ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ

Ακ. Έτος 2020 - 2021

Παραδείγματα Ασκήσεων

Άσκηση 6

Εύφλεκτο υγρό Α είναι αποθηκευμένο σε κάθετη κυλινδρική δεξαμενή. Σε απόσταση x = 420m από τη δεξαμενή βρίσκεται παιδική χαρά. Να υπολογίσετε σε ποια ζώνη προστασίας (I, II ή III) βρίσκεται η παιδική χαρά εάν υπάρξει απότομη έκρηξη της δεξαμενής (Fireball).

<u>Δίνονται:</u>

Μάζα υγρού Α εντός της δεξαμενής = 77000 kg

Πίεση εντός της δεξαμενής = 1.8 atm

Θερμότητα καύσης = 30830 kJ/kg

Για απλοποίηση υπολογισμών θεωρείστε ότι ισχύει $L^2 = x^2 + r_f^2$

Παραδείγματα Ασκήσεων

Άσκηση 6

Βήματα επίλυσης

Βήμα 1ο: Υπολογισμός t_f

Θεωρώντας ότι όλη η αποθηκευμένη μάζα του υγρού συμμετέχει στη δημιουργία της πύρινης σφαίρας τότε:

$t_f = 0,852 \cdot m^{0,26} = 15.883$ s (χρονική διάρκεια πύρινης σφαίρας)

Βήμα 2ο: Υπολογισμός r_f

$r_f = 3,24 \cdot m^{0,325} = 125,503$ m

Βήμα 3ο: Υπολογισμός L

$L = \text{sqrt}(r_f^2 + x^2) = 438,350$ m

Παραδείγματα Ασκήσεων

Άσκηση 6

Βήματα επίλυσης

Βήμα 4ο: Υπολογισμός q(L)

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

$q(L) = \tau\alpha \cdot E(L) \cdot f$

$f = 0,27 \cdot P^{0,32} = 0,157\ \%$

$\tau\alpha = 1$, $\delta = 0,26$, $\gamma = 0,825$ *(από σημειώσεις)*

$q(L) = 10,013\ kW/m^2$

Βήμα 5ο: Υπολογισμός δόσης θερμικής ακτινοβολίας σε απόσταση x

- για ακίνητο παρατηρητή ισχύει:

  $D = q(L)^{4/3} \cdot t_f$

$D = 342,763\ (kW/m^2)^{4/3}\ s$

Παραδείγματα Ασκήσεων

Άσκηση 6

Βήματα επίλυσης

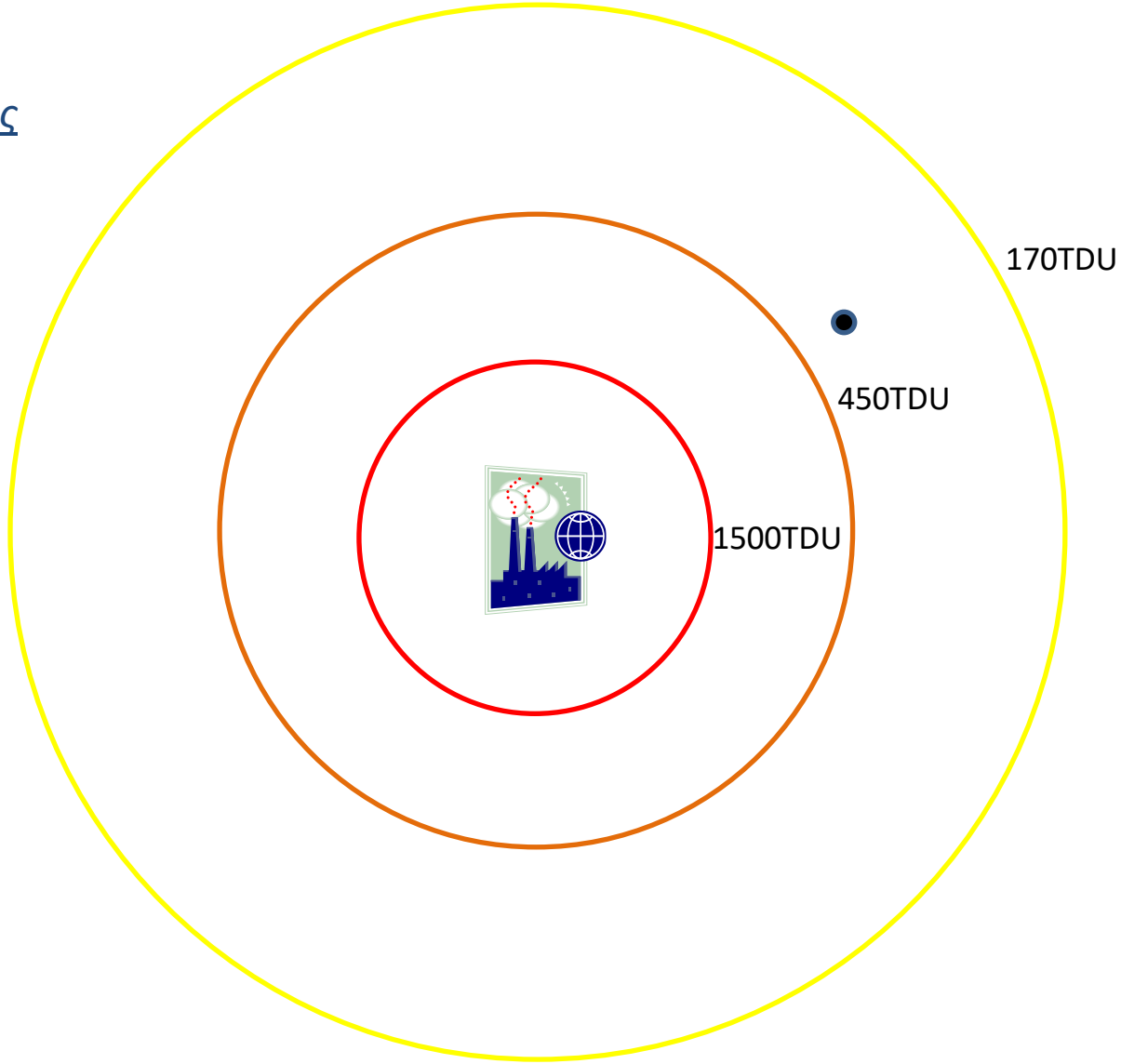
Βήμα 6ο: Ζώνη Προστασίας?

