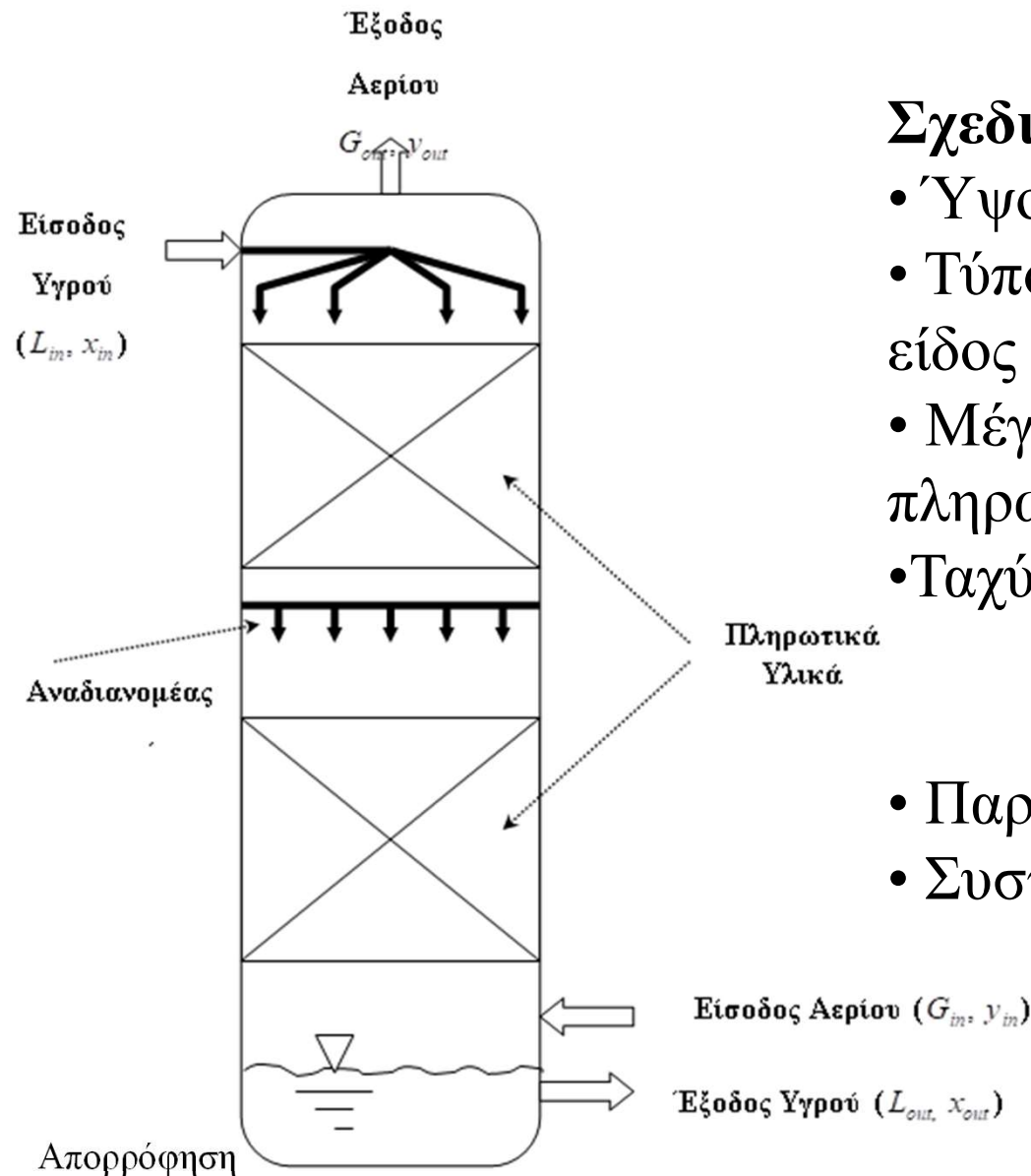


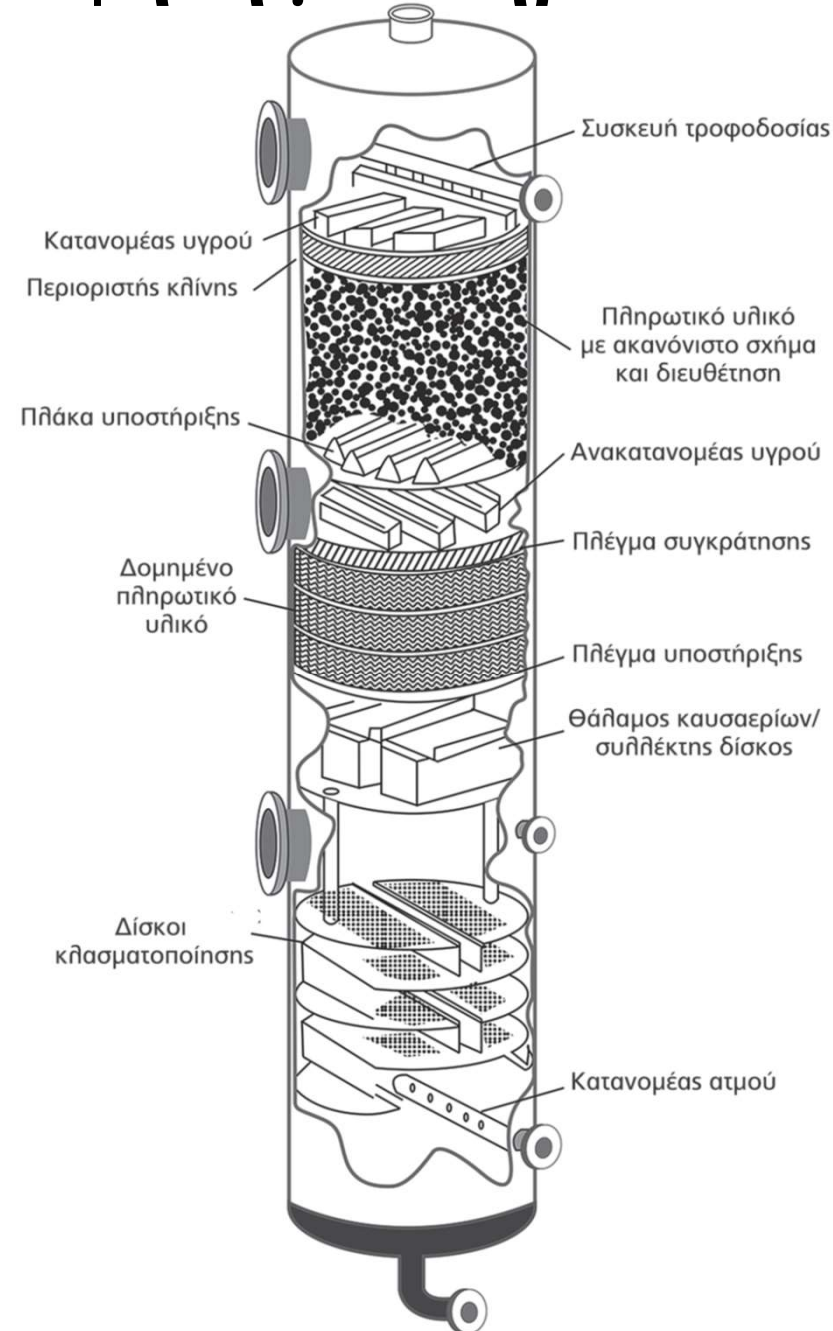
Απορρόφηση με πληρωτικά υλικά



Σχεδιασμός

- Ύψος, Διάμετρος απορροφητή
- Τύπος εξοπλισμού (δίσκοι ή είδος Πληρωτικού υλικού)
- Μέγεθος, ειδική επιφάνεια πληρωτικού υλικού, $d < D$, α_v
- Ταχύτητα πλημμύρισης
- Παροχές υγρού, αερίου
- Συστάσεις εισόδου, εξόδου

Απορρόφηση με πληρωτικά υλικά



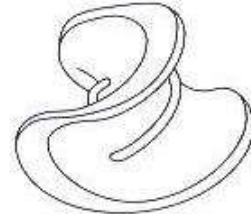
Απορρόφηση με πληρωτικά υλικά

- Αύξηση επιφάνειας επαφής μεταξύ των δύο φάσεων (αέριας και υγρής) → καλύτερη μεταφορά μάζας από την αέρια φάση στην υγρή.
- Είδη πληρωτικών υλικών
 - Δακτύλιοι Rashing (απλοί και σταυρωτοί)
 - Δακτύλιοι Lessing
 - Δακτύλιοι Pal
 - Σάγματα Intraloxκ.λπ.

