

ΥΓΕΙΑ & ΑΣΦΑΛΕΙΑ (ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ) ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ – INDUSTRIAL RISK



ΕΝΝΟΙΕΣ - ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ/ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ - ΖΩΝΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΦΩΤΙΕΣ

*ΔΙΑΛΕΞΕΙΣ – ΑΣΚΗΣΕΙΣ: ΧΗΜΙΚΟΙ ΚΙΝΔΥΝΟΙ - ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΦΩΤΙΕΣ
ΧΕΙΜΕΡΙΝΟ ΕΞΑΜΗΝΟ 2022*



Εκπαιδευτική ενότητα: ΧΗΜΙΚΟΙ ΚΙΝΔΥΝΟΙ

2

ΕΝΝΟΙΕΣ - ΚΡΙΤΗΡΙΑ – ΜΕΛΕΤΕΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ / ΚΙΝΔΥΝΟΥ (ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ) :

- **Χημικός Κίνδυνος:** Αναγνώριση/Ταυτότητα Επικίνδυνων Ουσιών (ΔΔΑ) – Ταξινόμηση (CLP)
- **Ανάλυση Χημικού Κινδύνου:** Δείκτες Κινδύνου, Συστηματικές Μέθοδοι & Κριτήρια Ανάλυσης Κινδύνου
- **Αστοχίες & Σενάρια ατυχημάτων με Επικίνδυνες χημικές ουσίες (βιομηχανικό /εργασιακό περιβάλλον)**
- **Φαινόμενα με διαρροές εύφλεκτων και τοξικών ουσιών (μοντελοποίηση φαινομένων)**
- **Επιπτώσεις φαινομένων – Κριτήρια & Ζώνες Επιπτώσεων**
- **Κριτήρια Τοξικότητας - Οριακές Τιμές Έκθεσης (TLVs) – Εξαερισμός**
- **Χαρακτηριστικές Ιδιότητες Εύφλεκτων – Ένταση και Δόση θερμικής ακτινοβολίας**
- **Τρωτότητα**



Εκπαιδευτική ενότητα: ΧΗΜΙΚΟΙ ΚΙΝΔΥΝΟΙ

3

ΕΝΝΟΙΕΣ - ΚΡΙΤΗΡΙΑ – ΜΕΛΕΤΕΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ / ΚΙΝΔΥΝΟΥ (ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ) :

- Επικινδυνότητα από (επικίνδυνες) Χημικές Ουσίες – **ΦΩΤΙΕΣ**
- Μεθοδολογία και Κριτήρια Εκτίμησης Επικινδυνότητας
- Εφαρμογές :
 - Δείκτης Κινδύνου
 - Ανάλυση - Εκτίμηση Κινδύνου
 - Τρωτότητα
 - **Μοντελοποίηση φαινομένων (Φωτιές)**
 - Εκτίμηση επαγγελματικής επικινδυνότητας



ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΦΩΤΙΕΣ

ΦΩΤΙΕΣ/ ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ εύφλεκτων αερίων που εμπλέκονται σε διαρροές από βιομηχανικές εγκαταστάσεις (π.χ. μονάδες αποθήκευσης καυσίμων/διαλυτών, φορτο/εκφόρωση, διεργασίες με εύφλεκτες ουσίες)

- **Φαινόμενα με διαρροές εύφλεκτων**
- **Επιπτώσεις φαινομένων – Κριτήρια & Ζώνες Επιπτώσεων**
- **Εφαρμογές :**
 - **ΔΟΣΗ _ ΑΠΟΚΡΙΣΗ** (Τρωτότητα)
 - **Μοντελοποίηση ΦΩΤΙΑΣ**



Χημικός Κίνδυνος : ΕΝΝΟΙΕΣ - ΚΡΙΤΗΡΙΑ

5

- **Χημικός Κίνδυνος** : Αναγνώριση – Ταυτότητα Ουσιών (ΔΔΑ)



The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)

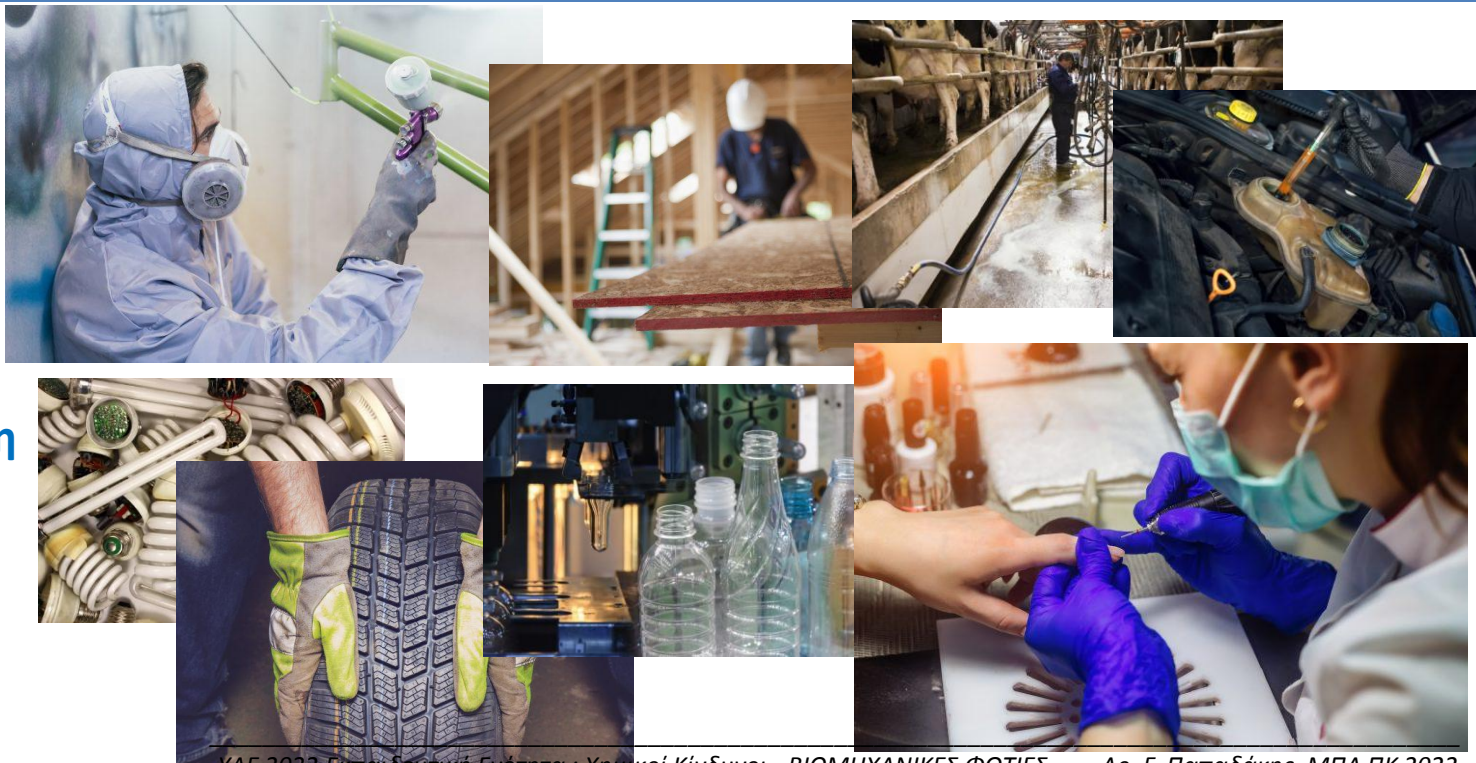
<https://www.cdc.gov/niosh/index.htm>

<https://www.cdc.gov/niosh/topics/chemical.html>

6

Φαινόλες
Φορμαλδεΐδη
Χλώριο
Υδράργυρος
Βενζόλιο
Μεθανόλη
Αιθυλενογλυκόλη
Τολουόλιο

.....





The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)

<https://www.cdc.gov/niosh/index.htm>

<https://www.cdc.gov/niosh/topics/chemical.html>

7

Φαινόλες <https://www.cdc.gov/niosh/topics/phenol/>

σε πολλές βιομηχανίες (πετρελαιο-βιομηχανία) σε ιατρικές υπηρεσίες (αντισηπτικά)

Φορμαλδεΐδη <https://www.cdc.gov/niosh/topics/formaldehyde/>

σε κόλες, ρητίνες, βαφές, υφάσματα, απολυμαντικά, δομικά υλικά, εξοπλισμός αυτοκινήτου (εργαζόμενοι στην γεωργία, κατασκευές, παραγωγή πλαστικών, ..)

Χλώριο <https://www.cdc.gov/niosh/topics/chlorine/>

Υδράργυρος <https://www.cdc.gov/niosh/topics/mercury/>

σε όργανα (βαρόμετρα, μπαταρίες, ηλεκτρικοί διακόπτες .. (εργαζόμενοι στην παραγωγή ηλεκτρικών συσκευών / εξοπλισμού, λάμπες φθορισμού (ανακύκλωση), εξοπλισμός αυτοκινήτου, ιατρικές / υγείας υπηρεσίας





The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)

<https://www.cdc.gov/niosh/index.htm>

<https://www.cdc.gov/niosh/topics/chemical.html>

8

Βενζόλιο, <https://www.cdc.gov/niosh/topics/benzene/> σε λυπαντικά, ελαστικά, τυπογραφεία ..

Μεθανόλη, <https://www.cdc.gov/niosh/topics/methyl-alcohol/>

Αιθυλενογλυκόλη <https://www.cdc.gov/niosh/topics/ethylene-glycol/>

σε αντιψυκτικά, πολυεστέρες, διαλύτες

Τολουόλιο <https://www.cdc.gov/niosh/topics/toluene/>

.....





ECHA European Chemicals Agency (Ευρωπαϊκός Οργανισμός Χημικών)

<https://echa.europa.eu/el/home>



9

Αναζήτηση Χημικών προϊόντων Επικίνδυνων Ουσιών

<https://echa.europa.eu/el/information-on-chemicals>

Αιθυλική Αλκοόλη (οινόπνευμα) <https://echa.europa.eu/el/brief-profile/-/briefprofile/100.000.526>

π.χ. εύφλεκτο ΒΟΥΤΑΝΙΟ <https://echa.europa.eu/el/brief-profile/-/briefprofile/100.003.136>

ΠΡΟΠΑΝΙΟ (brief profile) <https://echa.europa.eu/el/brief-profile/-/briefprofile/100.000.753>

LPG: <https://echa.europa.eu/el/brief-profile/-/briefprofile/100.064.257>

Τοξικό Χλώριο (brief profile): <https://echa.europa.eu/el/brief-profile/-/briefprofile/100.029.053>

Βενζόλιο infocard(ουσία υψηλής ανησυχία: καρκινογόνο, μεταλλαξιογόνο):

<https://echa.europa.eu/el/substance-information/-/substanceinfo/100.000.685>



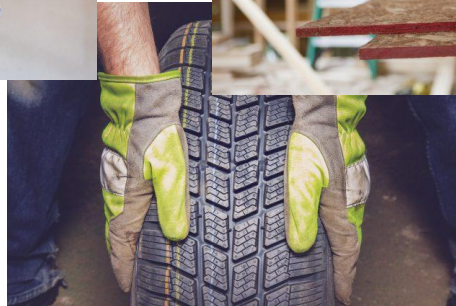
European Agency for Health & Safety at Work

<https://osha.europa.eu/en>

10

Dangerous Substances e-tool

<https://eguides.osha.europa.eu/dangerous-substances/>





Κίνδυνος (Hazard)

Κίνδυνος (Hazard) είναι η **Εγγενής Ιδιότητα**

- μιας **Επικίνδυνης Ουσίας**,
- μιας φυσικής κατάστασης ή
- ενός συστήματος

η οποία **ενδέχεται να βλάψει και** να προκαλέσει αναστρέψιμες ή μη αναστρέψιμες επιπτώσεις (ζημιά ή απώλεια):

- a) στην **ανθρώπινη υγεία**,
- b) στο περιβάλλον ή
- c) στην περιουσία ή την φήμη ενός οργανισμού.

Κίνδυνος = Ιδιότητα που ενδέχεται να προκαλέσει ζημιά ή απώλεια



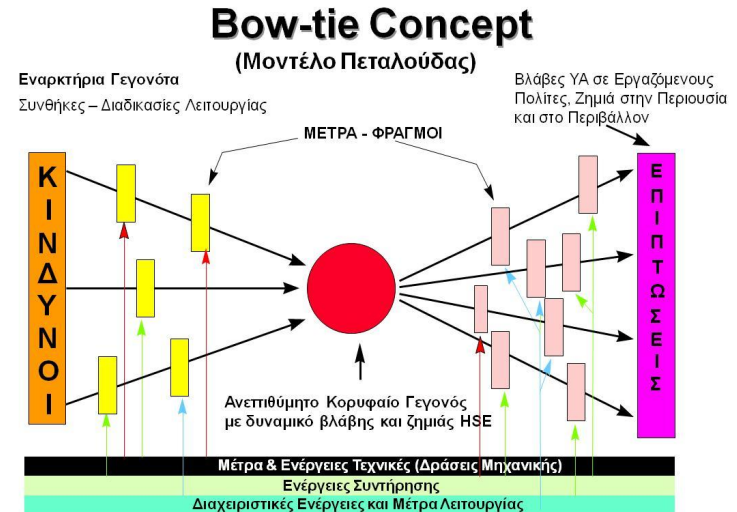
Επικινδυνότητα ($Risk = f \cdot C$)

12

Επικινδυνότητα ή Διακινδύνευση (Risk) είναι η **Πιθανότητα – Συχνότητα (f)** μιας συγκεκριμένης **Ανεπιθύμητης Επίπτωσης (C)** **εντός δεδομένης χρονικής περιόδου** ή κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες.

Η επικινδυνότητα μπορεί να προσδιορίζεται αναφορικά σε διαφορετικά γεγονότα ή αίτια, **αναφέρεται όμως πάντα σε συγκεκριμένες συνέπειες ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ**: Θάνατος, Τραυματισμοί, Περιβαλλοντικές επιπτώσεις, Οικονομικό κόστος, κλπ.

Πρέπει πάντοτε να διαχωρίζουμε την επικινδυνότητα που αναφέρεται σε διαφορετικές επιπτώσεις.





Κίνδυνος από Επικίνδυνες Ουσίες/Μείγματα

13

Ο **βαθμός του Κινδύνου (επίπεδο κινδύνου)**, στη περίπτωση των επικίνδυνων ουσιών, εξαρτάται κυρίως από:

- τις **ιδιότητες** της επικίνδυνης ουσίας (φυσικές, χημικές, τοξικολογικές κ.α.),
- την **ποσότητα** της ουσίας που εμπλέκεται στο υπό εξέταση σύστημα,
- το **είδος της διεργασίας** στην οποία συμμετέχει στο σύστημα (π.χ. αποθήκευση, χειρισμός, χημική αντίδραση, φυσική διεργασία π.χ. απόσταξη, εξάτμιση, μεταφορά, δεξαμενισμός, κλπ.), και
- τις **συνθήκες** λειτουργίας της διεργασίας ή κατά τη διαχείριση π.χ. πίεση, θερμοκρασία, ροή.



Καθαρή Επικίνδυνη Ουσία/Μείγμα: Υγραέριο LPG: Προπάνιο C3/Βουτάνιο C4

14

Ο **βαθμός του Κινδύνου (επίπεδο κινδύνου)**, στη περίπτωση του LPG, εξαρτάται κυρίως από:

- τις **ιδιότητες** της εύφλεκτης ουσίας/μείγματος π.χ. **Εξαιρετικά εύφλεκτο LPG:**
<https://echa.europa.eu/el/brief-profile/-/briefprofile/100.064.257>

Πολύ εύφλεκτη Αιθυλική Αλκοόλη (οινόπνευμα) <https://echa.europa.eu/el/brief-profile/-/briefprofile/100.000.526>

1. την **ποσότητα** του Προπανίου (π.χ. **gr – kg**) που εμπλέκεται στο σύστημα (π.χ. 10-25kg φιάλη υγραερίου LPG σε χώρο εργασίας),
2. το **είδος της διεργασίας** στην οποία συμμετέχει στο σύστημα (π.χ. αποθήκευση σε φιάλη σαν Υγραέριο: υγροποιημένο αέριο, διαρροή κατά το χειρισμό, ή κατά τη μεταφορά αερίου σε αγωγό), και
3. τις **συνθήκες** λειτουργίας της διεργασίας ή κατά τη διαχείριση π.χ. **υψηλή πίεση σε δοχείο**, υψηλή θερμοκρασία (π.χ. > σημείο ανάφλεξης ή σημείο αυτανάφλεξης) μεγάλη διαρροή.



Καθαρή Επικίνδυνη Ουσία : Χλώριο

15

Ο **βαθμός του κινδύνου (επίπεδο κινδύνου)**, στη περίπτωση του Χλωρίου, εξαρτάται κυρίως από:

1. τις **ιδιότητες** της επικίνδυνης ουσίας (**ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ ΧΛΩΡΙΟΥ**), **Τοξικό Χλώριο (brief profile)**: <https://echa.europa.eu/el/brief-profile/-/briefprofile/100.029.053>
2. την **ποσότητα** του ΧΛΩΡΙΟΥ (π.χ. **mg – kg**) που εμπλέκεται στο σύστημα/φιάλη (π.χ. χώρο εργασίας),
3. το **είδος της διεργασίας** στην οποία συμμετέχει στο σύστημα (π.χ. αποθήκευση σε φιάλη υπό πίεση, διαρροή κατά το χειρισμό/μεταφορά), και
4. τις **συνθήκες** λειτουργίας της διεργασίας ή κατά τη διαχείριση π.χ. συμπιεσμένο αέριο, μεγάλη διαρροή από καταστροφική θραύση φιάλης.



Κίνδυνος από Επικίνδυνες Ουσίες/Μείγματα

16

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΩΝ ΟΥΣΙΩΝ (ΕΥΦΛΕΚΤΩΝ)

<https://www.kartes.proteas-reach.gr/>

- ☐ ΚΛΑΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ (SUBSTANCE CLASS)
- ☐ ΟΜΑΔΑ ΟΥΣΙΩΝ (SUBSTANCE GROUP)
- ☐ HAZARD IDENTIFICATION NUMBER (HIN)



Κύριες ιδιότητες-συνθήκες εύφλεκτων ουσιών εντός του περιέκτη (containment)

17

ΜΕΙΓΜΑ μόνο με **ΕΥΦΛΕΚΤΕΣ** ουσίες ή και με **Τοξικές/Διαβρωτικές/Οξειδωτικές**

ΑΕΡΙΟ ή **ΥΓΡΟ** (υπό κανονικές/ατμοσφαιρικές συνθήκες)

- **ΥΓΡΟ: ΕΞΑΤΜΙΣΗ - Πτητικότητα** υγρού (ρυθμός εξάτμισης σε κανονικές συνθήκες)

Ατμοσφαιρική ΠΙΕΣΗ στον περιέκτη

- **ΥΓΡΟ:** Αποθήκευση σε δεξαμενή/δοχείο σε ατμοσφαιρική πίεση
- **ΑΕΡΙΟ:** Υγροποιημένο Αέριο σε ατμοσφαιρική πίεση και **χαμηλή θερμοκρασία** (π.χ. κρυογενική αποθήκευση LNG)

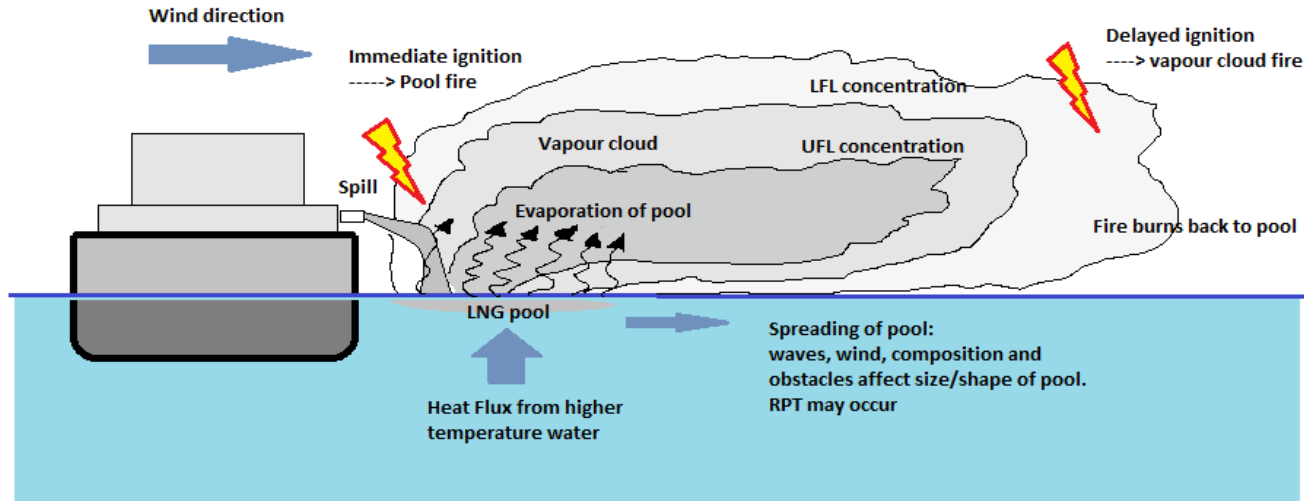
Υψηλή ΠΙΕΣΗ στον περιέκτη (ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΥΠΟ ΠΙΕΣΗ):

- **ΑΕΡΙΟ:** Αέριο υπό πίεση (συμπιεσμένο π.χ. CNG, O₂, H₂) ή συμπιεσμένο υγροποιημένο αέριο π.χ. LPG σε φιάλη



Διαρροή Υγρού – Αερίου

Συνθήκες εύφλεκτων εντός του περιέκτη: υπό πίεση ή όχι

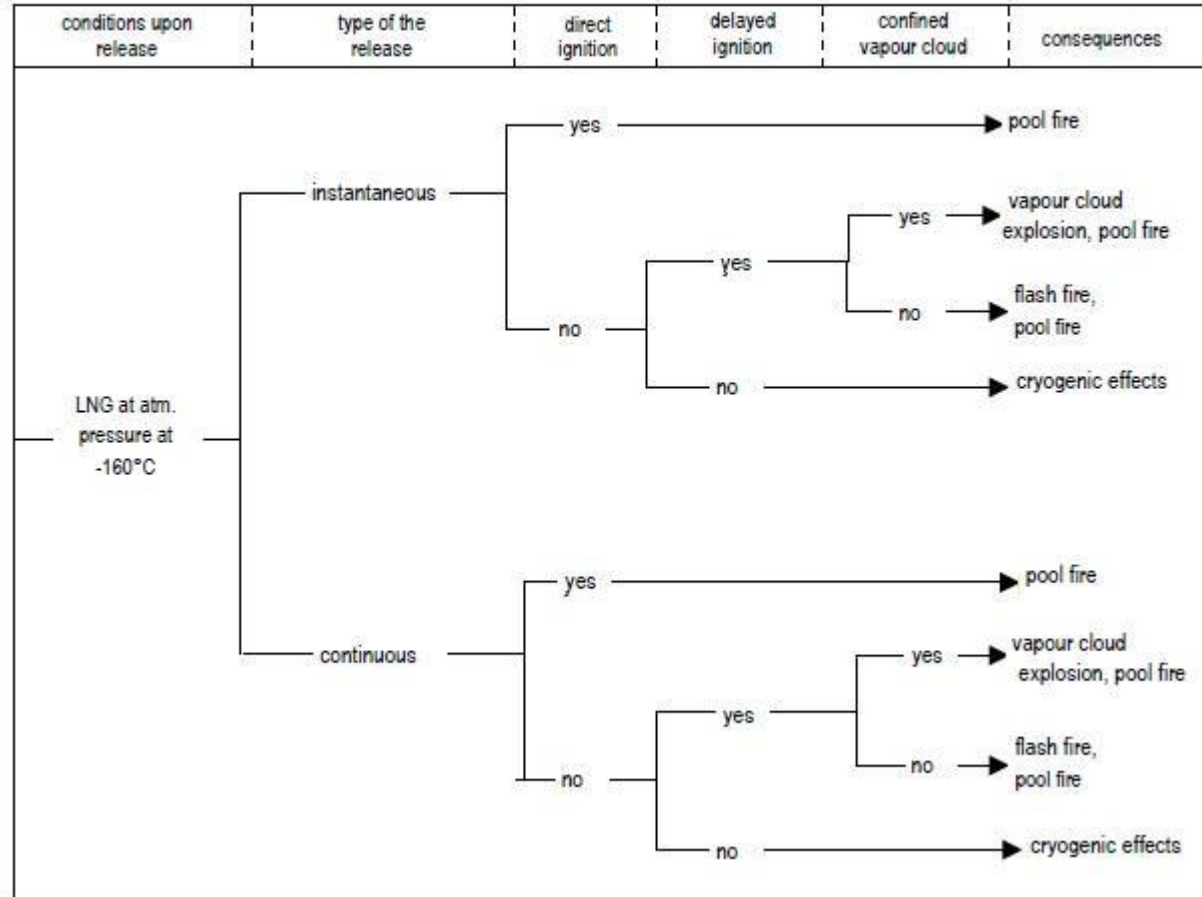
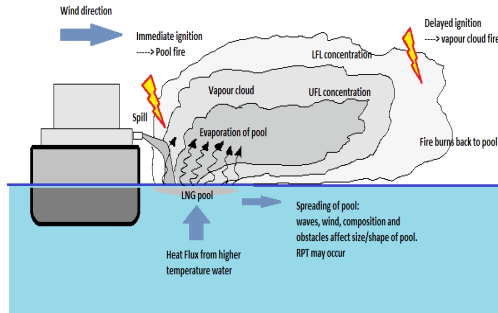




Διαρροή Αερίου από περιέκτη σε ατμοσφαιρική πίεση

Event tree for a release of LNG at near-atmospheric pressure

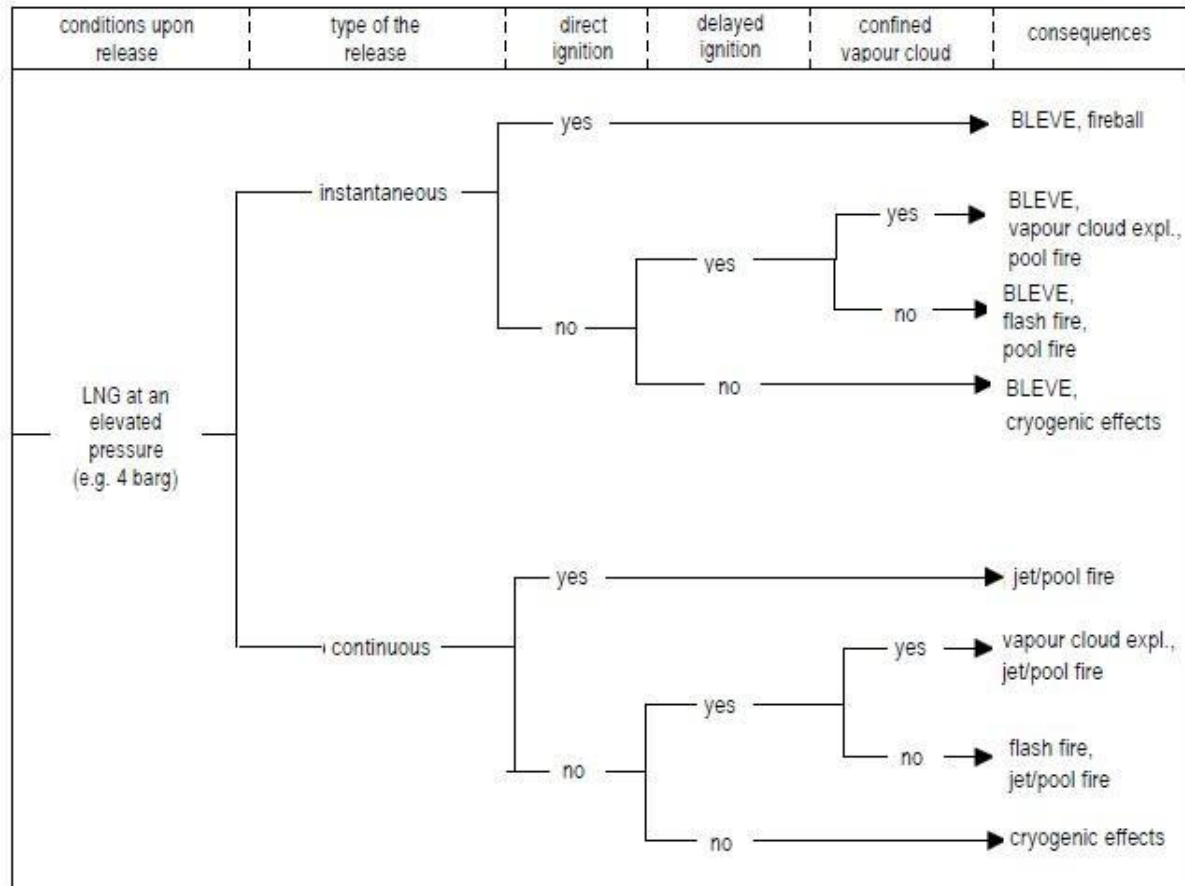
19





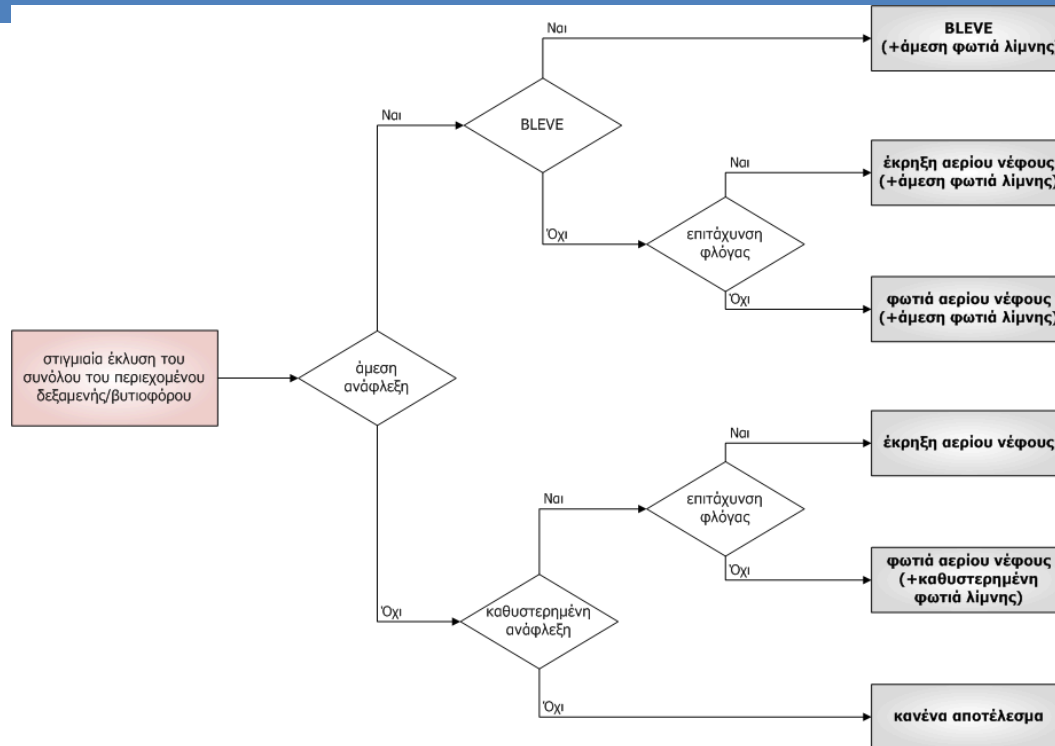
Διαρροή Υγρού από περιέκτη υπό πίεση (συμπιεσμένο)

Event tree for a release of LNG at increased pressure





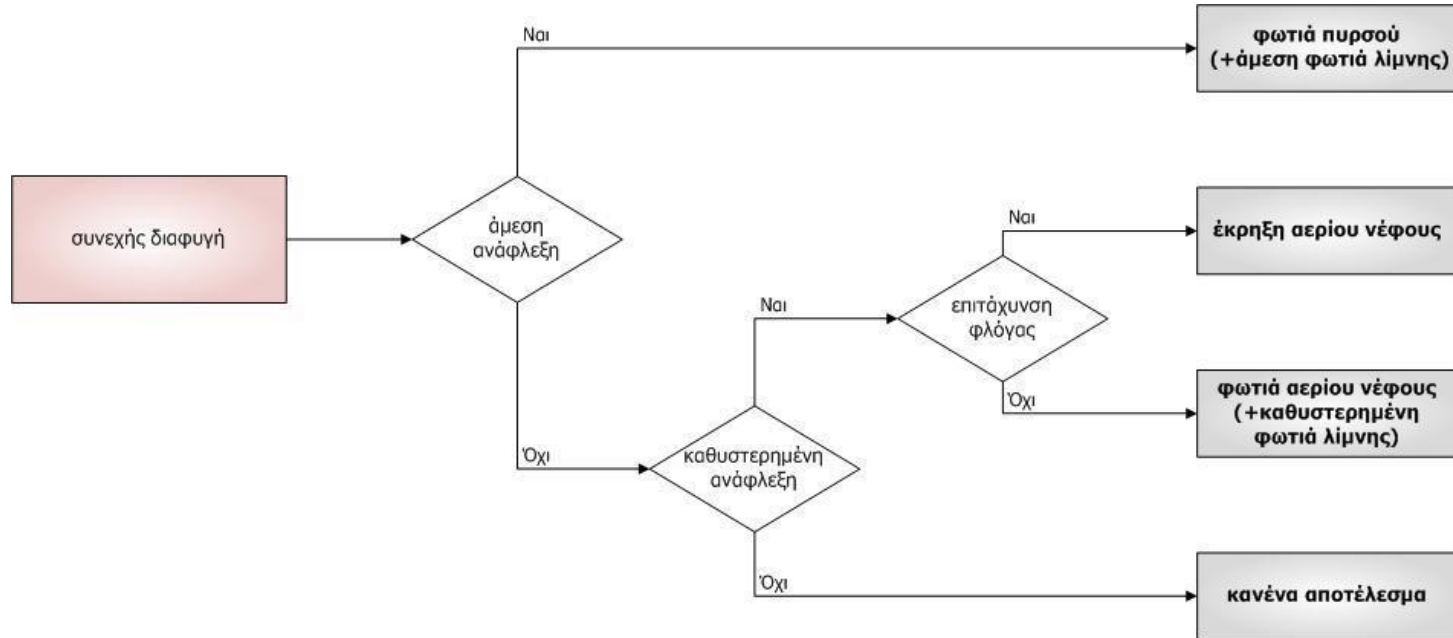
Φωτιές: Φαινόμενα μετά από καταστροφική θραύση δοχείου και διαρροή εύφλεκτου υγροποιημένου αερίου υπό πίεση





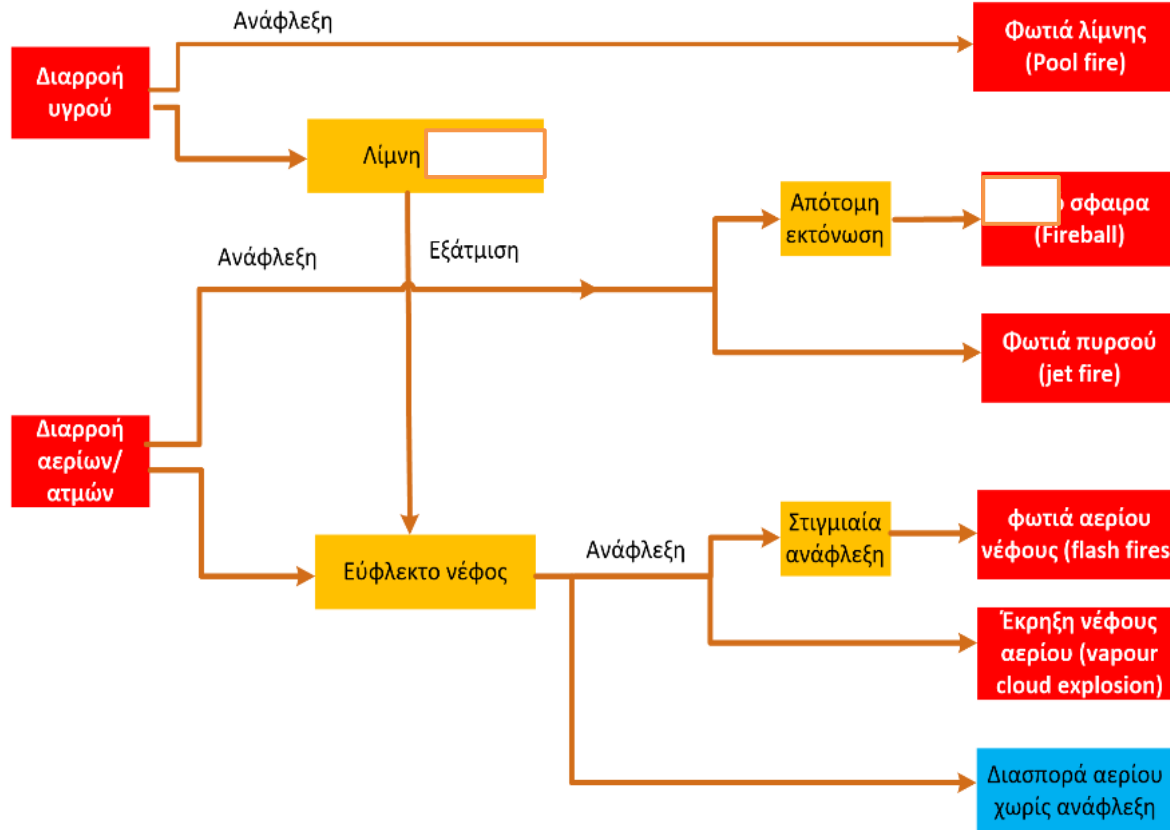
Φωτιές: Φαινόμενα μετά από θραύση **αγωγού** και διαρροή εύφλεκτου υγροποιημένου αερίου υπό πίεση

22



Φαινόμενα μετά από διαρροή εύφλεκτου υγρού ή αερίου

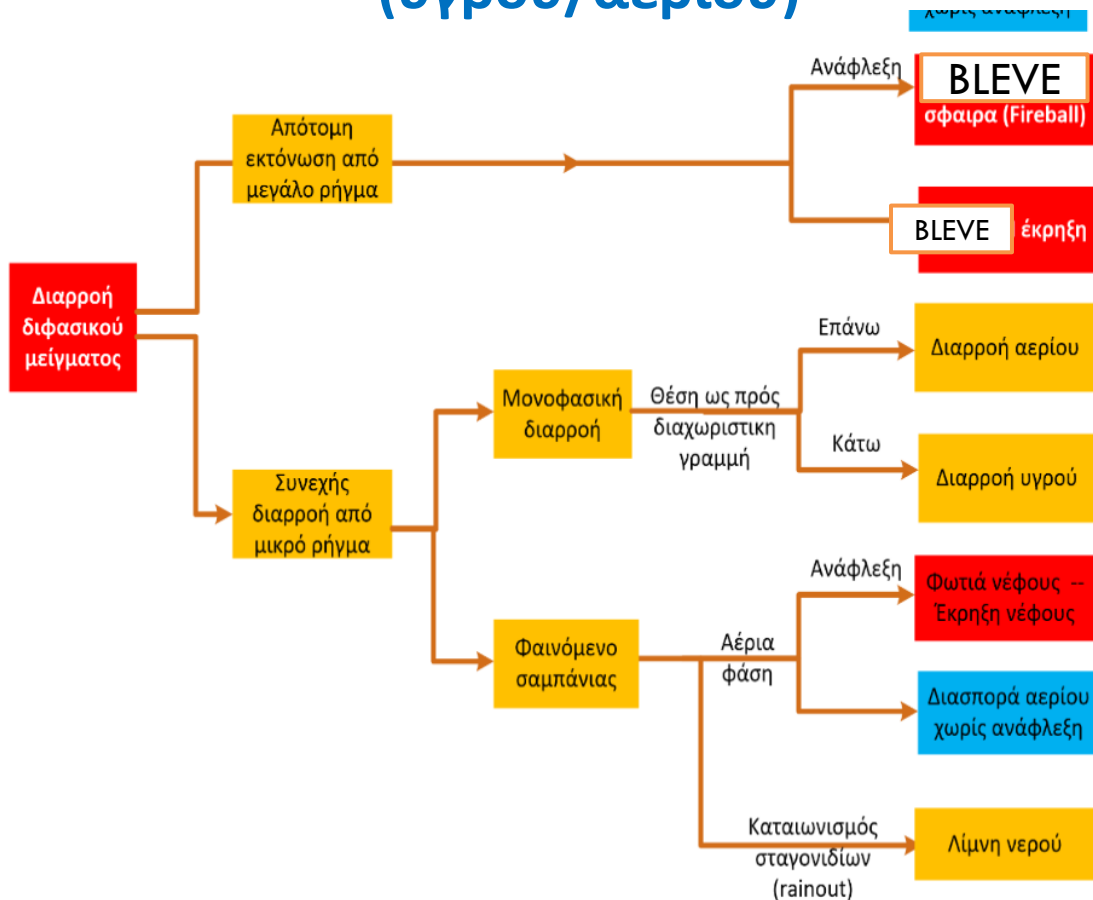
23





Φαινόμενα μετά από διαρροή εύφλεκτου διφασικού μείγματος (υγρού/αερίου)

24





Επικινδυνότητα

25

□ Υπολογισμός Επικινδυνότητας $R = f \bullet C$

Επικινδυνότητα $R = f \cdot C$

Ατομική επαγγελματική επικινδυνότητα R

$$R_{xiz} = f_{xi} \bullet \varepsilon_{xiz} \bullet V_{iz}$$

σε μία θέση εργασίας (x) είναι το γινόμενο τριών παραγόντων:

1. της συχνότητας έκλυσης (f) του βλαπτικού παράγοντα (ορίζεται ως η συχνότητα ενός ατυχηματικού γεγονότος)
2. της πιθανότητας έκθεσης (ε) του εργαζόμενου στο βλαπτικό παράγοντα, και
3. της τρωτότητας (V) του εργαζομένου

$$R_{xiz} = f_{xi} \cdot (\varepsilon_{xiz} \cdot V_{iz})$$

R_{xiz} = η ατομική επικινδυνότητα στη θέση εργασίας (x) ανά έτος (yr-1).

