ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ

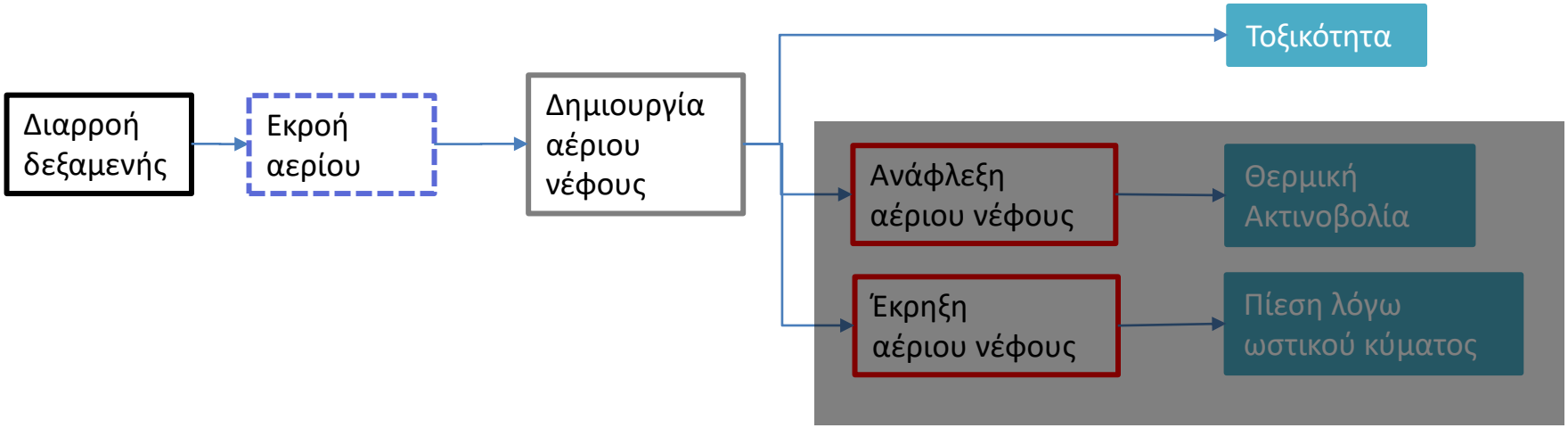
Ακ. Έτος 2020 - 2021

Στα προηγούμενα …

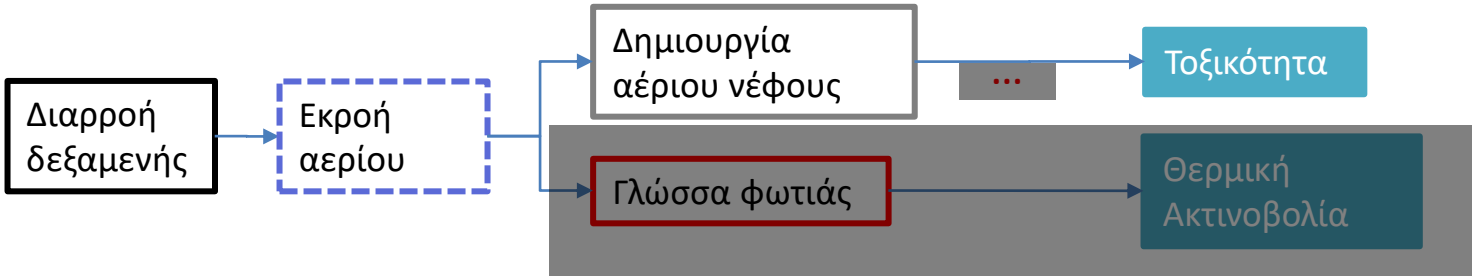
- ✓ Εκροή Αερίου από Δεξαμενή
- ✓ Εκροή Αερίου από Δεξαμενή με υψηλή ταχύτητα (Free jet)
- ✓ Εκροή Υγρού από Δεξαμενή
- ✓ Εκροή υγρών-ατμού σε ισορροπία (κατάσταση κορεσμού) από Δεξαμενή
- ✓ Εκροή υγροποιημένου αερίου από Δεξαμενή
- ✓ Εκροή Αερίου από σωλήνα
- ✓ Εκροή Υγρού από σωλήνα