Ζώνη προστασίας	Επιπτώσεις	Ένταση θερμικής ακτινοβολίας (kW/m^2)	Δόση (TDU)
Ζώνη I	Εξαιρετικά σοβαρές, εγκαύματα γ΄ βαθμού σε ποσοστό πάνω από 50% (ακτίνα πρόκλησης θανάτων)	15	1500
Ζώνη II	Σοβαρές, εγκαύματα γ΄ βαθμού στο 1% του πληθυσμού (ακτίνα πρόκλησης σοβαρών τραυματισμών)	6	450
Ζώνη III	Μέτριες, εγκαύματα α΄ βαθμού σε σημαντικό μέρος του πληθυσμού (ακτίνα πρόκλησης μικρών τραυματισμών)	3	170

Παραδείγματα Ασκήσεων

Άσκηση 6

Βήματα επίλυσης



Παραδείγματα Ασκήσεων

Άσκηση 7

Κάθετη κυλινδρική δεξαμενή ακετόνης διαστάσεων 3 x 10 m (διάμετρος x ύψος) και πληρότητας 70% εμφανίζει τετραγωνική οπή σε απόσταση 7,5m από τον πυθμένα της.

Να υπολογιστεί ο ρυθμός εκροής της ακετόνης (αποθήκευση σε συνθήκες περιβάλλοντος)

<u>Δίνονται:</u>

Συνθήκες περιβάλλοντος P = 1 atm, T = 25^{o}C

Ειδική θερμότητα c_p = 2,14 kJ/kgK

Ειδική θερμότητα c_v = 1,55 kJ/kgK

Θεωρείστε ιδανική συμπεριφορά ατμών

Εξίσωση Antoine: $\log_{10}(P) = 4,424 – [1312,253/(T-32,445)]$, P (bar) & T (K)

Παραδείγματα Ασκήσεων

Άσκηση 7

Κατάσταση αποθήκευσης ακετόνης

Σε πίεση αποθήκευσης μίας ατμόσφαιρας (1,013 bar) έχουμε:

$\log_{10}(P) = 0,0056$

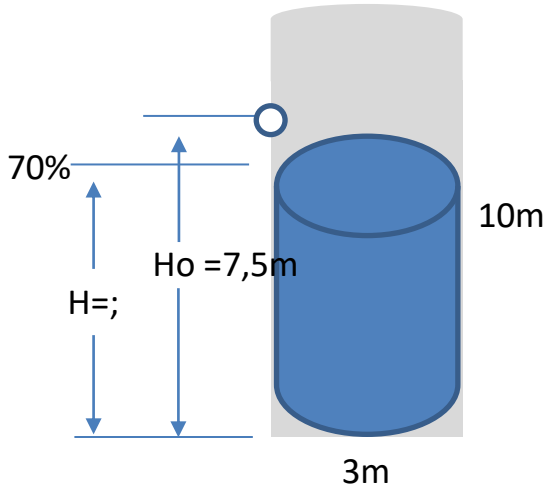
Από όπου προκύπτει θερμοκρασία βρασμού σε 1 atm

$T_\beta = 329,443\ K = 56,443\ ^oC$

Συνεπώς έχω αποθήκευση σε υγρή κατάσταση.

