

Φυσικές Διεργασίες Ι

Κλασματική Απόσταξη



ΧΡΙΣΤΑΚΗΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΑ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
Τμήμα Χημικών Μηχανικών

Απλές Αποστάξεις –

(α) Διαφορική Απόσταξη (Differential Distillation)



Κλασματική Απόσταξη

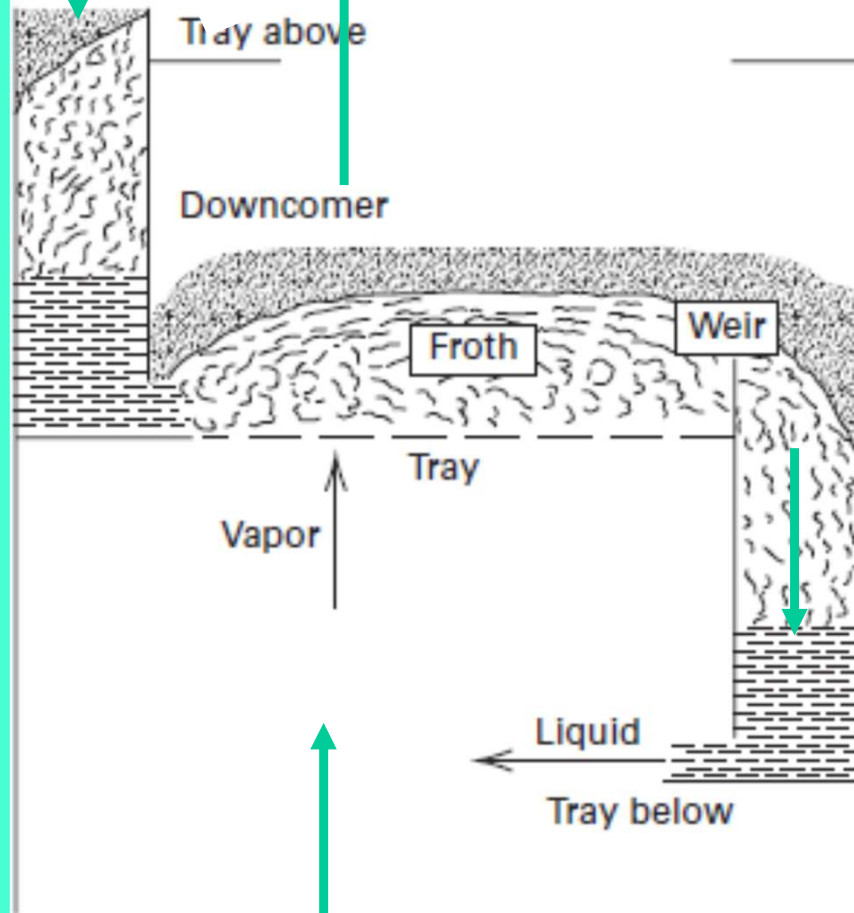
- Είναι η διεργασία διαχωρισμού μίγματος σε στήλη **επαφής ατμών-υγρού**, όπου **οι ατμοί** ρέουν κατ' αντιστροφή προς το **υγρό** και **επιτυγχάνεται ισορροπία μεταξύ των δύο φάσεων** καθ' όλο το ύψος της στήλης.
- Η κατεύθυνση του ατμού-υγρού είναι προς τα πάνω και η συγκέντρωση των πτητικών αυξάνεται προς την κατεύθυνση ροής του ατμού
- Η επαφή ατμών-υγρού επιτυγχάνεται με ειδικούς δίσκους (**στάδια ή βαθμίδες**), εξ' ου και η ονομασία «Αποστακτικές στήλες με δίσκους»

Κλασματική Απόσταξη

D, x_D Χαμηλές θερμοκρασίες

L_o, x_o

Χαμηλές θερμοκρασίες

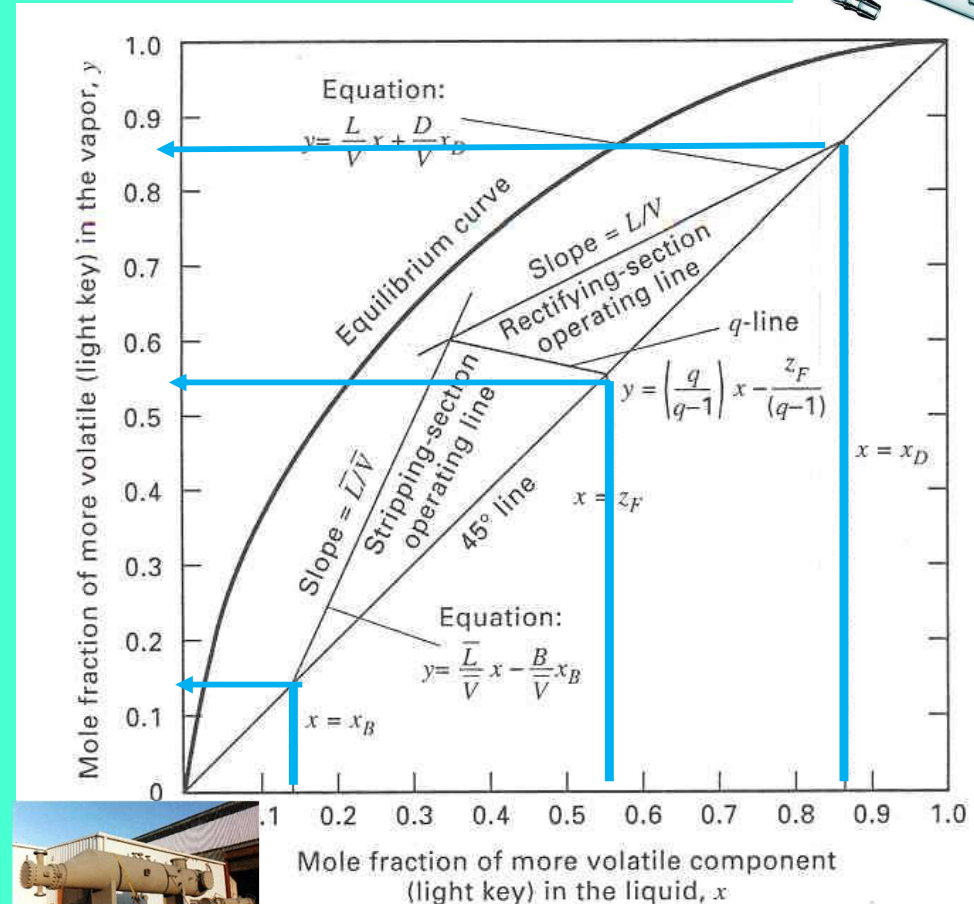


Typical vapor-liquid contacting tray.



Υψηλές θερμοκρασίες

Φυσικές Διεργασίες Ι (Διεργασίες Διαχωρισμού)

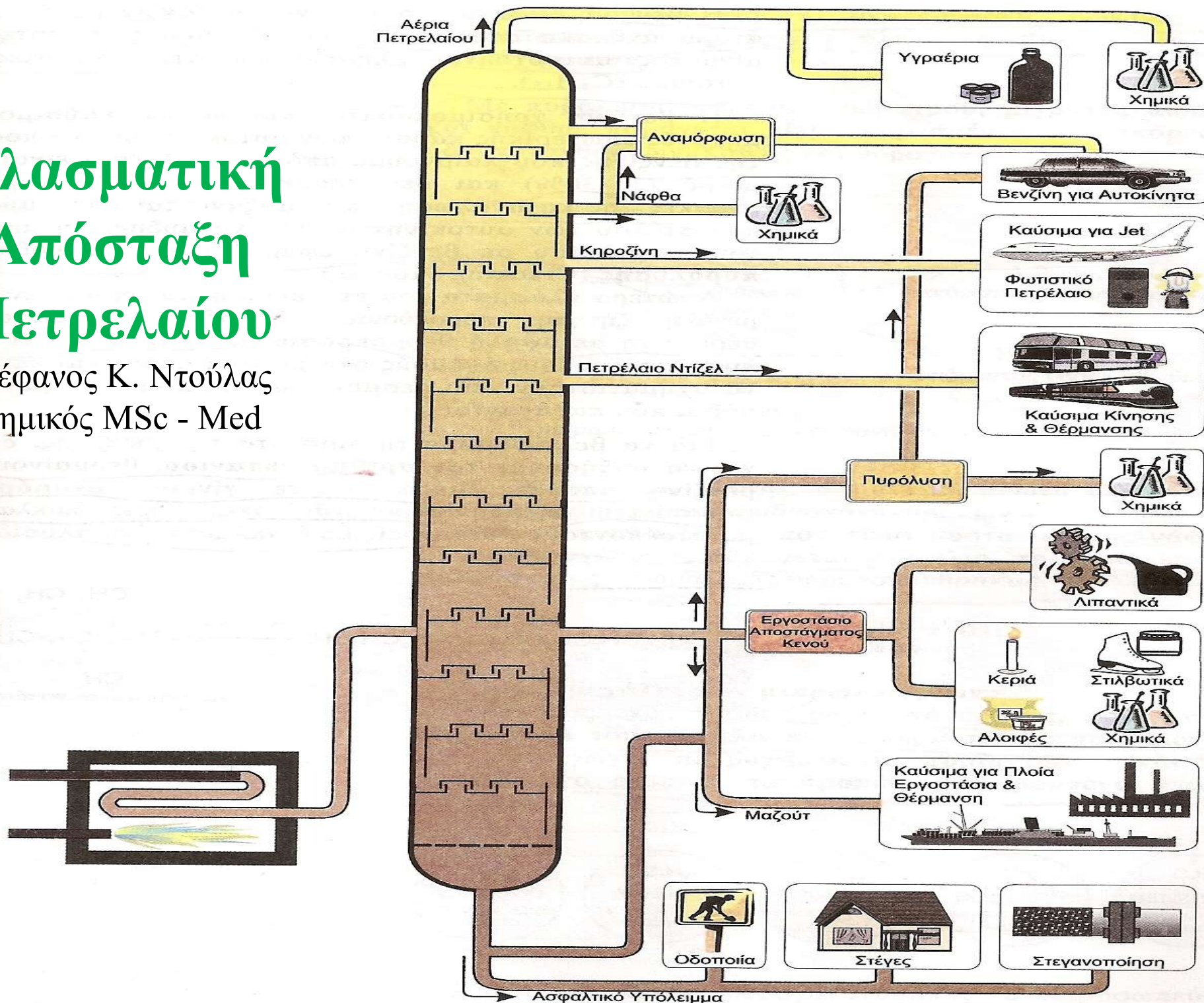


Construction lines for McCabe-Thiele method.