Event Tree Analysis

1. Εκροή Αερίου από Δεξαμενή

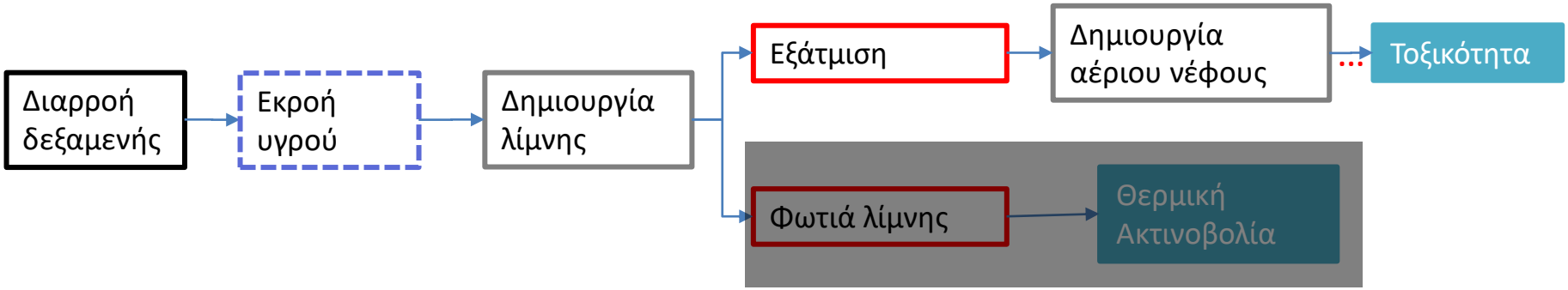


2. Εκροή Αερίου από Δεξαμενή με υψηλή ταχύτητα

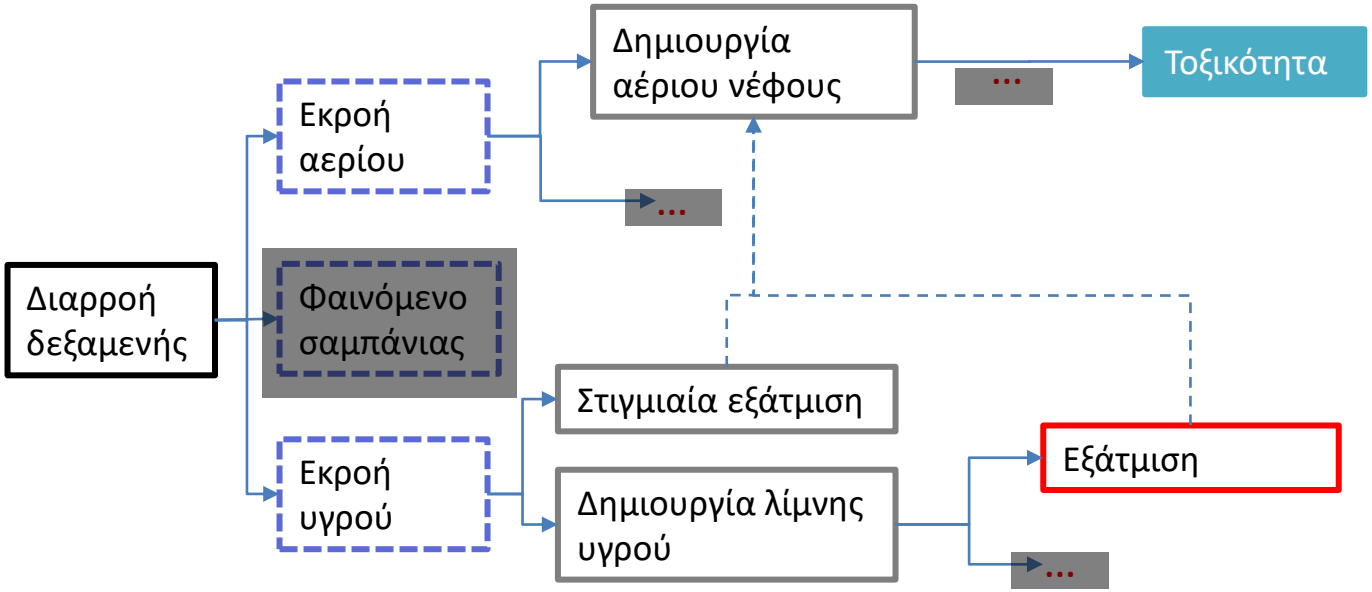


Event Tree Analysis

3. Εκροή Υγρού από Δεξαμενή



4. Εκροή Υγροποιημένου Αερίου από Δεξαμενή



Ζώνες Επικινδυνότητας

Επανάληψη …

Συνήθης πρακτική διαχείρισης ΒΑΜΕ ο ορισμός ειδικών ζωνών (περιοχών) γύρω από τη θέση του ατυχήματος που καθορίζουν την ένταση των επιπτώσεων του ατυχήματος στον άνθρωπο.

Για το σκοπό αυτό και ανάλογα με την εξεταζόμενη περίπτωση θεσπίζονται συγκεκριμένα όρια.

Στην Ελλάδα και με βάση το Μνημόνιο συνάντησης εργασίας ΕΜΠ, 1998 έχει υιοθετηθεί ορισμός των ακόλουθων ζωνών:

- *Ζώνη Ι - Προστασία Δυνάμεων Καταστολής*

  αντιστοιχεί στη Ζώνη πιθανών θανάτων της Ολλανδικής Πυροσβεστικής Ακαδημίας
- *Ζώνη ΙΙ - Προστασία Πληθυσμού - Σοβαρές Επιπτώσεις*

  αντιστοιχεί στη Ζώνη σοβαρών τραυματισμών της Ολλανδικής Πυροσβεστικής Ακαδημίας
- *Ζώνη ΙΙΙ - Προστασία Πληθυσμού - Μέτριες Επιπτώσεις*

  αντιστοιχεί στη Ζώνη μικρών τραυματισμών της Ολλανδικής Πυροσβεστικής Ακαδημίας

Επιπτώσεις Τοξικότητας

Υπολογίζονται με βάση την έκθεση ενός ατόμου/πληθυσμού σε συγκεκριμένα επίπεδα (όρια) συγκέντρωσης και για συγκεκριμένο χρόνο (συνήθως 30 min)

Ζώνη προστασίας	Συγκέντρωση τοξικών ουσιών (mg/m^3)
Ζώνη I	LC_{50}
Ζώνη II	LC_1
Ζώνη III	IDHL

LC_{50} (Lethal Concentration 50): Η συγκέντρωση μιας τοξικής ουσίας στον αέρα στην οποία πεθαίνει το 50% των ανθρώπων, με εισπνοή της ουσίας αυτής για καθορισμένο χρόνο έκθεσης.

LC_1 (Lethal Concentration 1): Η συγκέντρωση μιας τοξικής ουσίας στον αέρα στην οποία είναι πιθανόν να συμβεί θάνατος στο 1% του πληθυσμού, με εισπνοή της ουσίας αυτής για καθορισμένο χρόνο έκθεσης.

IDLH (Immediately Dangerous to Life and Health): Η μέγιστη συγκέντρωση μιας τοξικής ουσίας στον αέρα στην οποία μπορεί να εκτεθεί ένας υγιής εργαζόμενος για καθορισμένο χρόνο και να διαφύγει χωρίς να υποστεί μη ανατάξιμες βλάβες στην υγεία του ή τραυματισμούς που εμποδίζουν τη διαφυγή του (κυρίως ερεθισμούς ματιών ή πνευμόνων).

