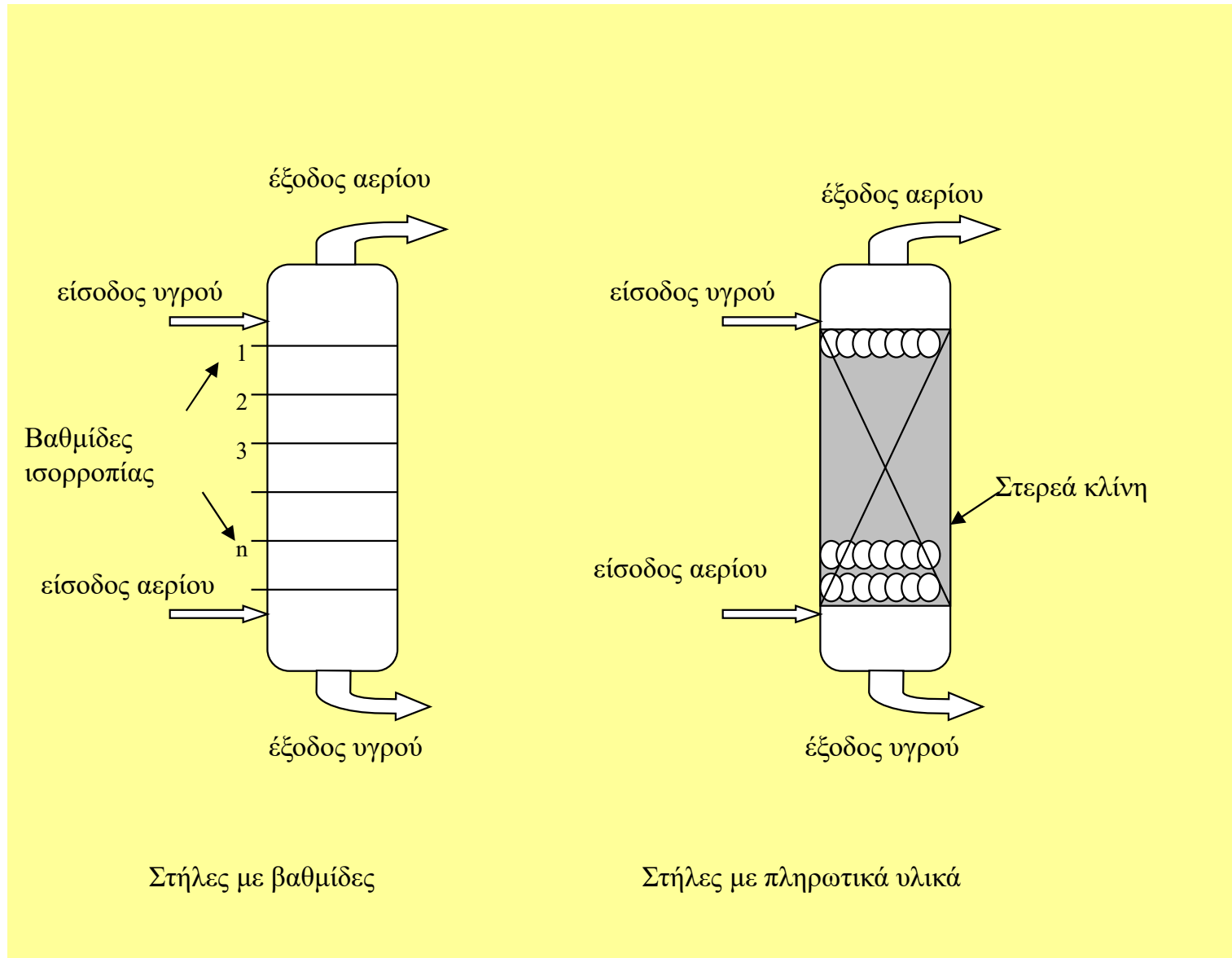


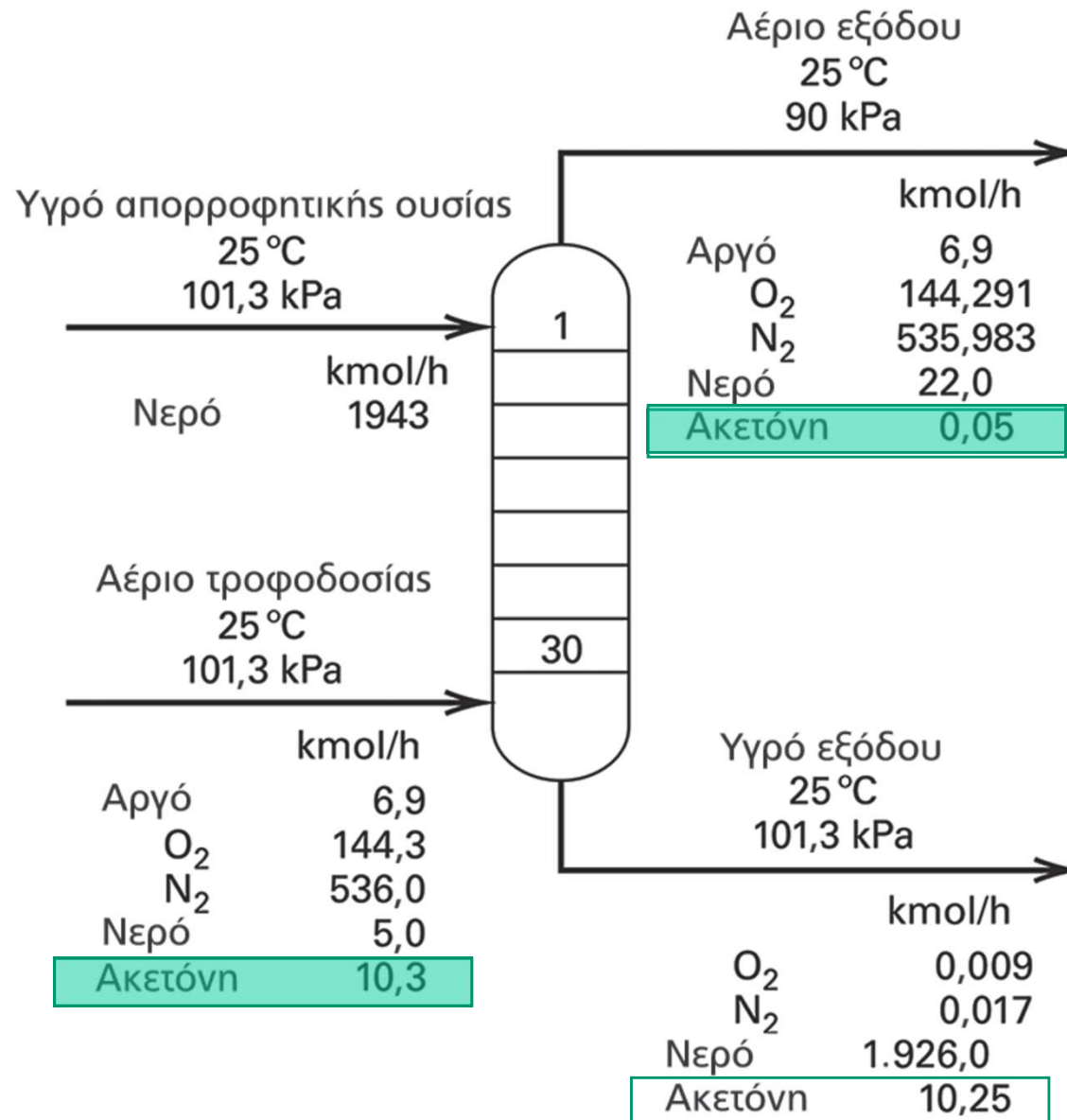
ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΑΕΡΙΩΝ



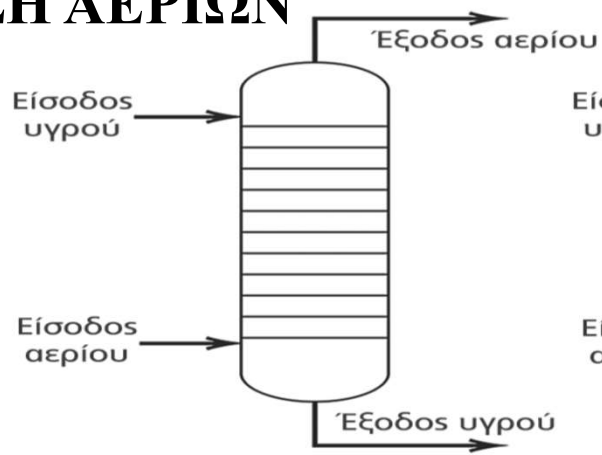
ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΑΕΡΙΩΝ



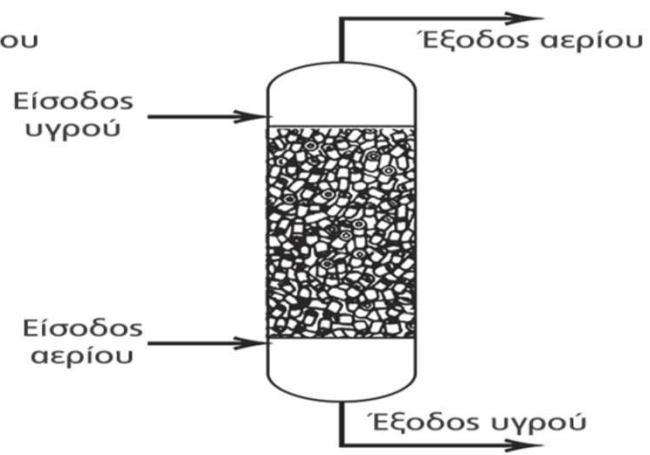
ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΑΕΡΙΩΝ- Βιομηχανικό παράδειγμα



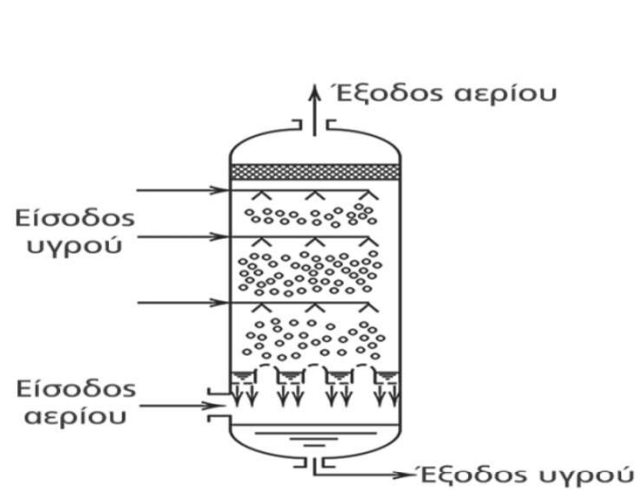
ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΑΕΡΙΩΝ



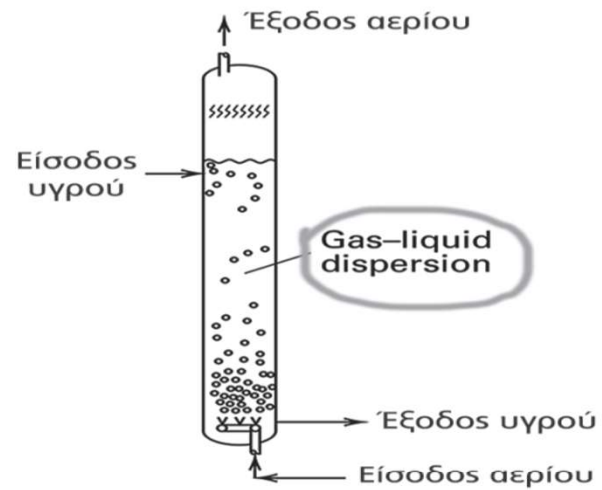
(α)



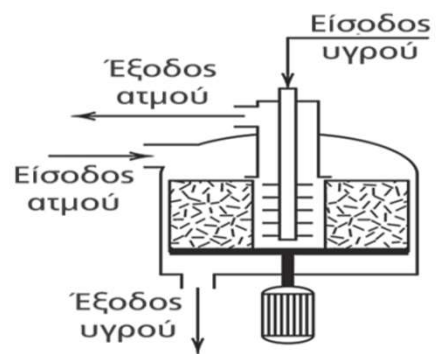
(β)



(γ)



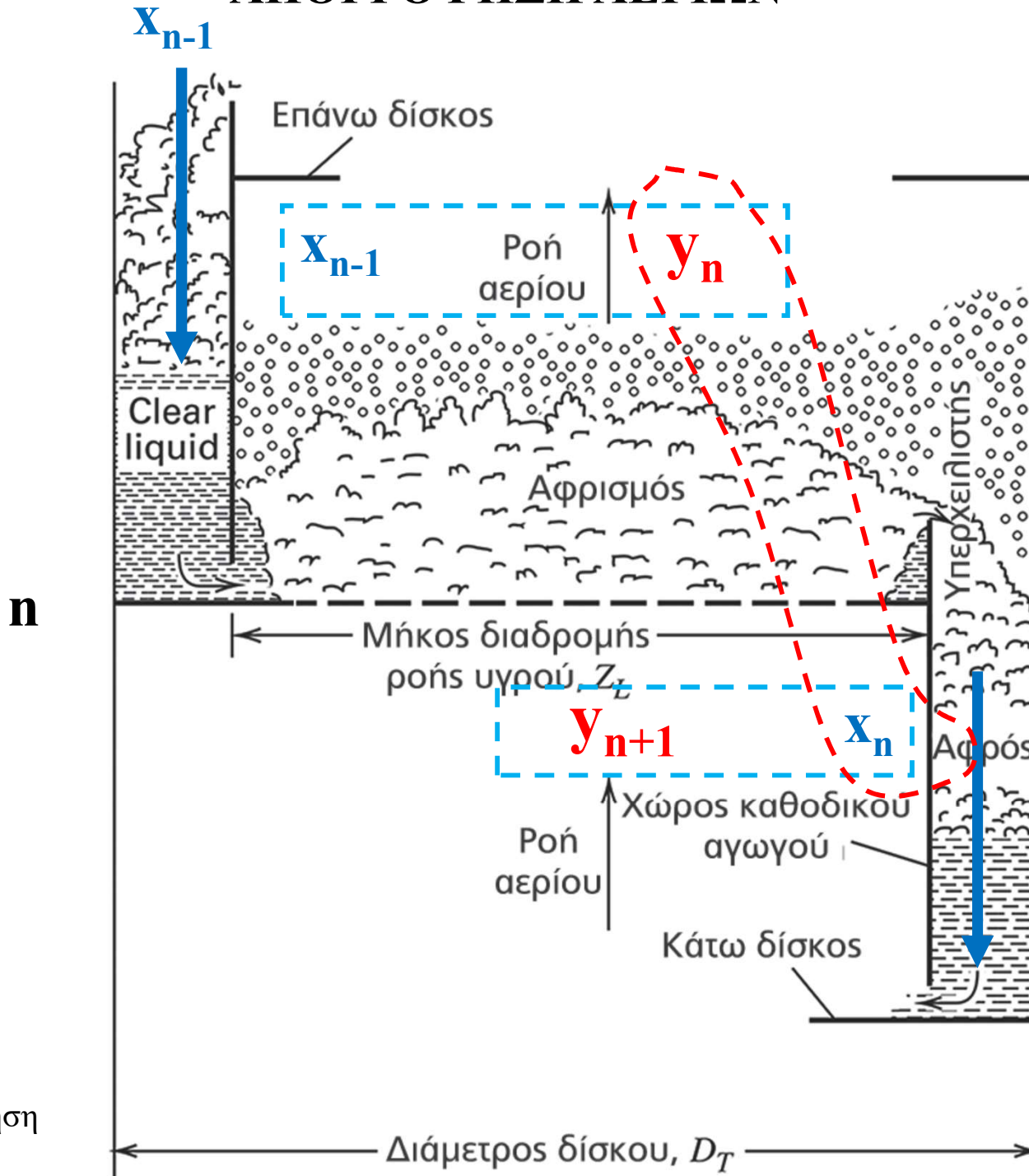
(δ)



(ε)

Απορρόφηση

ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΑΕΡΙΩΝ

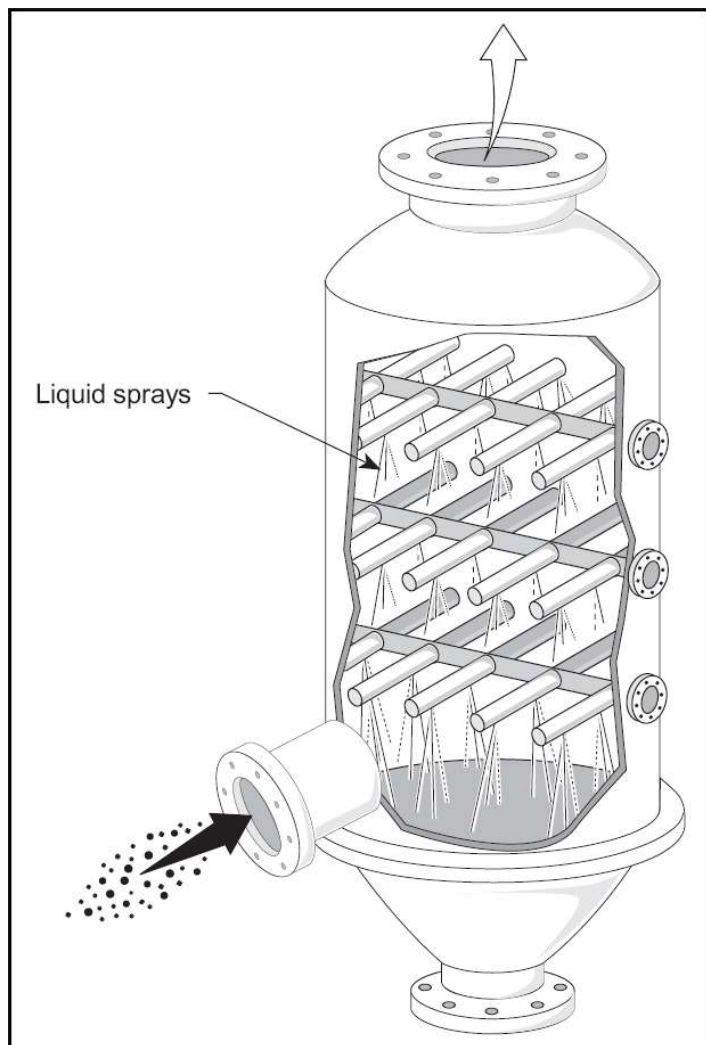


y_n σε ισορ x_n
 $y_n = f(x_n)$

y_n εξ. Λευτ. x_{n-1}
 $y_n = f(x_{n-1})$

ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΑΕΡΙΩΝ

με Ψεκασμό



https://en.wikipedia.org/wiki/Spray_tower#/media/File:Cntrcrtspraytow.jpg

Απορρόφηση

Πλεονεκτήματα

- Μεγαλύτερη απόδοση
- Μικρότερη πτώση πίεσης
- Μεγαλύτερες παροχές αερίου και υγρού
- Εύκολη κατασκευή
- Μικρά κόστη συντήρησης

Μειονεκτήματα

- Μεγάλη κατανάλωση νερού
- Κόστος αντλιών
- Υγρό φίλμ στα τοιχώματα του απορροφητή
- Συσσωμάτωση των σταγονιδίων

Παράμετροι: διάμετρος ψεκαστήρα, αριθμός ψεκαστήρων, παροχή υγρού, κατανομή μεγέθους και ταχύτητας σταγονιδίων, χρόνος επαφής σταγονιδίων/ αερίου/συγκέντρωση τοξικού αερίου στο μίγμα

ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΑΕΡΙΩΝ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

1. Ισορροπία αερίων- υγρού
2. Ανάλυση διεργασίας **Απορρόφησης**
3. Απορρόφηση Πολυσύνθετων Μιγμάτων
4. **Εκρόφηση**
5. Στήλες Απορρόφησης με πληρωτικά υλικά

Απορρόφηση

- **Απορρόφηση Αερίων** (Gas **a****h**sorption) είναι ο **διαχωρισμός ενός μίγματος αερίων μέσω της επαφής του με ένα υγρό, το οποίο διαλύει ένα ή περισσότερα συστατικά του μίγματος, με αποτέλεσμα να το(τα) διαχωρίζει από το αρχικό μίγμα.**
- Η διεργασία αυτή γίνεται σε παρόμοιες εγκαταστάσεις όπως αυτές των στηλών απόσταξης.
- **Μεταφορά Μάζας- Ισορροπία Αερίων- Υγρού**
- Η αντίστροφη διεργασία, δηλ. η απομάκρυνση ενός ή περισσότερων αερίων από το διάλυμα ονομάζεται **εκρόφηση** ή εξάντληση (stripping). Βασίζεται στην διαβίβαση ενός αδρανούς αερίου μέσω του διαλύματος το οποίο απομακρύνει το εκροφούμενο αέριο.