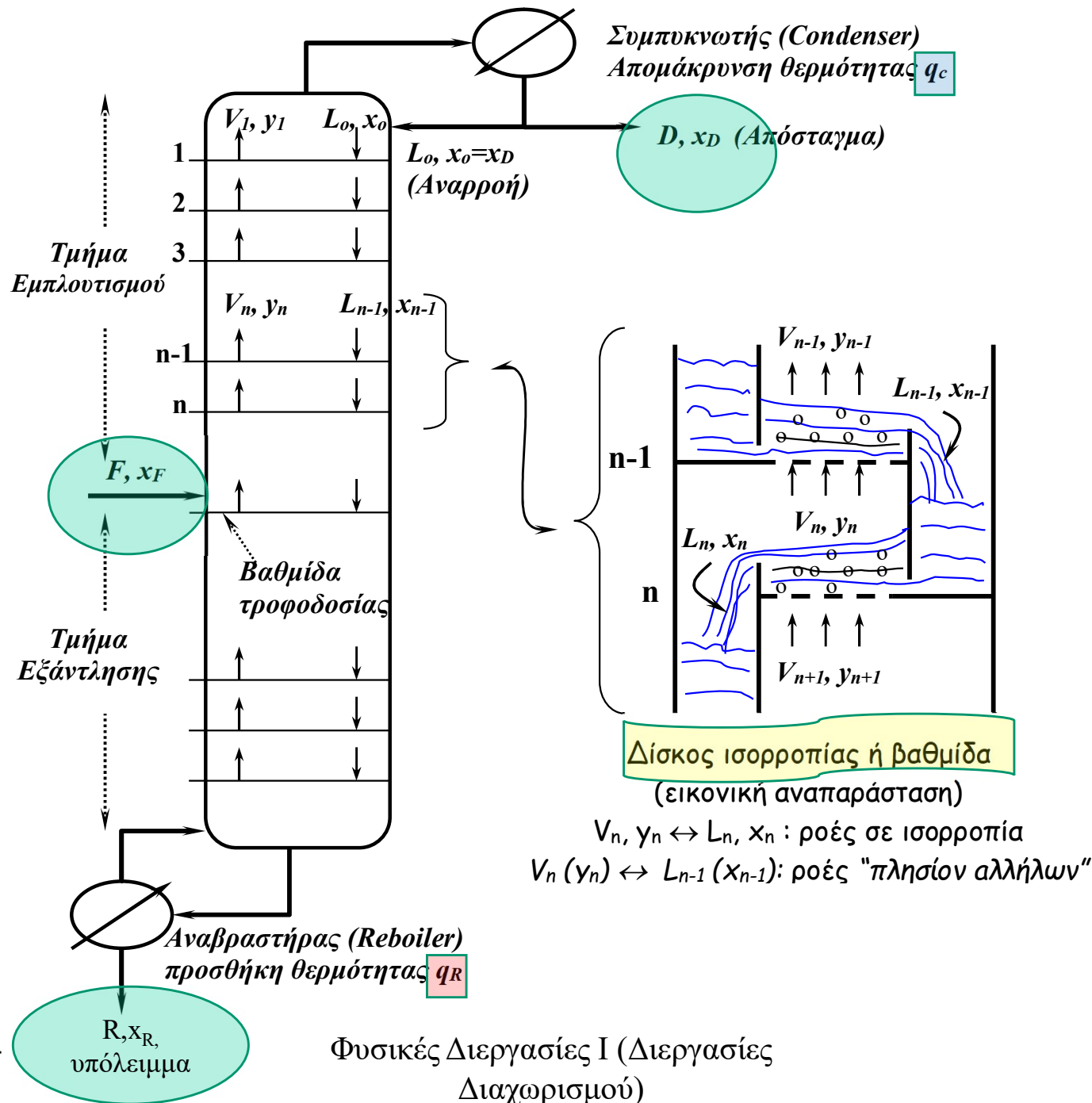
Υψηλές θερμοκρασίες

Κλασματική Απόσταξη Πετρελαίου

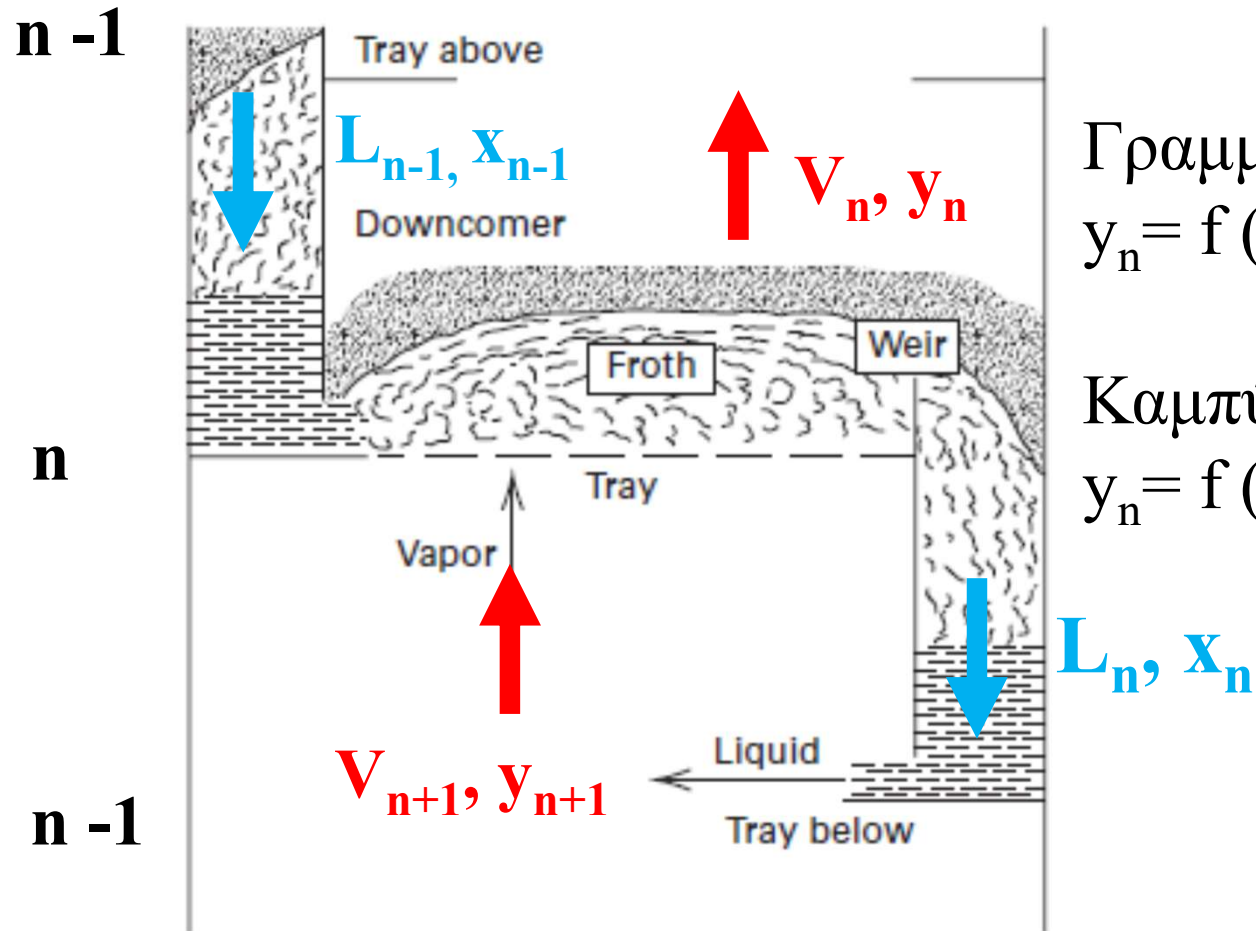
Στέφανος Κ. Ντούλας
Χημικός MSc - Med



Φυσικές Διεργασίες



Κλασματική Απόσταξη

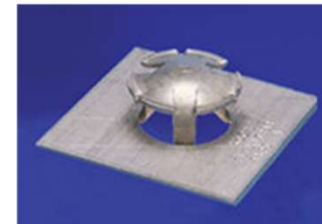
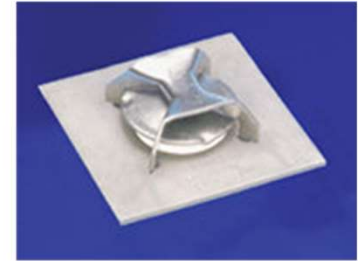
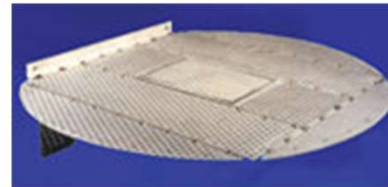


Γραμμή Λειτουργίας
 $y_n = f(x_{n-1})$

Καμπύλη Ισορροπίας
 $y_n = f(x_n)$

Figure 5.8 Typical vapor-liquid contacting tray.