Επιπτώσεις Θερμικής ακτινοβολίας

Υπολογίζονται με βάση τη λαμβανόμενη δόση (D) θερμικής ακτινοβολίας από ένα ακίνητο ή κινούμενο άνθρωπο (παρατηρητή) για συγκεκριμένο χρόνο έκθεσης (t) σε συγκεκριμένη ένταση (ροή) θερμικής ακτινοβολίας (q).

Μονάδα λαμβανόμενης δόσης (D) είναι το 1 TDU (1 TDU=1 $(KW/m^2)^{4/3} \cdot s$).

Ζώνη προστασίας	Δόση θερμικής ακτινοβολίας (TDU)
Ζώνη I	1500
Ζώνη II	450
Ζώνη III	170

Ζώνη I: Εγκαύματα γ' βαθμού σε ποσοστό πάνω από 50 % του πληθυσμού

Ζώνη II: Εγκαύματα γ' βαθμού στο 1% του πληθυσμού.

Ζώνη III: Εγκαύματα α' βαθμού σε σημαντικό μέρος πληθυσμού

Εφίδρωση, αύξηση παλμών και θερμοκρασίας

Επιπτώσεις Θερμικής ακτινοβολίας

Παράγοντες που επηρεάζουν τη Λαμβανόμενη δόση (D) θερμικής ακτινοβολίας

- *Είδος φωτιάς*
- *Απόσταση ατόμου από το κέντρο της φωτιάς*
- *Αντίδραση ατόμου (ακίνητος ή κινούμενος και σε ποιο χρόνο)*
- *Χρόνος έκθεσης*
- *Προσωπικοί παράγοντες (ηλικία, φυσική κατάσταση, …) Human Vulnerability*

Παράγοντες που επηρεάζουν το βαθμό εγκαύματος

- *Ένταση (ροή) θερμικής ακτινοβολίας*
- *Χρόνος έκθεσης*
- *Ενδυμασία ατόμου (δυνατότητα αυτανάφλεξης ή όχι)*

Επιπτώσεις Θερμικής ακτινοβολίας

Χρόνος έκθεσης (t_{eff})

- *Για ακίνητο παρατηρητή*
  - *Ο χρόνος καθορίζεται ανάλογα με τα πρότυπα που χρησιμοποιούνται και το είδος της φωτιάς*
  - *Με βάση τα όσα έχουν υιοθετηθεί στη χώρα μας*
    - ✓ *για φωτιά λίμνης ο χρόνο ισούται με 40sec*
    - ✓ *για BLEVE ο χρόνος ισούται με το χρόνο διάρκειας του φαινομένου*
- *Για κινούμενο παρατηρητή*
  - *Με την παραδοχή ότι η ταχύτητα κίνησης (u) του παρατηρητή είναι σταθερή το διάστημα (x) που διανύει σε χρόνο (t) υπολογίζεται ως εξής:*

$$x = u \cdot t$$

  - *Ο παρατηρητής θεωρείται ασφαλής όταν φτάσει σε απόσταση x_o από τη φωτιά όπου η ένταση (ροή) θερμικής ακτινοβολίας είναι ίση με $1kW/m^2$*

Επιπτώσεις Θερμικής ακτινοβολίας

Χρόνος έκθεσης (t_{eff})

- *Για κινούμενο παρατηρητή*
  - *Θεωρώντας τώρα ότι:*
    - ✓ *Αρχικά ο παρατηρητής απέχει απόσταση r από τη φωτιά*
    - ✓ *Περνάει κάποιος χρόνος αντίδρασης (αρχικός χρόνος) t_r πριν αρχίσει να κινείται*

  Ισχύει:

$$x = x_o - r \quad \text{και} \quad t_{eff} = t + t_r$$

Από όπου προκύπτει ότι:

$$t_{eff} = (x_o - r)/u + t_r$$

Μέσες τιμές αντίδρασης: t_r = 5 sec και u = 4 m/s

Επιπτώσεις Θερμικής ακτινοβολίας

Δόση θερμικής ακτινοβολίας (D)

- Για ακίνητο παρατηρητή

  $D = q(x)^{4/3} \cdot t_{eff}$

- Για κινούμενο παρατηρητή

  Αν $t_{eff} < t_r$ τότε: $D = q(x)^{4/3} \cdot t_{eff}$

  Αν $t_{eff} > t_r$ τότε: $D = q(x)^{4/3} \cdot t_r + \int_{t_r}^{t_{eff}} (q(x')^{4/3} \cdot dt)$

Επιπτώσεις Θερμικής ακτινοβολίας

Ένταση (Ροή) θερμικής ακτινοβολίας (q)

Η ένταση (ροή) θερμικής ακτινοβολίας εξαρτάται:

- Ισχύ (E) της ακτινοβολίας (kW/m^2)
- Από την απόσταση (x) του παρατηρητή από το σημείο της φωτιάς

  Αυτό εκφράζεται με βάση το ποσοστό ακτινοβολίας (F, view factor) που δέχεται ένας όρθιος παρατηρητής
- Την ατμοσφαιρική διαπερατότητα (τα)

$$q(x) = E \cdot F \cdot \tau\alpha$$

Επιπτώσεις Θερμικής ακτινοβολίας

Πιθανότητα Επιπτώσεων (P)

Σχετικά με τη πιθανότητα να υποστεί κάποιος ένα συγκεκριμένο βαθμό εγκαύματος αυτή ορίζεται από τη σχέση

$$P = F_k \cdot 1/2 \cdot \{1+ \text{erf}\ [(P_r-5)/\text{sqrt}(2)]\ \}$$

Όπου:

F_k : συντελεστής που εκφράζει την επίδραση ένδυσης (0.14 για χειμερινή ένδυση και 0.95 για θερινή ένδυση)

erf : συνάρτηση σφάλματος

$$\text{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x \exp(-t^2)dt$$

Ισχύει για x > 0 και σφάλμα < 0.0005 :

erf (-x) = - erf (x) και

erf (x) = $1 - (1 + 0.278393x + 0.230389x^2 + 0.000972x^3 + 0.078108x^4)^{-4}$

P_r : συνάρτηση καταπόνησης (εμπειρική)

sqrt : τετραγωνική ρίζα

Επιπτώσεις Θερμικής ακτινοβολίας

Πιθανότητα Επιπτώσεων (P)

P_r : συνάρτηση καταπόνησης (εμπειρική)

$P_r = c_1 + c_2 \cdot \ln(D)$

c1, c2: συντελεστές ανάλογα με την επίπτωση (έγκαυμα 1ου, 2ου βαθμού ή θάνατος)

	Εγκαύματα 1ου βαθμού	Εγκαύματα 2ου βαθμού	Θάνατοι
c_1	-39,83	-43,14	-36,38
c_2	3,0186	3,0186	2,56

Επιπτώσεις Θερμικής ακτινοβολίας

Θάνατοι εντός της περιοχής της φωτιάς

$N_1 = N_o \cdot \pi \cdot R^2$

N_o : συγκέντρωση ατόμων (αριθμός ατόμων ανά τ.μ.)
R : ακτίνα της φωτιάς (m)

Θάνατοι εκτός της περιοχής της φωτιάς

$$N_2 = \int_R^\infty p(r) * N_o * 2\pi r dr$$

Εξεταζόμενα είδη φωτιάς

✓ Γλώσσα φωτιάς (Jet Flame)

Όταν πιάσει φωτιά αέριο που εξέρχεται με μεγάλη ορμή από δεξαμενή (Free Jet)

Χαρακτηριστικά

- Γεωμετρία γλώσσας (συνήθως θεωρείται ότι σχηματίζεται κύλινδρος οπότε εξετάζομαι διάμετρο και μήκος κυλίνδρου)
- Παρουσία ορμής
- Συνεχής εκροή αερίου με μεγάλη ταχύτητα

Παράμετροι

- Όρια αναφλεξιμότητας αερίου
- Πυκνότητα αερίου
- Συνθήκες αποθήκευσης
- Θερμοκρασία περιβάλλοντος

Παραδοχή

- Ρυθμός καύσης = ρυθμό εκροής

Εξεταζόμενα είδη φωτιάς

✓ Γλώσσα φωτιάς (Jet Flame)

Μαθηματική αποτύπωση

Έχοντας λοιπόν θεωρήσει σχήμα κυλίνδρου υπολογίζουμε:

(α) μήκος κυλίνδρου: $L_f = d_u / K_1$

(β) διάμετρος κυλίνδρου: $d_f = d_u / (2 \cdot K_1 \cdot b_2^{1/2})$

(γ) επικίνδυνη απόσταση: $L = 2 \cdot L_f$

Όπου:

L_f = μήκος κυλίνδρου γλώσσας φωτιάς (m)

d_f = διάμετρος κυλίνδρου γλώσσας φωτιάς (m)

d_u = διάμετρος οπής (m)

Εξεταζόμενα είδη φωτιάς

✓ Γλώσσα φωτιάς (Jet Flame)

Μαθηματική αποτύπωση

$K_1 = 0,32 \cdot \rho'_{g,a} \cdot b_1 \cdot j_{st} / (\rho'_{g,u})^{½} / (b1+b2)$

$b1 = 50,5 + 48,2 \cdot \rho'_{g,a} – 9,95 \cdot (\rho'_{g,a})^2$

$b2 = 23 + 41 \cdot \rho'_{g,a}$

όπου:

$\rho'_{g,a}$ η σχετική πυκνότητα του αερίου ως προς τον αέρα σε συνθήκες περιβάλλοντος

$$\rho'_{g,a} = \rho_g / \rho_a$$

$\rho'_{g,u}$ η σχετική πυκνότητα του αερίου στην οπή εξόδου ως προς τον αέρα

$$\rho'_{g,u} = \rho_{g,u} / \rho_a$$

Εξεταζόμενα είδη φωτιάς

✓ Γλώσσα φωτιάς (Jet Flame)

Μαθηματική αποτύπωση

ρ_g η πυκνότητα του αερίου σε συνθήκες περιβάλλοντος (kg/m^3)

$$\rho_g = M \cdot Pa / (R \cdot Ta)$$

$\rho_{g,u}$ η πυκνότητα του αερίου στην οπή εξόδου (kg/m^3)

$$\rho_{g,u} = \rho_{g,r} \cdot (2/(\gamma+1))^{1/(\gamma-1)}$$

$\rho_{g,r}$ η πυκνότητα του αερίου στη δεξαμενή αποθήκευσης (kg/m^3)

$$\rho_{g,r} = M \cdot Pr / (R \cdot Tr)$$

ρ_a η πυκνότητα του αέρα σε συνθήκες περιβάλλοντος (kg/m^3)

M μοριακό βάρος αερίου (gr/mole)

Ta, Pa θερμοκρασία (K) και πίεση περιβάλλοντος (atm)

Tr, Pr θερμοκρασία (K) και πίεση αποθήκευσης (atm)

R σταθερά των αερίων (= 0,082 (atm lt)/(K mole))

γ λόγος ειδικών θερμοτήτων (c_p/c_v)

Εξεταζόμενα είδη φωτιάς

✓ Γλώσσα φωτιάς (Jet Flame)