Παραδείγματα Ασκήσεων

Άσκηση 7



Θέση οπής;

Αρχικός όγκος

$V_o = \pi \cdot r^2 \cdot h = 3,14 \cdot 1,5^2 \cdot 10 = 70,686 m^3$

Όγκος Ακετόνης

$V_\alpha = 0,7 \cdot V_o = 0,7 \cdot 70,686 = 49,480 m^3$

Ύψος στάθμης

$V_\alpha = \pi \cdot r^2 \cdot H \Rightarrow H = V_\alpha/(\pi \cdot r^2)$

$H = 49,480 / (3,14 \cdot 1,5^2) = 7m$

Ύψος οπής = 7,5m

Συνεπώς έχω εκροή αερίου

Παραδείγματα Ασκήσεων

Άσκηση 7

Βήμα 1ο: Υπολογισμός είδους ροής (υποκρίσιμη, κρίσιμη ή υπερκρίσιμη)

$\gamma = c_p / c_v = 2,14 / 1,55 = 1,381$

$[(\gamma+1)/2]^{\gamma/(\gamma-1)} = 1,881$

$P_\delta / P_a = 1/1 = 1$

Οπότε

$P_\delta / P_a < [(\gamma+1)/2]^{\gamma/(\gamma-1)}$ υποκρίσιμη ροή

Βήμα 2ο: Υπολογισμός Ρυθμού Εκροής

$$\dot{m}_u = C_D A_u \psi_0 \left[p_0 \rho_0 \gamma \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}} \right]^{1/2}$$

Παραδείγματα Ασκήσεων

Άσκηση 7

Βήμα 2ο: Υπολογισμός Ρυθμού Εκροής

Συντελεστής τραχύτητας C_D = ;

Διαστάσεις οπής για τον υπολογισμό επιφάνειας A_u = ;

Πυκνότητα αερίου ρ_o = ; (ιδανική συμπεριφορά)

Συντελεστής εκροής Ψ_o

$$\psi_0 = \left\{ \frac{2}{\gamma-1} \left(\frac{\gamma+1}{2} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}} \left(\frac{p_a}{p_0} \right)^{\frac{2}{\gamma}} \left[1 - \left(\frac{p_a}{p_0} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right] \right\}^{1/2} = \ldots = 0$$

Οπότε

$m_u = 0$

Χρειάζεται να κάνω πράξεις?

Παραδείγματα Ασκήσεων

Άσκηση 8

Παραλληλεπίπεδη δεξαμενή διαστάσεων 5 x 5 x 15 m (μήκος x πλάτος x ύψος) περιέχει (πληρότητα 80%) βενζένιο σε θερμοκρασία και πίεση περιβάλλοντος. Στη δεξαμενή δημιουργείται κυκλική οπή ακτίνας 3cm σε απόσταση 10m από τον πυθμένα της. Γνωρίζοντας την ύπαρξη πιθανών εστιών πρόκλησης φαινομένων (καύσης/έκρηξης) να προσδιορίσετε αν ένα σχολείο σε απόσταση 300m από τη δεξαμενή βρίσκεται εντός ενός εκ των τριών ζωνών προστασίας θερμικής ακτινοβολίας. Θεωρείστε ότι οποιοδήποτε φαινόμενο θα συμβεί μισή ώρα μετά τη δημιουργία της οπής. Η δεξαμενή βρίσκεται υπερυψωμένη εντός αναχώματος διαμέτρου 10m.

Αναφέρετε με σαφήνεια τυχόν παραδοχές.

Παραδείγματα Ασκήσεων

Άσκηση 8

Δίνονται:

Συνθήκες περιβάλλοντος Pa = 1 atm, Ta = 20^{o}C

Σημείο βρασμού βενζενίου (σε P = 1 atm) T_b = 80,1^{o}C

Πυκνότητα βενζενίου ρ_b = 873,7kg/m^3, Πυκνότητα αέρα ρ_a = 1,21 kg/m^3

Θερμότητα καύσης βενζενίου Hc = 41832 kJ/kg

Ειδική θερμότητα υγρού βενζενίου c_{vl} = 1,19 kJ/kgK

Θερμότητα εξάτμισης βενζενίου Hv = 433kJ/kg

Συντελεστής τραχύτητας οπής = 0,6

Ατμοσφαιρική διαπερατότητα = 0,8

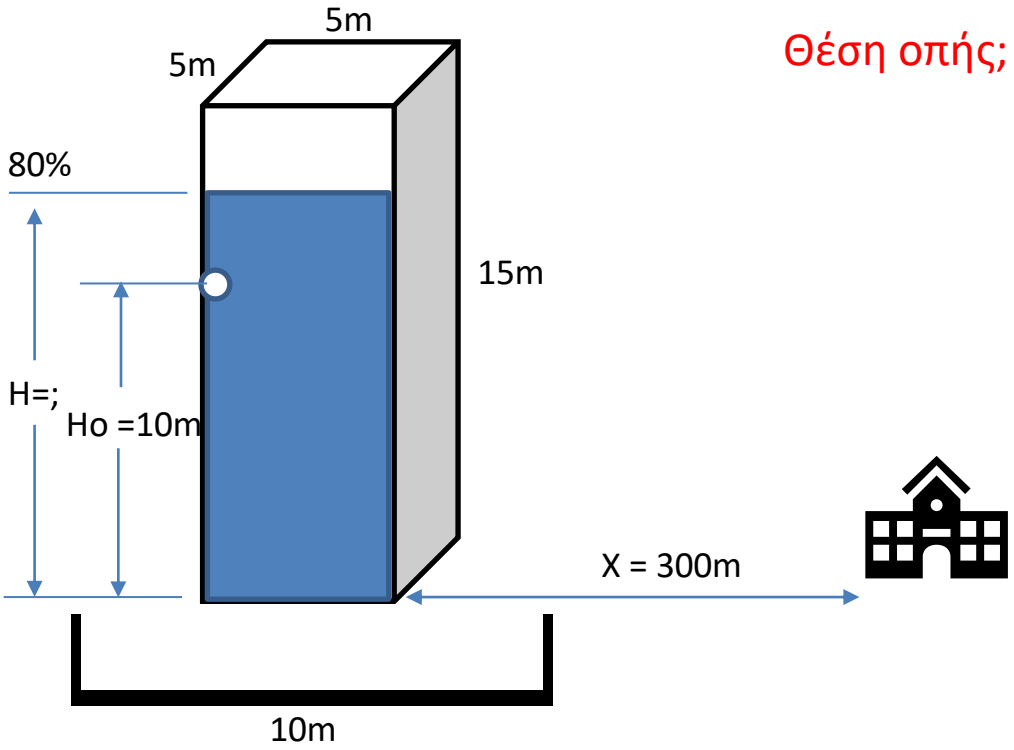
Ποσοστό εκπεμπόμενης ακτινοβολίας έκρηξης = 0,21

Ποσοστό εκπεμπόμενης ακτινοβολίας φλόγας = $(\pi \cdot d_p \cdot h_f + \pi \cdot d_p^2/4)/(4 \cdot \pi \cdot X^2)$

δ = 0,26 και γ = 0,825

Παραδείγματα Ασκήσεων

Άσκηση 8



Θέση οπής;