λόγω ατυχηματικού γεγονότος ή βλαπτικού παράγοντα (i) και για συγκεκριμένη συνέπεια (z),

1. f_{xi} = **η συχνότητα** με την οποία λαμβάνει χώρα το ατυχηματικό γεγονός (i) στη θέση εργασίας (x), σε [yr-1]
2. ε_{xiz} = **η πιθανότητα έκθεσης** ενός εργαζόμενου εντός της ζώνης συνέπειας (z) του βλαπτικού παράγοντα (i), στη θέση εργασίας (x) *αδιάστατο μέγεθος*
3. V_{iz} = δείκτης τρωτότητας, **η πιθανότητα ο εργαζόμενος να υποστεί τη συνέπεια** (z) με την προϋπόθεση ότι βρίσκεται εντός της ζώνης συνέπειας (z) από ατυχηματικό γεγονός (i), *αδιάστατο μέγεθος*

$$R_{xiz} = f_{xi} \cdot (\varepsilon_{xiz} \cdot V_{iz}) = f_{xi} \cdot (E_x \cdot P_{xiz} \cdot V_{iz})$$

ε_{xiz} εκφράζεται από το γινόμενο : $\varepsilon_{xiz} = E_x \cdot P_{xiz}$

E_x = η πιθανότητα παρουσίας του εργαζομένου μέσα στο χωρικά προσδιορισμένο τόπο της θέσης εργασίας (x),

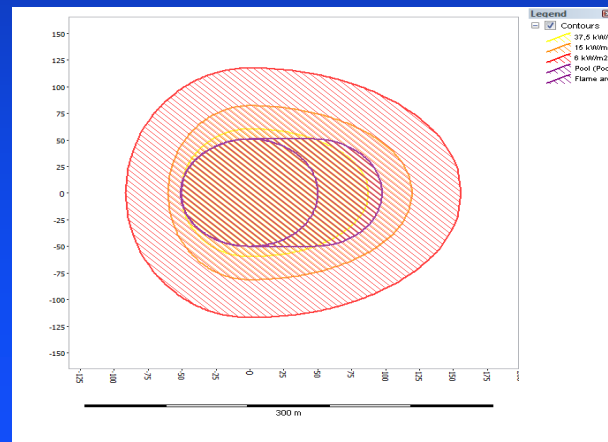
P_{xiz} = το ποσοστό της επιφάνειας της θέσης εργασίας που καλύπτεται από τη ζώνη συνέπειας (z)

Κατηγορίες συνεπειών :

- Θάνατος,
- Βαρύς τραυματισμός,
- Ελαφρύς τραυματισμός

Ζώνες στο χώρο

(**Z1: 15kW/m2**, **Z2: 6kW/m2**, **Z3: 3kW/m2**)





Φωτιές: πλαίσιο ανάλυσης επιπτώσεων

29

- **Φωτιές:** Ζώνες Επιπτώσεων φαινομένων φωτιάς – Επικινδυνότητα

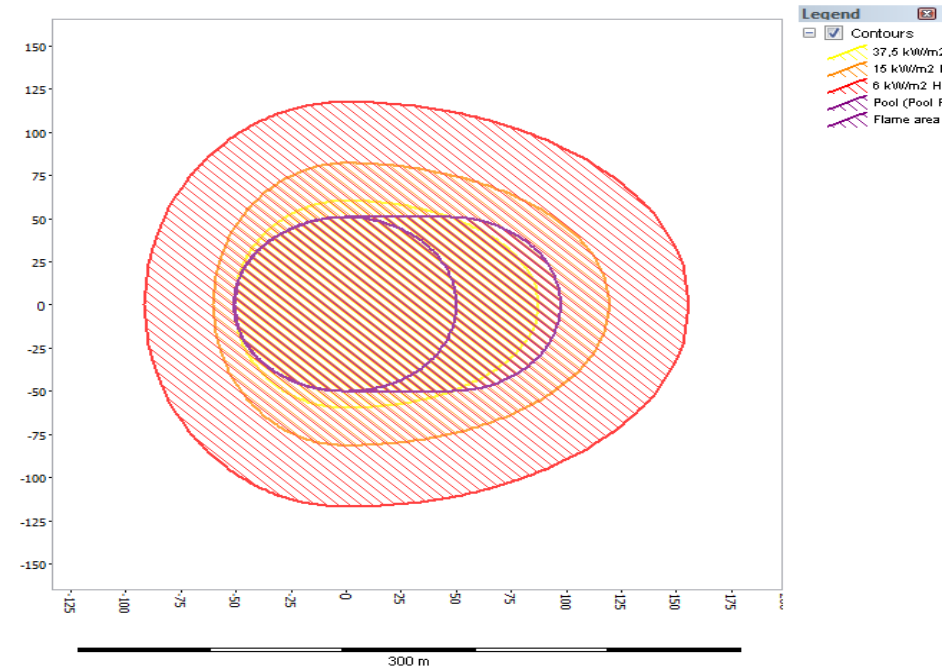


Για τις επιπτώσεις από τη θερμική ακτινοβολία κάθε φωτιάς απαιτείται ο χωρικός προσδιορισμός της παραμέτρου (P) που αναφέρεται στο ποσοστό επιφάνειας του εδάφους που καλύπτεται από διαφορετικές Ζώνες Επιπτώσεων/Συνεπειών

30

Ζώνες Επιπτώσεων: Domino

Z1, Z2 και Z3



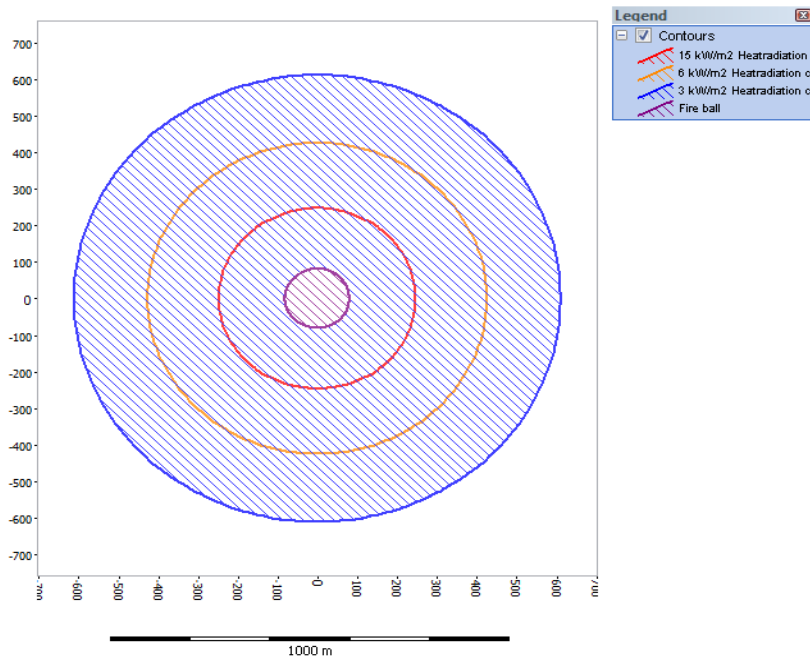


Ζώνες Επιπτώσεων : Domino

Z 1, Z 2 και Z 3

31

Είδος Επιβάρυνσης	
ΖΩΝΗ 1 (ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΚΑΤΑΣΤΟΛΗΣ)	50% Πιθανότητα Θανάτου
ΖΩΝΗ 2 (ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ – ΣΟΒΑΡΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ)	1% Πιθανότητα Θανάτου
ΖΩΝΗ 3 (ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ – ΜΕΤΡΙΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ)	Πιθανότητα Τραυματισμού





Επικινδυνότητα από Φωτιές

32

□ *Πίνακες Επικινδυνότητας* $R = f \bullet C$

Ποιοτικός Πίνακας Επικινδυνότητας

$$R = f \cdot C$$

ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ	4	Β2	B1	A2	A1
	3	Γ1	Β2	B1	A2
	2	Γ2	Γ1	Β2	A2
	1	Γ2	Γ2	Γ1	Β2
		i	ii	iii	iv
		ΣΟΒΑΡΟΤΗΤΑ			

Ποσοτικοποιημένος Πίνακας Επικινδυνότητας $R = f \cdot C$

		Κατηγορία Επιπτώσεων				
Συχνότητα έτος (f)	ανά	Μικρές - Ασήμαντες (τραυματισμός με απώλεια χρόνου LTI, απουσιασμός μικρής διάρκειας) $1 < C1 < 10$	Σημαντικές (σοβαρός τραυματισμός πλήρης αποκατάσταση) $10 < C2 < 100$	Πολύ Σημαντικές (τραυματισμός μόνιμης αναπηρίας) $100 < C3 < 1000$	Πολύ Μεγάλες (θανατηφόρο, πολλοί τραυματισμοί) $10^3 < C4 < 10^4$	Καταστροφικές (πολλαπλά θανατηφόρα) $10^4 < C5 < 10^5$
Αναμενόμενο επόμενο χρόνο $10^{-1} < f_5 < 10^0$	τον				A1	
Πιθανό αλλά αναμενόμενο $10^{-2} < f_4 < 10^{-1}$	όχι	A2				
Μάλλον όχι πιθανό $10^{-3} < f_3 < 10^{-2}$		A3 B1	Γ1	Γ2-Γ10		
Όχι πιθανό $10^{-4} < f_2 < 10^{-3}$			B2 B11 Γ11			B12
Απίθανο $10^{-5} < f_1 < 10^{-4}$						



Severity of Consequences : End Point Values for Consequence Zones of scenarios (conservative)

Effects		Significant Lethal Effects	First Lethal Effects	Irreversible Effects (No fatality)
	Hazard Zones: Threshold / End point values			
	Domino Zone 99% fatality	Inner Zone Very Serious Hazard 50% fatality	Middle Zone Serious Hazard 1% fatality	Outer Zone Significant Hazard No fatality
Thermal Radiation Thermal Dose TDU: Thermal Dose Units in $((kW/m^2)^{4/3})sec$	37.5 kW/m²	15 kW/m² 1800 (to 2000) TDU	5 kW/m² 500 (to 1000) TDU for short duration effects	3 KW/m²
Overpressure	700 mbar	300 (to 350) mbar	140 mbar	40-50 mbar
Toxic	-	LC50: Lethal concentration for 50% lethality	LC1: Lethal concentration for 1% lethality	IDLH



Criterion 1. Risk Assessment Matrix :

According to the French Approach on Evaluation of Risk Control as based on the potential consequences **Addresses Risks to individuals or groups of people among the public**

36

Severity of Consequences	Significant Lethal Effect	First Lethal Effect	Irreversible Effect
Extreme	$PE > 10$	$PE > 100$	$PE > 1000$
Catastrophic	$1 < PE \leq 10$	$10 < PE \leq 100$	$100 < PE \leq 1000$
Significant	$PE \leq 1$	$1 < PE \leq 10$	$10 < PE \leq 100$
Medium	0	$PE \leq 1$	$1 < PE \leq 10$
Moderate	No lethal effects outside the facility		$PE \leq 1$
Note: PE=Persons Exposed			

Criterion 1. Risk Assessment Matrix :

According to the French Approach on Evaluation of Risk Control as based on the potential consequences and predicted frequency **for each** accident scenario

Addresses Risks to individuals or groups of people among the public

37

		Seriousness/Severity of Scenario Consequences				
Probability of Scenario	per year	1 Moderate	2 Serious/ Medium	3 Major/ Significant	4 Catastrophic	5 Disastrous/ Extreme
A Likely	Greater than or equal to 10^{-2}					
B Unlikely	Greater than or equal to 10^{-3} and less than 10^{-2}				Unacceptable	
C Very Unlikely	Greater than or equal to 10^{-4} and less than 10^{-3}					
D Extremely Unlikely	Greater than or equal to 10^{-5} and less than 10^{-4}	Acceptable		Tolerable if ALARP		
E Remote	Less than 10^{-5}					(Yellow for Existing Plant - Red for New Establishments)

Severity of Consequences	Significant Lethal Effect	First Lethal Effect	Irreversible Effect
Extreme	PE>10	PE>100	PE>1000
Catastrophic	1<PE≤10	10<PE≤100	100<PE≤1000
Significant	PE≤1	1<PE≤10	10<PE≤100
Medium	0	PE≤1	1<PE≤10
Moderate	No lethal effects outside the facility		
Note: PE=Persons Exposed			



Evaluation Results : Risk Assessment Matrix before ALARP study

38

Probability of Scenario	per year	Seriousness/Severity of Scenario Consequences				
		1 Moderate	2 Serious/ Medium	3 Major/ Significant	4 Catastrophic	5 Disastrous/ Extreme
A Likely	Greater than or equal to 10^{-2}				Unacceptable	
B Unlikely	Greater than or equal to 10^{-3} and less than 10^{-2}	37	5			
C Very Unlikely	Greater than or equal to 10^{-4} and less than 10^{-3}	65	22	28		
D Extremely Unlikely	Greater than or equal to 10^{-5} and less than 10^{-4}	49	51	32	7	
E Remote	Less than 10^{-5}	Acceptable		Tolerable if ALARP		7



Evaluation Results : Risk Assessment Matrix after ALARP study (further safeguards defined)

39

Probability of Scenario	per year	Seriousness/Severity of Scenario Consequences				
		1 Moderate	2 Serious/ Medium	3 Major/ Significant	4 Catastrophic	5 Disastrous/ Extreme
A Likely	Greater than or equal to 10^{-2}					
B Unlikely	Greater than or equal to 10^{-3} and less than 10^{-2}	37	5			
C Very Unlikely	Greater than or equal to 10^{-4} and less than 10^{-3}	65	27	16		
D Extremely Unlikely	Greater than or equal to 10^{-5} and less than 10^{-4}	49	51	44	1	
E Remote	Less than 10^{-5}	29	35	8	8	7
	Less than 10^{-6}	Acceptable		Tolerable if ALARP		7



Αποτελέσματα Εκτίμησης Επικινδυνότητας (περίπτωση εφαρμογής) **Risk Assessment**

40

ΤΡΙΕΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ για την ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

1. **Risk Assessment Matrix RAM/RM** ($R=f(c)$: ξεχωριστά για κάθε σενάριο)
2. **Location Specific Individual Risk (LSIR)** (ατομική επικινδυνότητα επί του εδάφους για όλα τα δυσμενέστερα σενάρια)
3. **Societal Risk (FN curve)** (ομαδική επικινδυνότητα: πιθανότητα θανάτου ομάδας για όλα τα σενάρια)

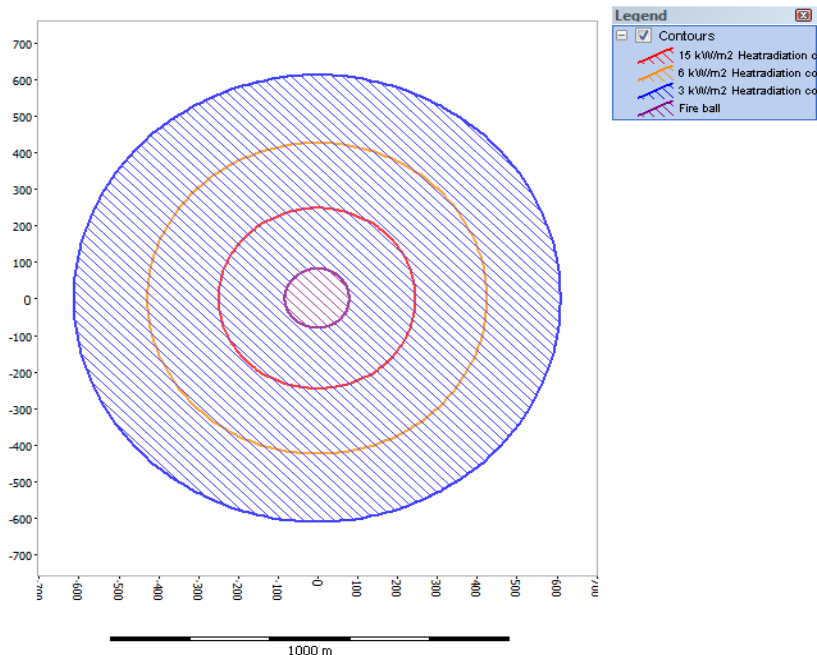


Ζώνες Επιπτώσεων : για κάθε σενάριο

Domino Z 1, Z 2 και Z 3

41

Είδος Επιβάρυνσης	
ΖΩΝΗ 1 (ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΚΑΤΑΣΤΟΛΗΣ)	50% Πιθανότητα Θανάτου
ΖΩΝΗ 2 (ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ – ΣΟΒΑΡΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ)	1% Πιθανότητα Θανάτου
ΖΩΝΗ 3 (ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ – ΜΕΤΡΙΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ)	Πιθανότητα Τραυματισμού





Για κάθε σενάριο

Κριτήρια Αποδοχής Επικινδυνότητας (Risk Acceptance Criteria)

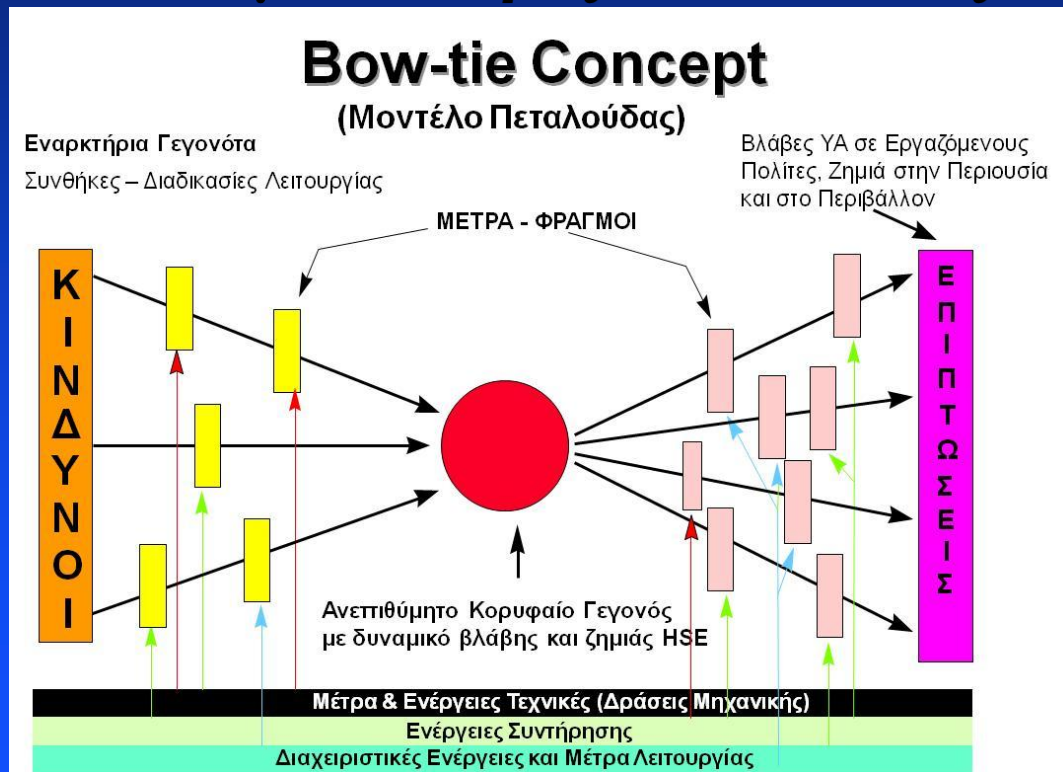
Ζώνες Επιπτώσεων /Συεπειών για Φωτιά / Έκρηξη/ Τοξικό Νέφος

Ζώνη	Ποιοτική εκτίμηση επικινδυνότητας			Ποσοτική εκτίμηση επικινδυνότητας
	Θερμική ακτινοβολία (Kw/m ²)	Ωστικό κύμα (υπερπίεση) (mbar)	Τοξικά (συγκέντρωση)	Ατομική διακινδύνευση
Ζώνη I	15	350	LC50	10^{-5}
Ζώνη II	6	140	LC1	10^{-6}
Ζώνη III	3	50	IDLH	3×10^{-7}



WCSs (Worst Case Scenarios)

Δυσμενέστερα Σενάρια: Κορυφαία Γεγονότα με τις Δυσμενέστερες Επιπτώσεις





Ατομική Επικινδυνότητα (Διακινδύνευση)

44

Ατομική Διακινδύνευση (Επικινδυνότητα) Individual Risk: είναι η **επικινδυνότητα ενός ατόμου** που βρίσκεται στη περιοχή επιρροής ενός κινδύνου. Για παράδειγμα, είναι η συχνότητα μιας θανατηφόρας συνέπειας στο πολίτη σαν συνάρτηση της απόστασης από το σημείο της έκλυσης (πηγή διαρροής) μιας επικίνδυνης ουσίας. Σε ένα **σημείο του εδάφους** (ρ, ψ) σε ένα ορισμένο επίπεδο κάναβο, η ατομική διακινδύνευση μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση :

i = δείκτης των πιθανών εναρκτήριων γεγονότων

f_i = η συχνότητα του i^{th} γεγονότος

j = δείκτης πιθανών βλαβών

m_{ij} = η υπό συνθήκη πιθανότητα να συμβεί η βλάβη j δεδομένου του γεγονότος i

r = δείκτης πιθανών τύπων εκλύσεων (ουσιών)

k_{jr} = η πιθανότητα να συμβεί η έκλυση r δεδομένης της βλάβης j^{th} , και

$c_r(\rho, \psi)$ = **η υπό συνθήκη πιθανότητα θανάτου σε σημείο (ρ, ψ) ως προς το σημείο έκλυσης δεδομένης της έκλυσης r^{th} .**

$$R(\rho, \psi) = \sum_i f_i \sum_j m_{ij} \sum_r k_{jr} c_r$$



Για όλα τα Δυσμενέστερα Σενάρια :

Ατομική Επικινδυνότητα γεωγραφικά προσδιορισμένη

Location Specific Individual Risk (LSIR)

Location Specific Individual Risk (LSIR) = η Ατομική Επικινδυνότητα **σε οποιοδήποτε συγκεκριμένο σημείο στο έδαφος** από όλα τα σενάρια.

ΕΝΑ ΑΤΟΜΟ από το κοινό (όχι εργαζόμενος) που είναι παρόν συνεχώς (24/7) σε μια περιοχή επιρροής.

Τρία βασικά επίπεδα επικινδυνότητας : Χαμηλό – Μεσαίο - Υψηλό

Location Risk of fatality (per year)
for an individual **among the public**
at any location

Higher than

1×10^{-5}

1×10^{-6}

Less than

3×10^{-7}

Individual Risk Contours

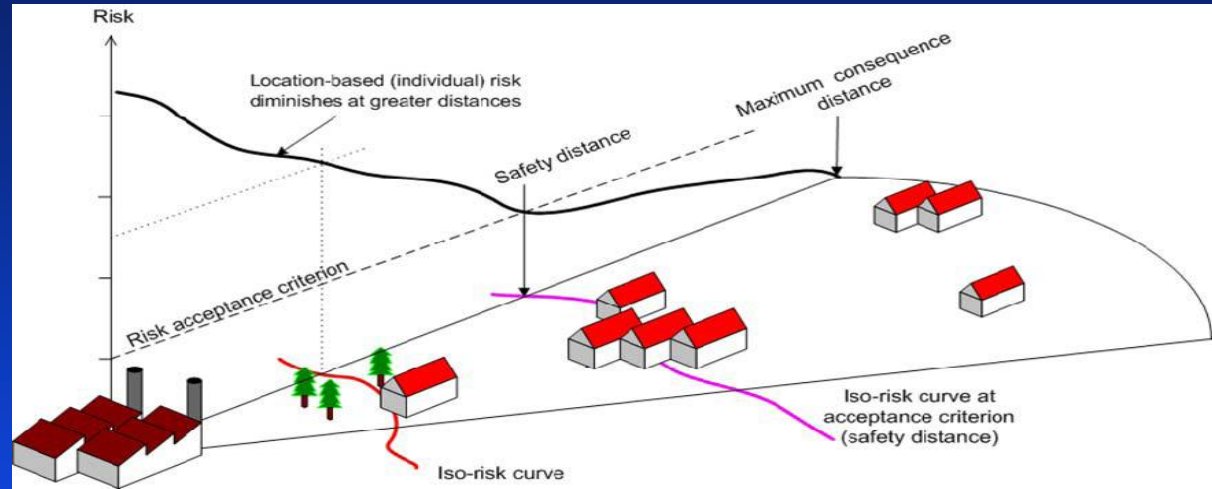
0,001 /year
0,0001 /year
1E-5 /year
1E-6 /year
3E-7 /year
1E-7 /year

LSIR is the Risk of fatality for an individual with 24/7 presence at any location for ALL accident scenarios



LSIR iso-risk curves (καμπύλες ίσης Ατομικής Επικινδυνότητας) και Ζώνες Επιπτώσεων

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΧΡΗΣΕΩΝ
ΓΗΣ (LUP) για
εγκαταστάσεις SEVESO
και γειτονικές χρήσεις



- Η επικινδυνότητα είναι **ΑΜΕΛΗΤΕΑ** σε οποιαδήποτε απόσταση μεγαλύτερη από την **Μέγιστη Ζώνη Επιπτώσεων** (Maximum Consequence Distance)
- **Απόσταση Ασφάλειας** (Consultation Distance) καθορίζεται από το σημείο στο οποίο η επικινδυνότητα γίνεται **μικρότερη** από τα **Κριτήρια Αποδοχής Επικινδυνότητας** (Risk Acceptance Criteria).
- Σε μεγαλύτερες αποστάσεις η επικινδυνότητα σε κάθε άτομο είναι αποδεκτή.
- Οι **καμπύλες ίσης επικινδυνότητας** (Iso-Risk Curves) αποτυπώνουν τη γεωγραφική κατανομή της ατομικής επικινδυνότητας στο πεδίο: LSIR (Location Specific Individual Risk) .



Ομαδική Επικινδυνότητα (Διακινδύνευση): για όλα τα Δυσμενέστερα Σενάρια

47

Ομαδική Διακινδύνευση (Επικινδυνότητα) Societal Risk: είναι η **συχνότητα μιας θανατηφόρας συνέπειας σε ομάδα πολιτών** σαν συνάρτηση **της απόστασης από το σημείο έκλυσης των κινδύνων (όχι σε συγκεκριμένο σημείο του εδάφους αλλά σε ολόκληρες περιοχές με πληθυσμό)**. Η ομαδική διακινδύνευση συνδέεται με μεγάλα ατυχήματα και με **εκτεταμένες συνέπειες στον πληθυσμό που προέρχονται από πολλά γεγονότα και σενάρια** ατυχημάτων. Αυτό γίνεται χρησιμοποιώντας την κατανομή αθροιστικής συχνότητας και τις καμπύλες F-N curves, που βασίζονται στη **συχνότητα των συνεπειών (F) των γεγονότων με αριθμό πιθανών θυμάτων (N) μεγαλύτερο από μια ορισμένη τιμή**. Η ομαδική διακινδύνευση εμπεριέχει το άθροισμα των τιμών της ατομικής διακινδύνευσης για όλα τα πιθανά γεγονότα

$$R_{soc} = \sum R_i = \sum F_i N_i$$

i = τα πιθανά γεγονότα με επιπτώσεις στην υπό εξέταση ομάδα του πληθυσμού.



Ομαδική Επικινδυνότητα F-N

48



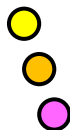
0 1250 m

Dutch Criterion ($F < F_{cr}$) **Συντηρητικό**

$F_{cr} = 10^{-5}$ για $N = 10$ άτομα

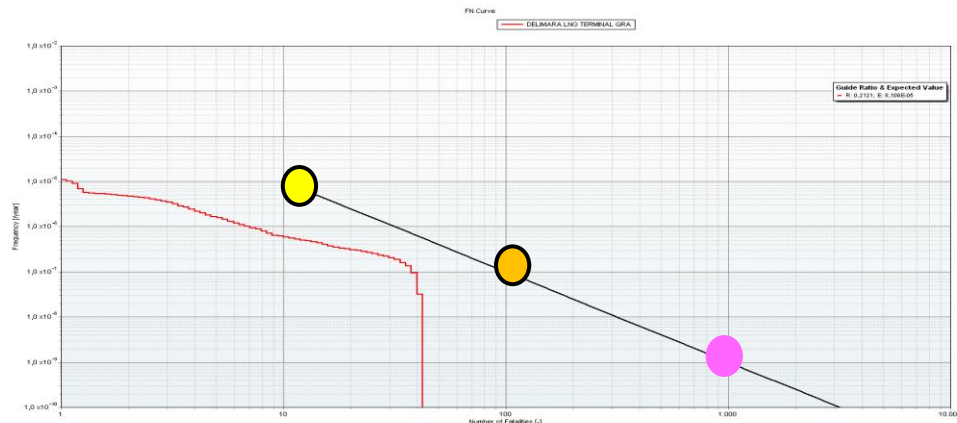
$F_{cr} = 10^{-7}$ για $N = 100$ άτομα

$F_{cr} = 10^{-9}$ για $N = 1000$ άτομα



F-N curve : F-N curve : Συχνότητα μιας θανατηφόρας συνέπειας σε ομάδα πολιτών σε ολόκληρη περιοχή επιρροής με πληθυσμό (όχι σε σημείο του εδάφους).

Conditional Cumulative Frequency (F per year) of a number of expected fatalities (N) among actual population in the area around the establishment vs. The guide value used in Netherlands : $F=10^{-3} / N^2$





Επικινδυνότητα από Φωτιές

49

- ❑ Ζώνες επιπτώσεων από φωτιές ανάλογα την ένταση ή τη δόση της θερμικής ακτινοβολίας
- ❑ Δόση vs ένταση θερμικής ακτινοβολίας



Επικινδυνότητα από διασπορά τοξικού νέφους

50

Για τοξικό νέφος (τοξικές ουσίες): Ζώνες επιπτώσεων ανάλογα την συγκέντρωση τοξικής ουσίας ή την τοξική δόση που δημιουργεί θανατηφόρες επιπτώσεις ή επιπτώσεις τοξικότητας Ζώνες επιπτώσεων SEVESO



Κριτήρια Επικινδυνότητας

Σενάρια - Ζώνες Επιπτώσεων: Ντετερμινιστική προσέγγιση

Σενάρια Ατυχημάτων / Αστοχιών ανά τύπο εξοπλισμού (Χάρτης χρήσεων σε έκταση Ζώνης III)

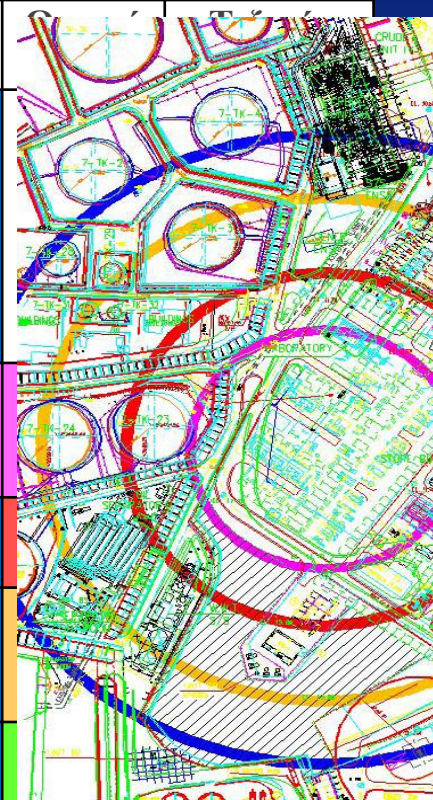
➤ Τρεις Ζώνες επιπτώσεων ZI, ZII, ZIII με σαφή κριτήρια (Παράρτημα IX ΚΥΑ SEVESO III)

Επιπτώσεις	Θερμική Ακτινοβολία				Ωστικό Κύμα	Τοξικές ουσίες
Ζώνες	Δόση (TDU) (kW/m ²) ^{4/3} s	Ένταση (kW/m ²)	Ένταση (kW/m ²) για 40 s	Ένταση (kW/m ²) για 15 s (BLEVE)	Υπερπίεση (mbar)	Συγκέντρωση (mg/m ³)
ΖΩΝΗ I Προστασία Δυνάμεων Καταστολής	1500	$q = 241,0/t^{3/4}$	15	31,6	350	LC ₅₀
ΖΩΝΗ II Προστασίας Πληθυσμού Σοβαρές Επιπτώσεις	450	$q = 97,7/t^{3/4}$	6	12,8	140	LC ₁
ΖΩΝΗ III Προστασίας Πληθυσμού Μέτριες Επιπτώσεις	170	$q = 47,1/t^{3/4}$	3	6,2	50	IDLH Immediately Dangerous to Life & Health



Ζώνες Επιπτώσεων και DOMINO ανά Σενάριο Φωτιάς

Επιπτώσεις	Θερμική Ακτινοβολία			
Ζώνες	Δόση (TDU) (kW/m ²) ^{4/3} s	Ένταση (kW/m ²)	Ένταση (kW/m ²) για 40 s	Ένταση (kW/m ²) για 15 s (BLEVE)
ΖΩΝΗ Πολλαπλασιαστικών αποτελεσμάτων DOMINO			37,5	Ακτίνα Πόρινης Σφαίρας
ΖΩΝΗ Ι Προστασία Δυνάμεων Καταστολής	1500	$q = 241,0/t^{3/4}$	15	31,6
ΖΩΝΗ ΙΙ Προστασίας Πληθυσμού Σοβαρές Επιπτώσεις	450	$q = 97,7/t^{3/4}$	6	12,8
ΖΩΝΗ ΙΙΙ Προστασίας Πληθυσμού Μέτριες Επιπτώσεις	170	$q = 47,1/t^{3/4}$	3	6,2





ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ από Μεγάλο Ατύχημα (SEVESO III)

Ζώνες Επιπτώσεων : **Domino**

Z I, Z II και Z III



Είδος Επιβάρυνσης	
ΖΩΝΗ I (ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΚΑΤΑΣΤΟΛΗΣ) Σοβαρές και μη επισκευάσιμες ζημιές στο φέροντα οργανισμό και τοίχους κτιρίων	50% Πιθανότητα Θανάτου
ΖΩΝΗ II (ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ – ΣΟΒΑΡΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ) Ζημιές στο φέροντα οργανισμό και σε εξωτερικούς ή εσωτερικούς τοίχους	1% Πιθανότητα Θανάτου
ΖΩΝΗ III (ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ – ΜΕΤΡΙΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ) Ζημιές σε πόρτες και παράθυρα, ελαφρές ρηγματώσεις σε τοίχους	Πιθανότητα Τραυματισμού



Επικινδυνότητα από Φωτιές

54

□ Δόση vs ένταση θερμικής ακτινοβολίας

Η δόση της θερμικής ακτινοβολίας (D) που λαμβάνει ένα άτομο εξαρτάται από την ένταση της θερμικής ακτινοβολίας (q) και το χρόνο έκθεσης του ατόμου σε αυτήν (t).

Τα μεγέθη αυτά συνδέονται με την συνάρτηση :

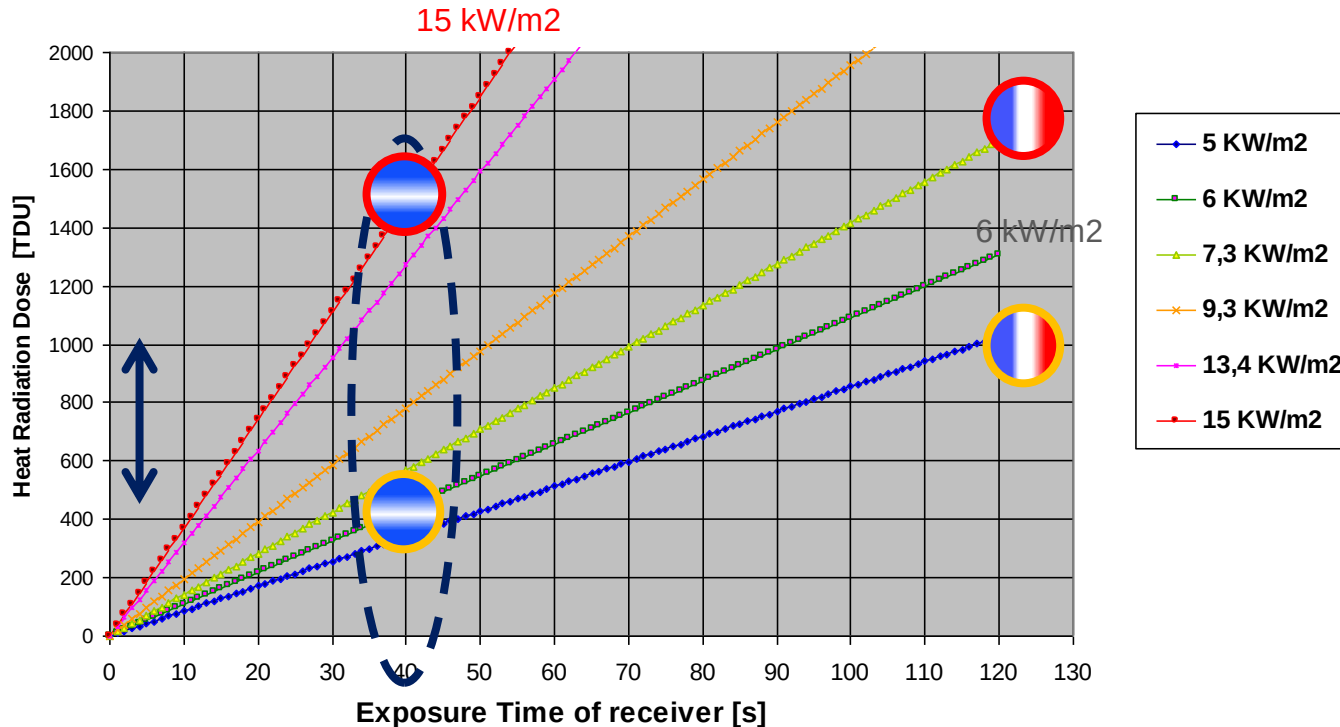
$$D = q^{4/3} t, \quad D \text{ η Δόση σε TDU}$$



Θερμική Δόση έναντι του Χρόνου Διαφυγής για διάφορα όρια Θερμικής Έντασης

$D = q \cdot t^{4/3}$ ($q = 5 / 6 / 7.3 / 9.3 / 13.4 / 15 \text{ kW/m}^2$)

Heat Radiation Dose vs Time of Exposure at distinct Heat Radiation Levels





Φωτιές: Θερμική Ακτινοβολία σε Θανατηφόρα Δόση

- Η πιθανότητα θανάτου ενός ανθρώπου εξαρτάται από τη ΔΟΣΗ θερμικής ακτινοβολίας που λαμβάνει

- Εκτίμηση πιθανότητας θανάτου μέσω διαφορετικών μοντέλων πρόβλεψης

- Γενικός αποδεκτός όριος :

ΔΟΣΗ 400 έως 1000 TDU (Thermal Dose Units) μπορεί να είναι υπεύθυνη για

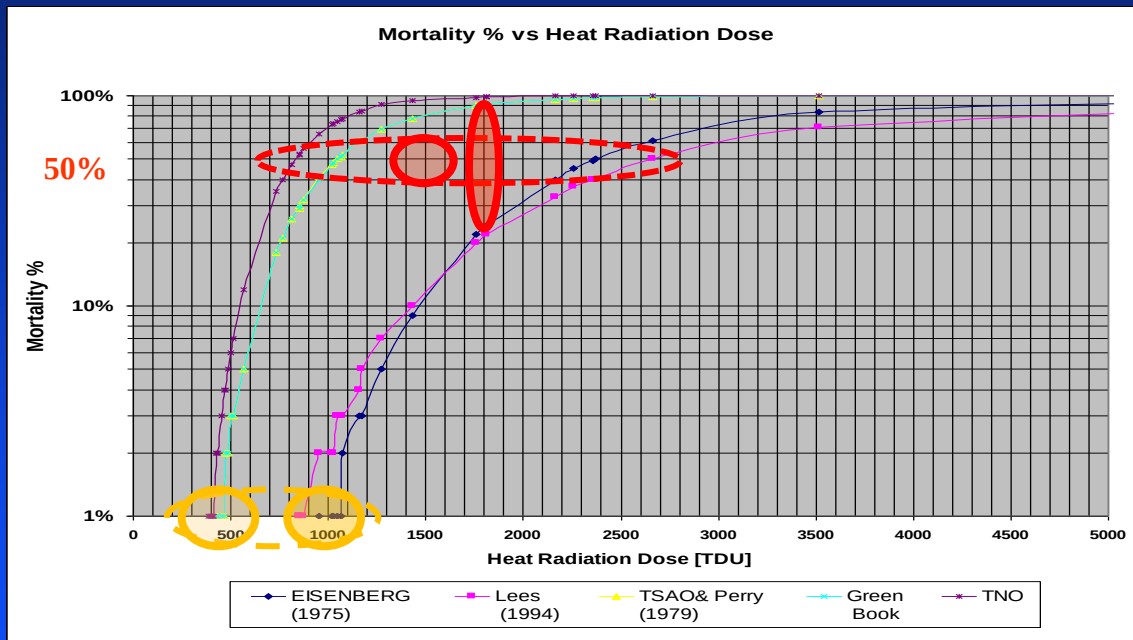
1% πιθανότητα θανάτου

ΔΟΣΗ 1000 έως 2500 TDU για 50% πιθανότητα θανάτου

- Πρακτικές σε χώρες μέλη ΕΕ :

- ΔΟΣΗ 1000 TDU θεωρείται (HSE UK, France) σαν όριο για 1% πιθανότητα θανάτου (mortality)

- ΔΟΣΗ 1800 TDU για σημαντική πιθανότητα θανάτου (significant mortality) : Αναμενόμενη από 20–90%





Κριτήρια Ζωνών Επιπτώσεων στην ΕΕ

	“Εσωτερική ΖΩΝΗ ” Σημαντική Πιθανότητα Θανάτου	“Μεσαία ΖΩΝΗ ” 1% Πιθανότητα Θανάτου	“Εξωτερική ΖΩΝΗ ” Σοβαρές Συνέπειες 0 % Πιθανότητα Θανάτου
Γαλλία	8 kW/m ² or 1800 TDU 200 mbar	5 kW/m ² or 1000 TDU 140 mbar	3 kW/m ² or 600 TDU 50 mbar
Αγγλία	1800 TDU	1000 TDU	500 TDU
Ιταλία	12,5 kW/m ² 300 & 600 mbar	7 kW/m ² 140 mbar	5 kW/m ² 70 mbar
Μάλτα	13.4 kW/m ² 50%	9.3 kW/m ² (1%) 7.3 kW/m ² (Low damage to unprotected person 1%)	
Ελλάδα	1500 TDU 15 kW/m ² 350 mbar	450 TDU 6 kW/m ² 140 mbar	170 TDU 3 kW/m ² 50 mbar



Κριτήρια Αποδοχής Επικινδυνότητας (Risk Acceptance Criteria)

Ζώνη	Ποιοτική εκτίμηση επικινδυνότητας			Ποσοτική εκτίμηση επικινδυνότητας
	Θερμική ακτινοβολία (Kw/m ²)	Ωστικό κύμα (υπερπίεση) (mbar)	Τοξικά (συγκέντρωση)	Ατομική διακινδύνευση
Ζώνη I	15	350	LC50	10^{-5}
Ζώνη II	6	140	LC1	10^{-6}
Ζώνη III	3	50	IDLH	3×10^{-7}



Επικινδυνότητα από Φωτιές

$$D = q^{4/3} t,$$

59

ΑΣΚΗΣΗ Δόση θερμικής ακτινοβολίας

Πόσο χρόνο μπορεί να παραμείνει ένα άτομο σε μια περιοχή όπου εκτίθεται σε θερμική ακτινοβολία φωτιάς μέσης έντασης $q = 2 \text{ KW/m}^2$ έτσι ώστε να μη διατρέχει κίνδυνο σοβαρών εγκαυμάτων που πιθανά θα επιφέρουν θανατηφόρες συνέπειες ?