Απορρόφηση

- Ισορροπία Αερίων –Υγρού

- Διαλυτότητα ενός αερίου σε ένα υγρό: βάρος του αερίου σε 100 μ. β. διαλύτη, για δεδομένη P και T
- Νόμος του Henry (δεν ισχύει για πυκνά μίγματα)

$$p_i = x_i H_i, \text{ (αντίστοιχος του Raoult, } p_i = x_i P_i^{\circ}\text{)}$$

p_i :είναι μερική πίεση του αερίου στην αέρια φάση

x_i :είναι το γραμ/κό κλάσμα του αερίου i στην υγρή φάση

H_i : σταθερά του Henry (μονάδες πίεσης) (= P_i°)

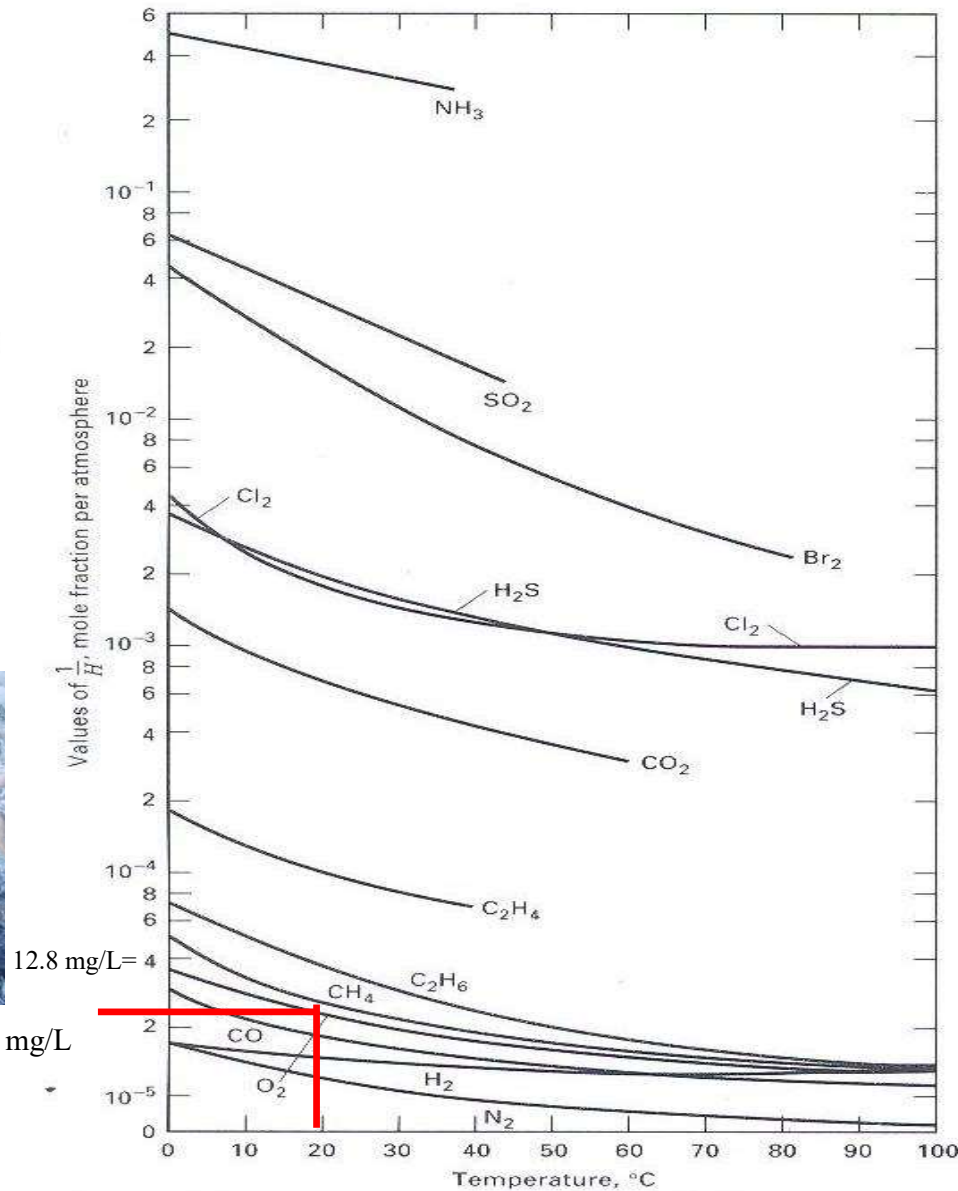
- Διαλυτότητα= $f(T, P)$
- Συνήθης διαλύτης: Νερό, ορυκτέλαιο για υδρογονάνθρακες

Απορρόφηση

Όρια O₂ στο νερό: 5-6 ppm
 Για O₂ < 2ppm προκαλείται ασφυξία στα ψάρια



$$2.1 \cdot 10^{-4} \cdot 32 \cdot 1000 = 6,72 \text{ mg/L}$$



$$p_i = H_i x_i \text{ (HENRY)}$$

$$p_i = P_i^0 x_i \text{ (Raoult)}$$

$$H_i = P_i^0$$

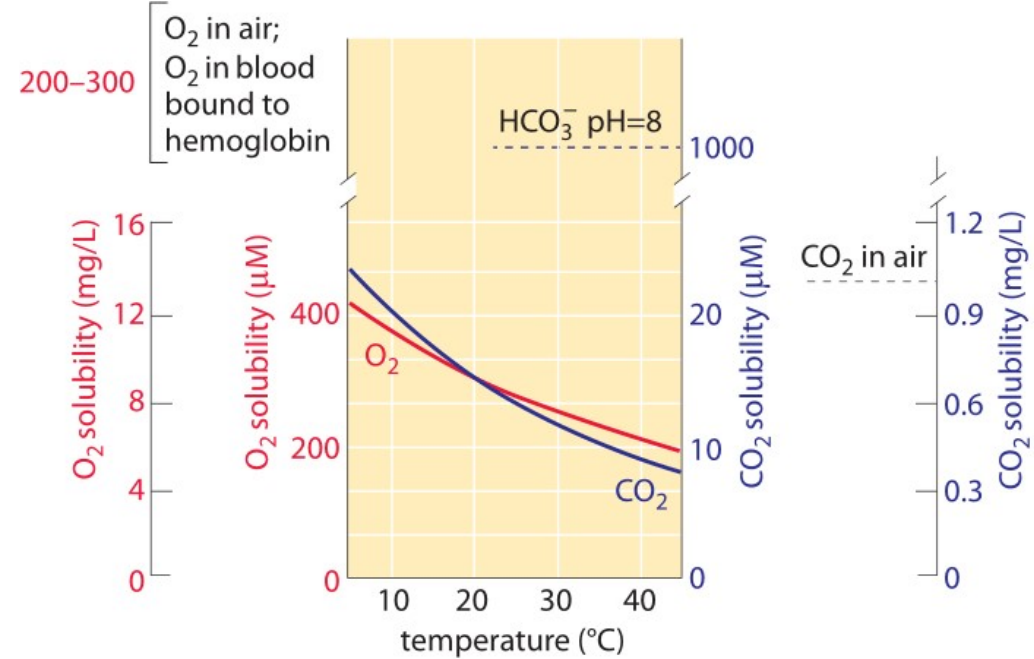
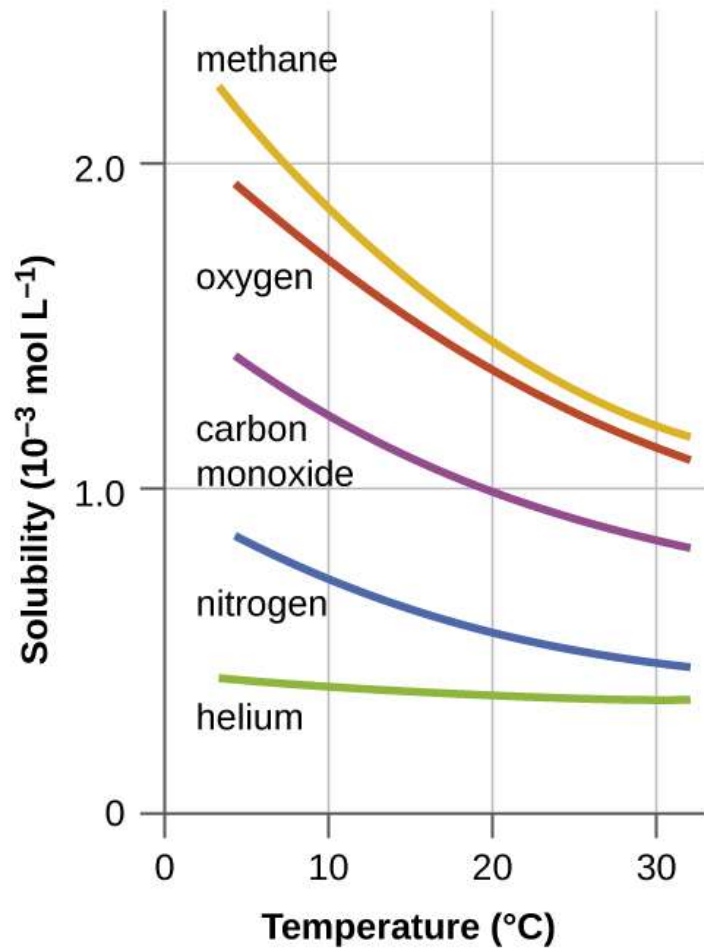
$$p_i = P_i^0 x_i, x_i = p_i / P_i^0 = p_i / H_i$$

$$1/H_i = x_i / p_i$$

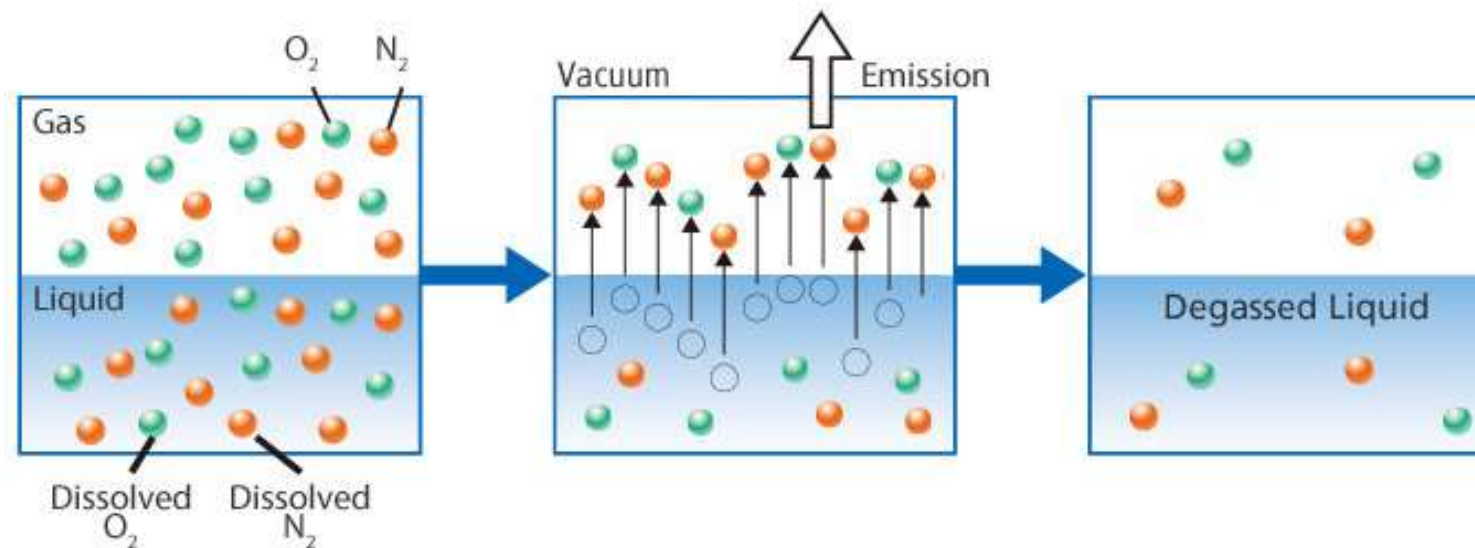
Δείκτης για την διάλυση μιας ουσίας

$$\text{Αν } 1/H_i \uparrow \quad x_i \uparrow$$

Απορρόφηση



$[\text{O}_2]/[\text{CO}_2] \approx 20$ but axis scale chosen to show relative slope



Απορρόφηση

Χρήση **νερού** ως διαλύτη για την απορρόφηση των παρακάτω συστατικών:

- a. Αμμωνία
- b. Ακετόνη
- c. Ακρυλονιτρίλιο
- d. Αιθανόλη
- e. Φορμαλδεΐδη
- f. Υδροχλωρικό και υδροφθορικό οξύ
- g. Διοξείδιο και τριοξείδιο του θείου (SO_x)
- h. Χλώριο
- i. Οξείδια του αζώτου (NO_x : NO και NO_2)

Χρήση **υδατικού διαλύματος NaOH** για την απορρόφηση

- Διοξειδίου του άνθρακα (CO_2)
- Υδροχλωρικού οξέως (HCl)
- Υδροφθορικού οξέως (HF)
- Υδρόθειου (H_2S)

Χρήση **ορυκτελαίων** για την απορρόφηση υδρογονανθρακικών ενώσεων όπως:

- Βενζόλιο
- Τολουόλιο
- Βουτάνιο
- Προπάνιο
- Βουταδιένιο
- Ναφθαλένιο
- Άλλοι υδρογονάνθρακες.

Άλλοι διαλύτες

- Αμίνες
- (δι- τρι- Αιθυλενογλυκόλη
- κ.λπ.

Σχεδιασμός στηλών απορρόφησης

Οι παράγοντες που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη στην ανάλυση και στον σχεδιασμό των στηλών απορρόφησης είναι εν γένει οι παρακάτω:

- **Παροχές** των δυο φάσεων και η σύστασή τους στο συστατικό ενδιαφέροντος (δηλαδή στην ουσία που επιθυμούμε να απομακρύνουμε από το μίγμα αερίων).
- **Θερμοκρασία και πίεση** λειτουργίας της στήλης.
- **Επιθυμητός βαθμός διαχωρισμού** του συστατικού ενδιαφέροντος (σύσταση εξόδου του καθαρισμένου αερίου μίγματος).
- **Τύπος στήλης** που θα χρησιμοποιηθεί (στήλη με **βαθμίδες** ή στήλη με **πληρωτικά υλικά**).
- Στην δεύτερη περίπτωση από τις αναφερθέντες παραπάνω, **ποια είναι η πτώση πίεσης** που αναπτύσσεται κατά μήκος της στήλης.
- **Επιλογή κατάλληλου διαλύτη** (υγρής φάσης).
- Ποιος είναι **ο ελάχιστος δυνατός λόγος παροχής υγρού διαλύτη** που θα απαιτηθεί για κάποιο επιζητούμενο βαθμό διαχωρισμού σε σχέση με την παροχή του διαχειριζόμενου αερίου μίγματος.
- Ποιος είναι **ο αριθμός των βαθμίδων ισορροπίας** που θα πρέπει να έχει η στήλη για την επίτευξη του επιθυμητού βαθμού διαχωρισμού (αφορά τις στήλες τύπου βαθμίδων).
- **Ύψος και διάμετρος της στήλης**.
- **Πιθανή** απαίτηση **θέρμανσης ή ψύξης** της στήλης.

Σχεδιασμός στηλών απορρόφησης

- *Βασικές απαιτήσεις για την εκλογή του διαλύτη*
- **A) Να διαλύει σημαντικά τα προς διαχωρισμό αέρια και να μπορεί να τα εκροφήσει εύκολα**
- **B) Να μην είναι πτητικός ή τοξικός**
- **Γ) Να έχει χαμηλό ιξώδες**
- **Δ) Να είναι χημικά σταθερός και φτηνός**

Σχεδιασμός στηλών απορρόφησης

- Τέλεια διαλύματος αερίου σε υγρό

$$p_i = x_i p_i^0, \text{ (Νόμος του Raoult)}$$

$$p_i = x_i H_i, \text{ (Νόμος του Henry)}$$

$$p_i = y_i P, \text{ (Νόμος του Dalton)}$$

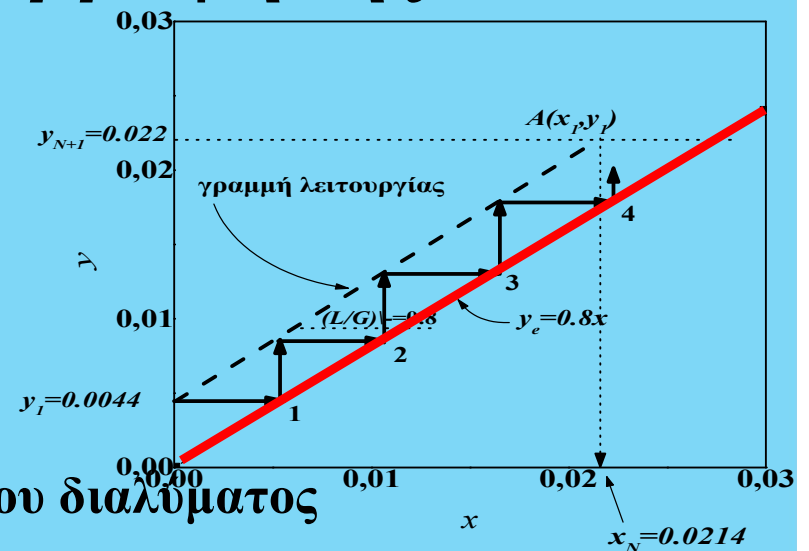
p_i^0 : η τάση ατμών του καθαρού i , στην θερμοκρασία του διαλύματος

H_i : σταθερά του Henry

- (Raoult= Henry) $x_i p_i^0 = x_i H_i$, **$H_i = p_i^0$**

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

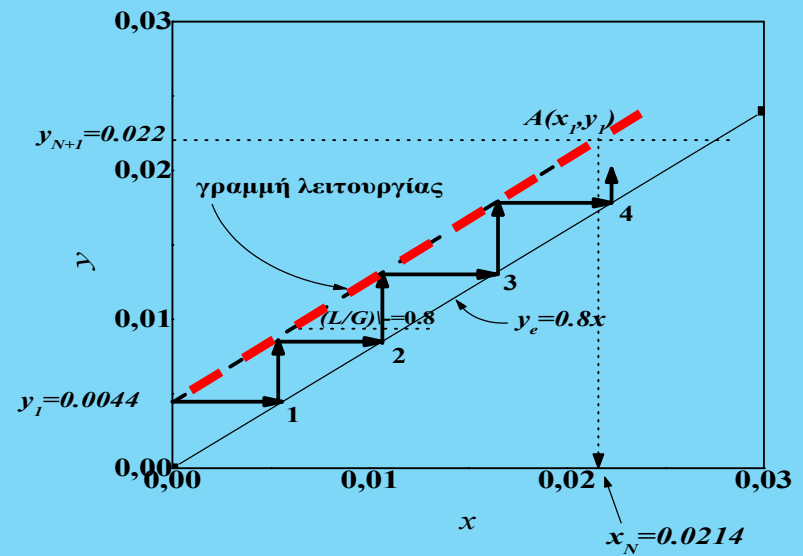
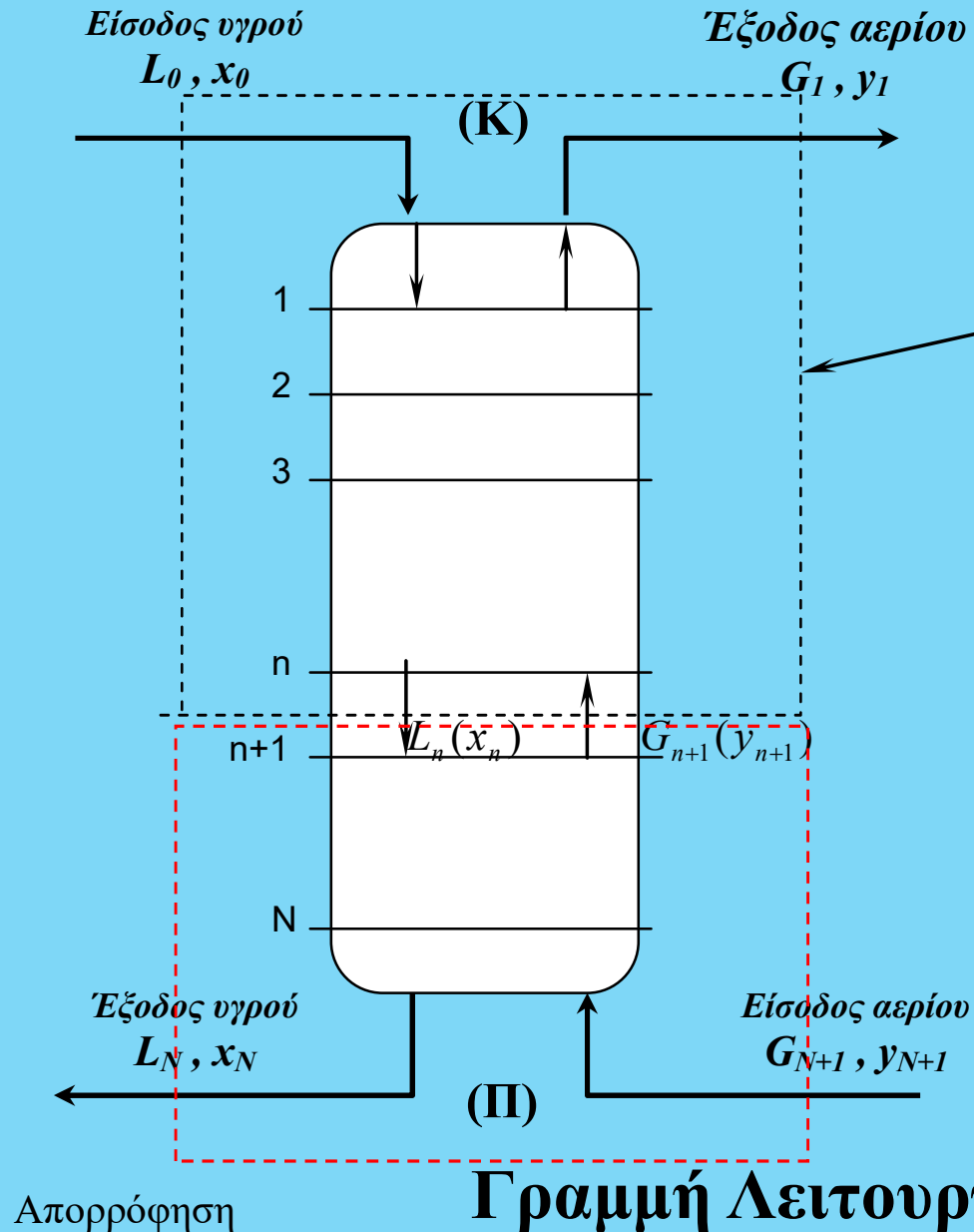
$$m = H_i / P$$



- Η εξίσωση παριστάνει ευθεία γραμμή, με κλίση m στο διάγραμμα ισορροπίας $y-x$:
- **ΓΡΑΜΜΗ (καμπύλη?) ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ**
- Σε περίπτωση που δεν ισχύει ο νόμος του Henry ή του Raoult τότε η αναπαράσταση της ισορροπίας στο διάγραμμα δεν είναι γραμμική.