Αρχικός όγκος

$V_o = x \cdot y \cdot z = 5 \cdot 15 \cdot 5 = 375m^3$

Όγκος Βενζενίου

$V_\beta = 0,8 \cdot V_o = 0,8 \cdot 375 = 300m^3$

Ύψος στάθμης

$V_\beta = x \cdot H \cdot z \Rightarrow H = V_\beta/(x \cdot z)$

$H = 375 / (5 \cdot 5) = 12m$

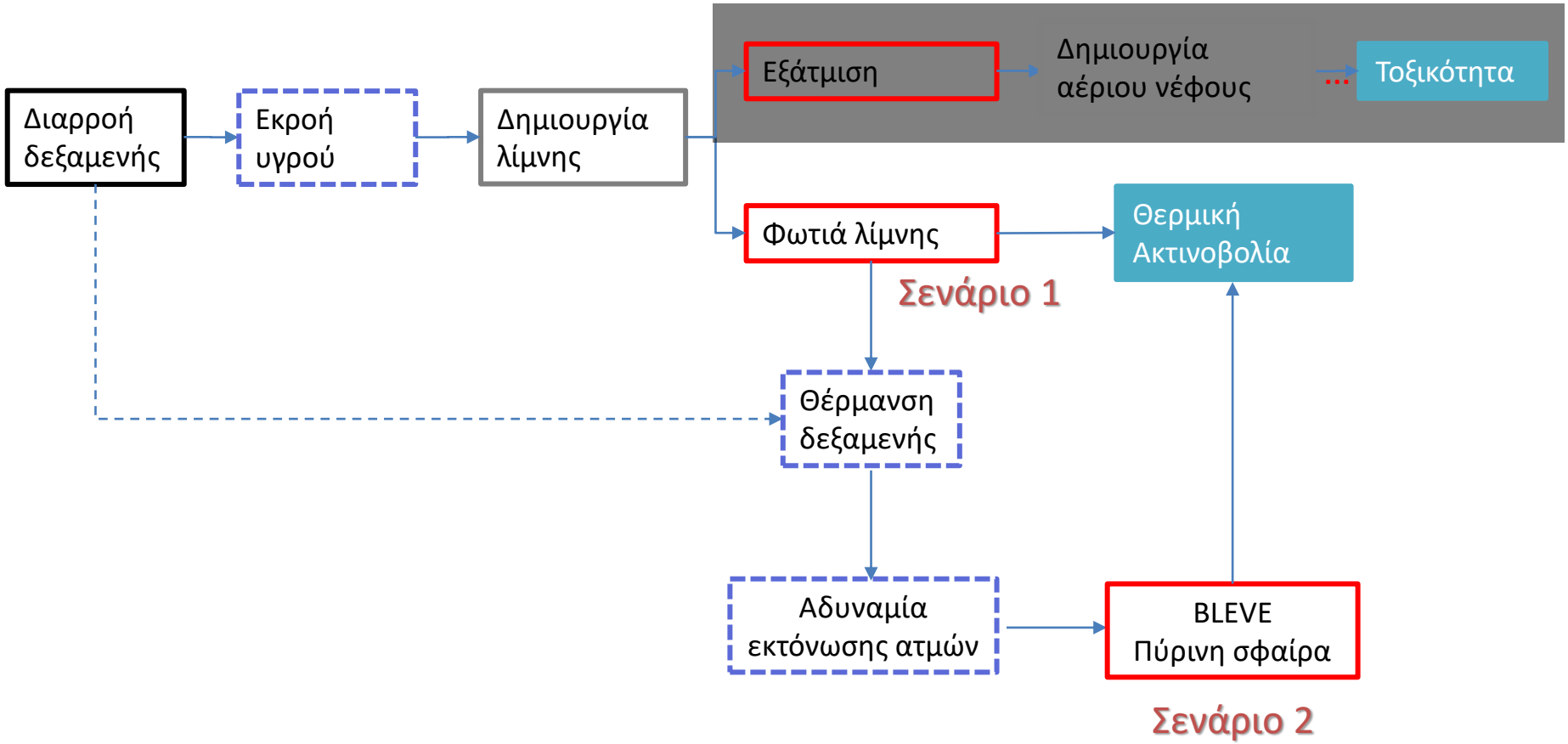
Ύψος οπής = 10m

Συνεπώς έχω εκροή υγρού

Παραδείγματα Ασκήσεων

Άσκηση 8

Event Tree Analysis



Παραδείγματα Ασκήσεων

Άσκηση 8

Σενάριο 1 – Φωτιά λίμνης

Βήμα 1ο: Υπολογισμός ρυθμού καύσης m΄΄

Έχω $T_b > T_a$ οπότε

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

$m'' = 0{,}083$ kg/m^{2}s

Βήμα 2ο: Υπολογισμός ισχύς ακτινοβολίας E

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

$E = 72{,}410$ kW/m^2

Παραδείγματα Ασκήσεων

Άσκηση 8

Σενάριο 1 – Φωτιά λίμνης

Βήμα 3ο: Υπολογισμός έντασης (ροής) θερμικής ακτινοβολίας q(x)

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

με $F = (\pi \cdot d_p \cdot h_f + \pi \cdot d_p^2/4)/(4 \cdot \pi \cdot X^2)$

Όπου:

h_f = ύψος φλόγας (m)

d_p = διάμετρος λίμνης (m)

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

h_f = 331,569 m

Οπότε: F = 0,009

$q(x) = 0,538\ kW/m^2$

Παραδείγματα Ασκήσεων

Άσκηση 8

Σενάριο 1 – Φωτιά λίμνης

Βήμα 4ο: Υπολογισμός δόσης θερμικής ακτινοβολίας (D)

Θεωρούμε το σχολείο ως ακίνητο παρατηρητή οπότε:

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

με t_{eff} = 40s (*σημείωση πίνακα 3 σελίδα 131 βιβλίου για τον ορισμό των ορίων των ζωνών*)

D = 17,483 TDU

Παραδείγματα Ασκήσεων

Άσκηση 8

Σενάριο 2 – BLEVE και δημιουργία πύρινης σφαίρας

Βήμα 1ο: Υπολογισμός μάζας που συμμετέχει στην πύρινη σφαίρα

«Θεωρείστε ότι οποιοδήποτε φαινόμενο θα συμβεί μισή ώρα μετά τη δημιουργία της οπής»

Συνεπώς την πρώτη μισή ώρα εκρέει υγρό βενζένιο από τη δεξαμενή. Πόσο;

$M_{εκροής}$ = ρυθμός εκροής μάζας · χρόνο εκροής

$$\dot{m}_u = C_D \cdot A_u \cdot \rho_p \left[2(p_h - p_a) \cdot \rho_p^{-1} + 2gh\right]^{1/2}$$