Κλασματική Απόσταση Βαθμίδες Ισορροπίας



Δομημένο υλικό πλήρωσης



Κλασματική Απόσταξη

Βαθμίδες Ισορροπίας- Προβλήματα

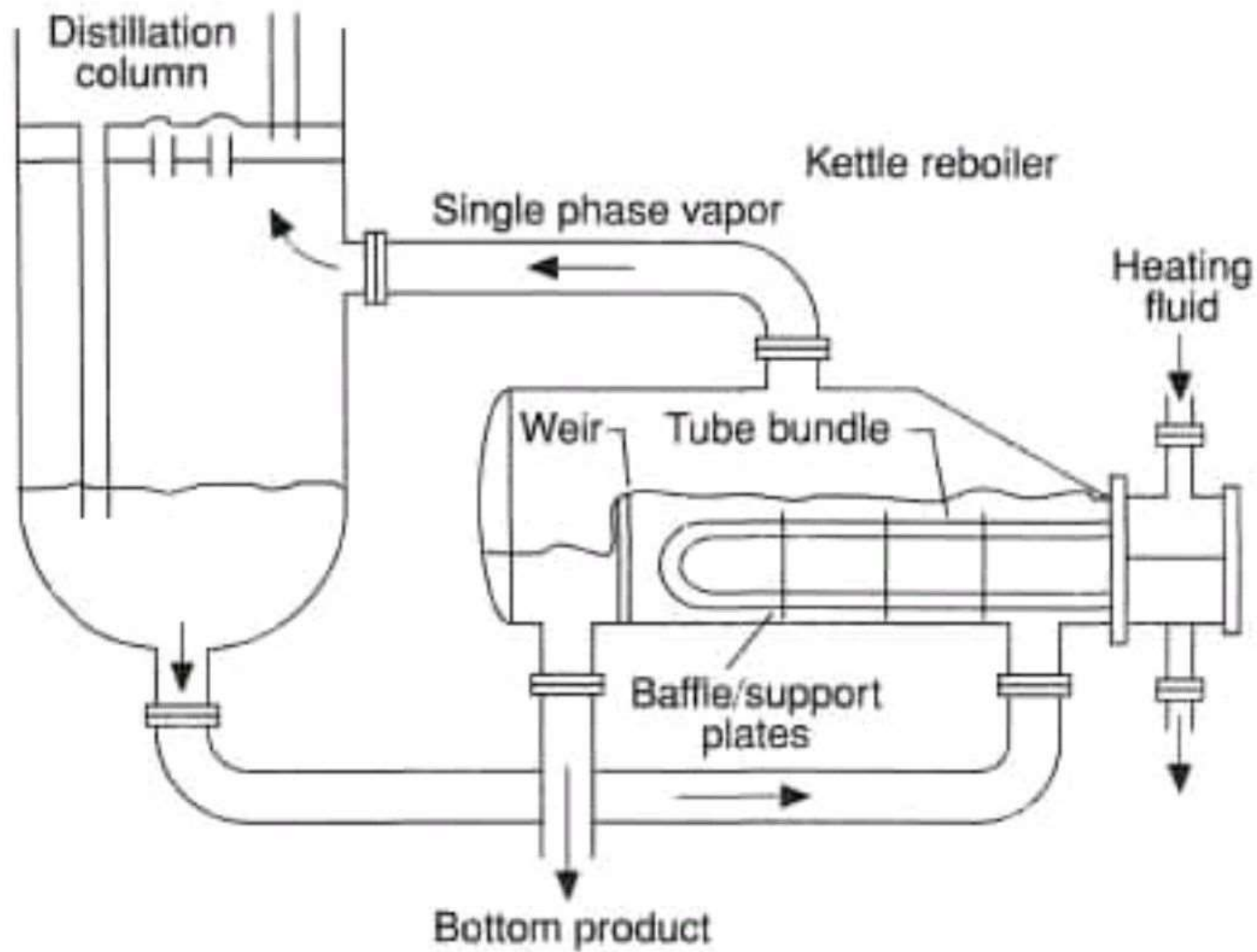


Κλασματική Απόσταξη Βαθμίδες Ισορροπίας



Κλασματική Απόσταξη Βαθμίδες Ισορροπίας

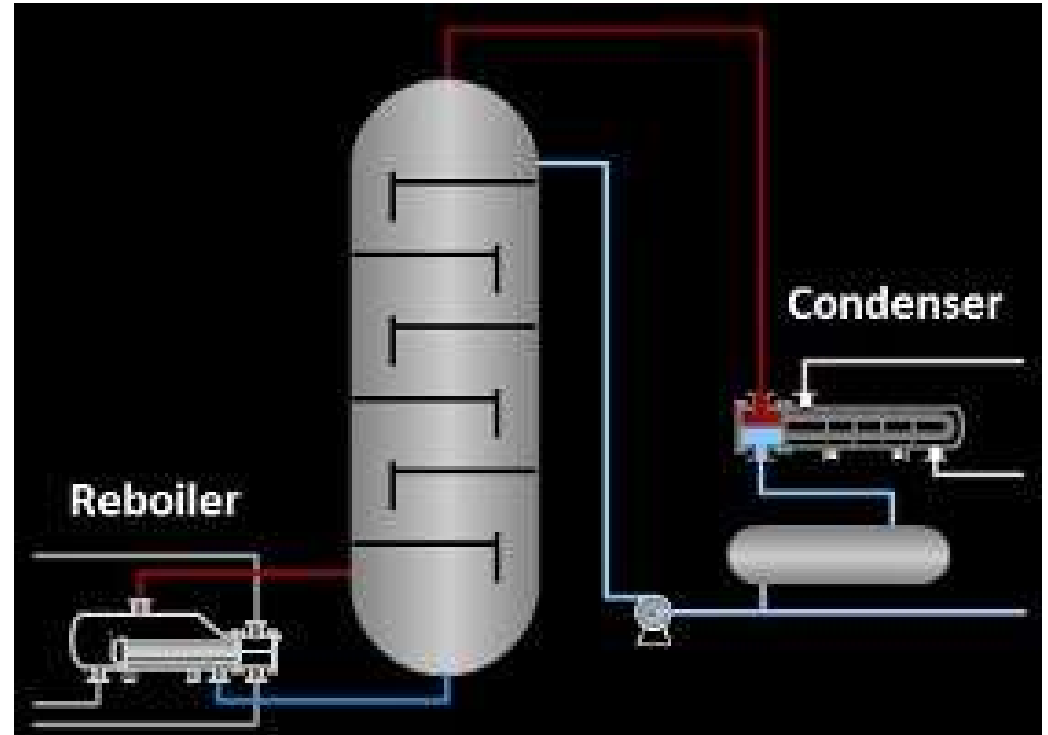




Κλασματική Απόσταξη

- Η κλασματική απόσταξη σε βαθμίδες μπορεί να θεωρηθεί σαν μια σειρά απλών «αποστάξεων ισορροπίας», όπου τα προϊόντα μιας βαθμίδας είναι τροφοδοσίες των προσκειμένων, άνω και κάτω, βαθμίδων.
- Η αποστακτική στήλη συνοδεύεται από ένα **Αναβραστήρα** (στον πυθμένα) και ένα **συμπυκνωτήρα** (στην κορυφή)
- Η τροφοδότηση (F) είναι εισάγεται συνήθως κοντά στο μέσον της στήλης χωρίζοντας την σε τμήμα **εμπλουτισμού** και **εξάντλησης**
- Η πίεση λειτουργίας θεωρείται σταθερή σε όλο μήκος της στήλης

Κλασματική Απόσταξη Αναβραστήρας- Συμπυκνωτής

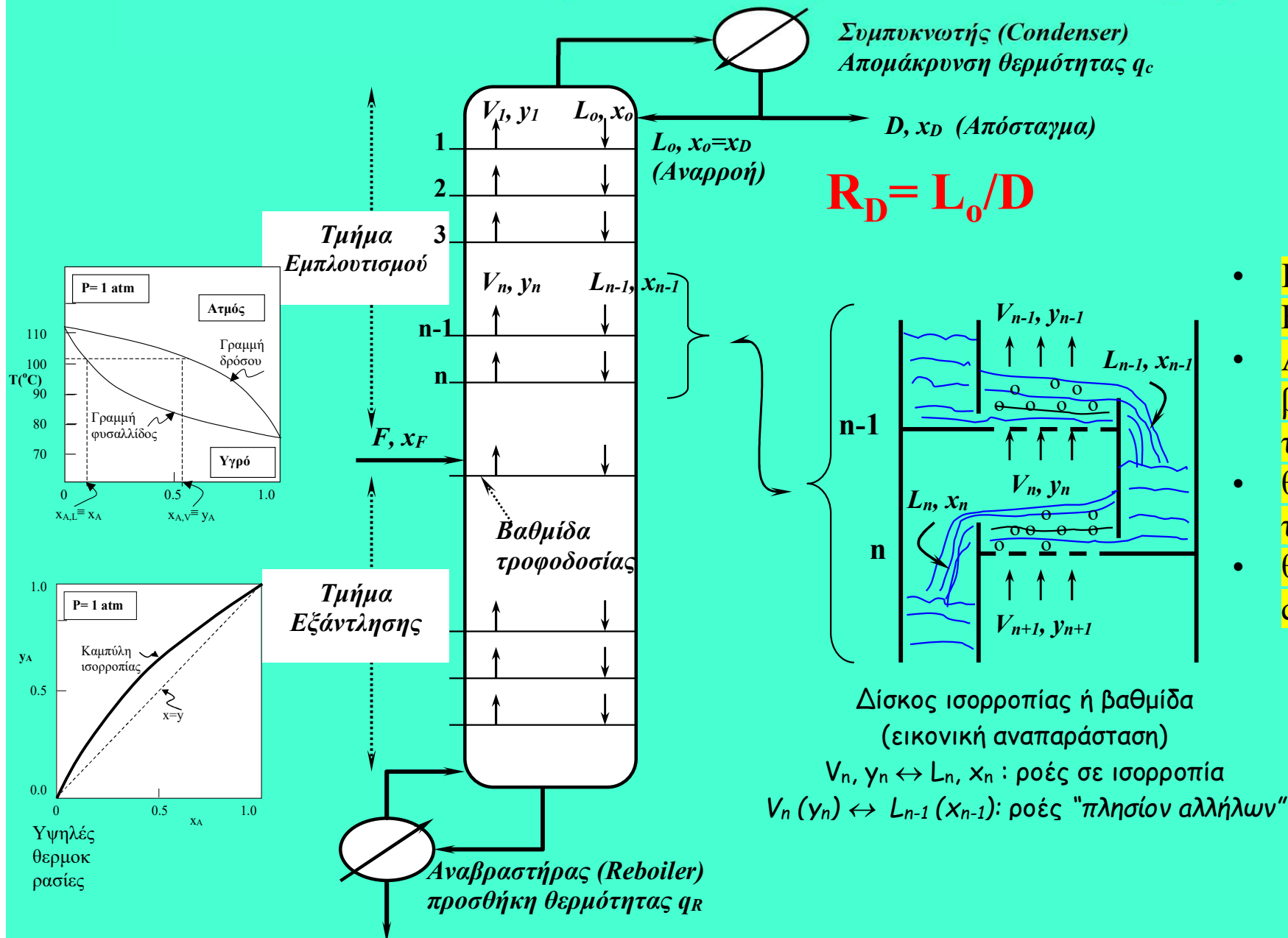


Κλασματική Απόσταξη

- Βασικές απαιτήσεις για την επιλογή της πίεσης λειτουργίας:
 - (i) Να υφίσταται σημαντική διαφορά πτητικότητας μεταξύ των συστατικών.
 - (ii) Να είναι δυνατή η υγροποίηση των ατμών στον συμπυκνωτήρα με υπάρχων μη δαπανηρό ψυκτικό μέσο
 - (iii) Να μην έχουμε υπερβολικά μεγάλους όγκους ατμών που απαιτούν μεγάλη διάμετρο στήλης, άρα πάγιο κόστος
 - (iv) Οι θερμοκρασίες της στήλης να μην είναι επικίνδυνα υψηλές

Αύξηση της πίεσης συνεπάγεται δυσχέρεστερος διαχωρισμός (δηλαδή περισσότερες βαθμίδες για να φθάσουμε σε ένα επιθυμητό αποτέλεσμα)

Κλασματική Απόσταξη



- Ισοζύγια μάζας, $F, D, R,$
- Αριθμός βαθμίδων τροφοδοσίας, $N,$
- θέση τροφοδοσίας,
- θερμικά φορτία, q_R, q_C

Σχεδιασμός Αποστακτικής Στήλης

- Μεταβλητές
 - (1) Πίεση λειτουργίας της στήλης (P)
 - (2) Ρυθμός τροφοδότησης (F)
 - (3) Σύσταση τροφοδότησης (x_F)
 - (4) Ενθαλπία (θερμική κατάσταση) τροφοδότησης h_F ή q
 - (5) Σύσταση αποστάγματος (x_D)
 - (6) Σύσταση υπολείμματος (x_R)
 - (7) Ενθαλπία αναρροής (h_L)
 - (8) Λόγος αναρροής ($R_D=L/D$)

Τα x_F , x_D και x_R αναφέρονται στο πτητικότερο συστατικό)

Ζητούμενο: Ο υπολογισμός των απαιτούμενων θεωρητικών βαθμίδων για ένα δεδομένο διαχωρισμό.