Ελέγξτε το χρόνο σύμφωνα με το Ελληνικό και το Γαλλικό πρότυπο (κριτήρια θερμικής δόσης για ζώνες επιπτώσεων).

Για πόσο χρόνο μπορεί το ίδιο άτομο να εκτίθεται κάτω από αυτές τις συνθήκες ώστε να μη διατρέχει κίνδυνο εγκαυμάτων που πιθανά θα επιφέρουν σοβαρές επιπτώσεις αλλά σε καμία περίπτωση θανατηφόρες ?

Ελέγξτε το χρόνο σύμφωνα με το Ελληνικό, Αγγλικό και Γαλλικό πρότυπο (κριτήρια θερμικής δόσης).

Ελλάδα $D1\% = 450 \text{ TDU}$, Γαλλία $D1\% = 1000 \text{ TDU}$ [$\text{kW/m}^2)^{4/3} * \text{s}$]

$t = D / (q^{4/3})$, $q = 2^{1,33} = 2,514 \text{ (kW/m}^2)^{4/3}$,

Ελλάδα $D1\%$: $t = 450 / 2,514 = 179 \text{ s} = 2,98 \text{ min} \sim 3 \text{ mins}$ (συντηρητικό)

Γαλλία $D1\%$: $t = 1000 / 2,514 = 398 \text{ s} = 6,63 \text{ min} < 7 \text{ mins}$

Ελλάδα $D0\% = 170 \text{ TDU}$, Αγγλία $D0\% = 500 \text{ TDU}$, Γαλλία $D0\% = 600 \text{ TDU}$, [$\text{kW/m}^2)^{4/3} * \text{s}$]

$t = D / (q^{4/3})$, $q = 2^{1,33} = 2,514 \text{ kW/m}^2$,

Ελλάδα $D0\%$: $t = 170 / 2,514 = 67 \text{ s} \sim 1 \text{ min}$ (συντηρητικό)

Αγγλία $D0\%$: $t = 500 / 2,514 = 199 \text{ s} \sim 3,3 \text{ mins}$

Γαλλία $D0\%$: $t = 600 / 2,514 = 238 \text{ s} \sim 4 \text{ mins}$



Κίνδυνος από Επικίνδυνες Ουσίες/Μείγματα

60

➤ **Ιδιότητες** της επικίνδυνης ουσίας



Χαρακτηρισμός ως Επικίνδυνη Ουσία

Ο **βαθμός του Κινδύνου (επίπεδο κινδύνου)**, των επικίνδυνων ουσιών, εξαρτάται από:

1. τις **ιδιότητες της επικίνδυνης ουσίας** (φυσικές, χημικές, τοξικολογικές κ.α.) – **ΔΔΑ (SDS)**
2. την **ποσότητα της ουσίας** που εμπλέκεται στο υπό εξέταση σύστημα,
3. το **είδος της διεργασίας** στην οποία συμμετέχει στο σύστημα (π.χ. αποθήκευση, χειρισμός, χημική αντίδραση, φυσική διεργασία π.χ. απόσταξη, εξάτμιση, μεταφορά, δεξαμενισμός, κλπ.), και
4. τις **συνθήκες** λειτουργίας της διεργασίας ή κατά τη διαχείριση π.χ. πίεση, θερμοκρασία, ροή.



Δελτία Δεδομένων Ασφάλειας (SDS)

62

➤ Δελτία Δεδομένων Ασφάλειας (Safety Data Sheet -SDS)

Εργαλεία για τη διαχείριση (ασφαλή χρήση) των Χημικών
Κοινοποίηση του Κινδύνου



Εκρηκτικό



Εύφλεκτο



Οξειδωτικό



Αέριο υπό Πίεση



Διαβρωτικό



Οξεία Τοξικότητα



Κίνδυνος
για την Υγεία



Σοβαρός Κίνδυνος
για την Υγεία



Επικίνδυνο για το
Περιβάλλον



ΔΔΑ (SDS) - Περιεχόμενα: 16 τμήματα /κεφάλαια)

ΔΔΑ (SDS Προπανίου)

Δελτία Δεδομένων Ασφάλειας (Safety Data Sheet -SDS) Ζιζανιοκτόνου

63

1. Στοιχεία Ουσίας/Παρασκευάσματος και Εταιρίας/επιχείρησης
2. Προσδιορισμός Επικινδυνότητας
3. Σύσταση / Πληροφορίες για τα συστατικά
4. Πρώτες Βοήθειες
5. Μέτρα για την καταπολέμηση της Πυρκαγιάς
6. Μέτρα για την αντιμετώπιση τυχαίας έκλησης
7. Χειρισμός και Αποθήκευση
8. Έλεγχος της Έκθεσης στο προϊόν /Ατομική Προστασία
9. Φυσικές & Χημικές Ιδιότητες
10. Σταθερότητα και Αντιδρασιμότητα
11. Τοξικολογικά στοιχεία
12. Οικολογικά στοιχεία
13. Στοιχεία σχετικά με τη Διάθεση (απόβλητα)
14. Μεταφορά
15. Κανονιστικές Διατάξεις & 16. Λοιπές πληροφορίες



Επικίνδυνες Ουσίες : CLP

64

CLP = Classification Labelling Packaging

(<https://echa.europa.eu/el/regulations/clp/understanding-clp>)

- **Κανονισμός για την Ταξινόμηση, Επισήμανση και Συσκευασία (CLP) [(ΕΚ) αριθ. 1272/2008]** βασίζεται στο Παγκοσμίως Εναρμονισμένο Σύστημα των Ηνωμένων Εθνών (ΠΕΣ - **GHS**) και αποσκοπεί στη διασφάλιση ενός **υψηλού επιπέδου προστασίας της υγείας και του περιβάλλοντος**, και της **ελεύθερης κυκλοφορίας των ουσιών, των μειγμάτων και των αντικειμένων**.
- Τροποποίησε την οδηγία για τις επικίνδυνες ουσίες [67/548/ΕΟΚ (DSD)], για τα επικίνδυνα παρασκευάσματα [1999/45/ΕΚ (DPD)] και τον κανονισμό (ΕΚ) αριθ. 1907/2006 (REACH), ενώ από την 1/6/2015 είναι η μόνη ισχύουσα νομοθεσία στην ΕΕ για ταξινόμηση & επισήμανση ουσιών & μειγμάτων.



Επικίνδυνες Ουσίες : CLP



- Ο κανονισμός **CLP** είναι **νομικά δεσμευτικός** για όλα τα κράτη μέλη της ΕΕ και ισχύει άμεσα σε όλους τους βιομηχανικούς κλάδους. Απαιτεί από τους **παρασκευαστές, τους εισαγωγείς ή τους μεταγενέστερους χρήστες ουσιών ή μειγμάτων να ταξινομούν, να επισημαίνουν και να συσκευάζουν** κατάλληλα τις επικίνδυνες χημικές ουσίες τους προτού τις διαθέσουν στην αγορά.
- Κύριος στόχος του CLP είναι **να εξακριβωθεί κατά πόσο μία ουσία (ή ένα μείγμα) παρουσιάζει ιδιότητες που συνεπάγονται την Ταξινόμησή της ως Επικίνδυνη**. Σε αυτό το πλαίσιο, η ταξινόμηση αποτελεί την αφετηρία για την κοινοποίηση της επικινδυνότητας.



CLP : Εικονογράμματα Κινδύνου

(εικόνα με σύμβολο προειδοποίησης σε ετικέτα – video spot)



Εκρηκτικό



Εύφλεκτο



Οξειδωτικό



Αέριο υπό Πίεση



Διαβρωτικό



Οξεία Τοξικότητα



**Κίνδυνος
για την Υγεία**



**Σοβαρός Κίνδυνος
για την Υγεία**



**Επικίνδυνο για το
Περιβάλλον**



Επικίνδυνη Ουσία: Προπάνιο C3

LPG: Μείγμα Προπάνιο – Βουτάνιο (C3/C4)

67

Βαθμός του Κινδύνου – ιδιότητες **ΠΡΟΠΑΝΙΟ** [ΔΔΑ \(SDS Προπανίου\)](#)

Δηλώσεις Επικινδυνότητας (Hazard Phrases)



H220 Εξαιρετικά εύφλεκτο αέριο



H280 Περιέχει αέριο υπό πίεση, αν θερμανθεί μπορεί να εκραγεί



Εύφλεκτο GHS -02



Εύφλεκτο

Εξαιρετικά εύφλεκτο αέριο ή Εύφλεκτο αέριο
Εξαιρετικά εύφλεκτο αερόλυμα η Εύφλεκτο αερόλυμα
Υγρό και ατμοί πολύ εύφλεκτα ή Υγρό και ατμοί εύφλεκτα
Εύφλεκτο στερεό

π.χ. Έλαιο για λυχνίες, βενζίνη, Ασετόν για τα νύχια

- Μην ψεκάζετε κοντά σε φλόγα ή άλλη πηγή ανάφλεξης.
- Μακριά από θερμότητα/σπινθήρες/φλόγες/θερμές επιφάνειες. – Μην καπνίζετε
- Να διατηρείται ο περιέκτης ερμητικά κλειστός
- Να διατηρείται δροσερό
- Να προστατεύεται από τις ηλιακές ακτίνες



Αέριο υπό Πίεση GHS -04

69



Αέριο υπό Πίεση

Αν θερμανθεί μπορεί να εκραγεί,
Αέριο υπό ψύξη μπορεί να προκαλέσει εγκαύματα ψύχους ή
τραυματισμό

π.χ. Περιέκτες (Φιάλες) αερίου

- Να προστατεύεται από τις ηλιακές ακτίνες
- Φοράτε μονωτικά γάντια προστασίας από το ψύχος/προστατευτική μάσκα/προστατευτικά γυαλιά.
- Συμβουλευτείτε/Επισκεφθείτε αμέσως γιατρό.



CLP : Ταξινόμηση - Επισήμανση Ουσιών & Μειγμάτων

(<https://echa.europa.eu/el/regulations/clp/understanding-clp>)

Εργαλεία για τη διαχείριση (ασφαλή χρήση) των Χημικών
Κοινοποίηση του Κινδύνου

- Ετικέτα στα προϊόντα (Προμηθευτής, Εικονογράμματα Κινδύνου, Δηλώσεις επικινδυνότητας H, Δηλώσεις Προφύλαξης P)
- Δελτία Δεδομένων Ασφάλειας (Safety Data Sheet -SDS)



PROTEAS : Βάση δεδομένων επικίνδυνων ουσιών

71

[CHEREE : tps://www.reach-cherree.gr/e-tools-guidance/hazardous-substances/](https://www.reach-cherree.gr/e-tools-guidance/hazardous-substances/)

<http://www.kartes.proteas-reach.gr/>

Χημική Ονομασία (~ 3000 ουσίες)

Ομάδες Ουσιών (για Έκτακτη Ανάγκη)





ΔΙΑΣΠΟΡΑ ΑΕΡΙΟΥ ΝΕΦΟΥΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΗΣ ΟΥΣΙΑΣ (Δόση- Συγκέντρωση)

72



Σε περίπτωση διασποράς επικίνδυνης (τοξικής) ουσίας σε εργασιακό περιβάλλον, η δόση (**D**) που λαμβάνει ένα άτομο (εργαζόμενος), υπολογίζεται σε κάθε σημείο (ρ, ψ) του εδάφους ή του χώρου (ρ, ψ, z), με βάση

- την συγκέντρωση **C**(ρ, ψ) της ουσίας, η οποία υπολογίζεται από μοντέλα διασποράς, και
- την έκθεση του εργαζόμενου στη συγκέντρωση αυτή σαν συνάρτηση του χρόνου, από το ολοκλήρωμα:

$$D = \int_0^t C(\rho, \psi)^n dt$$

όπου, n = εμπειρικός εκθέτης (από πειράματα) για κάθε ουσία,
και **t** = χρόνος έκθεσης ατόμου



Ανθρώπινη Τρωτότητα (vulnerability)

Μοντέλα Δόσης- Απόκρισης

73

Σε περίπτωση διασποράς τοξικής ουσίας, η δόση που λαμβάνει ένα άτομο υπολογίζεται σε κάθε σημείο (ρ, ψ) του (χώρου εργασίας) εδάφους, με βάση την συγκέντρωση $C(\rho, \psi)$ της ουσίας που υπολογίζεται από μοντέλα διασποράς, και την έκθεση του εργαζόμενου στη συγκέντρωση αυτή σαν συνάρτηση του χρόνου, από το ολοκλήρωμα:

$$D = \int_0^t C(\rho, \psi)^n dt$$

όπου, n = εμπειρικός εκθέτης (από πειράματα) για κάθε ουσία, και t = χρόνος έκθεσης.

$$P_r = a + b \ln D$$

Υπάρχουν λίστες με τις παραμέτρους **a**, **b** και **n** για τις περισσότερες τοξικές και επικίνδυνες ουσίες, αναφορικά με την θανατηφόρα δόση.



Ανθρώπινη Τρωτότητα (vulnerability) Συνάρτηση “Probit” $P_r = a + b \ln D$

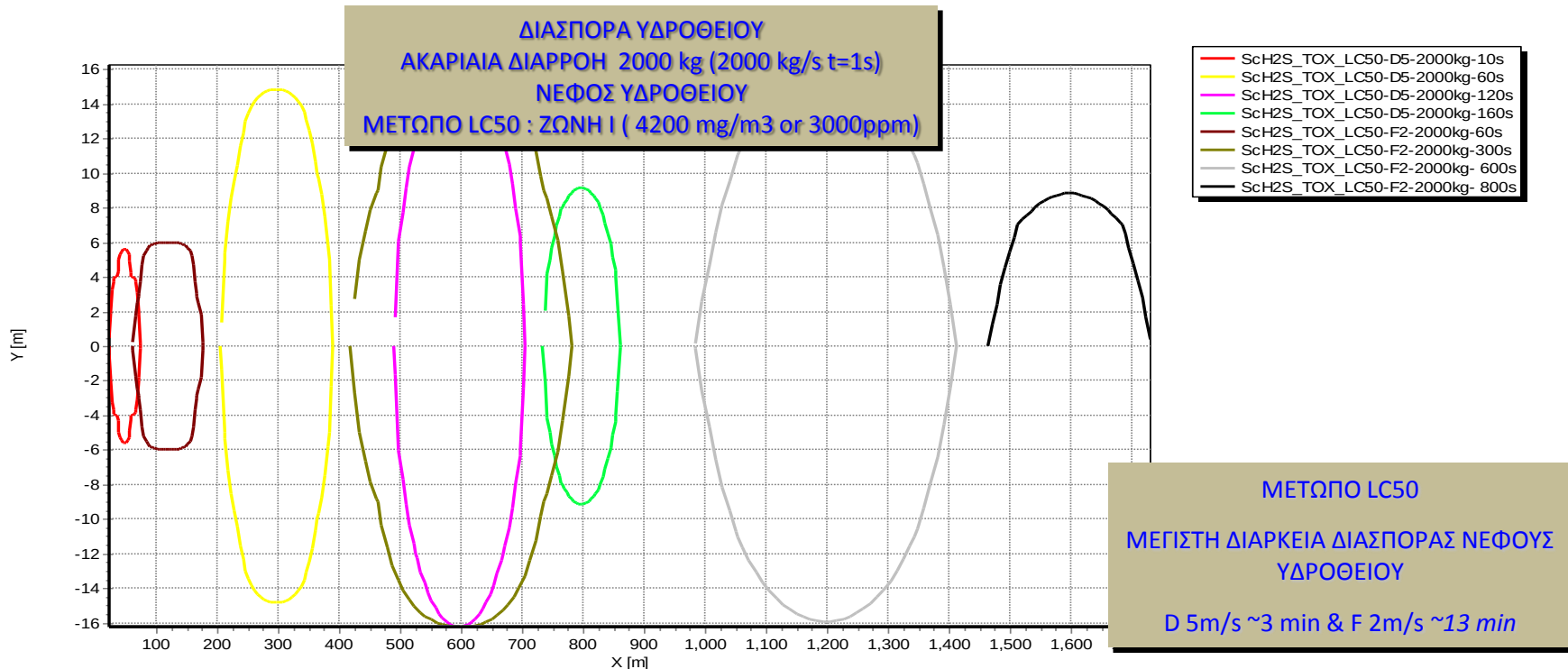
Παράμετροι **a**, **b** και **n** για τοξικές και επικίνδυνες ουσίες, αναφορικά με την θανατηφόρα δόση

Substance	a (ppm)	b (ppm)	n (min)
Acrolein	-9.931	2.049	1
Acrylonitrile	-29.42	3.008	1.43
Ammonia	-35.9	1.85	2
Benzene	-109.78	5.3	2
Bromine	-9.04	0.92	2
Carbon monoxide	-37.98	3.7	1
Carbon tetrachloride	-6.29	0.408	2.50
Chlorine	-8.29	0.92	2
Formaldehyde	-12.24	1.3	2
Hydrogen chloride	-16.85	2.00	1.00
Hydrogen cyanide	-29.42	3.008	1.43
Hydrogen fluoride	-35.87	3.354	1.00
Hydrogen sulfide	-31.42	3.008	1.43
Methyl bromide	-56.81	5.27	1.00
Methyl isocyanate	-5.642	1.637	0.653
Nitrogen dioxide	-13.79	1.4	2
Phosgene	-19.27	3.686	1
Propylene oxide	-7.415	0.509	2.00
Sulfur dioxide	-15.67	2.10	1.00
Toluene	-17.91	0.610	1.00



Διασπορά Επικίνδυνης Ουσίας: Υδρόθειο H_2S (τοξική & εύφλεκτη) <https://www.kartes.proteas-reach.gr/>

75





ΚΡΙΤΗΡΙΑ: ΟΡΙΑΚΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ

76



Η χρήση των οριακών συγκεντρώσεων της ουσίας π.χ. τοξικών ορίων είναι ευρεία.

Ένα παράδειγμα είναι ο υπολογισμός της έκτασης των ζωνών συνεπειών σε μια περιοχή γύρω από το σημείο διαρροής και διασποράς του αέριου (τοξικού) νέφους.

Το μέτωπο αερίου νέφους Υδροθείου (εύφλεκτο & τοξικό) κατά τη διασπορά του μετά από ακαριαία διαρροή 2000 kg (2000 kg/s $t=1s$).

Στο παράδειγμα παρατηρείται ότι σε συνθήκες ουδέτερης ατμοσφαιρικής ευστάθειας (D) και με ταχύτητα ανέμου 5m/s, το μέτωπο LC50 έχει κύκλο ζωής 160 s σε μέγιστη απόσταση από το σημείο διαρροής ~800m.

Αντίστοιχα σε σταθερές συνθήκες (F) και με ταχύτητα ανέμου 2m/s, το μέτωπο LC50 έχει κύκλο ζωής 800 s σε μέγιστη απόσταση από το σημείο διαρροής ~1600m.



ΕΥΦΛΕΚΤΑ: Θερμική Ακτινοβολία (Δόση – Ένταση)

77

Η δόση και η ένταση της θερμικής ακτινοβολίας (q) συνδέονται με τη σχέση :

$$D = q^{4/3} t,$$

σε όπου

η **Δόση (D) Θερμικής Ακτινοβολίας** εκφράζεται σε $(\text{kW/m}^2)^{4/3} * \text{s}$: **(TDU: Thermal Dose Units)**,

και

η **Ένταση Θερμικής Ακτινοβολίας (q)** εκφράζεται σε (kW/m^2) .

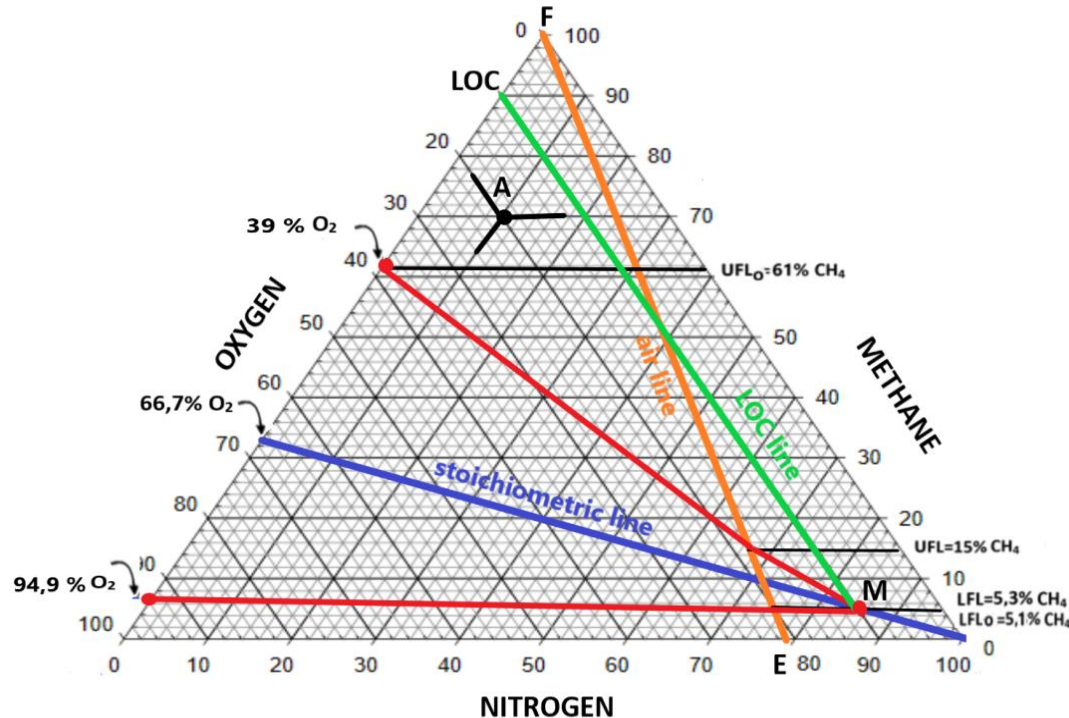


Flammability Limits (Όρια Αναφλεξιμότητας)

LFL – UFL *NFPA* Χαρακτηριστικές ιδιότητες εύφλεκτων



78





Flammability Limits (Όρια Αναφλεξιμότητας)

LFL – UFL *NFPA* Χαρακτηριστικές ιδιότητες εύφλεκτων



79

Το διάγραμμα αναφλεξιμότητας καθορίζει εάν ένα συγκεκριμένο μείγμα αερίων είναι εύφλεκτο, πράγμα που είναι χρήσιμο για τον έλεγχο ή την αποφυγή πυρκαγιάς ή έκρηξης εύφλεκτων αερίων. Ένας γενικός τρόπος αναπαράστασης της αναφλεξιμότητας ενός αερίου ή ατμού είναι το τριγωνικό διάγραμμα που φαίνεται στο Σχήμα 9.65 (του βιβλίου).

Οι συγκεντρώσεις καυσίμου, οξυγόνου και αδρανούς ουσίας (σε όγκο ή mole %) απεικονίζονται στους τρεις άξονες ενός τριγώνου που οι κορυφές αντιπροσωπεύουν είτε 100% καύσιμο, οξυγόνο ή άζωτο.

Το σημείο **A** αντιπροσωπεύει ένα μείγμα που αποτελείται από 70% καύσιμο, 20% οξυγόνο και 10% άζωτο.

Η ζώνη που περικλείεται μεταξύ των **κόκκινων γραμμών** (Upper Flammability Level και Lower Flammability Limit) αντιπροσωπεύει όλα τα μείγματα που είναι εύφλεκτα.

Επειδή το σημείο A βρίσκεται έξω από την εύφλεκτη ζώνη, ένα μείγμα αυτής της σύνθεσης ΔΕΝ είναι εύφλεκτο.



Flammability Limits (Όρια Αναφλεξιμότητας)

LFL – UFL



80

Το διάγραμμα αναφλεξιμότητας είναι χρήσιμο για την παρακολούθηση της σύστασης ενός αερίου καυσίμου κατά τη διάρκεια μιας διεργασίας για να εξετασθεί εάν δημιουργείται εύφλεκτο μείγμα κατά τη διάρκεια αυτής. Για παράδειγμα, ένα δοχείο αποθήκευσης περιέχει **καθαρό Μεθάνιο** και τα εσωτερικά του τοιχώματα πρέπει να επιθεωρηθούν, ως μέρος μιας συντήρησης. Έτσι, **το μεθάνιο πρέπει να απομακρυνθεί από το δοχείο και να αντικατασταθεί από αέρα** ώστε να μπορούν να αναπνέουν οι συντηρητές.

Το πρώτο βήμα στη διαδικασία αυτή είναι η αποσυμπίεση του δοχείου σε ατμοσφαιρική πίεση. Αρχικά το δοχείο περιέχει 100% καθαρό μεθάνιο (**σημείο F**). Εάν το δοχείο ανοίξει και αφεθεί να εισέλθει αέρας, η σύσταση του αερίου εντός του δοχείου θα ακολουθήσει τη γραμμή αέρα (**air line**) έως ότου η σύσταση εντός του δοχείου φτάσει τελικά στο **σημείο E (καθαρός αέρας)**. Η γραμμή αέρα (air line) αντιπροσωπεύει όλους τους πιθανούς συνδυασμούς καυσίμου-αέρα και εκτείνεται από το σημείο F (καθαρό καύσιμο) μέχρι το σημείο E (καθαρός αέρας).

Σημειώστε ότι σε κάποιο σημείο της διαδικασίας, η σύσταση του αερίου διέρχεται από τη ζώνη αναφλεξιμότητας. Εάν υπήρχε μια πηγή ανάφλεξης τότε θα είχε προκληθεί πυρκαγιά ή έκρηξη. Σε αυτήν την περίπτωση, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια διαδικασία αδρανοποίησης για την αποφυγή της ζώνης αναφλεξιμότητας.



Flammability Limits (Όρια Αναφλεξιμότητας)

LFL – UFL



81

Η στοιχειομετρική καμπύλη (**stoichiometric line**) αντιπροσωπεύει όλους τους στοιχειομετρικούς συνδυασμούς καυσίμου-οξυγόνου και ξεκινά από σε ένα σημείο στην κορυφή αζώτου 100%.

Η τομή της στοιχειομετρικής γραμμής με τον άξονα του οξυγόνου (σε όγκο % οξυγόνο) δίνεται από τη σχέση:

$$\left(\frac{z}{z+1} \right) = \left(\frac{2}{2+1} \right) = 66,7 \% O_2$$

Η αντίδραση καύσης για το μεθάνιο είναι η ακόλουθη (**z=2**): $CH_4 + z (O_2 + 3,76 N_2) \rightarrow CO_2 + 2 H_2O + 7,52 N_2$

Για πολλούς αέριου υδρογονάνθρακες, τα όρια αναφλεξιμότητας LFL και UFL είναι συναρτήσεις της στοιχειομετρικής συγκέντρωσης (C_{st}) του καυσίμου, ήτοι: $LFL=0,55 C_{st}$ και $UFL=3,50 C_{st}$.

Η στοιχειομετρική συγκέντρωση (C_{st}) του **καυσίμου στον αέρα** βρίσκεται ως εξής:

$$C_{st} = \frac{1}{1 + 2(1 + 3,76)} \quad C_{st} = \frac{1}{1 + 9,52} = 9,5 \%$$

Σημαντικό είναι επίσης να προσδιορισθούν και οι συστάσεις των αερίων μειγμάτων σε οξυγόνο κάτω από τις οποίες δεν είναι εύφλεκτα (LOC, limiting oxygen concentration). Αυτά τα μείγματα αντιπροσωπεύονται από τη **γραμμή LOC** στο Σχήμα 9.Α η οποία βρίσκεται από τη σχέση: **$LOC = z \cdot (LFL)$**

Για να βρεθούν τα σημεία τομής των ζωνών αναφλεξιμότητας με την πλευρά του οξυγόνου, χαράσσονται δυο οριζόντιες γραμμές από τα σημεία των ορίων αναφλεξιμότητας σε καθαρό οξυγόνο (για το μεθάνιο σε καθαρό οξυγόνο $LFL_o=5,1\%$ και $UFL_o=61\%$ σε μεθάνιο). Τα αντίστοιχα **όρια αναφλεξιμότητας σε αέρα** είναι **LFL=5,3% και UFL=15% σε μεθάνιο**.



Flammability Limits (Όρια Αναφλεξιμότητας)

LFL – UFL *NFPA* Χαρακτηριστικές ιδιότητες εύφλεκτων



82

Flammability Limits (Όρια Αναφλεξιμότητας) - % κ.ο. περιεκτικότητα στον αέρα

LFL : Lower Flammability Limit **Η ελάχιστη (%)** κατ' όγκον συγκέντρωση των εύφλεκτων ατμών στον αέρα που καθιστά το μίγμα αναφλέξιμο.

UFL : Upper Flammability Limit **Η μέγιστη %** κατ' όγκον συγκέντρωση των εύφλεκτων ατμών στον αέρα που καθιστά το μίγμα αναφλέξιμο.

Όταν η συγκέντρωση είναι μικρότερη από LFL το μείγμα ατμών – αέρα είναι φτωχό για να αναφλεγεί (lean)

Όταν η συγκέντρωση είναι μεγαλύτερη από UFL το μείγμα ατμών – αέρα είναι πολύ πλούσιο για να αναφλεγεί (rich)



ΕΥΦΛΕΚΤΑ: ΟΡΙΑΚΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ (ΚΡΙΤΗΡΙΑ) Διασπορά εύφλεκτου νέφους



83

Η χρήση των οριακών συγκεντρώσεων της εύφλεκτης ουσίας π.χ. Όρια Αναφλεξιμότητας

Υπολογισμός της έκτασης των ζωνών συνεπειών σε μια περιοχή γύρω από το σημείο διαρροής και διασποράς του αέριου (εύφλεκτου) νέφους.

Το μέτωπο αερίου νέφους Υδροθείου (εύφλεκτο) κατά τη διασπορά του μετά από ακαριαία ή συνεχή διαρροή

Συνθήκες ουδέτερης ατμοσφαιρικής ευστάθειας (D) και με ταχύτητα ανέμου 5m/s, ή αντίστοιχα σε σταθερές συνθήκες (F) και με ταχύτητα ανέμου 2m/s,

το μέτωπο LFL καθορίζει το εύφλεκτο νέφος .



ΕΥΦΛΕΚΤΑ: ΟΡΙΑΚΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ (ΚΡΙΤΗΡΙΑ)

Χαρακτηριστικές ιδιότητες εύφλεκτων



84

Αντίστοιχα είναι τα όρια εκρηξιμότητας (LEL, UEL) Lower & Upper Explosivity Limits.

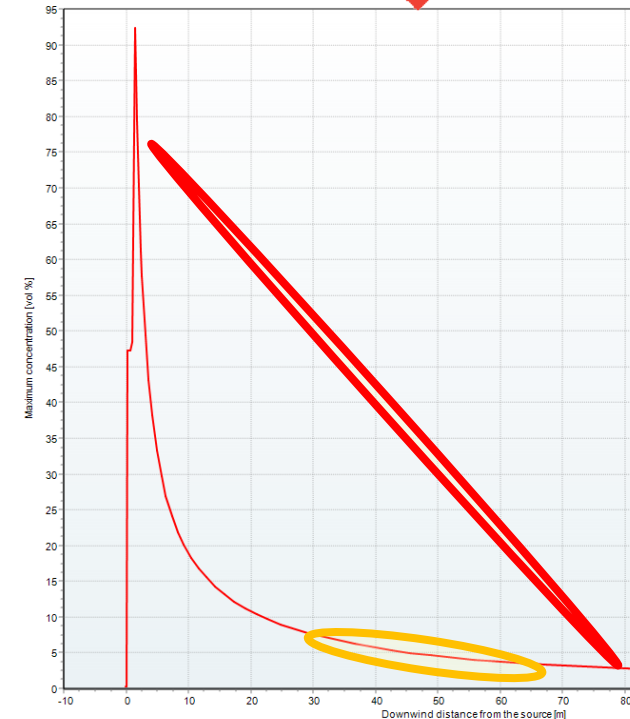
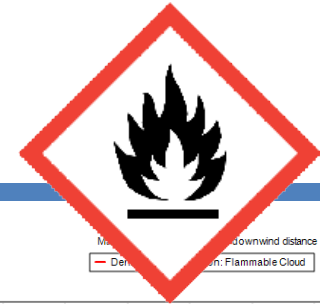
- Σε περίπτωση που το εύφλεκτο μίγμα στον αέρα έχει συγκέντρωση μικρότερη από LFL ή LEL, το μίγμα καλείται φτωχό (lean).
- Αντίθετα, όταν η συγκέντρωση του μίγματος είναι μεγαλύτερη από UFL ή UEL, το μίγμα είναι πολύ πλούσιο (rich).
- Και στις δύο περιπτώσεις, τα μίγματα δεν αναφλέγονται. Η ανάφλεξη λαμβάνει χώρα σε μίγματα με συγκέντρωση εντός των ορίων LFL και UFL.

Ανάφλεξη με παρουσία πηγής πραγματοποιείται όταν $LFL < c < UFL$



Gas	Explosion limits (vol. %)	Shock wave model reactivity	Liquid	Explosion limits (vol. %)	Shock wave model reactivity
Acetaldehyde	4-57	average	Acrylonitrile	3-17	
Ammonia	15-28	low	Acetonitrile	3-?	
1,3 Butadiene	1.1-12.5	average	Alluyl chloride	3.2-11.2	
n-Butane	1.5-8.5	average	Carbon disulphide	1-60	
Propane	2.1-9.5	average	Diethylamine	1.7-10.1	
Propene	2-11.7	average	Propylene oxide	1.9-37	
1-Butene	1.6-10	average	Vinyl acetate	2.6-13.4	
Dimethylamine	2.8-14.4	average	Tetra ethyl lead	1.8-?	
Ethyl chloride	3.8-15.4	low	Allyl alcohol	2.5-18	
Ethane	3.-13.5	average	Benzene	1-8	
Ethene	2.7-34	average	1,3 Dichloropropene	3.5-14.5	
Ethylene oxide	2-100	high	Epichlorhydrin	2.3-34.4	
Methane	5-15	low	Ethylene diamine	2.7-16.6	
Methyl bromide	8.6-20	low	Ethyl formate	2.7-13.5	
Methyl chloride	10.7-17.2	low	Formic acid	14-33	
Vinyl chloride	4-29	average	Methyl acrylate	2.8-25	
Formaldehyde	7-73	high *	Methyl formate	5-23	
Carbon monoxide	12.5-74.2	low	Solvent naphtha	1.0-7.5	
Hydrogen sulphide	4.3-46	high *	Ethyl mercaptan	2.8-18.2	
Acetylene	1.5-100	high	t-Butyl mercaptan	?	
			n-Butyl mercaptan	?	
			Tetrahydrothiophene	?	

wv





ΕΥΦΛΕΚΤΑ: ΟΡΙΑΚΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ (ΚΡΙΤΗΡΙΑ)

Χαρακτηριστικές ιδιότητες εύφλεκτων



86

Για ορισμένες ουσίες το εύρος των ορίων αυτών δεν είναι μεγάλο, π.χ.

Βενζίνη LFL =1.4% , UFL=7.6%,

Υγραέριο (LPG = Προπάνιο, Βουτάνιο ή μίγμα αυτών) LFL ~1.6% , UFL~9.5%,

ενώ για άλλες είναι αρκετά ευρύ π.χ.

Υδρογόνο LFL =4% , UFL=75%,

Μονοξείδιο του άνθρακα LFL =12.5% , UFL=74%,

Μεθάνιο (Φυσικό Αέριο) LFL =5 % , UFL=15 %

Π.χ. η πιθανότητα ανάφλεξης μιας διαρροής είναι μεγαλύτερη για Υδρογόνο.



Χαρακτηριστικές ιδιότητες εύφλεκτων

Flash Point (Σημείο Ανάφλεξης)



87

Flash Point (Σημείο Ανάφλεξης)

Η χαμηλότερη Θερμοκρασία στην οποία οι ατμοί πάνω από υγρό θα αναφλεγούν

Γενικά όσο χαμηλότερο το Σημείο Ανάφλεξης μιας ουσίας τόσο μεγαλύτερη η πιθανότητα κινδύνου φωτιάς.



Σύστημα Διαβάθμισης NFPA

88

National Fire Protection Agency
NFPA 30





Σύστημα Διαβάθμισης NFPA

89

National Fire Protection Association

<https://www.nfpa.org/>

NFPA 30

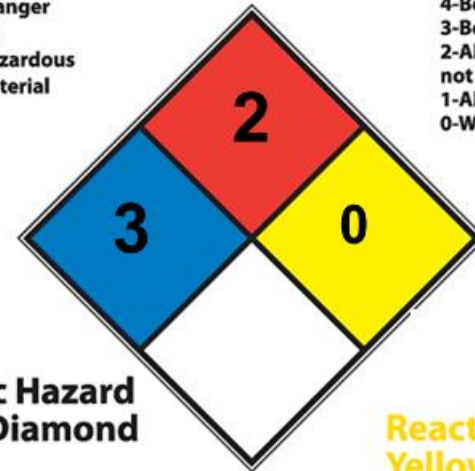
Χαρακτηριστικές ιδιότητες εύφλεκτων

Health Hazard Blue Diamond

4-Deadly
3-Extreme Danger
2-Hazardous
1-Slightly Hazardous
0-Normal Material

Fire Hazard Red Diamond

Flash Points
4-Below 73°F
3-Below 100°F
2-Above 100°F
not exceeding 200°F
1-Above 200°F
0-Will not burn



Specific Hazard White Diamond

ACID - Acid
ALK - Alkali
COR - Corrosive
OXY - Oxidizer
☢ - Radioactive
☒ - Use No Water

Reactivity Yellow Diamond

4-May Detonate
3-Shock & Heat
may detonate
2-Violent Chemical
change
1-Unstable if heated
0-Stable

NFPA Rating Explanation Guide

RATING NUMBER	HEALTH HAZARD	FLAMMABILITY HAZARD	INSTABILITY HAZARD	RATING SYMBOL	SPECIAL HAZARD
4	Can be lethal	Will vaporize and readily burn at normal temperatures	May explode at normal temperatures and pressures	OX	Oxidizing
3	Can cause serious or permanent injury	Can be ignited under almost all ambient temperatures	May explode at high temperature or shock		
2	Can cause temporary incapacitation or residual injury	Must be heated or high ambient temperature to burn	Violent chemical change at high temperatures or pressures	SA	Simple asphyxiants
1	Can cause significant irritation	Must be preheated before ignition can occur	Normally stable. High temperatures make unstable		
0	No hazard	Will not burn	Stable	W	Reacts violently or explosively with water

This chart for reference only. For complete specifications consult the NFPA 704 Standard.



