 4.4), μεγαλύτερη δυνατή κλάση έκρηξης προκύπτει να είναι:

$$CN_{\max} = 5$$

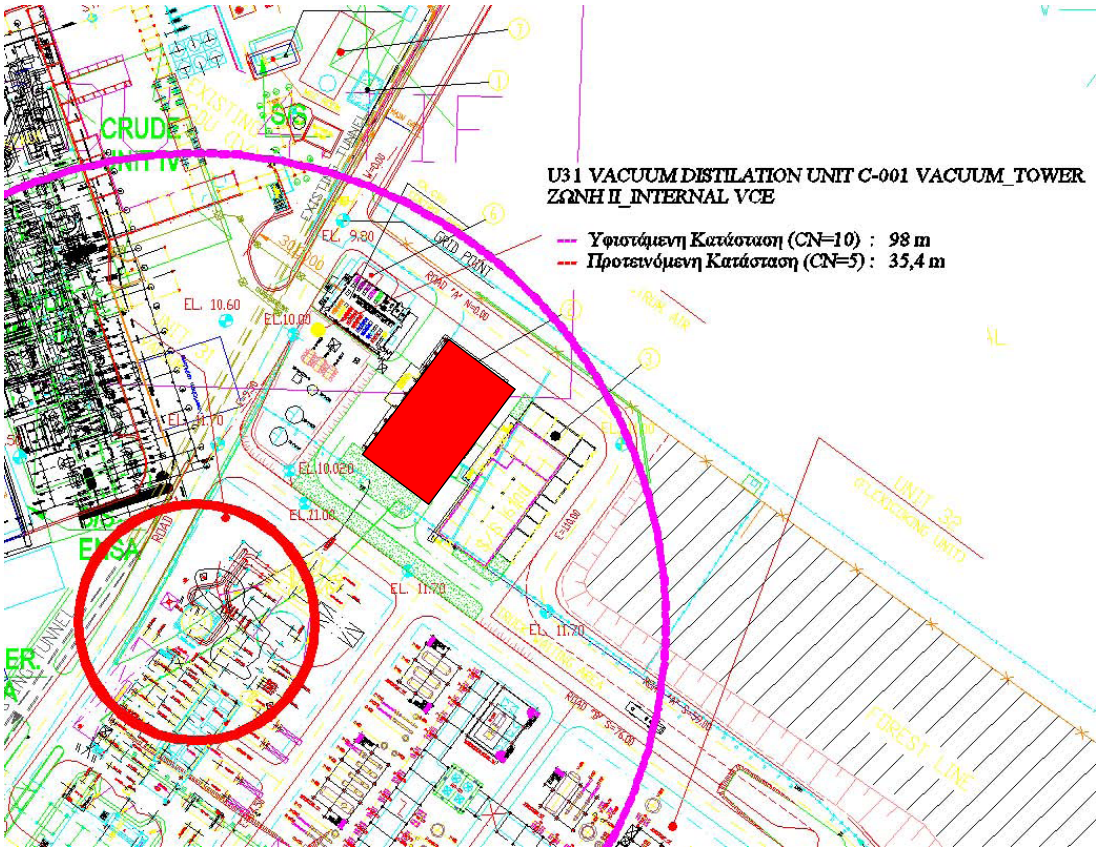
Για CN = 5 για το συγκεκριμένο ατυχηματικό σενάριο που εξετάζεται εδώ, η Ζώνη ΙΙ έχει ακτίνα ίση με 35,4 m, που είναι αρκετά μικρότερη από τη μέγιστη ζητούμενη απόσταση, δηλαδή τα 71 m. Παρόλαυτά, αυτό αποτελεί την ιδιαιτερότητα της παραμέτρου της κλάσης της έκρηξης CN. Το γεγονός δηλαδή ότι η κλάση της έκρηξης λαμβάνει μονάχα διακριτές ακέραιες τιμές από το 1 εώς το 10, ο μηχανισμός υπολογισμού των οποίων αναπτύχθηκε στην παράγραφο 4.4.3. Για παράδειγμα στην συγκεκριμένη περίπτωση για CN = 6 η ακτίνα της Ζώνης ΙΙ εκτείνεται στα 88,5 m, τιμή μεγαλύτερη από τα 71 m. Άρα αναγκαστικά λαμβάνεται η αμέσως μικρότερη τιμή, που είναι η CN = 5.

Συνεπώς η μέγιστη κλάση της έκρηξης CN_{max} για την οποία η Ζώνη ΙΙ δεν επηρεάζει το control room στο συγκεκριμένο εξοπλισμό είναι CN_{max} = 5, δηλαδή χρειάζεται να ελαττωθεί η κλάση της έκρηξης κατά 5 μονάδες.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί ότι η μείωση αυτή στην κλάση της έκρηξης κατά 5 μονάδες είναι δύσκολο να επιτευχθεί στο συγκεκριμένο ατυχηματικό σενάριο, αφού

αυτό λαμβάνει χώρα σε ένα πάρα πολύ περιορισμένο χώρο (εντός του πύργου κενού) και όπως φαίνεται από τον Πίνακα 4.4.3.1, η μόνη περίπτωση για να συμβεί αυτό είναι να υπάρξει πολύ χαμηλή ενέργεια της πηγής έναυσης. Βέβαια όπως προκύπτει από τον ίδιο πίνακα ο ίδιος συνδυασμός, υψηλού βαθμού εγκλωβισμού και χαμηλής πηγής έναυσης, μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα μία κλάση έκρηξης CN = 6, που όπως ειπώθηκε δεν καλύπτει την περίπτωση που εξετάζεται. Εκτός των άλλων η μείωση των κλάσης της έκρηξης δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί με ακρίβεια, δηλαδή δεν υπάρχει κάποιος μηχανισμός που να μειώνει ή να αυξάνει την κλάση της έκρηξης σε μία καθορισμένη τιμή. Συνεπώς για την κλάση της έκρηξης μπορεί να ειπωθεί ότι είναι μία παράμετρος η οποία είναι δύσκολο να ελεγχθεί.

Στο σχήμα 6.4.1.1 παριστάνονται οι ακτίνες στις οποίες εκτείνεται η Ζώνη ΙΙ για τιμές της κλάσης της έκρηξης CN ίσες με 10 και 5.



Σχήμα 6.4.2.1: Διερεύνηση για την κλάση της έκρηξης CN αναφορικά με τη Ζώνη ΙΙΙ

Διερεύνηση για τη Μάζα Μ της ουσίας

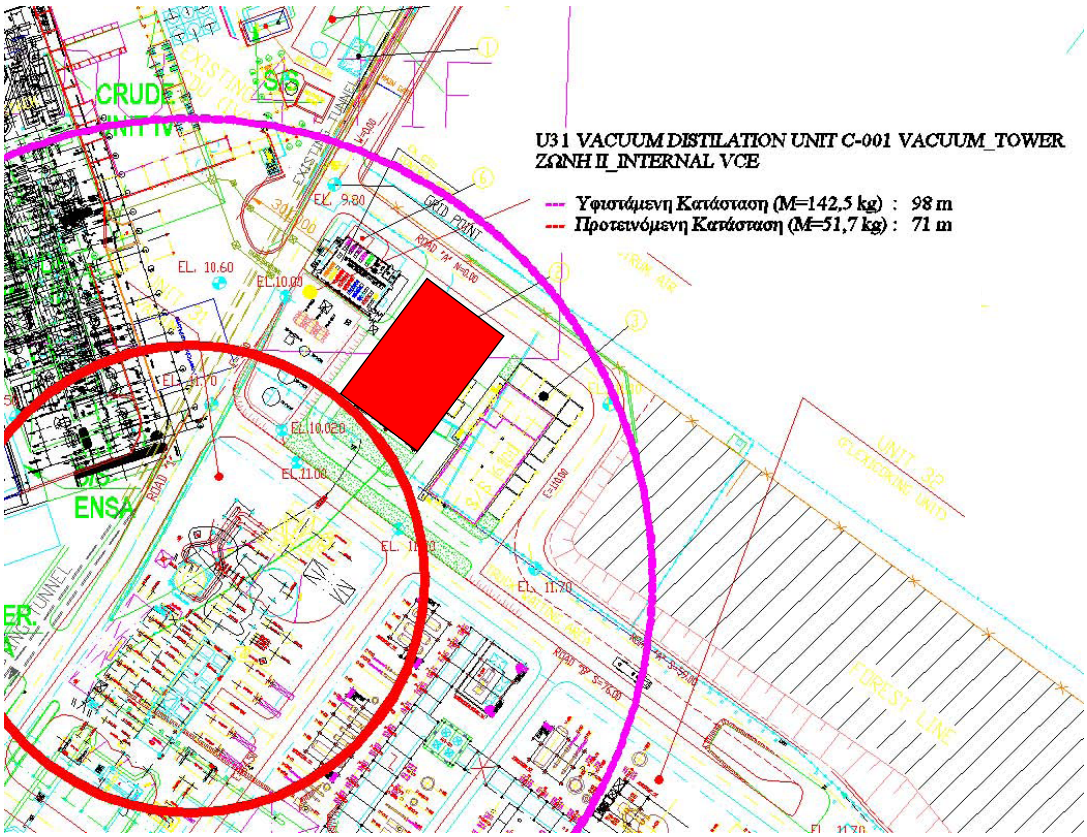
Με βάση τα παραπάνω δεδομένα και από την ανάλυση που έχει πραγματοποιηθεί στην παρούσα εργασία για τον υπολογισμό των επιπτώσεων του φαινομένου της έκρηξης αερίου νέφους, με βάση τη μεθοδολογία Multi-Energy, μπορεί να βρεθεί η μέγιστη

δυνατή μάζα M_{max} για την οποία η Ζώνη ΙΙ δεν επηρεάζει το control room, η οποία προκύπτει να είναι:

$$M_{\max} = 51{,}7\,(\mathrm{kg})$$

Συνεπώς η μέγιστη μάζα M_{max} για την οποία η Ζώνη ΙΙ δεν επηρεάζει το control room στο συγκεκριμένο εξοπλισμό ισούται με 51,7 kg, δηλαδή χρειάζεται να ελαττωθεί η μάζα του H_2S που εκλύεται στο κύκλωμα κατά 90,8 kg, που αντιστοιχεί σε **μείωση κατά 63,7%**.

Στο σχήμα 6.4.1.1 παριστάνονται οι ακτίνες στις οποίες εκτείνεται η Ζώνη ΙΙ για τιμές της μάζας Μ ίσες με 142,5 kg και 51,7 kg.