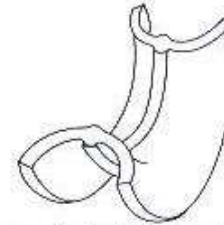
Απορρόφηση με πληρωτικά υλικά



Ceramic Raschig rings



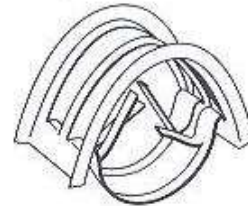
Ceramic Berl saddle



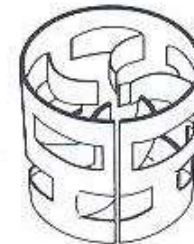
Ceramic Intalox saddle



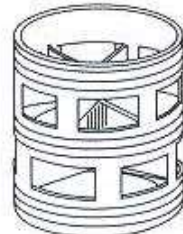
Plastic super Intalox saddle



Metal Intalox IMTP



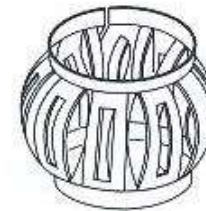
Metal Pall ring



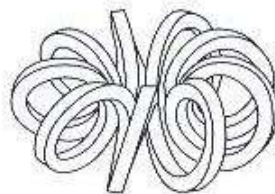
Plastic Flexiring



Metal Bialecki ring



Metal Top-pak



Plastic Tellerette



Plastic Hackett



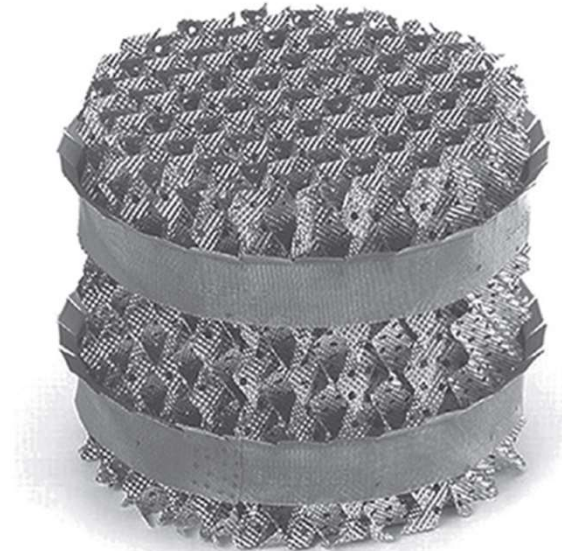
Plastic Igel

Απορρόφηση με πληρωτικά υλικά

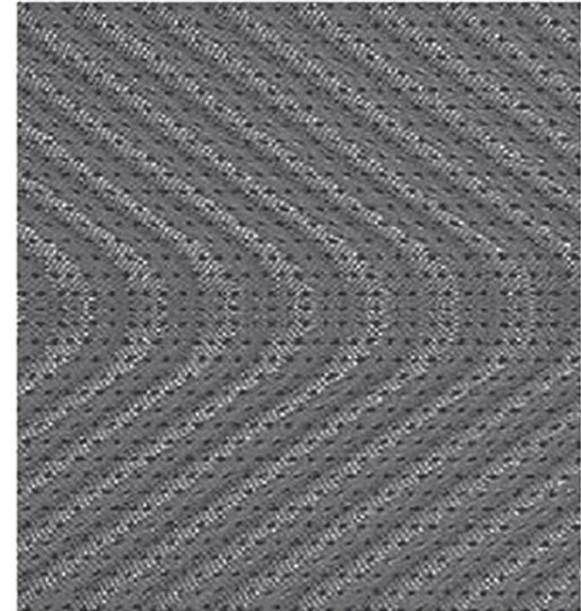
Δομημένο υλικό



Sulzer®
Wire Gauze

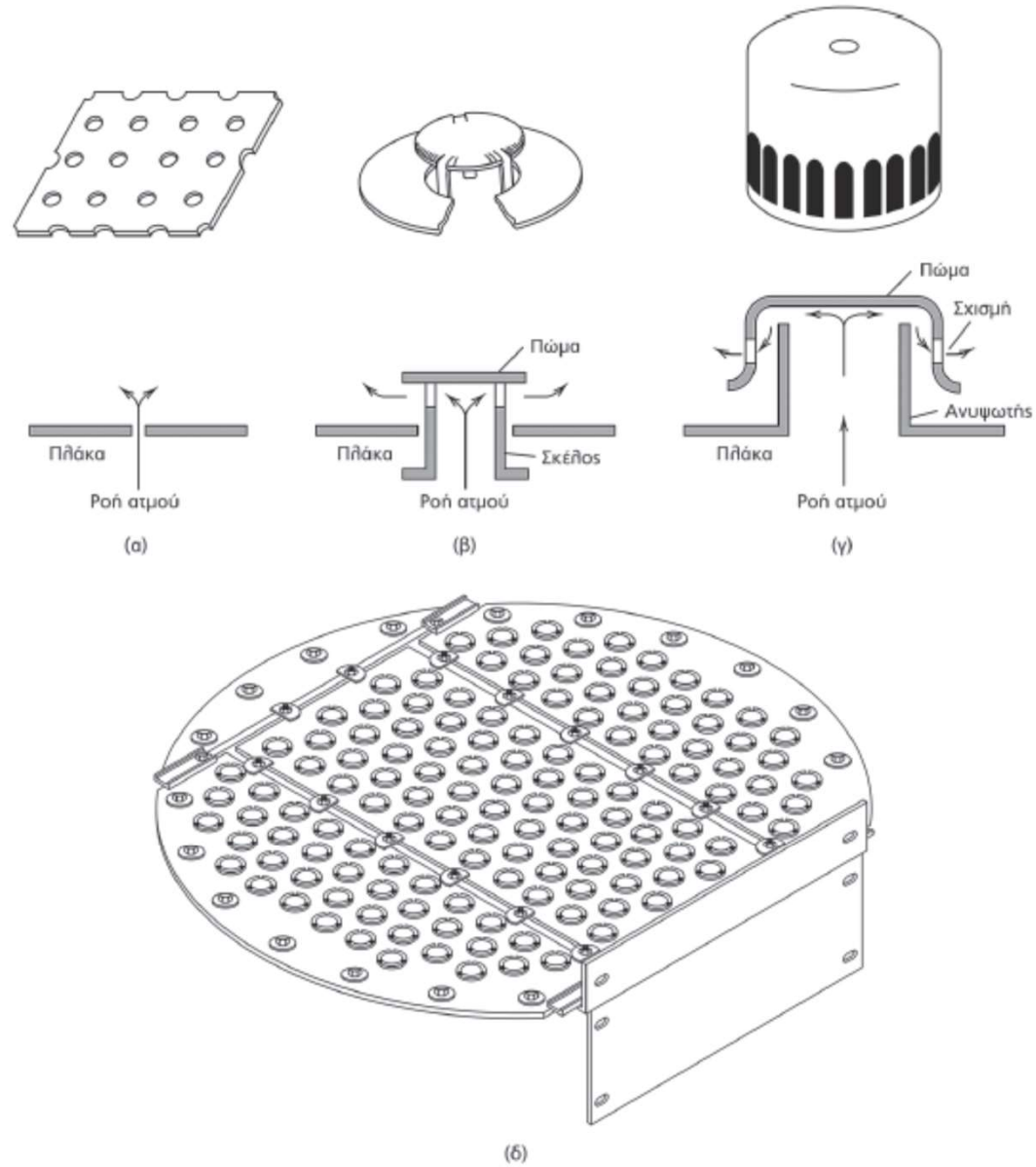


Mellapak®



MellapakPlus®

Απορρόφηση με βαθμίδες



Εικόνα 6.5 Τρεις τύποι οπών πλάκων για τη διέλευση του ατμού ανοδικά προς το υγρό: (α) διάτρηση, (β) πώμα βαθμίδας, (γ) πώμα δημιουργίας φυσαλίδων, (δ) δίσκος με πώματα βαθμίδας.

Απορρόφηση με πληρωτικά υλικά

Επιλογή υλικών

- Αύξηση επιφάνειας επαφής
- Χαμηλό κόστος
- Ανθεκτικότητα στις διαβρώσεις
- Καλή διαβρεξιμότητα και καλή κατανομή του ρευστού

Αποτελούνται από:

- Πλαστικά,
- κεραμικά,
- ανοξείδωτος χάλυβας

Τοποθέτηση με τυχαίο τρόπο

Απορρόφηση με πληρωτικά υλικά

- Σχεδιασμός στηλών απορρόφησης με πληρωτικά υλικά

Ειδική επιφάνεια, a , του πληρωτικού υλικού:

«η επιφάνεια του πληρωτικού υλικού ανά μονάδα όγκου κλίνης πληρωτικού υλικού, m^2/m^3 ($1/m$)

Πορώδες, ε , της πληρωμένης κλίνης:

«το κλάσμα κενού χώρου κλίνης, δηλαδή **ο όγκος κενού χώρου προς τον ολικό όγκο κλίνης** = (όγκος κλίνης-όγκος πληρωτικού υλικού)/ όγκος κλίνης)

Διάμετρος πληρωτικού υλικού, d : $15 < D/d < 20$

Φαινόμενη ταχύτητα αερίου, U_G : ~ 1 m/s

Απορρόφηση με πληρωτικά υλικά

- Ταχύτητα πλημμύρισης, $U_{G,\Pi}$:

«η ταχύτητα εκείνη του αερίου που εμποδίζει σχεδόν εντελώς το υγρό να κατέλθει, με αποτέλεσμα την απότομη αύξηση της πτώσης πίεσης της στήλης»

$$\left(\frac{U_{G,\Pi}^2 a}{g \varepsilon^3}\right) \left(\frac{\rho_G}{\rho_L}\right) \left(\frac{\eta_L}{\eta_w}\right)^{0.2} = \exp\left[-4\left(\frac{L_m}{G_m}\right)^{1/4} \left(\frac{\rho_G}{\rho_L}\right)^{1/8}\right]$$