Μαθηματική αποτύπωση

j_{st} η στοιχειομετρική σύνθεση

$$j_{st} = (j_{uel} \cdot j_{lel})^{1/2}$$

j_{uel} άνω όριο αναφλεξιμότητας

j_{lel} κάτω όριο αναφλεξιμότητας

Εξεταζόμενα Είδη φωτιάς

✓ Φωτιά Λίμνης (Pool fire)

Όταν πιάσει φωτιά λίμνη υγρού η οποία έχει σχηματιστεί από εκροή υγρού (ή υγροποιημένου αερίου) από δεξαμενή

Χαρακτηριστικά

- Ύψος φλόγας
- Απουσία ορμής
- Η ποσότητα υγρού που καίγεται εξαρτάται και από την ποσότητα εξάτμισης

Παράμετροι

- Διάμετρος της λίμνης
- Θερμοκρασία υγρού
- Θερμοκρασία εδάφους
- Διαπερατότητα εδάφους
- Ταχύτητα αέρα

Παραδοχή

- Ρυθμός καύσης = ρυθμό εκροής

Εξεταζόμενα είδη φωτιάς

✓ Φωτιά Λίμνης (Pool fire)

Μαθηματική αποτύπωση

(α) Ύψος φλόγας: $h_f = 42 \cdot d_p \cdot (m'' / (\rho_a \cdot (g \cdot d_p)^{1/2})^{0,61}$

Όπου:

h_f = ύψος φλόγας (m)

d_p = διάμετρος λίμνης (m)

ρ_a = πυκνότητα του αέρα (kg/m^3)

g = επιτάχυνση της βαρύτητας (m/s^2)

m'' = ρυθμός καύσης ανά μονάδα επιφάνειας ($kg/(m^2s)$)

Εξεταζόμενα είδη φωτιάς

✓ Φωτιά Λίμνης (Pool fire)

Μαθηματική αποτύπωση

(β) Ρυθμός καύσης ανά μονάδα επιφάνειας: $m'' = h_c \cdot 10^{-3} / (h_v + c_{vl} \cdot \Delta T)$

Όπου:

h_c = θερμότητα καύσης υγρού (kJ/kg)

h_v = θερμότητα εξάτμισης υγρού (kJ/kg)

c_{vl} = ειδική θερμότητα του υγρού (kJ/(kg/K))

$\Delta T = T_b - T_a$, διαφορά θερμοκρασία ανάμεσα στο σημείο βρασμού του υγρού (T_b) και τη θερμοκρασία περιβάλλοντος (T_a)

Αν ισχύει $T_b < T_a$ τότε: $m'' = h_c \cdot 10^{-3} / h_v$

Εξεταζόμενα είδη φωτιάς

✓ Φωτιά Λίμνης (Pool fire)

Μαθηματική αποτύπωση

(γ) Ισχύς ακτινοβολίας της φλόγας: $E = 0,35 \cdot m'' \cdot h_c / (72\, m''^{0,61} + 1)$

(δ) Διάμετρος λίμνης: $d_p = 2 \cdot r_p$

r_p η μέγιστη ακτίνα της λίμνης (m): $r_p^2 = (C'' \cdot g \cdot \delta_{vl,o}) \cdot t_e^2 + r_{p,o}^2$

$r_{p,o}$ η αρχική ακτίνα της λίμνης (m)

C'' σταθερά εξάπλωσης του υγρού (ανάλογα με την επιφάνεια)

$\delta_{vl,o}$ το αρχικό πάχος της σχηματιζόμενης λίμνης (m)

t_e ο χρόνος στον οποίο σταματά η εξάπλωση της λίμνης

g η επιτάχυνση της βαρύτητας (m/s^2)

Εξεταζόμενα είδη φωτιάς

✓ Φωτιά Λίμνης (Pool fire)

Μαθηματική αποτύπωση

(δ) Διάμετρος λίμνης: $d_p = 2 \cdot r_p$

Εξαρτάται από:

- Από την ποσότητα του υγρού που εξατμίζεται ($W_{vl,e}$)

  $W_{vl,e} = W_{vl,o} \exp(c_{vl} (T_b - T_{vl})/h_v)$

- Από τη ποσότητα του υγρού που σχηματίζει τη λίμνη (W_{vl})

  $W_{vl} = W_{vl,o} - W_{vl,e}$

με:

$W_{vl,o}$ η αρχική μάζα του υγρού που απελευθερώνεται (kg)

h_v η θερμότητα εξάτμισης υγρού (J/kg)

c_{vl} η ειδική θερμότητα του υγρού (J/(kg/K))

Εξεταζόμενα είδη φωτιάς

✓ Φωτιά Λίμνης (Pool fire)

Μαθηματική αποτύπωση

(δ) Διάμετρος λίμνης: $d_p = 2 \cdot r_p$

Ισχύει επίσης η εξίσωση:

$$V_{vl,o} - \pi \cdot r_{p,o}^2 \cdot \delta_{vl,min} = C'' \cdot \pi \cdot g \cdot \delta_{vl,o} \cdot \delta_{vl,min} \cdot t_e^2 + (16/15) \cdot C'' \cdot \pi \cdot e' \cdot g \cdot \delta_{vl,o} \cdot t_e^{5/2}/\rho_{vl} + 2 \cdot e' \cdot \pi \cdot r_{p,o}^2 \cdot t_e^{1/2}/\rho_{vl}$$

$V_{vl,o}$ ο αρχικός όγκος υγρού που απελευθερώνεται (m^3)

$\delta_{vl,min}$ το ελάχιστο πάχος της σχηματιζόμενης λίμνης υγρού (m)

t_e ο χρόνος στον οποίο σταματά η εξάπλωση της λίμνης

e' συντελεστής ταχύτητας εξάτμισης του υγρού ($kg/m^2s^{1/2}$)