Σχήμα 6.4.1.2: Διερεύνηση για τη μάζα Μ της ουσίας αναφορικά με τη Ζώνη ΙΙ

Να σημειωθεί στο σημείο αυτό ότι για τον υπολογισμό της μέγιστης μάζας στο συγκεκριμένο ατυχηματικό σενάριο, δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί η εξίσωση 4.4.1.1 διότι αυτή αναφέρεται σε VCE με ουσία LPG και κλάση έκρηξης CN = 5. Έτσι προκειμένου να μπορούσε να χρησιμοποιηθεί μία εξίσωση παρόμοια με την 4.4.1.1 θα έπρεπε αυτή να έχει προκύψει με βάση τα δεδομένα του συγκεκριμένου ατυχηματικού σεναρίου στην μονάδα U31, δηλαδή ουσία H_2S και κλάση έκρηξης CN = 10.

Από την άλλη δεν είναι δυνατό να εξαχθεί μία γενική εξίσωση, όπως αυτές της παραγράφου 4.6 για τα φαινόμενα BLEVE και Pool Fire, η οποία να καλύπτει τις

επιπτώσεις του φαινομένου της έκρηξης αερίου νέφους σε κάθε περίπτωση βασιζόμενη στη μέθοδο Multi – Energy. Αυτό συμβαίνει διότι ο υπολογισμός των επιπτώσεων (υπερπίεση) και των αποστάσεων στις οποίες παρατηρούνται οι επιπτώσεις αυτές, με τη μέθοδο Multi – Energy βασίζεται στη χρήση κανονικοποιημένων λογαριθμικών διαγραμμάτων και όχι σε εξισώσεις με γενική εφαρμογή, όπως αυτές για τα BLEVE και Pool Fire. Επομένως συνάγεται το συμπέρασμα ότι για τον υπολογισμό των επιπτώσεων σε ένα φαινόμενο VCE με βάση τη μέθοδο Multi – Energy, η οποία είναι μία αποτελεσματική μέθοδος για το σκοπό αυτό, χρειάζεται να εξετάζεται η κάθε περίπτωση ξεχωριστά με βάση τα διαγράμματα της μεθόδου (CPR-14E Yellow Book, 1997).

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε μερική υλοποίηση των διαγραμμάτων αυτών σε αρχεία MS EXCEL αναφορικά πάντα με τα δεδομένα του case study αυτής της εργασίας (κυρίως δεδομένα χωροθέτησης των μονάδων και το εξοπλισμού αυτών), με τη βοήθεια των οποίων είναι δυνατό να ληφθούν αποτελέσματα πολύ εύκολα και γρήγορα για οποιεσδήποτε τιμές της μάζας ουσίας που ενδιαφέρει κάθε φορά και για διάφορες τιμές της κλάσης έκρηξης CN.

6.4.2 Έκρηξη αερίου νέφους (UVCE): Ζώνη ΙΙΙ (50 mbar) Μονάδα U32: Μονάδα Πυρόλυσης Ρευστοστερεάς Κλίνης Κωκ - Flexicoking Unit

Το φαινόμενο VCE στη μονάδα U32 προκαλείται από την καταστροφική θραύση του κυκλώματος R-001 Reactor, όπου απελευθερώνονται συνολικά στο κύκλωμα 1595,8 kg αερίου LPG μέρος των οποίων σχηματίζει εκρηκτικό μείγμα στην ατμόσφαιρα. Για συνθήκες ατμόσφαιρας F2 κατά Pasquill έχει υπολογιστεί από τη μελέτη ασφάλειας (Παπαδάκης, 2007) ότι μόνο ένα μέρος αυτών ίσο με 674 kg LPG δημιουργεί εκρηκτικό μείγμα. Η έκρηξη UVCE για το συγκεκριμένο ατυχηματικό σενάριο έχει χαμηλή αρχική ενέργεια (έχει θεωρηθεί κλάση έκρηξης = 5), λαμβάνει χώρα με χαμηλό ποσοστό εγκλωβισμού (3% confinement) και προκαλεί επιπτώσεις των οποίων μόνο η Ζώνη ΙΙΙ (50 mbar) επηρεάζει το control room.

Συνεπώς από τα δεδομένα που υπάρχουν διαθέσιμα είναι γνωστό ότι στο συγκεκριμένο ατυχηματικό σενάριο οι τιμές των σημαντικών παραμέτρων του φαινομένου VCE είναι:

1. Κλάση της έκρηξης CN = 5 και
2. Μάζα M της ουσίας = 674 kg LPG.

Επίσης είναι γνωστό ότι το πλησιέστερο σημείο του control room απέχει απόσταση ίση με 126 m από το σημείο που βρίσκεται ο εξοπλισμός στον οποίο αναφέρεται το συγκεκριμένο ατυχηματικό σενάριο. Από τον πίνακα 5.4.2.2 και το σχήμα 5.4.2.2 είναι επίσης γνωστό ότι η Ζώνη ΙΙΙ εκτείνεται σε ακτίνα 150 m. Επομένως χρειάζεται να μειωθεί κατά 24 m (150 - 126 = 24 m) η απόσταση στην οποία εκτείνεται η Ζώνη ΙΙΙ, ώστε αυτή να μην επηρεάζει πλέον το control room της εγκατάστασης.

<u>Διερεύνηση για την Κλάση της έκρηξης CN</u>

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα και από τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας που παρουσιάστηκαν στην παράγραφο 4.4 μπορεί όπως και πριν να βρεθεί η μεγαλύτερη δυνατή κλάση της έκρηξης CN_{max} για την οποία η Ζώνη ΙΙΙ δεν επηρεάζει το control room.

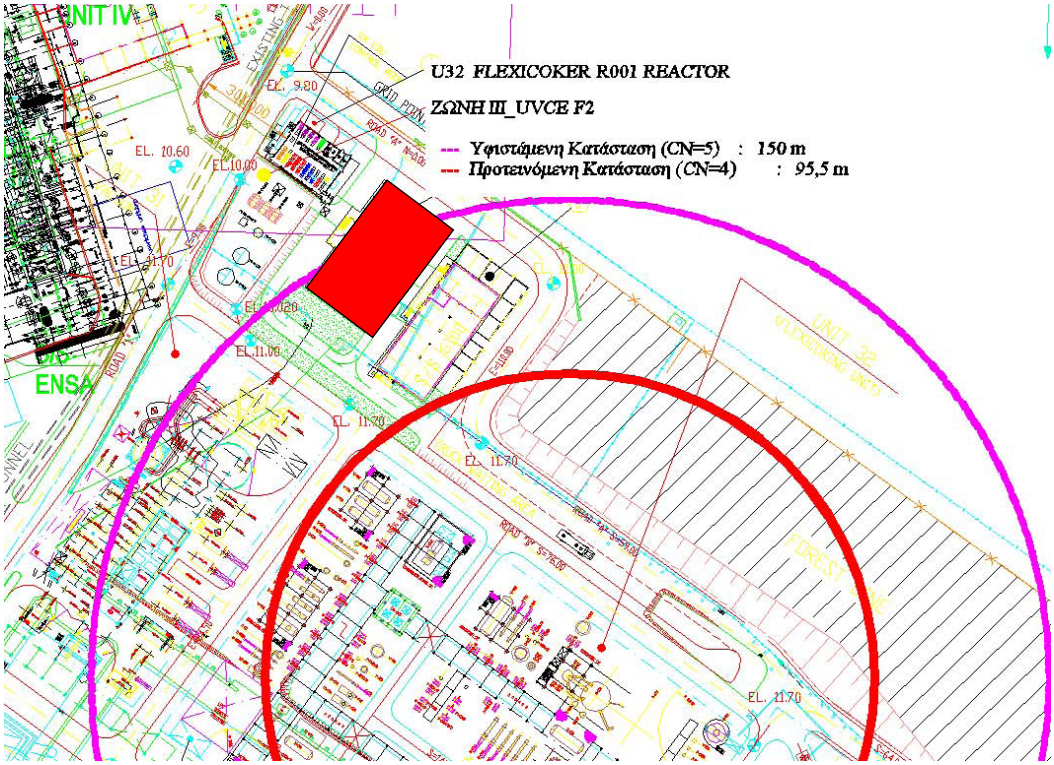
Για τους ίδιους λόγους που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο, η μεγαλύτερη δυνατή κλάση έκρηξης προκύπτει να είναι:

$$CN_{\max} = 4$$

Για CN = 4 για το συγκεκριμένο ατυχηματικό σενάριο που εξετάζεται εδώ, η Ζώνη ΙΙΙ έχει ακτίνα ίση με 95,5 m, που είναι μικρότερη από τη μέγιστη ζητούμενη απόσταση, δηλαδή τα 126 m. Στην συγκεκριμένη περίπτωση για CN = 4 αξίζει να ειπωθεί ότι η Ζώνη ΙΙ με υπερπίεση 140 mbar παύει να υφίσταται. Δηλαδή για κλάση έκρηξης CN = 4 με βάση τη μέθοδο Multi – Energy η μέγιστη υπερπίεση που μπορεί να αναπτυχθεί είναι της τάξης της Ζώνης ΙΙΙ (50 mbar).

Συνεπώς η μέγιστη κλάση της έκρηξης CN_{max} για την οποία η Ζώνη ΙΙΙ δεν επηρεάζει το control room στο συγκεκριμένο εξοπλισμό είναι CN_{max} = 4, δηλαδή χρειάζεται να ελαττωθεί η κλάση της έκρηξης κατά 1 μονάδα, το οποίο είναι εφικτό αναφορικά πάντα με τον Πίνακα 4.4.3.1.

Στο σχήμα 6.4.2.1 παριστάνονται οι ακτίνες στις οποίες εκτείνεται η Ζώνη ΙΙΙ για τιμές της κλάσης της έκρηξης CN ίσες με 5 και 4.



