ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ

Ακ. Έτος 2020 - 2021

Ως επανάληψη …

✓ Διάγραμμα φάσεων

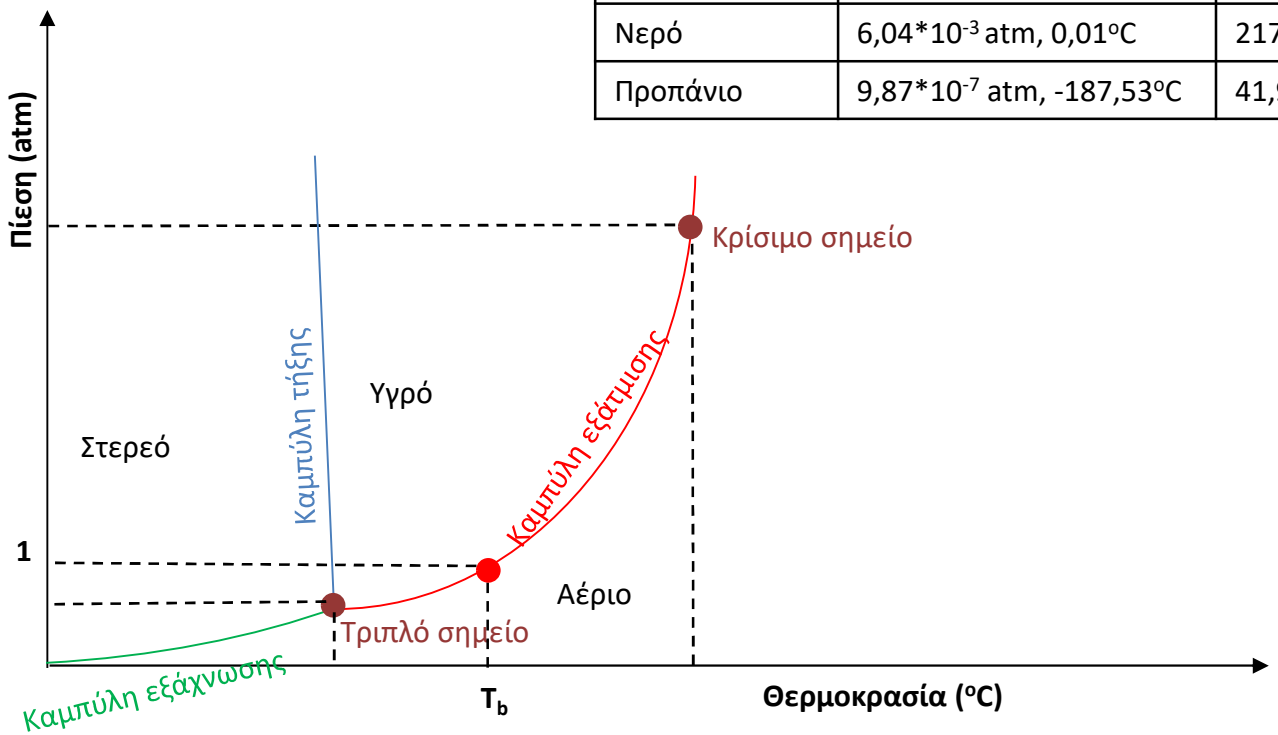
Γραφική παράσταση που δείχνει τις περιοχές σταθερότητας διαφόρων φάσεων ενός συστήματος (καθαρής ουσίας ή μίγματος) ως συνάρτηση διαφόρων χαρακτηριστικών παραμέτρων όπως θερμοκρασία, πίεση και η συγκέντρωση.

✓ Διάγραμμα φάσεων καθαρής ουσίας

- Διάγραμμα θερμοκρασίας – πίεσης
- Αέρια, Υγρή και Στερεή φάση
- Διαχωρισμός από τις αντίστοιχες καμπύλες ισορροπίας (εξάτμισης-συμπύκνωσης, πήξης-τήξης και εξάχνωσης-απόθεσης)
- Χαρακτηριστικές ιδιότητες: τριπλό και κρίσιμο σημείο

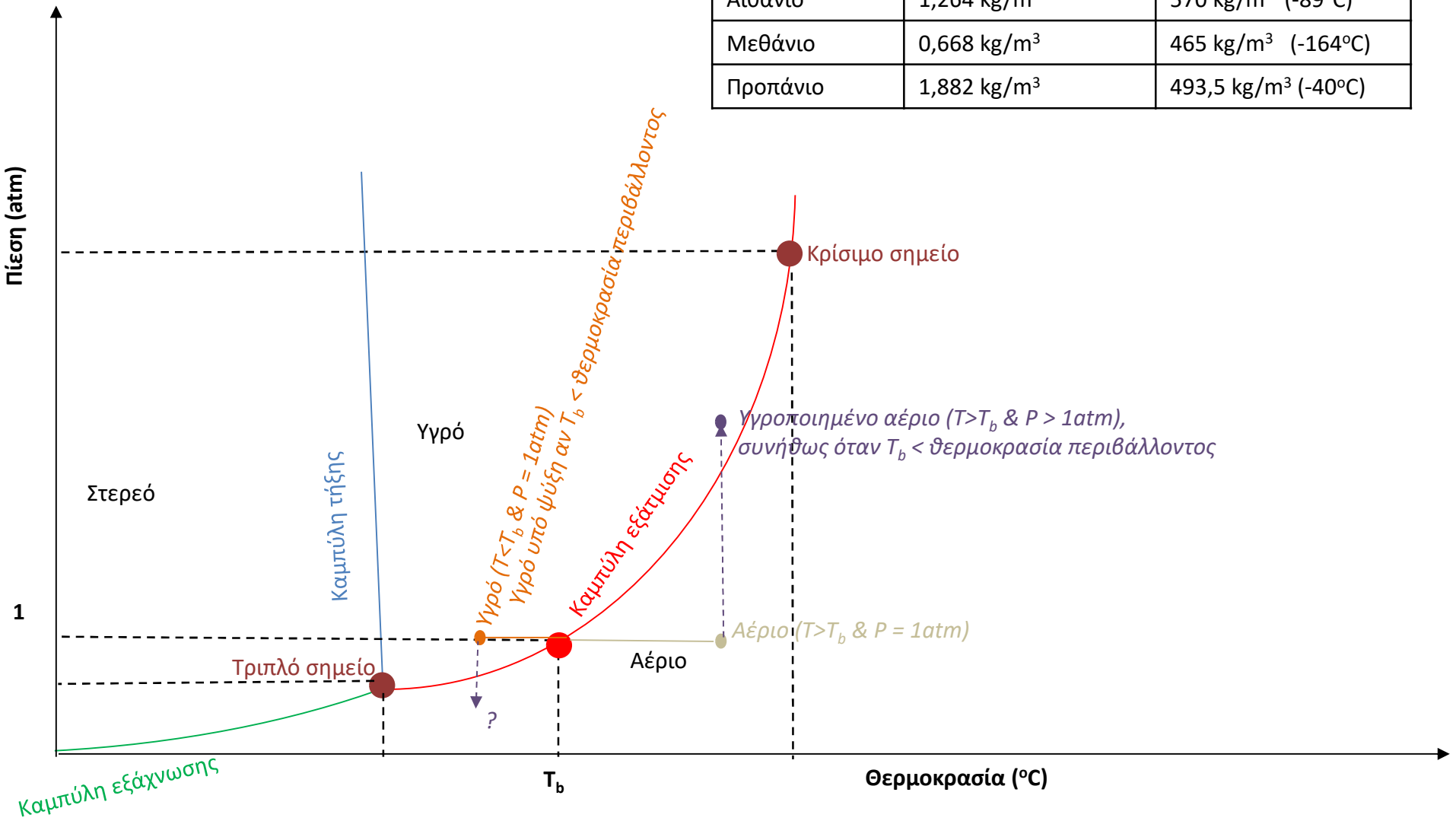
Ως επανάληψη …

Καθαρή ουσία	Τριπλό σημείο	Κρίσιμο σημείο	Θερμοκρασία βρασμού σε 1 atm
Αιθάνιο	$7,90*10^{-6}$ atm, -183.26ºC	48,20 atm, 32,48ºC	-88,00ºC
Ακετόνη	$2,30*10^{-5}$ atm, -94.70ºC	46,30 atm, 235,00ºC	56,08ºC
Αμμωνία	0.06 atm, -77.65ºC	112,08 atm, 132,41ºC	-35,50ºC
Βενζένιο	$4.74*10^{-02}$ atm, 5.60ºC	48,30 atm, 288,90ºC	80,40ºC
Μεθάνιο	0,12 atm, -182.46ºC	45,39 atm, -82,59ºC	-161,50ºC
Νερό	$6,04*10^{-3}$ atm, 0,01ºC	217,70 atm, 373,94ºC	100,00ºC
Προπάνιο	$9,87*10^{-7}$ atm, -187,53ºC	41,94 atm, 96,67ºC	-42,04ºC