με $P_h = P_a$ και $h = H - Ho$

$Au = \pi \cdot d_o^2/4$

m_u = 2,321 kg/s

t = 0,5 · 3600 = 1800s

$M_{εκροής}$ = 4178,140 kg

Παραδοχή σταθερού ρυθμού εκροής

Παραδείγματα Ασκήσεων

Άσκηση 8

Σενάριο 2 – BLEVE και δημιουργία πύρινης σφαίρας

Βήμα 1ο: Υπολογισμός μάζας που συμμετέχει στην πύρινη σφαίρα

Αρχική μάζα βενζενίου $m_b = \rho_b \cdot V_b = 262110{,}000$ kg

Οπότε μετά από μισή ώρα εντός της δεξαμενής η μάζα του βενζενίου είναι:

$M_{βενζενίου} = m_b - M_{εκροής} = 257931{,}860$ kg

Θεωρούμε ότι η δεξαμενή εκρήγνυται αμέσως μετά από μισή ώρα οπότε όλη η $M_{βενζενίου}$ συμμετέχει στην πύρινη σφαίρα (χειρότερο σενάριο)

Παραδείγματα Ασκήσεων

Άσκηση 8

Σενάριο 2 – BLEVE και δημιουργία πύρινης σφαίρας

Βήμα 2ο: Υπολογισμός ακτίνας πύρινης σφαίρας

Ακτίνα σφαίρας: $r_f = 3{,}24 \cdot M_{βενζενίου}^{0{,}325}$

$r_f = 185{,}902$ m

Βήμα 3ο: Υπολογισμός διάρκειας πύρινης σφαίρας

Διάρκεια πύρινης σφαίρας: $t_f = 0{,}852 \cdot M_{βενζενίου}^{0{,}26}$

$t_f = 21{,}749$ s

Βήμα 4ο: Υπολογισμός όγκου μάζας στην πύρινη σφαίρα

Όγκος μάζας: $V_p = M_{βενζενίου} / \rho_b$

$V_p = 295{,}218$ m^3

Παραδείγματα Ασκήσεων

Άσκηση 8

Σενάριο 2 – BLEVE και δημιουργία πύρινης σφαίρας

Βήμα 5ο: Υπολογισμός μέγιστου ύψους κέντρου πύρινης σφαίρας

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

$z = 218{,}979$ m

Βήμα 6ο: Υπολογισμός ισχύς ακτινοβολίας πύρινης σφαίρας

Ισχύς ακτινοβολίας πύρινης σφαίρας: $E_L = Hc \cdot M_{βενζενίου}^{(1-δ)} / (4 \cdot π \cdot L^2 \cdot γ)$

με $L^2 = X^2 + z^2 = 137951{,}604$ m^2

Οπότε

$E_L = 295{,}551$ kW/m^2

Παραδείγματα Ασκήσεων

Άσκηση 8

Σενάριο 2 – BLEVE και δημιουργία πύρινης σφαίρας

Βήμα 7ο: Υπολογισμός έντασης (ροής) θερμικής ακτινοβολίας q(x)

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

$F = 0,21$

$q(x) = 49,652\ kW/m^2$

Βήμα 8ο: Υπολογισμός δόσης θερμικής ακτινοβολίας (D)

Θεωρούμε το σχολείο ως ακίνητο παρατηρητή οπότε:

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

με $t_{eff} = tf = 21,749\ s$ (*σημείωση πίνακα 3 σελίδα 131 βιβλίου για τον ορισμό των ορίων των ζωνών*)