Απορρόφηση

Σχεδιασμός στηλών απορρόφησης



Γραμμοσκιασμένος Ο.Ε

Ισοζύγιο μάζας

$$L_0 + G_{n+1} = L_n + G_1$$

Ισοζύγιο διαλυτού

$$L_0 x_0 + G_{n+1} y_{n+1} = L_n x_n + G_1 y_1$$

Αν έχουμε αραιά μίγματα, $L_0=L_n=L$
και $G_{n+1}=G_1=G$

$$y_{n+1} = \frac{L}{G} x_n + y_1 - \frac{L}{G} x_0$$

$$y_{n+1} = \frac{L}{G} x_n + y_N - \frac{L}{G} x_N$$

Σχεδιασμός στηλών απορρόφησης

Γραμμή Λειτουργίας

Ισοζύγιο μάζας

$$L_0 + G_{N+1} = L_N + G_1$$

Ισοζύγιο διαλυτού

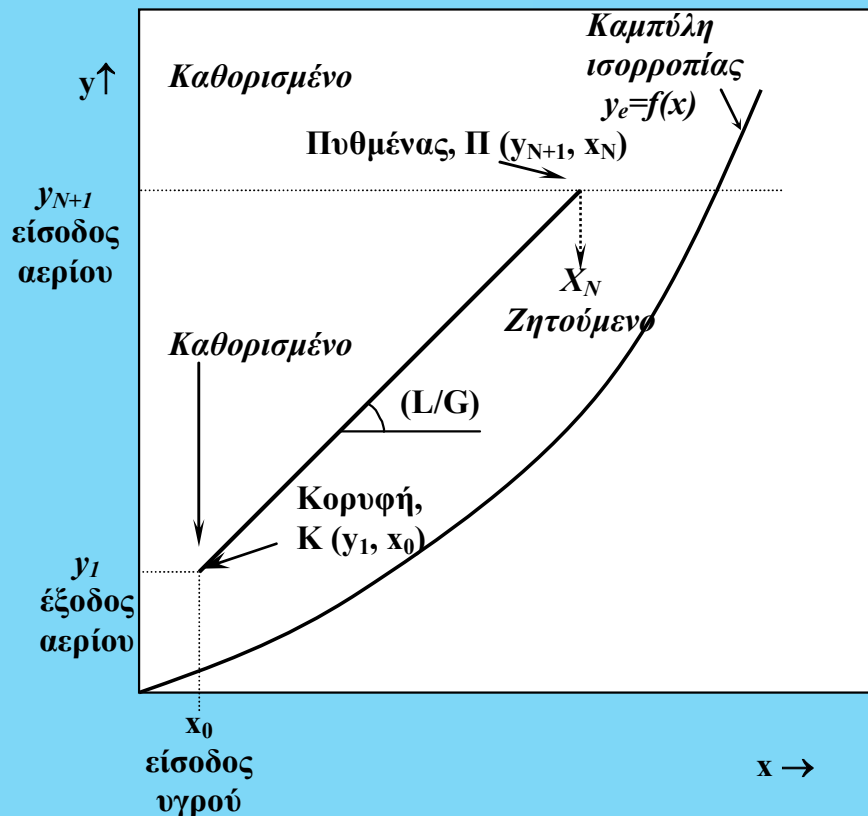
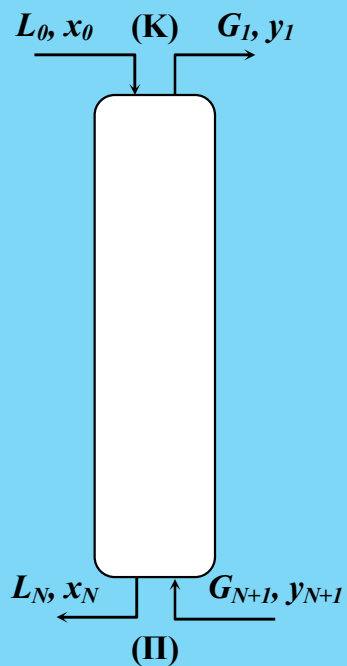
$$L_0 x_0 + G_{N+1} y_{N+1} = L_N x_N + G_1 y_1$$

Αν έχουμε αραιά μίγματα, $L_0=L_N=L$ και $G_{N+1}=G_1=G$

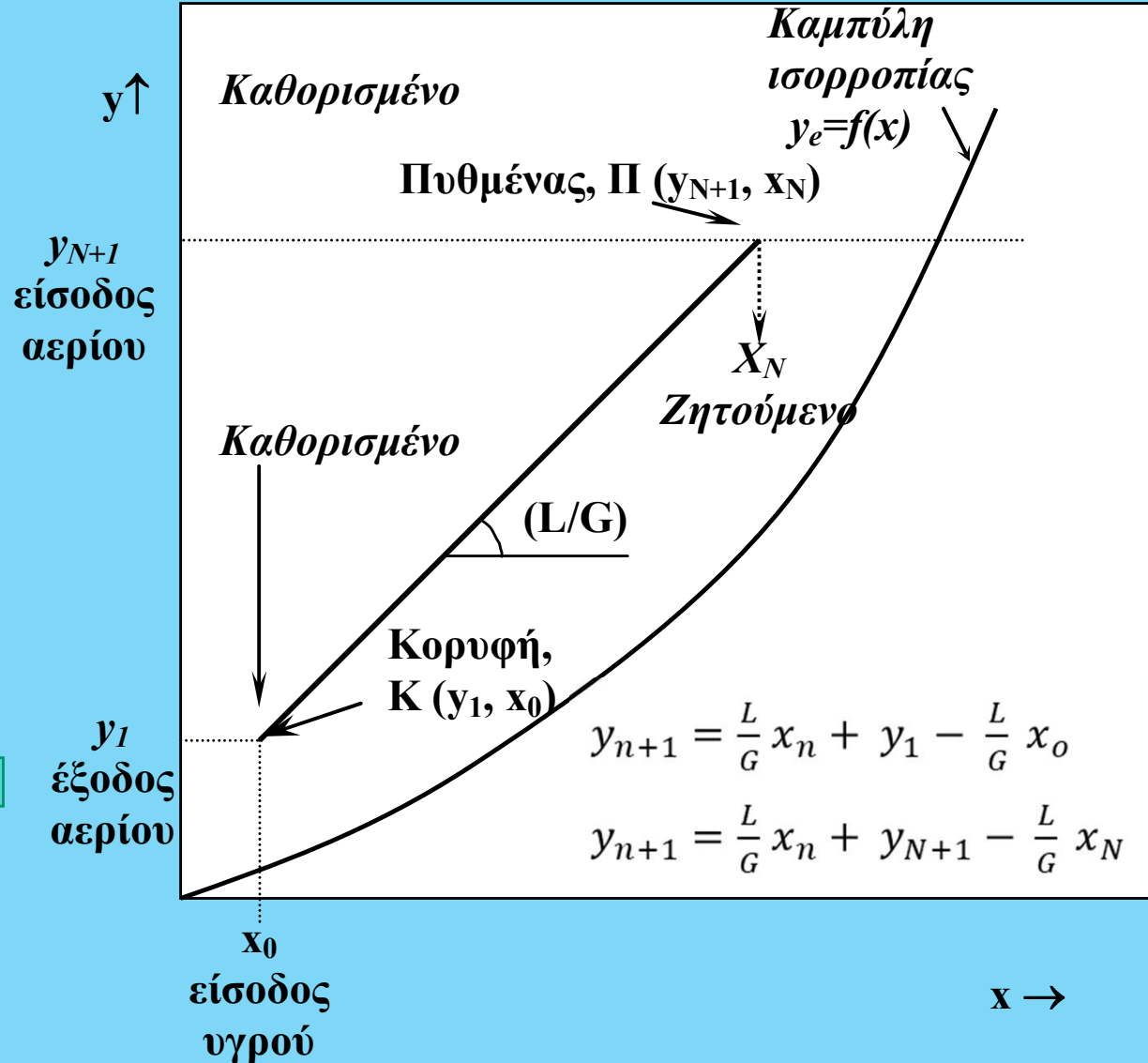
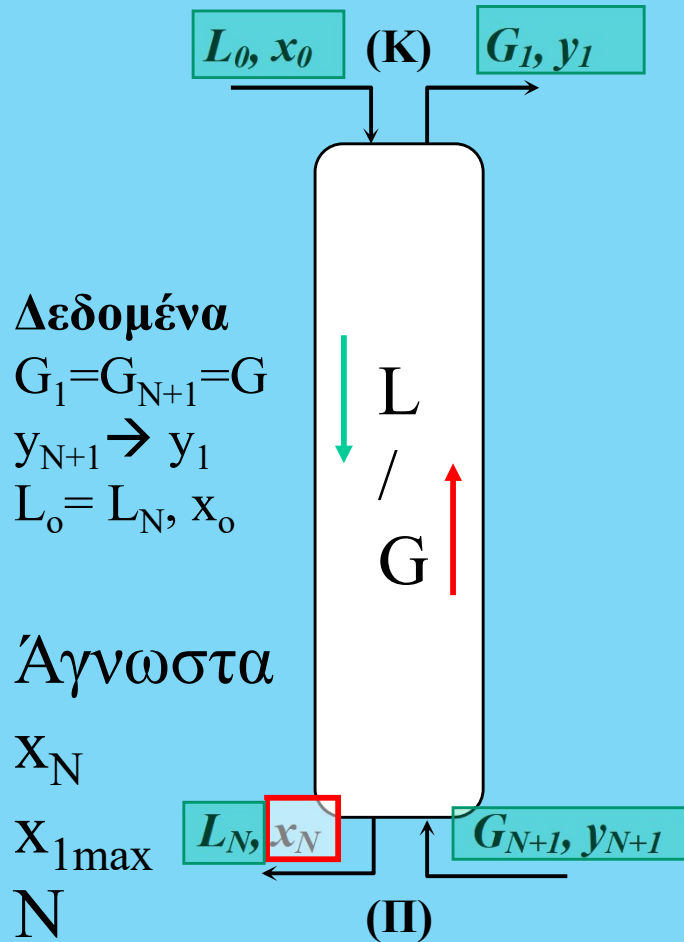
$$y_{N+1} = \frac{L}{G} x_N + y_1 - \frac{L}{G} x_0$$

$$y = ax + b$$

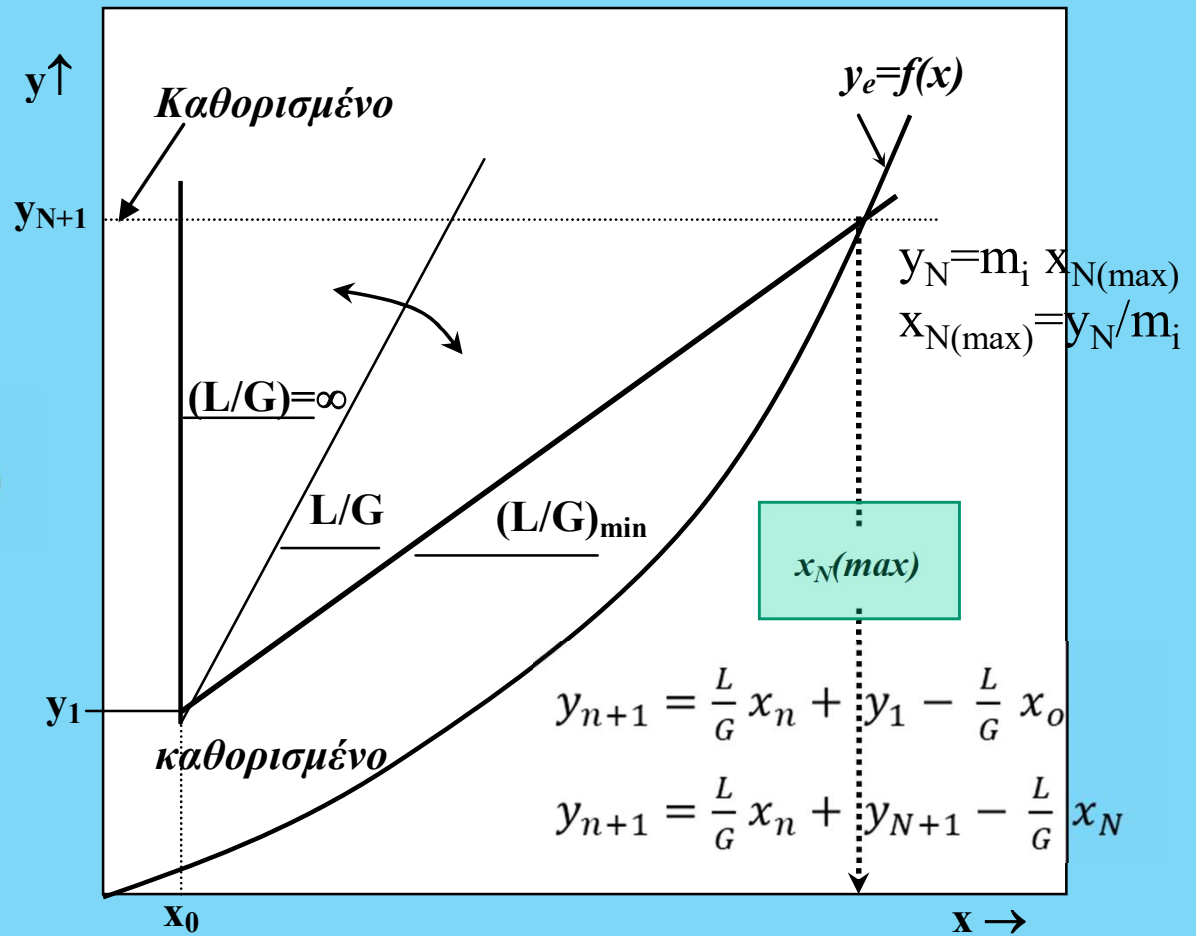
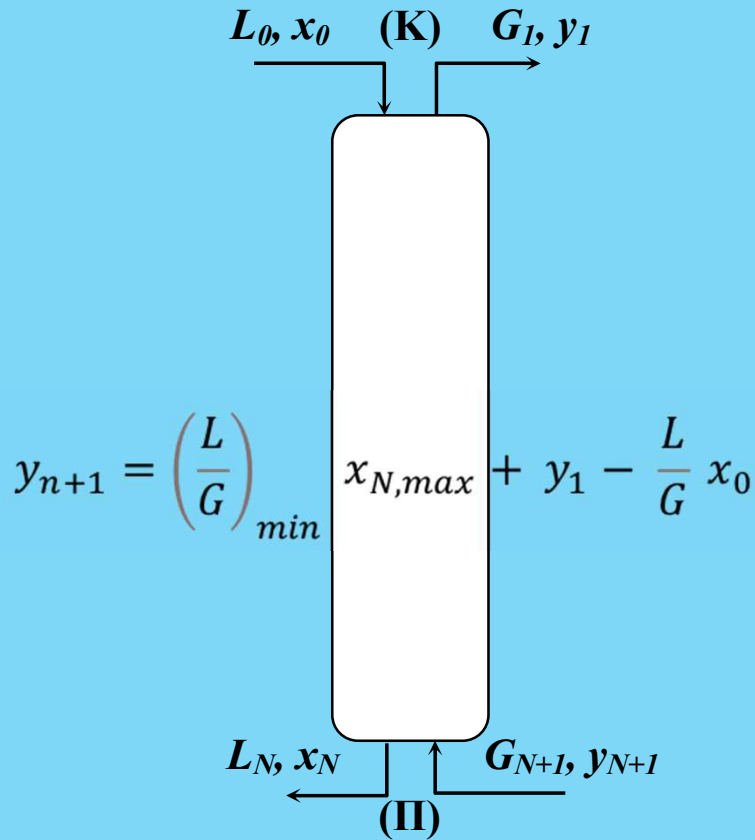
(L/G) λόγος ροής



Σχεδιασμός στηλών απορρόφησης



Σχεδιασμός στηλών απορρόφησης

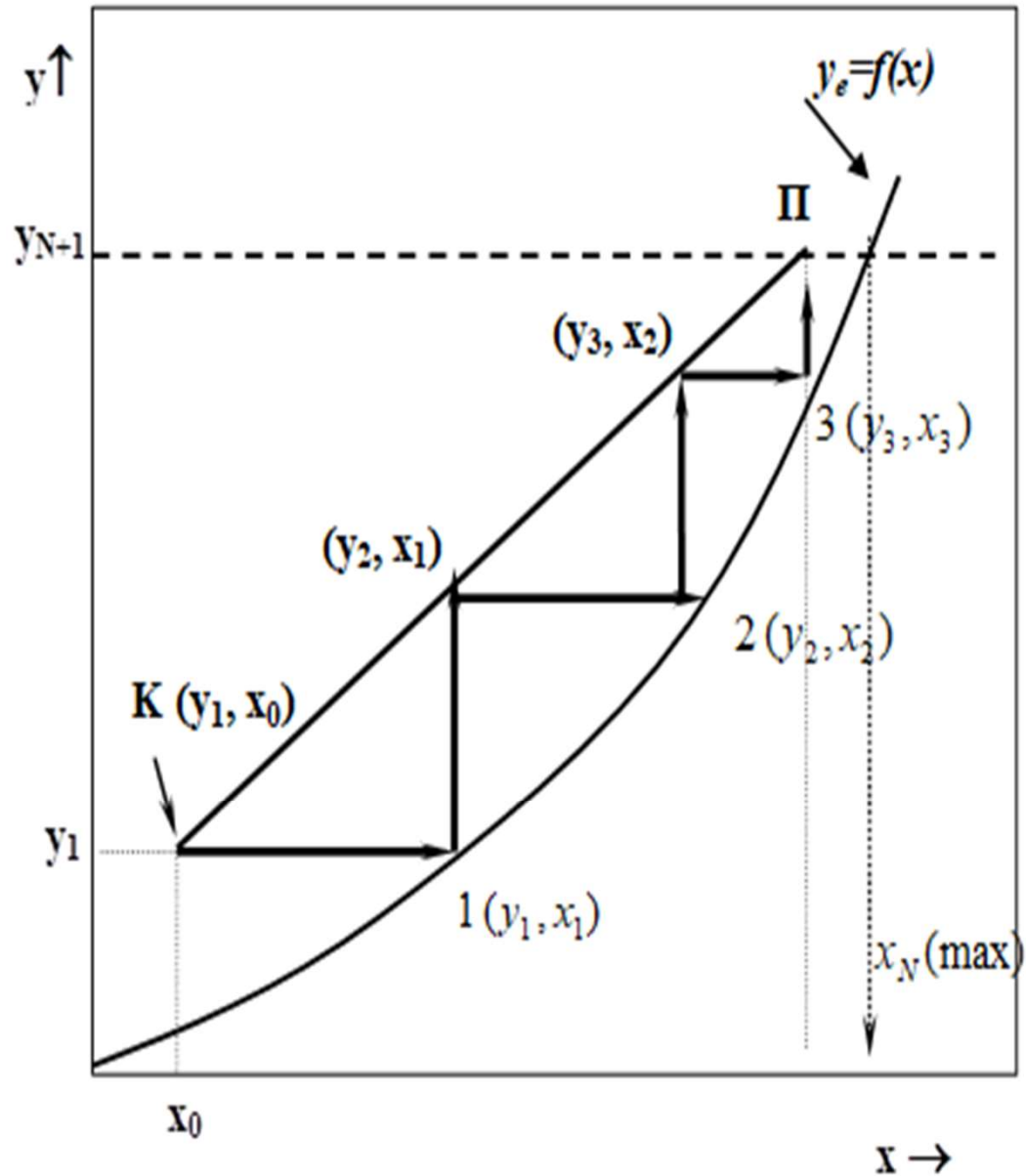
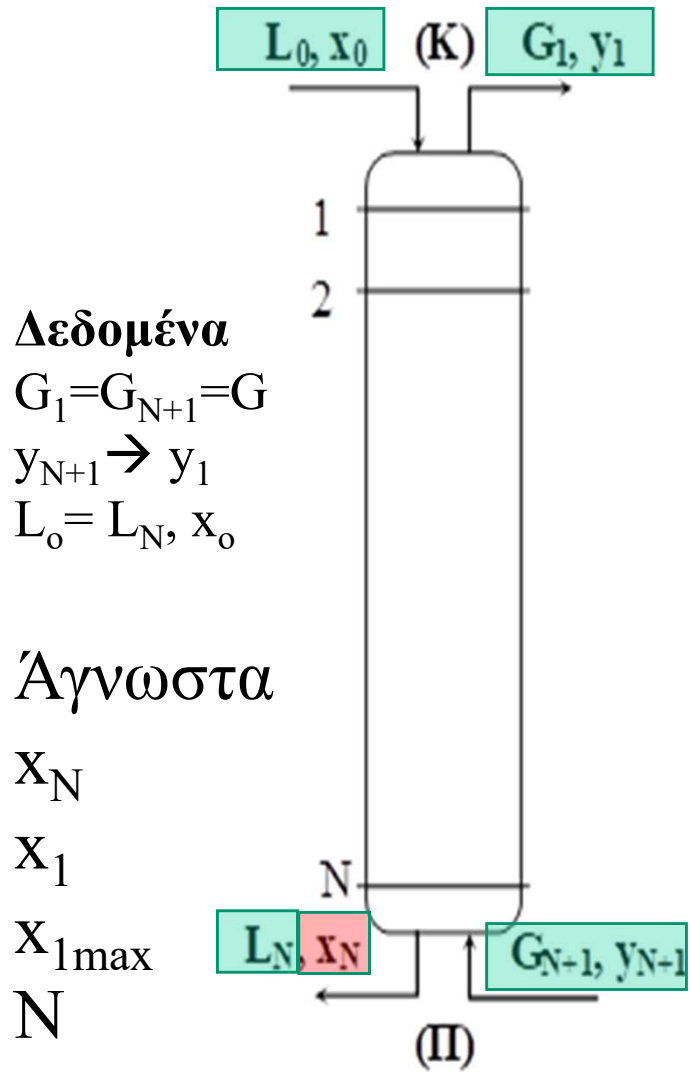


$$\left(\frac{L}{G}\right)_{min} = \frac{y_{N+1} - y_1}{x_N(max) - x_0}$$

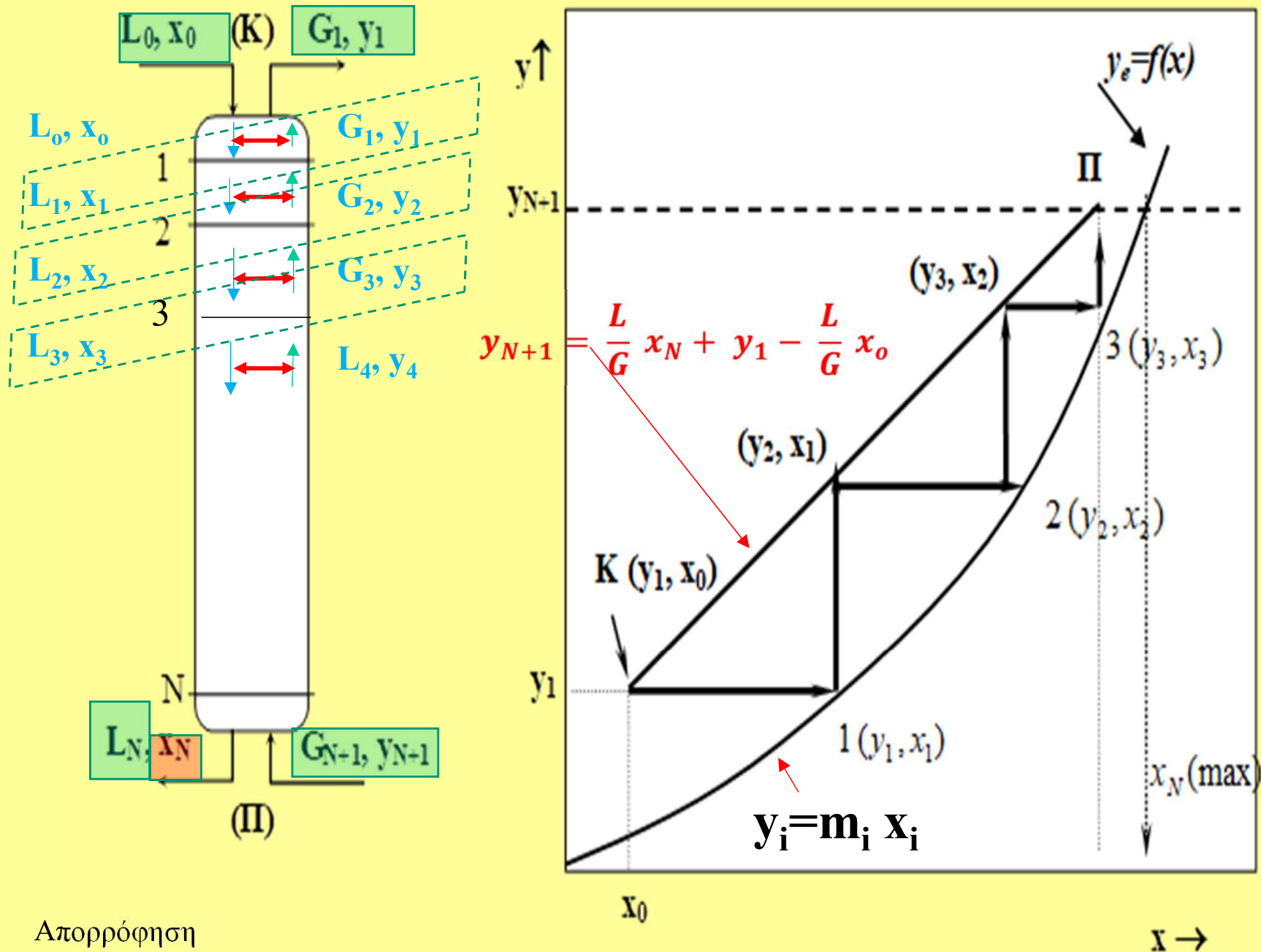
$$\left(\frac{L}{G}\right) = \beta \left(\frac{L}{G}\right)_{min} \quad 1.25 < \beta < 1.5$$