Όπου $U_{G,\Pi}$: ταχύτητα πλημμύρισης,

a : ειδική επιφάνεια, ε : πορώδες,

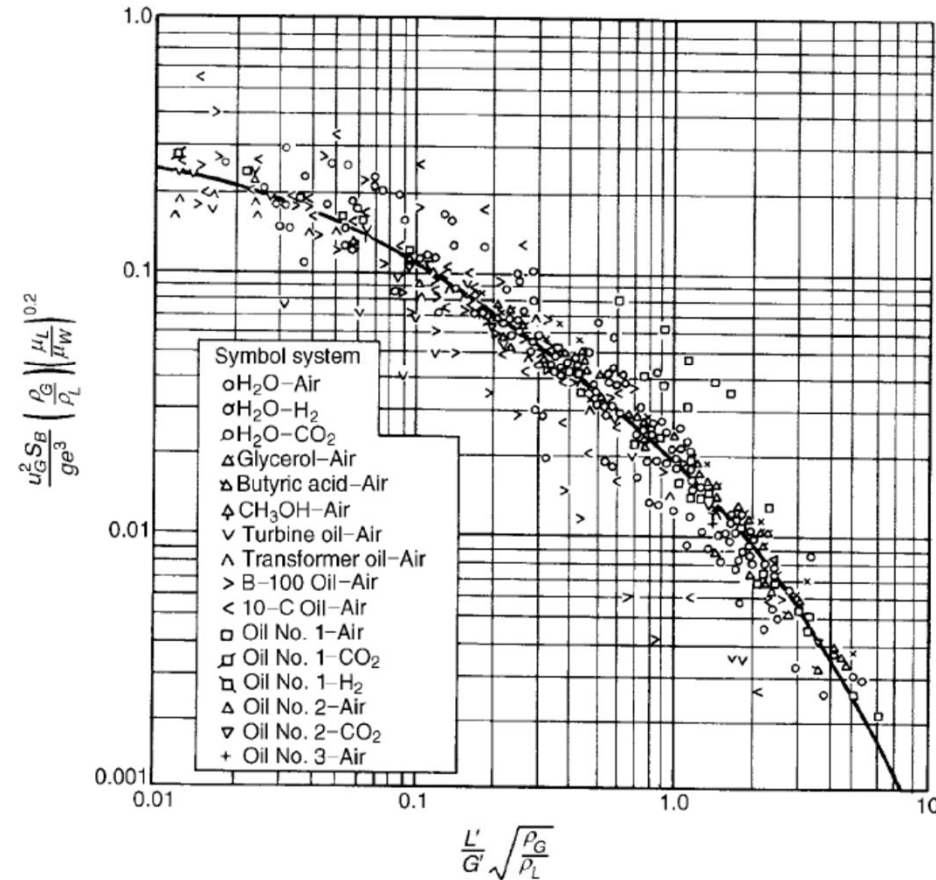
ρ_G, ρ_L : πυκνότητες αερίου και υγρού αντίστοιχα,

G_M, L_M : μαζικές παροχές **αερίου** και **υγρού** αντίστοιχα,

η_L, η_w : ιξώδες του υγρού και νερού αντίστοιχα

g : συντελεστής βαρύτητας

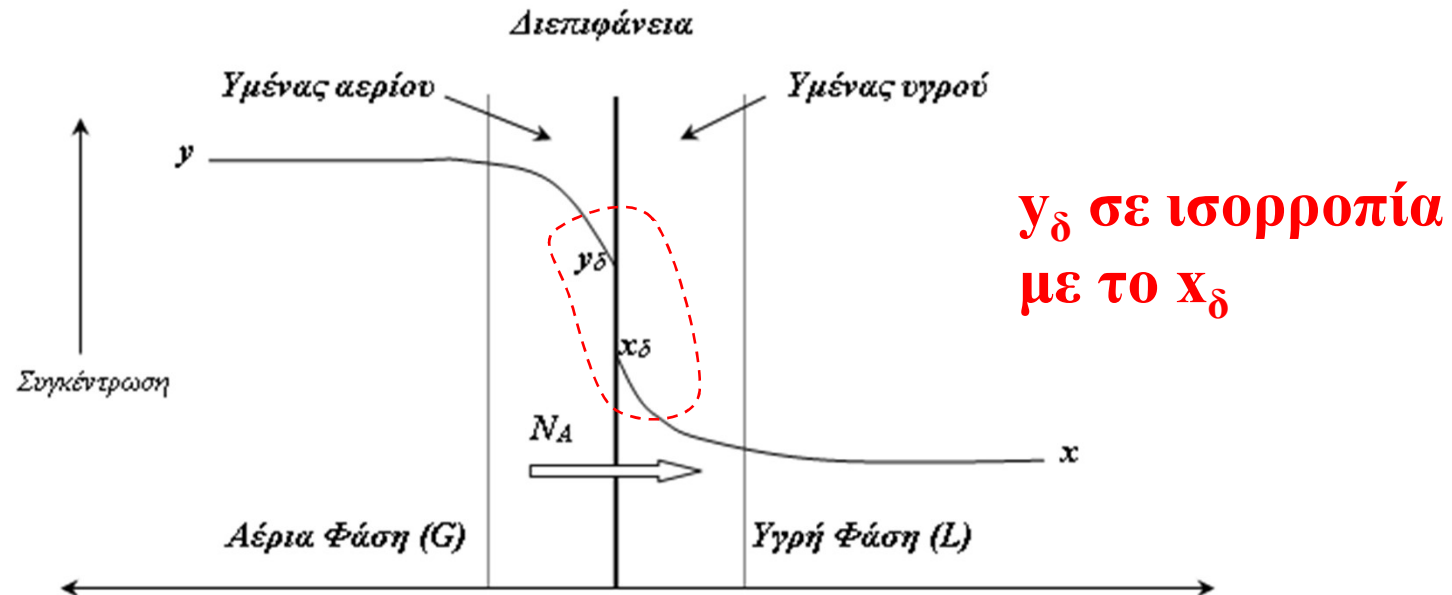
Συνήθως $U_G \sim (0.6- 0.7) U_{G,\Pi}$



where: u_G is the velocity of the gas, calculated over the whole cross-section of the bed,
 S_B is the surface area of the packing per unit volume of bed,
 g is the acceleration due to gravity,
 L' is the mass rate of flow per unit area of the liquid,
 G' is the mass rate of flow per unit area of the gas, and
 μ_w is the viscosity of water at 293 K approximately 1 mN s/m², and
 suffix G refers to the gas and suffix L to the liquid.

Αποι

Απορρόφηση με πληρωτικά υλικά



$$N_i = k_G a (y - y_\delta) = k_L a (x_\delta - x)$$

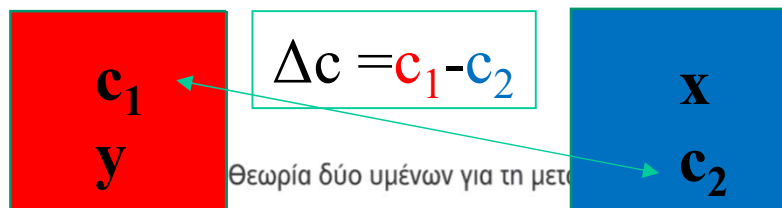
Ο ρυθμός μεταφοράς μάζας N_i (σε $\text{mol/m}^2\text{s}$) του συστατικού i από την μια φάση στην άλλη βασίζεται στους συντελεστές μεταφοράς μάζας και

k_G και k_L (σε $\text{mol/m}^2\text{s}$), συντελεστές μεταφοράς μάζας του συστατικού i στην φάση του αερίου και του υγρού αντίστοιχα, οι οποίοι εκφράζονται ανά μονάδα επιφάνειας μέσω της οποίας γίνεται η μεταφορά μάζας.

(Τα k_G και k_L αναφέρονται στα καθαρά συστατικά),

a (cm^2/cm^3) είναι η **ειδική επιφάνεια** που αναπαριστά την μονάδα επιφάνειας μεταφοράς μάζας ανά μονάδα όγκου μέσα στον οποίο γίνεται η μεταφορά

Απορρόφηση με πληρωτικά υλικά



Θεωρία δύο υμένων για τη μετα

Αέριο Διεπιφάνεια Υγρό

y ή c_1

Σύσταση αέριας φάσης

στην κύρια ροή

y ή p



Σύσταση αέριου υμένα

y_1 ή p_1

x_1 ή c_1

Σύσταση υγρού υμένα

Σύσταση υγρής φάσης

στην κύρια ροή

x ή c

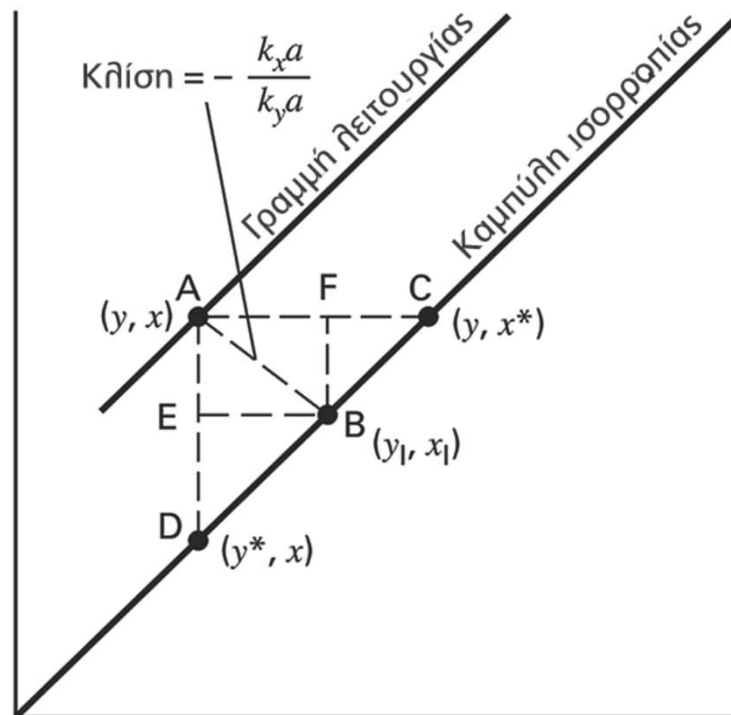


x ή c_2



Ιδανική σύσταση που αναφέρεται στη μετρούμενη μεταβλητή

Γραμμομοριακό κλάσμα διαλυμένων ουσιών στο αέριο, y



Γραμμομοριακό κλάσμα διαλυμένων ουσιών στο υγρό, x

$$\frac{(y - y_1)}{(x_1 - x)} = \frac{k_x \alpha}{k_y \alpha}$$

$$N_i = k_G a (y - y_\delta) = k_L a (x_\delta - x)$$

$$\text{ή } N_i = k_y \alpha (y - y_1) = k_x \alpha (x_1 - x)$$

Απορρόφηση

Υπολογισμός κλίσης και συντελεστών μεταφοράς

Απορρόφηση με πληρωτικά υλικά

Μεταφορά μάζας μεταξύ των δύο φάσεων

- Συστατικό i μεταφέρεται από την αέρια φάση προς την υγρή λόγω διαφοράς συγκέντρωσης μέσω της διεπιφάνειας αερίου- υγρού