Σχεδιασμός Αποστακτικής Στήλης

Ολικό Ισοζύγιο μάζας (υλικών)

$$F = D + R$$

Παροχή Τροφοδοσίας =
παροχή αποστάγματος +
παροχή υπολείμματος

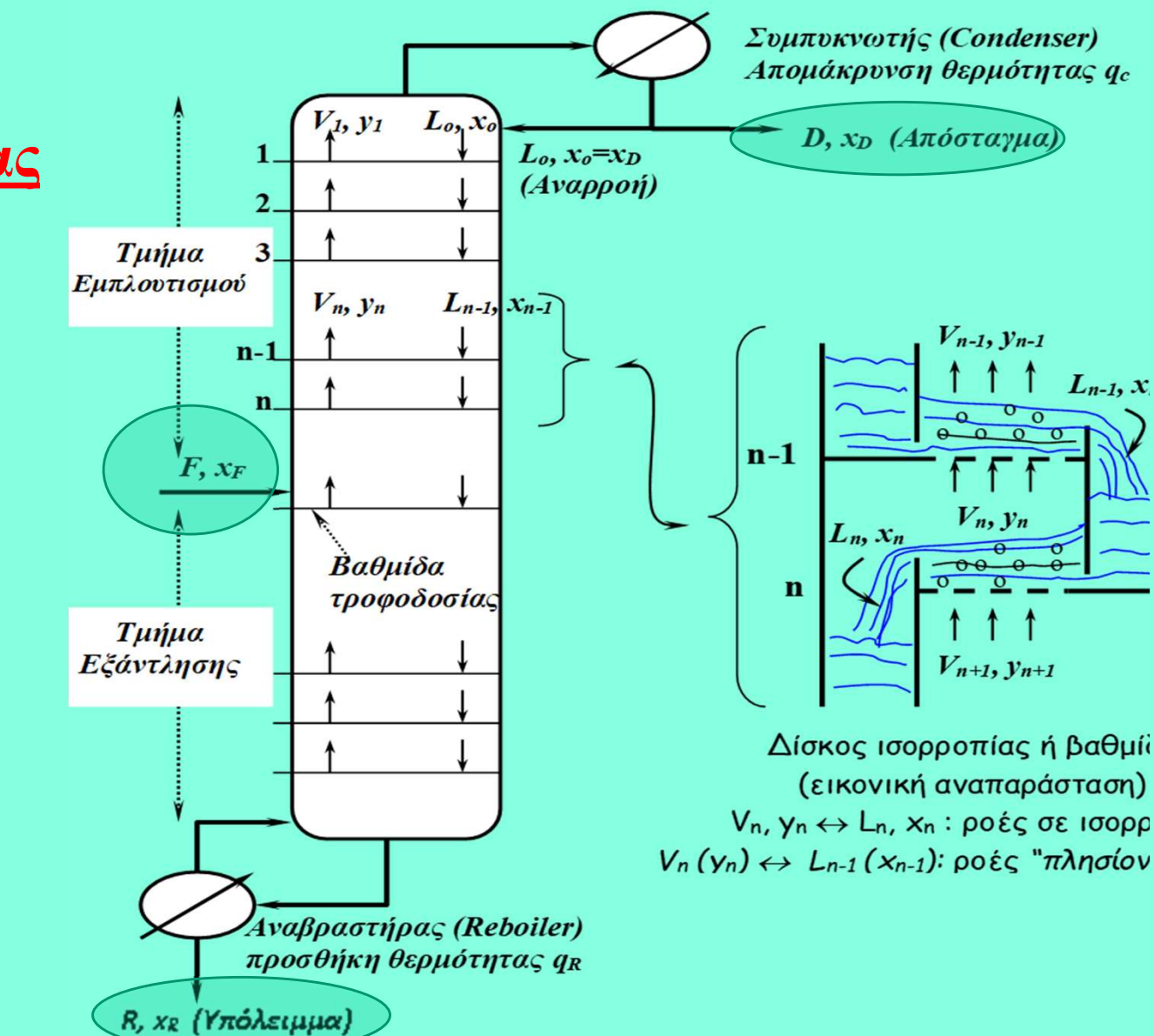
Ισοζύγιο Πτητικού (Α)

$$F x_F = D x_D + R x_R$$

$$R = F \frac{(x_D - x_F)}{(x_D - x_R)}$$

$$D = F \frac{(x_F - x_R)}{(x_D - x_R)}$$

29/11/2024



Φυσικές Διεργασίες Ι (Διεργασίες
Διαχωρισμού)

19

Σχεδιασμός Αποστακτικής Στήλης

Ολικό Ισοζύγιο μάζας, (Υλικών)

$$F = D + R$$

Παροχή Τροφοδοσίας = παροχή αποστάγματος + παροχή υπολείμματος

Ισοζύγιο Πτητικού (Α)

$$F x_F = D x_D + R x_R$$

$$F = D + R \rightarrow D = F - R$$

$$F x_F = D x_D + R x_R$$

$$F x_F = (F - R) x_D + R x_R = F x_D - R x_D + R x_R = F x_D - R (x_D - x_R)$$

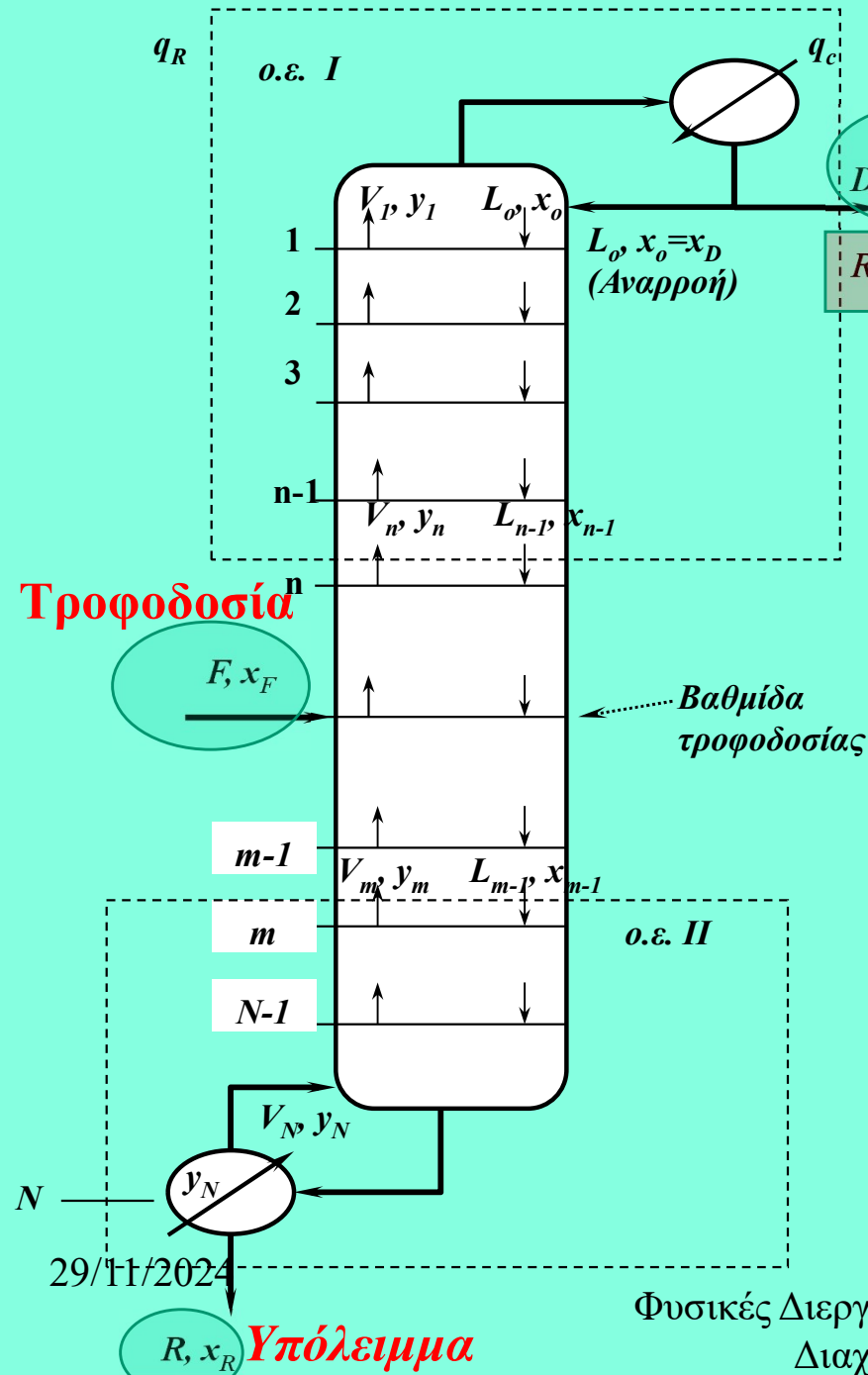
$$R (x_D - x_R) = F x_D - F x_F = F (x_D - x_F)$$

$$R = F \frac{(x_D - x_F)}{(x_D - x_R)}, \quad R_A = x_R^* R, \quad R_B = (1 - x_R) R$$

$$D = F - R = F - F \frac{(x_D - x_F)}{(x_D - x_R)} = F \left[1 - \frac{(x_D - x_F)}{(x_D - x_R)} \right] = F \left[\frac{(x_D - x_R - x_D + x_F)}{(x_D - x_R)} \right] = F \frac{(x_F - x_R)}{(x_D - x_R)}$$

$$D_A = x_D^* D, \quad D_B = (1 - x_D) D$$

Σχεδιασμός Αποστακτικής Στήλης



D, x_D (Απόσταγμα)

$R_D = L_o/D$ Λόγος Αναρροής

Ισοζύγια μάζας στους Ο.Ε.

• Γραμμή εμπλουτισμού:

$$y_n = \frac{L}{D+L} x_{n-1} + \frac{D}{D+L} x_D$$

$$y_n = \frac{R_D}{R_D+1} x_{n-1} + \frac{x_D}{R_D+1}$$

• Γραμμή εξάντλησης:

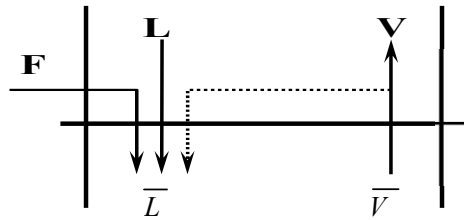
$$y_m = \frac{\bar{L}}{\bar{L}-R} x_{m-1} - \frac{R}{\bar{L}-R} x_R$$

• Γραμμή τροφοδοσίας ή q-line:

$$y = -\frac{q}{1-q} x + \frac{x_F}{1-q}$$

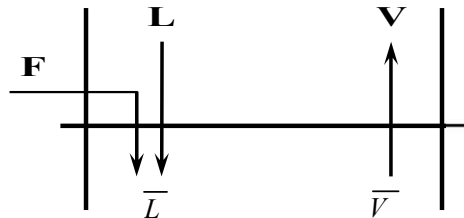
Φυσικές Διεργασίες I (Διεργασίες Διαχωρισμού)

q: το ποσοστό της τροφοδοσίας που εισέρχεται ως κορεσμένο υγρό



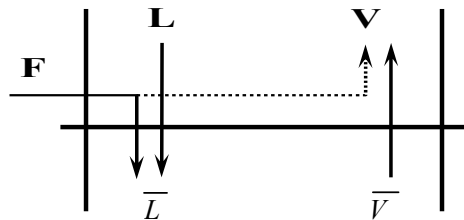
$$q = \frac{\bar{L} - L}{F}$$

(i) Τροφοδοσία υπόψυκτου υγρού ($T_F < T_{\sigma.\beta.}$): Όλη η τροφοδοσία κατευθύνεται στο τμήμα εξάντλησης αυξάνοντας το $\bar{L}$ ενώ συγχρόνως υγροποιεί και συμπαρασύρει κάποιο ποσοστό των ατμών V:
 $q > 1 \rightarrow q = 1 + C_{pL} (T_{\sigma.\beta.} - T_F) / \lambda$