ρ_{vl} η πυκνότητα του υγρού

Εξεταζόμενα είδη φωτιάς

✓ Φωτιά Λίμνης (Pool fire)

Μαθηματική αποτύπωση

(δ) Διάμετρος λίμνης: $d_p = 2 \cdot r_p$

Από τα προηγούμενα …

$e' = \lambda s \cdot (T_s - T_b) / (h_v \cdot (\pi \cdot \alpha_s)^{1/2})$

Όπου:

λ_s η θερμική αγωγιμότητα (συντελεστής αγωγής) εδάφους (W/mK)
T_s η θερμοκρασία του εδάφους (K)
T_b η θερμοκρασία βρασμού του υγρού (K)
h_v η θερμότητα εξάτμισης του υγρού (J/kg)
α_s ο θερμοκρασιακός συντελεστής του εδάφους (m^2/s)

Εξεταζόμενα Είδη φωτιάς

✓ Πύρινη σφαίρα (FireBall)

Όταν πιάσει ακαριαία φωτιά αέριο υπό πίεση το οποίο απελευθερώνεται απότομα μετά από ολική διάρρηξη της δεξαμενής. Ουσιαστικά αποτελεί την άμεση συνέπεια του φαινομένου B.L.E.V.E. (Boiling Liquid Expanding Vapors Explosion)

Χαρακτηριστικά

- Σχηματισμός σφαίρας
- Ακτίνα σφαίρας
- Μέγιστος ύψος του κέντρου της σφαίρας
- Εξαιρετικά μικρή χρονική διάρκεια

Παράμετροι

- Πίεση αποθήκευσης (ουσιαστικά η πίεση που έχει αναπτυχθεί στο εσωτερικό της δεξαμενής πριν την ολική διάρρηξη)
- Μάζα αερίου που εκλύεται απότομα και αναφλέγεται

Παραδοχή

- Ρυθμός καύσης εξαρτάται από την ποσότητα του αερίου που αναφλέγεται καθώς και από τη διάρκεια του φαινομένου (φωτιάς)

Εξεταζόμενα είδη φωτιάς

✓ Πύρινη σφαίρα (FireBall)

Μαθηματική αποτύπωση

Έχοντας λοιπόν θεωρήσει σχήμα σφαίρας υπολογίζουμε:

(α) ακτίνα σφαίρας: $r_f = 3,24 \cdot m^{0,325}$

(β) χρονική διάρκεια: $t_f = 0,852 \cdot m^{0,26}$

Όπου:

r_f = ακτίνα Fireball (m)

t_f = χρονική διάρκεια Fireball (s)

m = μάζα αερίου που συμμετέχει στο Fireball (kg)

Εξεταζόμενα είδη φωτιάς

✓ Πύρινη σφαίρα (FireBall)

Μαθηματική αποτύπωση

(γ) Μέγιστο ύψος κέντρου: $z = 1{,}97 \cdot (g^{1/2} \cdot t_f / V^{1/6})^{0{,}86} \cdot V^{1/3}$

Όπου:

z = μέγιστο ύψος κέντρου Fireball (m)

g = επιτάχυνση της βαρύτητας (m/s^2)

V = αρχικός όγκος αερίου που σχηματίζει το Fireball (m^3)

(δ) Ισχύς ακτινοβολίας του Fireball: $E_L = Hc \cdot m^{(1-\delta)} / (4 \cdot \pi \cdot L^2 \cdot \gamma)$

Όπου:

Hc = Θερμότητα καύσης (kJ/kg)

δ = συντελεστής (συνήθως 0,26)

L = απόσταση παρατηρητή από το κέντρο της σφαίρας

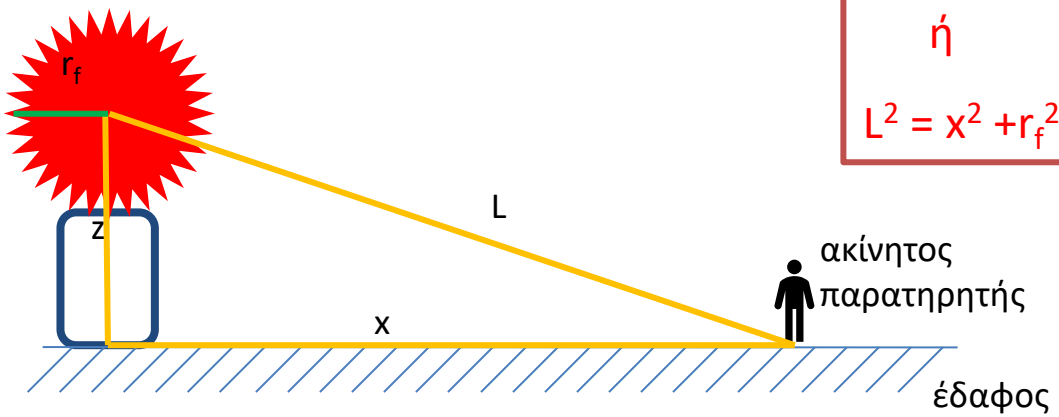
γ = συντελεστής (συνήθως 0,825)

Εξεταζόμενα είδη φωτιάς

✓ Πύρινη σφαίρα (FireBall)

Μαθηματική αποτύπωση

Σχετικά με την απόσταση (L) ακίνητου παρατηρητή από το κέντρο της σφαίρας



$L^2 = x^2 + z^2$

ή

$L^2 = x^2 + r_f^2$ αν θεωρήσουμε ύψος δεξαμενής μηδέν

$E_L = Hc \cdot m^{(1-\delta)} / (4 \cdot \pi \cdot L^2 \cdot \gamma)$

ή

$E_x = Hc \cdot m^{(1-\delta)} / (4 \cdot \pi \cdot (x^2+z^2) \cdot \gamma)$

Εξεταζόμενα είδη φωτιάς

✓ Πύρινη σφαίρα (FireBall)

Μαθηματική αποτύπωση

Σχετικά με το ποσοστό ακτινοβολίας (F, view factor) που δέχεται ο ακίνητος παρατηρητής στη συγκεκριμένη περίπτωση έχουμε:

$F = 0,27 \cdot P^{0,32}$

Όπου:

P η πίεση μέσα στη δεξαμενή πριν από το Fireball (MPa)

Επιπτώσεις Ωστικού κύματος

Υπολογίζονται με βάση την υπερπίεση ωστικού κύματος το οποίο προκύπτει εξαιτίας έκρηξης που οφείλεται στην απότομη αύξηση της πίεσης και το οποίο κινείται από το κέντρο της έκρηξης με μια δεδομένη ταχύτητα.