Ρυθμός μεταφοράς μάζας, N_i (kmol/m³s)

$$N_i = k_G a(y - y_\delta) = k_L a(x_\delta - x)$$

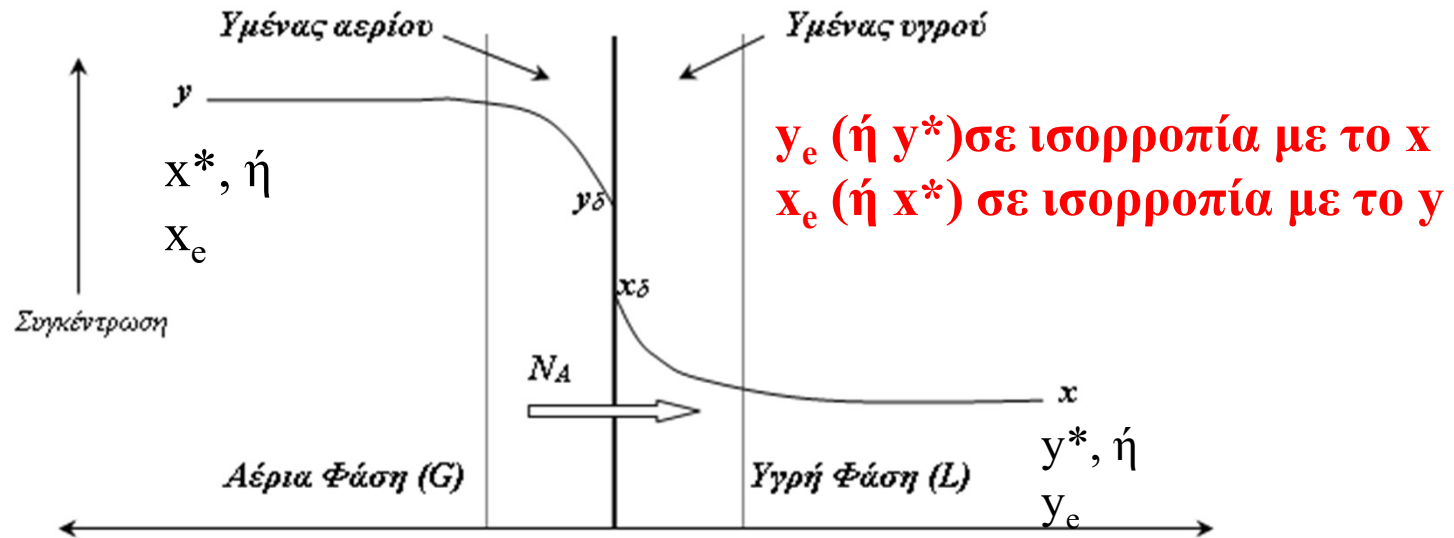
Όπου k_G , k_L «μερικοί συντελεστές μεταφοράς μάζας» και αναφέρονται σε μεταφορά μάζας σε μια μόνο καθαρή φάση, την αέρια και την υγρή αντίστοιχα, γι' αυτό ονομάζονται “**μερικοί συντελεστές μεταφοράς μάζας**” [=] kmole/(m²s)

y_δ (ή y_i) σε ισορροπία με το x_δ (ή x_i)

Παραδοχές:

1. Αμελητέα αντίσταση στην διεπιφάνεια
2. Μη- συσσώρευση μάζας σε αυτήν
3. Θερμοδυναμική ισορροπία στην διεπιφάνεια
4. Αντιστάσεις στην μεταφορά μάζας μόνο στους δύο υμένες

Απορρόφηση με πληρωτικά υλικά



Για την μεταφορά μάζας του συστατικού i (N_i) μπορούμε επίσης να ορίσουμε δυο “ολικούς” συντελεστές μεταφοράς μάζας, ένα για την κάθε φάση, από τη σχέση: **Ολικοί συντελεστές μεταφοράς μάζας**

$$N_i = k_G a (y - y_\delta) = k_L a (x_\delta - x) \longrightarrow N_i = k_{G,OL} a (y - y_e) = k_{L,OL} a (x_e - x)$$

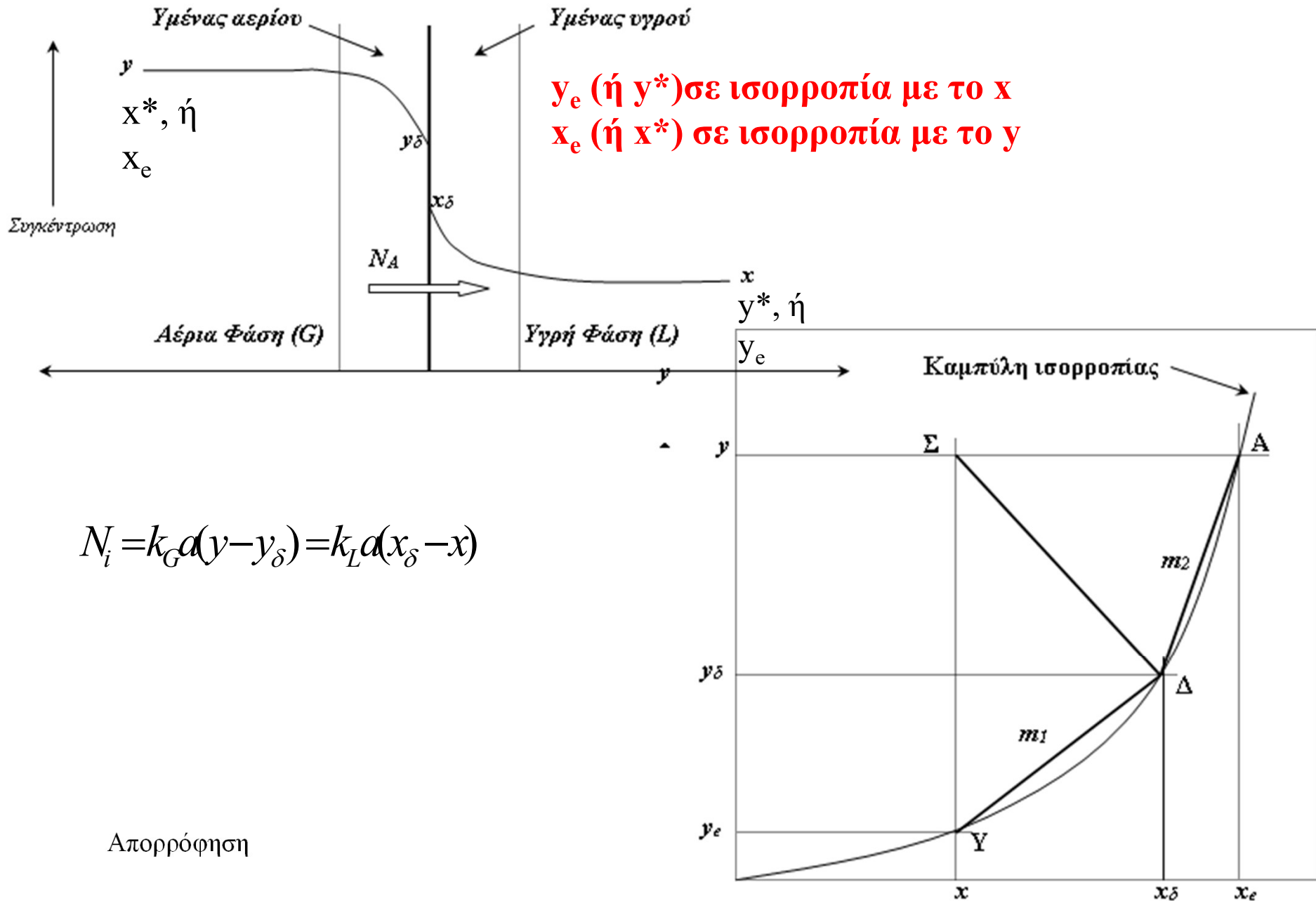
$$N_i = k_y a (y - y_i) = k_x a (x_i - x) \longrightarrow N_i = K_y a (y - y^*) = K_x a (x^* - x)$$

Όπου $k_{G,OL}$ (ή K_y), $k_{L,OL}$ (ή K_x) «ολικοί συντελεστές μεταφοράς μάζας» ως προς την αέρια και υγρή φάση, αντίστοιχα.

και y_e (y^*), x_e (x^*) γραμμομοριακά κλάσματα του συστατικού i , στην αέρια και υγρή φάση σε θερμοδυναμική ισορροπία με τις συστάσεις x και y ,
 αντίστοιχα στις δύο φάσεις.