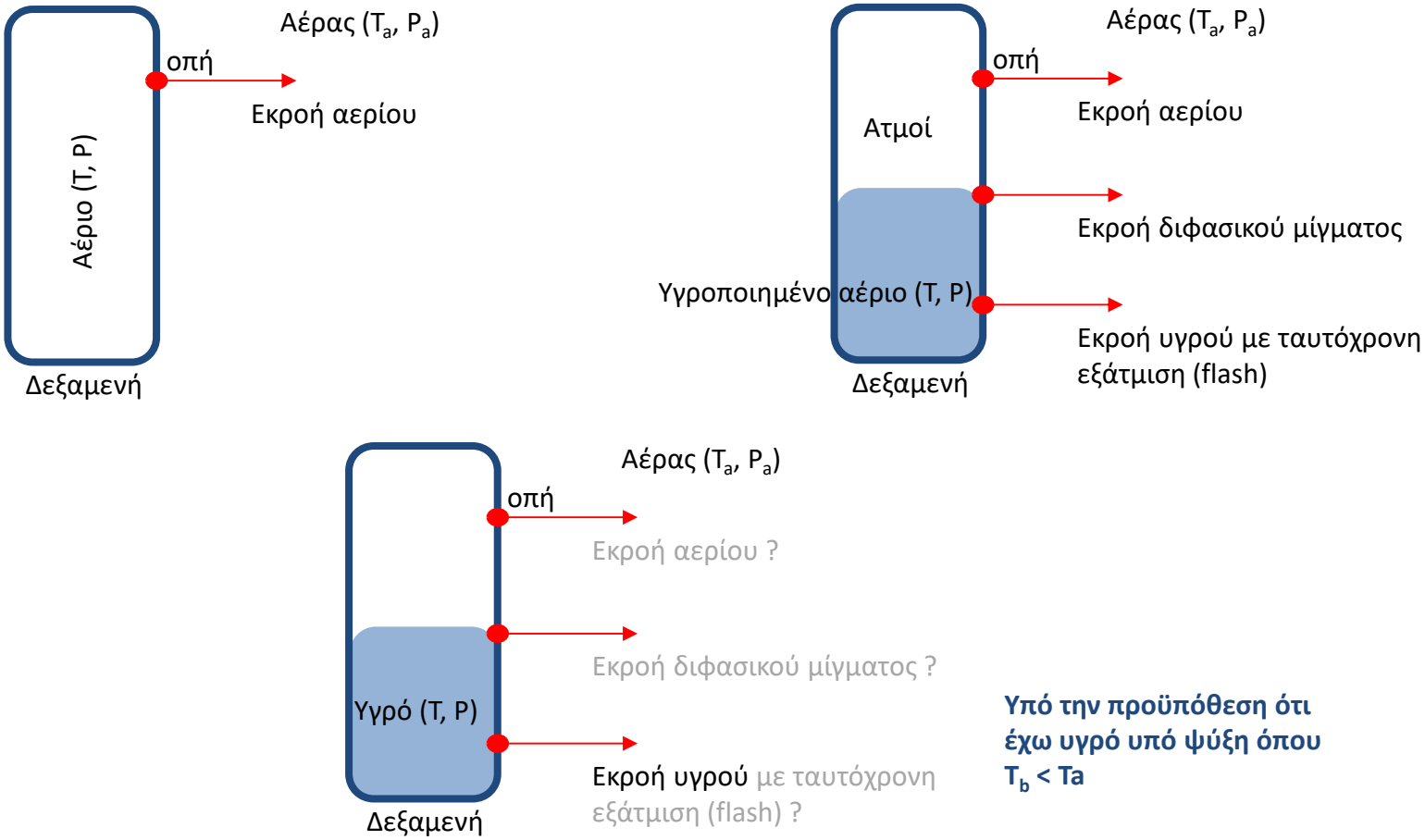
Ως επανάληψη …

Καθαρή ουσία	Πυκνότητα αερίου στους 20°C & 1 atm	Πυκνότητα υγρού σε ≈T_b & 1 atm
Αιθάνιο	1,264 kg/m^3	570 kg/m^3 (-89°C)
Μεθάνιο	0,668 kg/m^3	465 kg/m^3 (-164°C)
Προπάνιο	1,882 kg/m^3	493,5 kg/m^3 (-40°C)



Μαθηματική περιγραφή

Εκροές από Δεξαμενή



Υπό την προϋπόθεση ότι έχω υγρό υπό ψύξη όπου $T_b < Ta$

Μαθηματική περιγραφή

1. Εκροή Αερίου από Δεξαμενή

Ο Ρυθμός Εκροής εξαρτάται από:

- την **<u>πίεση</u>** στην δεξαμενή
- την **πυκνότητα** του αερίου
- το **<u>μέγεθος</u>** και τη **τραχύτητα** της οπής

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

όπου:

p_0 = *πίεση στο δοχείο {Pa}*

ρ_0 = *πυκνότητα αερίου {kg/m³}*

γ = *Cp/Cv {-}*

Au = *εμβαδόν διατομής του ανοίγματος εκροής*

C_D = *συντελεστής που εκφράζει τη μορφή (τραχύτητα) της επιφάνειας διατομής του ανοίγματος του σωλήνα*

Μαθηματική περιγραφή

1. Εκροή Αερίου από Δεξαμενή

όπου:

Ψ_o = συντελεστής εκροής {-}.

Εξαρτάται από το είδος της ροής (υποκρίσιμη, κρίσιμη ή υπερκρίσιμη)

Κριτήριο αποτελεί η παρακάτω σχέση:

$$p_o/p_a \ (>,<,=) \ [(\gamma+1)/2]^{\gamma/(\gamma-1)}$$

Συγκεκριμένα:

- *Υποκρίσιμη ροή, ισχύει: $p_o/p_a < [(\gamma+1)/2]^{\gamma/(\gamma-1)}$*

$$\Psi_0 = \left\{ \frac{2}{\gamma-1} \left(\frac{\gamma+1}{2} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}} \left(\frac{p_a}{p_0} \right)^{\frac{2}{\gamma}} \left[1 - \left(\frac{p_a}{p_0} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right] \right\}^{1/2}$$

- *Κρίσιμη ή Υπερκρίσιμη ροή, ισχύει: $p_o/p_a \geq [(\gamma+1)/2]^{\gamma/(\gamma-1)}$ ====== >> $\Psi_o = 1$*

Μαθηματική περιγραφή

1. Εκροή Αερίου από Δεξαμενή

Για ιδανικά αέρια ισχύει:

$\rho_g = M \cdot p / (R \cdot T)$

Ενώ για κορεσμένους ατμούς ισχύει:

$P = [M \cdot p / (R \cdot T)] \cdot [1 - K_3 \cdot (M \cdot p / (R \cdot T))^{K4}]^{-1}$

Όπου:

$K_3 = 0.01 – 0.03$ *και* $K_4 = 0.7 – 0.9$

Αν ισχύει ότι Vg = ct (θεωρώντας ότι η οποιαδήποτε μεταβολή συμβαίνει αδιαβατικά) τότε:

Ρυθμός εκροής ↓ καθώς ο χρόνος ↑ (μάζα και πίεση εντός του δοχείου μειώνονται σταδιακά)

Μαθηματική περιγραφή

2. Εκροή Αερίου από Δεξαμενή (Free jet)

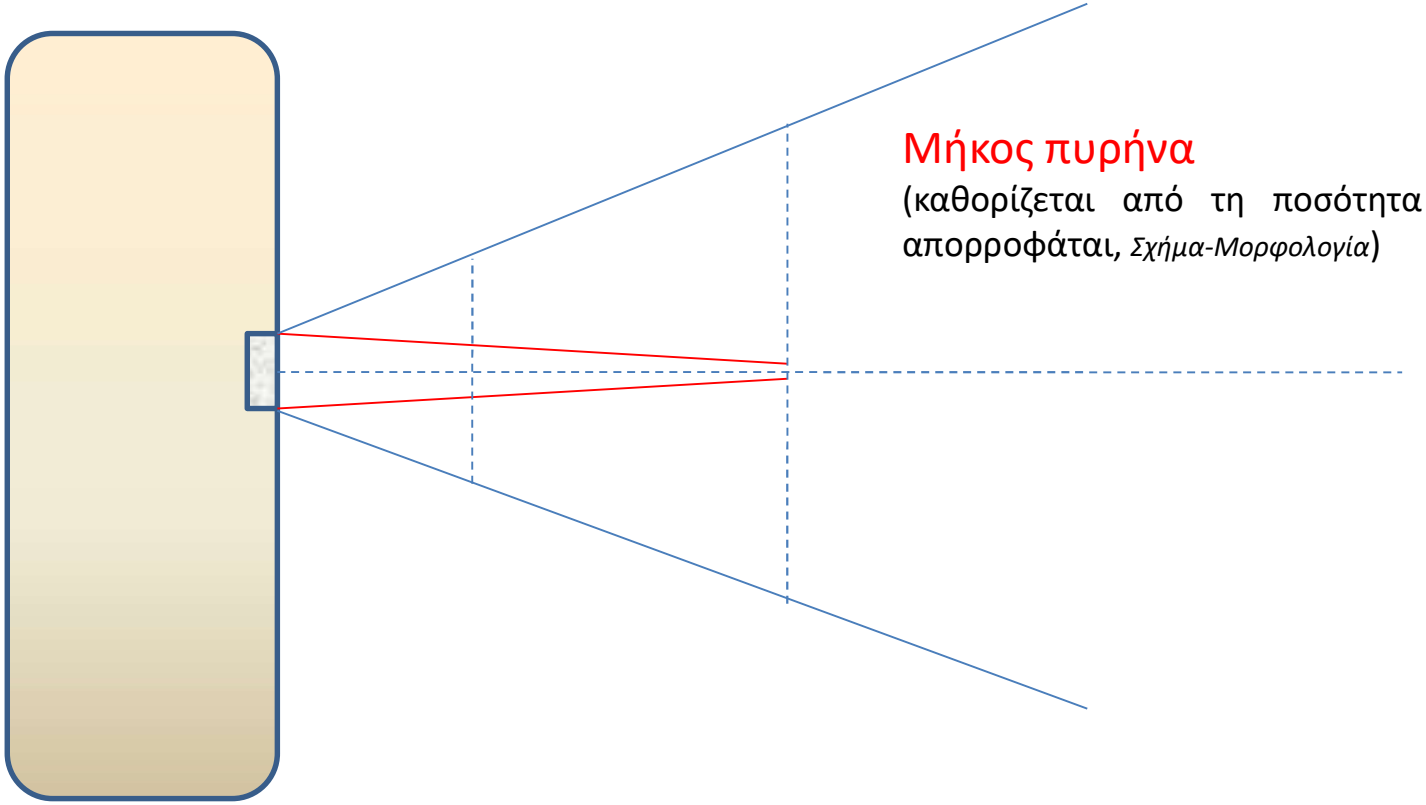
Όταν ένα αέριο εκρέει με μεγάλη ταχύτητα από ένα άνοιγμα είναι πιθανόν να σχηματιστεί μία ελεύθερη δέσμη (**free jet**) αερίου.