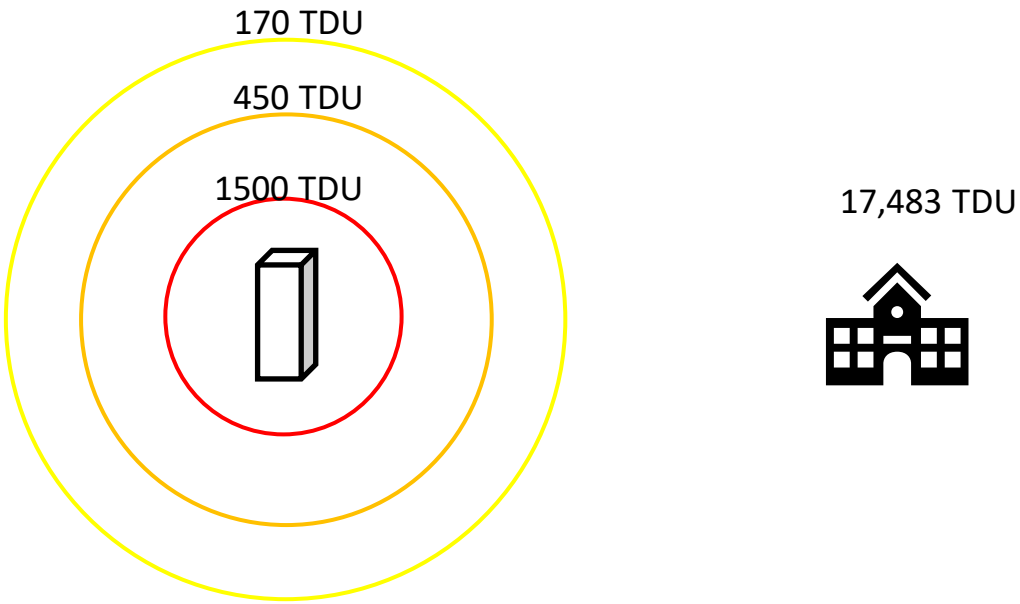
$D = 3969,041\ TDU$

Παραδείγματα Ασκήσεων

Άσκηση 8

Θέση Σχολείου

Σενάριο 1

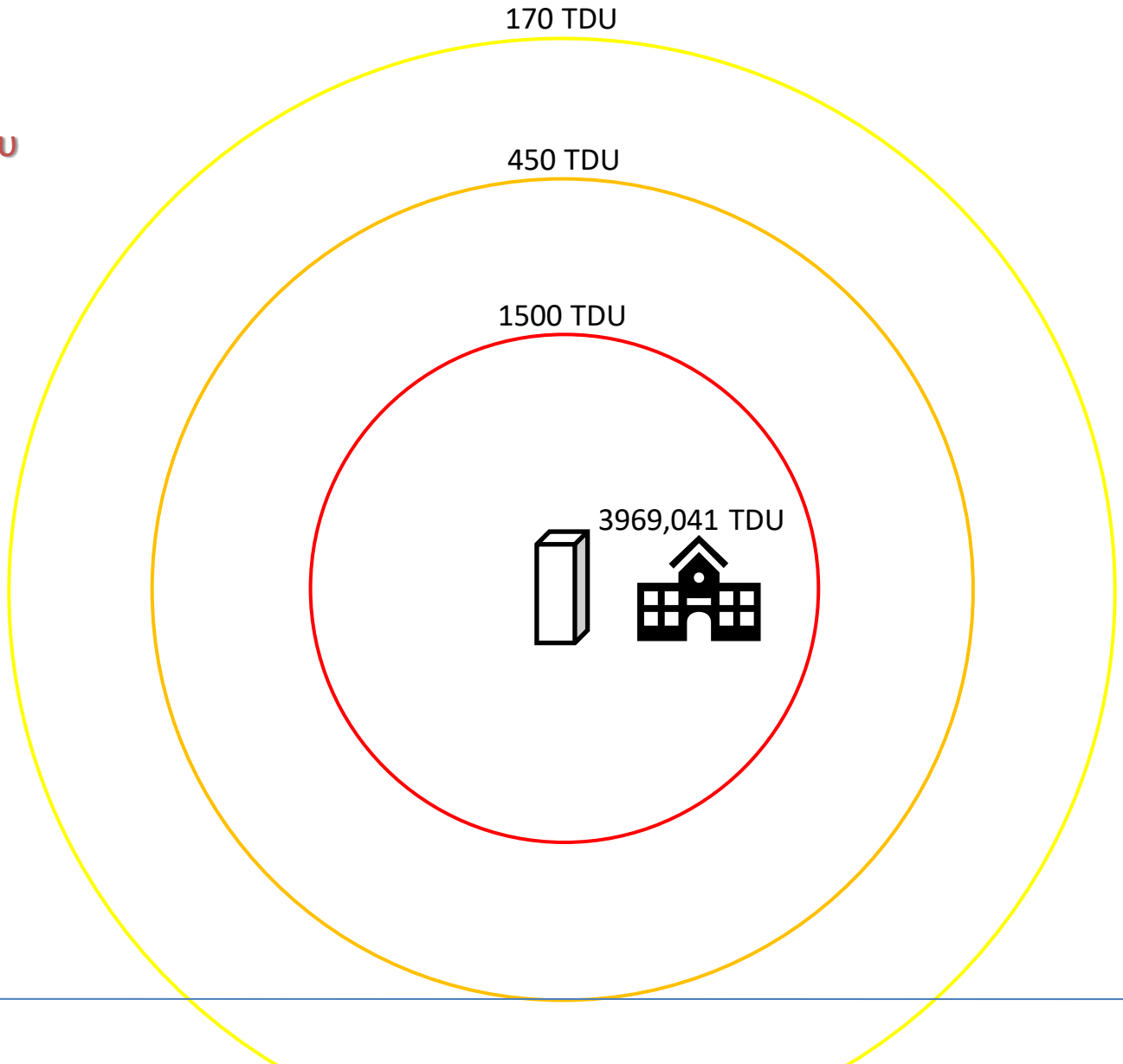


Παραδείγματα Ασκήσεων

Άσκηση 8

Θέση Σχολείου

Σενάριο 2



Παραδείγματα Ασκήσεων

Άσκηση 9

Προπάνιο είναι αποθηκευμένο σε δεξαμενή σε θερμοκρασία 25^{o}C και πίεση 5.01bar. Υπολογίστε τον ρυθμό εκροής προπανίου από κυκλική οπή διαμέτρου 10mm.