Απορρόφηση με πληρωτικά υλικά

Διεπιφάνεια



y_e (ή y^*) σε ισορροπία με το x
 x_e (ή x^*) σε ισορροπία με το y

$$N_i = k_G a (y - y_\delta) = k_L a (x_\delta - x)$$

Απορρόφηση

Απορρόφηση με πληρωτικά υλικά

$$N_i = k_G a(y - y_\delta) = k_L a(x_\delta - x) \quad N_i = k_{G,ΟΛ} a(y - y_e) = k_{L,ΟΛ} a(x_e - x)$$

$$(y - y_e) = (y - y_\delta) + (y_\delta - y_e)$$

$$(x_e - x) = (x_e - x_\delta) + (x_\delta - x)$$

ΟΠΟΤΕ

$$\frac{1}{k_{G,ΟΛ}} = \frac{1}{k_G} + \frac{m_1}{k_L} \quad \text{ΟΠΟΥ } m_1 = \frac{(y_\delta - y_e)}{(x_e - x)} \text{ ΚΑΙ}$$

$$\frac{1}{k_{L,ΟΛ}} = \frac{1}{k_L} + \frac{1}{m_2 k_G} \quad \text{ΟΠΟΥ } m_2 = \frac{(y - y_\delta)}{(x_e - x_\delta)}$$

Απορρόφηση με πληρωτικά υλικά

- Σε περίπτωση που ισχύει ο νόμος του Henry

Τότε $m_1=m_2=m=H_i/P$ και

$$\frac{1}{k_{G,OL}} = \frac{1}{k_G} + \frac{m}{k_L} \quad \text{και}$$

$$\frac{1}{k_{L,OL}} = \frac{1}{k_L} + \frac{1}{m k_G}$$

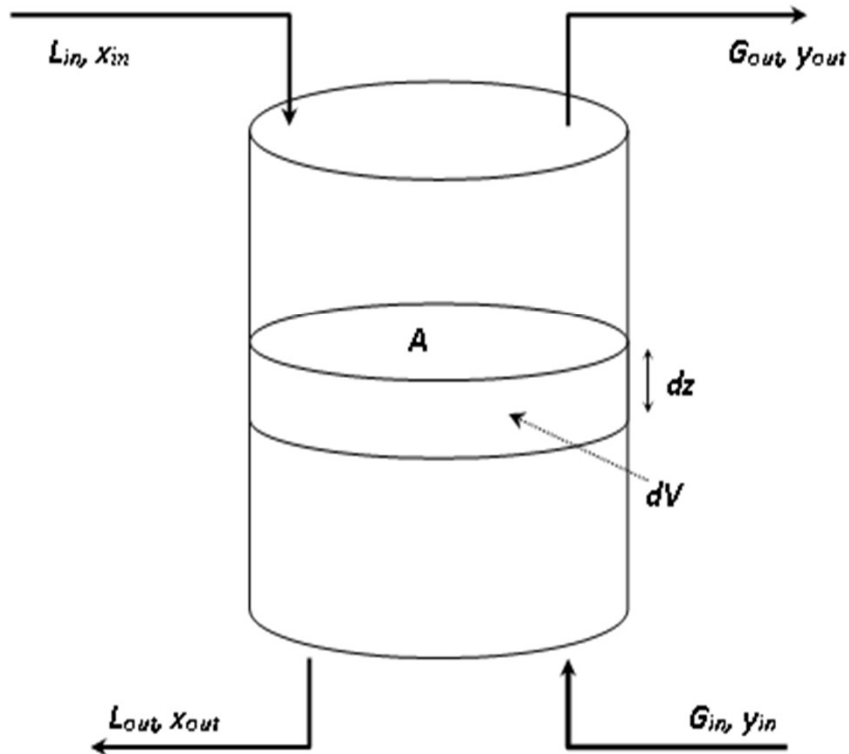
Οι εξισώσεις αυτές συνδέουν τους **μερικούς** συντελεστές μεταφοράς μάζας με τους **ολικούς** συντελεστές.

Απορρόφηση με πληρωτικά υλικά

Αραιά μίγματα

1. Οι γραμ/κές ροές αερίου και υγρού σταθερές σε όλο το ύψος της στήλης
2. Η μέση πίεση του αδρανούς αερίου είναι σταθερή και ίση με την ολική πίεση του συστήματος
3. Οι συντελεστές μεταφοράς μάζας είναι σταθεροί σε όλο το ύψος της στήλης
4. Μεταβολές ενθαλπίας αμελητέες

Απορρόφηση με πληρωτικά υλικά



Ένα **διαφορικό ισοζύγιο μάζας** για το συστατικό που μας ενδιαφέρει στον **διαφορικό όγκο ελέγχου** που δείχνεται στο Σχήμα μπορεί να γραφτεί ως εξής:

[Διαφορική μάζα του i που εγκαταλείπει το αέριο] =
[Διαφορική μάζα του i που πηγαίνει στο υγρό]

$d(Gy) = d(Lx)$, για αραιά μίγματα, G, L σταθ. καθ' ύψος του πύργου
 $Gdy = L dx$ και $Gdy = L dx = N_i dV$ ($\text{kmol/m}^3 \text{ s} \times \text{m}^3 = \text{kmol/s}$)

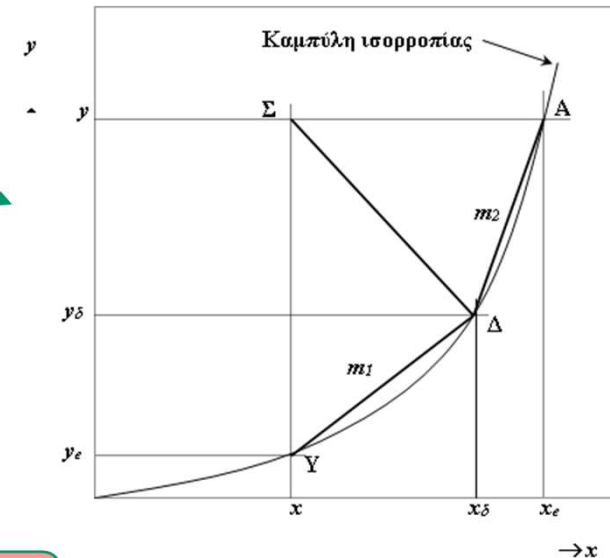
Απορρόφηση με πληρωτικά υλικά

$$Gdy = Ldx = N_i dV = N_i Adz$$

$$N_i = k_{G,O\Lambda} a (y - y_e) = k_{L,O\Lambda} a (x_e - x)$$

$$Gdy = k_{G,O\Lambda} a (y - y_e) Adz \quad \text{Αέρια φάση}$$

$$Ldx = k_{L,O\Lambda} a (x_e - x) Adz \quad \text{Υγρή φάση}$$



$$Z = \frac{G}{k_{G,O\Lambda} a A} \int_{y_{out}}^{y_{in}} \frac{dy}{(y - y_e)}$$

$$Z = H_{OG} N_{OG} \quad y_e = m_1 x \quad x_e = y/m_2$$

$$Z = \frac{L}{k_{L,O\Lambda} a A} \int_{x_{in}}^{x_{out}} \frac{dx}{(x_e - x)}$$

$$Z = H_{OL} N_{OL}$$

**Ύψος Πύργου
απορρόφησης**

$$H_{OG} = \frac{G}{k_{G,O\Lambda} a A}, \quad H_{OL} = \frac{L}{k_{L,O\Lambda} a A}$$

$$N_{OG} = \int_{y_{out}}^{y_{in}} \frac{dy}{(y - y_e)} \quad \text{και} \quad N_{OL} = \int_{x_{in}}^{x_{out}} \frac{dx}{(x_e - x)}$$

(σε m), ύψος μονάδας μεταφοράς

(αριθμός μοναδων μεταφορας)

Απορρόφηση

Απορρόφηση με πληρωτικά υλικά

Αναλυτική λύση

Για αραιά μίγματα, το ισοζύγιο μάζας του i για όλη την στήλη δίνει

$$G(y_{in} - y_{out}) = L(x_{out} - x_{in})$$

Σε ένα όγκο ελέγχου που περικλείει την κορυφή και εκτείνεται μέχρι τα τυχαία x και y , με δεδομένα τα x_{in} και y_{out} , το ισοζύγιο γράφεται ως:

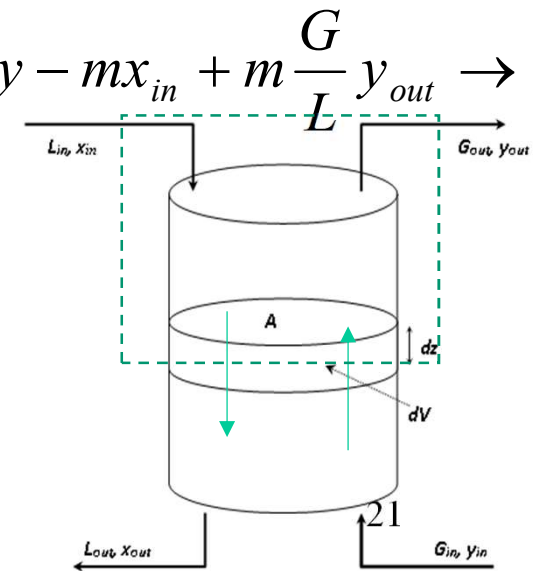
$$G(y - y_{out}) = L(x - x_{in}) \Rightarrow x = \frac{G}{L}y + x_{in} - \frac{G}{L}y_{out}$$

$$y_e = mx \Rightarrow y - y_e = y - mx \xrightarrow{(3.6)} y - y_e = y - m\frac{G}{L}y - mx_{in} + m\frac{G}{L}y_{out} \rightarrow$$

$$y - y_e = \left(1 - m\frac{G}{L}\right)y - m\left(x_{in} - \frac{G}{L}y_{out}\right)$$

$$C = -m\left(x_{in} - \frac{G}{L}y_{out}\right), \text{ (Σταθερά)}$$

Απορρόφηση



Απορρόφηση με πληρωτικά υλικά

Αναλυτική λύση

$$N_{OG} = \int_{y_{out}}^{y_{in}} \frac{dy}{(y - y_e)} = \int_{y_{out}}^{y_{in}} \frac{dy}{(1 - m \frac{G}{L})y + C} \quad \begin{array}{l} \text{Επιλύσιμο} \\ \text{ολοκλήρωμα} \end{array}$$