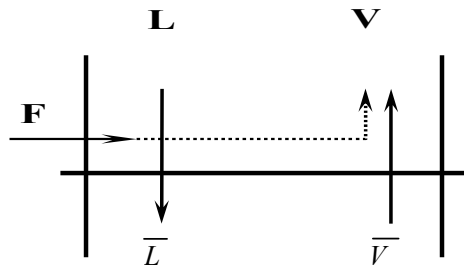
$$q = \frac{\bar{L} - L}{F}$$

(ii) Τροφοδοσία κορεσμένου υγρού ($T_F = T_{\sigma.\beta.}$): Όλη η τροφοδοσία κατευθύνεται στο τμήμα εξάντλησης αυξάνοντας το $\bar{L}$, χωρίς όμως να επηρεάζει την ροή των ατμών V: $q = 1 \rightarrow \bar{L} - L = F$

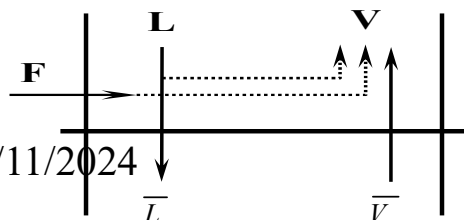


(iii) Τροφοδοσία ατμού-υγρού σε ισορροπία (μερικώς εξατμισμένο υγρό): μέρος της τροφοδοσίας αυξάνει την ποσότητα υγρού στο τμήμα εξάντλησης, ενώ το υπόλοιπο αυξάνει τον ατμό V του τμήματος εμπλουτισμού:

$$0 < q < 1 \rightarrow \{\bar{L} = L + qF \quad \text{και} \quad V = \bar{V} + (1 - q)F$$



(iv) Τροφοδοσία κορεσμένου ατμού (ατμού στο σημείο δρόσου, $T_F = T_{\sigma.\delta\rho.}$): Όλη η τροφοδοσία κατευθύνεται ως ατμός στο τμήμα εμπλουτισμού, αφήνοντας ανεπηρέαστη την ροή υγρού L: $q = 0 \rightarrow (V = \bar{V} + F)$



(v) Τροφοδοσία υπέρθερμου ατμού ($T_F > T_{\sigma.\delta\rho.}$): Όλη η τροφοδοσία κατευθύνεται στο τμήμα εμπλουτισμού, ενώ συγχρόνως εξατμίζει και παρασύρει κάποιο ποσοστό του υγρού L:
 $q < 0 \rightarrow q = C_{pV} (T_{\sigma.\delta\rho.} - T_F) / \lambda$

29/11/2024

ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ

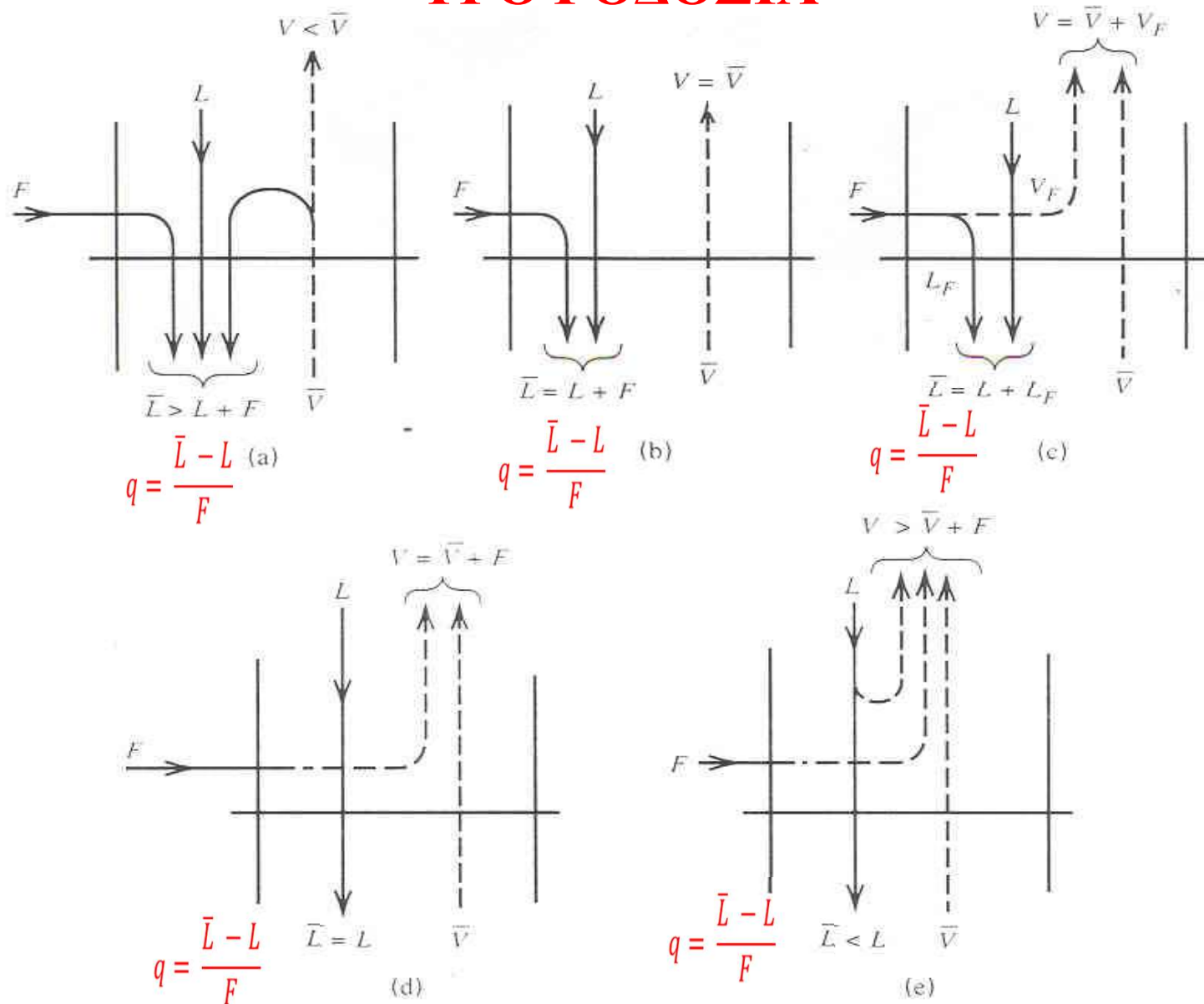
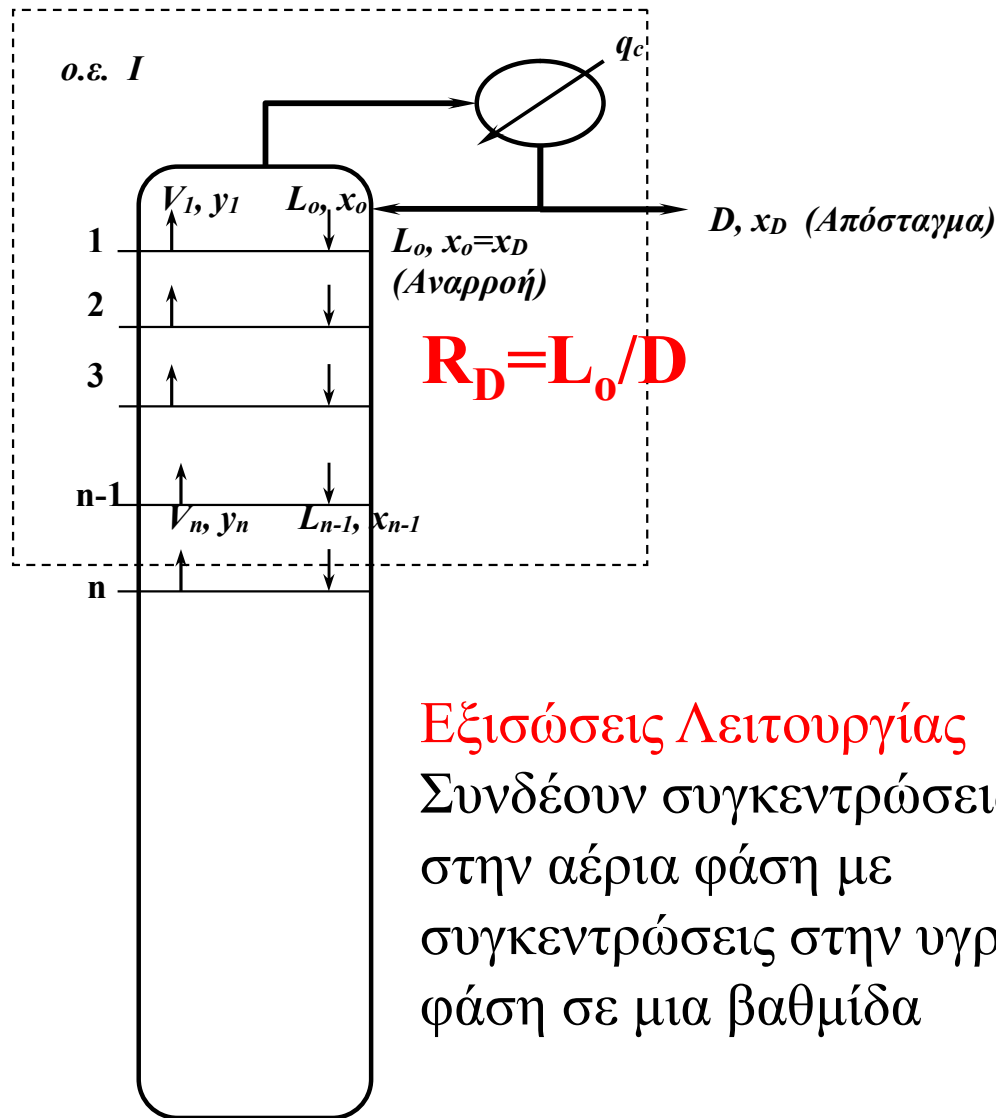


Figure 7.7 Possible feed conditions: (a) subcooled liquid feed; (b) bubble-point liquid feed; (c) partially vaporized feed; (d) dew-point vapor feed; (e) superheated vapor feed. [Adapted from W.L. McCabe, J.C. Smith, and P. Harriott. *Unit Operations of Chemical Engineering*, 5th ed., McGraw-Hill, New York (1993).]