Κίνδυνος από πολλές Επικίνδυνες Ουσίες/Μείγματα

91

- **Ποσότητα διαφορετικών** ουσιών (στο χώρο)
- Πραγματική παρουσία επικίνδυνων ουσιών και ουσιών που πιθανόν να προκύψουν μετά το ατύχημα (π.χ. καυσαέρια)



SEVESO : Ομαδοποίηση Ουσιών

ΚΥΑ 172058 ΦΕΚ 354.Β.17.2.2016

92

Ο φορέας εκμετάλλευσης (**διαχειριστής**) μιας εγκατάστασης (**μονάδας** Ανώτερης και Κατώτερης βαθμίδας) υποχρεούται να υποβάλλει στην Αδειοδοτούσα Αρχή (Αρμόδια Αρχή : ΤΕΕ) Φάκελο Κοινοποίησης (Ελλάδα)

α) **Τοπογραφικό** και κάτοψη εγκατάστασης (**lay out**) – αποτύπωση κρίσιμου εξοπλισμού (δεξαμενές, παραγωγή, κτήρια, κλπ) με συντεταγμένες κατά **ΕΓΣΑ 87** ή WGSC84

β-γ) επωνυμία/έδρα, διεύθ. εγκατάστασης, όνομα/τηλ.(24h)/email νομικά υπεύθυνου & **Τεχνικού Ασφάλειας**

δ) **Κατάλογος Επικίνδυνων Ουσιών** (§10 Ορισμοί) «επικίνδυνη ουσία», στο Παράρτημα Ι, (Α' ύλη, προϊόν, κατάλοιπο, κλπ.), (§12) «ύπαρξη επικίνδυνων ουσιών»,

η πραγματική παρουσία και η προβλεπόμενη παρουσία που είναι δυνατόν να προκύψει σε απώλεια ελέγχου της παραγωγικής διαδικασίας ή αποθήκευσης

σε ποσότητες μεγαλύτερες από τις οριακές,

π.χ. καυσαέρια CO, SO_x, NO_x (βλ.σελ 17. π.χ.**ΕΚΟ**)

ή προϊόντα αντίδρασης (H₂ από οξέα σε μέταλλα),

ή τοξικά αέρια από εξάτμιση π.χ. H₂S

- ΤΕΚΜΗΡΙΩΝΕΤΑΙ ΔΥΣΚΟΛΑ η προβλεπόμενη παρουσία επικίνδυνων ουσιών.



SEVESO : Αναγνώριση επικίνδυνων ουσιών

93

ε) **Δελτία Δεδομένων Ασφαλείας ΔΔΑ (SDS)** σύμφωνα με Καν.1907/2006 (**REACH**),
KYA 172058 : (§ Β άρθρ. 5, Παρ. VII & VIII) **Γνωμοδότηση ΟΡΘΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ** από ΓΧΚ / ΧΥ για ταυτοποίηση ουσιών και κατηγορία κινδύνου (νέα ταξινόμηση επικίνδυνων σύμφωνα με Καν. 1272/2008 **CLP**) π.χ. **Παράρτημα 1, Μέρος Ι**

- **Τμήμα Η: Κίνδυνοι για Υγεία** (τοξικές),
- **Τμ. Ρ: Φυσικοί Κίνδυνοι** (εκρηκτικές, εύφλεκτες, οξειδωτικές, κλπ.)
- **Τμ. Ε: Κίνδυνοι για Περιβάλλον,**
- **Τμ. Ο: Άλλοι Κίνδυνοι και Παράρτημα 1,**
- **Μέρος 2 Κατονομαζόμενες.**

ΚΔΠ 347/2015 , Παράρτημα ΙΙ: επαρκείς πληροφορίες για την ταυτοποίηση των σχετικών ή ενδεχόμενων επικίνδυνων ουσιών και την κατηγορία τους (ταξινόμηση)

στ) ποσότητα και φυσική μορφή ουσιών, ζ) περιγραφή δραστηριότητας, η) άμεσο περιβάλλον (χάρτες)
θ) Παράγοντες που μπορεί να προκαλέσουν ΒΑΜΕ (ΑΜΚ) ή να επιδεινώσουν τις επιπτώσεις του, γειτονικές χρήσεις/δραστηριότητες και έργα που αυξάνουν την επικινδυνότητα και DOMINO



ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΣΤΟ I

- Οι ουσίες κ αριθ. 1272/200
- Τα μείγματα α εντός των ορίων στον κανονισμό πρόοδο, εκτός
- Οι οριακές ποσότητες
Οι ποσότητες άρθρων είναι οποιαδήποτε ποσότητες το υπόψη για τον τέτοιο σημείο μεγάλου ατυχή
- Κατά περίπτωση επικίνδυνων οι
Εάν σε εγκατά μεγαλύτερη τυ προκειμένου αντίστοιχες απ
Η παρούσα ο

άθροισμα:

$q_1/Q_{L1} + q_2/Q_{L2} + q_3/Q_{L3} + q_4/Q_{L4} + q_5/Q_{L5} + \dots$ είναι μεγαλύτερο από ή ίσο με 1, όπου q_x = η ποσότητα της επικίνδυνης ουσίας x (ή της κατηγορίας επικίνδυνων ουσιών) που εμπίπτει στο μέρος 1 ή στο μέρος 2 του παρόντος παραρτήματος, και Q_{Lx} = η αντίστοιχη οριακή ποσότητα για την επικίνδυνη ουσία ή την κατηγορία x από τη στήλη 3 του μέρους 1 ή από τη στήλη 3 του μέρους 2 του παρόντος παραρτήματος.

Η παρούσα οδηγία εφαρμόζεται για τις εγκαταστάσεις κατώτερης βαθμίδας όταν το άθροισμα:

$q_1/Q_{L1} + q_2/Q_{L2} + q_3/Q_{L3} + q_4/Q_{L4} + q_5/Q_{L5} + \dots$ είναι μεγαλύτερο από ή ίσο με 1, όπου q_x = η ποσότητα της επικίνδυνης ουσίας x (ή της κατηγορίας επικίνδυνων ουσιών) που εμπίπτει στο μέρος 1 ή στο μέρος 2 του παρόντος παραρτήματος, και Q_{Lx} = η αντίστοιχη οριακή ποσότητα για την επικίνδυνη ουσία ή την κατηγορία x από τη στήλη 2 του μέρους 1 ή από τη στήλη 2 του μέρους 2 του παρόντος παραρτήματος.

Ο κανόνας αυτός χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των κινδύνων για την υγεία, των κινδύνων λόγω φυσικοχημικών ιδιοτήτων των ουσιών και των κινδύνων για το περιβάλλον. Κατά συνέπεια, πρέπει να εφαρμόζεται τρεις φορές:

α) για το άθροισμα των επικίνδυνων ουσιών που απαριθμούνται στο μέρος 2 και εμπίπτουν στην κατηγορία 1, 2 ή 3 οξείας τοξικότητας (έκθεση διά της εισπνοής) ή STOT SE κατηγορία 1, καθώς και των επικίνδυνων ουσιών που εμπίπτουν στο τμήμα H, καταχωρίσεις H1 έως H3 του μέρους 1·

β) για το άθροισμα των επικίνδυνων ουσιών που απαριθμούνται στο μέρος 2 και αποτελούν εκρηκτικά, εύφλεκτα αέρια, εύφλεκτα αερολύματα, οξειδωτικά αέρια, εύφλεκτα υγρά, αυτοαντιδρώσες ουσίες και μείγματα, οργανικά υπεροξειδία, πυροφορικά υγρά και στερεά, οξειδωτικά υγρά και στερεά και των επικίνδυνων ουσιών που εμπίπτουν στο τμήμα P, καταχωρίσεις P1 έως P8 του μέρους 1·

γ) για το άθροισμα των επικίνδυνων ουσιών που απαριθμούνται στο μέρος 2 και εμπίπτουν στις επικίνδυνες για το υδάτινο περιβάλλον οξεία κατηγορία 1, χρόνια κατηγορία 1 ή χρόνια κατηγορία 2, καθώς και των επικίνδυνων ουσιών που

Ουσίες

6. Στην περίπτωση επικίνδυνων ουσιών με ιδιότητες που επιτρέπουν ταξινόμηση σε περισσότερες της μιας κατηγορίες, για τους σκοπούς της παρούσας οδηγίας ισχύουν οι καταχωρίσεις.

13. Νιτρικό αμμώνιο (5 000 / 10 000): λιπάσματα ικανά για αυτοσυντηρούμενη αποσύνθεση

16. Νιτρικό αμμώνιο (10 / 50): υλικό «εκτός προδιαγραφών» και λιπάσματα που δεν ανταποκρίνονται επιτυχώς στη δοκιμή εκρηκτικότητας

Ισχύει
— για υλικά απορριπτόμενα κατά τη διεργασία παραγωγής και για το νιτρικό

1,2,3,4,7,8-HxCDD	0,1		
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0,1	1,2,3,4,7,8-HxCDF	0,1
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0,1	1,2,3,7,8,9-HxCDF	0,1
		1,2,3,6,7,8-HxCDF	0,1
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0,01	2,3,4,6,7,8-HpCDF	0,1
OCDD	0,0003	1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0,01
		1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0,01
		OCDF	0,0003
(T = τετρα, Pe = πεντα, Hx = έξα, Hp = επτα, O = οκτα)			
Παραπομπή - Van den Berg et al: The 2005 World Health Organization Re-evaluation of Human and Mammalian Toxic Equivalency Factors for Dioxins and Dioxin-like Compounds			

21. Στις περιπτώσεις όπου η συγκεκριμένη επικίνδυνη ουσία εμπίπτει στην κατηγορία P5a εύφλεκτων υγρών ή στην κατηγορία P5β εύφλεκτων υγρών, για τους σκοπούς της παρούσας οδηγίας εφαρμόζονται οι ελάχιστες οριακές ποσότητες.

Δ) Ο αριθμός CAS σημειώνεται μόνο ενδεικτικά.

Δ) Με την προϋπόθεση ότι το μείγμα, αν δεν περιέχει υποχλωριώδες νάτριο, δεν θα περιλαμβάνονταν στην κατηγορία 1 ως προς την οξεία τοξικότητα για το υδάτινο περιβάλλον (H400).

Δ) Πληρότερη καθοδήγηση σχετικά με την απαλλαγή από τη δοκιμή περιλαμβάνεται στην περιγραφή της μεθόδου A.14, βλ. κανονισμό (ΕΚ) αριθ. 440/2008 της Επιτροπής, της 30ής Μαΐου 2008, για τον καθορισμό των μεθόδων δοκιμής κατ' εφαρμογή του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 1907/2006 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για την καταχώριση, την αξιολόγηση, την αδειοδότηση και τους περιορισμούς των χημικών προϊόντων (REACH) (ΕΕ L 142 της 31.5.2008, σ. 1).

Δ) ΕΕ L 147 της 9.6.1975, σ. 40.

Δ) Περιεκτικότητα σε άζωτο 15,75 % κατά βάρος λόγω νιτρικού αμμωνίου αντιστοιχεί σε 45 % νιτρικό αμμώνιο.

Δ) Περιεκτικότητα σε άζωτο 24,5 % κατά βάρος λόγω νιτρικού αμμωνίου αντιστοιχεί σε 70 % νιτρικό αμμώνιο.

Δ) ΕΕ L 304 της 21.11.2003, σ. 3.

Δ) Περιεκτικότητα σε άζωτο 28 % κατά βάρος λόγω νιτρικού αμμωνίου αντιστοιχεί σε 80 % νιτρικό αμμώνιο.



Κίνδυνος από Επικίνδυνες Ουσίες/Μείγματα

95

- **Ποσότητα** ουσίας
- **Είδος** της διεργασίας
- **Συνθήκες** λειτουργίας της διεργασίας ή κατά τη διαχείριση



Δείκτες Κινδύνου DOW (F&E, T)

Ποσότητα ουσίας - Είδος της διεργασίας - Συνθήκες

➤ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΟΥΣΙΑΣ:
(MATERIAL FACTOR)

➤ ΓΕΝΙΚΟΙ ΚΙΝΔΥΝΟΙ

➤ ΕΙΔΙΚΟΙ ΚΙΝΔΥΝΟΙ

LPG	COMPONENT	
184	FIRE AND EXPLOSION INDEX	
21	MATERIAL FACTOR	
0	A. EXOTHERMIC CHEMICAL REACTIONS	1. GENERAL PROCESS HAZARDS
0	B. ENDOTHERMIC PROCESSES	
0.5	C. MATERIAL HANDLING & TRANSFER	
0	D. ENCLOSED OR INDOOR PROCESS UNITS	
0	E. ACCESS	
0.3	F. DRAINAGE AND SPILL CONTROL	
1.95	GENERAL PROCESS HAZARDS FACTOR	
0.6	A. PROCESS TEMPERATURE	
0	B. SUB-ATM PRESS	
0	C. OPERATION IN OR NEAR FLAM. RANGE	

21	MATERIAL FACTOR	1. GENERAL PROCESS HAZARDS
0	A. EXOTHERMIC CHEMICAL REACTIONS	
0	B. ENDOTHERMIC PROCESSES	
0.5	C. MATERIAL HANDLING & TRANSFER	
0	D. ENCLOSED OR INDOOR PROCESS UNITS	
0	E. ACCESS	
0.3	F. DRAINAGE AND SPILL CONTROL	
1.95	GENERAL PROCESS HAZARDS FACTOR	
0.6	A. PROCESS TEMPERATURE	2. SPECIAL PROCESS HAZARDS
0	B. SUB-ATM PRESS	
0.8	C. OPERATION IN OR NEAR FLAM. RANGE	
0.4	D. PRESSURE	
0	E. LOW TEMPERATURE	
1.5	F. QUANTITY OF FLAM/UNSTABLE MATERIAL	
0.1	G. CORROSION AND EROSION	
0.1	H. LEAKAGE - JOINTS AND PACKING	
0	I. USE OF FIRED HEATERS	
0	J. HOT OIL EXCH. SYSTEM	
0	K. ROTATING EQUIPMENT	
4.5	SPECIAL PROCESS HAZARDS	
8.7/13	UNIT HAZARD FACTOR	
184	FIRE AND EXPLOSION INDEX	
1.0	TOXICITY INDEX	



Ποσότητα ουσίας - Είδος της διεργασίας - Συνθήκες

Δείκτες Κινδύνου DOW (F&E, T) : Επιλογή κρίσιμου εξοπλισμού

ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΧΩΡΩΝ -ΘΕΣΕΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ / ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ/ ΧΩΡΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ

Χωρικός – Λειτουργικός – Είδος και Ποσότητα Επικίνδυνης ουσίας

Ποιες **Μονάδες/Εργασίες** μπορούμε να αναγνωρίσουμε στο χώρο μελέτης/εγκατάσταση ;

Ποιες είναι οι επικίνδυνες ουσίες και σε ποιες ποσότητες ;

Διαχείριση - Φόρτωση-εκφόρτωση

Σημεία διαχείρισης (πάγκοι εργασίας, εξοπλισμός, σημεία φόρτωσης/βυτιοφόρα, κλπ.

Διεργασίες

Φυσικοί Διαχωρισμοί, Αναμείξεις, Αντιδραστήρες , κλπ

Μονάδες Αποθήκευσης

Φιάλες, Βαρέλια, Δεξαμενές, Δοχεία αποθήκευσης, κλπ

Μεταφορά

Δοχεία μεταφοράς, Βαρέλια, Βυτία, Σωληνώσεις, κλπ



Ποσότητα ουσίας - Είδος της διεργασίας - Συνθήκες

Δείκτες Κινδύνου DOW (F&E, T) Επιλογή κρίσιμου εξοπλισμού

ΕΙΔΟΣ & ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΟΥΣΙΩΝ : (MATERIAL FACTOR)

ΓΕΝΙΚΟΙ ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΑΠΟ ΤΟ ΕΙΔΟΣ ΤΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ (GENERAL PROCESS HAZ)

- | | |
|--|-----------|
| ➤ Χημικές Αντιδράσεις | NAI - OXI |
| ➤ Διακίνηση προϊόντος (φόρτωση-εκφόρτωση / αποθήκευση) | NAI - OXI |
| ➤ Μονάδες σε κλειστούς χώρους | NAI - OXI |
| ➤ Εύκολη Πρόσβαση | NAI - OXI |
| ➤ Αναχώματα ανά δοχείο ή ανά μονάδα | NAI - OXI |



Ποσότητα ουσίας - Είδος της διεργασίας - Συνθήκες

Δείκτες Κινδύνου DOW (F&E, T) Επιλογή κρίσιμου εξοπλισμού

ΕΙΔΙΚΟΙ ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΑΠΟ ΤΟ ΕΙΔΟΣ ΤΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ (SPECIAL PROCESS HAZARD)

- **Θερμοκρασία** Διεργασίας (> Flash Point : **Σημείο Ανάφλεξης**, > NBP Normal Boiling Point)
- Διεργασίες υπό κενό ;
- Διεργασίες σε αναφλέξιμη συγκέντρωση; (αποθήκευση καυσίμων ;)
- **Πίεση λειτουργίας** (> ατμοσφαιρική ;)
- Χαμηλή Θερμοκρασία ; (< 0 ο C ή < - 30 ο C)
- **Ποσότητα** κάθε ουσίας στη διεργασία (σε κάθε μονάδα) (kg)
- Αναμενόμενη διάβρωση στον εξοπλισμό/ δοχεία που εξετάζονται (< 0.5 mm /yr, > 1 mm/yr)
- Αναμενόμενες διαρροές (πιθανόν από συνδέσμους, συχνές, διεισδυτικά υγρά, κλπ.)
- Θέρμανση εύφλεκτων, Χρήση συστήματος θερμού λιπαντικού; Περιστροφικός εξοπλισμός.



ΕΙΔΙΚΟΙ ΚΙΝΔΥΝΟΙ

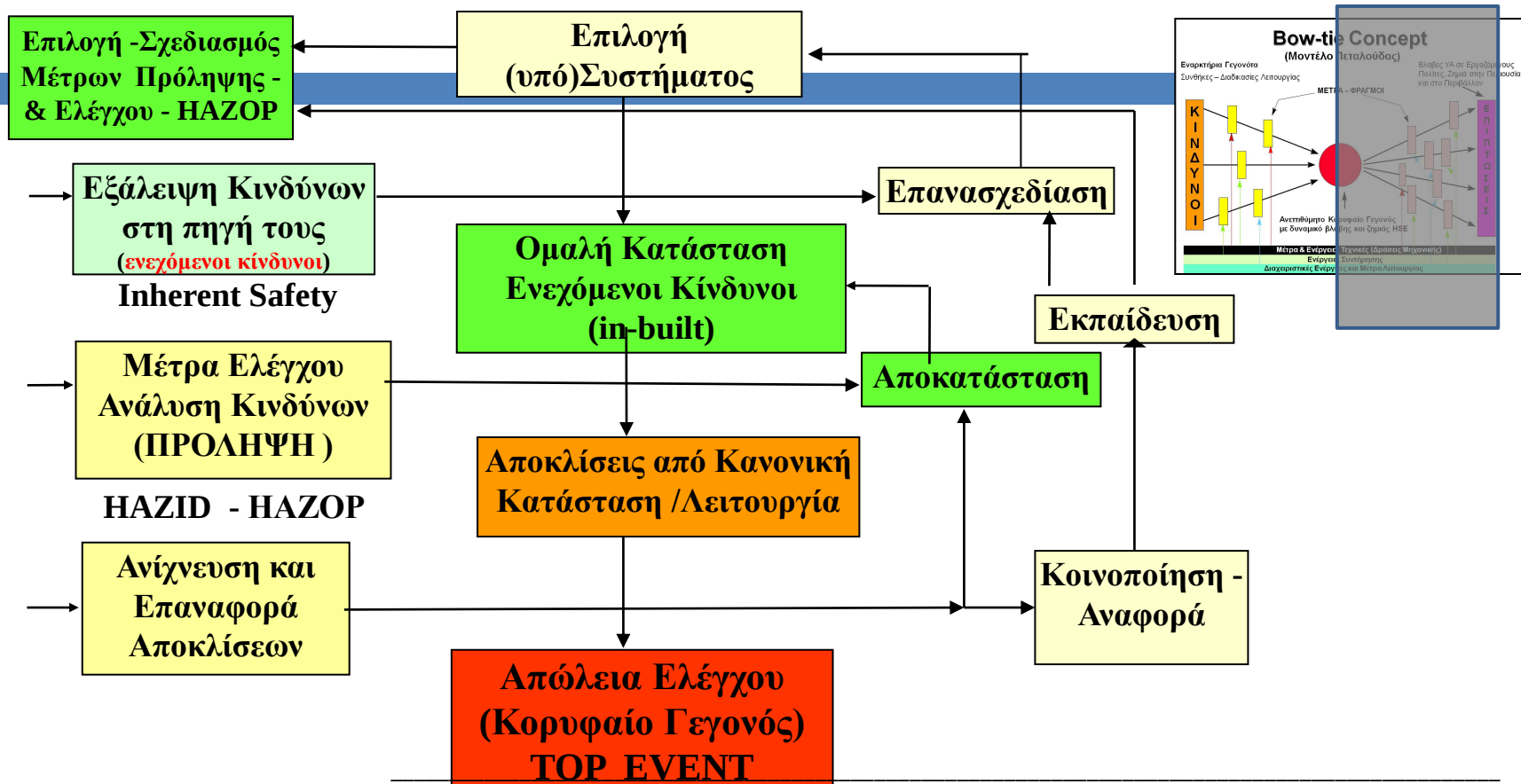
Δείκτες Κινδύνου DOW (F&E, T) : Penalties

A. PROCESS TEMPERATURE					B.SUB-ATMOSPH PRESSURE					C. OPERATION IN OR NEAR FLAMMABLE RANGE														
above FP	above NBP	low autoignition	additive penalty	TOTAL	air leakage	hydrogen	vacuum distillation	additive penalty	TOTAL	1. TANK FARMS STORAGE FLAMMABLE LIQUIDS	2. PROCESS UPSET OR PURGE FAILURE	3. ALWAYS IN FLAMMABLE RANGE	additive penalty	TOTAL	DESCRIPTION	C								
		D. PRESSURE						E. LOW TEMPERATURE					F. QUANTITY OF FLAMMABLE MATERIAL											
COMPONENT	Pressure in atma	penalty	heavy oil	compressed gas	pressurised liquified gas	additive penalty	TOTAL	-30<T<0	T<-30	TOTAL	DESCRIPTION	COMPONENT	H [kJ/kg]	Q [kg]	In process	In storage (pressurized liquefied gas)	In storage (flammable liquids)	additive penalty	TOTAL	corrosion <0.5mm per year				
		G. CORROSION AND ERROSION						H. LEAKAGE - JOINTS AND PACKING						I. USE OF FIRED HEATERS				J. HOT OIL EXCH. SYSTEM				K. ROTATING EQUIPMENT		
additive penalty	TOTAL	corrosion <0.5mm per year	0.5mm<orrosion<1mm	corrosion >1mm per year	SCC	additive penalty	TOTAL	seals likely to leak	regular leakage	glasses/ expansion joints	penetrating fluids/ sealing problems	additive penalty	TOTAL	heater of flammable	release >FP	additive penalty	TOTAL	Q<5	5<Q<10	10<Q<25	25<Q	additive penalty	TOTAL	

Μοντέλο Ελέγχου Αποκλίσεων Ατυχήματος



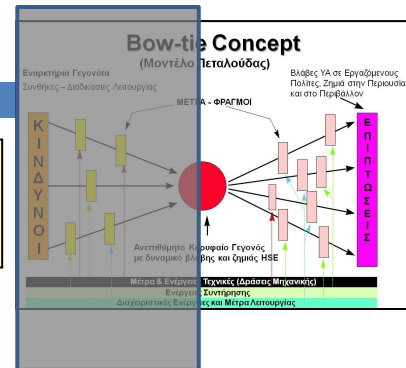
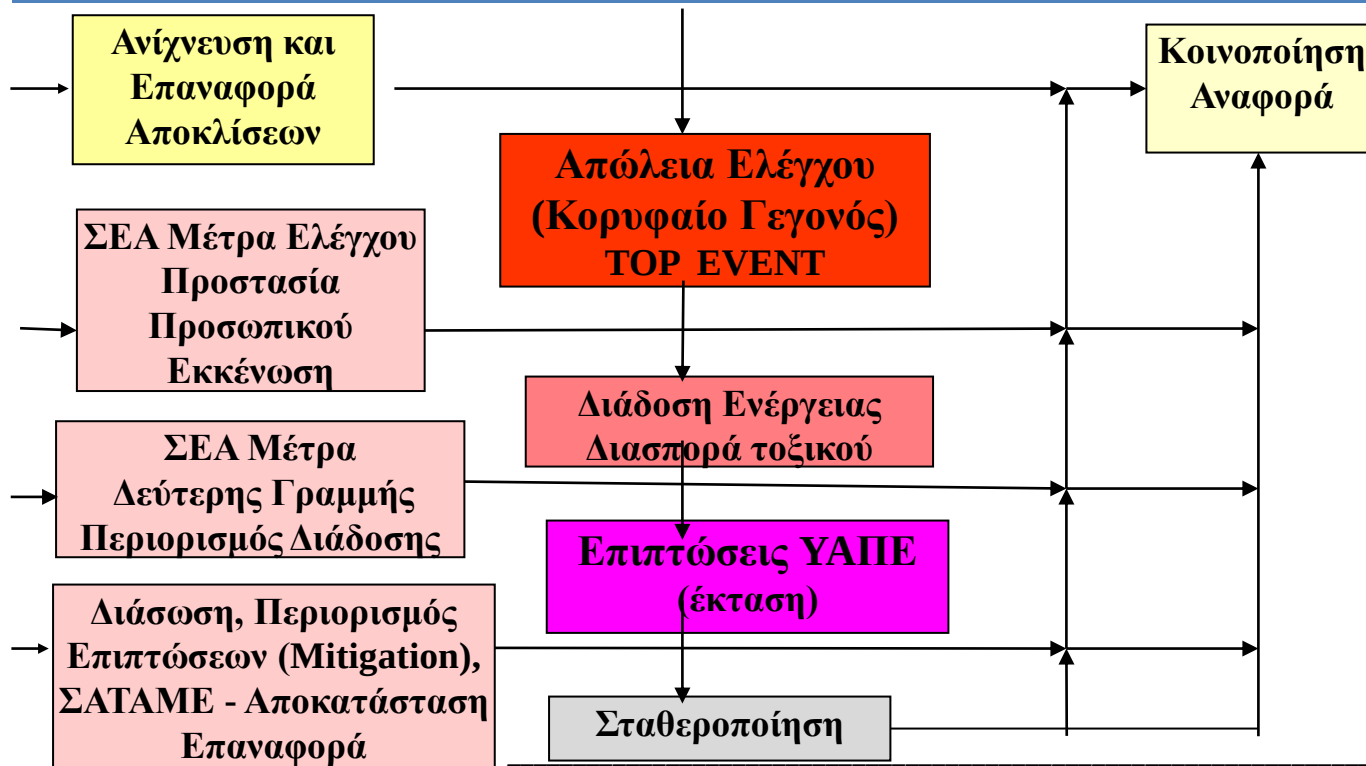
101



Μοντέλο Ελέγχου Αποκλίσεων Ατυχήματος



102





Κριτήρια Επικινδυνότητας

103

Επίπεδα Κριτηρίων :

1. **Κίνδυνοι (Hazards)** : Δείκτες DOW F&E – T
2. Γενικοί δείκτες **κινδύνου** εξοπλισμού - έκτασης επιπτώσεων και απόστασης από ευαίσθητο αποδέκτη (Purple Book /TNO)
3. Σενάρια – **Επιπτώσεις** – Ζώνες : Ντετερμινιστική προσέγγιση
4. Συχνότητες Σεναρίων (QRA) : Πιθανολογική προσέγγιση LSIR (**ατομική επικινδυνότητα**)
5. Ομαδική Διακινδύνευση : Risk Assessment Matrix, FN curves



1. Κριτήρια Επικινδυνότητας

Δείκτες Κινδύνου DOW (F&E, T)

104

Όταν θέλουμε να συγκρίνουμε πολλές μονάδες ή εξοπλισμό με διαφορετικές εύφλεκτες ουσίες, οι δείκτες DOW **ιεραρχούν την “επικινδυνότητα” με βάση τον ενεχόμενο κίνδυνο**. Συνεπώς μπορεί να περιοριστεί σημαντικά η έκταση της ανάλυσης στον πλέον κρίσιμο εξοπλισμό.

Απαιτούνται στοιχεία για τις ουσίες, τις διεργασίες στον εξοπλισμό και τις συνθήκες λειτουργίας. **Τρία βασικά επίπεδα κινδύνου I, II, III**

I Χαμηλός Κίνδυνος	$F\&E < 65$	$T < 6$
II Μεσαίος Κίνδυνος	$65 < F\&E < 95$	$6 < T < 10$
III Υψηλός Κίνδυνος	$F\&E > 95$	$T > 10$



TANK #	COMPONENT	FIRE AND EXPLOSION INDEX	MATERIAL FACTOR	1. GENERAL PROCESS HAZARDS								2. SPECIAL PROCESS HAZARDS															
				A. EXOTHERMIC CHEMICAL REACTIONS	B. ENDOTHERMIC PROCESSES	C. MATERIAL HANDLING & TRANSFER	D. ENCLOSED OR INDOOR PROCESS UNITS	E. ACCESS	F. DRAINAGE AND SPILL CONTROL	GENERAL PROCESS HAZARDS FACTOR	A. PROCESS TEMPERATURE	B. SUB-ATM PRESS	C. OPERATION IN OR NEAR FLAM. RANGE	D. PRESSURE	E. LOW TEMPERATURE	F. QUANTITY OF FLAM/UNSTABLE MATERIAL	G. CORROSION AND ERROSION	H. LEAKAGE - JOINTS AND PACKING	I. USE OF FIRED HEATERS	J. HOT OIL EXCH. SYSTEM	K. ROTATING EQUIPMENT	SPECIAL PROCESS HAZARDS	UNIT HAZARD FACTOR	FIRE AND EXPLOSION INDEX	TOXICITY INDEX		
67	LPG	184	21	0	0	0.5	0	0	0.3	1.95	0.6	0	0.8	0.4	0	1.5	0.1	0.1	0	0	0	4.5	8.7713	184	1.09		
68	LPG	184	21	0	0	0.5	0	0	0.3	1.95	0.6	0	0.8	0.4	0	1.5	0.1	0.1	0	0	0	4.5	8.7713	184	1.09		
112	PROPANE	182	21	0	0	0.5	0	0	0.3	1.95	0.6	0	0.8	0.4	0	1.4	0.1	0.1	0	0	0	4.4	8.6572	182	1.078		
113	LPG	182	21	0	0	0.5	0	0	0.3	1.95	0.6	0	0.8	0.4	0	1.4	0.1	0.1	0	0	0	4.4	8.6572	182	1.078		
71	LPG	165	21	0	0	0.5	0	0	0.3	1.95	0.6	0	0.8	0.4	0	1.0	0.1	0.1	0	0	0	4.0	7.867	165	0.997		
72	LPG	165	21	0	0	0.5	0	0	0.3	1.95	0.6	0	0.8	0.4	0	1.0	0.1	0.1	0	0	0	4.0	7.867	165	0.997		
116	PROPANE	161	21	0	0	0.5	0	0	0.3	1.95	0.6	0	0.8	0.4	0	0.9	0.1	0.1	0	0	0	3.9	7.6555	161	0.975		
117	PROPANE	161	21	0	0	0.5	0	0	0.3	1.95	0.6	0	0.8	0.4	0	0.9	0.1	0.1	0	0	0	3.9	7.6555	161	0.975		
1	BENZINH	92	16	0	0	0.5	0	0	0.3	1.95	0.25	0	0.5	0	0	1.0	0.1	0.1	0	0	0	3.0	5.7712	92	0.782		
2	BENZINH	92	16	0	0	0.5	0	0	0.3	1.95	0.25	0	0.5	0	0	1.0	0.1	0.1	0	0	0	2.9	5.7428	92	0.779		
4	BENZINH	92	16	0	0	0.5	0	0	0.3	1.95	0.25	0	0.5	0	0	1.0	0.1	0.1	0	0	0	2.9	5.7428	92	0.779		
5	BENZINH	92	16	0	0	0.5	0	0	0.3	1.95	0.25	0	0.5	0	0	1.0	0.1	0.1	0	0	0	2.9	5.7424	92	0.779		
201	BENZINH	92	16	0	0	0.5	0	0	0.3	1.95	0.25	0	0.5	0	0	1.0	0.1	0.1	0	0	0	2.9	5.7346	92	0.778		
30	BENZINH	92	16	0	0	0.5	0	0	0.3	1.95	0.25	0	0.5	0	0	1.0	0.1	0.1	0	0	0	2.9	5.726	92	0.777		
29	BENZINH	92	16	0	0	0.5	0	0	0.3	1.95	0.25	0	0.5	0	0	1.0	0.1	0.1	0	0	0	2.9	5.7249	92	0.777		
203	BENZINH	91	16	0	0	0.5	0	0	0.3	1.95	0.25	0	0.5	0	0	1.0	0.1	0.1	0	0	0	2.9	5.6742	91	0.772		
202	BENZINH	91	16	0	0	0.5	0	0	0.3	1.95	0.25	0	0.5	0	0	1.0	0.1	0.1	0	0	0	2.9	5.6741	91	0.772		



1. Κριτήρια Επικινδυνότητας

Δείκτες Κινδύνου DOW (F&E, T) – Επιλογή κρίσιμου εξοπλισμού

TANK #	COMPONENT	FIRE AND EXPLOSION INDEX	MATERIAL FACTOR	1. GENERAL PROCESS HAZARDS										2. SPECIAL PROCESS HAZARDS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
				A. EXOTHERMIC CHEMICAL REACTIONS		B. ENDOTHERMIC PROCESSES		C. MATERIAL HANDLING & TRANSFER		D. ENCLOSED OR INDOOR PROCESS UNITS		E. ACCESS		F. DRAINAGE AND SPILL CONTROL		GENERAL PROCESS HAZARDS FACTOR		A. PROCESS TEMPERATURE		B. SUB-ATM PRESS		C. OPERATION IN OR NEAR FLAM RANGE		D. PRESSURE		E. LOW TEMPERATURE		F. QUANTITY OF FLAM/UNSTABLE MATERIAL		G. CORROSION AND EROSION		H. LEAKAGE - JOINTS AND PACKING		I. USE OF FIRED HEATERS		J. HOT OIL EXCH. SYSTEM		K. ROTATING EQUIPMENT		SPECIAL PROCESS HAZARDS		UNIT HAZARD FACTOR		FIRE AND EXPLOSION INDEX		TOXICITY INDEX																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			



1. Κριτήρια Επικινδυνότητας

Δείκτες Κινδύνου DOW (F&E, T) – Επιλογή κρίσιμου εξοπλισμού

56	CRUDE	90	16	0	0	0.5	0	0	0.3	1.95	0.25	0	0.5	0	0	0.9	0.1	0.1	0	0	0	2.9	5.5958	90	0.764
102	CRUDE	90	16	0	0	0.5	0	0	0.3	1.95	0.25	0	0.5	0	0	0.9	0.1	0.1	0	0	0	2.9	5.5958	90	0.764
53	CRUDE	90	16	0	0	0.5	0	0	0.3	1.95	0.25	0	0.5	0	0	0.9	0.1	0.1	0	0	0	2.9	5.5955	90	0.764
54	CRUDE	90	16	0	0	0.5	0	0	0.3	1.95	0.25	0	0.5	0	0	0.9	0.1	0.1	0	0	0	2.9	5.5955	90	0.764
57	CRUDE	90	16	0	0	0.5	0	0	0.3	1.95	0.25	0	0.5	0	0	0.9	0.1	0.1	0	0	0	2.9	5.5955	90	0.764
61	CRUDE	89	16	0	0	0.5	0	0	0.3	1.95	0.25	0	0.5	0	0	0.9	0.1	0.1	0	0	0	2.9	5.5933	89	0.764
62	CRUDE	89	16	0	0	0.5	0	0	0.3	1.95	0.25	0	0.5	0	0	0.9	0.1	0.1	0	0	0	2.9	5.5933	89	0.764
80	CRUDE	89	16	0	0	0.5	0	0	0.3	1.95	0.25	0	0.5	0	0	0.9	0.1	0.1	0	0	0	2.9	5.5933	89	0.764
10	DIESEL	49	10	0	0	0.5	0	0	0.3	1.95	0	0	0.3	0	0	1.0	0.1	0.1	0	0	0	2.5	4.9053	49	0
28	KHPOZINH	49	10	0	0	0.5	0	0	0.3	1.95	0	0	0.3	0	0	1.0	0.1	0.1	0	0	0	2.5	4.9051	49	0
15	MAZOYT	49	10	0	0	0.5	0	0	0.3	1.95	0	0	0.3	0	0	1.0	0.1	0.1	0	0	0	2.5	4.904	49	0.693
14	MAZOYT	49	10	0	0	0.5	0	0	0.3	1.95	0	0	0.3	0	0	1.0	0.1	0.1	0	0	0	2.5	4.9038	49	0.693
47	DIESEL	49	10	0	0	0.5	0	0	0.3	1.95	0	0	0.3	0	0	1.0	0.1	0.1	0	0	0	2.5	4.9013	49	0
48	DIESEL	49	10	0	0	0.5	0	0	0.3	1.95	0	0	0.3	0	0	1.0	0.1	0.1	0	0	0	2.5	4.9013	49	0
64	DIESEL	49	10	0	0	0.5	0	0	0.3	1.95	0	0	0.3	0	0	1.0	0.1	0.1	0	0	0	2.5	4.9013	49	0
65	DIESEL	49	10	0	0	0.5	0	0	0.3	1.95	0	0	0.3	0	0	1.0	0.1	0.1	0	0	0	2.5	4.9013	49	0
66	DIESEL	49	10	0	0	0.5	0	0	0.3	1.95	0	0	0.3	0	0	1.0	0.1	0.1	0	0	0	2.5	4.9013	49	0
13	DIESEL	49	10	0	0	0.5	0	0	0.3	1.95	0	0	0.3	0	0	1.0	0.1	0.1	0	0	0	2.5	4.9012	49	0
40	DIESEL	49	10	0	0	0.5	0	0	0.3	1.95	0	0	0.3	0	0	1.0	0.1	0.1	0	0	0	2.5	4.901	49	0
204	JP-1	49	10	0	0	0.5	0	0	0.3	1.95	0	0	0.3	0	0	1.0	0.1	0.1	0	0	0	2.5	4.8908	49	0
9	DIESEL	49	10	0	0	0.5	0	0	0.3	1.95	0	0	0.3	0	0	1.0	0.1	0.1	0	0	0	2.5	4.8859	49	0
8	DIESEL	49	10	0	0	0.5	0	0	0.3	1.95	0	0	0.3	0	0	1.0	0.1	0.1	0	0	0	2.5	4.8857	49	0
7	KHPOZINH	49	10	0	0	0.5	0	0	0.3	1.95	0	0	0.3	0	0	1.0	0.1	0.1	0	0	0	2.5	4.8855	49	0
12	JP-1	49	10	0	0	0.5	0	0	0.3	1.95	0	0	0.3	0	0	1.0	0.1	0.1	0	0	0	2.5	4.8814	49	0
6	JP-1	49	10	0	0	0.5	0	0	0.3	1.95	0	0	0.3	0	0	1.0	0.1	0.1	0	0	0	2.5	4.8811	49	0
38	MAZOYT	49	10	0	0	0.5	0	0	0.3	1.95	0	0	0.3	0	0	1.0	0.1	0.1	0	0	0	2.5	4.8804	49	0.691
39	MAZOYT	49	10	0	0	0.5	0	0	0.3	1.95	0	0	0.3	0	0	1.0	0.1	0.1	0	0	0	2.5	4.8804	49	0.691
11	MAZOYT	49	10	0	0	0.5	0	0	0.3	1.95	0	0	0.3	0	0	1.0	0.1	0.1	0	0	0	2.5	4.8792	49	0.69
205	DIESEL	49	10	0	0	0.5	0	0	0.3	1.95	0	0	0.3	0	0	1.0	0.1	0.1	0	0	0	2.5	4.8567	49	0
206	DIESEL	49	10	0	0	0.5	0	0	0.3	1.95	0	0	0.3	0	0	1.0	0.1	0.1	0	0	0	2.5	4.8565	49	0
45	MAZOYT	48	10	0	0	0.5	0	0	0.3	1.95	0	0	0.3	0	0	1.0	0.1	0.1	0	0	0	2.5	4.8468	48	0.687
46	MAZOYT	48	10	0	0	0.5	0	0	0.3	1.95	0	0	0.3	0	0	1.0	0.1	0.1	0	0	0	2.5	4.8468	48	0.687
24	JP-1	48	10	0	0	0.5	0	0	0.3	1.95	0	0	0.3	0	0	1.0	0.1	0.1	0	0	0	2.5	4.8179	48	0
25	JP-1	48	10	0	0	0.5	0	0	0.3	1.95	0	0	0.3	0	0	1.0	0.1	0.1	0	0	0	2.5	4.8179	48	0
26	JP-1	48	10	0	0	0.5	0	0	0.3	1.95	0	0	0.3	0	0	1.0	0.1	0.1	0	0	0	2.5	4.8179	48	0
23	MAZOYT	48	10	0	0	0.5	0	0	0.3	1.95	0	0	0.3	0	0	1.0	0.1	0.1	0	0	0	2.5	4.8138	48	0.684
21	DIESEL	48	10	0	0	0.5	0	0	0.3	1.95	0	0	0.3	0	0	0.9	0.1	0.1	0	0	0	2.4	4.7708	48	0



Επικινδυνότητα από Φωτιές

108

□ Ένταση θερμικής ακτινοβολίας σε διαφορετικές φωτιές



ΕΥΦΛΕΚΤΑ: Θερμική Ακτινοβολία (Δόση – Ένταση)

109

Η δόση και η ένταση της θερμικής ακτινοβολίας (q) συνδέονται με τη σχέση :

$$D = q^{4/3} t,$$

όπου

η Δόση (D) Θερμικής Ακτινοβολίας εκφράζεται σε

TDU = (kW/m²)^{4/3} * s (TDU: Thermal Dose Units),

και

η Ένταση Θερμικής Ακτινοβολίας (q) εκφράζεται σε **kW/m².**



Ανθρώπινη Τρωτότητα (vulnerability)

Μοντέλα Δόσης- Απόκρισης : Θερμική Ακτινοβολία

110

$$D = q^{4/3} t, \quad P_r = a + b \ln D$$

Για τον υπολογισμό της ανθρώπινης τρωτότητας από άλλους παράγοντες όπως θερμική ακτινοβολία κλπ. χρησιμοποιείται αντίστοιχα η πιθανότητα ο εργαζόμενος να υποφέρει από συγκεκριμένες επιπτώσεις όπως εγκαύματα. Σε περιπτώσεις φωτιάς (pool fire, flash fire, jet fire) καθώς οι συνέπειες εξαρτώνται από την έκθεση σε θερμική ακτινοβολία, η ανθρώπινη τρωτότητα υπολογίζεται με βάση το θερμικό φορτίο που δέχεται ο αποδέκτης και το βαθμό των εγκαυμάτων σύμφωνα με τις παρακάτω συναρτήσεις Probit functions (Green Book):

First degree burn (εγκαύματα πρώτου βαθμού): $Pr = -39.83 + 3.0186 \ln(D)$

Second degree burn (εγκαύματα δευτέρου βαθμού): $Pr = -43.14 + 3.0186 \ln(D)$

Lethality (θνητότητα) : $Pr = -36.38 + 2.56 \ln(D)$

Όπου, D = η δόση που λαμβάνεται από τον αποδέκτη σε μονάδες θερμικής δόσης

Στις παραπάνω σχέσεις οι μονάδες της δόσης είναι $(W/m^2)^{4/3} * s$, όπου η θερμική ακτινοβολία q εκφράζεται σε W/m^2

(Thermal Dose Units) **TDU** ($1 TDU = 1 KW/m^2)^{4/3} * s$



Ανθρώπινη Τρωτότητα (vulnerability)

Μοντέλα Δόσης- Απόκρισης : Θερμική Ακτινοβολία

111

Η πιθανότητα ένα άτομο να υποστεί συνέπειες (εγκαύματα) από έκθεση σε θερμική ακτινοβολία (pool fire, flash fire, jet fire)

Η ανθρώπινη τρωτότητα υπολογίζεται με βάση το θερμικό φορτίο που δέχεται ο αποδέκτης και το βαθμό των εγκαυμάτων σύμφωνα με τις συναρτήσεις Probit functions (Green Book)

The relationship between the probability P and the probit variable Y is:

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{Y-5} \exp(-u^2/2) du \quad (5.1)$$

thus Y is a random variable defined by a normal distribution with a mean value of 5 and a standard deviation of 1 and P is its cumulative function. The relationship 5.1 is plotted in Fig. 5-1 and tabulated in Tab. 5-1.