Η δημιουργία και η μορφή ενός free jet εξαρτάται από διάφορους παράγοντες. Ενδεικτικά αναφέρονται:

- η πυκνότητα του αερίου ως προς την πυκνότητα του αέρα (ουδέτερο, ελαφρύ, βαρύ free jet)
- η πίεση στο σημείο εκροής ως προς την ατμοσφαιρική πίεση (κρίσιμη, υπό – κρίσιμη ροή)
- η θερμοκρασία του αερίου ως προς την θερμοκρασία του αέρα
- η κατεύθυνση του αέρα ως προς την κατεύθυνση εκροής
- το σχήμα του ανοίγματος
- η μορφολογία της περιοχής γύρω από την ανάπτυξη του free jet
- η ροή (στρωτή ή τυρβώδης) του free jet (Re = 25000)

Μαθηματική περιγραφή

2. Εκροή Αερίου από Δεξαμενή (Free jet)



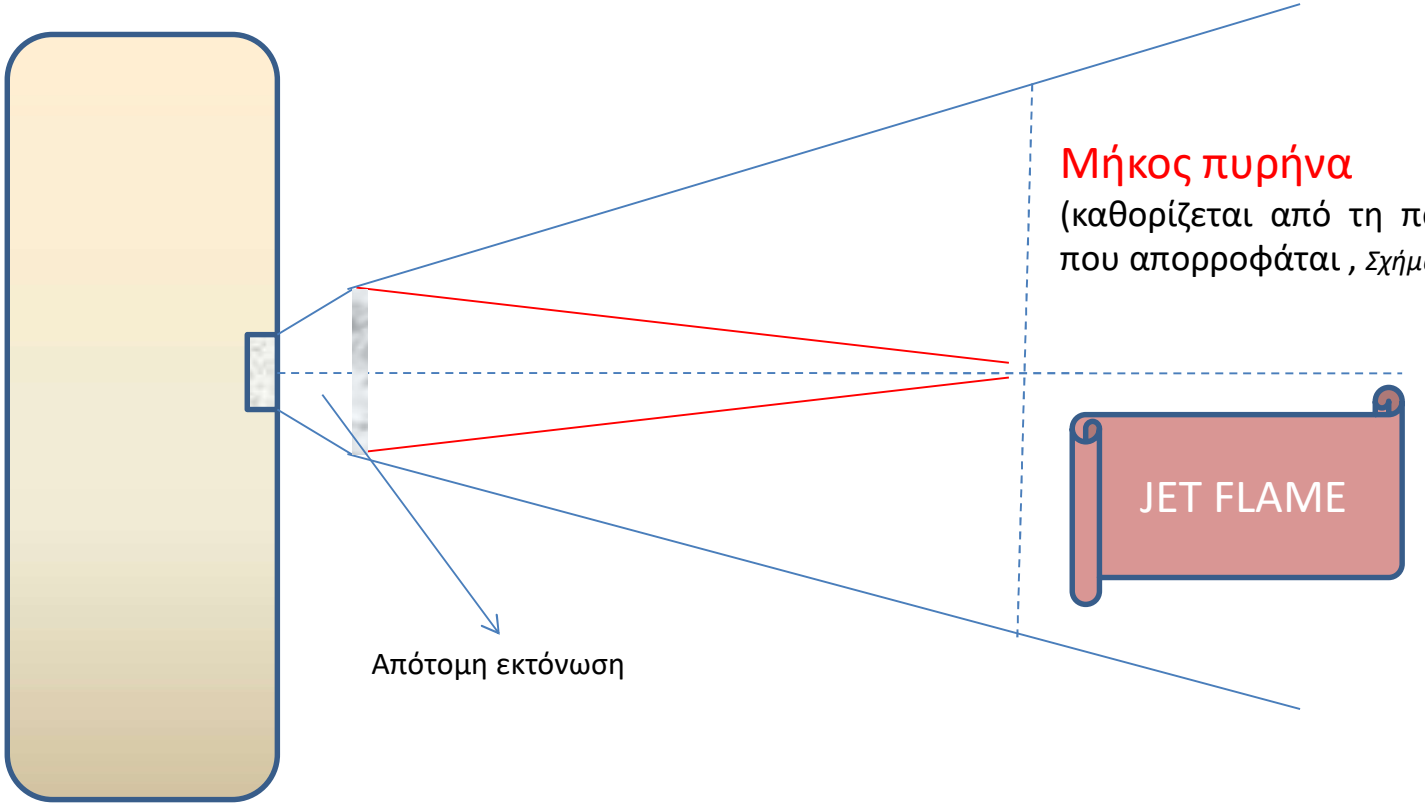
Μήκος πυρήνα
(καθορίζεται από τη ποσότητα του αέρα που απορροφάται, *Σχήμα-Μορφολογία*)

Δεξαμενή με άνοιγμα διαστάσεων d
Πίεση στο τέλος του ανοίγματος εκροής Po = 1atm

→ Υποκρίσιμο/κρίσιμο τυρβώδες free jet

Μαθηματική περιγραφή

2. Εκροή Αερίου από Δεξαμενή (Free jet)



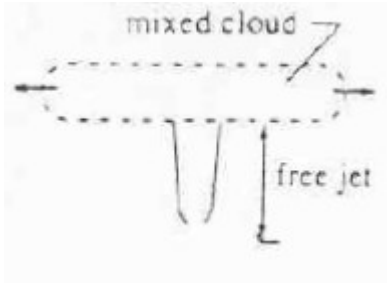
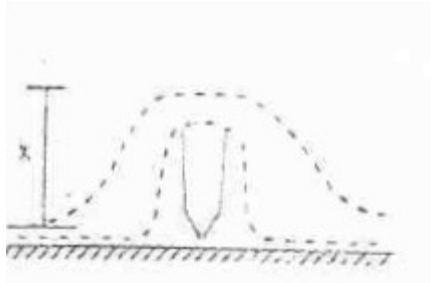
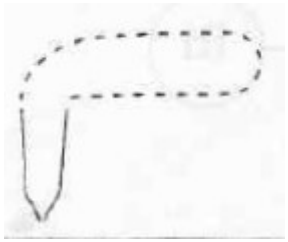
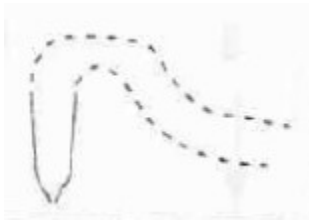
Δεξαμενή με άνοιγμα διαστάσεων d
Πίεση στο τέλος του ανοίγματος εκροής Po > 1atm

→ Υπερκρίσιμο τυρβώδες free jet

Μαθηματική περιγραφή

2. Εκροή Αερίου από Δεξαμενή (Free jet)

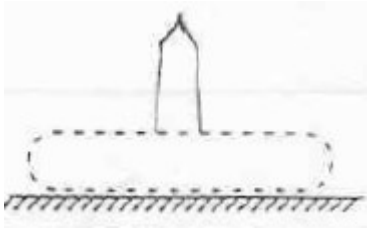
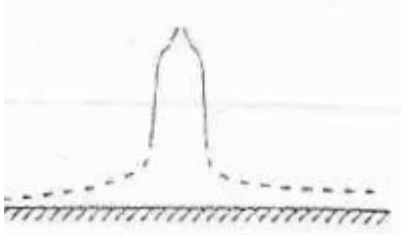
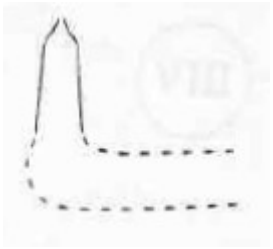
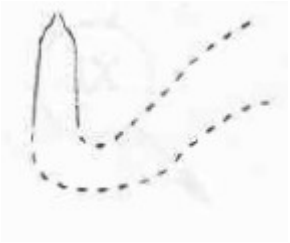
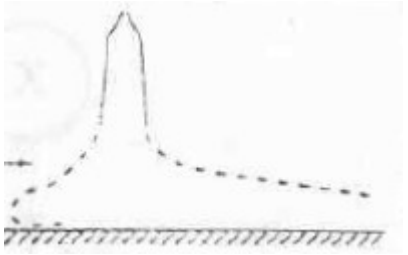
Κάθετη Εκροή αερίου – Free jet