<u>Δίνονται:</u>

γ = 1,15

Συντελεστής τραχύτητας οπής 0,85

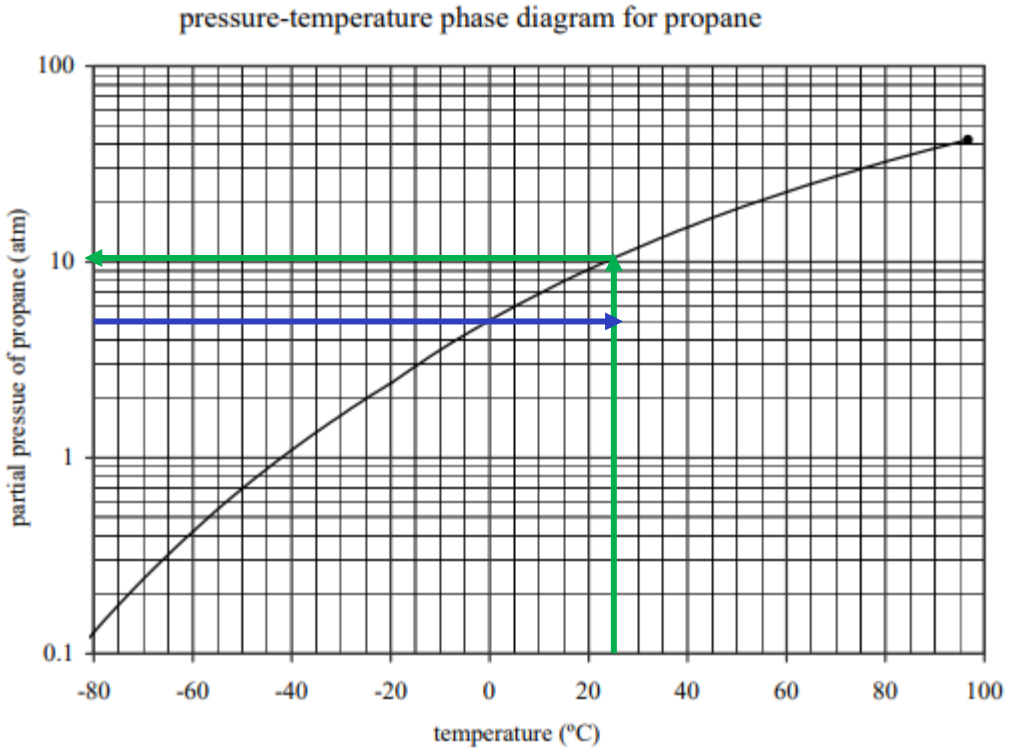
Μοριακό βάρος προπανίου 44,1 gr/mole

R: 0,082 atm lt/K/mole

Παραδείγματα Ασκήσεων

Άσκηση 9

Κατάσταση αποθήκευσης προπανίου



Συνεπώς έχω εκροή αερίου

from *Chemical Engineering Design and Analysis: An Introduction*
T. M. Duncan and J. A. Reimer, Cambridge University Press, 2nd ed., 2019.

Παραδείγματα Ασκήσεων

Άσκηση 9

Βήμα 1ο: Υπολογισμός είδους ροής (υποκρίσιμη, κρίσιμη ή υπερκρίσιμη)

$\gamma = 1,15$

$[(\gamma+1)/2]^{\gamma/(\gamma-1)} = 1,741$

$P_\delta / P_a = 4,946/1 = 4,946$

Οπότε

$P_\delta / P_a > [(\gamma+1)/2]^{\gamma/(\gamma-1)}$ υπερκρίσιμη ροή

Βήμα 2ο: Υπολογισμός Ρυθμού Εκροής

$$\dot{m}_u = C_D A_u \Psi_0 \left[p_0 \rho_0 \gamma \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}} \right]^{1/2}$$

Προσοχή πίεση σε Pa

Παραδείγματα Ασκήσεων

Άσκηση 9

Βήμα 2ο: Υπολογισμός Ρυθμού Εκροής

Συντελεστής τραχύτητας $C_D = 0,85$

Διαστάσεις οπής για τον υπολογισμό επιφάνειας $A_u = \pi \cdot d^2/4 = 7,854 \cdot 10^{-5}\ m^2$

Πυκνότητα αερίου $\rho_o =$; (θεωρούμε ιδανική συμπεριφορά)

$\rho_o = MB \cdot P / (R \cdot T) = 8,926\ kg/m^3$

Συντελεστής εκροής $\Psi_o = 1$

Οπότε:

$m_u = 0,090\ kg/s$