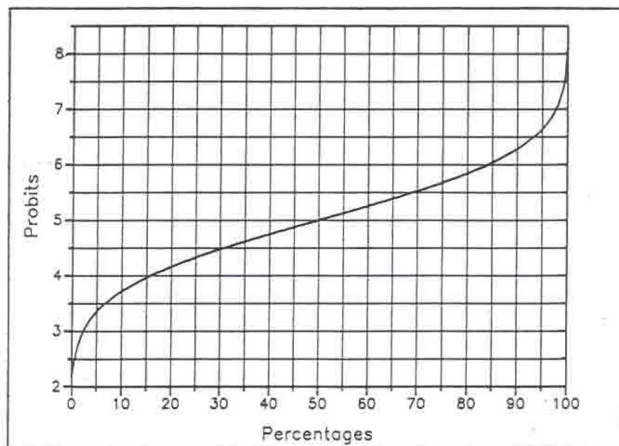


Fig. 5.1 Probits versus percentages



$$P_r = a + b \ln D$$

$$D = q^{4/3} t,$$

Επικινδυνότητα Φωτιάς

112

ΑΣΚΗΣΗ Πιθανότητα εγκαυμάτων

Τι πιθανότητα εγκαυμάτων πρώτου και δεύτερου βαθμού διατρέχει ένα άτομο που παραμένει σε μια περιοχή στην οποία εκτίθεται σε θερμική ακτινοβολία Φωτιάς μέσης έντασης 2 KW/m² επί 1, 2, 3 και 5 mins ?

$t = 60$ s, $q = 2000^{1,33} = 24568$ (W/m²)^{4/3}, $t = 60$,

$D = (q^{4/3}) t$: $D = 147 * 10^4$ (W/m²)^{4/3} * s

Pr1st = 3, Pr2nd = 0, Pr lethal < 0 άρα V1st = 3%, V2nd = 0, V lethal = 0

$t = 120$ s, $q = 2000^{1,33} = 24568$ (W/m²)^{4/3}, $t = 120$

$D = (q^{4/3}) t$: $D = 295 * 10^4$ (W/m²)^{4/3} * s

Pr1st = 5,1, Pr2nd = 1,8, Pr lethal < 0 άρα V1st = 3%, V2nd = 0, V lethal = 0

$t = 180$ s, $q = 2000^{1,33} = 24568$ (W/m²)^{4/3}, $t = 180$

$D = (q^{4/3}) t$: $D = 442 * 10^4$ (W/m²)^{4/3} * s

Pr1st = 6,4, Pr2nd = 3, Pr lethal = 0 άρα V1st ~ 93%, V2nd = 3%, V lethal = 0

$t = 300$ s, $q = 2000^{1,33} = 24568$ (W/m²)^{4/3}, $t = 300$

$D = (q^{4/3}) t$: $D = 737 * 10^4$ (W/m²)^{4/3} * s

Pr1st = 7,9, Pr2nd = 4,6, Pr lethal = 0,6 άρα V1st 100%, V2nd = 33%, V lethal ~ 1%

The relationship between the probability P and the prob

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{y-s} \exp(-u^2 / 2) du$$

thus Y is a random variable defined by a normal distribution of 5 and a standard deviation of 1 and P is its cumulative relationship 5.1 is plotted in Fig. 5-1 and tabulated in Table

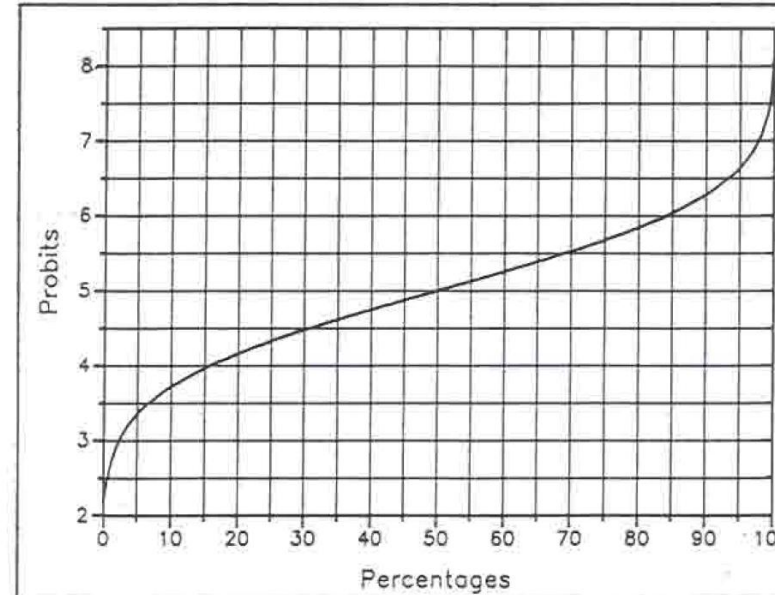


Fig. 5.1 Probits versus percentages



Ανθρώπινη Τρωτότητα (vulnerability)

Μοντέλα Δόσης- Απόκρισης : Θερμική Ακτινοβολία

113

$$D = q^{4/3} t, \quad P_r = a + b \ln D$$

Για τον υπολογισμό της ανθρώπινης τρωτότητας από άλλους παράγοντες όπως θερμική ακτινοβολία κλπ. χρησιμοποιείται αντίστοιχα η πιθανότητα ο εργαζόμενος να υποφέρει από συγκεκριμένες επιπτώσεις όπως εγκαύματα. Σε περιπτώσεις φωτιάς (pool fire, flash fire, jet fire) καθώς οι συνέπειες εξαρτώνται από την έκθεση σε θερμική ακτινοβολία, η ανθρώπινη τρωτότητα υπολογίζεται με βάση το θερμικό φορτίο που δέχεται ο αποδέκτης και το βαθμό των εγκαυμάτων σύμφωνα με τις παρακάτω συναρτήσεις Probit functions (Green Book):

First degree burn (εγκαύματα πρώτου βαθμού): $Pr = -39.83 + 3.0186 \ln(D)$

Second degree burn (εγκαύματα δευτέρου βαθμού): $Pr = -43.14 + 3.0186 \ln(D)$

Lethality (θνητότητα) : $Pr = -36.38 + 2.56 \ln(D)$

Όπου, D = η δόση που λαμβάνεται από τον αποδέκτη σε μονάδες θερμικής δόσης

Στις παραπάνω σχέσεις οι μονάδες της δόσης είναι $(W/m^2)^{4/3} \cdot s$, όπου η θερμική ακτινοβολία q εκφράζεται σε W/m^2

(Thermal Dose Units) **TDU** ($1 \text{ TDU} = 1 \text{ kW/m}^2)^{4/3} \cdot s$



Φαινόμενα από Διαρροές Επικίνδυνων Ουσιών: ΕΥΦΛΕΚΤΑ

Κίνδυνοι – Κορυφαίο Γεγονός - Επιπτώσεις



115

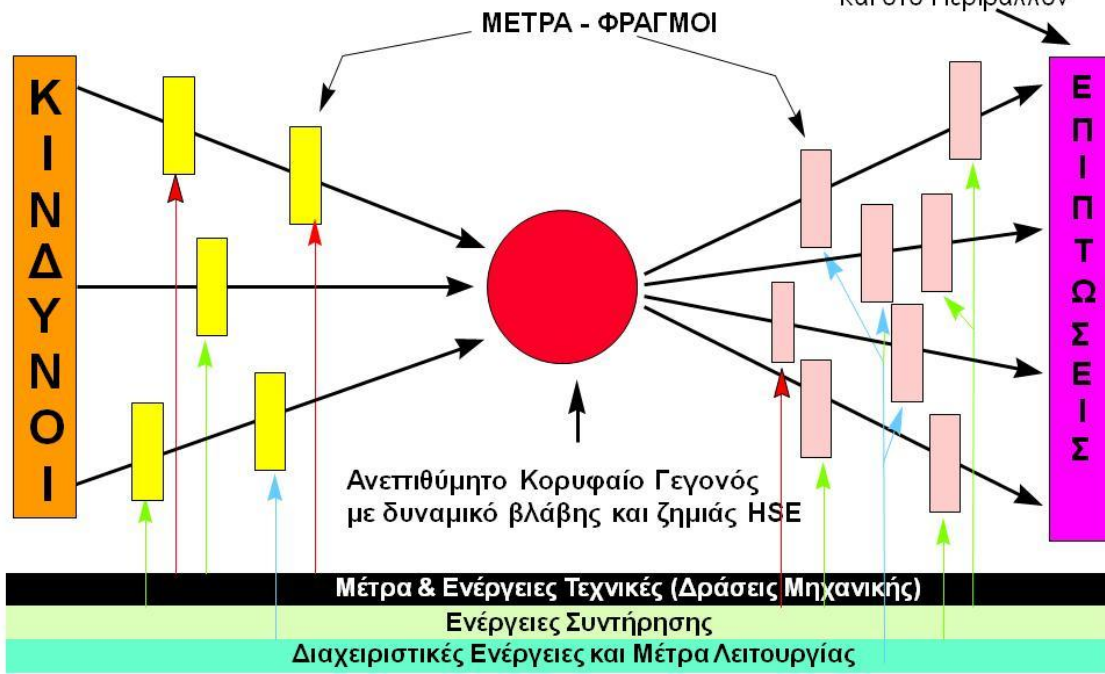
Bow-tie Concept

(Μοντέλο Πεταλούδας)

Εναρκτήρια Γεγονότα

Συνθήκες – Διαδικασίες Λειτουργίας

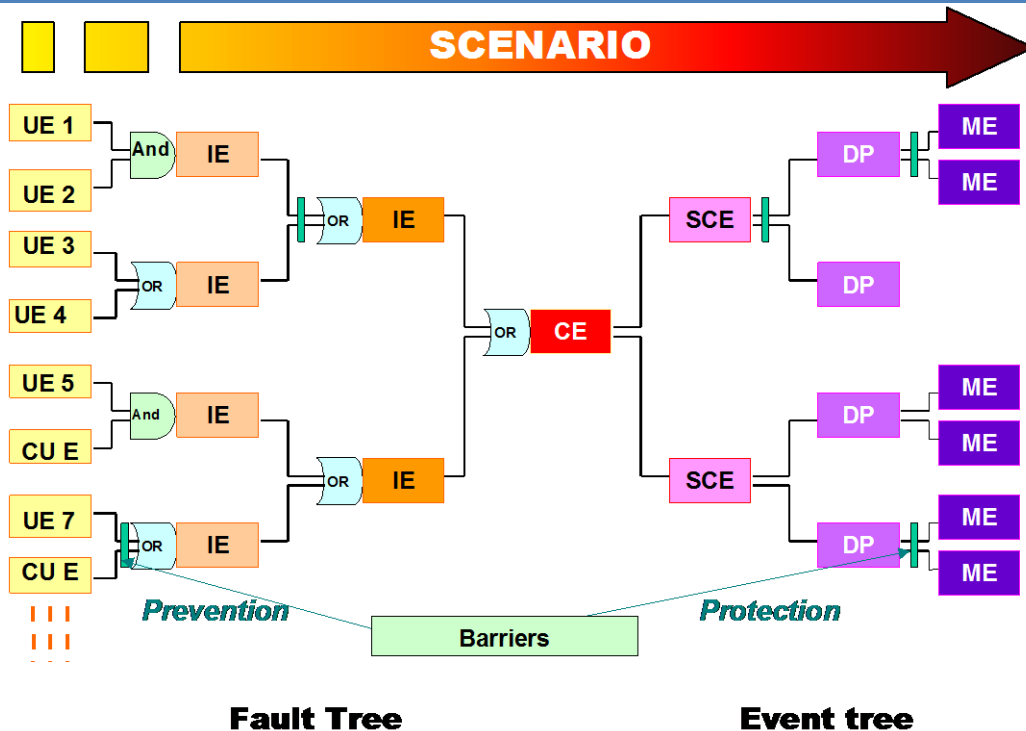
Βλάβες ΥΑ σε Εργαζόμενους
Πολίτες, Ζημιά στην Περιουσία
και στο Περιβάλλον





Bow – Tie (Fault Tree – Event Tree)

116





Ανάλυση Κινδύνου από Χημικές Ουσίες

117

- Μέθοδοι **ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ**: εξωτερικά /εσωτερικά αίτια κορυφαίων γεγονότων (top events) και μέτρα πρόληψης

Συστηματικές Μέθοδοι

HAZOP (Hazard Operability) HAZOP gas

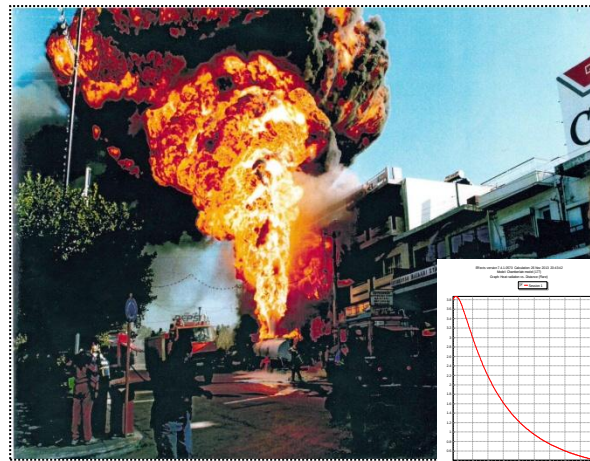
HAZID (Hazard Identification)

What If

Fault Tree Analysis (FTA)

Event Tree Analysis (ETA)

- ΣΕΝΑΡΙΑ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ**





Αρχική Απόκλιση – Αστοχία

Ανάλυση Κινδύνου HAZID – HAZOP

118

Πιθανές άμεσες αιτίες εναρκτήριων γεγονότων στον κρίσιμο εξοπλισμό

1. Διάβρωση
2. Αποσάθρωση, Γήρανση
3. Εξωτερική φόρτιση ή μηχανική καταπόνηση
4. Κρούση - Κτύπημα
5. Πίεση : Υψηλή / Χαμηλή
6. Στάθμη : Υψηλή / Χαμηλή
7. Δονήσεις και Κραδασμοί
8. Θερμοκρασία : Υψηλή / Χαμηλή
9. Εσφαλμένη τοποθέτηση εξοπλισμού
10. Σφάλμα χειρισμού
11. Φαινόμενα Αλληλουχίας Συνεπειών (από άλλο εξοπλισμό) DOMINO
12. Άλλη αιτία π.χ. Σεισμός, Πλημμύρα, Ισχυροί άνεμοι, Κεραυνοί,
Μη εξουσιοδοτημένες ενέργειες, Απώλεια παροχών, κλπ.



Ανάλυση Κινδύνου : Αρχική Απόκλιση (Εναρκτήρια Γεγονότα) – Αστοχία πιθανά ΣΕΝΑΡΙΑ Ατυχημάτων : Υγρά Καύσιμα

119



ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΥΦΛΕΚΤΩΝ ΥΓΡΩΝ & ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΕΙΔΩΝ.

ΠΙΘΑΝΑ ΣΕΝΑΡΙΑ	ΑΡΧΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΑΣΤΟΧΙΑ
Λίμνη Φωτιάς (Pool fire) - Φωτιά δεξαμενής και αναχώματος (Tank fire)	Εσωτερική (λάθος χειρισμός, αστοχία υλικών εισαγωγή λάθους προϊόντος κλπ)	Δεξαμενή / Βυτιοφόρο 1) Μικρή διαρροή, 2) Μερική θραύση, 3) Καταστροφική θραύση της δεξαμενής και διαφυγή όλου του περιεχομένου 4) Υπερχείλιση δεξαμενής σε συνθήκες άπνοιας
Στιγμαία ανάφλεξη (Flash fire)	Εξωτερική (σπασμός, ακραία καιρικά φαινόμενα κλπ)	Σωληνώσεις 1) Μικρή διαρροή, 2) Μερική θραύση με το 20% της διαμέτρου της σωλήνωσης, 3) Καταστροφή θραύση της σωλήνωσης
Έκρηξη αερίου νεφους (VCE)		Γραμμή τροφοδοσίας - εκροής Διαχείριση προϊόντος Αντλίες
Διασπορά τοξικών/ ευφλεκτων χωρίς ανάφλεξη σε συνθήκες που τεκμηριώνονται από τις συνθήκες λειτουργίας και περιβάλλοντος της εγκατάστασης ή ενδεικτικά D5 και F2		
Αναβρασμός (Boil over)		





Ανάλυση Κινδύνου : Αρχική Απόκλιση (Εναρκτήρια Γεγονότα) – Αστοχία πιθανά ΣΕΝΑΡΙΑ Ατυχημάτων :Υγραέριο LPG

120



ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ LPG / ΥΓΡΑΕΡΙΟ & ΑΕΡΙΩΝ ΥΠΟ ΠΙΕΣΗ.

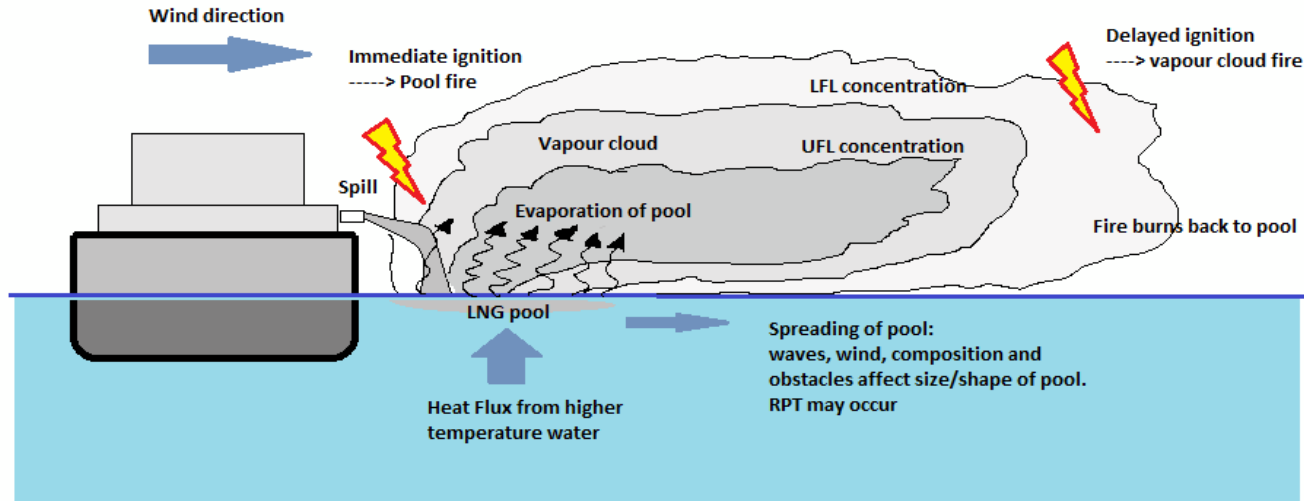
ΠΙΘΑΝΑ ΣΕΝΑΡΙΑ	ΑΡΧΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΑΣΤΟΧΙΑ
BLEVE - Πύρινη σφαίρα (Fireball)	Εσωτερική (λάθος χειρισμός, αστοχία υλικών κλπ)	Μερική θραύση της δεξαμενής
Γλώσσα Φωτιάς (Jet fire)	Εξωτερική (σεισμός, ακραία καιρικά φαινόμενα κλπ)	Καταστροφική θραύση της δεξαμενής και διαφυγή όλου του περιεχομένου
Στιγμιαία ανάφλεξη (Flash fire)		Δεξαμενή / Αποθήκη Φιαλών / Βυτιοφόρα
Έκρηξη αερίου νέφους (VCE / UVCE)		Συνδεσμοί Αγωγού- Δεξαμενής - Βαλβίδας
Διασπορά τοξικών χωρίς ανάφλεξη σε συνθήκες που τεκμηριώνονται από τις συνθήκες λειτουργίας και περιβάλλοντος της εγκατάστασης ή ενδεικτικά D5 και F2		Γραμμή τροφοδοσίας – αγωγοί (μικρή, μερική και καταστροφική θραύση)
Λίμνη Φωτιάς (Pool fire)		Διαχείριση προϊόντος
Ανατροπή φάσεων (Roll over)(για καταψυχόμενα προϊόντα μόνο)		Αντλίες





Διαρροή Υγρού – Αερίου

Συνθήκες εύφλεκτων εντός του περιέκτη: υπό πίεση ή όχι

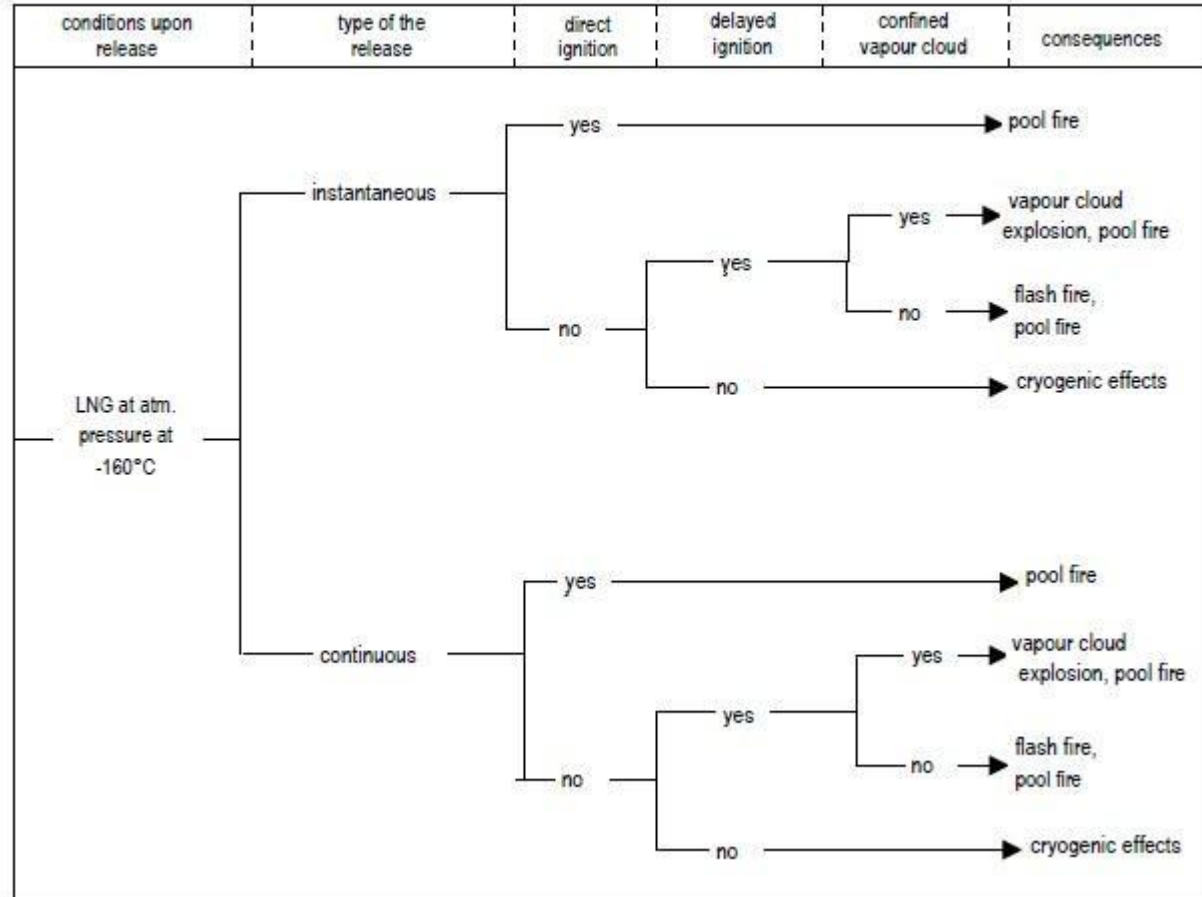
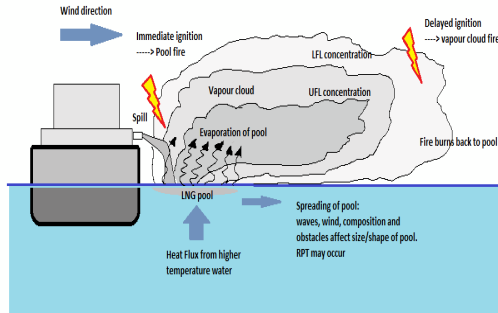




Διαρροή Αερίου από περιέκτη σε ατμοσφαιρική πίεση

Event tree for a release of LNG at near-atmospheric pressure

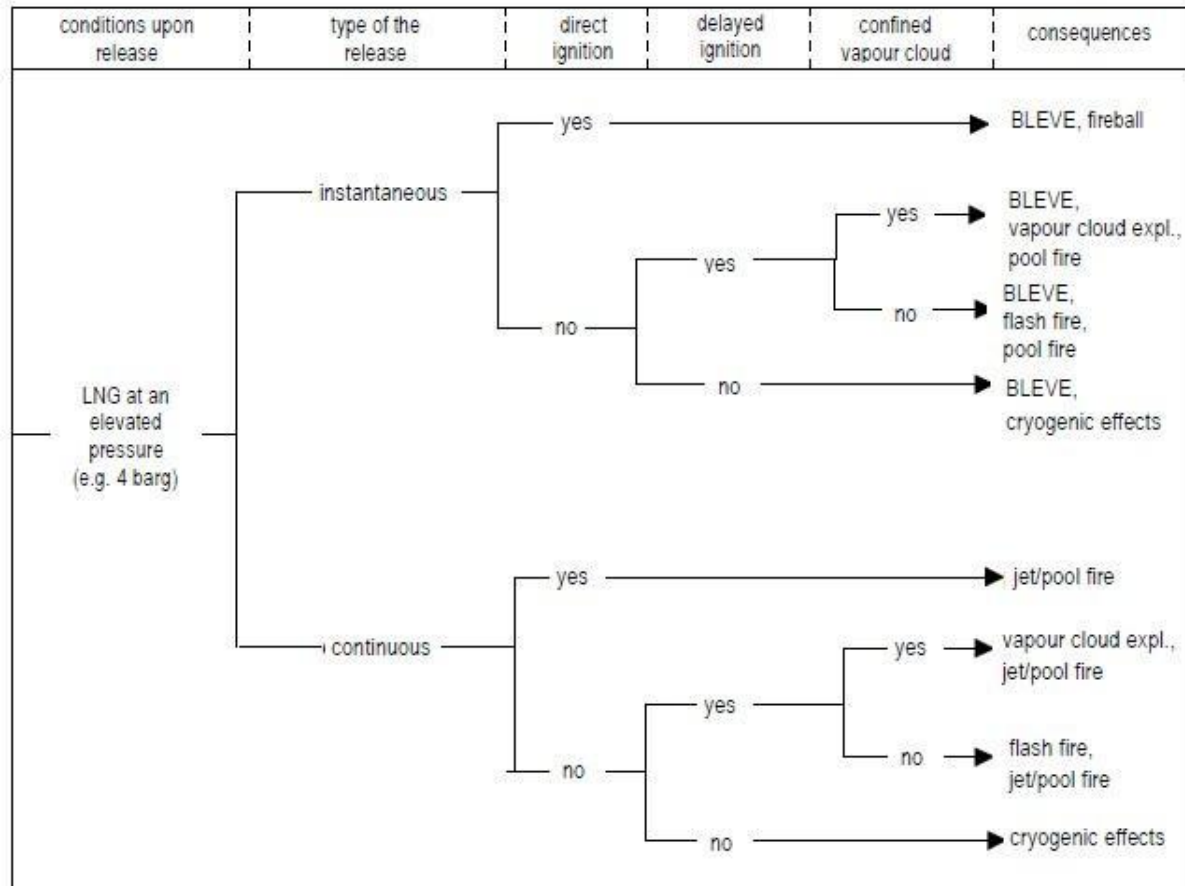
122





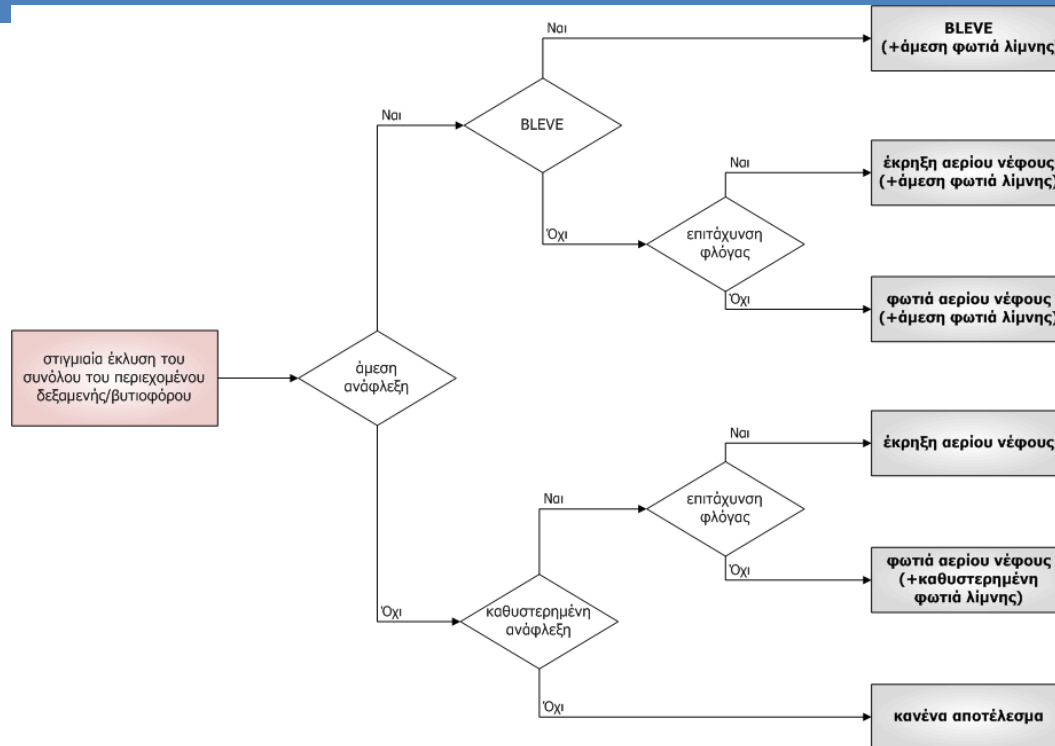
Διαρροή Υγρού από περιέκτη υπό πίεση (συμπιεσμένο)

Event tree for a release of LNG at increased pressure





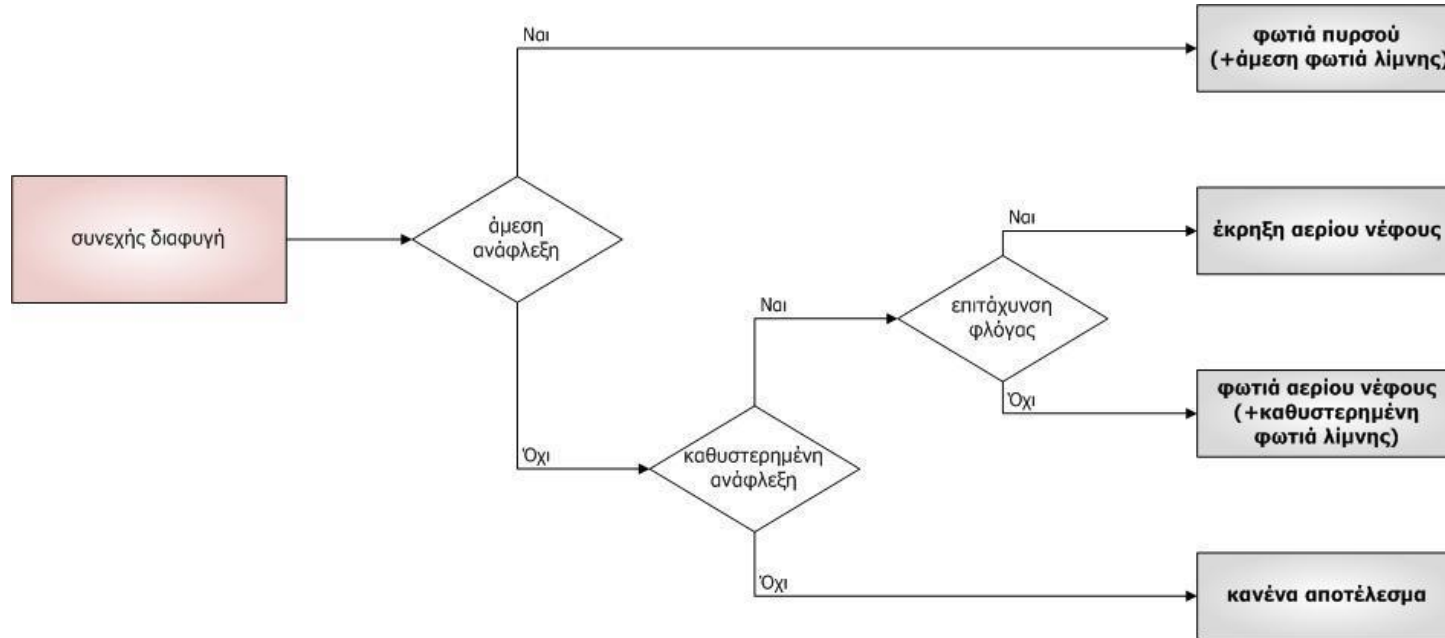
Φωτιές: Φαινόμενα μετά από καταστροφική θραύση δοχείου και διαρροή εύφλεκτου υγροποιημένου αερίου υπό πίεση





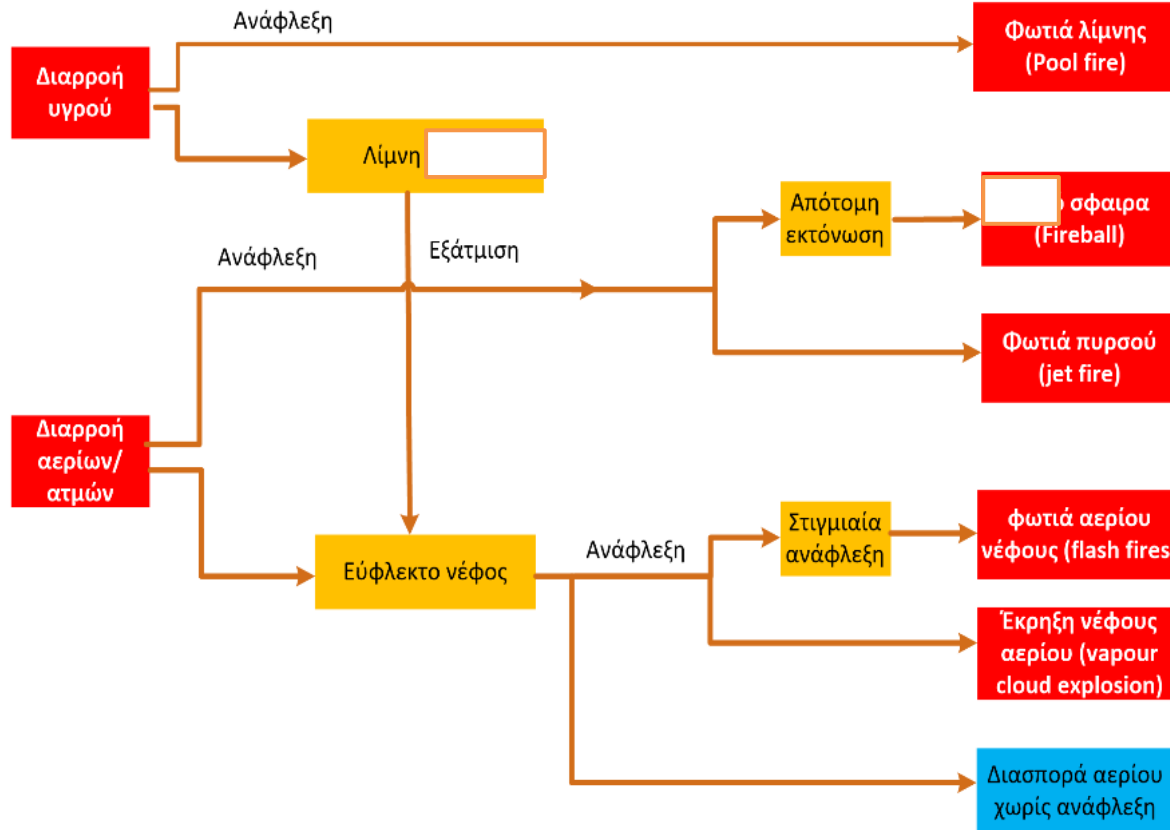
Φωτιές: Φαινόμενα μετά από θραύση **αγωγού** και διαρροή εύφλεκτου υγροποιημένου αερίου υπό πίεση

125



Φαινόμενα μετά από διαρροή εύφλεκτου υγρού ή αερίου

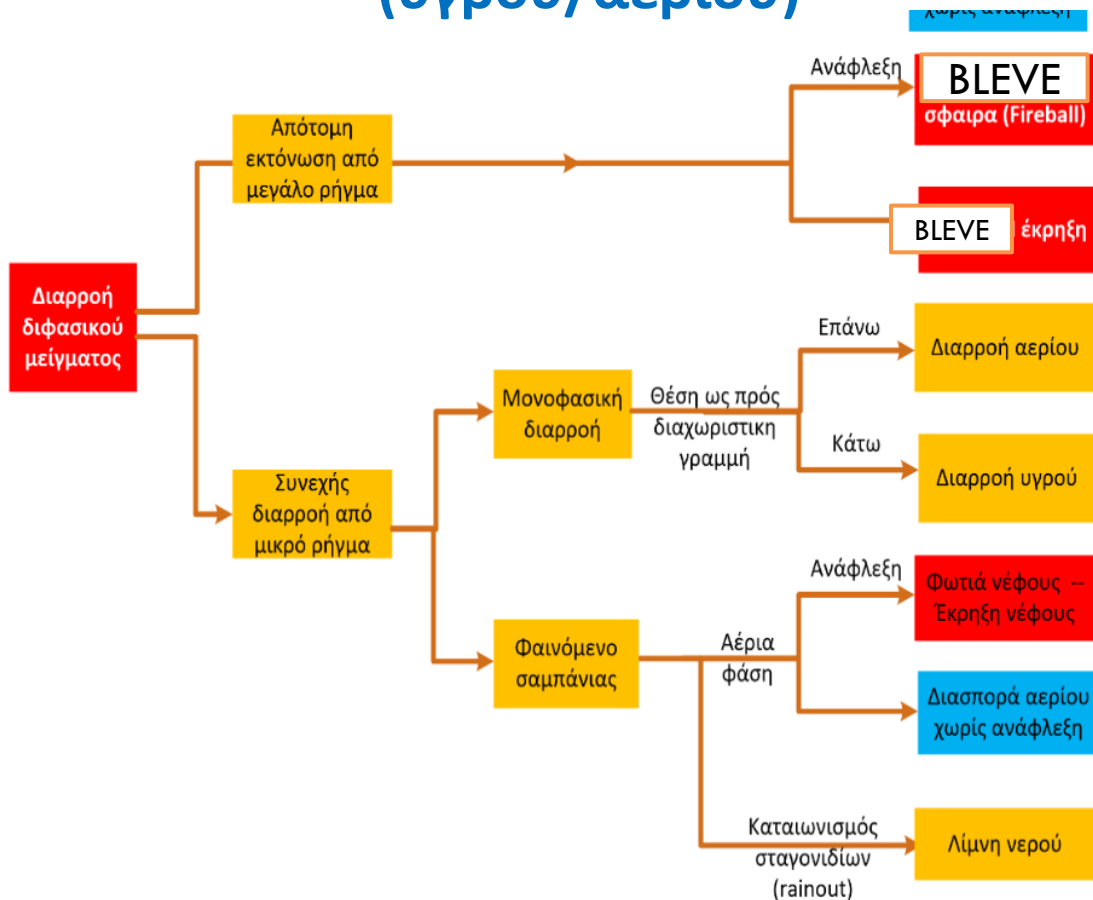
126





Φαινόμενα μετά από διαρροή εύφλεκτου διφασικού μείγματος (υγρού/αερίου)