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

Σχεδιασμός στηλών απορρόφησης Μέθοδος McCabe- Thiele



Σχεδιασμός στηλών απορρόφησης- Μέθοδος McCabe- Thiele



Απορρόφηση

- **Μέθοδος McCabe –Thiele**

(θεωρούμε ότι επιτυγχάνεται ισορροπία μεταξύ υγρού και αερίου σε κάθε βαθμίδα)

Βήμα 1^{ον}: Κατασκευάζουμε την γραμμή (καμπύλη?) ισορροπίας

Βήμα 2^{ον}: Κατασκευάζουμε την γραμμή λειτουργίας (AB) με βάση των δεδομένων και του απαιτούμενου (L/G)

Βήμα 3^{ον}: Κατασκευάζουμε τις θεωρητικές βαθμίδες ξεκινώντας από την κορυφή του πύργου (B) κατά τον γνωστό τρόπο, έχοντας σαν όρια την γραμμή λειτουργίας (AB) και την καμπύλη ισορροπίας, $y_e = f(x)$

Σχεδιασμός στηλών απορρόφησης

Αλγεβρικές μέθοδοι υπολογισμού των βαθμίδων
Μέθοδος Kremser-Souder and Brown, KSB)

$$\frac{y_{N+1} - y_1}{y_{N+1} - m_i x_0} = \frac{A^{N+1} - A}{A^{N+1} - 1} \quad \frac{y_B - y_T}{y_B - m x_T} = \frac{A_0^{N+1} - A_0}{A_0^{N+1} - 1}$$

$$m_i = \frac{H_i}{p} \quad \text{ή} \quad m_i = \frac{p_i^{sat}}{p}$$

A_0 που ονομάζεται *παράγοντας απορρόφησης*, $A = \frac{L}{m_i G}$

$$N = \frac{1}{\ln(A_0)} \ln \left[\left(\frac{y_B - m x_T}{y_T - m x_T} \right) \left(1 - \frac{1}{A_0} \right) + \frac{1}{A_0} \right]$$

N , ο αριθμός των θεωρητικών βαθμίδων

B: Bottom,

$G_{N+1}, y_{N+1} \rightarrow y_B$

$L_N, x_N \rightarrow x_B$

T: Top

$G_1, y_1 \rightarrow y_T$

$L_0, x_0 \rightarrow x_T$

Απορρόφηση

Πυκνά μίγματα

[Ποσότητα του απορροφούμενου αερίου είναι σημαντική με αποτέλεσμα να μεταβάλλεται ο ρυθμός ροής των δύο ρευμάτων, ($G_{N+1} > G_1$, και $L_N > L_0$)]

Αδρανές αέριο, G' , διαλύτης, L' (G' , L' σταθερά σε όλο το μήκος):

$$G(1-y) = G' \text{ και } L(1-x) = L'$$

Γραμμοσκιασμένος Ο.Ε

Ισοζύγιο μάζας

$$L_0 + G_{n+1} = L_n + G_1$$

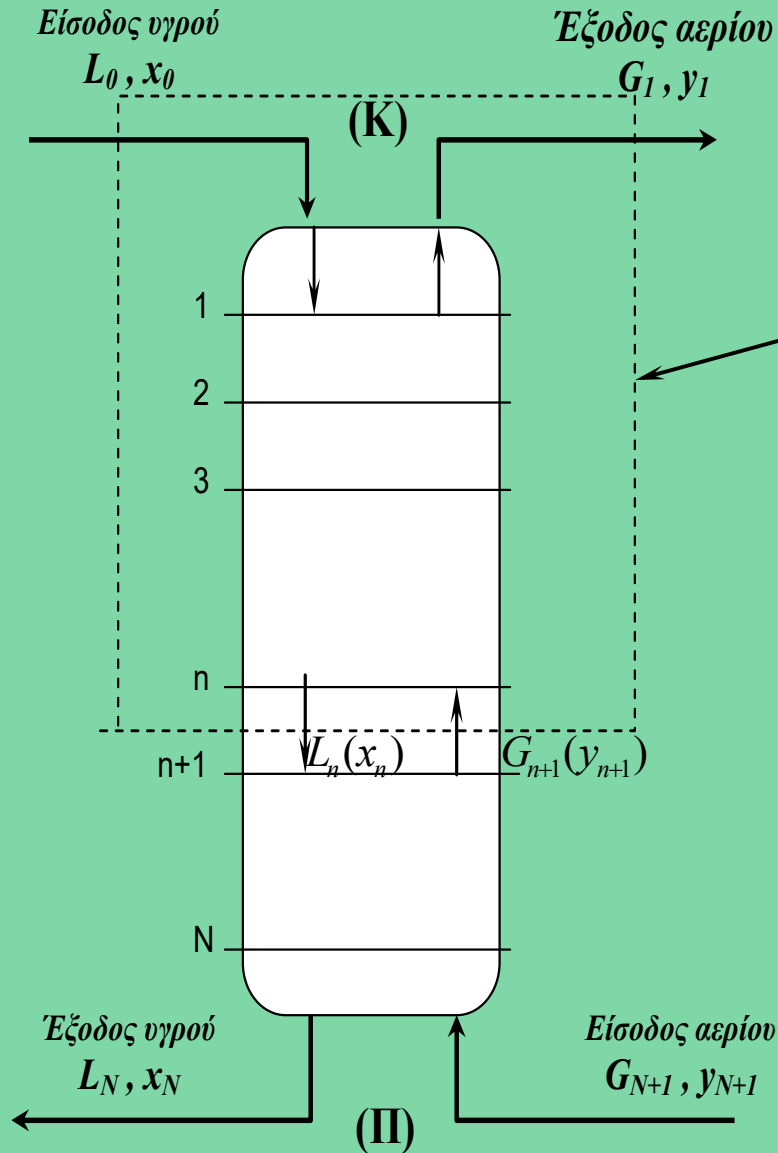
Ισοζύγιο διαλυτού

$$L_0 x_0 + G_{n+1} y_{n+1} = L_n x_n + G_1 y_1$$

ΔΕΝ έχουμε αραιά μίγματα,

$$L' = L_0 (1-x_0) = L_n (1-x_n) \text{ και}$$

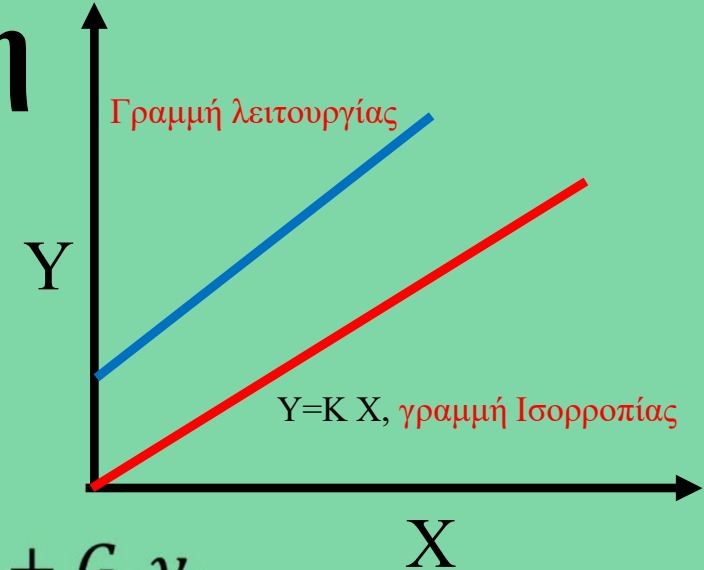
$$G' = G_{n+1} (1-y_{N+1}) = G_1 (1-y_1)$$



Απορρόφηση

Πυκνά μίγματα

$Y=K X$, γραμμή Ισορροπίας



Ισοζύγιο διαλυτού

$$L_0 x_0 + G_{n+1} y_{n+1} = L_n x_n + G_1 y_1$$

$$L_0 = \frac{L'}{1-x_0}, L_n = \frac{L'}{(1-x_n)}, G_1 = \frac{G'}{(1-y_1)}, G_{n+1} = \frac{G'}{(1-y_{n+1})}$$

$$\left[\frac{L'}{1-x_0} \right] x_0 + \left[\frac{G'}{(1-y_{n+1})} \right] y_{n+1} = \left[\frac{L'}{(1-x_n)} \right] x_n + \left[\frac{G'}{(1-y_1)} \right] y_1$$

$$X_0 = \frac{x_0}{(1-x_0)}, X_n = \frac{x_n}{(1-x_n)}, Y_{n+1} = \frac{y_{n+1}}{(1-y_{n+1})}, Y_1 = \frac{y_1}{(1-y_1)}$$

$$L' X_0 + G' Y_{n+1} = L' X_n + G' Y_1, G'(Y_{n+1} - Y_1) = L'(X_n - X_0)$$

$$Y_{n+1} = \frac{L'}{G'} X_n + Y_1 - \frac{L'}{G'} X_0$$

Γραμμή λειτουργίας

Απορρόφηση

Θέμα 1^ο (παλιό θέμα): Ένα ρεύμα ατμοσφαιρικού αέρα περιέχει ατμούς ενός τοξικού υγρού Α, σε ποσοστό **1% mole** και θέλουμε να το εξευγενίσουμε αφού η νομοθεσία επιτάσσει την μέγιστη δυνατή απομάκρυνση του (μέγιστη παροχή τοξικού αερίου στην έξοδο **$<1.7 \cdot 10^{-5} \text{ kmole/sec}$**). Στο σχεδιασμό που προτείνετε στο αφεντικό σας ελπίζετε να πετύχετε απομάκρυνση κατά 90% των ατμών του τοξικού αερίου. Η σχεδιαζόμενη απομάκρυνση ικανοποιεί τις περιβαλλοντικές απαιτήσεις? Αν όχι χρησιμοποιείτε ποσοστό απομάκρυνσης τόσο όσο χρειάζεται για να πέτυχετε συγκεντρώσεις του τοξικού αερίου μικρότερες από **$1.7 \cdot 10^{-5} \text{ kmole/sec}$** . Ο αέρας, στον οποίο περιέχεται ο τοξικός ατμός, ρέει σε μια στήλη απορρόφησης με δίσκους με παροχή **$0.4 \text{ m}^3/\text{sec}$** σε θερμοκρασία **$30^\circ\text{C}$** και σε πίεση **$P_t=1.05 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$** . Στο σχεδιασμό, που προτείνετε στο αφεντικό σας, περιλαμβάνετε η χρήση ενός διαθέσιμου διαλύτη μίγματος πετρελαιοειδών, που δυστυχώς περιέχει ήδη μέρος του τοξικού υγρού Α, σε ποσοστό **0.005 κλάσμα σε mole**. Το υγρό ρεύμα πετρελαιοειδών εισέρχεται από την κορυφή του πύργου, επίσης σε θερμοκρασία 30°C . Στην κανονική λειτουργία της στήλης απορρόφησης, ο **λόγος ροής υγρού/ αερίου είναι κατά 50%** μεγαλύτερος από τον ελάχιστο.

Θεωρώντας ιδανική συμπεριφορά των ρευμάτων και σταθερή θερμοκρασία, υπολογίστε:

- την παροχή του αερίου (G_{N+1} , G_1) στην είσοδο και έξοδο και τα kgmole/s του τοξικού στην είσοδο και έξοδο της στήλης
- την γραμμή ισορροπίας και σχεδιάστε την στο millimeter
- τον ελάχιστο λόγο ροής, $(L/G)_{\min}$, τη μέγιστη διάλυση του τοξικού αερίου $x_{B,\max}$ (γραφικά και αναλυτικά) και την ελάχιστη παροχή του διαλύτη

Απορρόφηση

Παράδειγμα (συνέχεια)

δ) τον αριθμό των θεωρητικών βαθμίδων της διεργασίας για λόγο ροής υγρού/αερίου κατά 50% μεγαλύτερος από τον ελάχιστο, καθώς και το ποσοστό (x_N) του τοξικού αερίου που διαλύεται σε αυτό. Υπολογίστε επίσης την παροχή του διαλύτη, L

ε) Υπολογίστε τον αριθμό των θεωρητικών βαθμίδων χρησιμοποιώντας την εξίσωση των Kremser, Souders and Brown (KSB)

στ) Τέλος, συμπληρώστε τον πίνακα

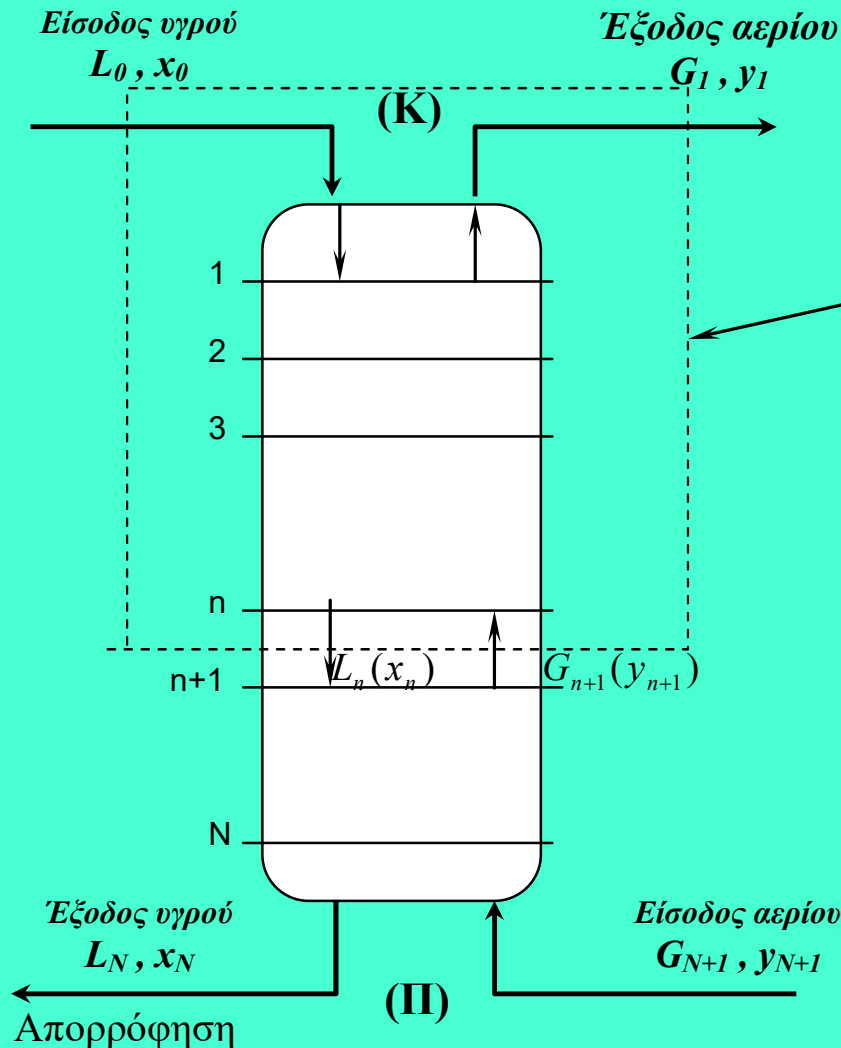
Δίδεται: Η τάση ατμών του τοξικού αερίου στους 30°C , $P=105\text{mmHg}=14000\text{N/m}^2$. Χρησιμοποιήστε την ανάλυση για **αραιά** μίγματα. Θα πρέπει πρώτα να υπολογίσετε το G_{N+1} [=] kgmole/s) από τις σχέσεις των Ιδανικών αερίων

$G_{N+1} =$	$y_B =$	$L_B =$	$x_B =$
$G_T =$	$y_T =$	$L_T =$	$x_T =$
$(L/G)_{\min} =$	$x_{B,\max} =$	$L_{\min} =$	$N =$

Απορρόφηση

Παράδειγμα (συνέχεια)

Λύση: Υπολογισμός παροχών, γραμμή ισορροπίας, γραμμή λειτουργίας, McCabe-Thiele



Δεδομένα:

$$G_{N+1} = 0.4 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow ? \text{ kmol/s}, y_{n+1} = 0.01$$

$$G_1 = G_{N+1} = 0.4 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow G_1 ? \text{ kmol/s}, y_1 = ?$$

$$L_0 = ?, x_0 = 0.005, L_n = L_0, x_N = ?$$

ο.ε. Ι

α) ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΡΟΧΩΝ

Μετατροπή $0.4 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow ? \text{ kmol/s}$

ΚΣ: $P_1 = 1 \text{ atm} (1.013 \cdot 10^5 \text{ Pa})$, $T_1 = 273 \text{ K}$, $V_1 = 22.4 \text{ m}^3$, $n_1 = 1 \text{ kmole}$

$P_t = 1.05 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$, $T_2 = 273 + 30 = 303 \text{ K}$, $V_2 = 0.4 \text{ m}^3/\text{s}$,

$$n_2 = ? \quad \frac{P_1 V_1}{P_2 V_2} = \frac{n_1 R T_1}{n_2 R T_2}$$

$$n_2 = \frac{P_2 V_2}{P_1 V_1} \frac{T_1}{T_2} n_1 = \frac{1.05 \cdot 10^5}{1.013 \cdot 10^5} \frac{0.4/\text{s}}{22.4} \frac{273}{303} 1 \text{ kmole} =$$

$$1.633 \cdot 10^{-2} \frac{\text{kgmole}}{\text{s}} = 58.82 \text{ kmole/hr} = G_{N+1} = G_1$$

$$G_{\text{τοξ,εισ}} = y_1 * G_{N+1} = 0.01 \times 1.633 \cdot 10^{-2} = 1.633 \cdot 10^{-4} \text{ kmole/s}$$

Απορρόφηση

Παράδειγμα (συνέχεια)

Λύση: Υπολογισμός παροχών, γραμμή ισορροπίας, γραμμή λειτουργίας, McCabe-Thiele

Δεδομένα:

$$G_{N+1} = 0.4 \frac{m^3}{s} \rightarrow 1.633 \cdot 10^{-2} \frac{kgmole}{s}$$

$$y_{N+1} = 0.01$$

$$G_1 = G_{N+1} = 0.4 \frac{m^3}{s} \rightarrow 1.633 \cdot 10^{-2} \frac{kgmole}{s}$$

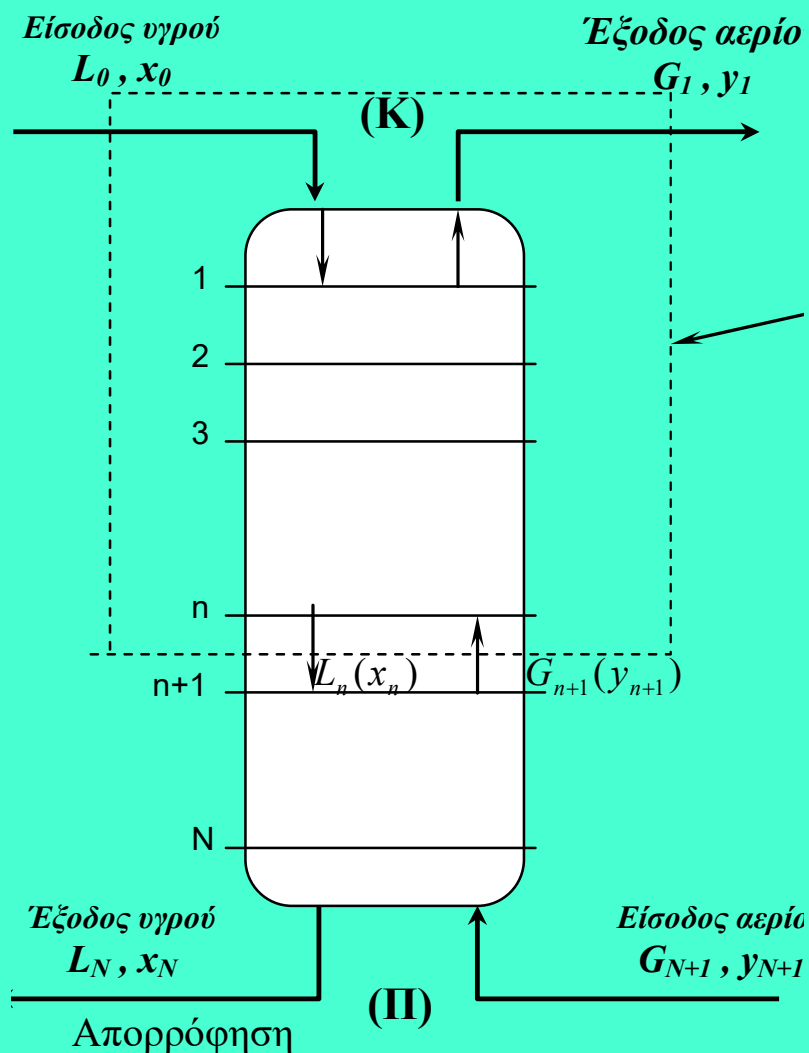
$$L_o = ?, \quad x_o = 0.005, \quad L_N = L_o, \quad x_N = ?$$

‘Στο σχεδιασμό που προτείνετε στο αφεντικό σας ελπίζετε να πετύχετε απομάκρυνση κατά 90% των ατμών του τοξικού αερίου’

$$y_1 = y_{n+1} * (1-0.9) = \mathbf{1.0 * 10^{-3}}$$

$$G_{\text{τοξ. εξ.}} = y_1 * G_1 = \mathbf{1.633 * 10^{-5}} < 1.7 * 10^{-3} \frac{kgmole}{s}$$

Ο περιβαλλοντολογικός όρος για μέγιστη παροχή τοξικού αερίου στην έξοδο $< 1.7 * 10^{-5} \text{ kgmole/s}$ ικανοποιείται.