Σχεδιασμός Αποστακτικής Στήλης

Ανάλυση Τμήματος Εμπλουτισμού



Ολικό Ισοζύγιο

$$V_n = L_{n-1} + D$$

Ισοζύγιο Πτητικού

$$V_n y_n = L_{n-1} x_{n-1} + D x_D$$

Λύνοντας ως προς y_n

$$y_n = \frac{L_{n-1}}{V_n} x_{n-1} + \frac{D}{V_n} x_D$$

ή

$$y_n = \frac{L_{n-1}}{L_{n-1} + D} x_{n-1} + \frac{D}{L_{n-1} + D} x_D$$

ή

$$y_n = \frac{R_D}{R_D + 1} x_{n-1} + \frac{x_D}{R_D + 1}$$

Εξισώσεις Λειτουργίας

Συνδέουν συγκεντρώσεις στην αέρια φάση με συγκεντρώσεις στην υγρή φάση σε μια βαθμίδα

Σχεδιασμός Αποστακτικής Στήλης - Ανάλυση Τμήματος Εμπλουτισμού

Ολικό Ισοζύγιο: $V_n = L_{n-1} + D$

Ισοζύγιο Πτητικού: $V_n y_n = L_{n-1} x_{n-1} + D x_D$

Λύνοντας ως προς y_n

$$y_n = \frac{L_{n-1}}{V_n} x_{n-1} + \frac{D}{V_n} x_D$$

Προσέξτε ότι η γραμμή λειτουργίας είναι μια ευθεία γραμμή $y=ax+b$

με κλίση, $\frac{L_{n-1}}{V_n}$, δηλ. το λόγο ροής του

υγρού προς την ροή των ατμών

Η γραμμή λειτουργίας μπορεί να γραφεί επίσης ως

$$y_n = \frac{L_{n-1}}{L_{n-1} + D} x_{n-1} + \frac{D}{L_{n-1} + D} x_D$$

Διαιρώ όλους τους όρους με το D

$$y_n = \frac{L_{n-1}/D}{L_{n-1}/D + D/D} x_{n-1} + \frac{D/D}{L_{n-1}/D + D/D} x_D$$

Ορισμός λόγου αναρροής, $R_D = L/D$

$$y_n = \frac{R_D}{R_D + 1} x_{n-1} + \frac{1}{R_D + 1} x_D$$

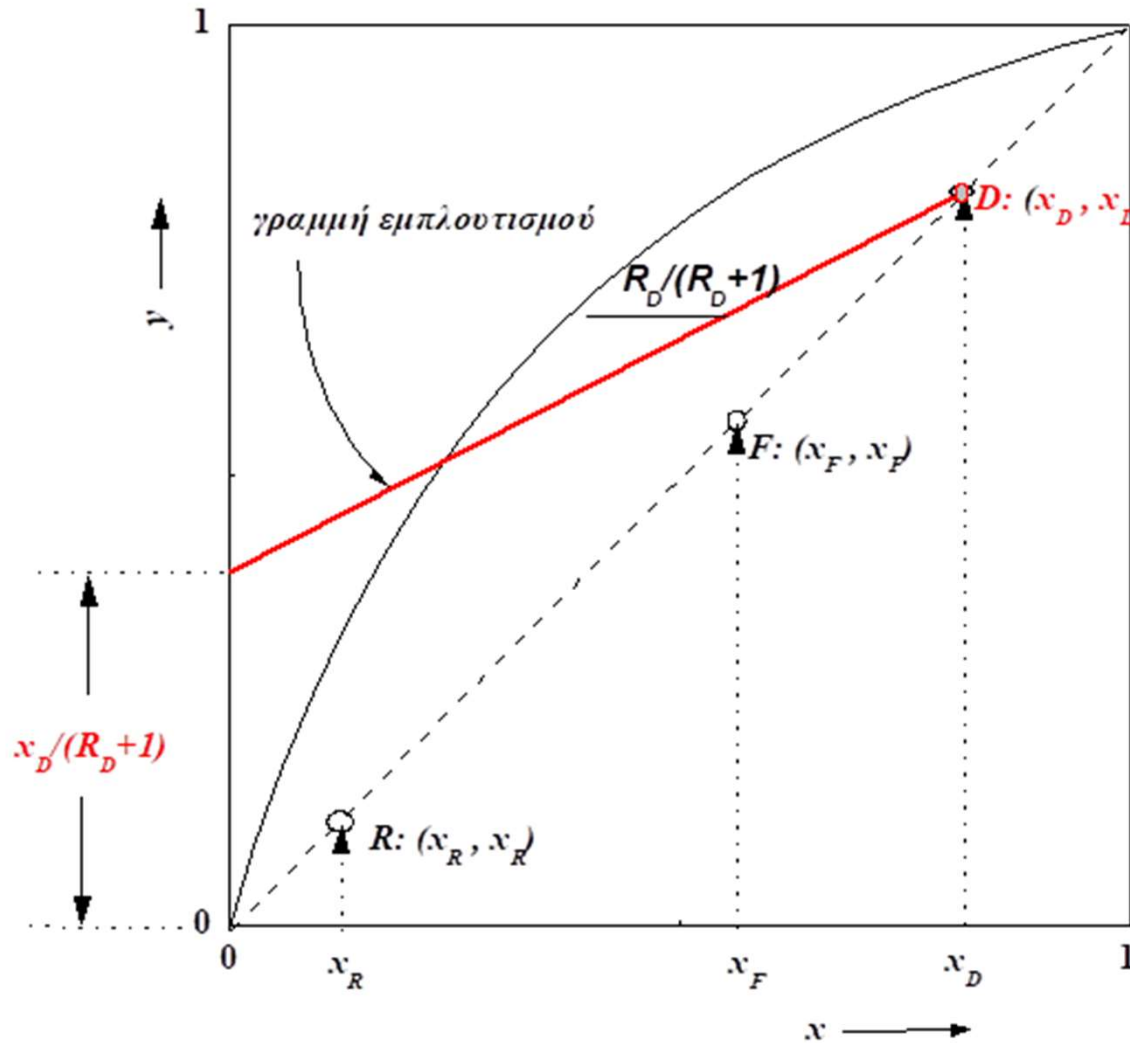
Κλίση της γραμμής $\frac{R_D}{R_D + 1}$

Αποτέμνουσα (για $x=0$, $y_n = \frac{x_D}{R_D + 1}$)

Για $x=x_D$

$$\begin{aligned} y_n &= \frac{R_D}{R_D + 1} x_D + \frac{1}{R_D + 1} x_D = \frac{(R_D + 1)}{(R_D + 1)} x_D \\ &= x_D \end{aligned}$$

Σχεδιασμός Αποστακτικής Στήλης – Ανάλυση Τμήματος Εμπλουτισμού



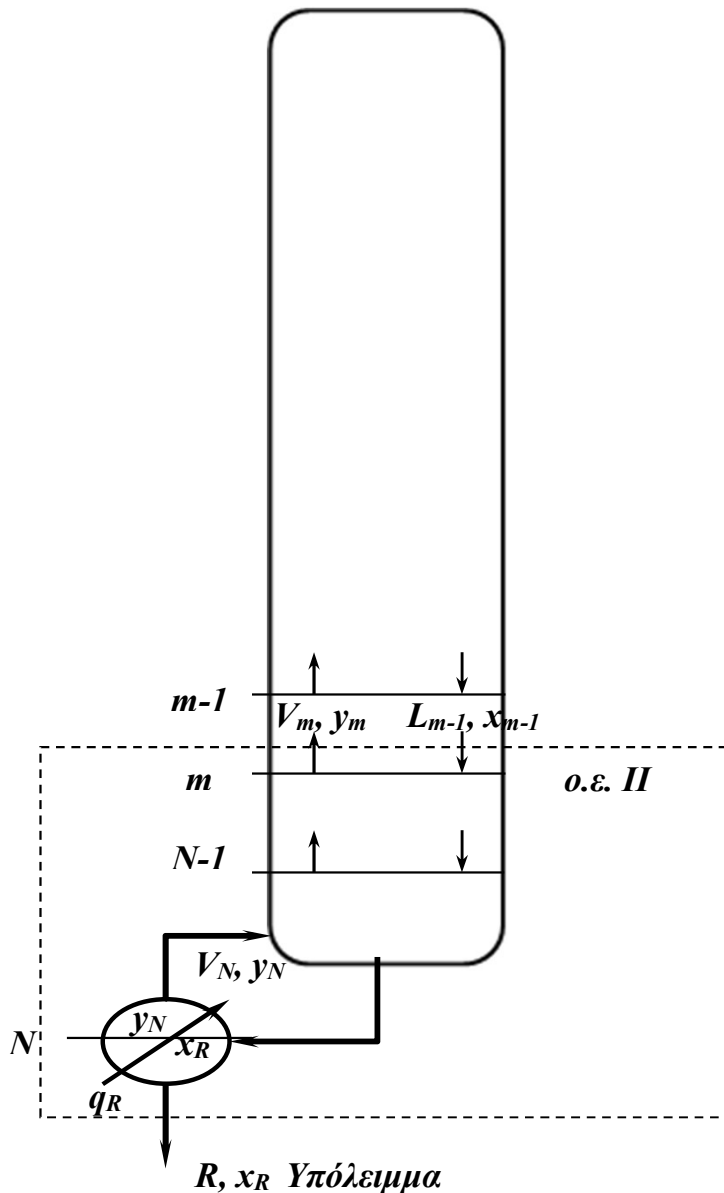
$$y_n = \frac{R_D}{R_D + 1} x_{n-1} + \frac{x_D}{R_D + 1}$$

(α) διέρχεται από το σημείο (x_D, x_D) της διαγωνίου

(β) έχει κλίση: $R_D/(R_D-1)$

Σχεδιασμός Αποστακτικής Στήλης

Ανάλυση Τμήματος Εξάντλησης



Ολικό Ισοζύγιο

$$V_m = L_{m-1} - R$$

Ισοζύγιο Πτητικού

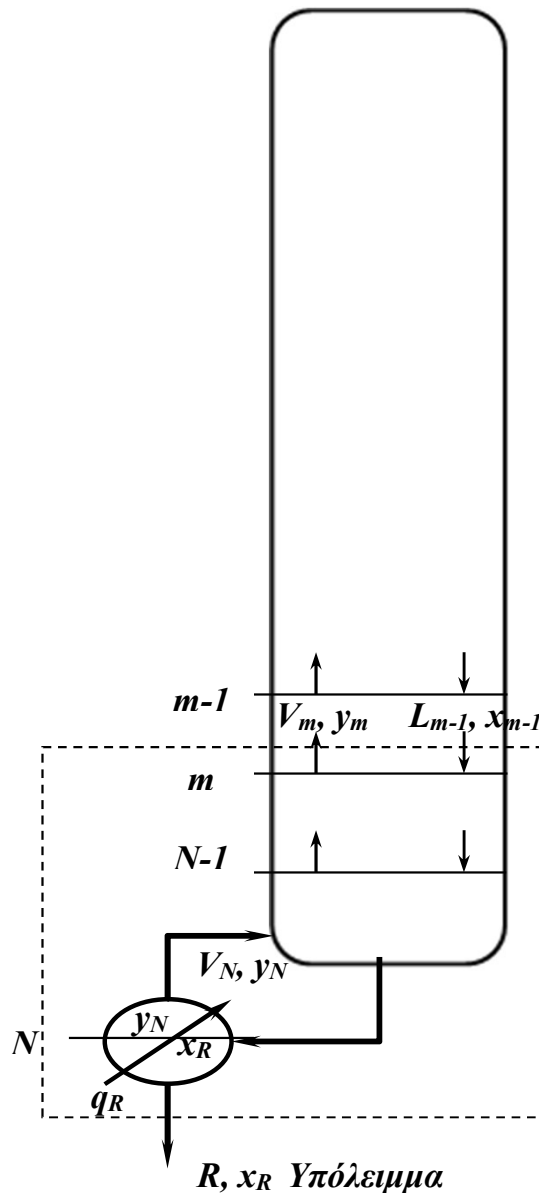
$$V_m y_m = L_{m-1} x_{m-1} - R x_R$$

Λύνοντας ως προς y_n

$$y_m = (L_{m-1} / V_m) x_{m-1} - (R / V_m) x_R$$

$$y_m = \frac{L_{m-1}}{L_{m-1} - R} x_{m-1} - \frac{R}{L_{m-1} - R} x_R$$

Σχεδιασμός Αποστακτικής Στήλης- Ανάλυση Τμήματος Εξάντλησης



Ολικό Ισοζύγιο: $V_m = L_{m-1} - R$

Ισοζύγιο Πτητικού: $V_m y_m = L_{m-1} x_{m-1} - R x_R$

Λύνοντας ως προς y_m , $y_m = \frac{L_{m-1}}{V_m} x_{m-1} - \frac{R}{V_m} x_R$

Προσέξτε ότι η γραμμή λειτουργίας, είναι μια ευθεία γραμμή $y=ax+b$ με κλίση, $\frac{L_{m-1}}{V_m}$, δηλ. το λόγο ροής του υγρού προς την ροή των ατμών