Δ/νση Free jet	Ταχύτητα ανέμου	Ουδέτερο	Ελαφρύ	βαρύ
↑	u =0			
↑ →	u ≠0			

Μαθηματική περιγραφή

2. Εκροή Αερίου από Δεξαμενή (Free jet)

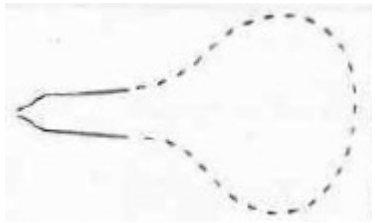
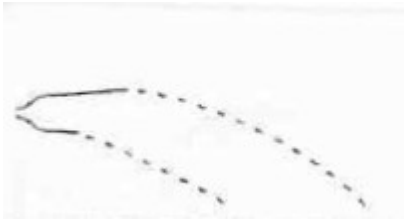
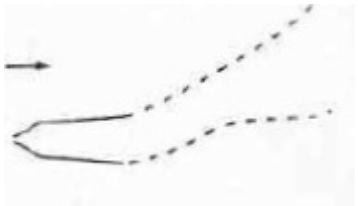
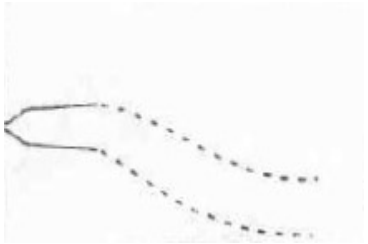
Κάθετη Εκροή αερίου – Free jet

Δ/νση Free jet	Ταχύτητα ανέμου	Ουδέτερο	Ελαφρύ	βαρύ
↓	u =0			
↓ →	u ≠0			

Μαθηματική περιγραφή

2. Εκροή Αερίου από Δεξαμενή (Free jet)

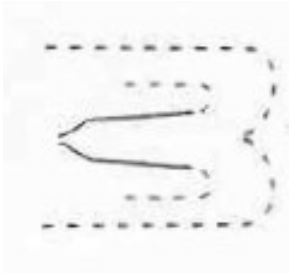
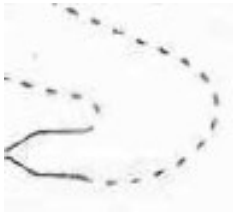
Οριζόντια Εκροή αερίου – Free jet

Δ/νση Free jet	Ταχύτητα ανέμου	Ουδέτερο	Ελαφρύ	βαρύ
→	u =0			
→	u ≠0 →			

Μαθηματική περιγραφή

2. Εκροή Αερίου από Δεξαμενή (Free jet)

Οριζόντια Εκροή αερίου – Free jet

Δ/νση Free jet	Ταχύτητα ανέμου	Ουδέτερο	Ελαφρύ	βαρύ
→	u ≠0 ←			

Μαθηματική περιγραφή

3. Εκροή Υγρού από Δεξαμενή

Η ταχύτητα με την οποία ρέει το υγρό από το άνοιγμα δίνεται από την εξίσωση Bernoulli:

$$p_0 - p_a = \frac{1}{2}\rho_l\left(u^2 - u_0^2\right)$$

όπου:
p_0 = πίεση πριν την εμφάνιση του ανοίγματος {Pa}
p_α= ατμοσφαιρική πίεση {Pa}
ρ_l = πυκνότητα υγρού {kg m^{-3}}
u = ταχύτητα της ροής του υγρού {m s^{-1}}
u_0 = ταχύτητα του υγρού πριν την εμφάνιση του ανοίγματος {m s^{-1}}

Μαθηματική περιγραφή

3. Εκροή Υγρού από Δεξαμενή

Η αρχική πίεση υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$p_0 = \rho_l \cdot g \cdot h + p_h$$

όπου:

p_h = πίεση στη δεξαμενή, στην επιφάνεια του υγρού {Pa}

h = υψομετρική διαφορά μεταξύ της στάθμης του υγρού και του ανοίγματος εκροής {m}

g = συντελεστής βαρύτητας {m s^{-1}}

Θεωρώντας ότι η u_0 είναι αμελητέα τότε η ταχύτητα εκροής δίνεται από τη σχέση:

$$u = \left[2(p_h - p_a)\rho_l^{-1} + 2gh\right]^{1/2}$$

Ο ρυθμός εκροής στο άνοιγμα δίνεται από τη σχέση:

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

Έχοντας πάντα υπόψη ότι η πίεση επιφανείας του υγρού είναι μεγαλύτερη ή ίση με την πίεση κορεσμού του υγρού.

Μαθηματική περιγραφή

3. Εκροή Υγρού από Δεξαμενή

Περίπτωση (α): $p_h = p_a$ με $p_v \leq p_a$

Διατήρηση ατμοσφαιρική πίεσης εντός της δεξαμενής (εισροή ατμοσφαιρικού αέρα ή δεξαμενή πλωτής οροφής) και ελάττωση του h. Οπότε:

$$\dot{m}_u = C_D \cdot A_u \cdot \rho_l \cdot (2gh)^{1/2}$$

Περίπτωση (β): $p_h = p_v$ με $p_v \geq p_a$

Ελάττωση h και σταδιακή μεταβολή της πίεσης κορεσμού καθώς θεωρώντας ότι η εξάτμιση του υγρού εντός της δεξαμενής είναι αδιαβατική μειώνεται η θερμοκρασία στη δεξαμενή και άρα και η πίεση κορεσμού του ατμού

Μαθηματική περιγραφή

4. Εκροή υγρών-ατμού σε ισορροπία (κατάσταση κορεσμού) από Δεξαμενή

Εκροή αερίου (ατμού) από δεξαμενή

Εφόσον η μικρή οπή βρίσκεται στο χώρο του αερίου (πολύ υψηλότερα από τη στάθμη του υγρού) τότε έχω εκροή μόνο αερίου και μπορώ να εφαρμόσω τις εξισώσεις που έχουμε ήδη δείξει για εκροή αερίου από δεξαμενή.

Εκροή υγρού από δεξαμενή

Εφόσον η μικρή οπή βρίσκεται στο χώρο του υγρού (πολύ χαμηλότερα από τη στάθμη του υγρού) τότε έχω εκροή υγρού και μπορώ να εφαρμόσω τις εξισώσεις που έχουμε ήδη δείξει για εκροή υγρού από δεξαμενή (θεωρώντας την όλη διαδικασία αδιαβατική).

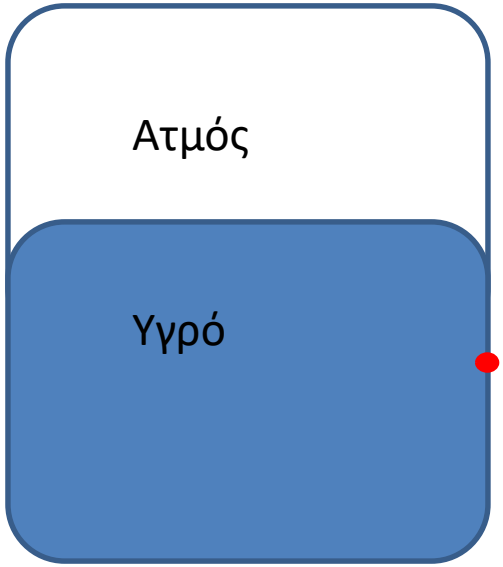
Εκροή υγρού-ατμού από δεξαμενή

Εφόσον η μικρή οπή βρίσκεται πάνω από τη στάθμη του υγρού αλλά πλησίον αυτής είναι πολύ πιθανόν μαζί με τον ατμό να απομακρυνθούν και υδροσταγονίδια (φαινόμενο σαμπάνιας).
Αυτό οφείλεται στην έναρξη βρασμού του υγρού κατά τη διαρροή του αερίου.
Παροχή ενέργειας για εξάτμιση από το ίδιο το υγρό με συνέπεια να ελαττώνεται η θερμοκρασία του και άρα και η πίεση κορεσμού του υγρού.

Μαθηματική περιγραφή

5. Εκροή υγροποιημένου αερίου από Δεξαμενή

1. Αρχική Εξάτμιση (flash – evaporation)



Δεξαμενή υγροποιημένου αερίου ($T_\beta<T_\alpha$).