Απορρόφηση

Παράδειγμα (συνέχεια)

Λύση: β) Υπολογισμός γραμμής ισορροπίας, $(L/G)_{min}$, $x_{n,max}$

Η τάση ατμών του τοξικού αερίου στους 30°C , $P_i^0=105\text{mmHg}=14000\text{N/m}^2$

$$\frac{p_i}{p} = \frac{H_i}{p} x_i \rightarrow y_i = m x_i \quad (p: \text{ολικη πιεση}) \quad m=H_i/P \quad H_i=P_i^0$$

$$y_e = m_i x_e = \frac{P_i^0}{P} x_e = \frac{1.4 \cdot 10^4}{1.05 \cdot 10^5} x_e = 0.133 x_e, \quad y_e = \mathbf{0.133 x_e}$$

γ) τον ελάχιστο λόγος ροής, $(L/G)_{min}$, τη μέγιστη διάλυση του τοξικού αερίου $x_{B,max}$ (γραφικά και αναλυτικά) και την ελάχιστη παροχή του διαλύτη

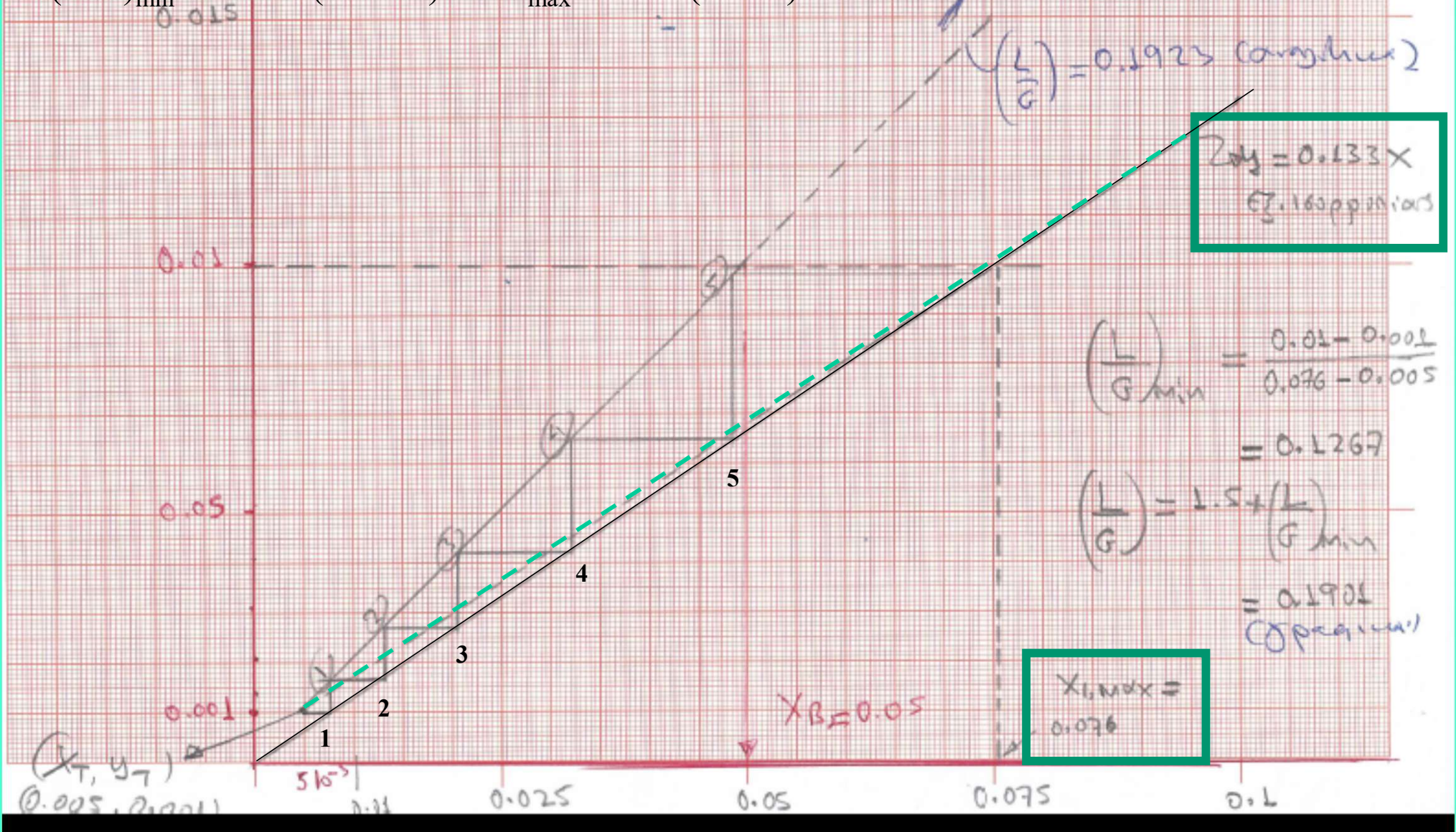
$$(L/G)_{min} = \frac{y_{N+1} - y_1}{x_N(\max) - x_0} \quad \text{Το } x_{n,max} \text{ μπορεί να υπολογιστεί από το σημείο τομής της Γρ. Λειτουργίας με την Γραμμή Ισορροπίας}$$

$$(L/G)_{min} = \frac{y_{N+1} - y_1}{x_N(\max) - x_0} = \frac{y_{N+1} - y_1}{(y_{N+1}/m) - x_0} = \frac{0.01 - 0.001}{\frac{0.01}{0.133} - 0.005} = \mathbf{0.1282}$$

$$x_{n(\max)} = y_{n+1}/m = 0.01/0.133 = \mathbf{0.075}$$

$$L_{min} = \mathbf{0.1282} * \mathbf{1.633 \cdot 10^{-2}} = 0,2094 \cdot 10^{-3} \text{ kgmole/s} \quad 30$$

Από το σημείο x_0, y_1 (0.005, 0.001) φέρουμε ευθεία που τέμνει την Γρ. Ισορ. με την ευθεία, $y=0.01$ (ελάχιστη κλίση)
 $(L/G)_{\min} = 0.1267$ (0.1282) και $x_{\max} = 0.076$ (0.075)



Απορρόφηση

Παράδειγμα (συνέχεια)

Λύση: γ) Υπολογισμός γραμμής λειτουργίας, (L/G)

Η στήλη έχει σχεδιαστεί να λειτουργεί με λόγο ροής υγρού/ αερίου να είναι κατά 50% μεγαλύτερος από τον ελάχιστο.

$$(L/G) = (1.5) (L/G)_{\min} = 1.5 * 0.1282 = \mathbf{0.1923}$$

$$y_{n+1} = \frac{L}{G} x_N + y_1 - \frac{L}{G} x_0 = \mathbf{0.1923} x_N + 0.001 - 0.1923 * 0.005$$
$$= \mathbf{0.1923} x_N - 3.85 \cdot 10^{-5}$$

$$L_{\min} = 0.1282 * \mathbf{1.633 \cdot 10^{-2}} = 2.1 \cdot 10^{-3} \text{ kmole/s}$$

δ) **τον αριθμό των θεωρητικών** βαθμίδων της διεργασίας για λόγο ροής υγρού/ αερίου κατά 50% μεγαλύτερος από τον ελάχιστο, καθώς και το ποσοστό (x_N) του τοξικού αερίου που διαλύεται σε αυτό. Υπολογίστε επίσης την παροχή του διαλύτη, L

Σχεδιάζουμε την γραμμή λειτουργίας που ξεκινάει από το σημείο (x_0, y_1) (0.005, 0.001) και κλίση 0.1923 μέχρι να συναντήσει την ευθεία $y=0.01$

Εφαρμόζοντας την μέθοδο McCabe-Thiele, βλέπουμε ότι υπάρχει ανάγκη για $N=5.1$ βαθμίδες.

Η τιμή του τοξικού συστατικού στην έξοδο είναι $x_N=0.05$

$$L_0 = L_N = (L/G) * G = 0.1923 * \mathbf{1.633 \cdot 10^{-2}} \text{ kmole/s} = \mathbf{3.14 \cdot 10^{-3}} \text{ kmoles/s}$$



Απορρόφηση

Παράδειγμα (συνέχεια)

ε) Υπολογίστε τον αριθμό των θεωρητικών βαθμίδων χρησιμοποιώντας την εξίσωση των Kremser, Souders and Brown (KSB)

$$A_0 = \frac{L}{G} \frac{1}{m} = 0.1923 \frac{1}{0.133} = \mathbf{1.4456}$$

$$\frac{y_{N+1} - y_1}{y_{N+1} - m x_0} = \frac{A^{N+1} - A}{A^{N+1} - 1} \Rightarrow \frac{0.01 - 0.01^{0.001}}{0.01 - 0.133 * 0.005} = \frac{1.45^{N+1} - 1.45}{1.45^{N+1} - 1.0} \Rightarrow$$

$$0,964114 = \frac{1.45^{N+1} - 1.45}{1.45^{N+1} - 1.0}$$

$$0,964114 (1.45^{N+1} - 1.0) = 1.45^{N+1} - 1.45 \rightarrow 1.45 -$$

$$0.964114 = (1 - 0.964114) (1.45^{N+1} - 1.0)$$

$$0,485886 = 0,0035886 ((1.45^{N+1}) - 1.0) \rightarrow 13.54 = (1.45^{N+1}) - 1.0$$

$$(N + 1) \ln(1.45) = \ln(13.54)$$

$$N+1 = \ln(13.54) / \ln(1.45), N+1 = 7,01 \rightarrow \mathbf{N=6}$$

Απορρόφηση

στ) Τέλος, συμπληρώστε τον πίνακα

$G_{N+1}=1.633 \cdot 10^{-2}$ kmole/s	$y_{N+1}=0.01$	$L_{N+1}=3.14 \cdot 10^{-3}$ kmoles/s	$x_N=0.05$
$G_1=1.633 \cdot 10^{-2}$ kmole/s	$y_1=0.001$	$L_o=3.14 \cdot 10^{-3}$ kmoles/s	$x_o=0.005$
$(L/G)_{\min}=0.1282$	$x_{B,\max}=0.075$	$L_{\min}=2.1 \cdot 10^{-3}$ kmoles/s	$N=5.1$ $N_{\alpha\alpha\alpha\lambda}=6$

Απορρόφηση

Παράδειγμα 2 (Πυκνά μίγματα)

Μίγμα αερίου CO_2 και ατμοσφαιρικού αέρα εισέρχεται στη βάση μιας στήλης απορρόφησης με βαθμίδες, ενώ από την κορυφή καταιώνίζεται ως διαλύτης αλκαλικό διάλυμα νερού, το οποίο έχει ανακυκλωθεί ($x_0=0.001$). Η συγκέντρωση του CO_2 στην είσοδο της στήλης είναι αρκετά μεγάλη και ίση με $y_{N+1}=0.2$. Επιθυμούμε η συγκέντρωση του CO_2 στην έξοδο να είναι μικρότερη από 2% ($y_1=0.02$). Η σχέση ισορροπίας δίνεται από την σχέση $y_{n+1}=3x_n$.

α) Υπολογίστε τον ελάχιστο λόγο ροής υγρού/αερίου και την μέγιστη δυνατή διάλυση του CO_2 στο νερό, $x_{N,\max}$.

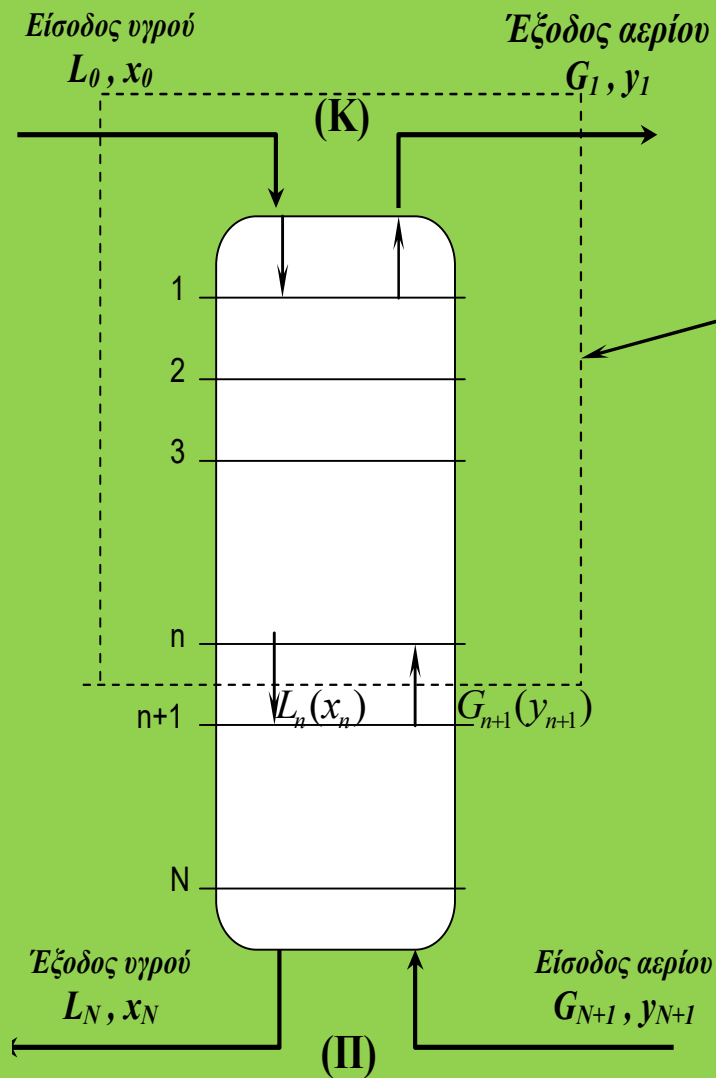
β) Για ένα λόγο ροής ίσο με 1.5 φορές μεγαλύτερο του ελαχίστου, υπολογίστε τα kg/hr νερού που εισέρχονται στη στήλη απορρόφησης, αν η παροχή του αερίου είναι 100 kgmole/hr.

γ) Υπολογίστε γραφικά τον αριθμό των θεωρητικών βαθμίδων και την συγκέντρωση του CO_2 στην έξοδο του διαλύτη

Υπόδειξη: Περιγράψτε αναλυτικά τα βήματα. Θεωρείστε ισόθερμη διεργασία, δουλέψτε με πυκνά μίγματα, μετατρέψτε την σχέση ισορροπίας $y=f(x)$ σε $Y=f(X)$, προφανώς αν $y=3x$, τότε $Y \neq 3X$

Απορρόφηση

Παράδειγμα 2 (Πυκνά μίγματα)



ΓΡΑΜΜΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ, $Y=K*X$

Ισοζύγιο διαλυτού

$$L_0 x_0 + G_{n+1} y_{n+1} = L_n x_n + G_1 y_1$$

$$L_0 = \frac{L'}{1-x_0}, \quad L_n = \frac{L'}{1-x_n}, \quad G_1 = \frac{G'}{1-y_1}, \quad G_{n+1} = \frac{G'}{1-y_{n+1}}$$

$$\left[\frac{L'}{1-x_0} \right] x_0 + \left[\frac{G'}{1-y_{n+1}} \right] y_{n+1} = \left[\frac{L'}{1-x_n} \right] x_n + \left[\frac{G'}{1-y_1} \right] y_1$$

$$X_0 = \frac{x_0}{(1-x_0)}, \quad X_n = \frac{x_n}{(1-x_n)}, \quad Y_{n+1} = \frac{y_{n+1}}{(1-y_{n+1})}, \quad Y_1 = \frac{y_1}{(1-y_1)}$$

$$L' X_0 + G' Y_{n+1} = L' X_n + G' Y_1, \quad G'(Y_{n+1} - Y_1) = L'(X_n - X_0)$$

$$Y_{n+1} = \frac{L'}{G'} X_n + Y_1 - \frac{L'}{G'} X_0$$

Γραμμή λειτουργίας

Απορρόφηση

Παράδειγμα 2 (Πυκνά μίγματα)

Δεδομένα:

$$y_{N+1} = 0.2, y_1 = 0.02, x_0 = 0.001, x_N = ?$$

$$Y_{N+1} = \frac{y_{N+1}}{1 - y_{N+1}} = \frac{0.2}{1 - 0.2} = 0.25,$$

$$Y_1 = \frac{y_1}{1 - y_1} = \frac{0.02}{1 - 0.02} = 0.0204$$

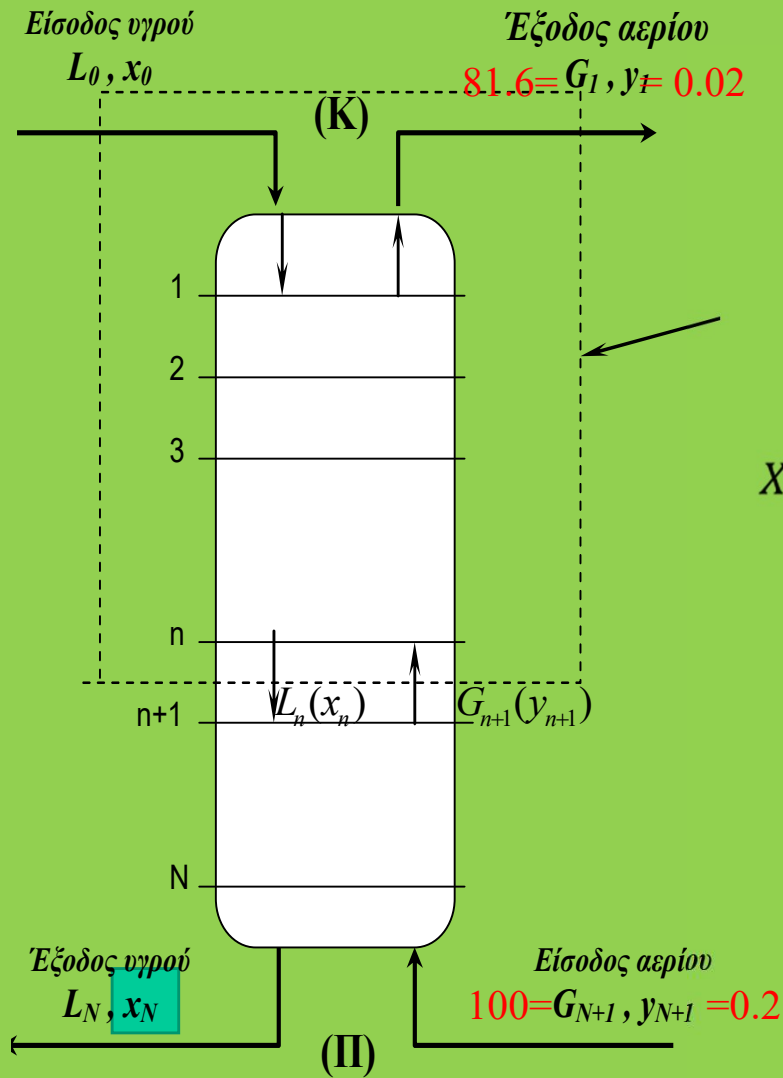
$$X_0 = \frac{x_0}{1 - x_0} = \frac{0.001}{1 - 0.001} = 0.001, \quad X_N = \frac{x_N}{1 - x_N} = ?$$

$$G_N = 100 \frac{\text{kgmole}}{\text{hr}},$$

$$G' = (1 - y_{N+1})G_N = (1 - 0.2) * 100 = 80 \frac{\text{kgmole}}{\text{hr}}$$

$$G' = (1 - y_1)G_1 \Rightarrow G_1 = \frac{G'}{(1 - y_1)} = \frac{80}{1 - 0.02}$$

$$= 81,632 \frac{\text{kgmole}}{\text{hr}}$$



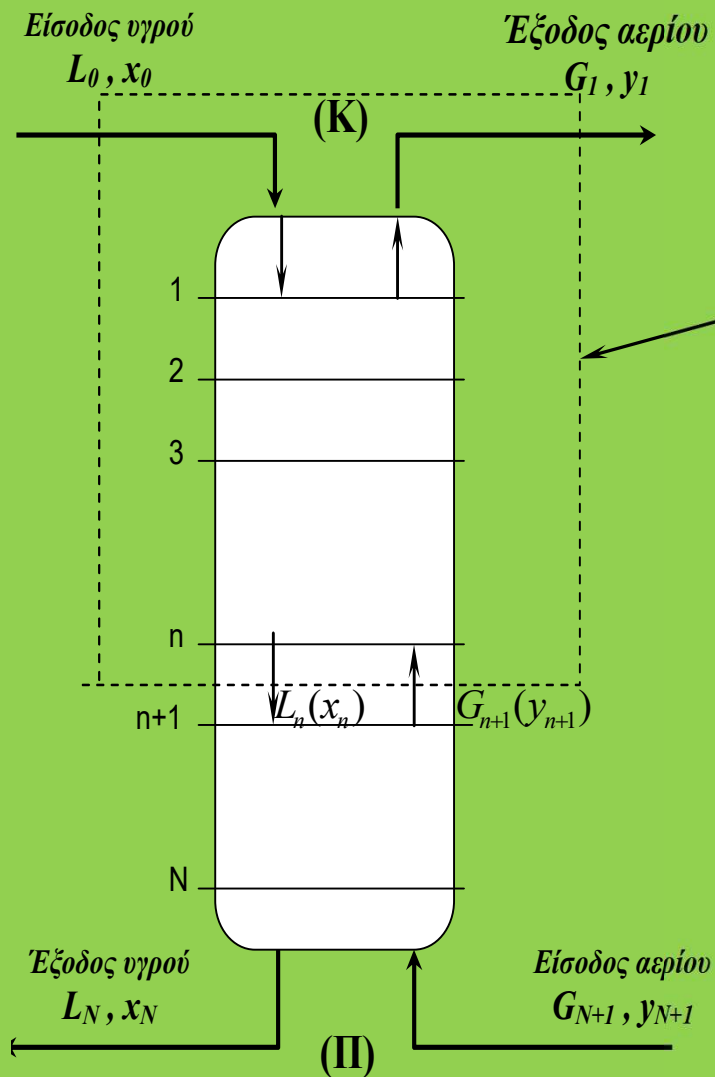
Απορρόφηση

Τα L_0 , L_N και L' θα υπολογιστούν από τα Ισοζύγια Μάζας

Απορρόφηση

Παράδειγμα 2 (Πυκνά μίγματα)