127





ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΦΩΤΙΕΣ

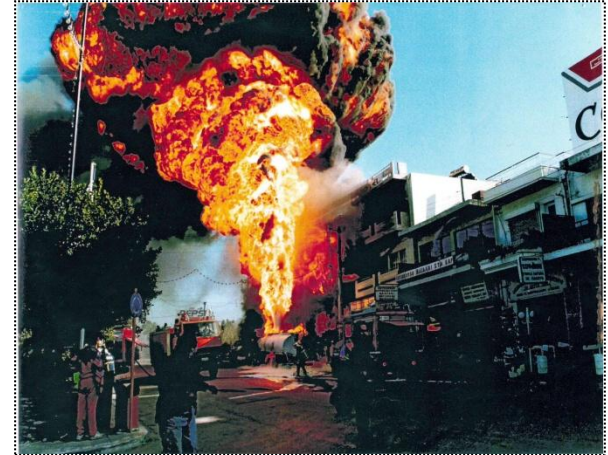
ΦΩΤΙΕΣ/ ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ εύφλεκτων αερίων που εμπλέκονται σε διαρροές από βιομηχανικές εγκαταστάσεις

- **Φαινόμενα με διαρροές εύφλεκτων**
- **Επιπτώσεις φαινομένων – Κριτήρια & Ζώνες Επιπτώσεων**



Φαινόμενα από Διαρροές Εύφλεκτων

129





Φαινόμενα διαρροής και ανάφλεξης εύφλεκτων

	ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ : ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	
Πύρινη σφαίρα BLEVE-Fireball	Στιγμιαία διαρροή υγροποιημένου αερίου από δοχείο	άμεση ανάφλεξη
Γλώσσα φωτιάς Jet Fire	Συνεχής διαρροή αερίου ή υγροποιημένου αερίου	άμεση ανάφλεξη
Φωτιά λίμνης Pool fire	Στιγμιαία ή συνεχής διαρροή υγρού (μόνον εάν στοιχειοθετείται από συνθήκες διαρροής, διασποράς και συσσώρευσης του υγρού (ή τις ιδιότητες του υγροποιημένου αερίου) καυσίμου	καθυστερημένη ανάφλεξη
Κατάκαυση Flash Fire Στιγμιαία φωτιά αερίου νέφους	Ακαριαία, Συνεχής / ημι-συνεχής διαρροή υγρού / αερίου (εξάτμιση υγρού) και διασπορά αερίου νέφους (συνθήκες ατμοσφαιρικής ευστάθειας D5, F2)	καθυστερημένη ανάφλεξη



Παράμετροι μοντελοποίησης Φαινομένων από Διαρροές Εύφλεκτων



ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ από μεγάλο ατλυχημα (SEVESO III)



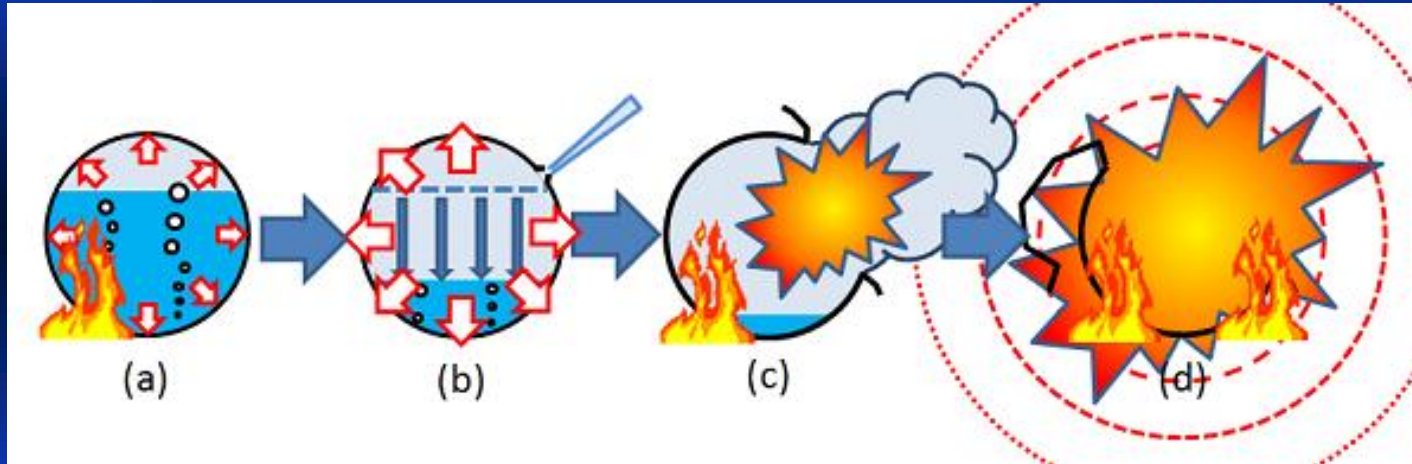
Ζώνες Επιπτώσεων : Domino

Z I, Z II και Z III

Είδος Επιβάρυνσης	
ΖΩΝΗ I (ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΚΑΤΑΣΤΟΛΗΣ) Σοβαρές και μη επισκευάσιμες ζημιές στο φέροντα οργανισμό και τοίχους κτιρίων	50% Πιθανότητα Θανάτου
ΖΩΝΗ II (ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ – ΣΟΒΑΡΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ) Ζημιές στο φέροντα οργανισμό και σε εξωτερικούς ή εσωτερικούς τοίχους	1% Πιθανότητα Θανάτου
ΖΩΝΗ III (ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ – ΜΕΤΡΙΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ) Ζημιές σε πόρτες και παράθυρα, ελαφρές ρηγματώσεις σε τοίχους	Πιθανότητα Τραυματισμού

Παράμετροι μοντελοποίησης Φαινομένου **BLEVE**

Πύρινη Σφαίρα





Παράμετροι μοντελοποίησης Φαινομένου **BLEVE**

Πύρινη Σφαίρα

BLEVE

Τύπος επικίνδυνης Ουσίας :

LPG (propane, butane, mixture)

Συνολική μάζα που εμπλέκεται

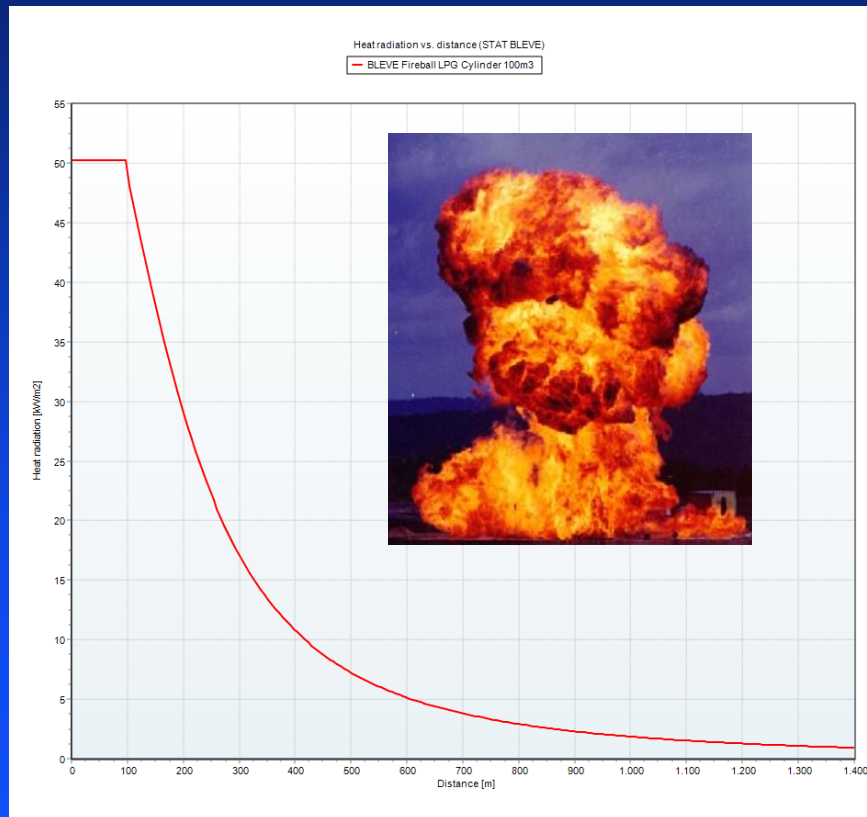
Αρχική Θερμοκρασία στο Δοχείο

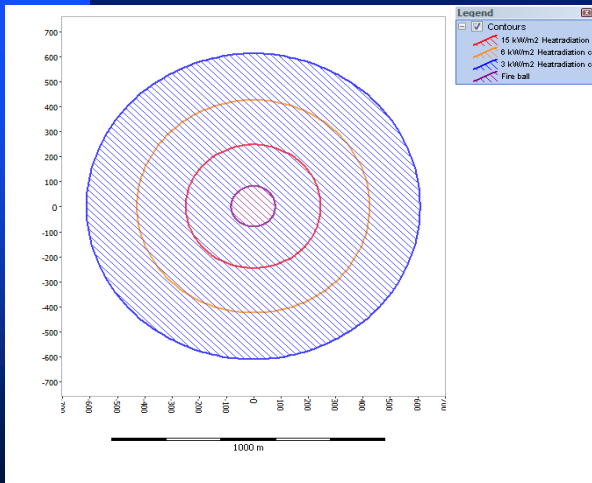
Πίεση Θραύσης Δοχείου

Ατμοσφαιρική Θερμοκρασία

Αποτελέσματα :

**Θερμική ακτινοβολία συναρτήσει
της απόστασης από το σημείο διαρροής**





Ζώνες Επιπτώσεων Θερμικής Ακτινοβολίας : Πύρινη Σφαίρα ΥΓΡΑΕΡΙΟΥ

Ενδεικτικές Ζώνες Επιπτώσεων **Z I**, **Z II**, **Z III**

Δυσμενέστερα Σενάρια	Domino 37,5 kW/m ²	Z I 15 kW/m ²	Z II 6 kW/m ²	Z III 3 kW/m ²
LPG 100m ³ 55000 kg, 17,5bar BLEVE (15s)	Fire Ball R =113 m 37,5 kW/m ² : 160 m	360 m	610 m	880 m



Παράμετροι μοντελοποίησης Φαινομένου **JET FIRE** **Φωτιά Πυρσού / Γλώσσα Φωτιάς**

JET FIRE

Type of Substance : Μεθάνιο

Ρυθμός διαρροής στο σημείο διαρροής

Πίεση εξόδου

Διάμετρος Οπής

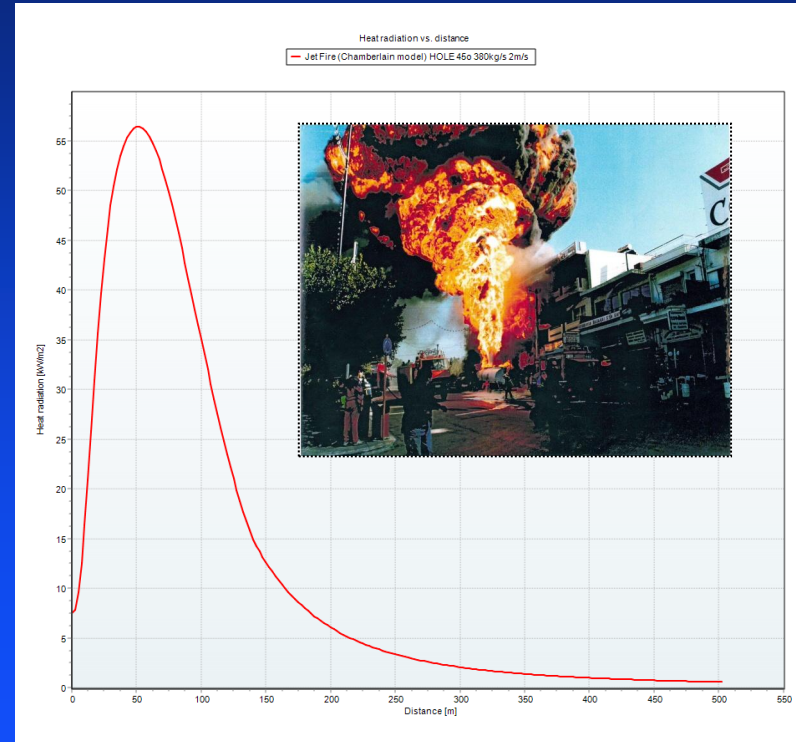
Κατεύθυνση του jet

Διάρκεια έκθεσης αποδέκτη

Ύψος αποδέκτη

Αποτελέσματα :

- Μήκος φλόγας / Πλάτος (άνοιγμα)
- Θερμική ακτινοβολία συναρτήσει της απόστασης από το σημείο διαρροής



Παράμετροι μοντελοποίησης Φαινομένου **POOL FIRE**

Λίμνη Φωτιάς



POOL FIRE

Τύπος επικίνδυνης Ουσίας: Βενζίνη

Ποσότητα διαρροής

Μέγιστη επιφάνεια λίμνης υγρού (σχήμα)

Ύψος παρατηρητή (αποδέκτη)

Ύψος λίμνης πάνω από το έδαφος

Θερμοκρασία λίμνης

Ποσοστό ακτινοβολούμενης θερμότητας

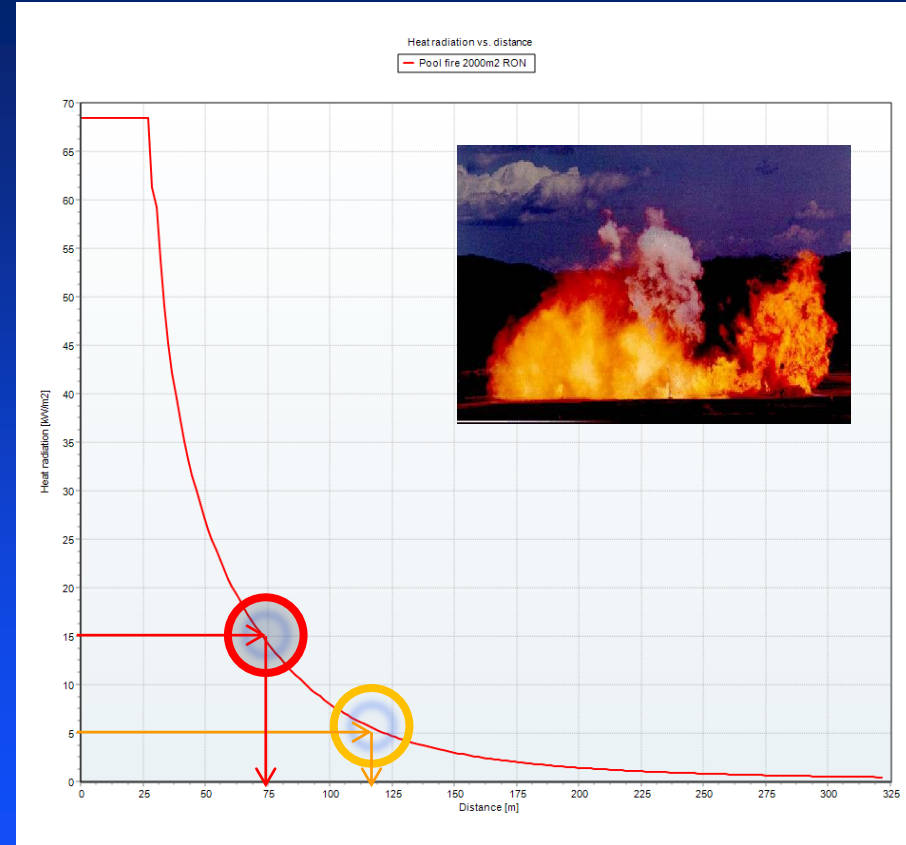
Ταχύτητα / κατεύθυνση ανέμου

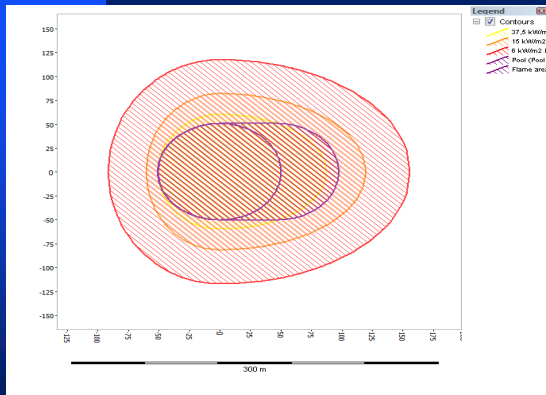
Ατμοσφαιρική Θερμοκρασία /Σχετ. Υγρασία

Αποτελέσματα :

- Έκταση Φωτιάς / Ύψος φλόγας

- Θερμική ακτινοβολία συναρτήσει της απόστασης από λίμνη





Φωτιά BENZΙNHΣ

Ζώνες Επιπτώσεων Θερμικής Ακτινοβολίας

Ενδεικτικές Ζώνες Επιπτώσεων **Z I**, **Z II**, **Z III**

Δυσμενέστερα Σενάρια	Domino 37,5 kW/m ²	Z I 15 kW/m ²	Z II 6 kW/m ²	Z III 3 kW/m ²
BENZINH : Φωτιές Λίμνης 300-5000 m ² d=20-80 m (D5)	28-75 m	38 – 100 m	48 – 130 m	57- 160 m
BENZINH : Φωτιές Λίμνης (Λεκάνης) 8000-16000 m ² d=100-140 m (D5)	88-115 m	120 -160 m	156 - 210 m	195 – 260 m



Παράμετροι μοντελοποίησης Φαινομένου **POOL EVAPORATION**

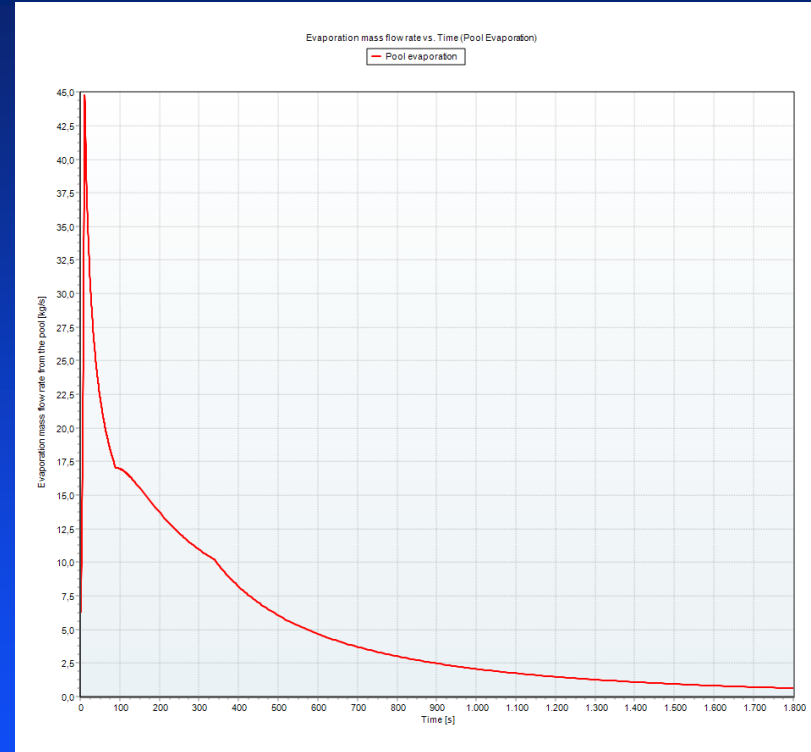
ΕΞΑΤΜΙΣΗ ΛΙΜΝΗΣ ΥΓΡΟΥ

Τύπος επικίνδυνης Ουσίας: LPG

Εξάτμιση σε έδαφος ή νερό
Συνολική μάζα διαρροής / ρυθμός διαρροής
Ύψος λεκάνης (λίμνης) – συνολική μάζα
Περιορισμένη επιφάνεια λίμνης ή ανοικτή
Ποσότητα διαρροής
Θερμοκρασία λίμνης / εδάφους
Ταχύτητα ανέμου
Ατμοσφ. Θερμοκρασία - Σχετική Υγρασία
Ηλιακή ακτινοβολία (νεφοκάλυψη)
Ανάγλυφο εδάφους
Μέγιστη Διάρκεια εξάτμισης

Αποτελέσματα :

Ρυθμός εξάτμισης συναρτήσει του χρόνου





Παράμετροι για μοντελοποίηση **Διασποράς Αερίου Νέφους**

Διασπορά Αερίου Νέφους CLOUD DISPERSION

Ουδέτερο ή Βαρύ Νέφος (Neutral /Dense Gas Dispersion)

Τύπος επικίνδυνης Ουσίας: Προπάνιο (Dense Gas) ή Τοξική

Τύπος διαρροής: Ακαριαία, εξάτμιση λίμνης ή από Jet

Συνολική μάζα διαρροής /ρυθμός διαρροής / διάρκεια

Ποσοστό υγρού στη διαρροή

Θερμοκρασία κατά τη διαρροή

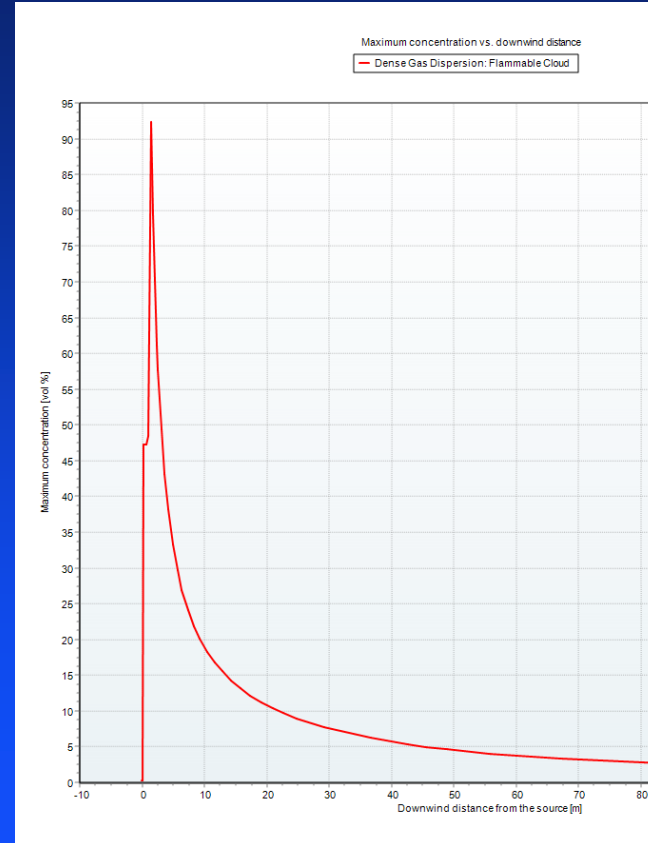
Μετεωρολογικά δεδομένα (κλάσεις σταθερότητας Pasquill A-F)

Ταχύτητα ανέμου, Ατμ. Θερμοκρασία/ σχ. Υγρασία

Τραχύτητα εδάφους (roughness length): επίπεδο / υψηλά εμπόδια

Αποτελέσματα :

- Συγκέντρωση του νέφους σε χρόνο (t) συναρτήσει της απόστασης κατάντη του ανέμου (DW) από διαρροή
- Εκρήξιμη μάζα νέφους (LFL – UFL)
- Μέγιστη έκταση νέφους





Φαινόμενα διαρροής , καθυστερημένης Ανάφλεξης και Έκρηξης Εύφλεκτου Αερίου Νέφους

	ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ : ΥΠΕΡΠΙΕΣΗ από ΩΣΤΙΚΟ ΚΥΜΑ ΕΚΡΗΞΗΣ	
Έκρηξη μη περιορισμένου Αερίου Νέφους (U)VCE (UN) CONFINED VAPOUR CLOUD EXPLOSION	Ακαριαία, Συνεχής / ημι-συνεχής διαρροή υγρού / αερίου (εξάτμιση υγρού) και διασπορά αερίου νέφους Συνθήκες ατμοσφαιρικής ευστάθειας D5, F2 Διασπορά σε ανοικτό ή ημι-έγκλειστο χώρο	(εξέταση πιθανών σημείων ανάφλεξης)



Παράμετροι για μοντελοποίηση Έκρηξης μη περιορισμένου Αερίου Νέφους **UNCONFINED VAPOUR CLOUD EXPLOSION (UVCE)**

UVCE

Τύπος επικίνδυνης Ουσίας: LPG

Συνολική εκρήξιμη μάζα νέφους (LEL – UEL)

Βαθμός εγκλεισμού του νέφους

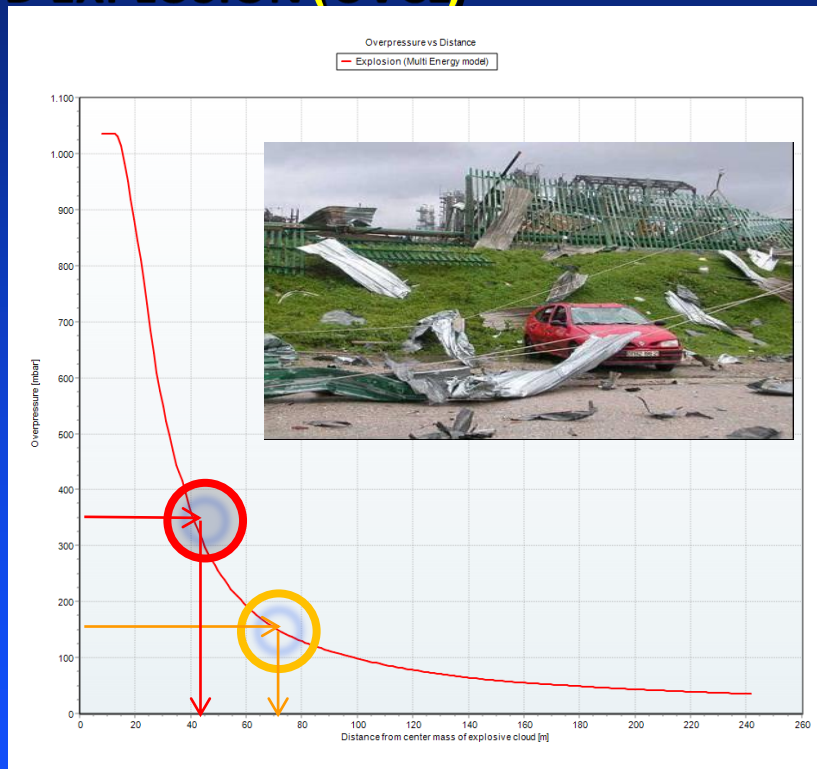
Ένταση έκρηξης : Deflagration - Detonation

Απόσταση μεταξύ σημείου διαρροής και
κέντρου του νέφους

Δεδομένα ανέμου

Αποτελέσματα :

**Υπερπίεση ωστικού κύματος συναρτήσει
της απόστασης από το κέντρο του νέφους**





Έκρηξη ατμών BENZΙNHΣ

Ζώνες Επιπτώσεων Ωστικού Κύματος (Υπερπίεση)

Ενδεικτικές Ζώνες Επιπτώσεων **Z I, Z II, Z III**

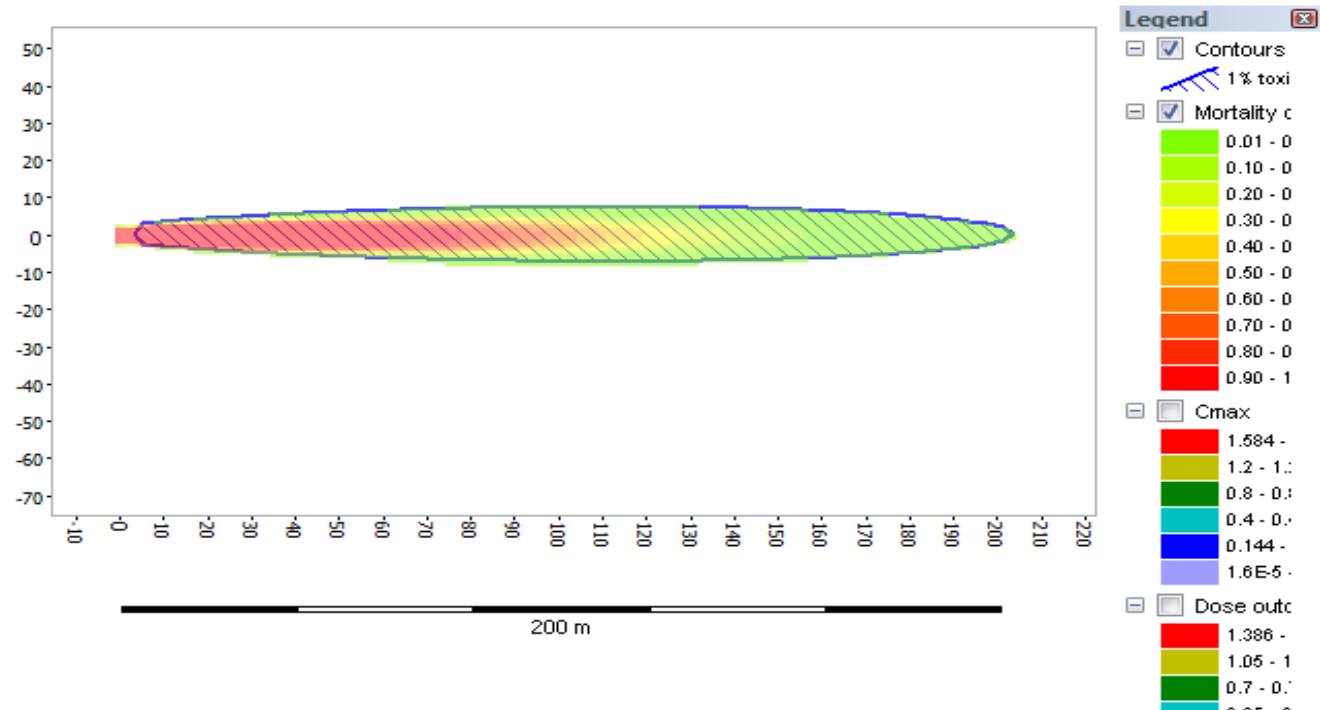


Δυσμενέστερα Σενάρια	Domino 700 mbar	Z I 350 mbar	Z II 140 mbar	Z III 50 mbar
	BENZINΗ : Ισχυρές Εκρήξεις Νέφους από εξάτμιση Λίμνης 5000 m2 d=80 m και διασπορά νέφους (dense gas) για 2 min (F2)	< 40 m	< 60 m	< 100 m <150 m LFL



Φαινόμενα από Διαρροές Χημικών και Διασπορά Αερίου (Τοξικού) Νέφους

144





Φαινόμενα διαρροής Επικίνδυνης Ουσίας Διασπορά (Τοξικού/Εύφλεκτου) Αερίου Νέφους

	ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ : ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ ΑΕΡΙΟΥ ΝΕΦΟΥΣ	
Διασπορά Τοξικού Αερίου Νέφους	Ακαριαία, Συνεχής / ημι-συνεχής διαρροή υγρού / αερίου (εξάτμιση υγρού) και διασπορά αερίου νέφους Συνθήκες ατμοσφαιρικής ευστάθειας D5, F2	Διασπορά επί εδάφους ανάλογα το βαθμό τραχύτητας





Μοντελοποίηση Διασποράς Αερίου Νέφους

Διασπορά Αερίου Νέφους CLOUD DISPERSION

Ουδέτερο ή Βαρύ Νέφος (Neutral /Dense Gas Dispersion)

Τύπος επικίνδυνης Ουσίας: Προπάνιο (Dense Gas) ή Τοξική

Τύπος διαρροής: Ακαριαία, εξάτμιση λίμνης ή από Jet

Συνολική μάζα διαρροής /ρυθμός διαρροής / διάρκεια

Ποσοστό υγρού στη διαρροή

Θερμοκρασία κατά τη διαρροή

Μετεωρολογικά δεδομένα (κλάσεις σταθερότητας Pasquill A-F)

Ταχύτητα ανέμου, Ατμ. Θερμοκρασία/ σχ. Υγρασία

Τραχύτητα εδάφους (roughness length): επίπεδο / υψηλά εμπόδια

Αποτελέσματα :

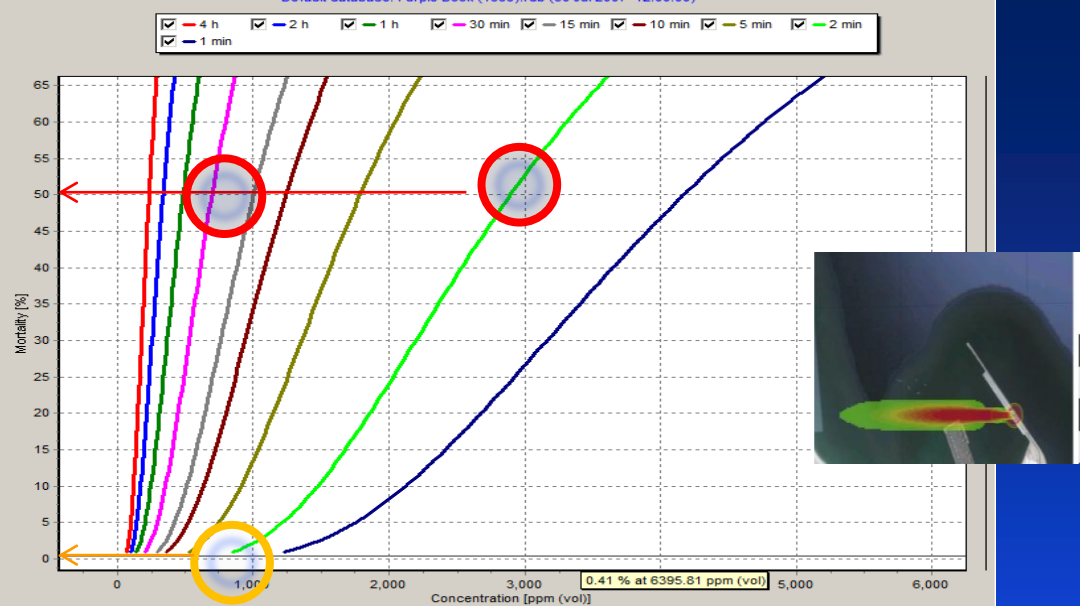
- Συγκέντρωση του νέφους σε χρόνο (t) συναρτήσει της απόστασης κατάντη του ανέμου (DW) από διαρροή
- Εκρήξιμη μάζα νέφους (LFL – UFL) ή συγκέντρωση TLV
- Μέγιστη έκταση νέφους





Ζώνες Επιπτώσεων Τοξικότητας (% Θνητότητας) : Διασπορά (Τοξικού) Νέφους Υδροθείου

Ενδεικτικές Ζώνες Επιπτώσεων **Z I**, **Z II**, **Z III**

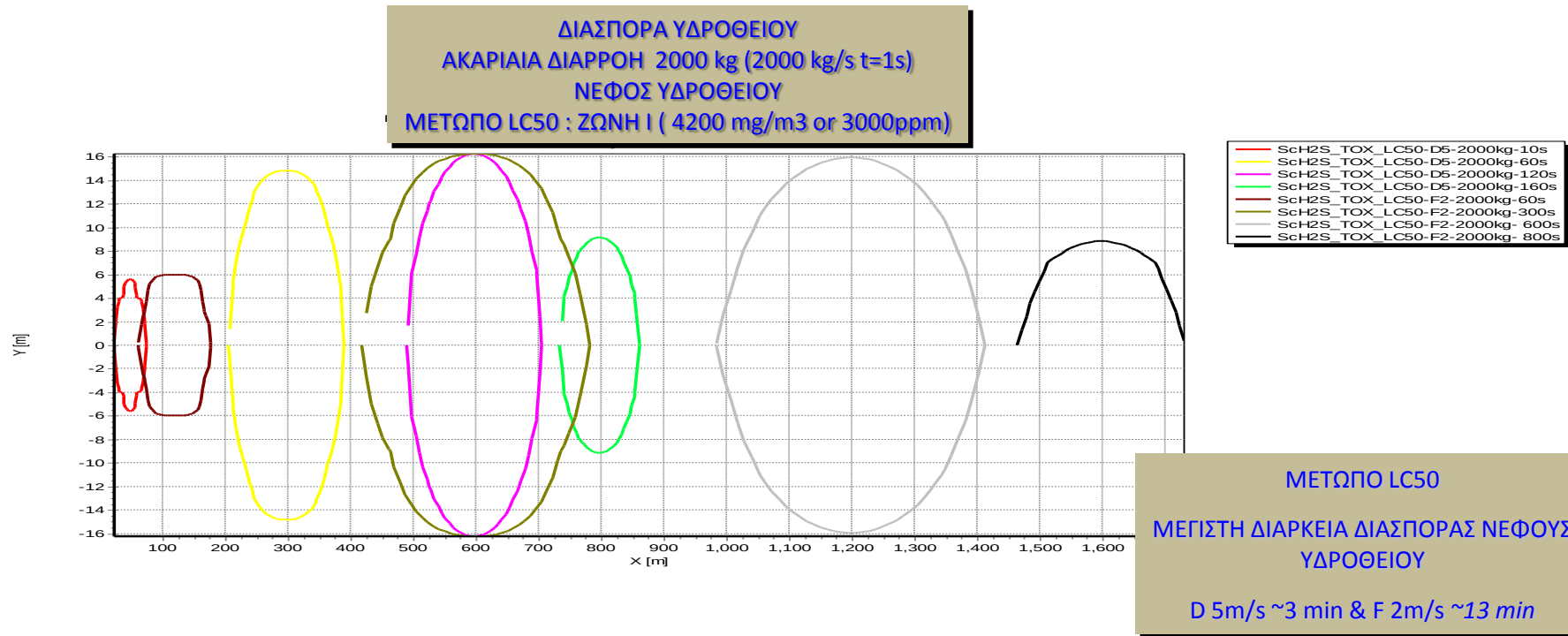


Δυσμενέστερα Σενάρια	Dom ino	Z I LC50 (3000 ppm 2 min)	Z II LC1 (880 ppm 2min)	Z III IDLH (30 min) (100 ppm)
Διασπορά Τοξικών : Υδρόθειο 100kg Ακαριαία διαρροή	-	F2 400 m 180s max max exposure 40 s (< 26% fatality) D5 212 m 40s max	F2 670 m 320s max max exposure 80 s (< 1% fatality) D5 341 m	F2 1030 m (300ppm) 490s max F2 1580 m (100ppm) 13 min max D5 515 m (300ppm)



Διασπορά Επικίνδυνης Ουσίας : Υδρόθειο

148





ΦΩΤΙΕΣ ΕΥΦΛΕΚΤΩΝ (ΑΕΡΙΩΝ)



ΦΩΤΙΕΣ ΕΥΦΛΕΚΤΩΝ (ΑΕΡΙΩΝ)

150





ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΦΩΤΙΕΣ

ΦΩΤΙΕΣ/ ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ εύφλεκτων αερίων που εμπλέκονται σε διαρροές από βιομηχανικές εγκαταστάσεις

- **Φαινόμενα με διαρροές εύφλεκτων**
- **Επιπτώσεις φαινομένων – Κριτήρια & Ζώνες Επιπτώσεων**
- **Εφαρμογές :**
 - ΔΟΣΗ _ ΑΠΟΚΡΙΣΗ (Τρωτότητα)
 - Μοντελοποίηση ΦΩΤΙΑΣ



ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΦΩΤΙΕΣ- πυρκαγιές

152

Οι φωτιές και πυρκαγιές στις οποίες εμπλέκονται εύφλεκτα υγρά ή αέρια (ιδιαίτερα σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις και σε περιβάλλοντα με πολλούς εργαζόμενους ή/και πολίτες) (κατηγορίες Β & Γ) *upper and lower tier SEVESO establishments* είναι ιδιαίτερα επικίνδυνες επειδή είναι δυνατόν να ακτινοβολούν υψηλή ένταση θερμότητας για μεγάλα διαστήματα και άρα να μεταδίδουν μεγάλες δόσεις (ποσότητα) θερμότητας, και επίσης είναι δυνατόν να εξαπλωθούν (να λάβουν μεγαλύτερη έκταση ή να μεταδοθούν) σε μικρό χρονικό διάστημα λόγω της παρουσίας στην γειτονική περιοχή (χρήσεις γης) ή στο γειτονικό εξοπλισμό εύφλεκτων ουσιών (μειγμάτων): Cascade effects – Domino effects

Για το λόγο αυτό εξετάζονται ξεχωριστά από τα άλλα είδη πυρκαγιάς



Κατηγορίες ΦΩΤΙΑΣ

Ανάλογα (το είδος και τα χαρακτηριστικά) τον τύπο της φωτιάς που προέρχεται από ανάφλεξη εύφλεκτου αερίου

153

- Εάν το αέριο διαρρέει από σχετικά μικρή οπή σε εξοπλισμό π.χ. αγωγό **υπό πίεση** χαρακτηριστική είναι η **φωτιά πυρσού (jet fire)**,
- Εάν το αέριο δημιουργείται από εξάτμιση υγρού που διαρρέει από σχετικά μικρή οπή σε εξοπλισμό π.χ. αγωγό **υπό πίεση** χαρακτηριστική είναι επίσης η φωτιά πυρσού (jet fire),
- Εάν το αέριο δημιουργείται ακαριαία από εξάτμιση υγρού που διαρρέει από καταστροφική θραύση εξοπλισμού **υπό πίεση** χαρακτηριστική είναι η **φωτιά πύρινης σφαίρας (fireball) ή BLEVE** ,
- Εάν το υγρό διαρρέει από εξοπλισμό και σωρρεύεται στην επιφάνεια εδάφους ή νερού και δημιουργείται λίμνη υγρού που εξατμίζεται και αναφλέγεται ο ατμός πάνω από τη λίμνη, χαρακτηριστική είναι η **φωτιά λίμνης (pool fire)**



ΦΩΤΙΕΣ ΕΥΦΛΕΚΤΩΝ (ΑΕΡΙΩΝ)

154





Κατηγορίες ΦΩΤΙΑΣ

Ανάλογα (το είδος και τα χαρακτηριστικά) τον τύπο της φωτιάς που προέρχεται από ανάφλεξη εύφλεκτου αερίου

155

- Εάν το αέριο έχει δημιουργήσει νέφος που διασπείρεται στη περιοχή της διαρροής και αναφλέγεται μετά τη διασπορά χαρακτηριστική είναι η (iv) φωτιά αε-ρίου νέφους (flash fire) ή Κατάκαυση νέφους ,
- Εάν το αέριο έχει δημιουργήσει νέφος που διασπείρεται στη περιοχή της διαρροής και αναφλέγεται μετά τη διασπορά σε περιορισμένο χώρο υπάρχει πιθανότητα να δημιουργηθεί έκρηξη , χαρακτηριστική είναι η έκρηξη αε-ρίου νέφους (vapour cloud explosion VCE/UVCE).
- Για όλες τις φωτιές είναι απαραίτητη διαρροή εύφλεκτου (εύφλεκτου πτητικού υγρού ή αερίου) και ανάφλεξη του αερίου. Όλες οι διαρροές οφείλονται σε αστοχία του εξοπλισμού και οι αστοχίες μπορεί να έχουν σαν εναρκτήρια αίτια λάθος σχεδιασμού, παράληψη, αστοχία υλικού, λειτουργικά αίτια κλπ.
- Για τη φωτιά πυρσού απαιτείται διαρροή από μικρή οπή και υπό πίεση. Μικρές οπές μπορεί να είναι από σωλήνα , φλάντζα κλπ.



ΕΝΤΑΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

156

$$q = \tau_{\alpha} \cdot F_{view} \cdot SEP$$

όπου,

q : ένταση θερμικής ακτινοβολίας (KW/m²) στον αποδέκτη (σε μια απόσταση από τη φλόγα) ανά επιφάνεια μεταφοράς

SEP:(Surface Emissive Power) πραγματική ακτινοβολούμενη ισχύς (ένταση θερμικής ακτινοβολίας στη πηγή) (KW/m²) ανά επιφάνεια φλόγας

τ_{α} : συντελεστής ατμοσφαιρικής διαπερατότητας (αδιάστατος)

F_{view} : παράγοντας θέασης (αδιάστατος) που αναφέρεται στο ποσοστό της ακτινοβολίας που προσπίπτει στον αποδέκτη λόγω της συγκεκριμένης γεωμετρίας της φλόγας και τη θέση του αποδέκτη.

Φαινόμενο **POOL FIRE**

The received thermal flux from a pool fire is determined by

$$Q(x) = \tau E F_a$$

where

$Q(x)$ = thermal radiation received at distance x (kW/m²)

τ = atmospheric transmissivity (fraction of energy transmitted: 0 to 1, dimensionless)

E = surface emitted flux per unit area (kW/m²)

F_a = geometric view factor, flame surface to target (dimensionless)

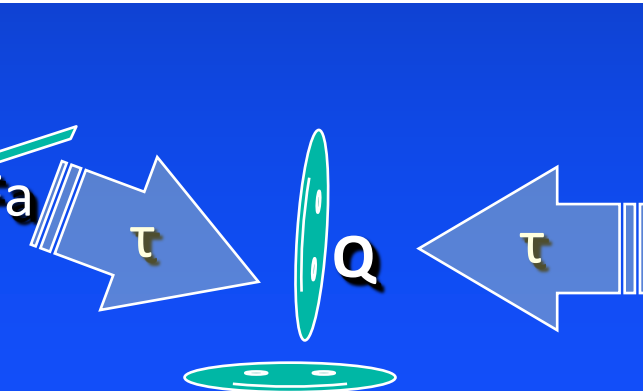
(Where human injury is being considered, it may be necessary to add solar radiation to account for total radiation received.)

Q = προσλαμβανόμενη
ακτινοβολία

τ = συντελεστής ατμοσφαιρικής
μετάδοσης

F_a = Γεωμετρικός παράγων
θέασης

**$E = SEP$ = Εκπεμπόμενη
επιφανειακή ακτινοβολία**





Ατμοσφαιρική διαπερατότητα (τ_α)

$$q = \tau_\alpha \cdot F_{view} \cdot SEP$$

158

Ο υπολογισμός της έντασης (q) είναι συνάρτηση της:

Ατμοσφαιρικής διαπερατότητας (τ_α) που αντιπροσωπεύει το τμήμα της εκπεμπόμενης ακτινοβολία που απορροφάται από τον αέρα μεταξύ της φλόγας και του αποδέκτη.

Η ατμοσφαιρική διαπερατότητα (τ_α) υπολογίζεται από :

$$\tau_\alpha = 2.02 \cdot (P_w \cdot (X-R)) - 0.09$$

όπου, P_w : η μερική πίεση υδρατμών (P_a) και

$X-R$:απόσταση του αποδέκτη από τη φλόγα που έχει ακτίνα R (m).

Η μερική πίεση υδρατμών στον αέρα P_w υπολογίζεται από την τάση κορεσμού τους στον αέρα (P_{wo}) και τη σχετική υγρασία RH (κλάσμα 0 -1) ως εξής: $P_w = RH \cdot P_{wo}$

Ο εκθέτης -0.09 είναι μικρός και η ατμοσφαιρική διαπερατότητα δεν μεταβάλλεται σημαντικά (θεωρείται σχετικά σταθερά)



Παράγοντας θέασης F_{view}

$$q = \tau_{\alpha} \cdot F_{view} \cdot SEP$$

159

Η ένταση (q) είναι συνάρτηση κυρίως του :

Παράγοντα θέασης F_{view} ο οποίος είναι συνάρτηση της απόστασης του αποδέκτη από τη φλόγα (X) και των διαστάσεων και αναλογιών τού σχήματος της φλόγας

Εξαρτάται από την αναλογία του οπτικού πεδίου από την εκτεθειμένη επιφάνεια φλόγας σε σύγκριση με το συνολικό οπτικό πεδίο και προσαρμόζεται με τη γωνία πρόσπτωσης της ακτινοβολίας στην επιφάνεια.

Εάν ως αποδέκτης θεωρηθεί ένας όρθιος άνθρωπος (vertical), τότε γίνεται διόρθωση του παράγοντα θέασης ως εξής: $F_{vertical} = F_{view} \cdot \cos\theta$

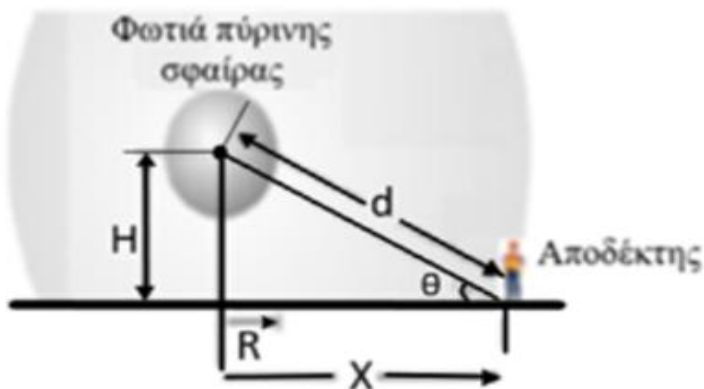


Παράγοντας θέασης Πύρινης Σφαίρας F_{view}

$$q = \tau_a \cdot F_{view} \cdot SEP$$

160

Παράγοντα θέασης F_{view} : συνάρτηση της απόστασης (X) του αποδέκτη από τη φλόγα (πύρινη σφαίρα) της ανύψωσης (H) και των διαστάσεων (R) της φλόγας (σφαίρας)



$$d^2 = H^2 + X^2$$

$$F_{view} = R^2 / d^2$$

Τιμές F_{view} για κυλινδρική φλόγα ($1000 \times F_{view}$)

	a=L/R							
(b=X/R)	0,1	0,5	1,0	2,0	3,0	5,0	10	20

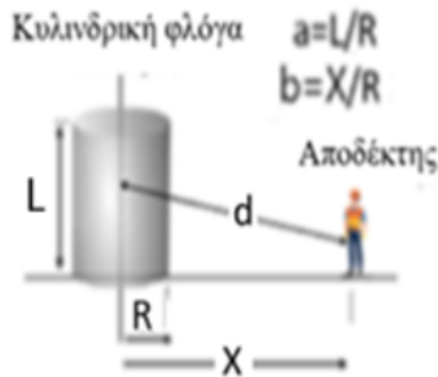
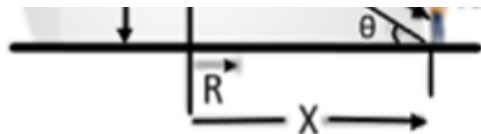


Παράγοντας θέασης Φωτιάς Λίμνης F_{view}

$$q = \tau_a \cdot F_{view} \cdot SEP$$

161

Παράγοντα Θέασης F_{view} : συνάρτηση της απόστασης (X) του αποδέκτη από τη φλόγα της λίμνης φωτιάς και των διαστάσεων (R) και αναλογιών (L/R) τού σχήματος της φλόγας (κύλινδρος)



Τιμές F_{view} για κυλινδρική φλόγα ($1000 \times F_{view}$)

	$a=L/R$							
$(b=X/R)$	0,1	0,5	1,0	2,0	3,0	5,0	10	20
1,1	356	559	575	580	581	581	581	581
1,5	72	271	355	392	400	404	405	406
2,0	28	129	208	267	285	294	299	300
3,0	9	48	88	141	166	185	195	197
4,0	5	24	47	83	106	129	143	147
5,0	3	15	29	54	73	94	111	117
10		3	6	13	19	30	45	55
20			1	3	4	7	14	22

Τιμές F_{view} για επίπεδη φλόγα ($1000 \times F_{view}$)

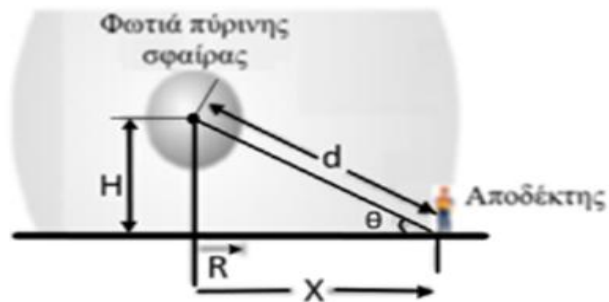


Παράγοντας θέασης σε διαφορετικές φωτιές

162

Τρία απλοποιημένα μοντέλα υπολογισμού του παράγοντα θέασης F_{view} στην περίπτωση

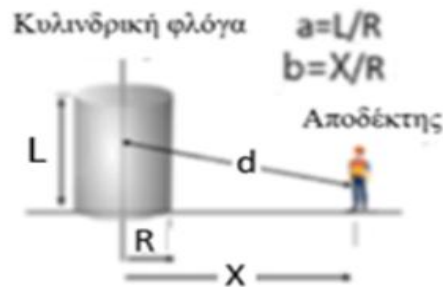
- φωτιάς πύρινης σφαίρας (φλόγα σε σχήμα σφαίρας)
- φωτιάς λίμνης (κυλινδρική φλόγα), και
- φωτιάς αερίου νέφους (επίπεδο μέτωπο φλόγας)



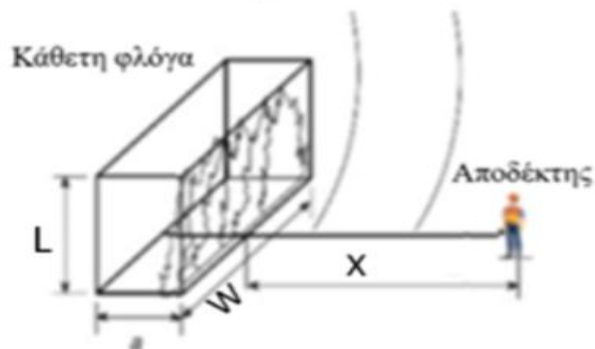
$$d^2 = H^2 + X^2$$

$$F_{view} = R^2 / d^2$$

Τιμές F_{view} για κυλινδρική φλόγα ($1000 \times F_{view}$)



	a=L/R							
(b=X/R)	0,1	0,5	1,0	2,0	3,0	5,0	10	20
1,1	356	559	575	580	581	581	581	581
1,5	72	271	355	392	400	404	405	406
2,0	28	129	208	267	285	294	299	300
3,0	9	48	88	141	166	185	195	197
4,0	5	24	47	83	106	129	143	147
5,0	3	15	29	54	73	94	111	117
10		3	6	13	19	30	45	55
20			1	3	4	7	14	22



Τιμές F_{view} για επίπεδη φλόγα ($1000 \times F_{view}$)

X/b	L/b							
(b=W/2)	0,1	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	5,0	10
0,1	328	632	665	674	678	681	682	684
0,2	229	555	621	639	647	652	655	657
0,3	158	483	575	602	613	622	626	628
0,5	94	362	484	526	544	558	565	569
1,0	41	185	299	356	385	410	425	431
1,5	22	106	187	239	270	302	322	332
2,0	14	67	123	165	194	227	252	264
3,0	7	33	62	88	109	138	165	183
5,0	2	12	24	36	46	63	86	107
10	0,5	3	6	9	12	18	28	44
20	0,1	0,8	1,6	2,4	3,2	4,7	7,7	14



ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ και ΕΝΤΑΣΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

$$q = \tau_a \cdot F_{view} \cdot SEP$$

164

Η σχέση της θερμικής ροής (q) με την απόσταση περιγράφεται από μια φθίνουσα εκθετική εξίσωση, όπως φαίνεται από το Σχήμα 9.67 του βιβλίου.

Έκθεση σε θερμική ροή **μικρότερη από $1,6 \text{ KW/m}^2$** δεν προκαλεί βλάβη στη υγεία ακόμη και για μεγάλο χρονικό διάστημα ενώ **έκθεση σε $4,0 \text{ KW/m}^2$** προκαλεί πόνο σε 20s και εγκαύματα δευτέρου βαθμού για παραμονή πάνω από 60s. Μεγαλύτερες ακτινοβολίες στο επίπεδο **$9,5 \text{ KW/m}^2$** προκαλούν εγκαύματα δευτέρου βαθμού σε 20s ενώ τιμές **μεγαλύτερες από 15 KW/m^2 (ΖΩΝΗ I)** πρέπει να αποφεύγονται ακόμη και από πυροσβέστες που χρησιμοποιούν ειδικά μέσα προστασίας. Με στολές αλουμινίου οι πυροσβέστες μπορούν να εργάζονται κανονικά για ακτινοβολίες κάτω από **6 KW/m^2 (ΖΩΝΗ II)**



Ζώνες Επιπτώσεων και προσπίπτουσα Θερμική Ακτινοβολία

Τρεις Ζώνες επιπτώσεων ΖΙ, ΖΙΙ, ΖΙΙΙ με σαφή κριτήρια (Παράρτημα ΙΧ ΚΥΑ SEVESO ΙΙΙ)

Επιπτώσεις	Θερμική Ακτινοβολία				
Ζώνες	Δόση (TDU) (kW/m ²) ^{4/3} * s	Ένταση (kW/m ²)	Ένταση (kW/m ²) για 40 s	Ένταση (kW/m ²) για 15 s (BLEVE)	Υ
ΖΩΝΗ Ι Προστασία Δυνάμεων Καταστολής	1500	$q = 241,0/t^{3/4}$	15	31,6	
ΖΩΝΗ ΙΙ Προστασίας Πληθυσμού Σοβαρές Επιπτώσεις	450	$q = 97,7/t^{3/4}$	6	12,8	
ΖΩΝΗ ΙΙΙ Προστασίας Πληθυσμού Μέτριες Επιπτώσεις	170	$q = 47,1/t^{3/4}$	3	6,2	



ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΦΩΤΙΕΣ

Σε περιπτώσεις φωτιάς, επειδή οι συνέπειες εξαρτώνται από την έκθεση σε θερμική ακτινοβολία, η ανθρώπινη τρωτότητα υπολογίζεται με βάση το θερμικό φορτίο που προσπίπτει στον αποδέκτη (CCPS, 2000) σύμφωνα με τις παρακάτω συναρτήσεις Probit (βλ. Σχήμα 9.68). Πολλές φορές ενσωματώνεται και ο παράγοντας προστατευτική ένδυση (F), οπότε η εκτίμηση τρωτότητας παίρνει την ακόλουθη μορφή):

Eisenberg model

$$Pr = -14,9 + 2,56 \cdot \ln(F \cdot D)$$

Tsao & Perry model

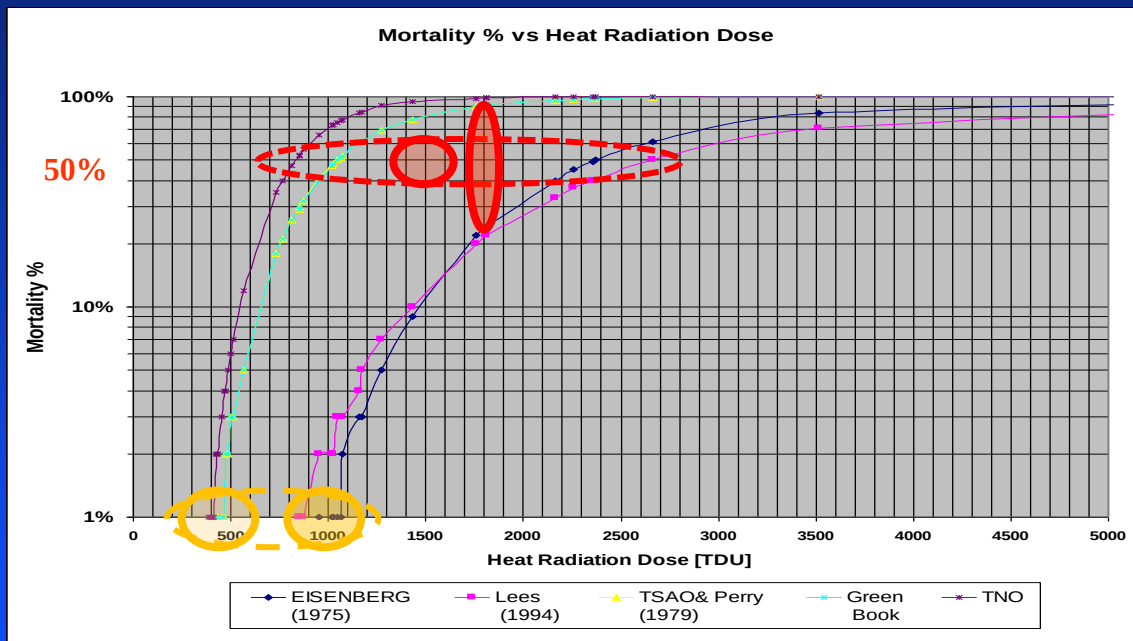
$$Pr = -12,8 + 2,56 \cdot \ln(F \cdot D)$$

όπου, το F παίρνει τιμές από 1,0 (για άτομο με ελαφρά ρούχα) έως 0,2 (για πυρίμαχες στολές)



Φωτιές: Θερμική Ακτινοβολία σε Θανατηφόρα Δόση (D)

- Η πιθανότητα θανάτου ενός ανθρώπου εξαρτάται από τη ΔΟΣΗ θερμικής ακτινοβολίας που λαμβάνει
- Εκτίμηση πιθανότητας θανάτου μέσω διαφορετικών μοντέλων πρόβλεψης
- Γενικός αποδεκτός όριος :
ΔΟΣΗ 400 έως 1000 TDU (Thermal Dose Units) μπορεί να είναι υπεύθυνη για **1% πιθανότητα θανάτου**
ΔΟΣΗ 1000 έως 2500 TDU για **50% πιθανότητα θανάτου**
- Πρακτικές σε χώρες μέλη ΕΕ :
 - ΔΟΣΗ 1000 TDU θεωρείται (HSE UK, France) σαν όριο για 1% πιθανότητα θανάτου (mortality)
 - ΔΟΣΗ 1800 TDU για σημαντική πιθανότητα θανάτου (significant mortality) : Αναμενόμενη από 20–90%





ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΦΩΤΙΕΣ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 9.6

168

Παράδειγμα 9.6. (ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ) Για τα πληρώματα της πυροσβεστικής που επιχειρούν στη Ζώνη Ι, η επιτρεπόμενη δόση θερμικής ακτινοβολίας ανέρχεται σε 1500 TDU (Πίνακας 9.20). Εάν υποθέσουμε ότι ο παράγοντας $F=0,2$ τότε η τιμή Probit σχεδόν μηδενίζεται (Eisenberg model), πράγμα που σημαίνει ότι δεν υπάρχει κάποια τρωτότητα για τους πυροσβέστες. Απεναντίας ένα άτομο με καθημερινό ρουχισμό ($F=1$) που θα βρεθεί δίπλα στους πυροσβέστες θα εκτεθεί σε δόση 1500 TDU και η τιμή Probit θα αυξηθεί δραματικά στα 3,75, τιμή που αντιστοιχεί σε πιθανότητα θανάτου 10%. Για να είναι ασφαλές το άτομο αυτό θα πρέπει να βρίσκεται πιο μακριά από την πυρκαγιά ώστε η δόση ακτινοβολίας να είναι 170 TDU (Πίνακας 9.17), τιμή που αντιστοιχεί σε ακτινοβολία 3 KW/m² για 40 s.

Εάν υποθέσουμε ότι οι πυροσβέστες επιχειρούν 30 m από το κέντρο μιας φωτιάς λίμνης και δέχονται ένα θερμικό φορτίο 15 KW/m² τότε είναι δυνατόν να υπολογίσουμε την απόσταση x ενός ατόμου από τη φωτιά, το οποίο θα πρέπει να δέχεται έως 3 KW/m². Υποθέτοντας ότι η μεταβολή θερμότητας σε σχέση με την απόσταση περιγράφεται από την εξίσωση στο Σχήμα 9.61 ($b=0,02$) θα έχουμε:

$$\frac{Q_{\text{πυροσβχστη}}}{Q_{\text{ατόμου}}} = \frac{Q_0 \cdot e^{-0,02 \cdot 30}}{Q_0 \cdot e^{-0,02 \cdot x}} = \frac{15 \text{ KW/m}^2}{3 \text{ KW/m}^2} = 5$$

$$\frac{e^{-0,02 \cdot 30}}{e^{-0,02 \cdot x}} = 5 \gg -0,02 \cdot 30 - (-0,02x) = \ln 5 \gg 0,02x = \ln 5 + 0,6 \gg x = 110 \text{ m}$$

Επομένως, το άτομο αυτό θα πρέπει να βρεθεί σε απόσταση τουλάχιστον 110 m από το κέντρο της φωτιάς για το ίδιο χρονικό διάστημα 40 δευτερόλεπτα.



ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΦΩΤΙΕΣ

$$q = \tau_a \cdot F_{view} \cdot SEP$$

169

ΑΣΚΗΣΗ Α

Υπολογίστε την θερμική ακτινοβολία στην οποία εκτίθενται πολίτες σε απόσταση 20m από (κυλινδρική) φωτιά βενζίνης που έχει απλωθεί σε κυκλική επιφάνεια διαμέτρου 20m.

Υπάρχει πιθανότητα οι πολίτες να υποστούν θανατηφόρες επιπτώσεις εάν παραμείνουν στη θέση αυτή για λιγότερο από 40s ? Τεκμηριώστε.

Επαναλάβετε τους υπολογισμούς για απόσταση 30m από τη φλόγα και εκτιμήστε τη πιθανότητα θανατηφόρων εγκαυμάτων.

Θεωρείστε ότι :

Η φωτιά έχει φλόγα με ύψος $H = 30m$

Η θερμική ακτινοβολία στη επιφάνεια της φλόγας είναι $50 (KW/m^2)$ (SEP:(Surface Emissive Power) (πραγματική ακτινοβολούμενη ισχύ ανά επιφάνεια) και

τ_a : ο συντελεστής ατμοσφαιρικής διαπερατότητας είναι 0,7



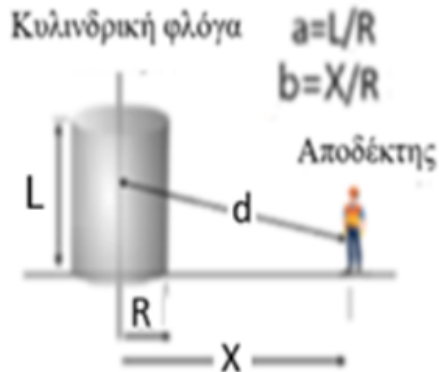
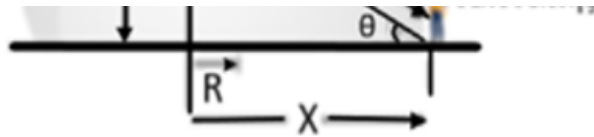
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΦΩΤΙΕΣ

$$q = \tau_{\alpha} \cdot F_{view} \cdot SEP$$

170

ΑΣΚΗΣΗ Α : $R=10\text{m}$, $L=H=30$, $SEP= E= 50 \text{ (KW/m}^2\text{)}$, $\tau_{\alpha} = 0,7$,

$L/R=3$, $x/R = (20+10)/10 = 3 \gg F=0,166$, $q = \tau_{\alpha} F E = 0,70 * 0,166 * 50 = 5,81 \text{ KW/m}^2$



Τιμές F_{view} για κυλινδρική φλόγα ($1000 \times F_{view}$)

	a=L/R							
(b=X/R)	0,1	0,5	1,0	2,0	3,0	5,0	10	20
1,1	356	559	575	580	581	581	581	581
1,5	72	271	355	392	400	404	405	406
2,0	28	129	208	267	285	294	299	300
3,0	9	48	88	141	166	185	195	197
4,0	5	24	47	83	106	129	143	147
5,0	3	15	29	54	73	94	111	117
10		3	6	13	19	30	45	55
20			1	3	4	7	14	22

Τιμές F_{view} για επίπεδη φλόγα ($1000 \times F_{view}$)



Ανθρώπινη Τρωτότητα (vulnerability)

Μοντέλα Δόσης- Απόκρισης : Θερμική Ακτινοβολία

171

$$D = q^{4/3} t, \quad P_r = a + b \ln D$$

Για τον υπολογισμό της ανθρώπινης τρωτότητας από άλλους παράγοντες όπως θερμική ακτινοβολία κλπ. χρησιμοποιείται αντίστοιχα η πιθανότητα ο εργαζόμενος να υποφέρει από συγκεκριμένες επιπτώσεις όπως εγκαύματα. Σε περιπτώσεις φωτιάς (pool fire, flash fire, jet fire) καθώς οι συνέπειες εξαρτώνται από την έκθεση σε θερμική ακτινοβολία, η ανθρώπινη τρωτότητα υπολογίζεται με βάση το θερμικό φορτίο που δέχεται ο αποδέκτης και το βαθμό των εγκαυμάτων σύμφωνα με τις παρακάτω συναρτήσεις Probit functions (Green Book):

First degree burn (εγκαύματα πρώτου βαθμού): $Pr = -39.83 + 3.0186 \ln(D)$

Second degree burn (εγκαύματα δευτέρου βαθμού): $Pr = -43.14 + 3.0186 \ln(D)$

Lethality (θνητότητα) : $Pr = -36.38 + 2.56 \ln(D)$

Όπου, D = η δόση που λαμβάνεται από τον αποδέκτη σε μονάδες θερμικής δόσης

Στις παραπάνω σχέσεις οι μονάδες της δόσης είναι $(W/m^2)^{4/3} * s$, όπου η θερμική ακτινοβολία q εκφράζεται σε W/m^2

(Thermal Dose Units) **TDU** ($1 TDU = 1 KW/m^2)^{4/3} * s$



ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΦΩΤΙΕΣ

$$q = \tau_{\alpha} \cdot F_{view} \cdot SEP$$

172

ΑΣΚΗΣΗ Α :

$$D = (q^{4/3}) \cdot t = [(5,81 \text{ kW/m}^2)^{1,33}] \cdot 40s = \mathbf{415 \text{ TDU}} < 450 \text{ TDU (Ζώνη II)}$$

$$D = 405,89 \cdot 10^4 \text{ σε } (\text{W/m}^2)^{4/3} \cdot s$$

$$\text{Lethality (Θνητότητα)} : Pr = -36.38 + 2.56 \ln(D) \gg Pr = -36.38 + 2.56 \ln(405,89 \cdot 10^4) = 2,57$$

ΑΣΚΗΣΗ Α		D=	415	TDU
		F=	1	
Eisenberg		Pr =	0,532393	
Tsao & Perry		Pr =	2,632393	



Ανθρώπινη Τρωτότητα (vulnerability)

Μοντέλα Δόσης- Απόκρισης

173

Παράγων “Probit” Pr

$$V \% = V (Pr)$$

$$P_r = a + b \ln D$$

%	0	1	2	3	4	5	6	7	.8	9
0	—	2.67	2.95	3.12	3.25	3.36	3.45	3.52	3.59	3.66
10	3.72	3.77	3.82	3.87	3.92	3.96	4.01	4.05	4.08	4.12
20	4.16	4.19	4.23	4.26	4.29	4.33	4.36	4.39	4.42	4.45
30	4.48	4.50	4.53	4.56	4.59	4.61	4.64	4.67	4.69	4.72
40	4.75	4.77	4.80	4.82	4.85	4.87	4.90	4.92	4.95	4.97
50	5.00	5.03	5.05	5.08	5.10	5.13	5.15	5.18	5.20	5.23
60	5.25	5.28	5.31	5.33	5.36	5.39	5.41	5.44	5.47	5.50
70	5.52	5.55	5.58	5.61	5.64	5.67	5.71	5.74	5.77	5.81
80	5.84	5.88	5.92	5.95	5.99	6.04	6.08	6.13	6.18	6.23
90	6.28	6.34	6.41	6.48	6.55	6.64	6.75	6.88	7.05	7.33
%	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
99	7.33	7.37	7.41	7.46	7.51	7.58	7.65	7.75	7.88	8.09

Tab. 5-1 The transformation from percentages to probits (from [1])



$$P_r = a + b \ln D$$

$$D = q^{4/3} t,$$

Επικινδυνότητα Φωτιάς

174

ΑΣΚΗΣΗ Α πιθανότητα εγκαυμάτων

Τι πιθανότητα θανατηφόρων εγκαυμάτων διατρέχει ένα άτομο που παραμένει σε μια περιοχή στην οποία εκτίθεται σε δόση 415 TDU

$$Pr \text{ lethal} = 2,57$$

άρα

$$V \text{ lethal} < 1\% (Pr=2,67: V=1\% \text{ θνητότητα})$$

The relationship between the probability P and the probit variable Y

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{Y-5} \exp(-u^2 / 2) du$$

thus Y is a random variable defined by a normal distribution with a mean of 5 and a standard deviation of 1 and P is its cumulative function. The relationship 5.1 is plotted in Fig. 5-1 and tabulated in Tab. 5-1.

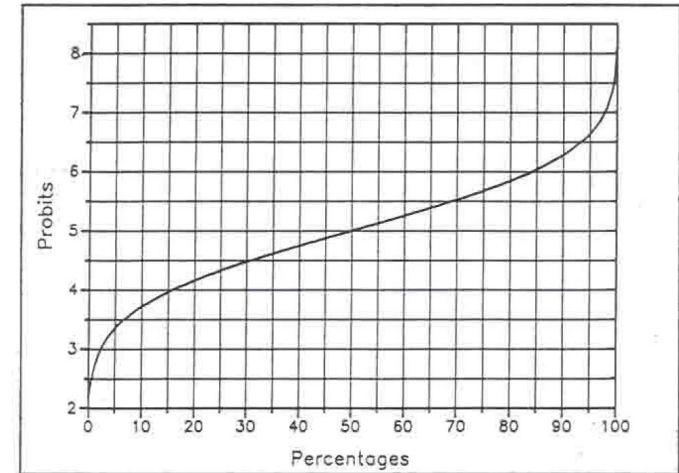


Fig. 5.1 Probits versus percentages



TLVs = Threshold Limit Values (Οριακές Τιμές Έκθεσης)

ACGIH = American Council of Governmental Industrial Hygienics



175

Τρεις είναι οι συνηθέστεροι τύποι TLV :



- **TLV-TWA (Time Weighted Average),**
- **TLV-STEL (Short Time Exposure Limit) και**
- **TLV-C (Ceiling)**



TLVs = Threshold Limit Values(Οριακές Τιμές Έκθεσης)

ACGIH = American Council of Governmental Industrial Hygienics

ACGIH® Threshold Limit Values (TLVs®) and Biological Exposure Indices (BEIs®).

176

OHSA PELs (Permissible Exposure Limits)

Occupational Safety and Health (OSH) Act 1970 (Z-Tables)

Τιμές PEL του OHSA σε σύγκριση με τις τιμές του NIOSH και ACGIH

<https://www.osha.gov/annotated-pels>



(NIOSH) National Institute for Occupational Safety and Health
Recommended Exposure Limits (RELs)

Οριακές Τιμές Έκθεσης : ΔΔΑ Κεφάλαιο 8

(Τμήμα 8): Έλεγχος της Έκθεσης στο προϊόν /Ατομική Προστασία

Δελτία Δεδομένων Ασφάλειας (Safety Data Sheet –SDS)



TLVs = Threshold Limit Values (Οριακές Τιμές Έκθεσης)

ACGIH = American Council of Governmental Industrial Hygienics



177

TLV – TWA : Time Weighted Average (Χρονικά Σταθμισμένος Μέσος)



Η συγκέντρωση μιας επικίνδυνης ουσίας (σε ppm ή gr/m³) στην οποία κατά την οκτάωρη (**8ωρη**) κανονική βάρδια εργασίας, όλοι οι εργαζόμενοι θα εκτίθενται κάθε μέρα χωρίς συνέπειες.



TLVs = Threshold Limit Values (Οριακές Τιμές Έκθεσης)

ACGIH = American Council of Governmental Industrial Hygienics



178

Για τον υπολογισμό των οριακών τιμών απαιτούνται μετρήσεις στις θέσεις εργασίας και εκτίμηση των χρονικά σταθμισμένων μέσων τιμών.

Για παράδειγμα, για τον υπολογισμό της TWA απαιτείται η εκτίμηση της ημερήσιας δόσης που λαμβάνει ο εργαζόμενος με βάση το ολοκλήρωμα της συγκέντρωσης (C) στη χρονική διάρκεια έκθεσης (t) :

$$D = \int_0^t C(\rho, \psi)^n dt$$

Η μέση τιμή υπολογίζεται κατόπιν για οκτάωρη βάρδια

TWA = D / 8, n = 1 , t = διάρκεια βάρδιας

Σε περίπτωση που οι μετρήσεις της συγκέντρωσης γίνονται σε (ω) διακριτά διαστήματα (t_i) ο χρονικά σταθμισμένος μέσος υπολογίζεται από το άθροισμα των γινομένων (C_i t_i): **TWA = (C₁ t₁ + C₂ t₂ + ... C_ω t_ω) / 8 hours**





TLVs = Threshold Limit Values (Οριακές Τιμές Έκθεσης)



Όλοι οι τρόποι υπολογισμού έχουν τις παραδοχές τους και ανακρίβεια γιατί οι εργαζόμενοι μετακινούνται από τη θέση εργασίας και η συγκέντρωση της χημικής ουσίας (παράγοντα) μπορεί να μεταβάλλεται από σημείο σε σημείο στη θέση και τη περιοχή εργασίας.

$$D = \int_0^t C(\rho, \psi)^n dt$$



TLVs = Threshold Limit Values (Οριακές Τιμές Έκθεσης)



180



TLV –STEL : Short-Time Exposure Limit

Ανώτατη Οριακή Τιμή Έκθεσης : Η μέγιστη συγκέντρωση (σε ppm ή gr/m³) στην οποία μπορεί να εκτεθούν οι εργαζόμενοι για 15 min συνέχεια (δεκαπεντάλεπτη έκθεση) χωρίς συνέπειες

TLV – C : Ceiling (ουδός)

Η μέγιστη συγκέντρωση (σε ppm ή gr/m³) την οποία δεν πρέπει να υπερβαίνουμε ακόμα και στιγμιαία.



Οριακές Τιμές Έκθεσης : ΠΔ 90/99



Για ένα κατάλογο ουσιών, έχουν θεσμοθετηθεί στην Ελλάδα οι τιμές των οριακών τιμών
TWA (Οριακή τιμή έκθεσης σε χημικό παράγοντα) και
STEL (Ανώτατη Οριακή Τιμή Έκθεσης).

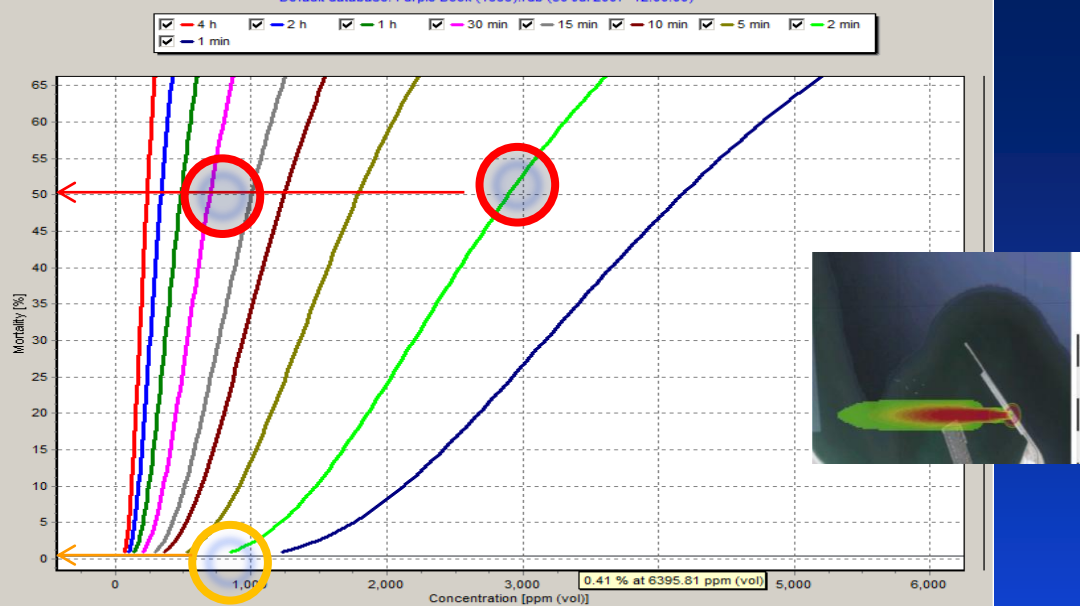


Οι τιμές αυτές αναφέρονται στο Προεδρικό Διάταγμα 90/1999
«καθορισμός οριακών και ανώτατων οριακών τιμών έκθεσης
των εργαζομένων σε ορισμένους χημικούς παράγοντες κατά τη
διάρκεια της εργασίας τους.



Ζώνες Επιπτώσεων Τοξικότητας (% Θνητότητας) : Διασπορά Τοξικού Νέφους Υδροθείου

Ενδεικτικές Ζώνες Επιπτώσεων **Z I**, **Z II**, **Z III**



Δυσμενέστερα Σενάρια	Dom ino	Z I LC50 (3000 ppm 2 min)	Z II LC1 (880 ppm 2min)	Z III IDLH (30 min) (100 ppm)
Διασπορά Τοξικών : Υδρόθειο 100kg Ακαριαία διαρροή	-	F2 400 m 180s max max exposure 40 s (< 26% fatality) D5 212 m 40s max	F2 670 m 320s max max exposure 80 s (< 1% fatality) D5 341 m	F2 1030 m (300ppm) 490s max F2 1580 m (100ppm) 13 min max D5 515 m (300ppm)



TLVs = Threshold Limit Values (Οριακές Τιμές Έκθεσης)



Οριακές Τιμές Έκθεσης : ΔΔΑ Κεφάλαιο 8
(Τμήμα 8): Έλεγχος της Έκθεσης στο προϊόν /Ατομική Προστασία

➤ Δελτία Δεδομένων Ασφάλειας (Safety Data Sheet -SDS)

ECHA European Chemicals Agency (Ευρωπαϊκός Οργανισμός Χημικών)

<https://echa.europa.eu/el/home>

OSHA PELs (Permissible Exposure Limits)

<https://www.osha.gov/annotated-pels>



Εξαερισμός

Πτητικό υγρό εξατμίζεται από ανοικτό δοχείο σε χώρο όγκου 100m^3 . Ο ρυθμός εξάτμισης είναι $100\text{mg}/\text{min}$. Αν ο αέρας στο χώρο είναι καλά αναμειγμένος, πόση πρέπει να είναι η τροφοδοσία καθαρού αέρα (ογκομετρική παροχή σε m^3/min) στο χώρο για να βεβαιωθούμε ότι η συγκέντρωση της ουσίας στην ατμόσφαιρα του χώρου είναι χαμηλότερη από το TLV- TWA = 10ppm ?