Οπότε αποθήκευση σε T_α όταν $P_{απ} >> P_\alpha$

Εκροή:

- Γρήγορη ελάττωση της πίεσης έως ότου $P_{απ} = P_\alpha$
- Αδιαβατική εκτόνωση υγρού
- Αφού $T_\beta<T_\alpha$ ένα μέρος του υγρού θερμαίνεται και και εξατμίζεται

Μαθηματική περιγραφή

5. Εκροή υγροποιημένου αερίου από Δεξαμενή

1. Αρχική Εξάτμιση (flash – evaporation)

Θεωρώντας ότι η θερμοκρασία αποθήκευσης είναι μακριά από τη κρίσιμη θερμοκρασία του υγροποιημένου αερίου (σύνηθες όταν η θερμοκρασία αποθήκευσης είναι η ατμοσφαιρική) τότε:

$$W_{verd} = W_{vl,0} \exp\left[\frac{c_{vl}}{h_v}(T_b - T_{vl})\right]$$

Αρχικά εξατμιζόμενη ποσότητα υγροποιημένου αερίου (kg)

όπου:

$W_{vl,0}$: αρχικό βάρος υγρού {kg}

c_{vl}: ειδική θερμότητα του υγρού {J/(kgK)}

h_v: θερμότητα εξάτμισης υγρού {J/Kg}

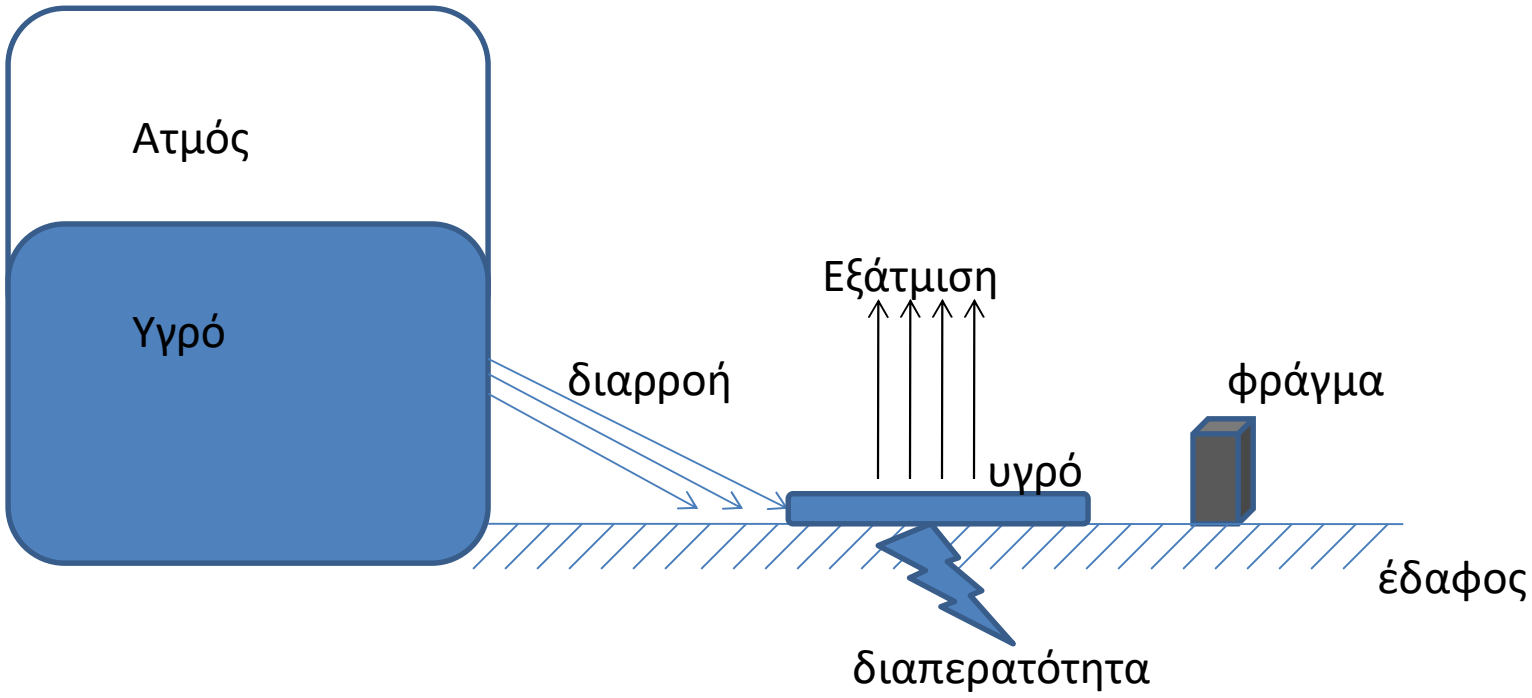
Tb: θερμοκρασία βρασμού {K}

T_{vl}: θερμοκρασία αποθήκευσης {K}

Μαθηματική περιγραφή

5. Εκροή υγροποιημένου αερίου από Δεξαμενή

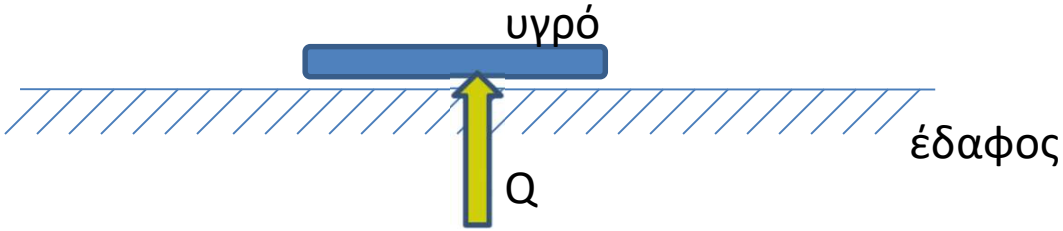
2. Εξάτμιση στο έδαφος



Μαθηματική περιγραφή

5. Εκροή υγροποιημένου αερίου από Δεξαμενή

2α. Εξάτμιση σε μη διαπερατό έδαφος



Θεωρώντας την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας αμελητέα τότε ισχύει:

$$\dot{m}''_s = et^{-1/2}$$

Ρυθμός εξάτμισης ανά μονάδα επιφανείας

Μαθηματική περιγραφή

5. Εκροή υγροποιημένου αερίου από Δεξαμενή

2α. Εξάτμιση σε μη διαπερατό έδαφος

με: $$e = \frac{\lambda_s (T_s - T_k)}{h_v (\pi \alpha_s)^{1/2}}$$

Όπου:

a_s	θερμοκρασιακός συντελεστής του εδάφους	$\{m^2 s^{-1}\}$
λ_s	συντελεστής αγωγής υπεδάφους	$\{W\ m^{-1} K^{-1}\}$
h_v	θερμότητα εξάτμισης του υγρού	$\{J\ kg^{-1}\}$
T_s	θερμοκρασία του εδάφους	{K}
T_k	σημείο ζέσεως του υγρού	{K}

Το ποσό της μεταφερόμενης θερμότητας από το έδαφος στο υγρό δίνεται από την εξίσωση:

$$q_s = \frac{\lambda_s (T_s - T_k)}{(\pi \alpha_s t)^{1/2}} = e h_v t^{-1/2}$$

Μαθηματική περιγραφή

5. Εκροή υγροποιημένου αερίου από Δεξαμενή

Καθορισμένα όρια

Είναι σύνηθες γύρω από μία δεξαμενή να υπάρχουν φυσικά ή τεχνητά φράγματα για τον περιορισμό της εξάπλωσης του διαρρέοντος υγρού. Τότε ισχύει:

$$\dot{m}'_{pool} = \dot{m}''_{s} A_b = eA_b t^{-\frac{1}{2}}$$ Ρυθμός εξάτμισης υγρού

Όπου A_b το εμβαδόν της επιφάνειας που ορίζουν τα φράγματα, m^2

Παραδοχή:
Στιγμιαία απελευθέρωση υγρού (χρόνος σχηματισμού της λίμνης αμελητέος σε σχέση με το χρόνο εξάτμισης)

$$m_{vl} = 2eA_b t^{\frac{1}{2}}$$ Ποσό εξατμιζόμενου υγρού σε χρόνο t

Μαθηματική περιγραφή

5. Εκροή υγροποιημένου αερίου από Δεξαμενή

Μη Καθορισμένα όρια

Όταν δεν υπάρχουν φυσικά ή τεχνητά φράγματα λαμβάνεται υπόψη η διασπορά του υγρού στο έδαφος. Αυτή εξαρτάται από:

- Κατεύθυνση διασποράς
- Σχήμα λίμνης υγρού
- Πάχος λίμνης υγρού
- Ρυθμός απελευθέρωσης του υγρού (στιγμιαίος ή συνεχής)

POOL FIRE

Σημειώνεται:

- ✓ Η διασπορά του υγρού παρουσιάζει γραμμική εξάρτιση με τον χρόνο
- ✓ Παράλληλα με την διασπορά συμβαίνει και εξάτμιση του υγρού.
- ✓ Όταν η λίμνη αποκτήσει το ελάχιστο δυνατό πάχος η διασπορά σταματά.
- ✓ Περαιτέρω εξάτμιση σημαίνει συρρίκνωση της λίμνης.