Αριθμός μονάδων μεταφοράς

$$N_{OG} = \frac{1}{1 - m \frac{G}{L}} \ln \left[\frac{(1 - m \frac{G}{L})y_{in} + C}{(1 - m \frac{G}{L})y_{out} + C} \right] \quad \begin{array}{l} C = -m(x_{in} - \frac{G}{L}y_{out}) \\ \text{(σταθερά)} \end{array}$$

$$H_{OG} = \frac{G}{k_{G,ολαA}}$$

$$Z = H_{OG}N_{OG}$$

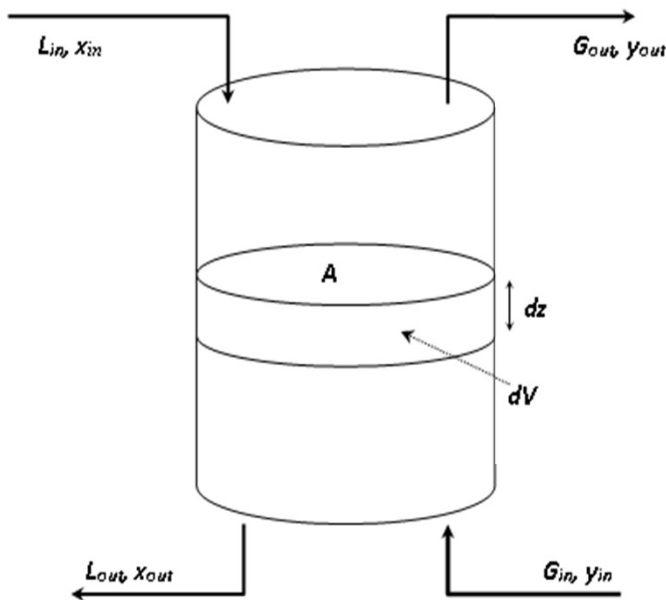
Ύψος μονάδας
μεταφοράς

Ύψος ΠΥΡΓΟΥ

Απορρόφηση με πληρωτικά υλικά –Αραιά μίγματα

Παράδειγμα 1: Σε ένα πύργο απορρόφησης, μίγμα αερίων ανέρχεται από τη βάση με παροχή G ενώ από την κορυφή κατέρχεται **καθαρός διαλύτης** με παροχή L (G, L σε $\text{kmols/m}^2\text{s}$). Η γραμμή ισορροπίας δίνεται από την σχέση $y=m x$, και ως y_{in} και y_{out} θεωρούμε τα γραμμομοριακά κλάσματα στην βάση και κορυφή αντίστοιχα. Στη παρούσα διεργασία επιθυμούμε την ανάκτηση του 90% του ευδύαλτου αερίου στο διαλύτη χρησιμοποιώντας 50 % παροχή υγρού επιπλέον της ελάχιστης απαιτούμενης. Αν το ύψος μιας μονάδας μεταφοράς είναι 0.6 m βρείτε το απαιτούμενο ύψος του πύργου απορρόφησης

Δεδομένα: $y_2 = (1-0.9)y_1$, $H_{OG} = 0.6\text{m}$, $(L/G) = 1.5 (L/G)_{min}$, $N_{OG} = ?$, $Z = H_{OG} N_{OG}$



Απορρόφηση

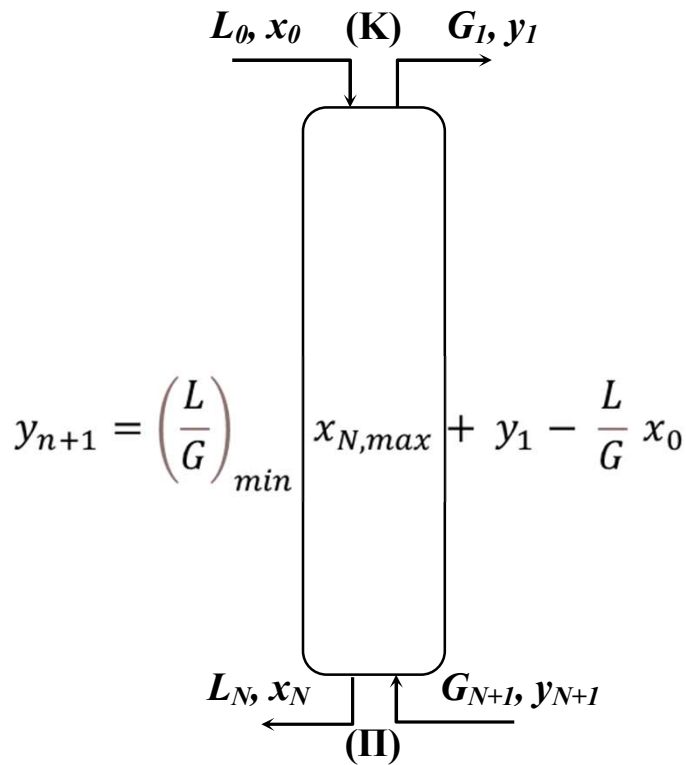
$$N_{OG} = \int_{y_{out}}^{y_{in}} \frac{dy}{(y - y_e)} = \int_{y_{out}}^{y_{in}} \frac{dy}{\left(1 - m \frac{G}{L}\right)y + C} \Rightarrow$$

$$N_{OG} = \frac{1}{1 - m \frac{G}{L}} \ln \left[\frac{\left(1 - m \frac{G}{L}\right)y_{in} + C}{\left(1 - m \frac{G}{L}\right)y_{out} + C} \right]$$

$$C = -m \left(x_{in} - \frac{G}{L} y_{out} \right), \text{ (Σταθερά)}$$

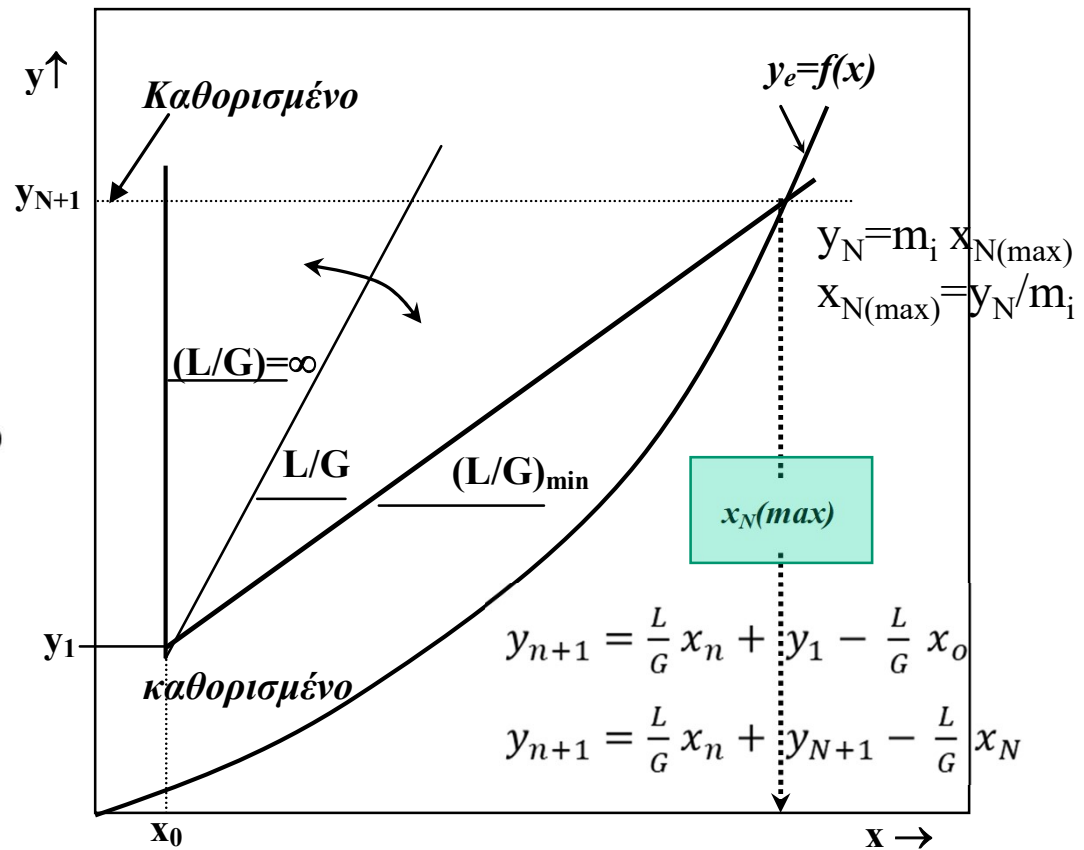
Υπολογισμός (L/G)?