Υπολογισμός γραμμής Ισορροπίας για πυκνά μίγματα, $y=3x$



$$y_N = 3 * x_N$$

$$Y_n = \frac{y_n}{1-y_n} \rightarrow Y_n * (1 - y_n) = y_n \rightarrow Y_n - Y_n y_n = y_n \rightarrow$$

$$Y_n = Y_n y_n + y_n = y_n(1 + Y_n) \rightarrow y_n = \frac{Y_n}{(1 + Y_n)}$$

$$\text{Ομοίως } X_n = \frac{x_n}{1-x_n} \rightarrow x_n = \frac{X_n}{(1+X_n)}$$

Έτσι η γραμμή Ισορροπίας, $y_n = 3 x_{n-1}$ γίνεται

$$\frac{Y_n}{(1 + Y_n)} = 3 \frac{X_n}{(1 + X_n)} \rightarrow Y_N = 3 \frac{X_n}{(1 + X_n)} (1 + Y_n)$$

$$Y_N = 3 \frac{X_n}{(1+X_n)} + 3 \frac{X_n}{(1+X_n)} Y_n \rightarrow$$

$$Y_N - 3 \frac{X_n}{(1 + X_n)} Y_n = 3 \frac{X_n}{(1 + X_n)}$$

$$Y_N \left(1 - 3 \frac{X_n}{(1 + X_n)} \right) = 3 \frac{X_n}{(1 + X_n)}$$

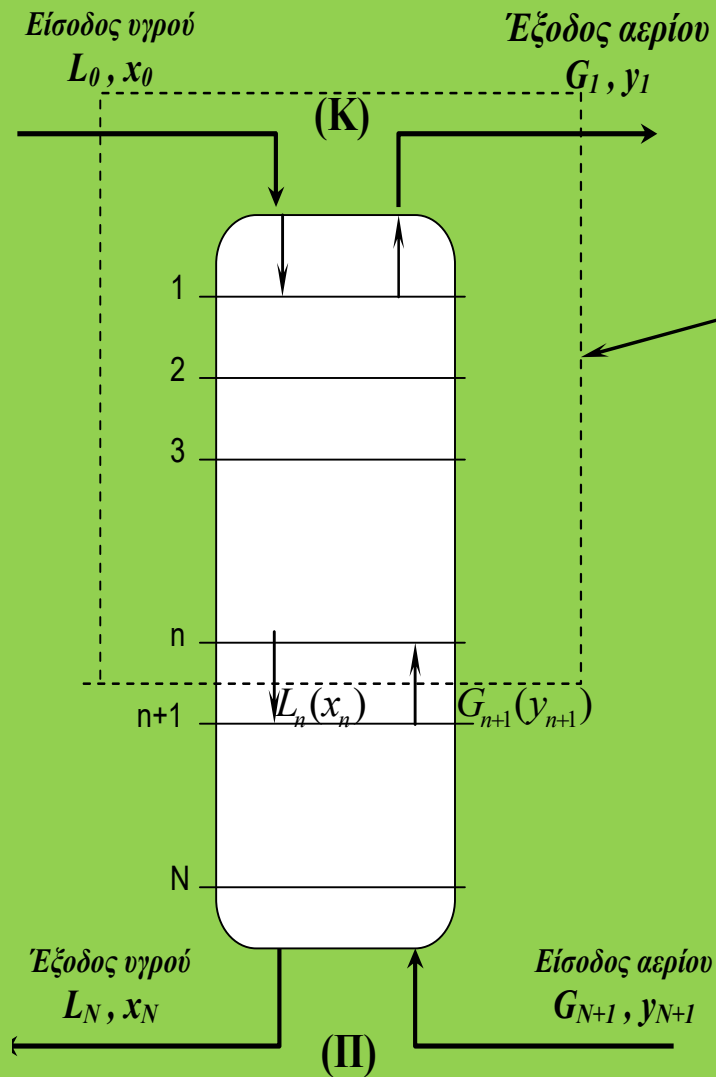
$$Y_N \frac{(1 + X_n - 3 X_n)}{(1 + X_n)} = 3 \frac{X_{n-1}}{(1 + X_n)}$$

$$Y_N (1 - 2 X_n) = 3 X_n \text{ και } Y_n = \frac{3 X_n}{(1-2 X_n)}$$

Απορρόφηση

Απορρόφηση

Παράδειγμα 2 (Πυκνά μίγματα)



Υπολογισμός γραμμής Λειτουργίας για πυκνά μίγματα

$$Y_{n+1} = \frac{L'}{G'} X_n + Y_1 - \frac{L'}{G'} X_0$$

Γνωρίζουμε τα Y_{N+1} , Y_1 , X_0 , G' αλλά όχι τον λόγο L'/G' .
Γνωρίζουμε όμως ότι $L'/G' = 1.5(L'/G')_{\min}$.

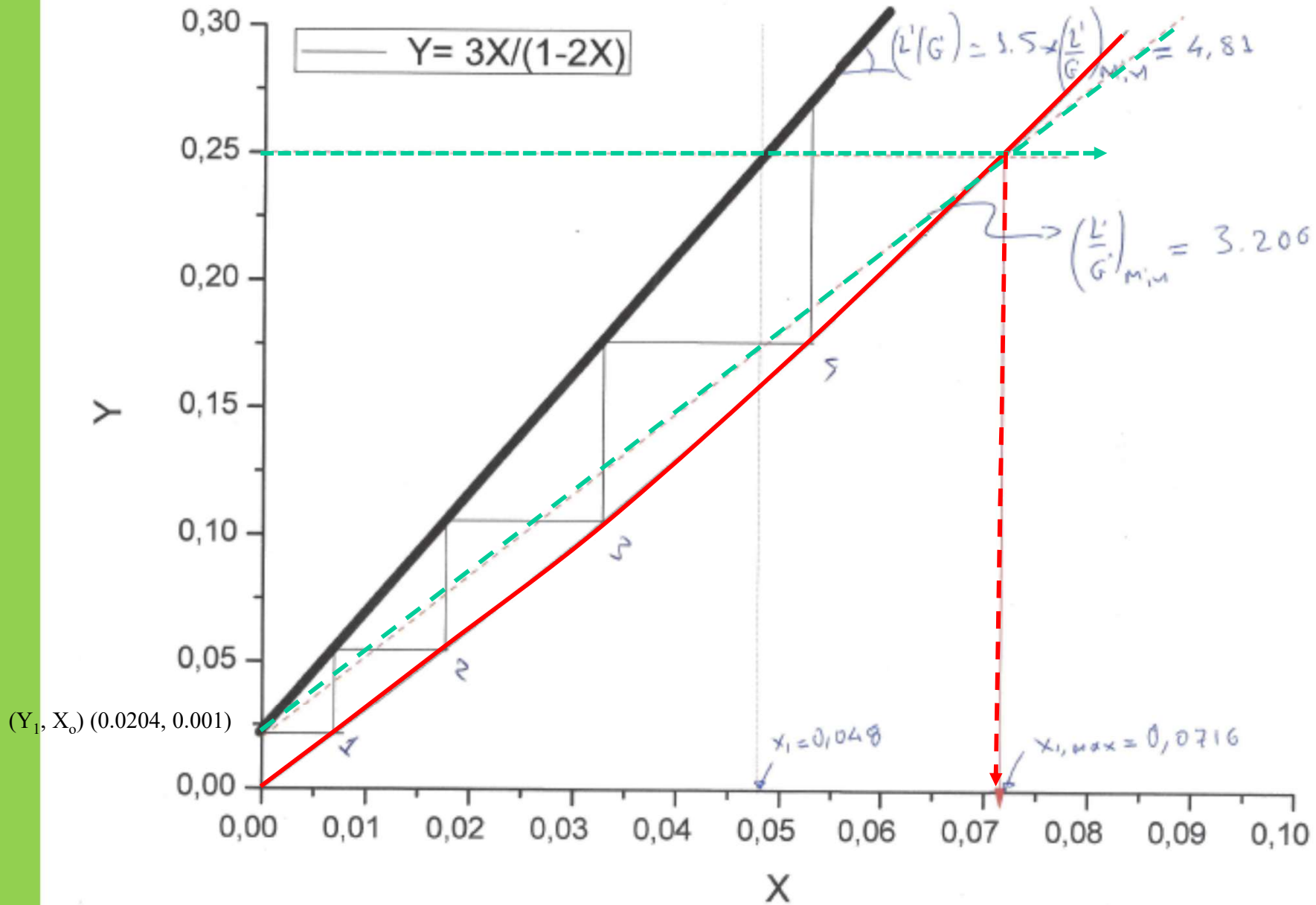
Με την βοήθεια του διαγράμματος Ισορροπίας, φέρουμε την ευθεία που ξεκινάει από το (Y_1, X_0) (0.0204, 0.001) και συναντάει την τομή της Γραμμής ισορροπίας με την ευθεία γραμμή, $Y=0.25$. Αυτή είναι η μέγιστη τιμή που μπορεί να πάρει το X , αφού το X_N θα εξέρχεται κορεσμένο (Το X_N σε ισορροπία με το Y_{N+1}).

Από το διάγραμμα προκύπτει ότι

$$X_{1,\max} = 0.0716$$

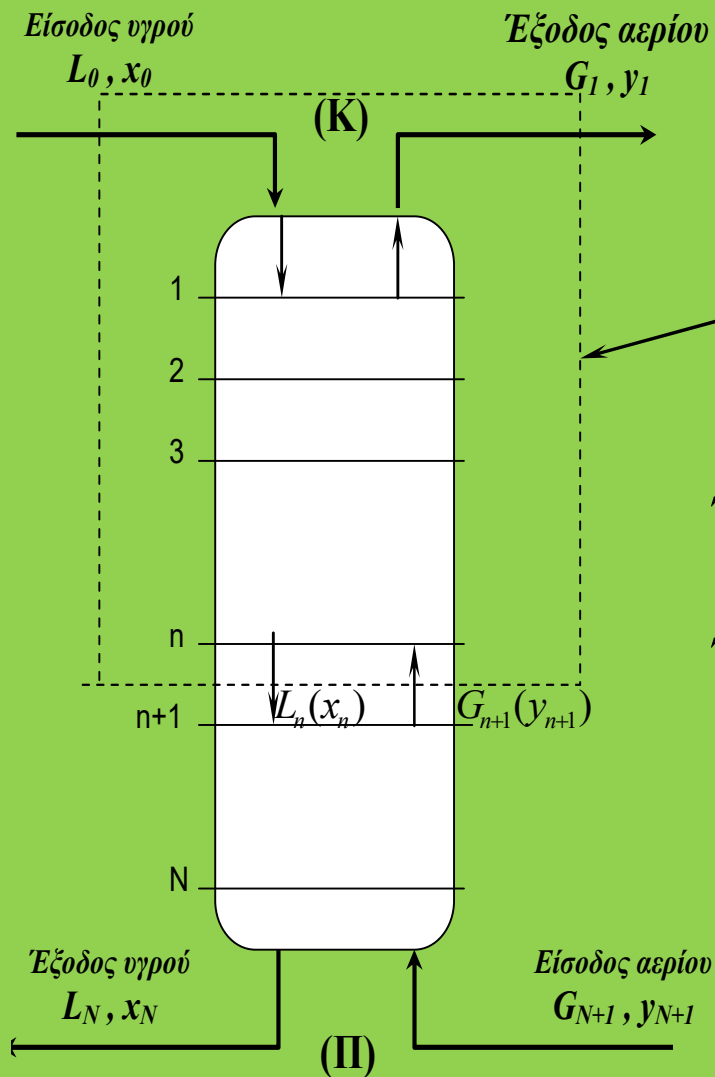
$$(L'/G')_{\min} = 3.206$$

Απορρόφηση- Παράδειγμα 2 (Πυκνά μίγματα)



Απορρόφηση

Παράδειγμα 2 (Πυκνά μίγματα)



Υπολογισμός γραμμής Λειτουργίας για πυκνά μίγματα

$$Y_{n+1} = \frac{L'}{G'} X_n + Y_1 - \frac{L'}{G'} X_0$$

Γνωρίζουμε τα Y_1, X_0, G' αλλά **όχι τον λόγο L'/G'** .

Γνωρίζουμε όμως ότι $L'/G' = 1.5 (L'/G')_{\min.}$ και βρήκαμε πιο πριν το ελάχιστο λόγο ροής

Έτσι

$$L'/G' = 1.5 * 3.206 = 4.81$$

Έτσι η παροχή του διαλύτη είναι ίση με

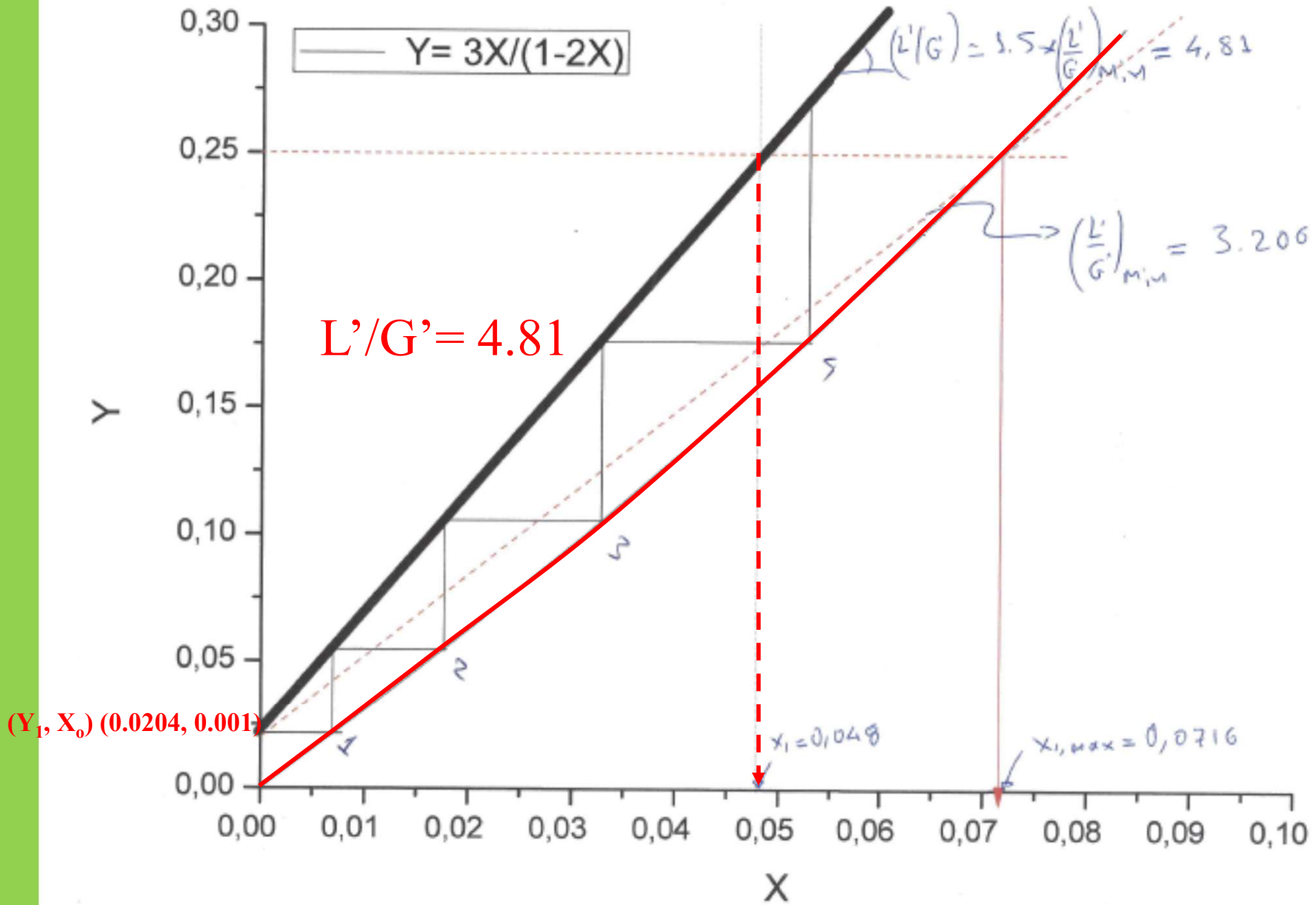
$$L' = 4.81 * 80 = 384.8 \text{ kgmole/hr (παροχή νερού)}$$

Το οποίο σε kg/h ισοδυναμεί με

$$L' = 384.8 \text{ (kgmole/hr)} * (18 \text{ kg/kgmole}) = \mathbf{6926.5 \text{ kg/hr}}$$

Ζωγραφίζουμε την Γραμμή λειτουργίας ξεκινώντας από το σημείο (0.0204, 0.001) και κλίση 4.81 μέχρι την τομή με την ευθεία $Y=0.25$,

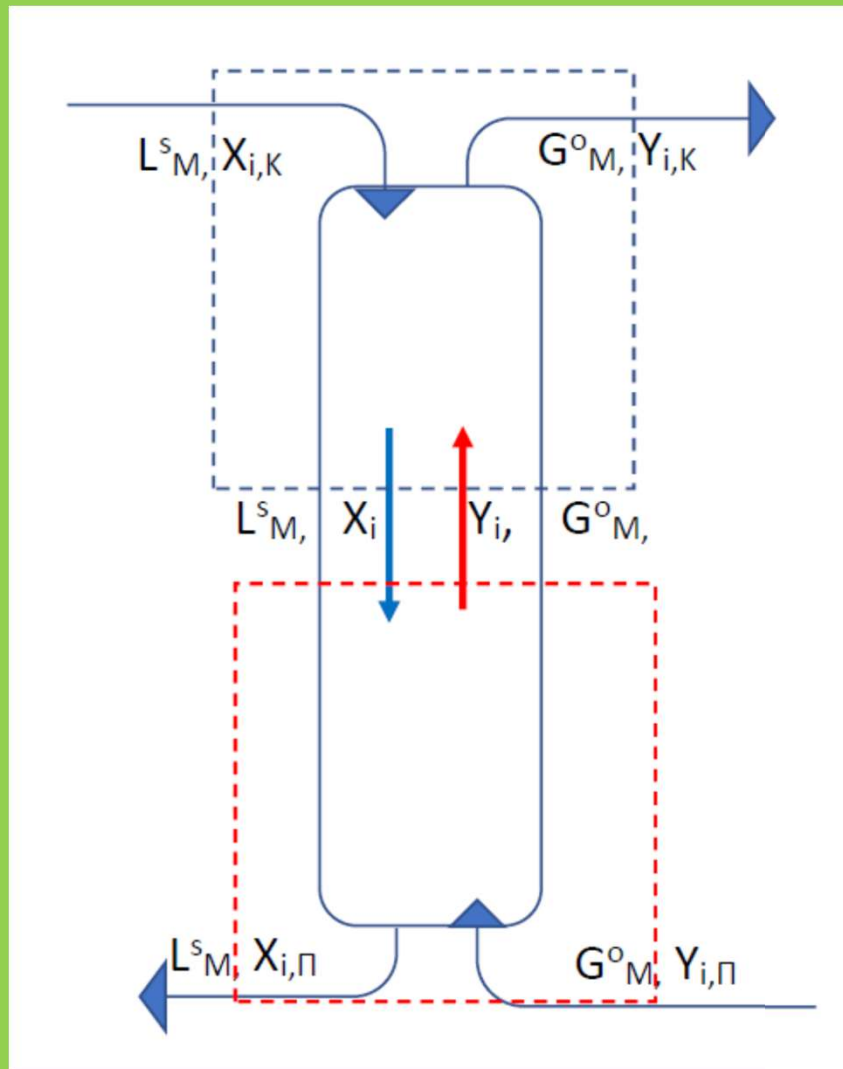
Εφαρμόζοντας την μέθοδο McCabe –Thiele υπολογίζουμε τον αριθμό των θεωρητικών βαθμίδων, $N = 3.8 \sim 4$, το $X_N = 0.048$



Απορρόφηση Πολυσύνθετων Μιγμάτων

Αραιά μίγματα αερίων πολλών συστατικών, τα οποία σχηματίζουν ιδανικά (τέλεια) διαλύματα με το διαλύτη

Sherwood, Pigford and Wilke



Όγκος Ελέγχου Κορυφής

$$L_M^S X_{i,K} + G_M^O Y_i = L_M^S X_i + G_M^O Y_{i,K}$$

$$G_M^O (Y_i - Y_{i,K}) = L_M^S (X_i - X_{i,K})$$

$$Y_i = \frac{L_M^S}{G_M^O} X_i + Y_{i,K} - \frac{L_M^S}{G_M^O} X_{i,K}$$

Συνηθώς
καθαρός
διαλύτης,
 $X_{i,k}=0$

Όγκος Ελέγχου Πυθμένα

$$L_M^S X_i + G_M^O Y_{i,Π} = L_M^S X_{i,Π} + G_M^O Y_i$$

$$G_M^O (Y_{i,Π} - Y_i) = L_M^S (X_{i,Π} - X_i)$$

$$Y_i = \frac{L_M^S}{G_M^O} X_i + Y_{i,Π} - \frac{L_M^S}{G_M^O} X_{i,Π}$$

Απορρόφηση

Απορρόφηση Πολυσύνθετων Μιγμάτων

Γραμμή Ισορροπίας $Y_i = K_i X_i, y_i = m_i x_i,$

Όπου $m_i = y_i/x_i$ (σταθερά ισορροπίας),

για αραιά διαλύματα $K_i = m_i$ (γιατί $(G_M^0 - G_M) = (L_M^S - L_M)$)

$$K_i = m_i (G_M^0 - G_M) / (L_M^S - L_M)$$

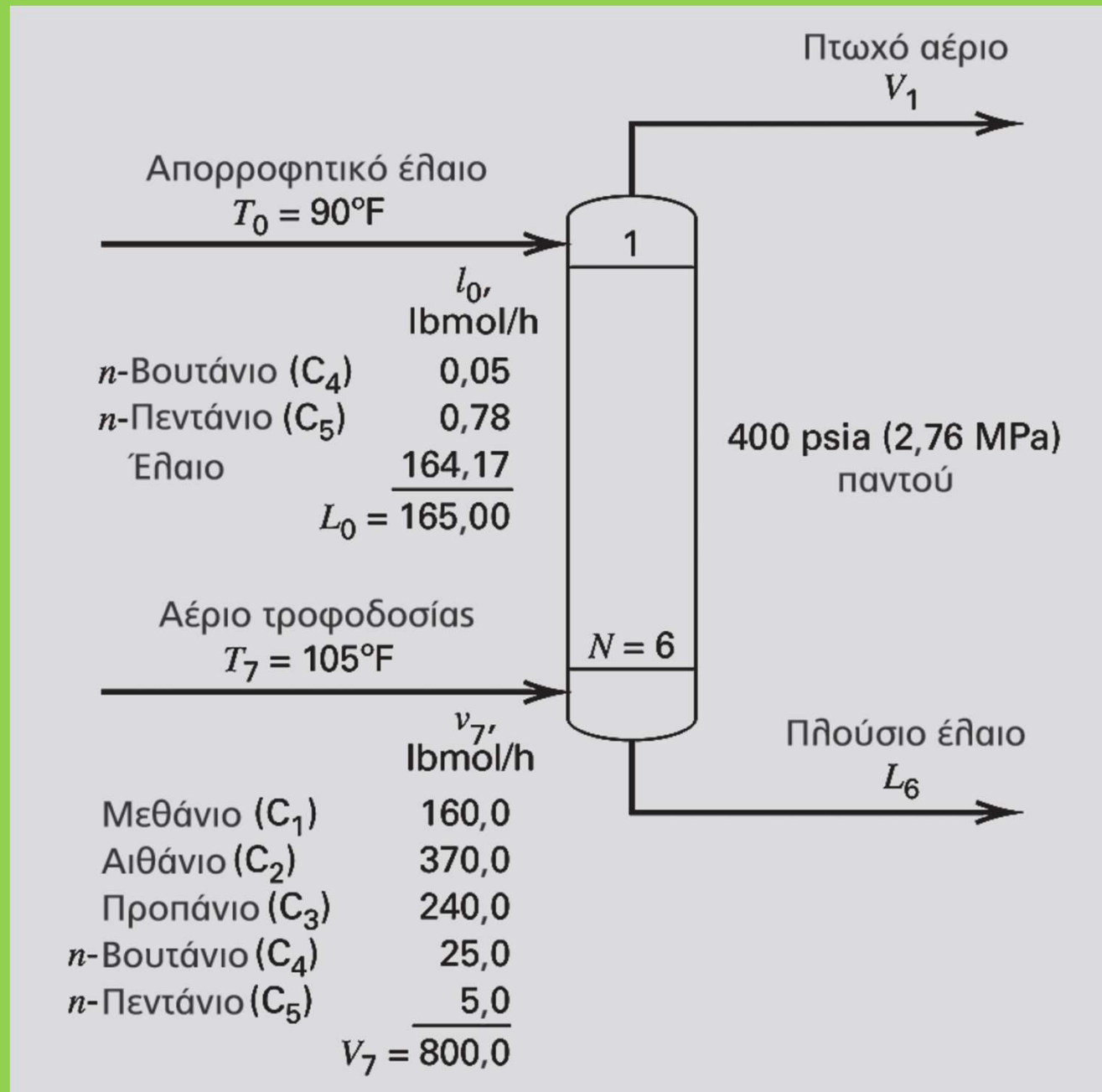
Απορρόφηση Πολυσύνθετων Μιγμάτων

- Συστατικό κλειδί (λιγότερο διαλυτό στο αέριο τροφοδοσίας) επιλέγεται βάσει της διαλυτότητας του λιγότερου διαλυτού συστατικού
- **Κλίση γραμμής λειτουργίας, L_M^S / G_M^0 ΙΔΙΑ ΓΙΑ ΌΛΑ ΤΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ δηλαδή το** κάθε συστατικό έχει την δική του γραμμή λειτουργίας αλλά με την ίδια κλίση, (παράλληλες γραμμές, διαφορετική αποτέμνουσα)
- Τα λιγότερα πτητικά απορροφώνται πλήρως ενώ τα πτητικότερα απορροφώνται μερικώς