Σχήμα 6.4.2.1: Διερεύνηση για την κλάση της έκρηξης CN αναφορικά με τη Ζώνη ΙΙΙ

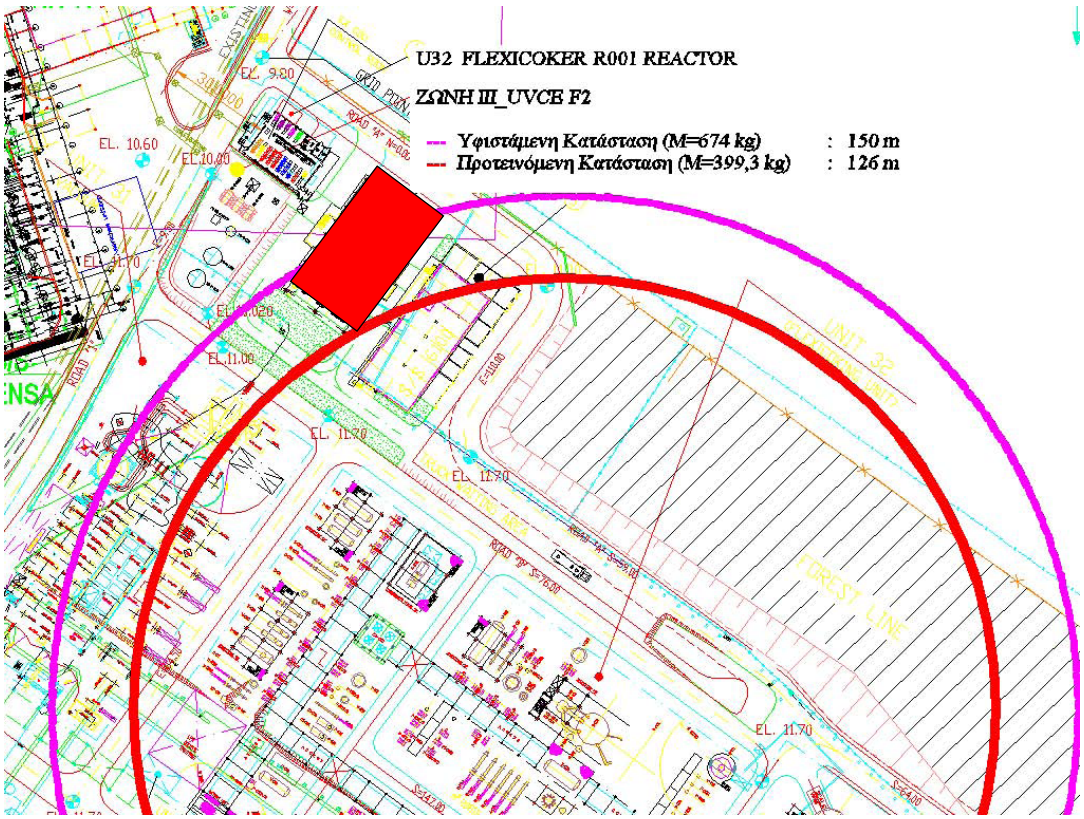
Διερεύνηση για τη Μάζα Μ της ουσίας

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα και από την ανάλυση που έχει πραγματοποιηθεί στην παρούσα εργασία για τον υπολογισμό των επιπτώσεων του φαινομένου της έκρηξης αερίου νέφους, με βάση τη μεθοδολογία Multi-Energy, μπορεί να βρεθεί η μέγιστη δυνατή μάζα M_{max} για την οποία η Ζώνη ΙΙΙ δεν επηρεάζει το control room, η οποία προκύπτει να είναι:

$$M_{\max} = 399{,}3\,(\mathrm{kg})$$

Συνεπώς η μέγιστη μάζα M_{max} για την οποία η Ζώνη ΙΙΙ δεν επηρεάζει το control room στο συγκεκριμένο εξοπλισμό ισούται με 399,3 kg, δηλαδή χρειάζεται να ελαττωθεί η μάζα του LPG που εκλύεται στο κύκλωμα κατά 274,7 kg, δηλαδή **μείωση κατά 40,8%**.

Στο σχήμα 6.4.2.2 παριστάνονται οι ακτίνες στις οποίες εκτείνεται η Ζώνη ΙΙΙ για τιμές της μάζας Μ ίσες με 674 kg και 399,3 kg.



Σχήμα 6.4.2.2: Διερεύνηση για τη μάζα Μ της ουσίας αναφορικά με τη Ζώνη ΙΙΙ

Αντίθετα με την περίπτωση της προηγούμενης παραγράφου, για τον υπολογισμό της μέγιστης μάζας στο συγκεκριμένο ατυχηματικό σενάριο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η εξίσωση 4.4.1.3, διότι αυτή αναφέρεται σε VCE με ουσία LPG και κλάση έκρηξης CN =

5, δηλαδή οι λοιπές παράμετροι εκτός της μάζας που είναι η παράμετρος που διερευνάται, είναι ίδιες με την περίπτωση που εξετάζεται εδώ.

Για τη συγκεκριμένη περίπτωση από την εξίσωση 4.4.1.3:

$$x_3 = 17.109 \cdot M_{\max}{}^{0.3333} = 126$$

$$M_{\max} = 399{,}4\,(\text{kg})$$

Το παραπάνω αποτέλεσμα είναι προφανές ότι είναι ουσιαστικά ίδιο με το παραπάνω το οποίο έχει ληφθεί από την ανάλυση με MS EXCEL της μεθόδου Multi – Energy.

6.4.3 BLEVE: Ζώνη III (3 kW/m^2), Μονάδα U33: Μονάδα Παραγωγής Υδρογόνου - Hydrogen Production Unit

Το φαινόμενο BLEVE στη μονάδα U33 προκαλείται από την καταστροφική θραύση του V-001 LPG Feed Surge Drum, όπου απελευθερώνονται συνολικά στο κύκλωμα 6.060 kg αερίου LPG.

Από τα δεδομένα που υπάρχουν διαθέσιμα είναι γνωστό ότι στο συγκεκριμένο ατυχηματικό σενάριο στη μονάδα U33 η τιμή της σημαντικής παραμέτρου είναι:

3. Μάζα M της ουσίας = 6.060 kg LPG.

Επίσης είναι γνωστό ότι το πλησιέστερο σημείο του control room απέχει απόσταση ίση με 353,8 m από το σημείο που βρίσκεται ο εξοπλισμός στον οποίο αναφέρεται το συγκεκριμένο ατυχηματικό σενάριο. Από τον πίνακα 5.4.3.1 και το σχήμα 5.4.3.1 είναι επίσης γνωστό ότι η Ζώνη III εκτείνεται σε ακτίνα 460 m. Επομένως παρατηρείται ότι χρειάζεται να μειωθεί κατά 106,2 m (460 - 353,8 = 24 m) η απόσταση στην οποία εκτείνεται η Ζώνη III, ώστε αυτή να μην επηρεάζει πλέον το control room της εγκατάστασης.

<u>Διερεύνηση για τη Ζώνη III</u>

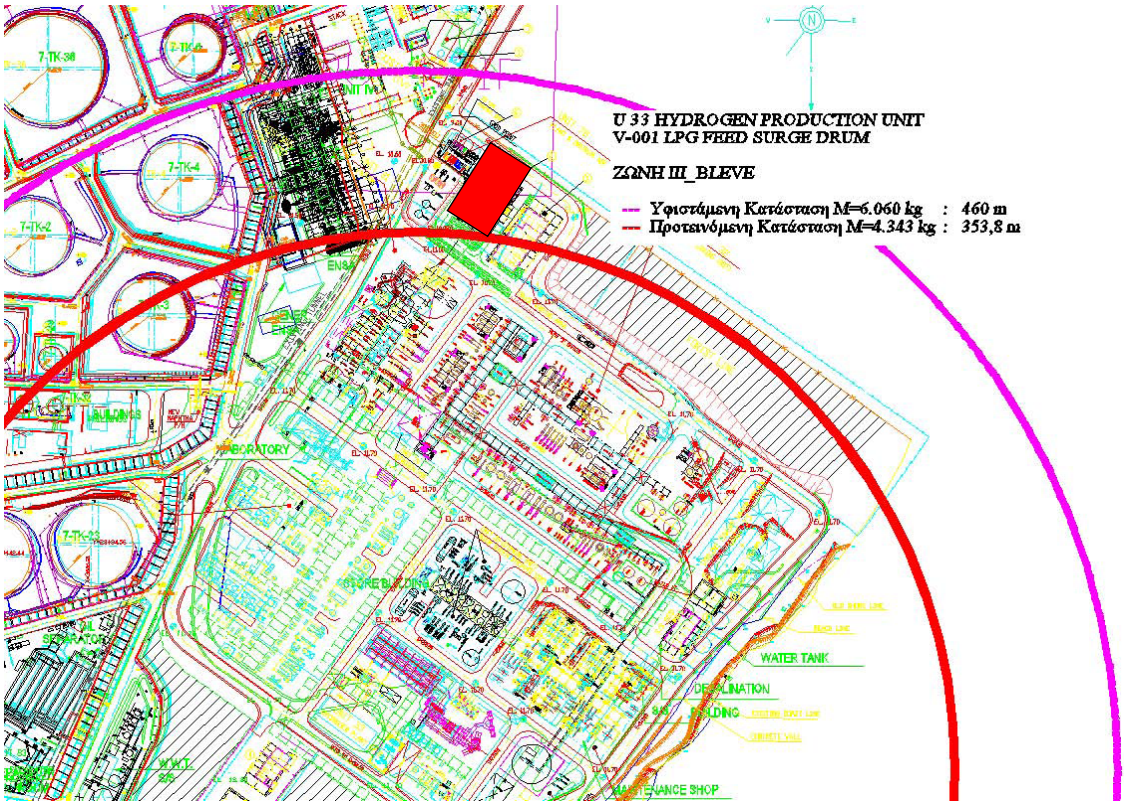
Με βάση τα παραπάνω δεδομένα και από την εξίσωση 4.6.1.1 (βλ. παράγραφο 4.6.1) μπορεί να βρεθεί η μέγιστη δυνατή μάζα M_{max} για την οποία η Ζώνη III δεν επηρεάζει το control room.

Είναι:

$$x_3 = \left[A \cdot P_{sv}{}^{0,32} \cdot e^{-0,0028 \cdot T_\alpha} \cdot M_{\max}{}^{0,71} - 41{,}99 \cdot M_{\max}{}^{0,65}\right]^{0,5} = 353{,}8 \Rightarrow$$

$$M_{\max} = 4.343\ (\text{kg})$$

Στο σχήμα 6.4.3.1 παριστάνονται οι ακτίνες στις οποίες εκτείνεται η Ζώνη III για τιμές της μάζας M ίσες με 6.060 kg και 4.343 kg.



Σχήμα 6.4.3.1: Διερεύνηση για τη μάζα M της ουσίας αναφορικά με τη Ζώνη ΙΙΙ

Συνεπώς η μέγιστη μάζα M_{max} για την οποία η Ζώνη ΙΙΙ δεν επηρεάζει το control room στο συγκεκριμένο εξοπλισμό ισούται με 4.343 kg, δηλαδή χρειάζεται να ελαττωθεί η μάζα του LPG που εκλύεται στο κύκλωμα κατά 1.717 kg, που αντιστοιχεί σε **μείωση κατά 28,3%**.

6.4.4 Pool Fire 100 μέτρων: Ζώνη ΙΙΙ (3 kW/m^2) Μονάδα U34_1: Μονάδα Καταλυτικής Πυρόλυσης, Τμήμα Διαχωριστή - Unicracking Unit, Fractionation Section

Το φαινόμενο Pool Fire στη μονάδα U34_1 προκαλείται από την καταστροφική θραύση του κυκλώματος C-052 Product Fractionator, όπου απελευθερώνονται συνολικά 292.027kg Jet Fuel και Naphtha.