Ζώνη προστασίας	Υπερπίεση (mbar)
Ζώνη I	350
Ζώνη II	140
Ζώνη III	50

Σχετικά με τις έμμεσες επιπτώσεις ισχύει:
Ζώνη I: Σοβαρές και μη επισκευάσιμες ζημιές στο φέροντα οργανισμό και τους τοίχους κτιρίων

Ζώνη II: Ζημιές στο φέροντα οργανισμό και σε εξωτερικούς ή εσωτερικούς τοίχους

Ζώνη III: Ζημιές σε πόρτες και παράθυρα, ελαφρές ρηγματώσεις σε τοίχους

Οι άμεσες επιπτώσεις περιλαμβάνουν:
- τραυματισμό των πνευμόνων
- διάρρηξη του ακουστικού τύμπανου
- εκτίναξη σε σχετικά μεγάλη απόσταση και τραυματισμός λόγω πτώσης ή πρόσκρουσης
- τραυματισμός ή και θάνατος από εκτινασσόμενα θραύσματα (γυαλί, κομμάτια μετάλλων, σκυρόδεμα …)

Περίπτωση ωστικού κύματος

✓ Έκρηξη Αερίου Νέφους (Vapor Cloud Explosion)

Όταν αναφλεγεί/εκραγεί ακαριαία ποσότητα αέριου νέφους το οποίο προκύπτει από τη διαρροή αερίου (ή υγροποιημένου αερίου υπό πίεση)

Χαρακτηριστικά

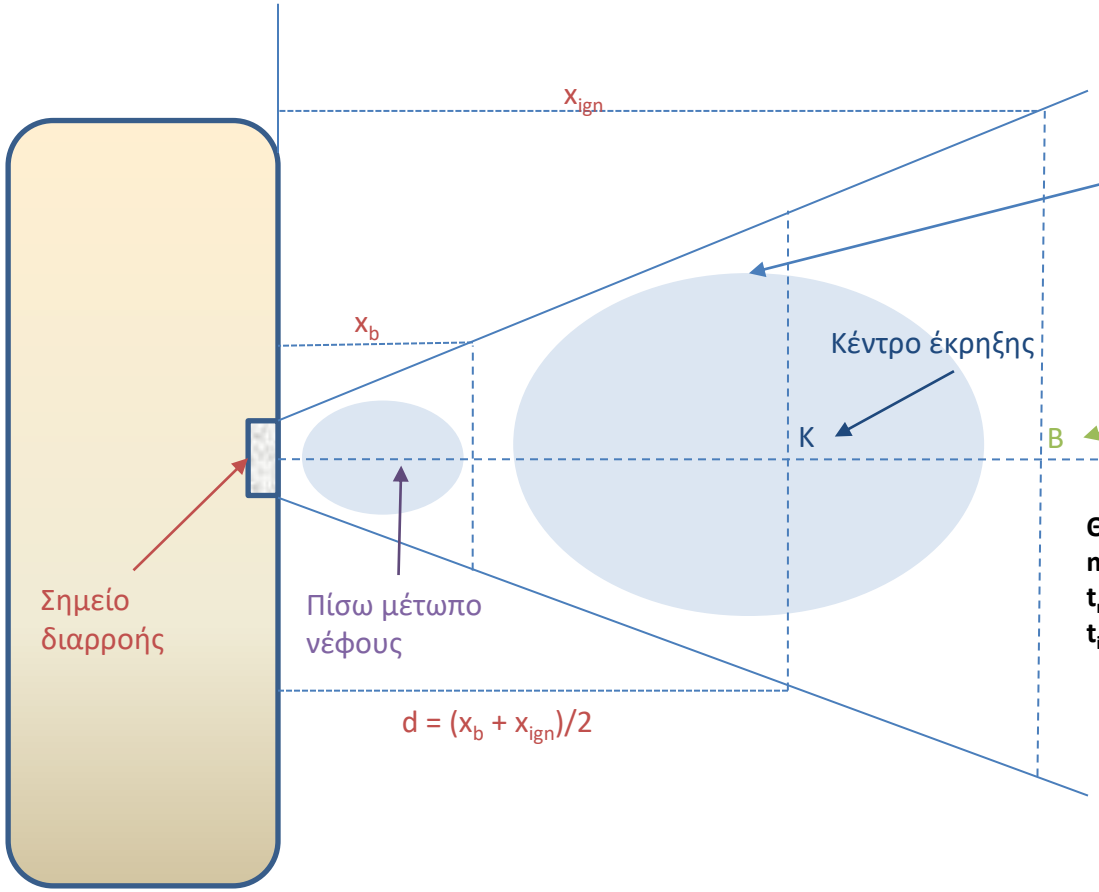
- Κέντρο έκρηξης
- Ωστικό κύμα (μέγιστη υπερπίεση, δόση υπερπίεσης, ώθηση)

Παράμετροι

- Μάζα αερίου νέφους
- Χρόνος που περνάει από την έναρξη της διαρροής μέχρι την ανάφλεξη/έκρηξη
- Περιοχή (χώρος) ανάφλεξης/έκρηξης
- Σημείο ανάφλεξης ως προς τη θέση της διαρροής