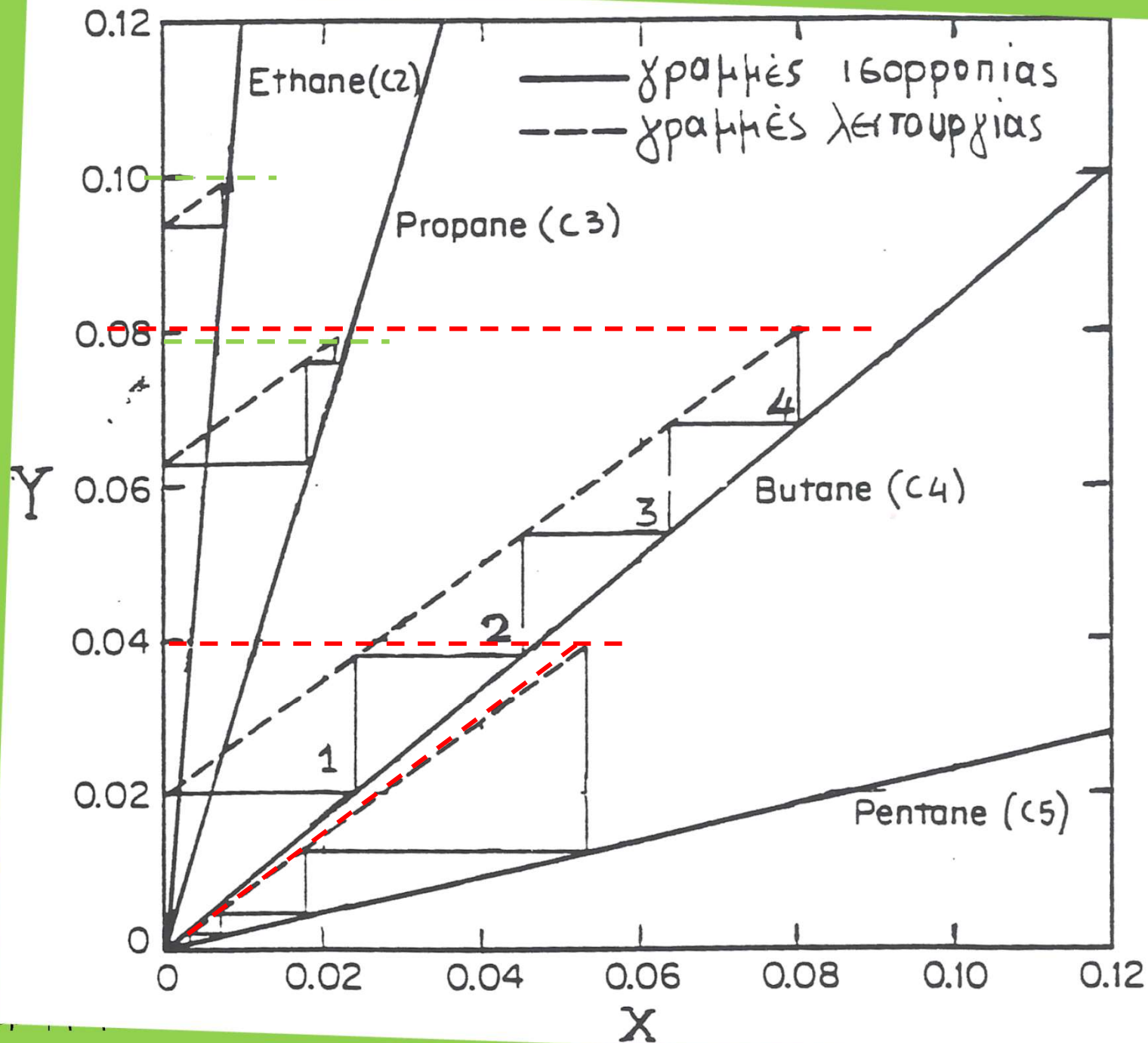
Απορρόφηση Πολυσύνθετων Μιγμάτων

- Απαιτούμενος αριθμός θεωρητικών βαθμίδων για την επίτευξη συγκεκριμένου βαθμού απόδοσης για το συστατικό κλειδί
- Βήμα 1^{ον}: Κατασκευάζονται οι γραμμές ισορροπίας των διαφόρων συστατικών
- Βήμα 2^{ον}: Επιλέγετε το συστατικό κλειδί (γραμμή ισορροπίας // με την γραμμή λειτουργίας $[K \text{ (ή } m) = L^s_M/G^0_M]$). Ζωγραφίζουμε τις γραμμές λειτουργίας των υπολοίπων συστατικών (// με του συστατικού κλειδί). ΑΒ από δεδομένα στην είσοδο και έξοδο του πύργου
- Βήμα 3^{ον}: McCabe-Thiele \rightarrow αριθμός θεωρητικών βαθμίδων
- Βήμα 4^{ον}: Γραμμές λειτουργίας άλλων συστ. // γραμμή λειτ. Σ.Κ. Ακόμη ο αριθμός των θεωρητικών στιβάδων πρέπει να είναι ο ίδιος για όλες τις περιπτώσεις.

Απορρόφηση Πολυσύνθετων Μιγμάτων



Απορρόφηση Πολυσύνθετων Μιγμάτων



Απορρόφηση Πολυσύνθετων Μιγμάτων

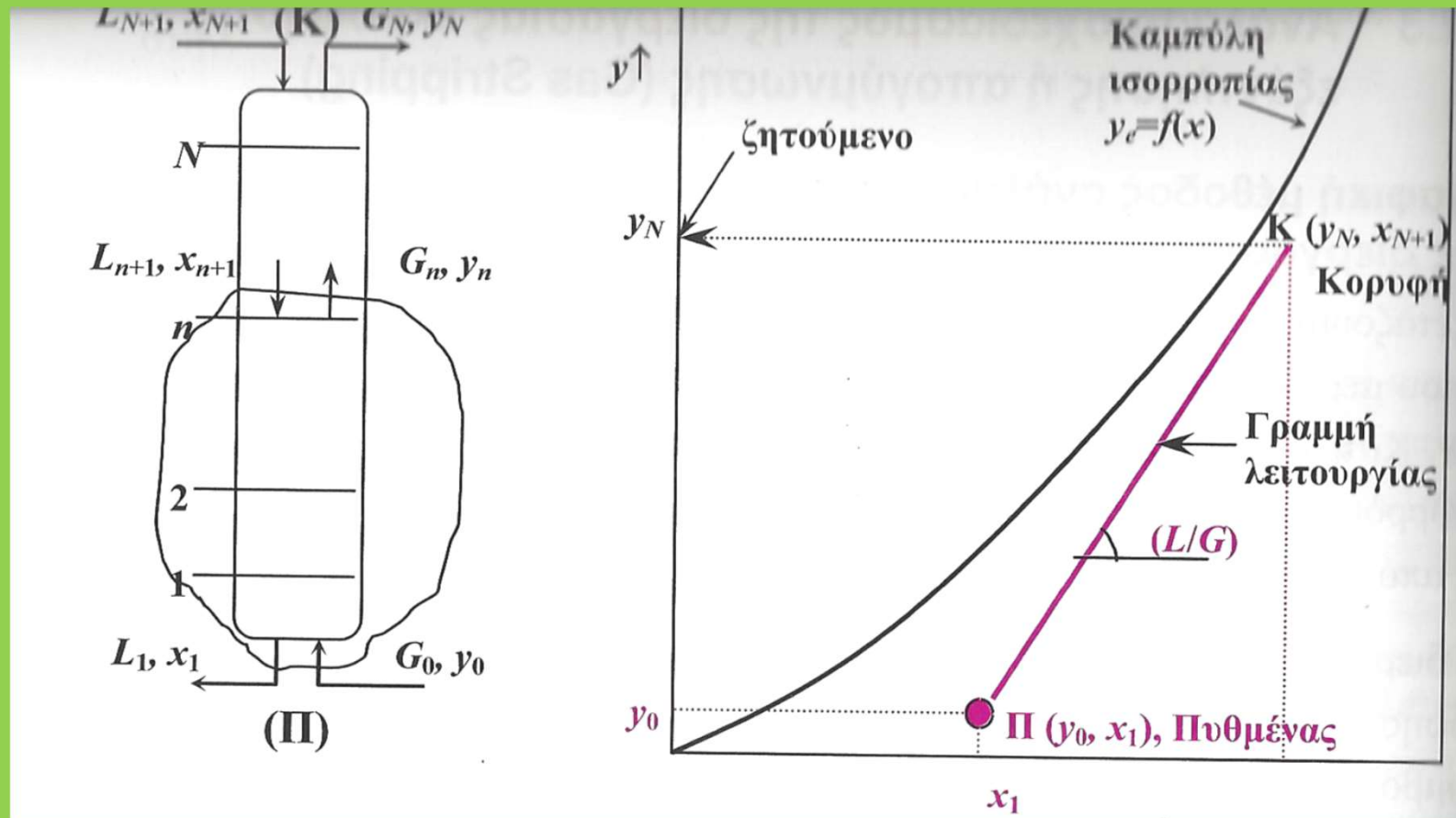
- Αναλυτική μέθοδος (Kremser)

$$\frac{Y_{i,\Pi} - Y_{i,K}}{Y_{i,\Pi} - m_i X_{i,K}} = \frac{A_0^{N+1} - A_0}{A_0^{N+1} - 1}, \text{ όπου } A_0 = \frac{L_M^S}{m_i G_M^0} \text{ και } m_i = y_i / x_i$$

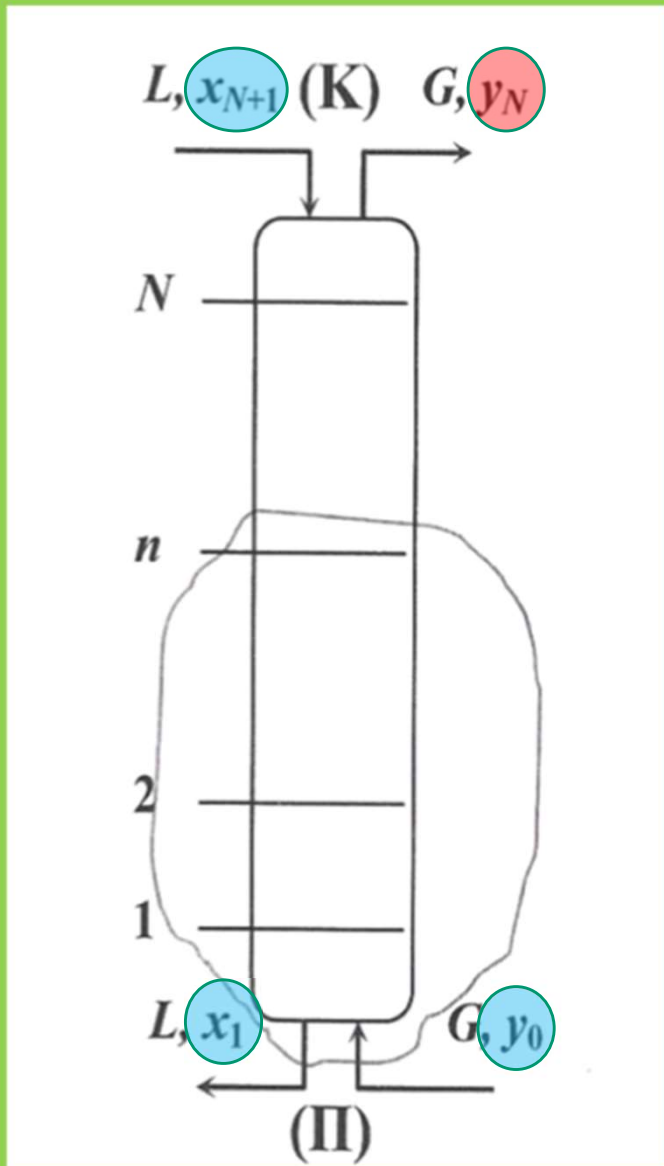
- Όταν $A_0 \ll 1$ και N μεγάλο η άνω εξ. $\rightarrow: \frac{Y_{i,\Pi} - Y_{i,K}}{Y_{i,\Pi} - m_i X_{i,K}} = A_0$
- Πρώτη εκτίμηση του βαθμού απορρόφησης των πλέον πτητικών συστατικών
- Όταν $A_0 \gg 1$ και N μεγάλο η άνω εξ. $\rightarrow 1$.
Το αέριο εγκαταλείπει τον πύργο σε κατάσταση ισορροπίας με το υγρό απορρόφησης (διαλύτη)
- Αν $A_0 = 1$ η άνω εξίσωση καταλήγει σε αοριστία.
$$(Y_1 - Y_2) / (Y_1 - mX_2) = N / (N + 1)$$

Εκρόφηση

- Απομάκρυνση μιας διαλυμένης ουσίας από τον διαλύτη
- Απομόνωση του διαλυμένου αερίου
- Επαναχρησιμοποίηση του διαλύτη
- Αντίστροφη διεργασία της προσρόφησης

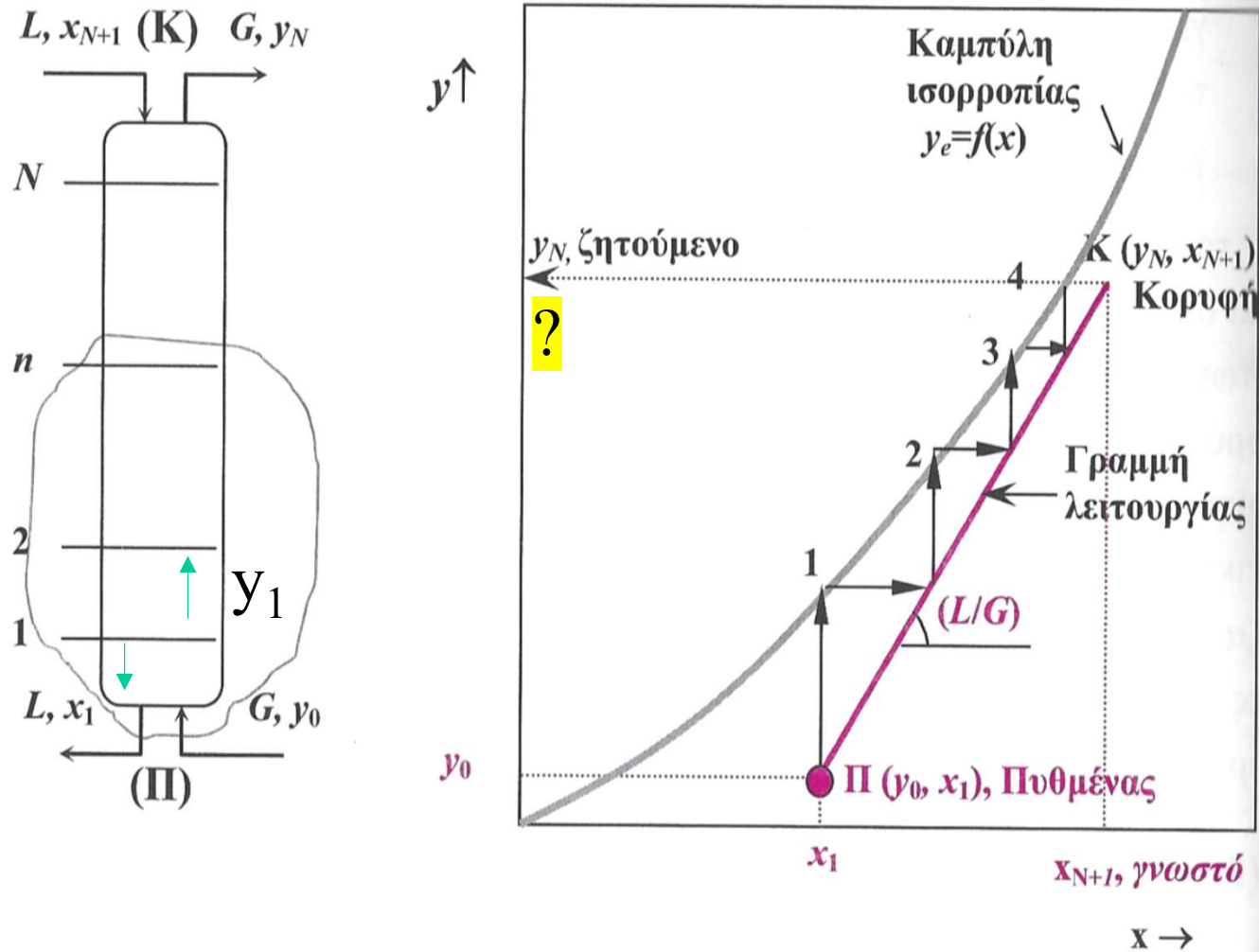


Εκρόφηση



- Το υγρό στην κορυφή πλούσιο σε ‘διαλυτό’ αέριο, $x_{N+1} \gg x_1$
- Το μίγμα του αερίου στην βάση περιέχει πολύ λίγο ‘διαλυτό’ αέριο και ελπίζουμε να συναντήσουμε αρκετό ‘διαλυτό’ αέριο στο μίγμα αερίων στην κορυφή, $y_0 \ll y_N$
- Η αρίθμηση για τις βαθμίδες γίνεται από τον πυθμένα προς το πάνω μέρος
- Η γραμμή λειτουργίας εξάντλησης βρίσκεται κάτω από την γραμμή Ισορροπίας (γιατί?)
- **Μεταφορά μάζας από το υγρό προς το αέριο** σε αντίθεση με την απορρόφηση που είχαμε μεταφορά μάζας από το αέριο μίγμα στον υγρό διαλύτη
- Δεδομένα y_0, x_1, x_{N+1} , ζητούμενο y_N

Εκρόφηση



Σχήμα 3.11: Ανάλυση της διεργασίας εξάντλησης (stripping) κατά McCabe-Thiele.

Εκρόφηση

Ολικό ισοζύγιο και ισοζύγιο πτητικού
Υπόθεση αραιών μιγμάτων

$$L_{N+1}=L_1=L, G_N=G_0=G$$

$$L_{N+1}x_{N+1} + G_0y_0 = L_1x_1 + G_Ny_N$$

$$L_{n+1}x_{n+1} + G_0y_0 = L_1x_1 + G_ny_n$$

Για αραιά μίγματα οι παροχές είναι σταθερές:

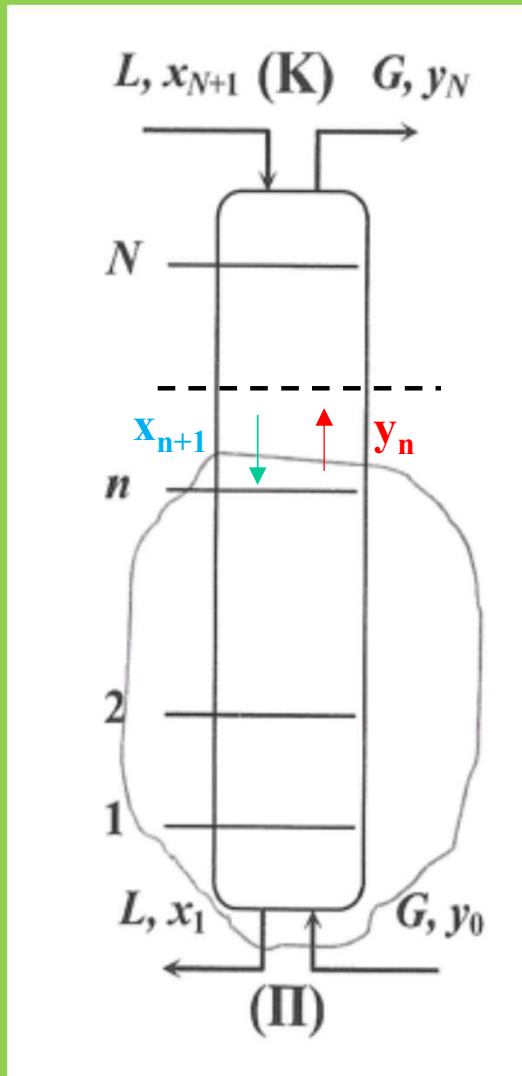
$$L(x_{N+1} - x_1) = G(y_N - y_0)$$

$$y_n = \left(\frac{L}{G}\right)x_{n+1} + y_0 - \left(\frac{L}{G}\right)x_1$$

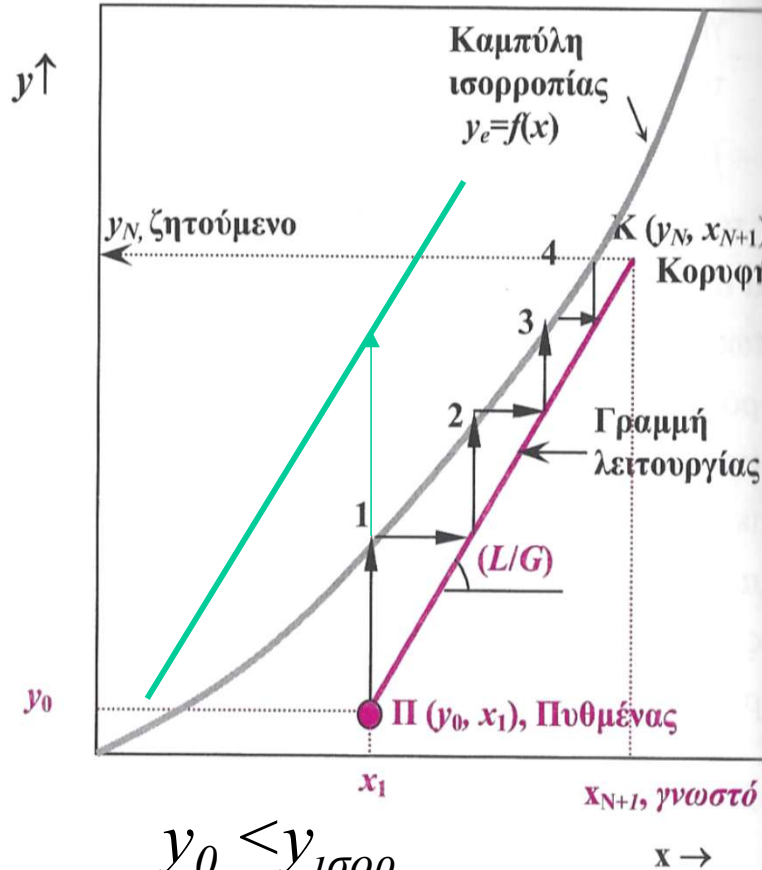
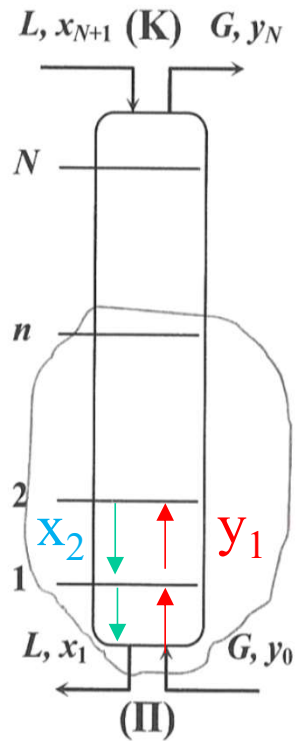
Γραμμή Λειτουργίας

$$y=ax+b$$

Ευθεία γραμμή, με κλίση (L/G) ,
ξεκινάει από το σημείο y_0 και x_1



Εκρόφηση



$$y_0 < y_{ισορ}$$

Σχήμα 3.11: Ανάλυση της διεργασίας εξάντλησης (stripping) κατά McCabe-Thiele.