Από τα δεδομένα που υπάρχουν διαθέσιμα είναι γνωστό ότι για το συγκεκριμένο ατυχηματικό σενάριο στη μονάδα U34_1 η τιμή της σημαντικής παραμέτρου, που είναι η ισοδύναμη διάμετρος της φωτιάς λίμνης είναι:

1. Ισοδύναμη διάμετρος D της φωτιάς λίμνης = 100 m.

Ακόμα είναι γνωστό ότι το πλησιέστερο σημείο του control room απέχει απόσταση ίση με 236 m από το σημείο που βρίσκεται ο εξοπλισμός στον οποίο αναφέρεται το συγκεκριμένο ατυχηματικό σενάριο. Από τον πίνακα 5.4.4.3 και το σχήμα 5.4.4.3 είναι

επίσης γνωστό ότι η Ζώνη ΙΙΙ εκτείνεται στα 250 m. Συνεπώς προκειμένου η Ζώνη ΙΙΙ να μην επηρεάζει το control room της εγκατάστασης χρειάζεται να μειωθεί η ακτίνα της επίδρασης της κατά 14 m (250 – 236 = 14 m).

Όπως και στις προηγούμενες παραγράφους χρειάζεται να αναφερθεί ότι η Ζώνη ΙΙΙ με ακτίνα 250 m έχει υπολογιστεί για κλάσμα της παραγόμενης θερμότητας καύσης F_s ίσο με 60% (Παπαδάκης, 2007).

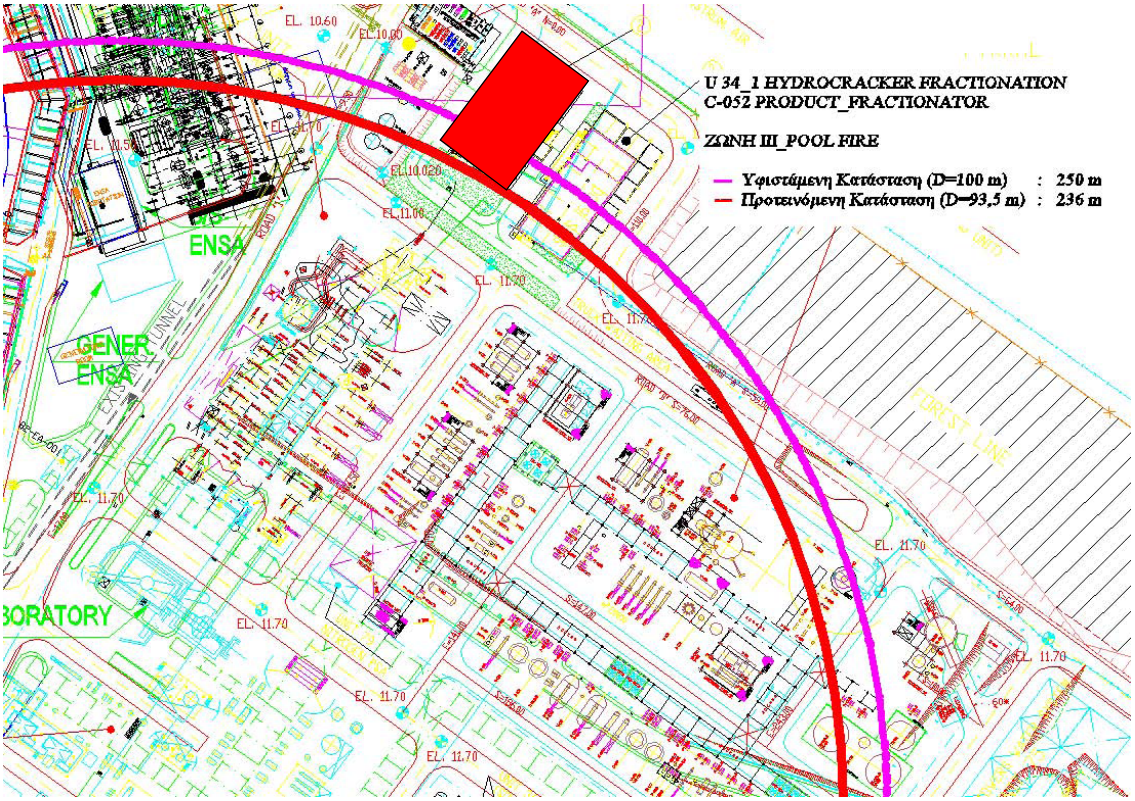
<u>Διερεύνηση για τη Ζώνη ΙΙΙ</u>

Από την εξίσωση 4.6.2.1 η μέγιστη δυνατή διάμετρος D_{max} για την οποία η Ζώνη Ι δεν επηρεάζει το control room είναι:

$$x_3 = \left(B \cdot D_{\max} \cdot e^{-0,0028 \cdot T_\alpha}\right)^{0,917} = 236 \Rightarrow$$

$$D_{\max} = 93,5 \text{ (m)}$$

Η διάμετρος D_{max} προκύπτει να είναι ίση με 93,5 m. Στο σχήμα 6.4.4.1 παριστάνονται οι ακτίνες στις οποίες εκτείνεται η Ζώνη ΙΙΙ για τιμές της διαμέτρου D ίσες με 100 m και 93,5 m.



Σχήμα 6.4.4.1: Διερεύνηση για τη διάμετρο D της φωτιάς λίμνης αναφορικά με τη Ζώνη ΙΙΙ

Επομένως χρειάζεται να μειωθεί η ισοδύναμη διάμετρος D της φωτιάς λίμνης μόλις κατά 6,5 m στο συγκεκριμένο εξοπλισμό προκειμένου να μην επηρεάζεται από την Ζώνη III το control room της εγκατάστασης. Η μείωση αυτή αντιστοιχεί σε **μείωση της επιφάνειας της φωτιάς λίμνης κατά 12,6%**.

6.5 Συγκεντρωτικός πίνακας προτεινόμενων διορθωτικών μέτρων

Στον πίνακα 6.5.1 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα σχετικά με τα προτεινόμενα διορθωτικά μέτρα, όπως αυτά προέκυψαν από την εφαρμογή των αποτελεσμάτων της ανάλυσης ευαισθησίας στην περίπτωση των δυσμενέστερων ατυχηματικών φαινομένων στις νέες μονάδες του διυλιστηρίου. Στον πίνακα αναφέρονται τα ποσοστά μείωσης των αντίστοιχων παραμέτρων για κάθε φαινόμενο. Στο φαινόμενο VCE, η κλάση CN αναγράφεται στον πίνακα ως πληροφορία για να δείξει σε ποια κλάση έκρηξης αντιστοιχεί η μείωση της μάζας που προτείνεται.

Πίνακας 6.5.1: Συγκεντρωτικά προτεινόμενα διορθωτικά μέτρα αναφορικά με τα worst case σενάρια

UNIT	Ζώνη 37,5 kW/m^2		Ζώνη I		Ζώνη II		Ζώνη III			
A/A	BLEVE	Pool Fire	BLEVE	Pool Fire	VCE		BLEVE	VCE		Pool Fire
	Μάζα	Επιφάνεια	Μάζα	Επιφάνεια	Κλάση CN	Μάζα	Μάζα	CN	Μάζα	Επιφάνεια
U31	-	38,4%	-	66%	10	63,7%	-	-	-	-
U32	*14,4%*	-	97,1%	*27,4%*	-	-	-	5	40,8%	-
U33	-	-	-	-	-	-	*28,3%*	-	-	-
U34_1	-	-	*21,6%*	-	-	-	-	-	-	*12,6%*
U34_2	*25,1%*	-	83%	-	-	-	-	-	-	-
U34_3	-	-	*17,9%*	-	-	-	-	-	-	-

Όπως φαίνεται και στον πίνακα 6.5.1 είναι προφανές ότι σχετικά με τις διορθωτικές ενέργειες, πρέπει πρώτα να εξετασθούν οι περιπτώσεις όπου απαιτούνται επεμβάσεις με τη μικρότερη μείωση:

α) στη μάζα M της ουσίας που συμμετέχει, για τα φαινόμενα BLEVE και VCE και

β) στην ισοδύναμη διάμετρο και κατ'επέκταση στην επιφάνεια της λίμνης, για το φαινόμενο Pool Fire.

Αυτές οι περιπτώσεις παρουσιάζονται με πλάγια γράμματα στον πίνακα 6.5.1.

7° ΚΕΦΑΛΑΙΟ

Συμπεράσματα και Μελλοντικές Κατευθύνσεις

7.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα συμπεράσματα τα οποία προέκυψαν από την ανάλυση παραμετρικής ευαισθησίας των μοντέλων προσομοίωσης των συνεπειών από ατυχηματικά φαινόμενα που πραγματοποιήθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια της παρούσας ερευνητικής εργασίας. Επιπλέον διατυπώνονται προτάσεις σχετικά με μελλοντικές κατευθύνσεις για την περαιτέρω διερεύνηση των θεμάτων που πραγματεύεται η παρούσα ερευνητική διατριβή.

7.2 Συμπεράσματα

Στην παρούσα παράγραφο καταγράφονται τα γενικά συμπεράσματα, όπως αυτά προέκυψαν από την ανάλυση που προηγήθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια. Αρχικά όπως ειπώθηκε στο Κεφ. 1, η παρούσα εργασία επιχειρεί να καλύψει ένα ερευνητικό κομμάτι το οποίο δεν λαμβάνεται υπόψη στις μελέτες ασφάλειας και τις σχετικές μελέτες. Εξετάζει ατυχηματικά σενάρια με τις δυσμενέστερες επιπτώσεις για τους εργαζόμενους (worst case σενάρια) με πιθανότητα εμφάνισης σχετικά χαμηλή. Η μελέτη περιλαμβάνει παράδειγμα εφαρμογής για τις νέες μονάδες διυλιστηρίου, στο οποίο εφαρμόστηκαν τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας για τις παραμέτρους προσομοιωτικών μοντέλων των ατυχηματικών φαινομένων. Εξετάζονται οι δυσμενέστερες περιπτώσεις σεναρίων ατυχημάτων (worst case σενάρια) των οποίων οι επιπτώσεις επηρεάζουν το control room της εγκατάστασης, όπως αυτές προέκυψαν από τη μελέτη ασφάλειας των νέων μονάδων (Παπαδάκης, 2007). Συνολικά επιλέχθηκαν 10 σενάρια BAME.

Αναφορικά δε με τις παραμέτρους των προσομοιωτικών μοντέλων των ατυχηματικών φαινομένων, βασικό αποτελέσματα της παρούσας εργασίας αποτελεί η κατάταξη των παραμέτρων αυτών βάσει της σημαντικότητας τους στον ακριβή υπολογισμό της έκτασης των επιπτώσεων, που προκαλούνται από κάθε φαινόμενο. Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται ξανά στους πίνακες 4.3.4.4, 4.4.3.2 και 4.5.6.3 παρακάτω.