Περίπτωση ωστικού κύματος

✓ Έκρηξη Αερίου Νέφους (Vapor Cloud Explosion)



Θεωρώντας
m' (kg/s) = σταθερό ρυθμός εκροής
t_r (s) = συνολική χρονική διάρκεια διαρροής
t_{ign} (s) = χρόνος μέχρι να φθάσει το νέφος στο σημείο ανάφλεξης

- $t_{ign} < t_r$ Τη χρονική στιγμή t_{ign} η διαφυγή της εύφλεκτης ουσίας δεν έχει ολοκληρωθεί οπότε **Mexpl = m' t_{ign}** και **x_b = 0**
- $t_{ign} > t_r$, τότε **Mexpl = m' tr** και **xb = με την απόσταση που το νέφος διανύει σε χρόνο (t_{ign}-t_r)**

Περίπτωση ωστικού κύματος

✓ Έκρηξη Αερίου Νέφους (Vapor Cloud Explosion)

Μαθηματική αποτύπωση

Σε απόσταση x από το κέντρο της έκρηξης η μέγιστη υπερπίεση (Ps) του παραγόμενου ωστικού κύματος εξαρτάται από την ταχύτητα της φλόγας (u_{fl})

(α) Αν u_{fl} = 40 m/s τότε $P_s = P_o \cdot (2/100) \cdot (x/L_o)^{-1}$

(β) Αν u_{fl} = 80 m/s τότε $P_s = P_o \cdot (6/100) \cdot (x/L_o)^{-1}$

(γ) Αν u_{fl} = 160 m/s τότε $P_s = P_o \cdot (15/100) \cdot (x/L_o)^{-1}$

Όπου:

P_s = μέγιστη υπερπίεση ωστικού κύματος (Pa)

P_o = ατμοσφαιρική πίεση (Pa)

x = απόσταση από το κέντρο μάζας του νέφους (m)

L_o = χαρακτηριστικό μήκος έκρηξης (m) = $(V_o \cdot E_c / P_o)^{1/3}$

V_o = όγκος νέφους αερίου/αέρα που εκρήγνυται (m^3)

E_c: ενέργεια καύσης του στοιχειομετρικού μίγματος αερίων (J/m^3)

Περίπτωση ωστικού κύματος

✓ Έκρηξη Αερίου Νέφους (Vapor Cloud Explosion)

Μαθηματική αποτύπωση

Στην ίδια απόσταση x από το κέντρο της έκρηξης η δόση από υπερπίεση η οποία μπορεί να προκαλέσει ολική καταστροφή ενός κτιρίου δίνεται από τον ακόλουθο τύπο.

$D = (40000 / P_s)^{7,4} + (460 / I_s)^{11,3}$

Όπου:

I_s = ώθηση ωστικού κύματος (Pa s) = $P_s \cdot t_p / 2$

t_p = χρόνος θετικής φάσης έκρηξης (φάση αύξηση της πίεσης), με παραδοχή για t_p = 1s

Συνδυασμός φωτιάς και ωστικού κύματος

✓ Έκρηξη Διαστελλόμενων Ατμών Ζέοντος υγρού
B.L.E.V.E. (Boiling Liquid Expanding Vapors Explosion)

Συμβαίνει σε κλειστές δεξαμενές (σφαίρες, δοχεία, βαγόνια, βυτιοφόρα οχήματα) που περιέχουν συνήθως υγραέρια (LPG) και οι οποίες βρίσκονται υπό την επίδραση πυρκαγιάς.

Χαρακτηριστικά

- Ολική Καταστροφή δεξαμενής (έκρηξη) λόγω υπερθέρμανσης των τοιχωμάτων της δεξαμενής και αύξηση της εσωτερικής πίεσης
- Σχηματισμός πύρινης σφαίρας λόγω ανάφλεξης εύφλεκτου μίγματος θερμών ατμών και αέρα
- Υπερπίεση λόγω ωστικού κύματος

Επιπτώσεις

- Θερμική ακτινοβολία
- Υπερπίεση
- Θραύσματα

Παραδείγματα Ασκήσεων

Άσκηση 2

Βυτιοφόρο χωρητικότητας 20 m^3 είναι γεμάτο κατά το 1/4 με βενζίνη. Μετά από σύγκρουση με ΙΧ διαρρέει στο δρόμο όλη η βενζίνη δημιουργώντας λίμνη πάχους 3 cm η οποία στη συνέχεια αναφλέγεται. Να υπολογιστεί η πιθανότητα θανάτων και εγκαυμάτων 1ου και 2ου βαθμού σε απόσταση 10m από το κέντρο της φλόγας.

<u>Δεδομένα</u>:

ρ_{vl} = πυκνότητα βενζίνης 875 kg/m^3

h_c = θερμότητα καύσης υγρού 43700 kJ/kg

h_v = θερμότητα εξάτμισης υγρού 370 kJ/kg

T_b = θερμοκρασία βρασμού 473 K

c_{vl} = ειδική θερμότητα του υγρού 2.32 kJ/(kgK)

ρ_α = πυκνότητα αέρα 1.21 kg/m^3

T_a = θερμοκρασία περιβάλλοντος 20 ^oC

F = ποσοστό ακτινοβολίας (view factor) 0.445

τ_α= ατμοσφαιρική διαπερατότητα 0.95

<u>Θεωρείστε:</u>

- *Η ακτινοβολούμενη ισχύς περιορίζεται κατά 55% λόγω καπνού*
- *Η ροή θερμικής ακτινοβολίας q(x) είναι 1 kw/m^2 σε απόσταση 50 m από το κέντρο της φλόγας*
- *Θερινή περίοδος*