Γραμμή Ισορροπίας
 $y_n = m_i x_n$

Γραμμή Λειτουργίας

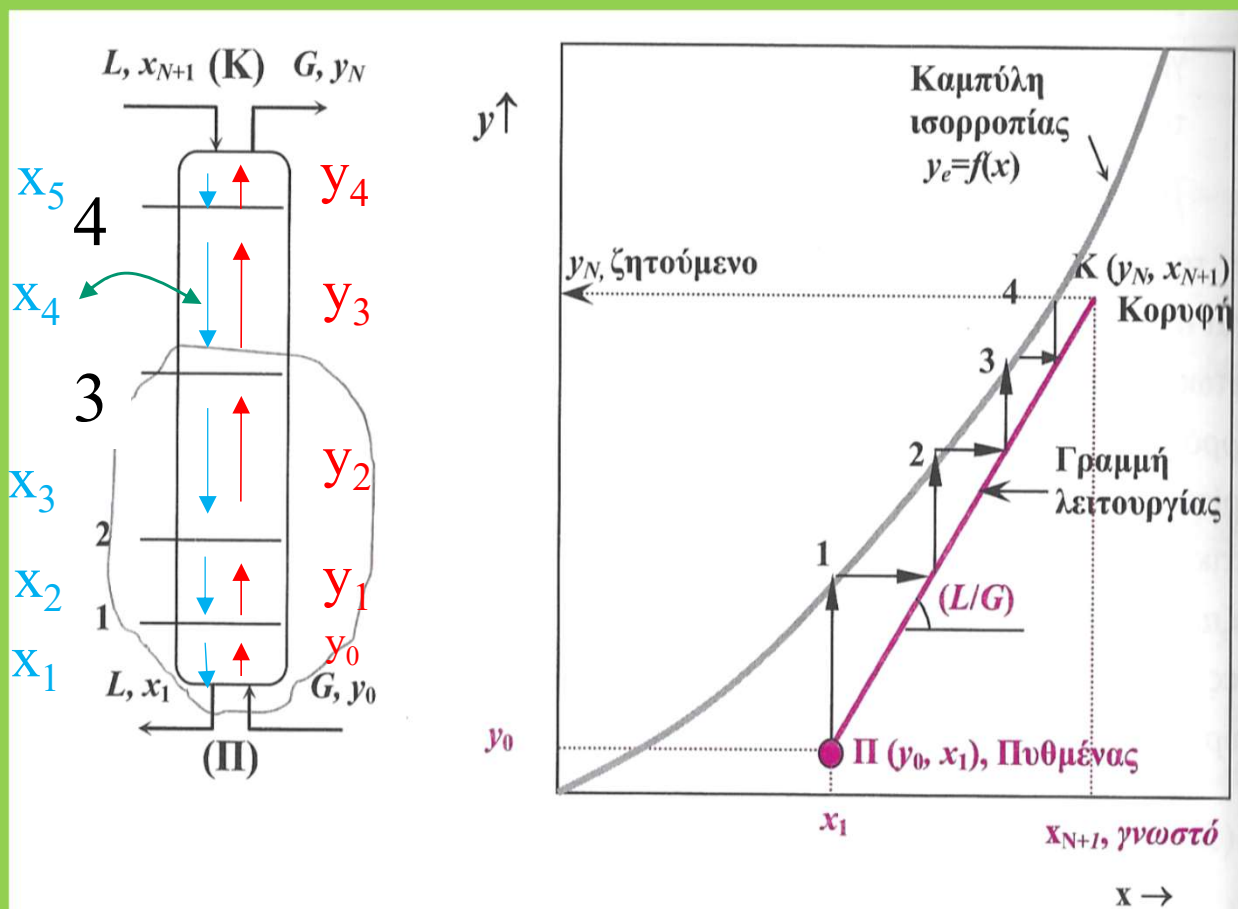
$$y_n = \left(\frac{L}{G}\right)x_{n+1} + y_0 - \left(\frac{L}{G}\right)x_1$$

Η γραμμή λειτουργίας βρίσκεται κάτωθεν της καμπύλης ισορροπίας στο επίπεδο y - x , σε αντίθεση με την διεργασία της εξάντλησης, δηλαδή η κατεύθυνση της μεταφοράς μάζας είναι από το υγρό προς το αέριο σε αντίθεση με την μεταφορά από το αέριο προς το υγρό στην περίπτωση της απορρόφησης.

Εκρόφηση

Μέθοδος McCabe-Thiele

1. Φέρουμε την Γρ. Ισορ.
2. Φέρουμε την Γρ. Λειτουργίας
3. Εφαρμόζουμε την κλιμακωτή διαδικασία της McCabe-Thiele



Σχήμα 3.11: Ανάλυση της διεργασίας εξάντλησης (stripping) κατά McCabe-Thiele.

$$y = m x$$

$$y_n = \left(\frac{L}{G}\right)x_{n+1} + y_0 - \left(\frac{L}{G}\right)x_1$$

ΠΥΚΝΑ ΜΙΓΜΑΤΑ

$$L'(X_{N+1} - X_1) = G'(Y_N - Y_0)$$

$$Y_n = \left(\frac{L'}{G'}\right)X_{n+1} + Y_0 - \left(\frac{L'}{G'}\right)X_1$$

$$Y = K X$$

Εκρόφηση

Αναλυτική Λύση (τροποποίηση της) Kremser

$$\frac{X_{i,K} - X_{i,\Pi}}{X_{i,K} - Y_{i,\Pi} / m_i} \equiv \frac{X_{N+1} - X_1}{X_{N+1} - Y_0 / m_i} = \frac{S^{N+1} - S}{S^{N+1} - 1}$$

*Δείκτες,
K, Κορυφή,
Π, Πυθμένας*

Όπου S ο παράγοντας εξάντλησης, $S = m_i G / L$

Πυκνά Μίγματα

$$L'(X_{N+1} - X_1) = G'(Y_N - Y_0)$$

$$Y_n = \left(\frac{L'}{G'}\right)X_{n+1} + Y_0 - \left(\frac{L'}{G'}\right)X_1$$

Εκρόφηση

•Άσκηση 3 (Παλιό θέμα-30 %) ΕΚΡΟΦΗΣΗ

Θέλοντας να αξιοποιήσουμε μια υπάρχουσα στήλη απόσταξης με **8 βαθμίδες και** διερωτηθήκατε αν μπορείτε να την χρησιμοποιήσετε και ως στήλη εκρόφησης. **Οι μηχανικοί σας ισχυρίζονται ότι με κάποιες ελάχιστες μετατροπές,** η παλιά στήλη απόσταξης με τις 8 βαθμίδες μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάκτηση **βενζολίου (B)** με καθαρό ατμό **από ένα απορροφητικό λάδι** που χρησιμοποιείται κάπου αλλού στο εργοστάσιό σας. Αποφασίζετε να λειτουργήσετε τη στήλη σε 1 atm και σε θερμοκρασία στην οποία ισχύει ο νόμος του Henry. Είναι γνωστό ότι όταν η ελαϊκή φάση (απορροφητικό λάδι) περιέχει **10 mol% σε Βενζόλιο, η μερική πίεση του βενζολίου είναι 5.07 kPa** (από εδώ βρείτε την γραμμή λειτουργίας). Το λάδι θεωρείται μη πτητικό και εισέρχεται στη στήλη από τη κορυφή με **5 mol% σε Βενζόλιο**. Ο στόχος που όρισαν οι μηχανικοί σας για την ανάκτηση του βενζολίου στον ατμό είναι **95%** και η σύσταση των ατμών σε βενζόλιο είναι στην έξοδο **2 mol%:**

Εκρόφηση

- 1) Μπορείτε να πάρετε την παραδοχή για αραιά με ασφάλεια; Δείξτε πόση είναι η απόκλιση του x με X στη μεγαλύτερη σύσταση που μπορεί να βρεθεί στη στήλη σας. **(10%)**
- 2) Με όποια μέθοδο αποφασίσετε να συνεχίσετε την άσκηση, αραιά ή πυκνά, υπολογίστε το ποσοστό βενζολίου στην έξοδο του υγρού και την ποσότητα του ατμού που απαιτείται σε mol ανά 100 mol τροφοδοσίας. **(10%)**
- 3) Δείξτε γραφικά ότι οι βαθμίδες της παλιάς σας στήλης είναι ικανές να πετύχουν το στόχο που όρισαν οι μηχανικοί σας παραπάνω; **(5%)**
- 4) Τι θα πρέπει να αλλάξετε αν θέλετε να αυξήσετε την ανάκτηση του βενζολίου χωρίς να πειράξετε τη στήλη; **(5%)**

Υπενθύμιση νόμου Henry: *“Σε μία συγκεκριμένη θερμοκρασία, το ποσό ενός συγκεκριμένου αερίου που διαλύεται σε έναν συγκεκριμένο όγκο υγρού είναι ανάλογο της μερικής πίεσης αυτού του αερίου σε ισορροπία με το παραπάνω υγρό.”*

Χρησιμοποιήστε το νόμο του Henry μαζί με το νόμο του Dalton για να εξάγετε την γραμμή ισορροπίας.

Εκρόφηση

1) Αρχικά, θα πρέπει να βρούμε την ισορροπία μέσω της εξίσωσης Henry. Ακολουθώντας το νόμο έχουμε ότι η συγκέντρωση της ουσίας στην υγρή φάση (x_i) θα είναι ανάλογη της μερικής πίεσης του αερίου στην αέρια φάση, άρα $P_i = x_i H_i$. Από τα δεδομένα της άσκησης έχουμε ότι $H_i = P_i / x_i = 5.07 / 0.1 = 50.7 \text{ kPa}$ Επίσης μέσω του Ν.

Dalton μπορούμε να γράψουμε $H_i x_i = y_i P \Rightarrow y_i = \frac{H_i}{P} x_i \rightarrow y_i = \frac{50.7}{101.3} x_i \rightarrow y_i = 0.5 x_i$

Για να δούμε αν μπορούμε να πάρουμε παραδοχή για αραιά ή πυκνά βάζουμε τη μεγαλύτερη δυνατή συγκέντρωση στην εξίσωση ισορροπίας. Για $x_i = 0.05$ από την εξ. Ισορροπίας έχουμε $y_i = 0.025$. Οι συστάσεις ως προς τον καθαρό διαλύτη και ατμό θα είναι

$$X_i = \frac{x_i}{1 - x_i}, Y_i = \frac{y_i}{1 - y_i}$$

τα οποία μας δίνουν $X_i = 0.0526$ και $Y_i = 0.0257$, που δεν διαφέρουν ουσιαστικά από τα x, y . Άρα στο ενδιαμέσο εύρος μπορούμε να πούμε ότι η παραδοχή αραιών είναι καλή προσέγγιση.

Εκρόφηση

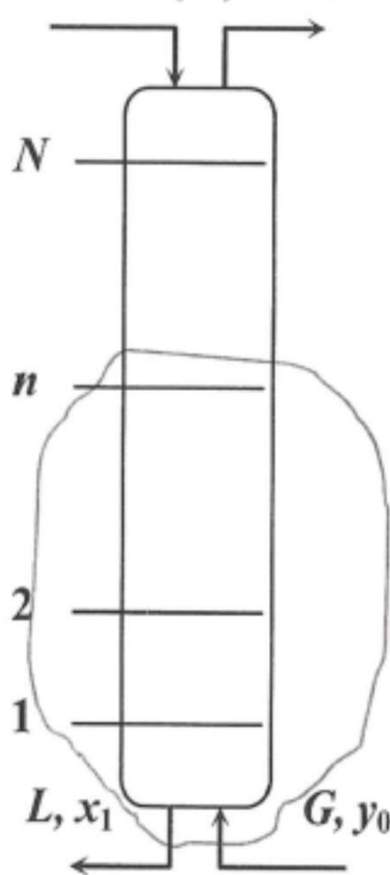
$$L_{N+1} = 100 \text{ mol/s}$$

$$x_{N+1} = 0.05$$

$$G_N = 237.5 \text{ mol/s}$$

$$y_n = 0.02$$

$L, x_{N+1} \text{ (K)}$ G, y_N



$$L_{N+1} = 100 \text{ mol/s}$$

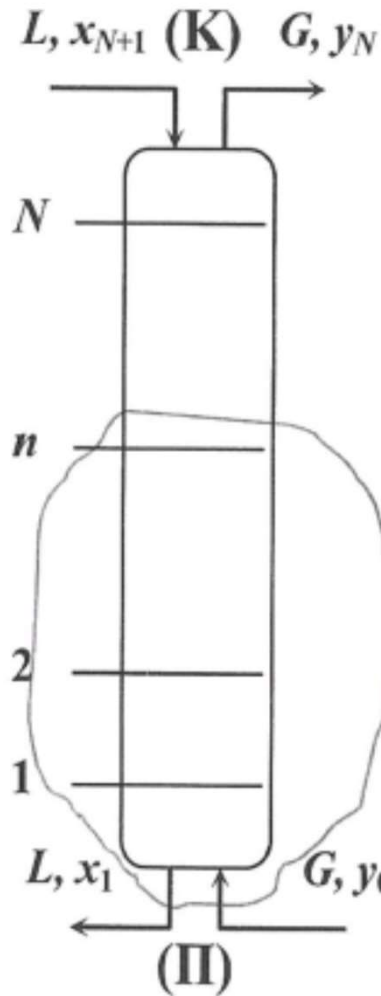
$$x_{N+1} = 0.0025$$

$$G_0 = 237.5 \text{ mol/s}$$

$$y_0 = 0.0$$

- Δεδομένα: $y_0=0$, $y_N=0.02$, $x_{N+1}=0.05$, $x_1=?$
- Μιας και πρέπει να υπολογίσουμε τον ατμό ανά 100 mol τροφοδοσίας, επιλέγω βάση $L_{N+1}=100 \text{ mol/s}$. Στα 100 mol τροφοδοσίας τα 5 mol είναι βενζόλιο.
- Επειδή έχουμε να κάνουμε με αραιά μίγματα $L_1=100 \text{ mol/s}$.
- Επίσης ξέρω ότι εισέρχεται καθαρός ατμός άρα $y_0=0$.
- Η ανάκτηση είναι 95% (4.75 mol βενζολίου πάνε στο αέριο μίγμα) άρα $0.95 \cdot (L_{N+1} \cdot 0.05) = 0.02 \cdot G_N$ το οποίο μας δίνει $G_N=237.5 \text{ mol/s}$. Άρα έχουμε 237.5 mol ατμού ανά 100 mol τροφοδοσίας. Άρα και το $G_0=237.5 \text{ mol/s}$ (υπόθεση αραιών μιγμάτων)
- Επίσης, στην έξοδο του υγρού θα έχουμε 0.25 mol βενζολίου, $(1-0.95) \cdot (L_{N+1} \cdot 0.05) = x_1 \cdot L_1$ άρα $x_1=0.0025$ η σύσταση του βενζολίου στο λάδι στην έξοδο.

Εκρόφηση



Γραμμή Ισορροπίας

$$y_i = 0.5x_i$$

Γραμμή Λειτουργίας

$$L(x_{N+1} - x_1) = G(y_N - y_0)$$

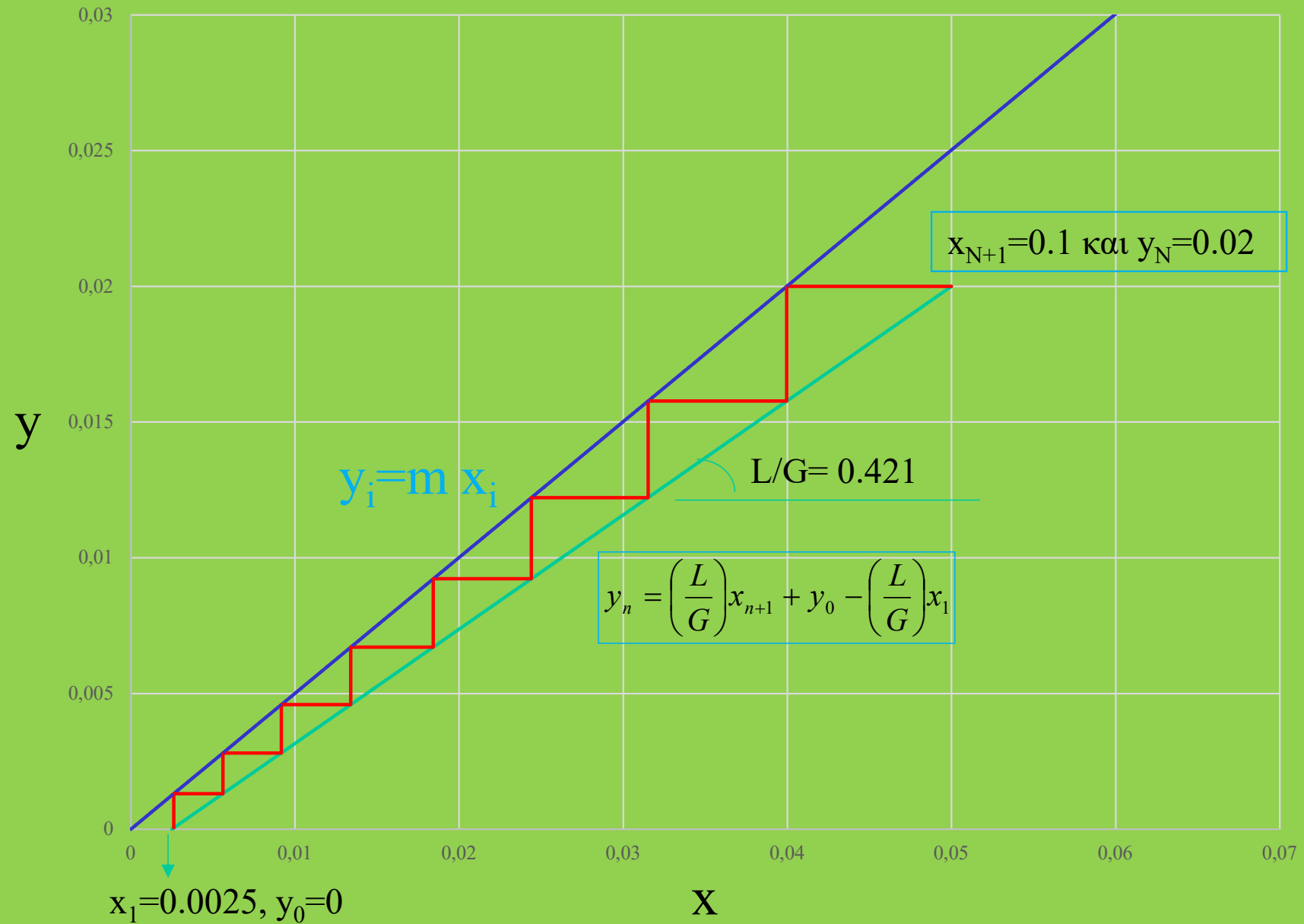
$$y_n = \left(\frac{L}{G}\right)x_{n+1} + y_0 - \left(\frac{L}{G}\right)x_1$$

Με $x_1=0.0025$, $y_0=0$ (κάτω άκρο) και $x_{N+1}=0.05$ και $y_N=0.02$ (άνω άκρο) και λόγος υγρού/αερίου, $L/G=100/237.5=0.421$

Αν βάλουμε τα δύο αυτά σημεία (0.0025,0) και (0.05,0.02) μαζί με την εξίσωση ισορροπίας, τότε βρίσκουμε 8 βαθμίδες όσες θα έπρεπε να είναι δηλαδή για την συγκεκριμένη στήλη. (Προσοχή τώρα έχουμε μόνο τις εσωτερικές βαθμίδες και όχι τον αναβραστήρα)

Απορρόφηση

Εκρόφηση



Εκρόφηση

4) Τι θα πρέπει να αλλάξετε αν θέλετε να αυξήσετε την ανάκτηση του βενζολίου χωρίς να πειράξετε τη στήλη; (5%)

Σε αυτές τις απλοποιημένες στήλες που μελετάμε, 2 παράμετροι μπορούν να αλλάξουν την ανάκτηση, η παροχή του υγρού (απορρόφηση), η παροχή του αερίου (εκρόφηση) και ο αριθμός των βαθμίδων. Άρα στην περίπτωση αυτή που η στήλη είναι συγκεκριμένη με 8 βαθμίδες, το μόνο που μπορούμε να αλλάξουμε για να αυξήσουμε την ανάκτηση είναι **να αυξήσουμε την παροχή του ατμού.**