Πίνακας 4.3.4.4: Ιεράρχηση παραμέτρων με βάση τη σημαντικότητά τους για το φαινόμενο Bleve

Α/Α	Παράμετροι	Σημαντικότητα
1	Μάζα Μ της ουσίας	Πολύ Σημαντική
2	Θερμοκρασία λειτουργίας T_{op}	Λίγο Σημαντική

3	Θερμοκρασία περιβάλλοντος T_α	Ασήμαντη

Πίνακας 4.4.3.2: Ιεράρχηση παραμέτρων με βάση τη σημαντικότητά τους για το φαινόμενο VCE

Α/Α	Παράμετροι	Σημαντικότητα
1	Κλάση της έκρηξης CN	Πολύ Σημαντική
2	Μάζα M της ουσίας εντός εκρηκτικού νέφους	Σημαντική

Πίνακας 4.5.6.3: Ιεράρχηση παραμέτρων με βάση τη σημαντικότητά τους για το φαινόμενο Pool Fire

Α/Α	Παράμετροι	Σημαντικότητα
1	Ισοδύναμη διάμετρος λίμνης D	Πολύ Σημαντική
2	Κλάσμα της παραγόμενης θερμότητας καύσης που εκπέμπεται F_s	Λίγο Σημαντική
3	Ταχύτητα ανέμου uw	Ασήμαντη
4	Θερμοκρασία περιβάλλοντος T_α	Ασήμαντη
5	Συγκέντρωση C_{CO2}	Ασήμαντη

Επομένως για το φαινόμενο **BLEVE**, προκύπτει το συμπέρασμα ότι η έκταση των επιπτώσεων επηρεάζεται κύρια από τρεις παραμέτρους με σημαντικότερη από όλες αυτήν της μάζας της ουσίας M. Υπό αυτήν την έννοια αν κάποιος αναζητά τρόπο να μειώσει την έκταση των επιπτώσεων από ένα πιθανό ατύχημα BLEVE, θα πρέπει να εστιάσει κυρίως στη μείωση της μάζας της ουσίας που είναι δυνατό να συμμετέχει στο φαινόμενο και έπειτα να ασχοληθεί με τη μεταβολή των άλλων παραμέτρων. Για την παράμετρο της θερμοκρασίας λειτουργίας T_{op}, αυτή μπορεί να επηρεάσει την έκταση στο φαινόμενο BLEVE αλλά όχι σε τέτοιο βαθμό όπως η εμπλεκόμενη μάζα της ουσίας M. Εκτός των άλλων υπάρχει ένα εύρος τιμών εντός του οποίου είναι δυνατόν να μεταβάλλεται η τιμή της T_{op} και συνεπώς η έκταση των επιπτώσεων σε ένα BLEVE. Όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 4.6.1 η θερμοκρασία λειτουργίας T_{op} είναι μία παράμετρος η τιμή της οποίας καθορίζεται από τις συνθήκες των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στο σύστημα που εξετάζεται η διαρροή. Για την θερμοκρασία περιβάλλοντος T_α όπως φάνηκε από την ανάλυση στο Κεφ. 4, αυτή είναι μία παράμετρος που έχει ελάχιστη επίδραση τόσο στο φαινόμενο BLEVE, όσο και στο Pool Fire.

Για το φαινόμενο **Pool Fire**, η έκταση των επιπτώσεων επηρεάζεται κύρια από πέντε παραμέτρους με σημαντικότερη την ισοδύναμη διάμετρο D της φωτιάς λίμνης. Άρα σε ένα Pool Fire για να μειωθεί η έκταση των επιπτώσεων, χρειάζεται κατά κύριο λόγο να μειωθεί η ισοδύναμη διάμετρος της λίμνης D και στη συνέχεια διερευνάται η επίδραση των υπολοίπων παραμέτρων. Να σημειωθεί ότι στην περίπτωση του Pool Fire και για περιορισμένες λίμνες (confined), όπως αυτές που εξετάζονται στην παρούσα εργασία, η μάζα M της ουσίας δεν επηρεάζει την έκταση των Ζωνών Επιπτώσεων, παρά μόνο τη χρονική διάρκεια του φαινομένου. Όσον αφορά το κλάσμα F_s της παραγόμενης θερμότητας καύσης που εκπέμπεται από την επιφάνεια της φλόγας, το συμπέρασμα που έχει εξαχθεί για αυτή την παράμετρο, είναι ότι έχει κάποια επίδραση στο φαινόμενο Pool Fire, αλλά δεν αποτελεί μία σημαντική παράμετρο, διότι η επίδραση της είναι σημαντικά μικρότερη από αυτήν της ισοδύναμης διαμέτρου D. Ακόμα πιο σημαντικό είναι το γεγονός ότι η τιμή του κλάσματος F_s είναι πρακτικά αδύνατο να ελεγχθεί κατά τη διάρκεια εξέλιξης ενός φαινομένου Pool Fire ή να ρυθμιστεί προληπτικά, δηλαδή πριν λάβει χώρα μία φωτιά λίμνης. Σχετικά με τις τρεις άλλες παραμέτρους που επηρεάζουν το φαινόμενο και φαίνονται στον πίνακα 4.5.6.3, η επίδραση τους στην έκταση των επιπτώσεων του φαινομένου είναι στην πράξη, και συγκριτικά με την επίδραση της ισοδύναμης διαμέτρου, ελάχιστη έως αμελητέα.

Για το φαινόμενο της έκρηξης αερίου νέφους (**VCE** ή **UVCE**), η έκταση των επιπτώσεων που προκαλεί, επηρεάζεται κύρια από δύο παραμέτρους, την κλάση της έκρηξης CN και ακολούθως τη μάζα της ουσίας M. Οι παράμετροι αυτές έχουν και οι δύο σημαντική επίδραση στην έκταση των επιπτώσεων του φαινομένου VCE. Η κλάση της έκρηξης CN θεωρείται πολύ σημαντική καθώς είναι αυτή που καθορίζει ακόμα και την ύπαρξη ή μη των Ζωνών Επιπτώσεων. Για παράδειγμα, όπως ειπώθηκε στο Κεφ. 4 για κλάση έκρηξης CN=5 δεν υφίσταται Ζώνη I, η οποία όμως υφίσταται για CN=6. Όμως το συμπέρασμα που προέκυψε για την κλάση έκρηξης από την παρούσα μελέτη, είναι ότι παρόλο αυτή αποτελεί μία πολύ σημαντική παράμετρο για το φαινόμενο και είναι αναγκαίο να λαμβάνεται υπόψη στις μελέτες που αναφέρονται στον περιορισμό των επιπτώσεων από VCE, ταυτόχρονα είναι εξαιρετικά δύσκολο να προβλεφθεί, να ρυθμιστεί και να ελεγχθεί με ακρίβεια η τιμή της παραμέτρου αυτής. Είναι γνωστός ο μηχανισμός με τον οποίο αυτή υπολογίζεται (βλ. Πίνακα 4.4.3.1), αλλά δεν μπορεί να υπάρχει βεβαιότητα ότι για συγκεκριμένες συνθήκες εγκλωβισμού και αρχικής ενέργειας έναυσης θα προκύψει κλάση, π.χ CN=6 ή CN=5. Αυτό συμβαίνει διότι οι παράμετροι που αφορούν στον εγκλωβισμό και στην ενέργεια έναυσης είναι ποιοτικοί και εμπειρικοί, επομένως δεν μπορεί με σαφήνεια να προσδιοριστεί η κλάση έκρηξης κατά την προσομοίωση. Πάντοτε θεωρείται η δυσμενέστερη περίπτωση για τις εκάστοτε συνθήκες και υπολογίζονται οι επιπτώσεις ανάλογα.

Επιπλέον ένα ακόμη συμπέρασμα που αφορά την παράμετρο αυτή, αποτελεί το γεγονός ότι σε μία έκρηξη αερίου νέφους η έκταση της Ζώνης Επιπτώσεων III (50 mbar) δεν

μεταβάλλεται καθόλου για τις κλάσεις έκρηξης 6 εώς 10, για την ίδια μάζα αερίου νέφους. Το συμπέρασμα αυτό προκύπτει από το διάγραμμα 5.8A (Figure 5.8A) του CPR-14E Yellow Book, στο οποίο παρατίθενται καμπύλες για τον υπολογισμό της κανονικοποιημένης πίεσης P_s' συναρτήσει της κανονικοποιημένης απόστασης r΄ (βλ. παράγραφο 3.2.2), σύμφωνα με τη μέθοδο Multi-Energy.

Από την άλλη η παράμετρος που αφορά τη μάζα της ουσίας M που συμμετέχει στην έκρηξη, αποτελεί και αυτή με τη σειρά της μία σημαντική μεταβλητή, που καθορίζει κυρίως την απόσταση στην οποία λαμβάνουν χώρα συγκεκριμένες υπερπιέσεις, δηλαδή την έκταση των Ζωνών Επιπτώσεων. Δεν καθορίζει όμως την ύπαρξη ή μη διαφόρων τιμών υπερπίεσης αντίστοιχων αυτών των Ζωνών Επιπτώσεων, όπως συμβαίνει με την κλάση της έκρηξης CN. Το συμπέρασμα αυτό είναι σωστό με βάση τις ποσότητες αερίων καυσίμων που συνήθως υπάρχουν στις εγκαταστάσεις διυλιστηρίων, διότι είναι γνωστό ότι για να στοιχειοθετηθεί έκρηξη αερίου νέφους, είναι αναγκαίο να υπάρχει ικανή ποσότητα αερίου το οποίο να βρίσκεται σε στοιχειομετρική αναλογία με τον αέρα της ατμόσφαιρας (μεταξύ LEL και UEL). Η εμπειρία όμως έχει δείξει ότι σε ατυχήματα που λαμβάνει χώρα διαφυγή εύφλεκτων αερίων σε εγκαταστάσεις διυλιστηρίων, η αναγκαία αυτή ποσότητα που χρειάζεται για να σχηματιστεί εκρηκτικό νέφος, συνήθως υπάρχει.