Η γραμμή λειτουργίας μπορεί να γραφεί επίσης ως

$$y_m = \frac{L_{m-1}}{L_{m-1} - R} x_{m-1} - \frac{R}{L_{m-1} - R} x_R$$

ο.ε. II Κλίση της γραμμής $\frac{L_{m-1}}{L_{m-1} - R}$

Αποτέμνουσα (για $x=0$, $y_m = -\frac{R}{L_{m-1} - R} x_R$)

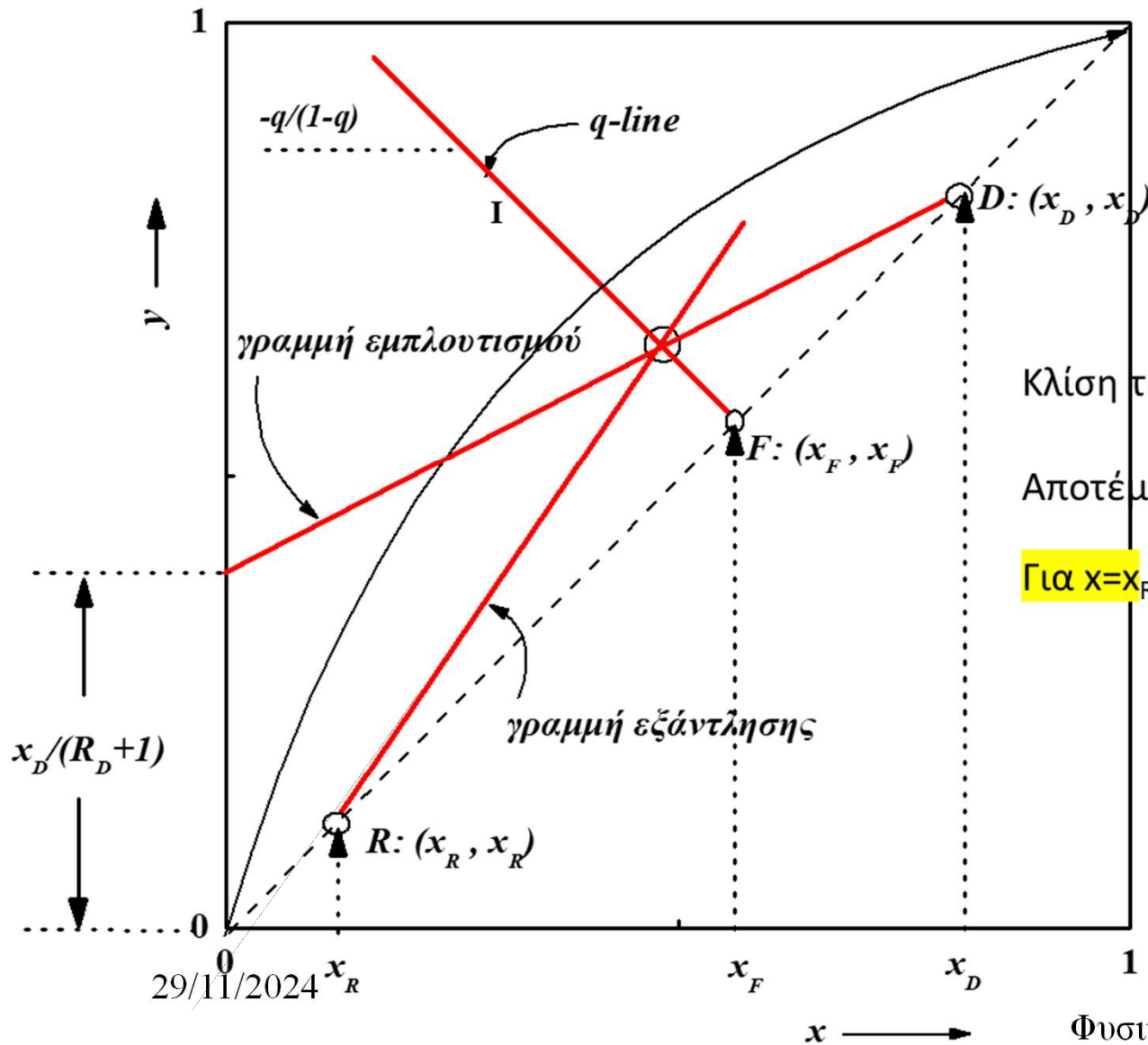
Για $x=x_R$

$$y_m = \frac{L_{m-1}}{L_{m-1} - R} x_R - \frac{R}{L_{m-1} - R} x_R = \frac{(L_{m-1} - R)}{(L_{m-1} - R)} x_R = x_R$$

29/11/2024

Σχεδιασμός Αποστακτικής Στήλης- Ανάλυση Τμήματος Εξάντλησης

$$y_m = \frac{L_{m-1}}{L_{m-1} - R} x_{m-1} - \frac{R}{L_{m-1} - R} x_R$$



Κλίση της γραμμής $\frac{L_{m-1}}{L_{m-1}-R}$

Αποτέλεσμα (για $x=0$, $y_m = -\frac{R}{L_{m-1}-R} x_R$)

$$\Gamma_{\alpha} x = x_R \quad y_m = x_R$$

Σχεδιασμός Αποστακτικής Στήλης

Ανάλυση Τμήματος Τροφοδοσίας

q , που ορίζεται ως "το κλάσμα της τροφοδοσίας που είναι κεκορεσμένο υγρό".

$$q = \frac{\bar{L} - L}{F} \quad \text{ή ισοδύναμα} \quad \bar{L} = L + qF \quad \& \quad V = \bar{V} + (1 - q)F$$

$$(2.75) \xrightarrow{\text{για } x_{n-1}=x, y_n=y} Vy = Lx + Dx_D$$

$$(2.78) \xrightarrow{\text{για } x_{m-1}=x, y_m=y} \bar{V}y = \bar{L}x - Rx_R$$

(αφαιρώντας κατά μέλη) $\Rightarrow$

$$y(V - \bar{V}) = (L - \bar{L})x + (Dx_D + Rx_R) \xrightarrow{Dx_D + Rx_R = Fx_F} \frac{V - \bar{V}}{F}y = \frac{L - \bar{L}}{F}x + x_F \xrightarrow{(2.80)}$$

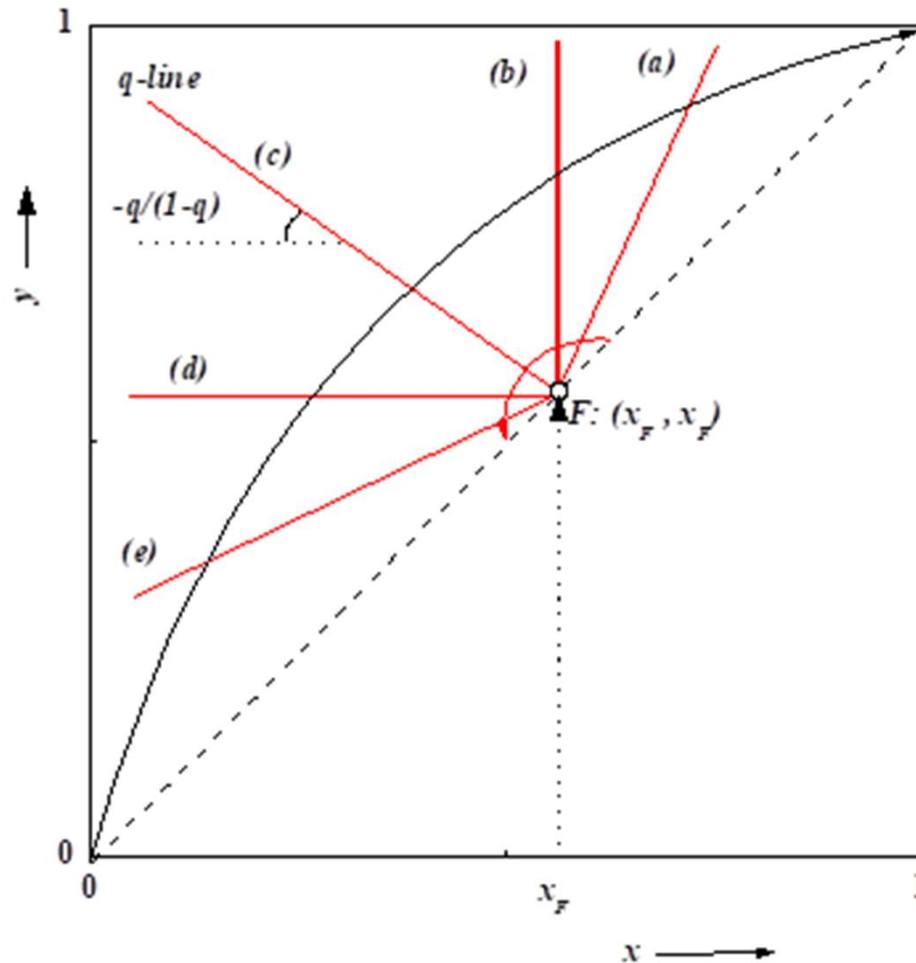
$$y = -\frac{q}{1-q}x + \frac{x_F}{1-q}$$