Θερμοκρασία δωματίου 27°C , πίεση 1atm , MB=40.

$$C_{\text{ppm}} = C_{\text{mg}/\text{m}^3} (0.08205) (T/P \text{ MB})$$

ΕΙΣΡΟΗ + ΠΑΡΑΓΩΓΗ = ΕΚΡΟΗ + ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗ

Αν εφαρμόσουμε την αρχή διατήρησης της μάζας στο χώρο (ολικό και μερικό ισοζύγιο μάζας) και ειδικότερα στο αέριο, προκύπτει το μερικό Ισοζύγιο αέριας μάζας ως προς την τοξική ουσία

Εξαερισμός : **Ολικό** ισοζύγιο μάζας Αέρα

ΕΙΣΡΟΗ + ΠΑΡΑΓΩΓΗ = ΕΚΡΟΗ + ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗ



185

$$\dot{m}_f + (\dot{m}_{Pr} \cong 0) = \dot{m}_e + \left(\frac{\partial m}{\partial t} = 0 \right) \Rightarrow \dot{m}_f = \dot{m}_e$$

(ολικό ισοζύγιο) $\dot{m}_e = \dot{m}_f$

ρυθμός εκροής Αέρα από το χώρο

$\dot{m}_e$

ρυθμός εισροής καθαρού Αέρα

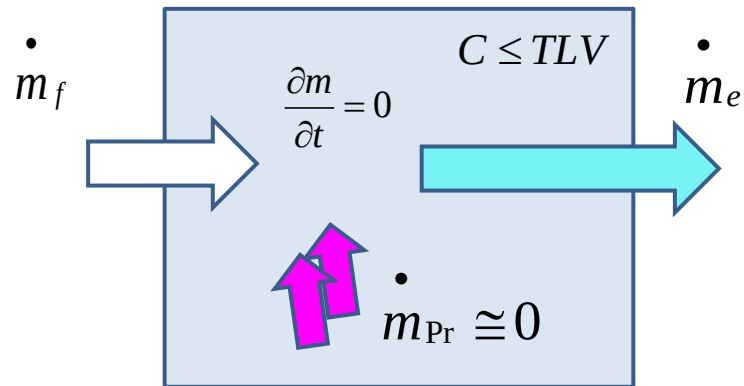
$\dot{m}_f$

ρυθμός συσσώρευσης Αέρα στο χώρο

$\frac{\partial m}{\partial t} = 0$

ρυθμός παραγωγής Αέρα
(μάζας) εντός του χώρου

$\dot{m}_{Pr} = \text{ρυθμός εξάτμισης αερίου} \langle \dot{m}_f \Rightarrow \dot{m}_{Pr} \cong 0$





Εξαερισμός

ΕΙΣΡΟΗ + ΠΑΡΑΓΩΓΗ = ΕΚΡΟΗ + ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗ

Αν εφαρμόσουμε την αρχή διατήρησης της μάζας στο χώρο και ειδικότερα στο αέριο (τοξική ουσία) προκύπτει το μερικό ισοζύγιο μάζας :

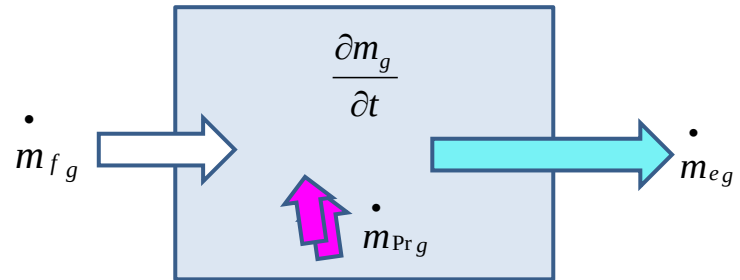
$$\dot{m}_{f_g} + \dot{m}_{Pr_g} = \dot{m}_{e_g} + \frac{\partial m_g}{\partial t}$$

$\dot{m}_{Pr_g}$ ο ρυθμός παραγωγής αερίου εντός του χώρου

$\dot{m}_{e_g}$ ο ρυθμός εκροής αερίου από το χώρο, και

$\frac{\partial m_g}{\partial t}$ ο ρυθμός συσσώρευσης αερίου στο χώρο

$\dot{m}_{f_g}$ είναι ο ρυθμός εισροής αερίου





Εξαερισμός

187

Μερικό ισοζύγιο μάζας :

ΕΙΣΡΟΗ + ΠΑΡΑΓΩΓΗ = ΕΚΡΟΗ + ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗ

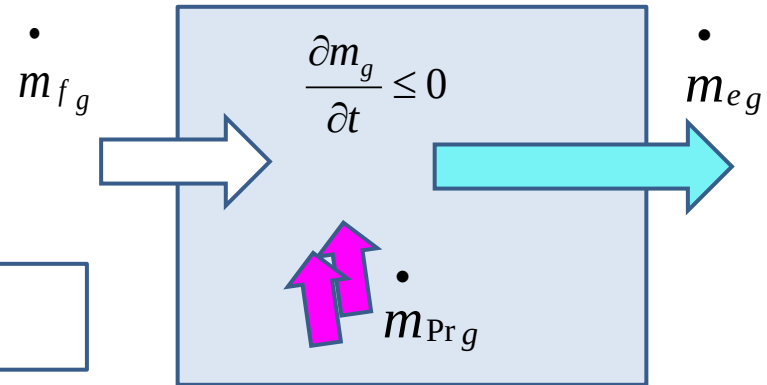
$$\dot{m}_{f_g} + \dot{m}_{Pr_g} = \dot{m}_{e_g} + \frac{\partial m_g}{\partial t}$$

ρυθμός εισροής αερίου $\dot{m}_{f_g} = 0$ καθαρός αέρας

ρυθμός παραγωγής
αερίου εντός του χώρου $\dot{m}_{Pr_g} = \text{ρυθμός εξάτμισης}$

ρυθμός εκροής αερίου
από το χώρο $\dot{m}_{e_g} \geq \text{ρυθμό εξάτμισης}$

ρυθμός συσσώρευσης
αερίου στο χώρο $\frac{\partial m_g}{\partial t} \leq 0$





Εξαερισμός : **Μερικό** ισοζύγιο μάζας αερίου

ΕΙΣΡΟΗ + ΠΑΡΑΓΩΓΗ = ΕΚΡΟΗ + ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗ

188

$$0 + \dot{m}_{Pr_g} = \dot{m}_{eg} + \left(\frac{\partial m_g}{\partial t} \leq 0 \right) \Rightarrow \dot{m}_{Pr_g} \leq \dot{m}_{eg}$$

(ολικό ισοζύγιο) $\dot{m}_e = \dot{m}_f$

$$\dot{m}_{eg} = \dot{m}_e * (TLV) = \dot{m}_f * (TLV)$$

$$\dot{m}_{eg} \geq \dot{m}_{Pr_g} \Rightarrow \dot{m}_f * (TLV) \geq \dot{m}_{Pr_g}$$

ρυθμός εκροής αερίου
από το χώρο

$$\dot{m}_{eg} = \dot{m}_f * (TLV) \geq \text{ρυθμός εξάτμισης}$$

ρυθμός συσσώρευσης
αερίου στο χώρο

$$\frac{\partial m_g}{\partial t} \leq 0$$

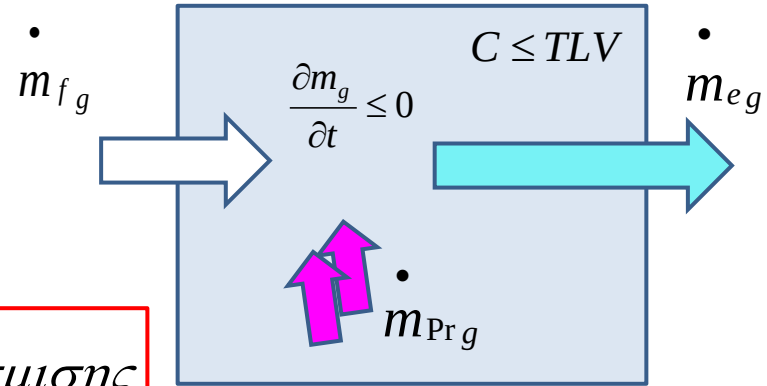
ρυθμός εισροής αερίου

$$\dot{m}_{fg} = 0$$

καθαρός αέρας

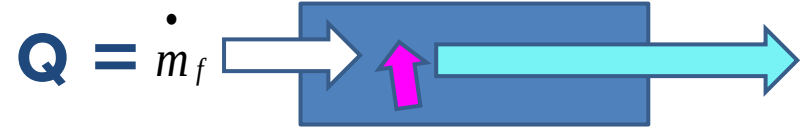
ρυθμός παραγωγής αερίου
εντός του χώρου

$$\dot{m}_{Pr_g} = \text{ρυθμός εξάτμισης}$$





Εξαερισμός



189

Πτητικό υγρό εξατμίζεται από ανοικτό δοχείο σε χώρο όγκου 100m^3 . Ο ρυθμός εξατμίσεως είναι **100mg/min** . Αν ο αέρας στο χώρο είναι καλά αναμειγμένος, πόση πρέπει να είναι η τροφοδοσία καθαρού αέρα (ογκομετρική παροχή σε m^3/min) στο χώρο για να βεβαιωθούμε ότι η συγκέντρωση της ουσίας στην ατμόσφαιρα του χώρου είναι χαμηλότερη από το $\text{TLV} = 10\text{ppm}$?

Θερμοκρασία δωματίου 27°C , πίεση 1atm , $\text{MB}=40$.

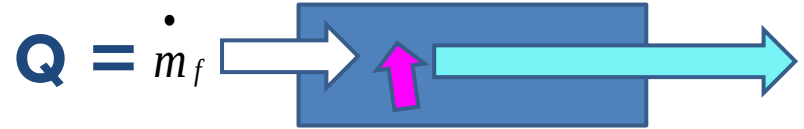
$$C_{\text{ppm}} = C_{\text{mg/m}^3} (0.08205) (T / P \text{ MB})$$

$$\text{TLV} = 10\text{ppm} = C [0.08205 \times 300 / (1 \times 40)] \Rightarrow C (\text{mg/m}^3) = 10\text{ppm} / [0.615375] = 16,25 \text{ mg/m}^3$$

$$\dot{m}_f * \text{TLV} > 100 \text{ mg/min} \Rightarrow Q \times 16,25 \text{ mg/m}^3 > 100 \text{ mg/min} \Rightarrow \mathbf{Q > 6,2 \text{ m}^3 / \text{min}}$$



Εξαερισμός



190

Πτητικό υγρό εξατμίζεται από ανοικτό δοχείο σε χώρο όγκου 100m^3ατμόσφαιρα του χώρου είναι χαμηλότερη από το $TLV = 10\text{ppm}$?

Θερμοκρασία δωματίου 27°C , πίεση 1atm , $MB=40$.

$C_{\text{ppm}} = C_{\text{mg/m}^3} (0.08205) (T/ P MB)$

$TLV = 10\text{ppm} = C [0.08205 \times 300 / (1 \times 40)] \Rightarrow C (\text{mg/m}^3) = 10\text{ppm} / [0,615375] = 16,25 \text{ mg/m}^3$

$m_f * TLV \quad 100 \text{ mg/min} \Rightarrow Q \times 16,25 \text{ mg/m}^3 > 100 \text{ mg/min} \Rightarrow Q > 6,2 \text{ m}^3 / \text{min}$

Εργασία σε περιορισμένους (έγκλειστους) χώρους: ο ρυθμός ανανέωσης αέρα > ανανέωση του αέρα (όγκου) του χώρου σε 2,5 mins !

Στο παράδειγμα 100 m^3 (εργασία σε κλειστό χώρο ?) $100 \text{ m}^3 / 2,5 \text{ min} = 40 \text{ m}^3/\text{min} > 6,2$

Μέσα σε περιορισμένο χώρο π.χ. δεξαμενή 15m^3 :

Απαίτηση : $15\text{m}^3 / 2,5 \text{ min} = 6 \text{ m}^3/\text{min} < 6,2 \text{ m}^3/\text{min}$



TLVs = Threshold Limit Values (Οριακές Τιμές Έκθεσης)



191

IDLH = Immediately Dangerous to Life and Health - (OSHA)



Μέγιστη συγκέντρωση της ουσίας στον αέρα στην οποία υγιείς εργαζόμενος μπορεί να εκτεθεί μέχρι και 30 min και να μπορεί να διαφύγει χωρίς απώλεια ζωής ή άλλες μη αναστρέψιμες βλάβες



IDLH = Immediately Dangerous to Life and Health - (OSHA)

192

Μέγιστη συγκέντρωση της ουσίας
στον αέρα στην οποία υγιείς
εργαζόμενος μπορεί να εκτεθεί
μέχρι και 30 min
και να μπορεί να διαφύγει
χωρίς απώλεια ζωής
ή άλλες μη αναστρέψιμες βλάβες

IDLH the maximum airborne concentration of a substance to which a healthy male worker can be exposed for as long as 30 min and still be able to escape without loss of life or irreversible organ system damage.

Substance	IDLH (mg/m ³)
Acetic acid	2502
Acetic anhydride	4254
Acrylonitrile	8843
Aminobenzene	388
Aminomethane	129
Ammonia	355
n-Amyl alcohol	551
Aniline	388
Nitric acid	263
Benzene	6510
Bromine	67
n-Butyl carbinol	551
Calcium oxide	139
Carbon disulphide	1586
Carbolic acid	20
Chlorine	74
Chloroethane	53700
Chloroform	4974
Chloromethane	21000





Επαγγελματικός Κίνδυνος (Επικίνδυνες Ουσίες)

193

Στους επαγγελματικούς κινδύνους, οι γενικοί παράγοντες που επηρεάζουν την **επικινδυνότητα** είναι:

- το **είδος της εργασίας** που εκτελεί ο εργαζόμενος
 - ☐ τύπος εργασιών,
 - ☐ χρησιμοποιούμενα υλικά,
 - ☐ εργαλεία και εξοπλισμός,
 - ☐ χώρος
 - ☐ συνθήκες εκτέλεσης εργασιών, κλπ.,
- η **παρουσία του εργαζόμενου σε ζώνη επιρροής με συνέπειες** (π.χ. υψηλές συγκεντρώσεις ουσίας στο χώρο), και
- η **τρωτότητα του εργαζόμενου** στους βλαπτικούς παράγοντες (χημικό κίνδυνο).



TLVs = Threshold Limit Values (Οριακές Τιμές Έκθεσης)

ACGIH = American Council of Governmental Industrial Hygienics



194



Τρεις είναι οι συνηθέστεροι τύποι TLV :

- **TLV-TWA (Time Weighted Average),**
- **TLV-STEL (Short Time Exposure Limit) και**
- **TLV-C (Ceiling)**



TLVs = Threshold Limit Values(Οριακές Τιμές Έκθεσης)

ACGIH = American Council of Governmental Industrial Hygienics

ACGIH® Threshold Limit Values (TLVs®) and Biological Exposure Indices (BEIs®).



OHSA PELs (Permissible Exposure Limits)

Occupational Safety and Health (OSH) Act 1970 (Z-Tables)

Τιμές PEL του OHSA σε σύγκριση με τις τιμές του NIOSH και ACGIH

<https://www.osha.gov/annotated-pels>

(NIOSH) National Institute for Occupational Safety and Health
Recommended Exposure Limits (RELs)

Οριακές Τιμές Έκθεσης : ΔΔΑ Κεφάλαιο 8

(Τμήμα 8): Έλεγχος της Έκθεσης στο προϊόν /Ατομική Προστασία

Δελτία Δεδομένων Ασφάλειας (Safety Data Sheet –SDS)



TLVs = Threshold Limit Values (Οριακές Τιμές Έκθεσης)

ACGIH = American Council of Governmental Industrial Hygienics



196

TLV – TWA : Time Weighted Average (Χρονικά Σταθμισμένος Μέσος)



Η συγκέντρωση μιας επικίνδυνης ουσίας (σε ppm ή gr/m³) στην οποία κατά την οκτάωρη (**8ωρη**) κανονική βάρδια εργασίας, όλοι οι εργαζόμενοι θα εκτίθενται κάθε μέρα χωρίς συνέπειες.



TLVs = Threshold Limit Values (Οριακές Τιμές Έκθεσης)

ACGIH = American Council of Governmental Industrial Hygienics



197

Για τον υπολογισμό των οριακών τιμών απαιτούνται μετρήσεις στις θέσεις εργασίας και εκτίμηση των χρονικά σταθμισμένων μέσων τιμών.

Για παράδειγμα, για τον υπολογισμό της TWA απαιτείται η εκτίμηση της ημερήσιας δόσης που λαμβάνει ο εργαζόμενος με βάση το ολοκλήρωμα της συγκέντρωσης (C) στη χρονική διάρκεια έκθεσης (t) :

$$D = \int_0^t C(\rho, \psi)^n dt$$

Η μέση τιμή υπολογίζεται κατόπιν για οκτάωρη βάρδια

TWA = D / 8, n = 1 , t = διάρκεια βάρδιας

Σε περίπτωση που οι μετρήσεις της συγκέντρωσης γίνονται σε (ω) διακριτά διαστήματα (t_i) ο χρονικά σταθμισμένος μέσος υπολογίζεται από το άθροισμα των γινομένων (C_i t_i): **TWA = (C₁ t₁ + C₂ t₂ + ... C_ω t_ω) / 8 hours**





TLVs = Threshold Limit Values (Οριακές Τιμές Έκθεσης)



Όλοι οι τρόποι υπολογισμού έχουν τις παραδοχές τους και ανακρίβεια γιατί οι εργαζόμενοι μετακινούνται από τη θέση εργασίας και η συγκέντρωση της χημικής ουσίας (παράγοντα) μπορεί να μεταβάλλεται από σημείο σε σημείο στη θέση και τη περιοχή εργασίας.

$$D = \int_0^t C(\rho, \psi)^n dt$$



TLVs = Threshold Limit Values (Οριακές Τιμές Έκθεσης)



199



TLV –STEL : Short-Time Exposure Limit

Ανώτατη Οριακή Τιμή Έκθεσης : Η μέγιστη συγκέντρωση (σε ppm ή gr/m³) στην οποία μπορεί να εκτεθούν οι εργαζόμενοι για 15 min συνέχεια (δεκαπεντάλεπτη έκθεση) χωρίς συνέπειες

TLV – C : Ceiling (ουδός)

Η μέγιστη συγκέντρωση (σε ppm ή gr/m³) την οποία δεν πρέπει να υπερβαίνουμε ακόμα και στιγμιαία.



Οριακές Τιμές Έκθεσης : ΠΔ 90/99



Για ένα κατάλογο ουσιών, έχουν θεσμοθετηθεί στην Ελλάδα οι τιμές των οριακών τιμών
TWA (Οριακή τιμή έκθεσης σε χημικό παράγοντα) και
STEL (Ανώτατη Οριακή Τιμή Έκθεσης).

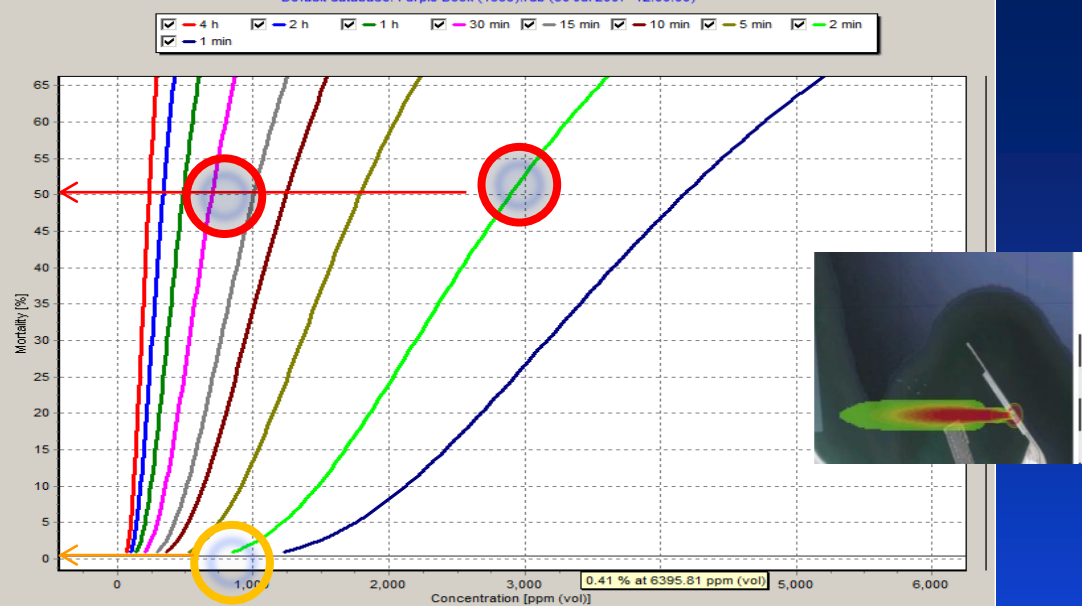


Οι τιμές αυτές αναφέρονται στο Προεδρικό Διάταγμα 90/1999
«καθορισμός οριακών και ανώτατων οριακών τιμών έκθεσης
των εργαζομένων σε ορισμένους χημικούς παράγοντες κατά τη
διάρκεια της εργασίας τους.



Ζώνες Επιπτώσεων Τοξικότητας (% Θνητότητας) : Διασπορά Τοξικού Νέφους Υδροθείου

Ενδεικτικές Ζώνες Επιπτώσεων **Z I**, **Z II**, **Z III**



Δυσμενέστερα Σενάρια	Dom ino	Z I LC50 (3000 ppm 2 min)	Z II LC1 (880 ppm 2min)	Z III IDLH (30 min) (100 ppm)
Διασπορά Τοξικών : Υδρόθειο 100kg Ακαριαία διαρροή	-	F2 400 m 180s max max exposure 40 s (< 26% fatality) D5 212 m 40s max	F2 670 m 320s max max exposure 80 s (< 1% fatality) D5 341 m	F2 1030 m (300ppm) 490s max F2 1580 m (100ppm) 13 min max D5 515 m (300ppm)



TLVs = Threshold Limit Values (Οριακές Τιμές Έκθεσης)



Οριακές Τιμές Έκθεσης : ΔΔΑ Κεφάλαιο 8
(Τμήμα 8): Έλεγχος της Έκθεσης στο προϊόν /Ατομική Προστασία

➤ Δελτία Δεδομένων Ασφάλειας (Safety Data Sheet -SDS)

ECHA European Chemicals Agency (Ευρωπαϊκός Οργανισμός Χημικών)

<https://echa.europa.eu/el/home>

OSHA PELs (Permissible Exposure Limits)

<https://www.osha.gov/annotated-pels>



Τρωτότητα (Vulnerability)

203

Ανθρώπινη Τρωτότητα (vulnerability)

Υπάρχουν μοντέλα προσομοίωσης για την εκτίμηση της πιθανής βλάβης στην ανθρώπινη υγεία και της ζημίας (σε εξοπλισμό) από την έκλυση των επικίνδυνων ουσιών.

Η χρήση αυτών των μοντέλων απαιτεί πρώτα την εφαρμογή μοντέλων **υπολογισμού της έκτασης των βλαπτικών παραγόντων**, όπως π.χ.

- της **θερμικής ακτινοβολίας (ένταση $KW/2$ και δόση DTU)** στη περίπτωση της πυρκαγιάς,
- της **υπερπίεσης ωστικού κύματος (dP)** σε περίπτωση έκρηξης, ή
- της **συγκέντρωσης τοξικής ουσίας στην ατμόσφαιρα ($LC50$, $TLVs$)** σε περίπτωση διαρροής και διασποράς τοξικών ουσιών

(Green & Yellow Books / Dutch Committee for Prevention of Disasters)



ΒΛΑΠΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

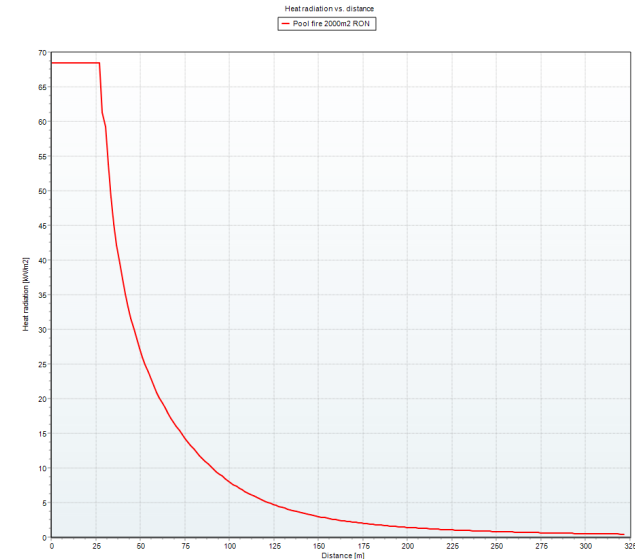
- Θερμική ακτινοβολία (ένταση $KW/2$ και δόση **DTU**) σε Φωτιά
- Υπερπίεση Ωστικού Κύματος (**dP**) σε Έκρηξη
- Συγκέντρωση Ουσίας στην ατμόσφαιρα (π.χ. **LC50**, **TLVs**) σε Διαρροή και Διασπορά Χημικών

204

Ανθρώπινη Τρωτότητα (vulnerability)

Όλοι παράγοντες είναι συναρτήσεις της απόστασης από το σημείο διαρροής και διαφυγής της επικίνδυνης ουσίας (πηγή του κινδύνου).

Για ένα ενιαίο υπολογισμό και προσέγγιση στον επαγγελματικό κίνδυνο και στο κίνδυνο που διατρέχει ο κάθε πολίτης, στις περισσότερες περιπτώσεις είναι απαραίτητο να καθιερωθούν **Μοντέλα Ανθρώπινης Τρωτότητας**.

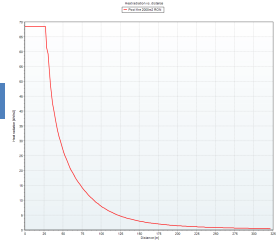




Ανθρώπινη Τρωτότητα (vulnerability)

Μοντέλα Δόσης- Απόκρισης

205



Μοντέλα Ανθρώπινης Τρωτότητας.

Η πιθανότητα θανάτου ενός εργαζόμενου ο οποίος έχει εκτεθεί σε μια Δόση Επικίνδυνης Ουσίας μπορεί να υπολογιστεί με τη χρήση των αποκαλούμενων μοντέλων «**Δόσης-Απόκρισης**».

Τα μοντέλα αυτά δέχονται σαν δεδομένα τη Δόση του βλαπτικού παράγοντα που υπολογίζεται από μοντελοποίηση των φαινομένων και την εκτίμηση της **ΔΟΣΗΣ**.

Στα μοντέλα αυτά οι Οριακές Τιμές των επικίνδυνων ουσιών π.χ. TLV και LFL είναι πολύ χρήσιμες.



Ανθρώπινη Τρωτότητα (vulnerability)

Μοντέλα Δόσης- Απόκρισης

206

Μοντέλα Ανθρώπινης Τρωτότητας.

Δόση Επικίνδυνης Ουσίας : μοντέλα «**Δόσης-Απόκρισης**».

Η πραγματική δόση που λαμβάνει ένας εργαζόμενος μπορεί να μειωθεί θεαματικά όταν εφαρμόζονται αποτελεσματικά τα μέτρα ασφάλειας, προστασίας των εργαζομένων και το σχέδιο αντιμετώπισης κρίσεων.

Τα ΜΑΠ, κατάλληλος ρουχισμός κλπ., οι διαδικασίες ασφάλειας και έκτακτης ανάγκης, **μέτρα διαχωρισμού και απομόνωσης** κλπ., μπορούν να μειώσουν την **προσλαμβανόμενη ΔΟΣΗ** και τελικά την ανθρώπινη τρωτότητα.



Ανθρώπινη Τρωτότητα (vulnerability)

Μοντέλα Δόσης- Απόκρισης

207

Μοντέλα Ανθρώπινης Τρωτότητας.

Δόση Επικίνδυνης Ουσίας : μοντέλα «**Δόσης-Απόκρισης**».

Τα απλά μοντέλα «δόσης-απόκρισης»,
βασίζονται στις τιμές και τις συναρτήσεις πιθανότητας “**Probit**” .

Με μια συνάρτηση “Probit” (Pr) είναι δυνατόν να ορισθεί :
η σχέση μεταξύ Απόκρισης (= πιθανότητα θανάτου) και Δόσης

π.χ. συνάρτηση πιθανότητας θανάτου και τοξικής συγκέντρωσης και διάρκειας
έκθεσης, για κάθε τυχαία τιμή συγκέντρωσης της επικίνδυνης ουσίας. =



Ανθρώπινη Τρωτότητα (vulnerability)

Μοντέλα Δόσης- Απόκρισης

208

Τρωτότητα (V) ορίζεται η πιθανότητα θανάτου που προκύπτει από έκθεση σε δόση επικίνδυνης (τοξικής) ουσίας.

Η τρωτότητα υπολογίζεται με την χρήση των συναρτήσεων “Probit”, στις οποίες ο παράγων P_r υπολογίζεται από την συνάρτηση της δόσης D όπως παρουσιάζεται:

$$V = \int_{-\infty}^{P_r - 5} \exp\left(-\frac{1}{2}u^2\right) du$$

Για τις ανάγκες της εκτίμησης της επικινδυνότητας, ένα μοντέλο τρωτότητας για **οξείς επιπτώσεων** (εν αντιθέσει με τις χρόνιες επιπτώσεις) αποδίδεται από μια συνάρτηση “Probit” η οποία στην πιο απλή της μορφή είναι:

$$P_r = a + b \ln D$$

Όπου , a , b = εμπειρικές σταθερές για κάθε ουσία ξεχωριστά, και D = η δόση της ουσίας που έχει ληφθεί από τον άνθρωπο στο χρόνο (t).



Ανθρώπινη Τοξικότητα (vulnerability)

M

The relationship between the probability P and the probit variable Y is:

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{Y-5} \exp(-u^2 / 2) du \quad (5.1)$$

thus Y is a random variable defined by a normal distribution with a mean value of 5 and a standard deviation of 1 and P is its cumulative function. The relationship 5.1 is plotted in Fig. 5-1 and tabulated in Tab. 5-1 .

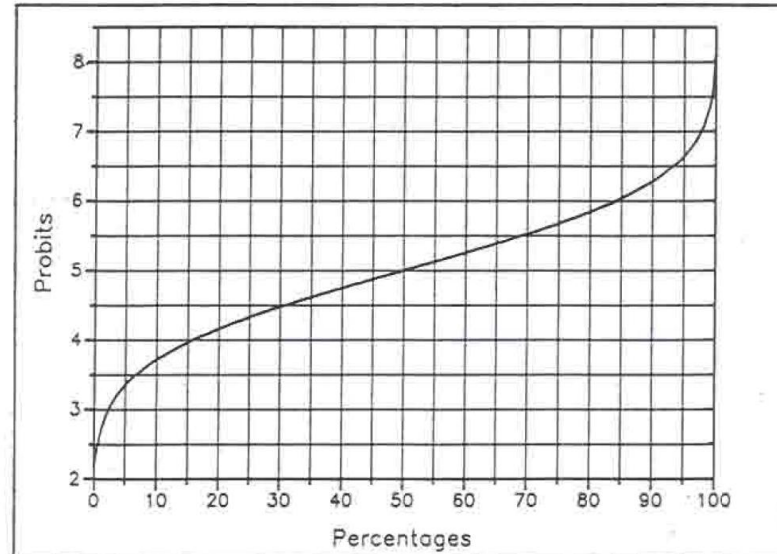


Fig. 5.1 Probits versus percentages

“Probit”

ο παράγων Pr

$$V = \int_{-\infty}^{Pr-5} \exp(-\frac{1}{2}u^2)du$$

Probit

$$Pr = a + b \ln D$$

a, b = εμπειρικές σταθερές
για κάθε ουσία ξεχωριστά, και
D = η δόση της ουσίας
που έχει ληφθεί από τον άνθρωπο
στο χρόνο (t).



Ανθρώπινη Τρωτότητα (vulnerability)

Μοντέλα Δόσης- Απόκρισης

210

Παράγων “Probit” Pr

$$V \% = V (Pr)$$

$$P_r = a + b \ln D$$

%	0	1	2	3	4	5	6	7	.8	9
0	—	2.67	2.95	3.12	3.25	3.36	3.45	3.52	3.59	3.66
10	3.72	3.77	3.82	3.87	3.92	3.96	4.01	4.05	4.08	4.12
20	4.16	4.19	4.23	4.26	4.29	4.33	4.36	4.39	4.42	4.45
30	4.48	4.50	4.53	4.56	4.59	4.61	4.64	4.67	4.69	4.72
40	4.75	4.77	4.80	4.82	4.85	4.87	4.90	4.92	4.95	4.97
50	5.00	5.03	5.05	5.08	5.10	5.13	5.15	5.18	5.20	5.23
60	5.25	5.28	5.31	5.33	5.36	5.39	5.41	5.44	5.47	5.50
70	5.52	5.55	5.58	5.61	5.64	5.67	5.71	5.74	5.77	5.81
80	5.84	5.88	5.92	5.95	5.99	6.04	6.08	6.13	6.18	6.23
90	6.28	6.34	6.41	6.48	6.55	6.64	6.75	6.88	7.05	7.33
%	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
99	7.33	7.37	7.41	7.46	7.51	7.58	7.65	7.75	7.88	8.09

Tab. 5-1 The transformation from percentages to probits (from [1])



Ανθρώπινη Τρωτότητα (vulnerability)

Μοντέλα Δόσης- Απόκρισης

211

Σε περίπτωση διασποράς τοξικής ουσίας, η δόση που λαμβάνει ένας εργαζόμενος, υπολογίζεται σε κάθε σημείο (ρ, ψ) του (χώρου εργασίας) εδάφους, με βάση την συγκέντρωση $C(\rho, \psi)$ της ουσίας που υπολογίζεται από μοντέλα διασποράς, και την έκθεση του εργαζόμενου στη συγκέντρωση αυτή σαν συνάρτηση του χρόνου, από το ολοκλήρωμα:

$$D = \int_0^t C(\rho, \psi)^n dt$$

όπου, n = εμπειρικός εκθέτης (από πειράματα) για κάθε ουσία, και t = χρόνος έκθεσης.

$$P_r = a + b \ln D$$

Υπάρχουν λίστες με τις παραμέτρους **a**, **b** και **n** για τις περισσότερες τοξικές και επικίνδυνες ουσίες, αναφορικά με την θανατηφόρα δόση.



Ανθρώπινη Τρωτότητα (vulnerability) Συνάρτηση “Probit” $P_r = a + b \ln D$

Παράμετροι **a**, **b** και **n** για τοξικές και επικίνδυνες ουσίες, αναφορικά με την θανατηφόρα δόση

212

Substance	a (ppm)	b (ppm)	n (min)
Acrolein	-9.931	2.049	1
Acrylonitrile	-29.42	3.008	1.43
Ammonia	-35.9	1.85	2
Benzene	-109.78	5.3	2
Bromine	-9.04	0.92	2
Carbon monoxide	-37.98	3.7	1
Carbon tetrachloride	-6.29	0.408	2.50
Chlorine	-8.29	0.92	2
Formaldehyde	-12.24	1.3	2
Hydrogen chloride	-16.85	2.00	1.00
Hydrogen cyanide	-29.42	3.008	1.43
Hydrogen fluoride	-35.87	3.354	1.00
Hydrogen sulfide	-31.42	3.008	1.43
Methyl bromide	-56.81	5.27	1.00
Methyl isocyanate	-5.642	1.637	0.653
Nitrogen dioxide	-13.79	1.4	2
Phosgene	-19.27	3.686	1
Propylene oxide	-7.415	0.509	2.00
Sulfur dioxide	-15.67	2.10	1.00
Toluene	-79.4	10.00	1.00



Ανθρώπινη Τρωτότητα (vulnerability)

Μοντέλα Δόσης- Απόκρισης

213

Ιδιαίτερα, για συνέπειες από έκθεση σε τοξικές ουσίες οι κρίσιμες συγκεντρώσεις όπως LC50, IDLH, κλπ., είναι σημαντικές για τον υπολογισμό της απόκρισης σε συγκεκριμένη έκθεση.

Παράδειγμα, οι τοξικές συνέπειες του Διοξειδίου του Θείου (Sulphur Dioxide) υπολογίζονται με βάση τη συνάρτηση «Probit function» για θανατηφόρες συνέπειες, που δίδεται από τη σχέση :

$$D = \int_0^t C(\rho, \psi)^n dt \quad P_r = a + b \ln D$$

$$Pr = -15.67 + 2.10 \ln(C^n t)$$

$$a = -19,2, b = 1 \text{ και } n = 1$$

$$V = \int_{-\infty}^{P_r - 5} \exp\left(-\frac{1}{2}u^2\right) du$$

Στην παραπάνω εξίσωση, αν η συγκέντρωση **C = LC50** τότε η τρωτότητα είναι **V= 50%**



Ανθρώπινη Τρωτότητα (vulnerability)

Μοντέλα Δόσης- Απόκρισης

214

Για τις συνέπειες από έκθεση σε Χλώριο

Η πιθανότητα θανάτου από 20-λεπτη έκθεση σε 400ppm Χλωρίου

$$D = \int_0^t C(\rho, \psi)^n dt \quad P_r = a + b \ln D$$

a = -8,29 , **b** = 0,92 και **n**= 2

$$Pr = -8.29 + 0.92 \ln(C^2 t)$$

$$Pr = -8.29 + 0.92 \ln(400^2 \times 20) = 5,49$$

Στις παραπάνω συνθήκες η τρωτότητα είναι **V= 69%**

The relationship between the probability P and the probit variable Y is:

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{Y-5} \exp(-u^2 / 2) du \quad (5.1)$$

thus Y is a random variable defined by a normal distribution with a mean value of 5 and a standard deviation of 1 and P is its cumulative function. The relationship 5.1 is plotted in Fig. 5-1 and tabulated in Tab. 5-1 .

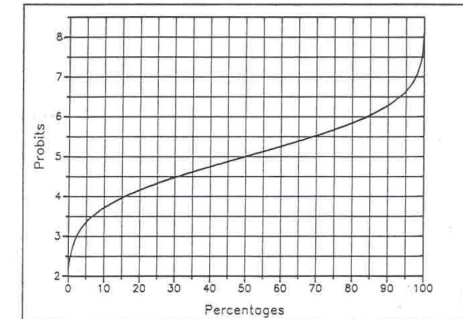


Fig. 5.1 Probits versus percentages



Ανθρώπινη Τρωτότητα (vulnerability)

Μοντέλα Δόσης- Απόκρισης : Θερμική Ακτινοβολία

215

Για τον υπολογισμό της ανθρώπινης τρωτότητας από άλλους παράγοντες όπως θερμική ακτινοβολία κλπ. χρησιμοποιείται αντίστοιχα η πιθανότητα ο εργαζόμενος να υποφέρει από συγκεκριμένες επιπτώσεις όπως εγκαύματα. Σε περιπτώσεις φωτιάς (pool fire, flash fire, jet fire) καθόσον οι συνέπειες εξαρτώνται από την έκθεση σε θερμική ακτινοβολία, η ανθρώπινη τρωτότητα υπολογίζεται με βάση το θερμικό φορτίο που δέχεται ο αποδέκτης και το βαθμό των εγκαυμάτων σύμφωνα με τις παρακάτω συναρτήσεις Probit functions (Green Book):

$$P_r = a + b \ln D \quad D = q^{4/3} t,$$

First degree burn (εγκαύματα πρώτου βαθμού): $Pr = -39.83 + 3.0186 \ln(D)$

Second degree burn (εγκαύματα δευτέρου βαθμού): $Pr = -43.14 + 3.0186 \ln(D)$

Lethality (Θνητότητα) : $Pr = -36.38 + 2.56 \ln(D)$

Όπου , D = η δόση που λαμβάνεται από τον αποδέκτη σε μονάδες θερμικής δόσης (Thermal Dose Units) **TDU** ($1 \text{ TDU} = 1 \text{ KW/m}^2)^{4/3} * s$



Ανθρώπινη Τρωτότητα (vulnerability)

Μοντέλα Δόσης- Απόκρισης : Έκρηξη – Ωστικό Κύμα

216

Η δόση και η ένταση της θερμικής ακτινοβολίας (q) συνδέονται με τη σχέση :

$$D = q^{4/3} t,$$

σε $(W/m^2)^{4/3} * s$, όπου η θερμική ακτινοβολία q εκφράζεται σε W/m^2 .

Για τη μελέτη των συνεπειών από **εκρήξεις** μπορεί να ληφθούν σαν χαρακτηριστικές συνέπειες οι βλάβες των πνευμόνων και του τυμπάνου του αυτιού.

Η σχέση Probit function $P_r = a + b \ln D$
για την διάτρηση του τυμπάνου είναι :

$$Pr = -12.6 + 1.524 \ln (Ps)$$

Όπου , Ps = η υπερπίεση από το κύμα υπερπίεσης της έκρηξης σε (Pa)