Εκτός από τις παραπάνω παραμέτρους που επηρεάζουν τα φαινόμενα BLEVE, Pool Fire και VCE, όπως αναφέρθηκε στο Κεφ. 4, υπάρχει άλλη μία παράμετρος, ο τύπος της ουσίας που συμμετέχει στα φαινόμενα. Η παράμετρος αυτή δεν εξετάστηκε στην παρούσα μελέτη, διότι θεωρείται ότι ανάλυση ευαισθησίας γίνεται σε ένα σύστημα ή κύκλωμα όπου περιέχονται συγκεκριμένες επικίνδυνες ουσίες, λόγω της φύσης των διεργασιών. Αλλαγή στις ουσίες θα σήμαινε αλλαγή του συστήματος. Εξάλλου οι ουσίες που εξετάζονται αποτελούν τις δυσμενέστερες περιπτώσεις διεργασιών. Παρόλαυτά στην ανάλυση που διεξήχθη ερευνήθηκαν διάφοροι τύποι ουσιών για κάθε φαινόμενο, με την προϋπόθεση όμως να μπορούν να συμμετέχουν σε αυτό από την άποψη των φυσικών τους ιδιοτήτων. Για παράδειγμα το πετρέλαιο (Diesel) δεν θεωρείται ότι μπορεί να συμμετέχει σε BLEVE όταν εξετάζεται ως η μοναδική εμπλεκόμενη ουσία. Το φαινόμενο BLEVE εξετάστηκε για LPG, που είναι και η δυσμενέστερη περίπτωση στην πράξη και για βενζίνη (Gasoline). Το συμπέρασμα που προέκυψε από την προκαταρκτική ανάλυση των φαινομένων με διαφορετικούς τύπους ουσιών είναι ότι για το ίδιο φαινόμενο υπάρχουν σημαντικές διαφορές στην έκταση των Ζωνών Επιπτώσεων. Στο παράδειγμα εφαρμογής, οι ουσίες που διαχειρίζεται και που αποθηκεύει μία εγκατάσταση είναι δεδομένες.

Με βάση τα παραπάνω και όπως αναφέρθηκε στο Κεφ. 6, οι σημαντικότερες παράμετροι, που επιλέχθηκαν στην παρούσα εργασία, για την ανάλυση των ατυχηματικών φαινομένων στο παράδειγμα εφαρμογής είναι οι παρακάτω:

<u>Σημαντικές παράμετροι των φαινομένων για την ανάλυση</u>

- **Bleve**:
  1. Μάζα M της ουσίας (kg).
- **Έκρηξη αερίου νέφους (VCE)**:
  1. Κλάση της έκρηξης CN (-) και
  2. Μάζα M της ουσίας (kg).
- **Φωτιά λίμνης (Pool Fire)**:
  1. Ισοδύναμη διάμετρος λίμνης D (m).

Οι εξισώσεις που παρουσιάστηκαν στην παράγραφο 4.6 βάσει των οποίων υπολογίζεται η μεταβολή της απόστασης x, στην οποία εκτείνονται συγκεκριμένα επίπεδα θερμικής ακτινοβολίας q″ από τα φαινόμενα BLEVE και Pool Fire, είναι σημαντικό καινοτόμο επίτευγμα της παρούσας ερευνητικής μελέτης και από αυτές μπορούν να εξαχθούν διάφορα χρήσιμα και ενδιαφέροντα συμπεράσματα.

Για το φαινόμενο **BLEVE** και με βάση την εξίσωση 4.6.1.2 συμπεραίνεται ότι για μεγάλες αποστάσεις (μεγάλο x) και για μεγάλες τιμές της μάζας της ουσίας (μεγάλο M) οι εκτιμήσεις των Ζωνών Επιπτώσεων με την εξίσωση 4.6.1.1 γίνονται πιο ακριβείς. Επίσης από την εξίσωση 4.6.1.3 συμπεραίνεται ότι η θερμοκρασία περιβάλλοντος T_α δεν επηρεάζει σημαντικά την ευαισθησία η οποία είναι ιδιαιτέρως μικρή, ενώ μειώνεται αρκετά για μεγαλύτερες αποστάσεις (μεγάλο x), όπως έχει ήδη προκύψει και από την ανάλυση για το BLEVE (όπως παρουσιάζεται στην παράγραφο 4.3).

$$x = \left[A \cdot P_{sv}^{\ 0,32} \cdot e^{-0,0028 \cdot T_\alpha} \cdot M^{0,71} - 41,99 \cdot M^{0,65}\right]^{0,5} \text{ (m)} \qquad (4.6.1.1)$$

όπου: $A = 6,62 \cdot 10^{-4} \cdot \dfrac{\Delta H}{q''}$,

$$\frac{\partial x}{\partial M} = \frac{1}{x} \cdot \left(A_1 \cdot P_{sv}^{\ 0,32} \cdot e^{-0,0028 \cdot T_\alpha} \cdot M^{-0,29} - 13,65 \cdot M^{-0,32}\right) \qquad (4.6.1.2)$$

όπου: $A_1 = 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot \dfrac{\Delta H}{q''}$,

$$\frac{\partial x}{\partial T_\alpha} = \frac{1}{x} \cdot \left(A_2 \cdot P_{sv}^{\ 0,32} \cdot M^{0,71} \cdot e^{-0,0028 \cdot T_\alpha}\right) \qquad (4.6.1.3)$$

όπου: $A_2 = -9,3 \cdot 10^{-7} \cdot \dfrac{\Delta H}{q''}$.

Για το φαινόμενο **Pool Fire** και με βάση την εξίσωση 4.6.2.2 συμπεραίνεται ότι για καθορισμένες λίμνες με σταθερή αναλογία ύψους φλόγας με διάμετρο λίμνης, όπως αυτές που μελετώνται στην παρούσα εργασία, η παραμετρική ευαισθησία της απόστασης x με την ισοδύναμη διάμετρο D της λίμνης μπορεί να θεωρηθεί σταθερή. Ακόμα από την εξίσωση 4.6.2.3 προκύπτει ότι όσο πιο μακριά από τη φλόγα βρίσκεται ο στόχος που ενδιαφέρει, τόσο μειώνεται το αποτέλεσμα της εκτίμησης της έκτασης των Ζωνών Επιπτώσεων με βάση την εξίσωση 4.6.2.1. Τέλος από την εξίσωση 4.6.2.4 προκύπτει ότι η παραμετρική ευαισθησία της απόστασης x ως προς το κλάσμα F_s αυξάνεται για μεγάλες αποστάσεις (μεγάλο x), συνεπώς μειώνεται η ακρίβεια στον υπολογισμό της έκτασης των Ζωνών Επιπτώσεων.

$$x = \left(B \cdot D \cdot e^{-0,0028 \cdot T_\alpha}\right)^{0,917} \text{ (m)} \qquad (4.6.2.1)$$

όπου: $\mathrm{B} = \left(0,02 \cdot F_s \cdot m'' \cdot \Delta H_c + 4,852 \cdot 10^3\right) \cdot \frac{1}{q''}$,

$$\frac{\partial x}{\partial D} = 0,917 \cdot \left(B \cdot e^{-0,0028 \cdot T_\alpha}\right)^{0.917} \cdot D^{-0,083} = 0,917 \cdot \frac{x}{D} \qquad (4.6.2.2)$$

$$\frac{\partial x}{\partial T_\alpha} = -0,0026 \cdot \left(B \cdot D \cdot e^{-0,0028 \cdot T_\alpha}\right)^{0.917} = -0,0026 \cdot x \qquad (4.6.2.3)$$

$$\frac{\partial x}{\partial F_s} = B_1 \cdot B^{-0,083} \left(D \cdot e^{-0,0028 \cdot T_\alpha}\right)^{0.917} = \frac{B_1}{B} \cdot x \qquad (4.6.2.4)$$

όπου: $B_1 = 0,018 \cdot m'' \cdot \Delta H_c \cdot \frac{1}{q''}$.

Για το φαινόμενο της έκρηξης αερίου νέφους (**VCE**) προέκυψε το συμπέρασμα ότι δεν είναι δυνατό να εξαχθεί μία γενική εξίσωση, όπως αυτές της παραγράφου 4.6 για τα φαινόμενα BLEVE και Pool Fire, η οποία να καλύπτει τις επιπτώσεις του φαινομένου VCE σε κάθε περίπτωση βασιζόμενη στη μέθοδο Multi – Energy. Για τον υπολογισμό των επιπτώσεων σε ένα φαινόμενο VCE με βάση τη μέθοδο Multi – Energy είναι απαραίτητο να εξετάζεται η κάθε περίπτωση ξεχωριστά με βάση τα διαγράμματα της μεθόδου (CPR-14E Yellow Book, 1997).

Στην παρούσα εργασία τα φαινόμενα που αναφέρονται είναι τα δυσμενέστερα (worst case) σενάρια, επιλέχθηκαν για την ανάλυση στο παράδειγμα εφαρμογής και κατατάχθηκαν σε τρεις κατηγορίες Α, Β και Γ με βάση την έκταση των Ζωνών Επιπτώσεων και ανάλογα με τη σημαντικότητα των επιπτώσεων στους εργαζόμενους στο control room. Τα δυσμενέστερα φαινόμενα από πλευράς σημαντικότητας επιπτώσεων, που κατατάχθηκαν στην κατηγορία Α, είναι όλα φαινόμενα BLEVE, των οποίων η Ζώνη

Επιπτώσεων I (και σε δύο περιπτώσεις η Ζώνη 37,5 kW/m^2) επηρεάζει το control room. Όπως φάνηκε από την ανάλυση και παρουσιάζεται στα Κεφ. 5 και 6, μπορεί να ειπωθεί ότι **το σενάριο BLEVE στη μονάδα U34_2** (Μονάδα Καταλυτικής Πυρόλυσης, Τμήμα Αντιδραστήρων - Unicracking Unit, Reactor Section) **είναι το δυσμενέστερο όλων από πλευράς επιπτώσεων στο control room και στους εργαζόμενους.** Όπως έχει ήδη αναφερθεί βασικός λόγος για τον οποίο ισχύει το παραπάνω συμπέρασμα είναι το γεγονός ότι το φαινόμενο BLEVE έχει πολύ μικρή διάρκεια (συνήθως <40 sec) ενώ το επίπεδο ακτινοβολίας στα όρια της πύρινης σφαίρας είναι πολύ υψηλό, μπορεί να φτάσει τα 200 kW/m^2 (CPR-14E Yellow Book, 1997). Τα μέτρα που είναι δυνατόν να ληφθούν σχετίζονται με την εγγενή ασφάλεια και τις κατασκευαστικές παραμέτρους του χώρου που βρίσκονται οι εργαζόμενοι. Παρόμοια κατάσταση ισχύει και για την έκρηξη αερίου νέφους VCE.

Από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στο Κεφ. 6 προέκυψε ότι για τα φαινόμενα BLEVE της κατηγορίας A, η έκταση της Ζώνης I, που είναι αυτή που επηρεάζει το δωμάτιο ελέγχου και που ενδιαφέρει περισσότερο στην παρούσα εργασία, **είναι εφικτό** να περιοριστεί με κατάλληλη μείωση της μάζας της εμπλεκόμενης ουσίας. Συνεπώς εξάγεται το συμπέρασμα ότι τα μέτρα ασφαλείας πρέπει να ενταθούν κύρια, στη μέγιστη ποσότητα του καυσίμου που συμμετέχει στο φαινόμενο. Επιπλέον μέτρα ασφαλείας που είναι σημαντικά για την προστασία από BLEVE, είναι η σωστή λειτουργία των ασφαλιστικών στις δεξαμενές, ενώ κατασκευαστικά οι χώροι του προσωπικού θα πρέπει να αντέχουν το θερμικό shock που προκαλείται από BLEVE και παράλληλα το προσωπικό θα πρέπει να τηρεί τις διαδικασίες ασφαλείας που ορίζονται για την εγκατάσταση.