Σχεδιασμός στηλών απορρόφησης



$$(L/G)_{\min} = \frac{y_{N+1} - y_1}{x_N(\max) - x_0}$$

$$(L/G) = \beta(L/G)_{\min} \quad 1.25 < \beta < 1.5$$

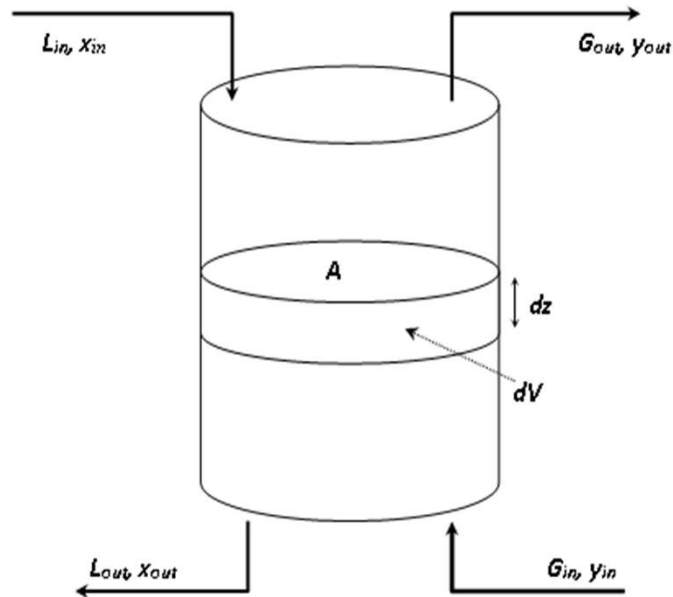


Ελάχιστος λόγος ροής υγρού/αερίου,
 $(L/G)_{\min}$: Άπειρος αριθμός θεωρητικών
 βαθμίδων ή άπειρο ύψος του πύργου
 απορρόφησης

Απορρόφηση με πληρωτικά υλικά – Αραιά μίγματα

Παράδειγμα:

Υπολογισμός (L/G) βάσει του $(L/G)_{min}$



$$(L/G)_{min} = \frac{y_{in} - y_{out}}{x_{out(max)} - x}$$

$$(L/G)_{min} = \frac{y_{in} - y_{out}}{x_{out,max} - 0} = \frac{0.9 y_{in}}{\left(\frac{y_{in}}{m}\right)} = 0.9 * m$$

$$(L/G) = 1.5 * 0.9 * m = 1.35 * m$$

Ο όρος $[m (G/L) = \{m * [1/1.35m]\} = 0.74$

$$C = -m \left(x_{in} - \frac{G}{L} y_{out} \right)$$

$$C = -m \left[0 - \frac{1}{1.35 m} y_{out} \right] = 0.74 y_{out}$$

Απορρόφηση με πληρωτικά υλικά – Αραιά μίγματα

Παράδειγμα: **Υπολογισμός N_{OG}**

$$C = -m \left[0 - \frac{1}{1.35 m} y_{out} \right] = 0.74 y_{out} \quad (L/G) = 1.5 * 0.9 * m = 1.35 * m$$

Ο όρος $[m (G/L) = \{m * [1/1.35m]\} = 0.74$

$$N_{OG} = \frac{1}{1 - m \frac{G}{L}} \ln \left[\frac{(1 - m \frac{G}{L}) y_{in} + C}{(1 - m \frac{G}{L}) y_{out} + C} \right]$$

$$N_{OG} = \frac{1}{1 - 0.74} \left[\frac{(1 - 0.74) y_{in} + 0.74 y_{out}}{(1 - 0.74) y_{out} + 0.74 y_{out}} \right]$$

$$N_{OG} = \frac{1}{0.26} \left[\frac{0.26 y_{in} + 0.74 * 0.1 y_{in}}{(0.26 y_{out} + 0.74 y_{out})} \right] = \frac{1}{0.26} \frac{(0.334 y_{in})}{1 * y_{out}} =$$

$$\frac{1}{0.26} \frac{(0.336) y_{in}}{0.1 y_{in}} = \mathbf{4.638}$$

Απορρόφηση

$$Z = H_{OG} N_{OG} = 0.6 m * 4.638 = \mathbf{2.783 m}$$

Απορρόφηση με πληρωτικά υλικά – Αραιά μίγματα

Παράδειγμα 2: Δείξτε ότι η αναλυτική σχέση υπολογισμού του αριθμού μονάδων μεταφοράς

$$N_{OG} = \frac{1}{1 - m \frac{G}{L}} \ln \left[\frac{(1 - m \frac{G}{L}) y_{in} + C}{(1 - m \frac{G}{L}) y_{out} + C} \right]$$

Μπορεί να ‘μαζευτεί στη σχέση:

$$N_{OG} = \frac{1}{\left(1 - m \frac{G}{L}\right)} \ln \left[1 - m \frac{G}{L} \frac{y_{in}}{y_{out}} + m \frac{G}{L} \right]$$

στην περίπτωση που ο διαλύτης είναι καθαρός, $x_{in}=0$

Απορρόφηση με πληρωτικά υλικά – Αραιά μίγματα

$$N_{OG} = \frac{1}{1 - m \frac{G}{L}} \ln \left[\frac{(1 - m \frac{G}{L}) y_{in} + C}{(1 - m \frac{G}{L}) y_{out} + C} \right]$$

$$C = -m \cancel{(x_{in} - \frac{G}{L} y_{out})} \quad C = +m \frac{G}{L} y_{out}$$

$$\ln \left[\frac{\left(1 - m \frac{G}{L}\right) y_{in} + m \frac{G}{L} y_{out}}{\left(\cancel{\left(1 - m \frac{G}{L}\right) y_{out}} + m \cancel{\frac{G}{L} y_{out}}\right)} \right] = \ln \frac{\left(1 - m \frac{G}{L}\right) y_{in} + m \frac{G}{L} y_{out}}{y_{out}}$$

$$= \ln \left[\left(1 - m \frac{G}{L}\right) \frac{y_{in}}{y_{out}} + m \frac{G}{L} \right]$$

$$N_{OG} = \frac{1}{1 - m \frac{G}{L}} \ln \left[\left(1 - m \frac{G}{L}\right) \frac{y_{in}}{y_{out}} + m \frac{G}{L} \right]$$

Απορρόφηση με πληρωτικά υλικά – Αραιά μίγματα

Παράδειγμα 3:

Εφαρμόστε την σχέση του προηγούμενο παραδείγματος, σε πύργο απορρόφησης, όπου ένα αέριο μίγμα, με **4% mol σε ακετόνη**, εισέρχεται από την βάση του πύργου με παροχή αερίου **0.58 kg/(s m²)**. Καθαρό νερό (**x₀=0**) με παροχή **0.9 kg/(s m²)** εισέρχεται από τη κορυφή του Πύργου και επιδιώκουμε απομάκρυνση του 97% της ακετόνης.

A) Υπολογίσετε το ύψος μιας μονάδας μεταφοράς καθώς και το συνολικό ύψος του πύργου.

B) Υπολογίστε ακόμη την συγκέντρωση του αερίου στο διαλύτη στη βάση του πύργου.

Δίνονται: $k_G a = 1.316 \cdot 10^{-4} \text{ kmol}/(\text{s m}^3 \text{ kPa})$, $y=mx$, $P=101.1 \text{ kPa}$ (=760 mmHg), $Z = H_{OG} N_{OG}$, $H_{OG} = G/(k_G a P)$. $MB_{\text{αέρα}} = 29 \text{ kg/kgmole}$, $MB_{\text{νερού}} = 18 \text{ kg/kgmole}$

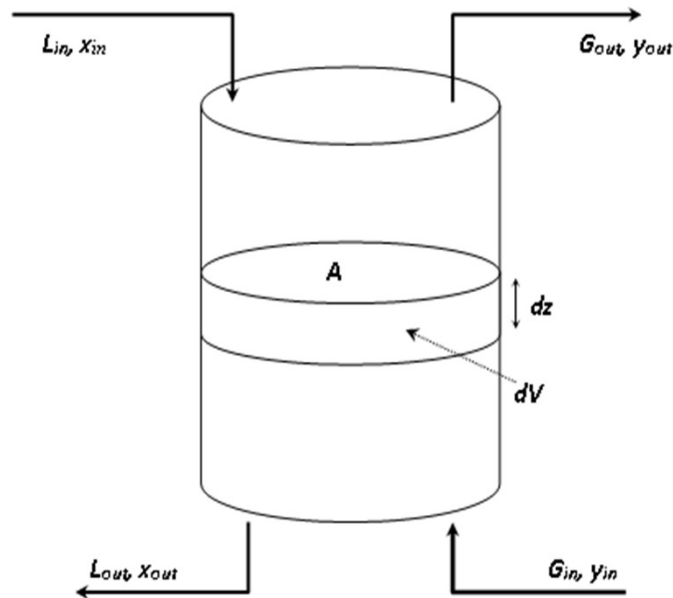
Δεδομένα Ισορροπίας για να υπολογίσετε το m στην εξίσωση ισορροπίας

$$P_i, \text{ mmHg} = 30.4$$

$$x [=] = 0.0333$$

Απορρόφηση με πληρωτικά υλικά – Αραιά μίγματα

Παράδειγμα 3: Υπολογισμός του H_{OG}



Δεδομένα:

$$y_{in} = 0.04, \quad y_{out} = (1 - 0.97)y_{in} = 0.0012$$

$$G_{\text{αερίου}} = G_{in} = G_{out} = 0.58 \frac{\text{kg}}{\text{s m}^2}$$

$$= 0.58 \frac{\text{kg}}{\text{s m}^2} \frac{1}{29} \frac{\text{kgmole}}{\text{kg}} = 0.02 \frac{\text{kgmole}}{\text{s m}^2}$$

$$L_{\text{διαλύτη}} = L_{in} = L_{out} = 0.9 \frac{\text{kg}}{\text{s m}^2}$$

$$= 0.9 \frac{\text{kg}}{\text{s m}^2} \frac{1}{18} \frac{\text{kgmole}}{\text{kg}} = 0.05 \frac{\text{kgmole}}{\text{s m}^2}$$

$$H_{OG} = \frac{G}{k_G a P} = \frac{0.02 \frac{\text{kgmole}}{\text{s m}^2}}{1.316 \cdot 10^{-4} \frac{\text{kgmole}}{\text{s m}^3 \text{ kPa}} \cdot 101.1 \text{ kPa}} = 1.4546 \text{ m}$$

Απορρόφηση με πληρωτικά υλικά – Αραιά μίγματα

Παράδειγμα 3: Υπολογισμός του N_{OG}

$$N_{OG} = \frac{1}{1 - m \frac{G}{L}} \ln \left[\left(1 - m \frac{G}{L} \right) \frac{y_{in}}{y_{out}} + m \frac{G}{L} \right]$$