Μαθηματική περιγραφή

5. Εκροή υγροποιημένου αερίου από Δεξαμενή

2β. Εξάτμιση σε διαπερατό έδαφος

Λαμβάνεται υπόψη:

- Η διείσδυση του υγρού στο έδαφος
- Η ψύξη του υγρού από το νερό που υπάρχει στο έδαφος
  - Στεγνό υπέδαφος ($x_w \approx 0$)
  - Υγρό υπέδαφος ($x_w > 8\%$)

Στεγνό υπέδαφος

$$\dot{m}''_s = e t^{-1/2}$$

Ρυθμός εξάτμισης ανά μονάδα επιφανείας

με: $$e = \frac{8\lambda_s (T_s - T_k)}{h_v (\pi \alpha_s)^{1/2}}$$

Μαθηματική περιγραφή

5. Εκροή υγροποιημένου αερίου από Δεξαμενή

Υγρό υπέδαφος

$$\dot{m}''_s = et^{-1/2}$$

Ρυθμός εξάτμισης ανά μονάδα επιφανείας

με: $$e = \frac{CR\lambda_s (T_s - T_k)}{h_v (\pi\alpha_s)^{1/2}}$$

Ισχύει:

$$CR = 1 + 1.4x_w - 3x_w^2$$ Διορθωτικός συντελεστής για την ψύξη του υγρού στο έδαφος

$$\lambda_s = \left(\beta_1^{10} \log x_w + \beta_2\right) 10^{\beta_3}$$ Συντελεστής αγωγής υπεδάφους

$\beta_1 = 0.14 - 0.05 j_k$, $\beta_2 = 0.33 - 0.12 j_k$, $\beta_3 = 6\ 10^{-4} \rho_{s,d}$

j_k: κλάσμα όγκου χώματος στο έδαφος

- *Άμμος (σωματίδια εδάφους με διάμετρο 0,02 – 2 mm), $j_k = 0$*
- *Χώμα (σωματίδια εδάφους με διάμετρο < 0,002 mm), $j_k = 1$*

$P_{s,d}$: πυκνότητα ξηρού εδάφους kg/m^3

Μαθηματική περιγραφή

5. Εκροή υγροποιημένου αερίου από Δεξαμενή

2γ. Εξάτμιση σε άλλες περιπτώσεις

- Αμμοχάλικο (πιο χαλαρή διαστρωμάτωση)

  Εξαρτάται από τον αριθμό των χαλικιών

- Νερό

  ……

Μαθηματική περιγραφή

6. Εκροή Αερίου από σωλήνα

Ο ρυθμός εκροής από σωλήνα για κρίσιμη ροή δίνεται από τη σχέση:

$$\dot{m}=A_1(p_0\rho_0\gamma)^{1/2}\left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}}$$

Σημειώνεται ότι:

- *για μη κρίσιμη ροή πρέπει να περιληφθεί και ο συντελεστής εκροής (Ψο)*
- *δεν έχει υπολογιστεί η επίδραση της τριβής η οποία παίζει ρόλο σε σωλήνες μεγάλου μήκους*
- *μη σταθερή ροή καθώς η «αποσυμπίεση» μεταφέρεται προς το εσωτερικό του σωλήνα.*
- *αν ο σωλήνας είναι συνδεδεμένος με την δεξαμενή η «αποσυμπίεση» φθάνει στο σημείο σύνδεσης (σε αυτή την περίπτωση αν ο σωλήνας έχει μικρό μήκος ο ρυθμός εκροής θεωρείται ίδιος με τον ρυθμό εκροής από παρόμοιας διαμέτρου οπής πάνω στη δεξαμενή)*

Μαθηματική περιγραφή

7. Εκροή Υγρού από σωλήνα

Ο ρυθμός εκροής από σωλήνα δίνεται από τη σχέση:

$$\dot{m}_u = A_j \cdot \rho_l \cdot u$$

Με την ταχύτητα εκροής να δίνεται από τον τύπο:

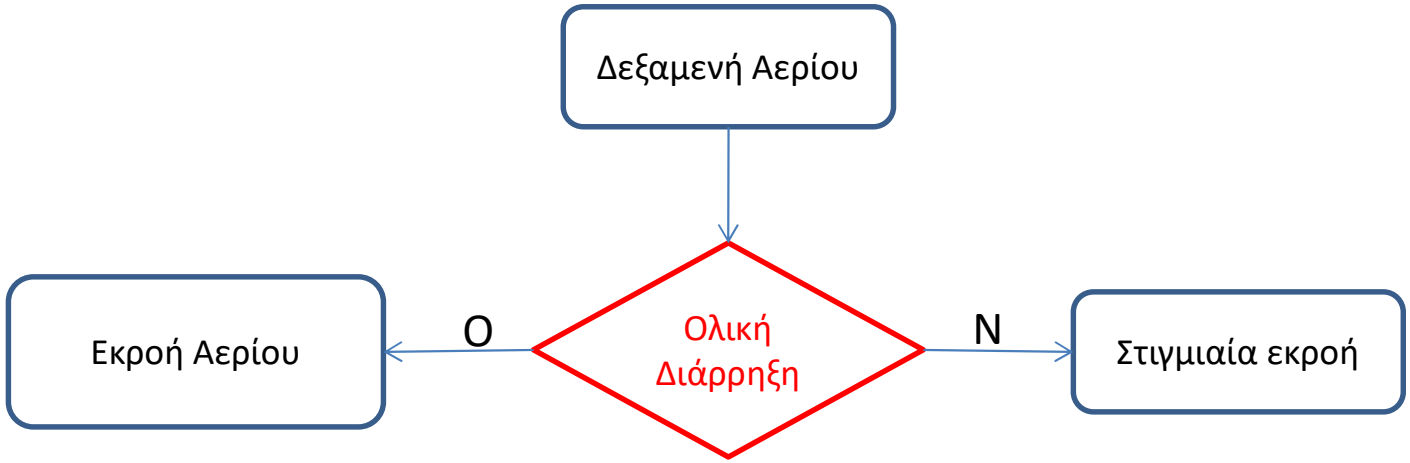
$$u = \left[2(p_h - p_a)\rho_l^{-1} + 2gh\right]^{1/2}\left[1 + \frac{4fl}{d}\right]^{-1/2}$$

όπου:
f = ο παράγων τριβής (συντελεστής Fanning)
l = μήκος σωλήνα {m}
d = διάμετρος σωλήνα {m}

Σε σχετικά μικρό μήκος σωλήνα και χωρίς την ύπαρξη αντλιών η εκροή μπορεί να υπολογιστεί από τις εξισώσεις εκροής υγρού σε δεξαμενή.

Διαγραμματικά

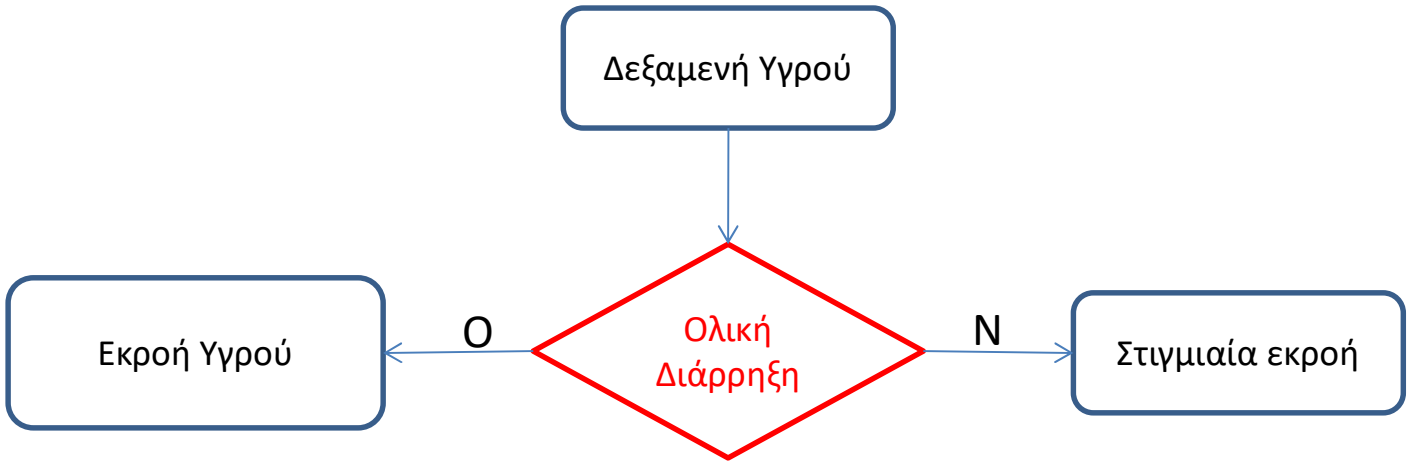
Συνοψίζοντας



Ρυθμός εκροής = f (ΔΡ και μορφολογία οπής)