Τα αμέσως επόμενα δυσμενέστερα φαινόμενα από πλευράς σημαντικότητας επιπτώσεων, τα οποία κατατάχθηκαν στην κατηγορία B, είναι δύο ατυχήματα Φωτιάς Λίμνης (Pool Fire) ισοδύναμης διαμέτρου D=100m, των οποίων η Ζώνη Επιπτώσεων I (στη μονάδα U31 και η Ζώνη 37,5 kW/m^2 - DOMINO) επηρεάζει το control room. Οι μονάδες στις οποίες λαμβάνουν χώρα είναι σε άμεση γειτνίαση με το control room της εγκατάστασης. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι μικρότερες λίμνες καυσίμου (D=50m) στις ίδιες μονάδες δεν επηρεάζουν το control room της εγκατάστασης.

Στα Pool Fire της κατηγορίας B, όπως και στην περίπτωση των BLEVE της κατηγορίας A, η Ζώνη I είναι αυτή που επηρεάζει το control room, όμως κατατάχθηκαν στην κατηγορία B διότι οι επιπτώσεις από φωτιές λίμνης θεωρούνται περισσότερο ελεγχόμενες από τις αντίστοιχες των BLEVE. Για παράδειγμα για φωτιά λίμνης LPG το επίπεδο ακτινοβολίας στην επιφάνεια της φλόγας είναι της τάξης των 100 kW/m^2 , ενώ το αντίστοιχο στην επιφάνεια της πύρινης σφαίρας σε ένα BLEVE, όπως ειπώθηκε παραπάνω, είναι της τάξης των 200 kW/m^2. Εκτός των άλλων για τα φαινόμενα Pool Fire υπάρχει χρόνος για επέμβαση και περιορισμό των επιπτώσεων τους. Το φαινόμενο της φωτιάς λίμνης μπορεί να αντιμετωπιστεί με διάφορα μέτρα επέμβασης. Τα

συμπεράσματα που προέκυψαν από την ανάλυση σχετικά με τα μέτρα περιορισμού που προτείνεται να ληφθούν είναι κατ΄αρχήν ο περιορισμός της λίμνης του διαρρεύσαντος καυσίμου ώστε οι λίμνες να μην φτάνουν σε μεγάλη έκταση (ισοδύναμης διαμέτρου 100 μέτρων). Επίσης περιορισμός της εκλυόμενης ποσότητας εάν αυτό είναι δυνατόν στο χρόνο εξέλιξης του φαινομένου, ώστε τα ελαχιστοποιηθεί η διάρκεια των φαινομένων. Ακόμα μπορούν να διαμορφωθούν κατάλληλα οι κλίσεις στο έδαφος της εγκατάστασης ώστε το καύσιμο που διαρρέει να απομακρύνεται από τις επικίνδυνες για πρόκληση ατυχήματος περιοχές της εγκατάστασης και να συγκεντρώνεται σε ασφαλή περιοχή, όσο το δυνατόν σε μεγαλύτερη απόσταση από το χώρο συγκέντρωσης εργαζομένων και κρίσιμων σημείων. Επιπλέον κρίνεται σκόπιμη η χρησιμοποίηση των αποτελεσμάτων της παρούσας μελέτης από την ειδικά εκπαιδευμένη ομάδα (Ομάδα Έκτακτων Αναγκών) για περιορισμό των επιπτώσεων στο control room.

Τελευταία κατηγορία δυσμενών φαινομένων από πλευράς σημαντικότητας επιπτώσεων, είναι η Κατηγορία Γ στην οποία κατατάχθηκαν τέσσερα συνολικά ατυχήματα με Ζώνες Επιπτώσεων ΙΙ και ΙΙΙ. Από τα ατυχήματα αυτά μπορεί να προκληθεί σοβαρός τραυματισμός στο προσωπικό. Τα ατυχήματα της κατηγορίας Γ αποτελούνται από δύο εκρήξεις αερίου νέφους με Ζώνες Επιπτώσεων ΙΙ και ΙΙΙ, ένα BLEVE με Ζώνη Επιπτώσεων ΙΙΙ και μία Φωτιά Λίμνης ισοδύναμης διαμέτρου D=100m με τη Ζώνη ΙΙΙ να επηρεάζει το control room. Όπως προέκυψε από την ανάλυση για τα φαινόμενα αυτά στο Κεφ. 6, η έκταση των επιπτώσεων τους **είναι εφικτό** να περιοριστεί με κατάλληλη μείωση των σημαντικών παραμέτρων κάθε φαινομένου (βλ. Πίνακα 6.5.1).

Τα μέτρα προστασίας που προτείνονται για τα φαινόμενα BLEVE και Pool Fire είναι ίδια με αυτά που αναφέρθηκαν παραπάνω, παρότι στη συγκεκριμένη περίπτωση οι επιπτώσεις είναι σημαντικά μειωμένες σε σχέση με τα αντίστοιχα φαινόμενα των κατηγοριών Α και Β, αφού πρόκειται για Ζώνη Επιπτώσεων ΙΙΙ. Αυτό όμως δεν σημαίνει ότι δεν μπορεί να υπάρξει περαιτέρω βελτίωση στα μέτρα ασφάλειας της εγκατάστασης, ώστε να εξαλειφθεί ακόμα και περίπτωση της Ζώνη ΙΙΙ να επηρεάζει το δωμάτιο ελέγχου.

Για την περίπτωση των εκρήξεων αερίου νέφους τα μέτρα προστασίας που προτείνεται να ληφθούν είναι όμοια με αυτά που αναφέρθηκαν παραπάνω για τα φαινόμενα BLEVE, αφού και το φαινόμενο της έκρηξης αερίου νέφους, είναι φαινόμενο με πολύ μικρή διάρκεια και δεν υπάρχει ο απαραίτητος χρόνος που να επιτρέπει ενέργειες για τον περιορισμό των επιπτώσεων κατά την διάρκεια εξέλιξης του φαινομένου, όπως συμβαίνει στις Φωτιές Λίμνης. Άρα τα μέτρα ασφάλειας που μπορούν να ληφθούν είναι προσανατολίζονται κυρίως στην πρόληψη του φαινομένου, δηλαδή στην αποφυγή να συμβεί το φαινόμενο και σχετίζονται περισσότερο με την εγγενή ασφάλεια και τις κατασκευαστικές παραμέτρους του χώρου που βρίσκονται οι εργαζόμενοι (control room). Για την περίπτωση του VCE θα πρέπει να ληφθούν υπόψη τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης για την κατασκευή κτιρίου blast proof για το control room. Οι δεξαμενές, οι σωληνώσεις και γενικά ο εξοπλισμός των εγκαταστάσεων πρέπει να

βρίσκεται σε άριστη κατάσταση γεγονός που διασφαλίζεται με την πραγματοποίηση συντήρησης και τακτικών ελέγχων. Από την ανάλυση φάνηκε ότι μείωση της τιμής των σημαντικών παραμέτρων των φαινομένων συντελεί σε μείωση της έκτασης των Ζωνών Επιπτώσεων ώστε να μην υπάρχει επίδραση στο δωμάτιο ελέγχου. Επομένως εξάγεται το συμπέρασμα ότι τα μέτρα ασφαλείας χρειάζεται να ενταθούν με αναφορά στην ποσότητα διαρροής καυσίμου που συμμετέχει στο φαινόμενο, καθώς και στον απεγκλωβισμό του αερίου νέφους, αν αυτό είναι εφικτό χωροταξικά και κατασκευαστικά για την εγκατάσταση. Ένα τέτοιο μέτρο συνεπάγεται μελέτη και αλλαγές στη διάταξη του εξοπλισμού των μονάδων.

Ανακεφαλαιώνοντας, βασικός στόχος της εργασίας αυτής είναι η διερεύνηση σχετικά με το αν είναι αναγκαίο και εφικτό, μέσα από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στην παρούσα εργασία, να εξετασθούν επεμβάσεις:

α) στα λειτουργικά συστήματα των μονάδων,

β) στη χωροθέτηση του εξοπλισμού και των μονάδων,

γ) στα συστήματα ασφάλειας,

δ) στην χωροθέτηση του σημείου-στόχου (control room),

ε) στα μέτρα προστασίας στο σημείο στόχου και

στ) στα μέτρα και τις διαδικασίες των Σχεδίων Έκτακτης Ανάγκης (ΣΕΑ).

Για τις νέες εγκαταστάσεις του διυλιστηρίου κύριος και βασικός στόχος πρέπει να είναι η ασφάλεια των εργαζομένων. Το συμπέρασμα που εξάγεται από την ανάλυση και σύμφωνα με όσα έχουν αναφερθεί παραπάνω είναι ότι θεωρείται αναγκαίο να μελετηθούν οι διορθωτικές ενέργειες και πιθανές επεμβάσεις για τη βελτίωση της ασφάλειας των εργαζομένων και των εγκαταστάσεων. Σε περίπτωση που δεν είναι δυνατό να επιτευχθεί η μείωση στις τιμές των σημαντικών παραμέτρων όπως προτείνεται στην ανάλυση στο Κεφ. 6, π.χ. μέσω παρεμβάσεων στα λειτουργικά συστήματα των μονάδων, πρέπει να μελετηθούν παρεμβάσεις στα σημεία συγκέντρωσης προσωπικού και στα ΜΑΠ.

Σε γενικές γραμμές τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα μελέτη παραμετρικής ανάλυσης ευαισθησίας, αναφορικά με τις Ζώνες Επιπτώσεων που πηγάζουν από τα δυσμενέστερα σενάρια ΒΑΜΕ και τα οποία αναφέρονται παραπάνω, μπορεί να αποδειχθούν πολύ χρήσιμα για τη μελέτη των φαινομένων και τον καθορισμό των Ζωνών Επιπτώσεων ώστε πάντοτε να προάγεται η ασφάλεια των εργαζομένων. Ταυτόχρονα τα συμπεράσματα της μελέτης βρίσκουν εφαρμογή σε οποιεσδήποτε εγκαταστάσεις που διαχειρίζονται επικίνδυνες ουσίες.

Μέρος των αποτελεσμάτων της παρούσας ερευνητικής διατριβής έχουν παρουσιαστεί (Vangeloglou και Papadakis, 2008, “Consequence zoning sensitivity for employees of a

major accident hazard site: the case of refinery control room") στο 4° διεθνές συνέδριο του WORKING ON SAFETY (WOS), που έλαβε χώρα στην Κρήτη από 30 Σεπτεμβρίου έως 3 Οκτωβρίου 2008.