Υπολογισμός του m και του λόγου G/L

$$y_i = \frac{p_i}{p} = \frac{H_i}{p} x_i \rightarrow y_i = m x_i \quad (p : \text{ολικη πιεση})$$

$$P_i = y_i P$$

$$P_i = x_i P_i^o$$

$$P_i = x_i H_i$$

$$m = H_i / P$$

$$H_i = p_i^o$$

Ή

$$y_i = \frac{P_i}{P} = m_i x_i \rightarrow m_i = \frac{P_i}{P} \frac{1}{x_i}$$

$$m_i = \frac{P_i}{P} \frac{1}{x_i} = \frac{30.4 \text{ mmHg}}{760 \text{ mmHg}} \frac{1}{0.0333} = 1,201$$

$$m_i \frac{G}{L} = 1.201 \frac{0.02}{0.05} = 0.48$$

Απορρόφηση με πληρωτικά υλικά – Αραιά μίγματα

Παράδειγμα 3: Υπολογισμός του N_{OG} και του Z

$$N_{OG} = \frac{1}{1 - m \frac{G}{L}} \ln \left[\left(1 - m \frac{G}{L} \right) \frac{y_{in}}{y_{out}} + m \frac{G}{L} \right]$$

$$N_{OG} = \frac{1}{1 - 0.48} \ln \left[(1 - 0.48) \frac{0.04}{0.0012} + 0.48 \right]$$

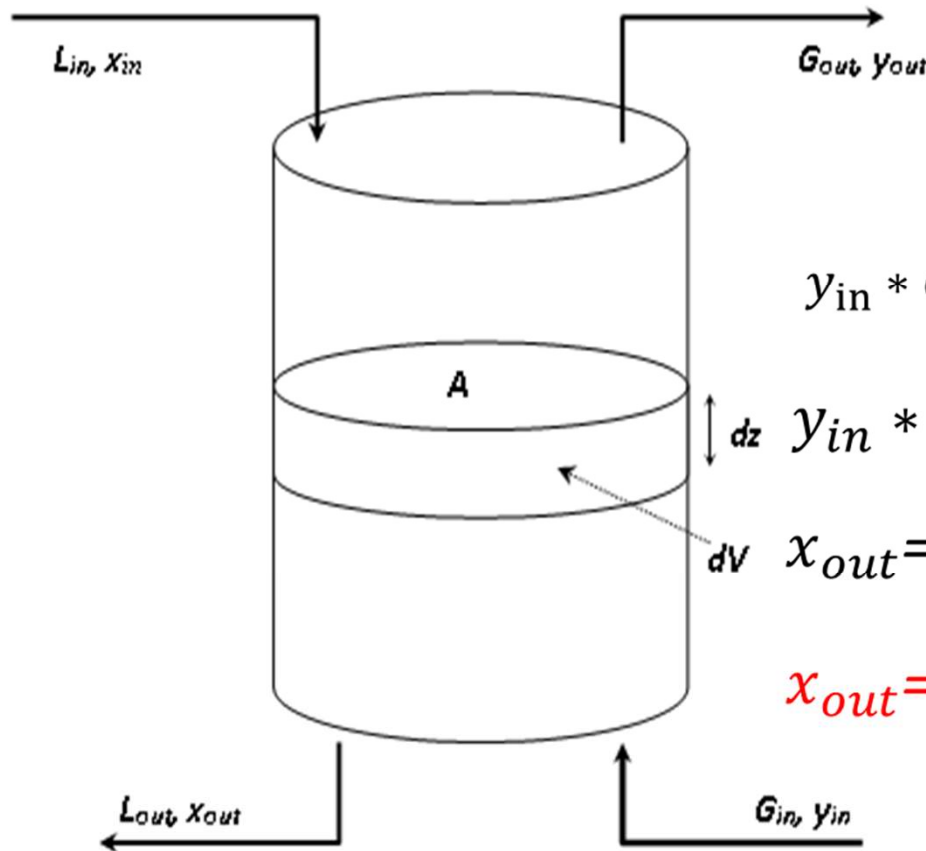
$$N_{OG} = 1.923 \ln [(0.52)33.33 + 0.48]$$

$$N_{OG} = 1,923 \ln(17.8133) = 1.923 * 2.8799 = \mathbf{5.538}$$

$$Z = H_{OG} * N_{OG} = 1.4546 * 5.538 = \mathbf{8.055 \text{ m}}$$

Απορρόφηση με πληρωτικά υλικά – Αραιά μίγματα

Υπολογισμός σύστασης στην έξοδο του πύργου



$$y_{in} = 0.04, y_{out} = 0.0012$$

$$x_{in} = 0, x_{out} = ?$$

$$y_{in} * G_{in} + x_{in}L_{in} = y_{out} G_{out} + x_{out}L_{out}$$

$$y_{in} * G + x_{in}L = y_{out} G + x_{out}L$$

$$x_{out} = (y_{in} - y_{out}) \frac{G}{L} + x_{in}$$

$$x_{out} = (0.04 - 0.0012) \frac{0.02}{0.05} = 0.01552$$

Απορρόφηση με πληρωτικά υλικά

Πυκνά μίγματα

Πυκνά μίγματα (σημαντική μεταβολή στις γραμμομοριακές παροχές υγρού, αερίου)

Βάση: Παροχή αδρανούς αερίου, G' και καθαρού διαλύτη, L' .

$$G' (Y_{in} - Y_{out}) = L' (X_{out} - X_{in})$$

με $X=x/(1-x)$, $Y=y/(1-y)$, $G'=G(1-y)$, $L=L'(1-x)$

Διαφορικό Ισοζύγιο μάζας: $d(Gy) = (dLx) = N_i Adz$

$$d\left(\frac{G'y}{1-y}\right) = d\left(\frac{L'x}{1-x}\right) = N_i Adz$$

$$G' \frac{dy}{(1-y)^2} = L' \frac{dx}{(1-x)^2} = N_i Adz$$

$$N_i = k_{G,OL} a \frac{(y - y_e)}{(1-y)_{ln}}$$

Απορρόφηση

όπου

$$d\left[\frac{G'y}{(1-y)}\right] = G' \frac{[y'(1-y) - y(1-y)']}{(1-y)^2}$$

$$= \frac{(1-y) - y(-1)}{(1-y)^2} = \frac{1-y+y}{(1-y)^2} = \frac{1}{(1-y)^2}$$

$$d\left[\frac{L'x}{(1-x)}\right] = L' \frac{[x'(1-x) - x(1-x)']}{(1-x)^2}$$

$$(1-y)_{ln} = \frac{(1-y) - (1-y_e)}{\ln[(1-y)/(1-y_e)]}$$

Απορρόφηση με πληρωτικά υλικά Πυκνά μίγματα

$$G' \frac{dy}{(1-y)^2} = k_{G,OL} aA \frac{(y-y_e)}{(1-y)_{ln}} dz$$

$$dz = \frac{G'}{k_{G,OL} aA (1-y)} \frac{(1-y)_{ln} dy}{(1-y)(y-y_e)}$$

$$\frac{G'}{k_{G,OL} aA (1-y)} \equiv \frac{G}{k_{G,OL} aA} \equiv H_{OG}$$

$$Z = H_{OG} \int_{y_{out}}^{y_{in}} \frac{(1-y)_{ln} dy}{(1-y)(y-y_e)}$$

$$\frac{(1-y)_{ln}}{(1-y)(y-y_e)} = \frac{\{[(1-y) + (1-y_e)]/2\}}{(1-y)(y-y_e)}$$

$$= \frac{1}{2} \left\{ \frac{(1-y)}{(1-y)(y-y_e)} + \frac{(1-y_e)}{(1-y)(y-y_e)} \right\}$$

$$= \frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{(y-y_e)} + \frac{(1-y) + (y-y_e)}{(y-y_e)} \right\}$$

$$= \frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{(y-y_e)} + \frac{(y-y_e)}{(1-y)(y-y_e)} + \frac{(1-y)}{(1-y)(y-y_e)} \right\}$$

$$= \frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{(y-y_e)} + \frac{1}{(1-y)} + \frac{1}{(y-y_e)} \right\} = \frac{1}{2} \left\{ \frac{2}{(y-y_e)} + \frac{1}{(1-y)} \right\}$$

Η εξίσωση απλουστεύεται με την θεώρηση ότι η μέση λογαριθμική, $(1-y)_{ln}$, είναι περίπου ίση με την μέση αριθμητική, $[(1-y) + (1-y_e)]/2$, οπότε τελικά

$$N_{OG} = \int_{y_{out}}^{y_{in}} \frac{dy}{(y-y_e)} + \frac{1}{2} \ln \left[\frac{1-y_{out}}{1-y_{in}} \right]$$

Απορρόφηση με πληρωτικά υλικά

- **Απόδοση Στήλης ή Πύργου Απορρόφησης, η_o :**

η_o =(πραγματικός διαχωρισμός/διαχωρισμός σε στήλη (ή πύργο) άπειρου ύψους)

$$\eta_o = \frac{y_{in} - y_{out}}{y_{in} - y_{out,e}}$$

Όπου $y_{out,e}$ είναι η σύσταση του αερίου που θα ήταν σε ισορροπία με το υγρό σύστασης x_2 .

Αν $x_{in}=0$ (καθαρός διαλύτης) τότε:

Ακόμη:

$$\eta_o = (y_{out} - y_{in}) / y_{out}$$

$$\frac{L}{G} = \beta \left(\frac{L}{G} \right)_{\min} = \beta \frac{y_{in} - y_{out}}{x_{out,max} - x_{in}} = \beta \frac{y_{in} - y_{out}}{x_{out,max}}$$

$$\frac{L}{G} = \beta m \frac{y_{in} - y_{out}}{y_{in}} = \beta m \eta_o \Rightarrow \eta_o = \frac{1}{\beta m} \left(\frac{L}{G} \right)$$

Απορρόφηση