Διαγραμματικά

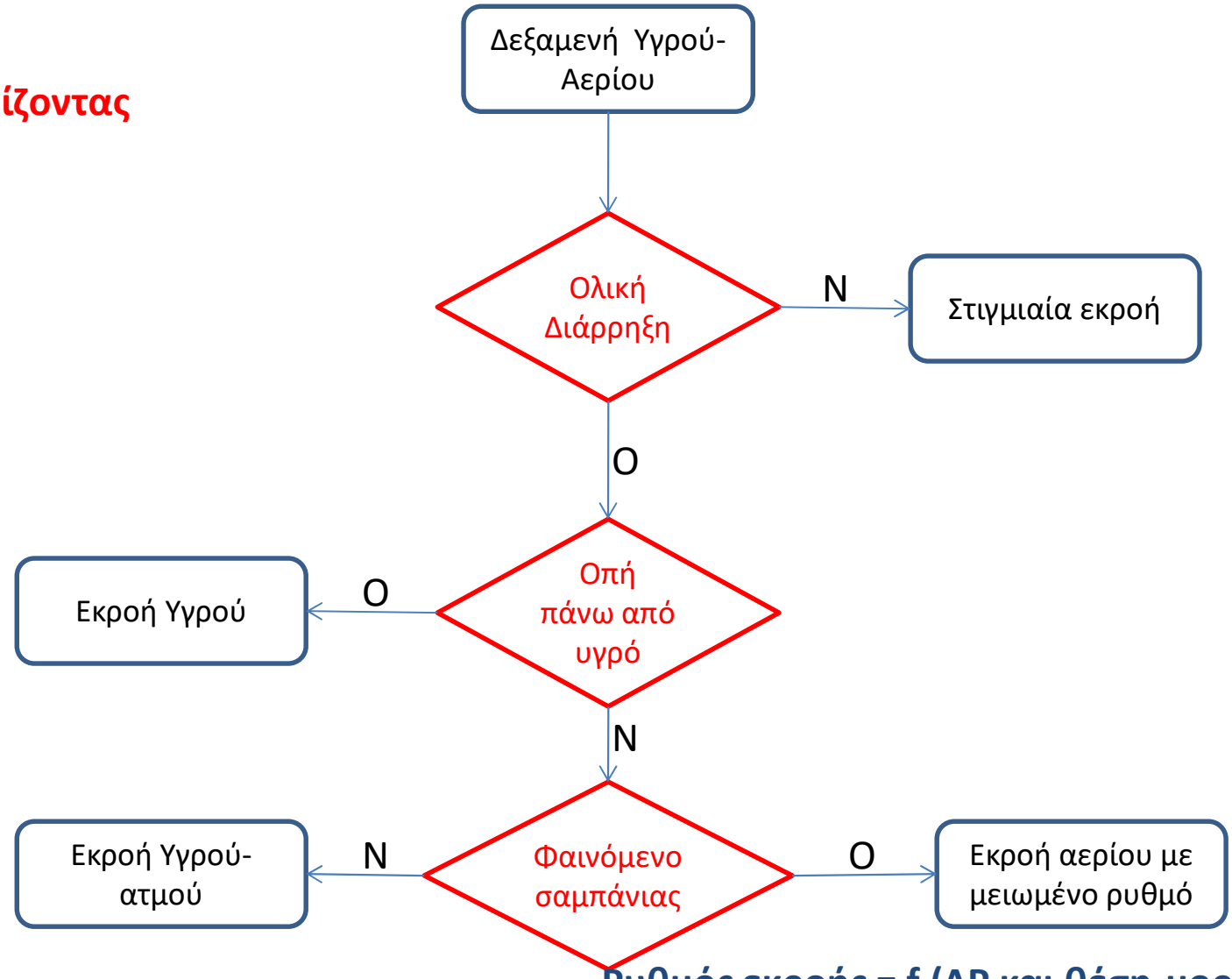
Συνοψίζοντας



Ρυθμός εκροής = f (ΔΡ και μορφολογία οπής)

Διαγραμματικά

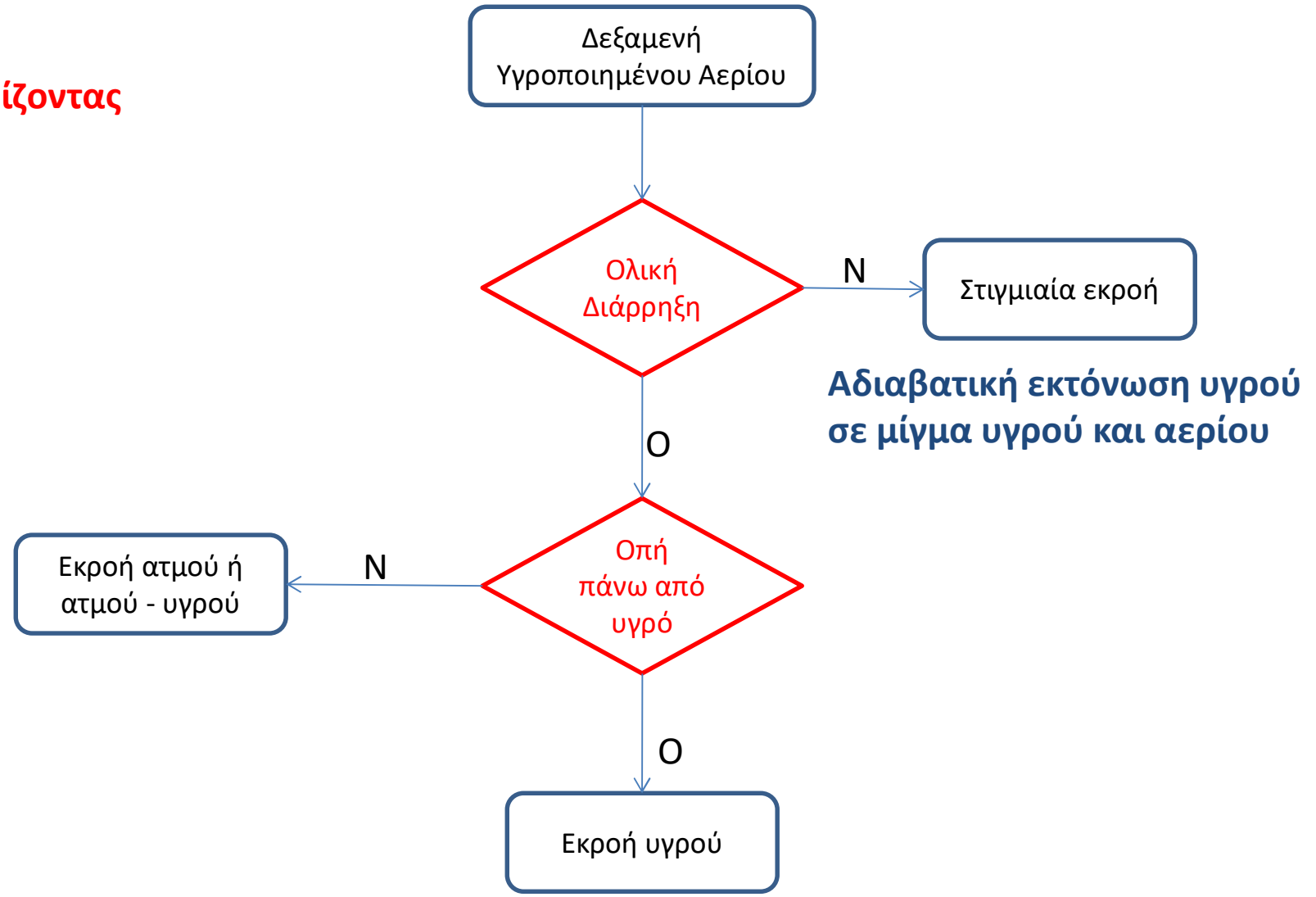
Συνοψίζοντας



Ρυθμός εκροής = f (ΔP και θέση-μορφολογία οπής)

Διαγραμματικά

Συνοψίζοντας



Ρυθμός εκροής = f (ΔΡ και θέση-μορφολογία οπής)

Ανάλυση Επιπτώσεων

Δεξαμενή Αερίου με $T_b < T_a$ σε $P = P_a$ και $T = T_a$

Κατάσταση	Θέση οπής	Συνέπειες	Δημιουργία	Επιπτώσεις
Αέριο	Χώρος αερίων	Εκροή αερίου	Αέριο νέφος	Τοξικότητα
			Φωτιά αέριου νέφους	Θερμική ακτινοβολία - Τοξικότητα λόγω καύσης
			Έκρηξη αέριου νέφους	Ωστικό κύμα
		Free jet (εκροή αερίου με μεγάλη ταχύτητα)	Γλώσσα Φωτιάς	Θερμική ακτινοβολία - Τοξικότητα λόγω καύσης

Ανάλυση Επιπτώσεων

Δεξαμενή Υγρού με $T_b > T_a$ σε $P = P_a$ και $T = T_a$

Κατάσταση	Θέση οπής	Συνέπειες	Δημιουργία	Επιπτώσεις
Υγρό	Χώρος υγρού	Εκροή υγρού	Λίμνης υγρού	Τοξικότητα λόγω εξάτμισης - Δημιουργία εύφλεκτου αέριου νέφους - Δημιουργία εκρηκτικού αέριου νέφους

Ανάλυση Επιπτώσεων

Δεξαμενή Υγρού με $T_b > T_a$ σε $P = P_a$ και $T = T_a$

Κατάσταση	Θέση οπής	Συνέπειες	Δημιουργία	Επιπτώσεις
Υγρό	Χώρος υγρού	Εκροή υγρού	Φωτιά λίμνης	Θερμική ακτινοβολία - Τοξικότητα λόγω καύσης - Έκρηξη Δεξαμενής
			Έκρηξη Δεξαμενής	Θερμική ακτινοβολία - Τοξικότητα λόγω καύσης - Θραύσματα - Ωστικό κύμα

Ανάλυση Επιπτώσεων

Υγροποιημένο Αέριο με $T_b < T_a$ σε $P > P_a$ και $T = T_a$

Κατάσταση	Θέση οπής	Συνέπειες	Δημιουργία	Επιπτώσεις
Υγρό	Χώρος αερίων	Εκροή αερίου	Αέριο νέφος	Τοξικότητα
			Φωτιά αέριου νέφους	Θερμική ακτινοβολία - Τοξικότητα λόγω καύσης
			Έκρηξη αέριου νέφους	Ωστικό κύμα
		Free jet (εκροή αερίου με μεγάλη ταχύτητα)	Γλώσσα Φωτιάς	Θερμική ακτινοβολία - Τοξικότητα λόγω καύσης - Έκρηξη δεξαμενής