7.3 Μελλοντικές κατευθύνσεις

Η ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στην παρούσα ερευνητική διατριβή είναι δόκιμη και παρουσιάζει σημαντικές προοπτικές περαιτέρω έρευνας. Οι κύριες από τις προοπτικές αυτές και οι αντίστοιχες ερευνητικές κατευθύνσεις εντοπίζονται στην επέκταση της ανάλυσης στα φαινόμενα που δεν εξετάσθηκαν στην παρούσα μελέτη, όπως Διασπορά Τοξικού Νέφους Αερίων, Flash fire, Jet fire, Μη-Περιορισμένες Φωτιές Λίμνης (Unconfined Pool Fires) και Φωτιές Λίμνης στη θάλασσα (Pool Fires on water).

Ακόμα μία πιθανή ερευνητική προοπτική της παρούσας μελέτης αποτελεί η εκτίμηση των πολλαπλασιαστικών φαινομένων (φαινόμενο Domino) με παραδείγματα εφαρμογής σε χώρους και κτιριακές εγκαταστάσεις εργαζομένων.

Τέλος όπως αναφέρθηκε αρχικά στην παράγραφο 1.3, τα worst case σενάρια στα οποία στηρίχθηκε το παράδειγμα εφαρμογής και η ανάλυση στην παρούσα εργασία, προέρχονται από τη μελέτης ασφάλειας SEVESO για τις νέες μονάδες του διυλιστηρίου και έγιναν αποδεκτά ως έχουν. Μία πιθανή ερευνητική κατεύθυνση είναι η επανεξέταση των σεναρίων αυτών και η τροποποίηση τους αναφορικά με τις παραδοχές και τις υποθέσεις στις οποίες στηρίζονται (βλ. Κεφ. 3), ώστε να ερευνηθεί αν θα υπάρξουν κάποιες σημαντικές μεταβολές στα αποτελέσματα της παρούσας ανάλυσης για τις ίδιες μονάδες των διυλιστηρίων. Προτείνεται να επανεξετασθούν κατά προτεραιότητα τα σενάρια για τα οποία προκύπτει ότι σχετικά μικρές μεταβολές στις τιμές των σημαντικών παραμέτρων (βλ. Πίνακα 6.5.1) μπορούν να αποδώσουν σοβαρή βελτίωση στην ασφάλεια των εργαζομένων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] AIChE, (1994), *Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapour Cloud Explosions, Flash Fires, and BLEVEs*, Center for Chemical Process Safety.

[2] Bagster D.G. and Pittblado R.M. (1989), *Thermal Hazardsin the Process Industry*, Chemical Engineering Progress, July 1989, pp. 69-75.

[3] Chatris J.M., et.al. (2001), *Experimental study of burning rate in hydrocarbon pool fires*, Combust. Flame 126: 1373–1383.

[4] Correa J.M., Farret F.A., Popov V.A., Simoes M.G. (2005), *Sensitivity analysis of the modeling parameters used in Simulation of proton exchange membrane fuel cells*, Energy conversion, IEEE transactions on, Vol. 20.

[5] Cowley L.T. and Johnson A.D. (1991), *Blast and Fire Engineering Project for Topside Structures*, Fl1 Oil and gas Fires: Characteristics and Impact.

[6] CPR-14E Yellow Book, (1997), *Methods for the calculation of physical effects of the escape of dangerous materials*, TNO, Ministry of Social Affairs and Employment, The Netherlands.

[7] CPR-16E Green Book, (1992), *Methods for the determination of possible damage to people and objects resulting from releases of hazardous materials*, TNO, Ministry of Social Affairs and Employment, The Netherlands.

[8] Διυλιστήριο (2007), *Μελέτη Ασφάλειας για τις Νέες Μονάδες του Έργου Αναβάθμισης Διυλιστηρίου*, Πολυτεχνείο Κρήτης.

[9] Effects User Manual v.7.4 (2006), *TNO Safety Software, Effects Version 7.4*, TNO Environment, Energy and Process Innovation, Department of Industrial Safety.

[10] European Council Directive 82/501 (1982), *On the control of major accident hazards of certain industrial activities. Official Journal of the European Communities,* Luxembourg: European Commission.

[11] European Council Directive 96/82 (1996), *On the control of major accident hazards involving dangerous substances. Official Journal of the European Communities,* Luxembourg: European Commission.

[12] EC, JRC, Kirchsteiger C., Christou M., and Papadakis G.A. (Eds) (1998), *Risk Assessment and Risk Management in the Context of the Seveso II Directive*, Industrial Safety Series vol. 6, Elsevier.

[13] ΚΥΑ 5697/590 ΦΕΚ 405/Β (2000), *Καθορισμός μέτρων και όρων για την αντιμετώπιση των κινδύνων από ατυχήματα μεγάλης έκτασης σε εγκαταστάσεις ή μονάδες λόγω της ύπαρξης επικίνδυνων ουσιών*, Εφημερίδα της Κυβερνήσεως, Αθήνα.

[14] Μαχαιρά Π. (2006), *Συστήματα Διαχείρισης Ασφάλειας στη διακίνηση επικίνδυνων ουσιών σε Αεροδρόμια*, Διπλωματική Μεταπτυχιακή Ερευνητική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης.

[15] McGrattan K.B., Baum H.R., Hamins A. (2000), *Thermal Radiation from Large Pool Fires*, Fire Safety Engineering Division, Building and Fire Research Laboratory, U.S. Department of Commerce.

[16] Mouzakis G. (2001), *The current situation of the Seveso II Directive's implementation in Greece*, Ministry of the Environment, Planning and Public Works, Greece.

[17] Παπαδάκης Γ.Α. (2007), *Εκτίμηση Επικινδυνότητας Σεναρίων Ατυχημάτων – Μελέτη Ασφάλειας για τις Νέες Μονάδες του Έργου Αναβάθμισης Διυλιστηρίου*, Πολυτεχνείο Κρήτης.

[18] Παπαδάκης Γ.Α. (2003), *Περιγραφή Σεναρίων Ατυχημάτων σε Εγκαταστάσεις με Πολύ Εύφλεκτα Αέρια*, Σημειώσεις Μεταπτυχιακού Μαθήματος «Διαχείριση Επικινδυνότητας στη Βιομηχανία», Πολυτεχνείο Κρήτης.

[19] Papadakis G.A. (Eds) (2001), *Risk Management in the EU of 2000: The challenge of implementing Council Directive 96/82/EC Seveso II, Proceedings of the European Conference "Seveso 2000", Athens, November 1999*. Luxembourg: European Commission, JRC.

[20] Papadakis G.A. and Amendola A. (Eds) (1997), *Guidance on the preparation of a safety report to meet the requirements of Council Directive 96/82/EC (Seveso II)*. Luxembourg: European Commission.

[21] Papadakis G.A. and Porter S. (Eds) 1999. *Guidance on Inspections as required by article 18 of the Council Directive 96/82/EC (Seveso II)*. Luxembourg: European Commission.

[22] Papadakis G.A., Vangeloglou E.N., (2008), *Consequence zoning sensitivity for employees of a major accident hazard site: the case of refinery control room*. Proceedings of the 4th International Conference on WORKING ON SAFETY.NET, Major Accidents OP 101/166, 30 September – 03 October 2008, Crete, Greece.

[23] Perry R.H., Chilton C.H. (1973), *Chemical Engineers' Handbook*, McGraw-Hill Kogakusha Ltd., 5th Edition.

[24] Πολυτεχνείο Κρήτης (2007), *Τεχνική Υποστήριξη του Υπουργείου Απασχόλησης και Κοινωνικής Προστασίας για την Αξιολόγηση των Μελετών Ασφάλειας σε Εγκαταστάσεις SEVESO*. Ερευνητικό Πρόγραμμα, Πολυτεχνείο Κρήτης.

[25] Roberts A.F. (1982), *Thermal radiation hazard from releases of LPG from pressurized storage*, Fire Safety Journal, 4, pp. 197-212.

[26] Safiolea, E. (1998), *Safety Management Systems in Small and Medium Sized Enterprises Involving Dangerous Substances*, European Commission, JRC.

[27] Smith J.M., Van Ness H.C. (1959), *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics*, McGraw-Hill Kogakusha Ltd., 3rd Edition.

[28] Spadoni, G. (1994), *Models for Description of Accident Consequences*, EAEME Course on Risk Assessment & Control of Major Accident Hazards, Dept. of Chemical and Process Engineering, University of Bologna – Italy.

[29] Tomovic R. (1963), *Sensitivity Analysis of Dynamic Systems*, New York: McGraw-Hill, McGraw-Hill Electronic Sciences series.

[30] ΥΠΕΧΩΔΕ (2000), *Σχέδιο Αντιμετώπισης Τεχνολογικών Ατυχημάτων Μεγάλης Έκτασης (ΣΑΤΑΜΕ) του Θριασίου Πεδίου στην Αττική*.

[31] Van Steen J., Papadakis G.A., (2004), *Experiences with Seveso II implementation: successes and failures of safety reporting and safety management systematizing in two EU countries*, 11th International Symposium "Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries", Praha, Czech Republic, 31 May – 03 June 2004.

Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία

- Duffield J.S., *Major Accident Hazards Bureau (MAHB)*. Joint Research Centre. Διαθέσιμο από: http://www.microrisk2001.gr/paper_duffield.htm, (προσβάσιμο Σεπτέμβριος 2007).
- ΕΜΥ (2007), http://www.hnms.gr/hnms/greek/climatology/, (προσβάσιμο Ιούνιος 2007).
- Mengolini A., Christou M., *Major Accident Hazards in Intermodal Transportation of Dangerous Substances: A Methodology*. Joint Research Centre, Italy. Διαθέσιμο από: http://www.microrisk2001.gr/paper_mengolini.htm, (προσβάσιμο Οκτώβριος 2007).
- Papadakis G., Fatta D., Papadopoulos A., Kourmoussis F., Linou K., Loizidou M. *Development and application of a methodology for hazard analysis and risk assessment for industrial units dealing with dangerous substances*. National Technical University of Athens, Greece. Διαθέσιμο από: http://www.microrisk2001.gr/paper_papadakis.htm, (προσβάσιμο Οκτώβριος 2007).
- http://www.buncefieldinvestigation.gov.uk/, (προσβάσιμο Ιανουάριος 2008).
- http://mahbsrv.jrc.it (προσβάσιμο Ιανουάριος 2008).
- http://me.queensu.ca/, (προσβάσιμο Ιανουάριος 2008).
- http://www.microrisk2001.gr/ (προσβάσιμο Οκτώβριος 2007).