Ανάλυση Επιπτώσεων

Υγροποιημένο Αέριο με $T_b < T_a$ σε $P > P_a$ και $T = T_a$

Κατάσταση	Θέση οπής	Συνέπειες	Δημιουργία	Επιπτώσεις
Υγρό	Χώρος αερίων	Εκροή αερίου	Έκρηξη Δεξαμενής	Θερμική ακτινοβολία - Τοξικότητα λόγω καύσης - Θραύσματα - Ωστικό κύμα

Ανάλυση Επιπτώσεων

Υγροποιημένο Αέριο με $T_b < T_a$ σε $P = P_a$ και $T < T_b$

Κατάσταση	Θέση οπής	Συνέπειες	Δημιουργία	Επιπτώσεις
Υγρό	Χώρος υγρού	Εκροή υγρού	Λίμνης υγρού	Τοξικότητα λόγω εξάτμισης - Δημιουργία εύφλεκτου αέριου νέφους - Δημιουργία εκρηκτικού αέριου νέφους
			Φωτιά λίμνης	Θερμική ακτινοβολία - Τοξικότητα λόγω καύσης - Έκρηξη Δεξαμενής

Ανάλυση Επιπτώσεων

Υγροποιημένο Αέριο με $T_b < T_a$ σε $P = P_a$ και $T < T_b$

Κατάσταση	Θέση οπής	Συνέπειες	Δημιουργία	Επιπτώσεις
Υγρό	Χώρος υγρού	Εκροή υγρού	Έκρηξη Δεξαμενής	Θερμική ακτινοβολία - Τοξικότητα λόγω καύσης - Θραύσματα - Ωστικό κύμα

Παραδείγματα Ασκήσεων

Άσκηση 1

Δεξαμενή αποθήκευσης με όγκο $10m^3$. Αποθηκεύουμε σε αυτή προπάνιο σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (T_o = 10°C). Η πίεση της αέριας φάσης είναι περίπου 8bar. Στην αέρια φάση δημιουργείται στο τοίχωμα της δεξαμενής οπή κυκλικής διαμέτρου 10cm. Από αυτή πραγματοποιείται κάθετη εκροή αερίου. Ελέγξτε αν σχηματίζεται τυρβώδες free jet.

Δεδομένα:

MB = 44,096 gr/mol

T_b = 231 K

C_p = 1,67 kJ/kgK

C_v = 1,48 kJ/kgK

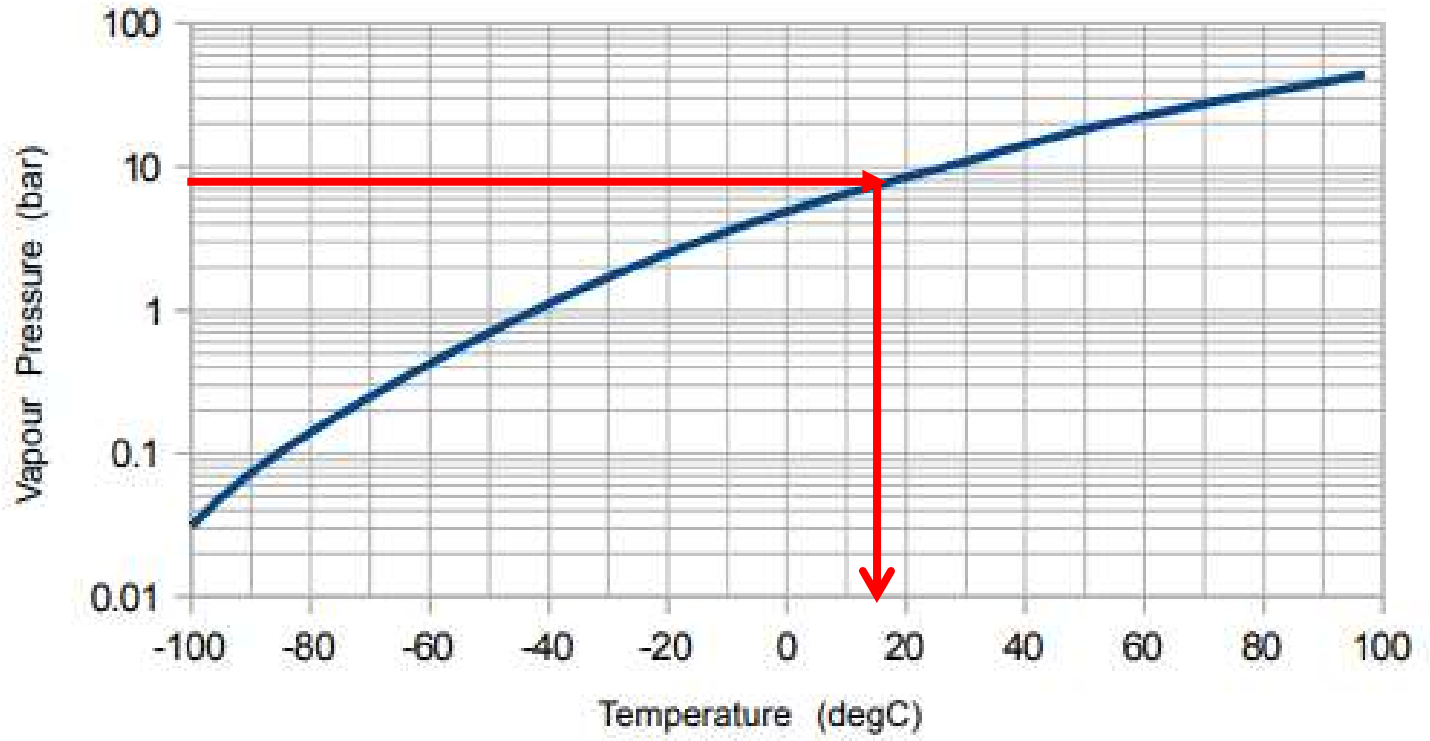
$\mu = 7{,}74 * 10^{-6}$ kg/(m·s)

C_D = 0,6

Παραδείγματα Ασκήσεων

Άσκηση 1

1. Εκτίμηση φαινομένου.



Συνεπώς μιλάμε για υγροποιημένο προπάνιο εντός της δεξαμενής.

Κάθετη εκροή στο χώρο της αέριας φάσης οπότε υποθέτουμε εκροή αερίου

Παραδείγματα Ασκήσεων

Άσκηση 1

2. Βήματα επίλυσης

Βήμα 1ο: Έλεγχος είδους ροής

- Πίεση αποθήκευσης p_o = 8 bar = 7,897 atm
- p_a = 1atm
- p_o/p_a = 7,897 (>1.9pa)

Ακόμα ισχύει:

- $\gamma = c_p/c_v$ = 1.128
- $(\gamma+1)/2$ = 1,064 και $\gamma/(\gamma-1)$ = 8,789
- $[(\gamma+1)/2]^{\gamma/(\gamma-1)}$ = 1,728 (< p_o/p_a)

Άρα έχω υπερκρίσιμη ροή

Ψο = 1

Παραδείγματα Ασκήσεων

Άσκηση 1

2. Βήματα επίλυσης

Βήμα 2ο: Υπολογισμός αρχικού ρυθμού εκροής

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

- επιφάνεια οπής: $A_u = (\pi \cdot d^2)/4 = 7{,}854 \cdot 10^{-3}\ m^2$
- Θεωρώντας ότι έχουμε συμπεριφορά ιδανικού αερίου η πυκνότητα ρ_o υπολογίζεται από καταστατική εξίσωση

  $\rho_o = (MB \cdot p_o)/(R \cdot T_o) = 14{,}790\ kg/m^3$

  ($R = 0{,}0832\ atmL/(molK)$, $T_o = 273+10 = 283K$)

  Προσοχή p_o σε Pa άρα

  $p_o = 8\ bar = 7{,}897\ atm = 7{,}897 \cdot 10^5\ Pa$

  Ακόμα ισχύει:
- $2/(\gamma+1) = 0{,}940$ και $(\gamma+1)/(\gamma-1) = 16{,}579$

Παραδείγματα Ασκήσεων

Άσκηση 1

2. Βήματα επίλυσης

Βήμα 3ο: Έλεγχος δημιουργίας free jet

Στο άνοιγμα ισχύει:

Ογκομετρική παροχή = επιφάνεια εκροής x ταχύτητα εκροής

Ξέρω όμως ότι:

ογκομετρική παροχή = μαζική παροχή / πυκνότητα

Επιπλέον λόγω τραχύτητας υπάρχει και ο συντελεστής C_D

Άρα η ταχύτητα αρχικής εκροής δίνεται από τον τύπο:

$$u_o = \dot{m}_u / (C_D \cdot A_u \cdot \rho_{g,o})$$

Όπου $\rho_{g,o}$ η πυκνότητα του αερίου στο σημείο εξόδου $= \rho_o \cdot [2/(\gamma+1)]^{1/(\gamma-1)} = 9{,}11\ kg/m^3$

$$u_o = 237{,}943 m/s$$

Παραδείγματα Ασκήσεων

Άσκηση 1

2. Βήματα επίλυσης

Βήμα 4ο: Έλεγχος τυρβώδους free jet

Υπολογισμός αριθμού Reynolds:

$Re = (\rho_{g,o} \cdot u_o \cdot D) / \mu$

Όπου:

D ισοδύναμη διάμετρος οπής = 0.077 m

$Re = 2{,}17 \cdot 10^7$

Τυρβώδες, Re>> 25000