(α) διέρχεται από το σημείο (x_F, x_F) της διαγωνίου

(β) έχει κλίση: $-q/(1-q)$

Σχεδιασμός Αποστακτικής Στήλης

Ανάλυση Τμήματος Τροφοδοσίας



•Γραμμή τροφοδοσίας ή *q-line*:

$$y = -\frac{q}{1-q}x + \frac{x_F}{1-q}$$

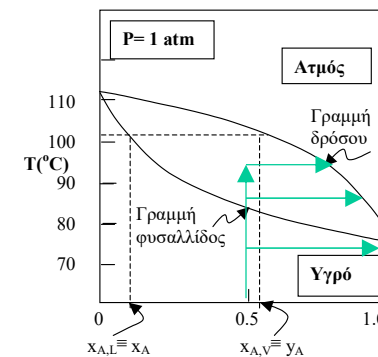
(a): $q > 1$, υπόψυκτο υγρό

(b): $q = 1$, κορεσμένο υγρό

(c): $0 < q < 1$, υγρό+ατμός

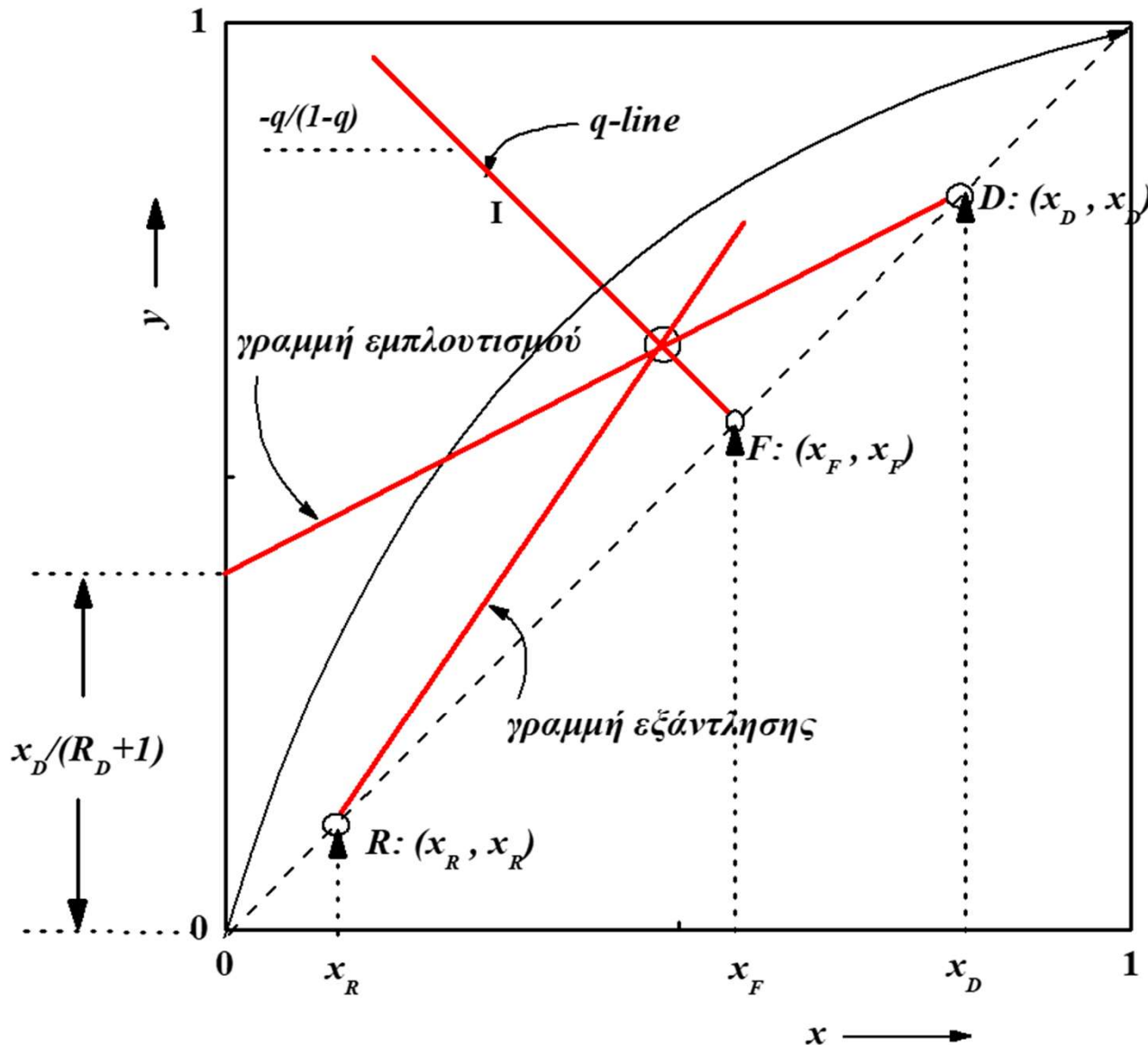
(d): $q = 0$, κορεσμένος ατμός

(e): $q < 0$, υπέρθερμος ατμός



Σχεδιασμός Αποστακτικής Στήλης

Ανάλυση Τμήματος Τροφοδοσίας



$$y = -\frac{q}{1-q}x + \frac{x_F}{1-q}$$

(α) διέρχεται από το σημείο (x_F, x_F) της διαγωνίου

(β) έχει κλίση: $-q/(1-q)$

Γραμμές λειτουργίας

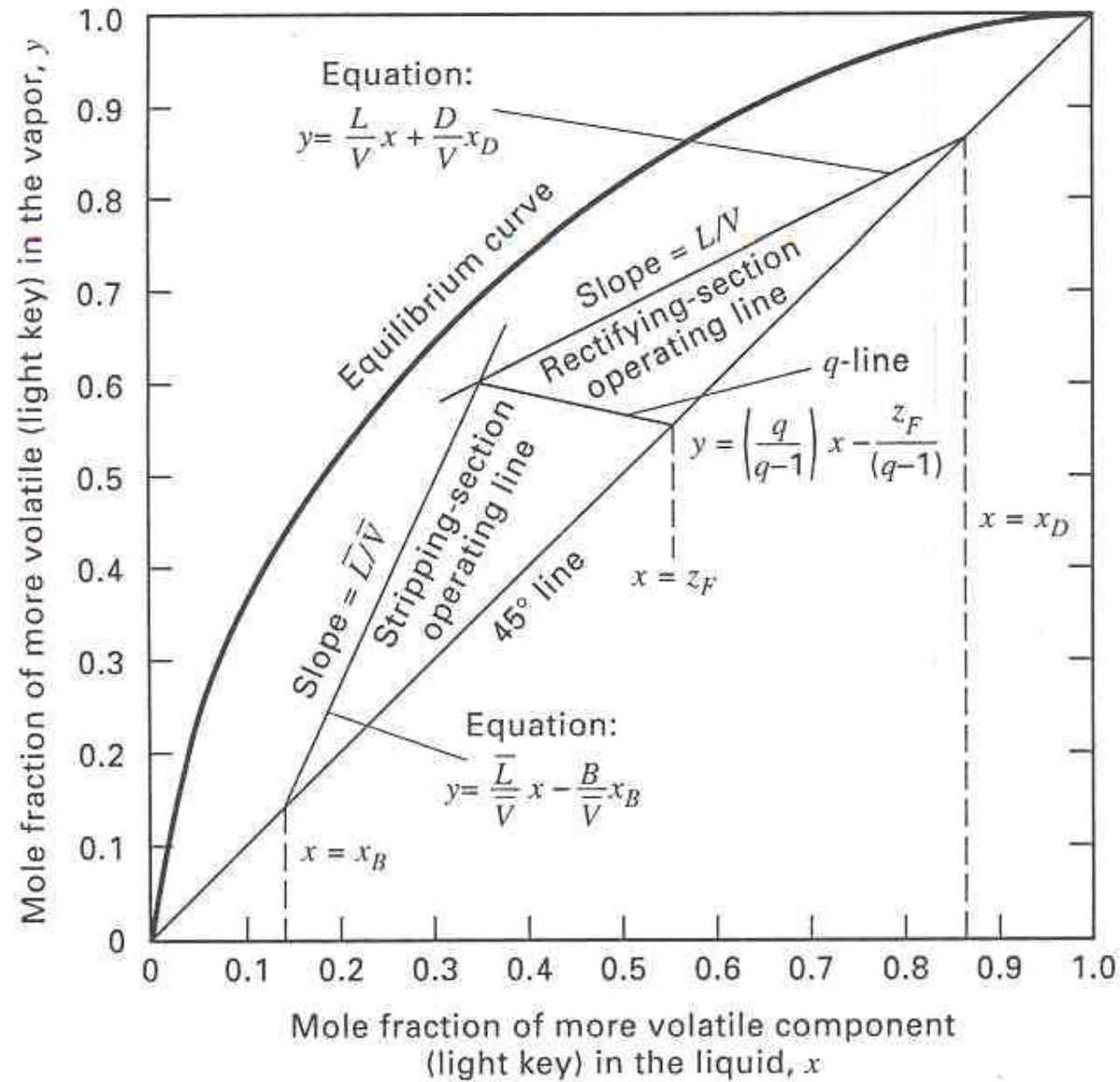
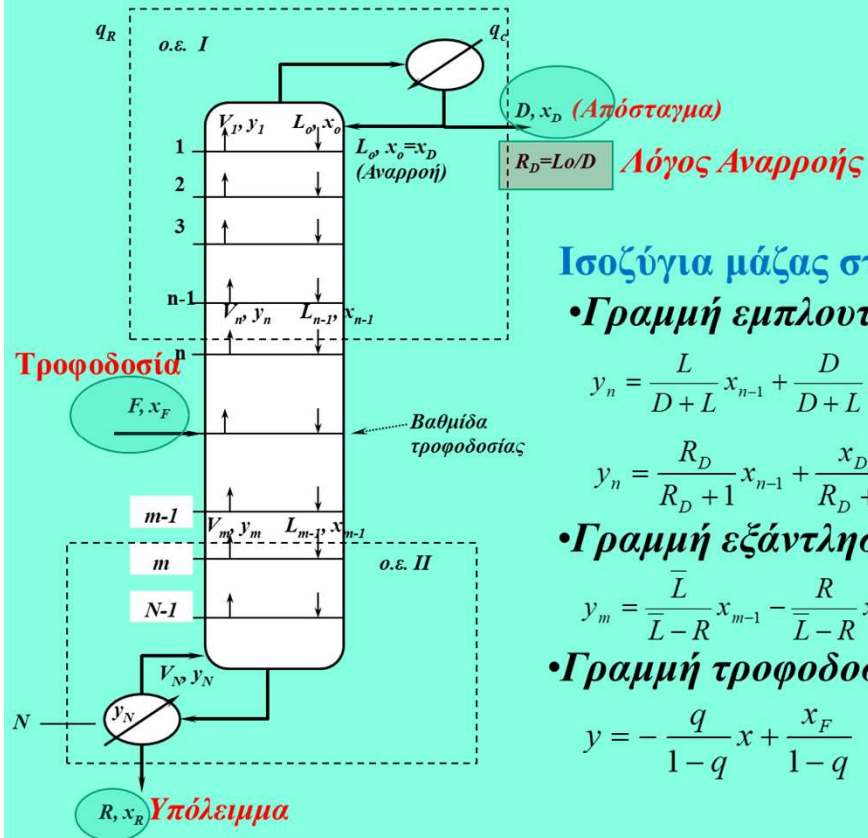


Figure 7.4 Construction lines for McCabe–Thiele method.

Σχεδιασμός Αποστακτικής Στήλης *McCabe Thiele*

Σχεδιασμός Αποστακτικής Στήλης



Ισοζύγια μάζας στους Ο.Ε.

• Γραμμή εμπλουτισμού:

$$y_n = \frac{L}{D+L} x_{n-1} + \frac{D}{D+L} x_D$$

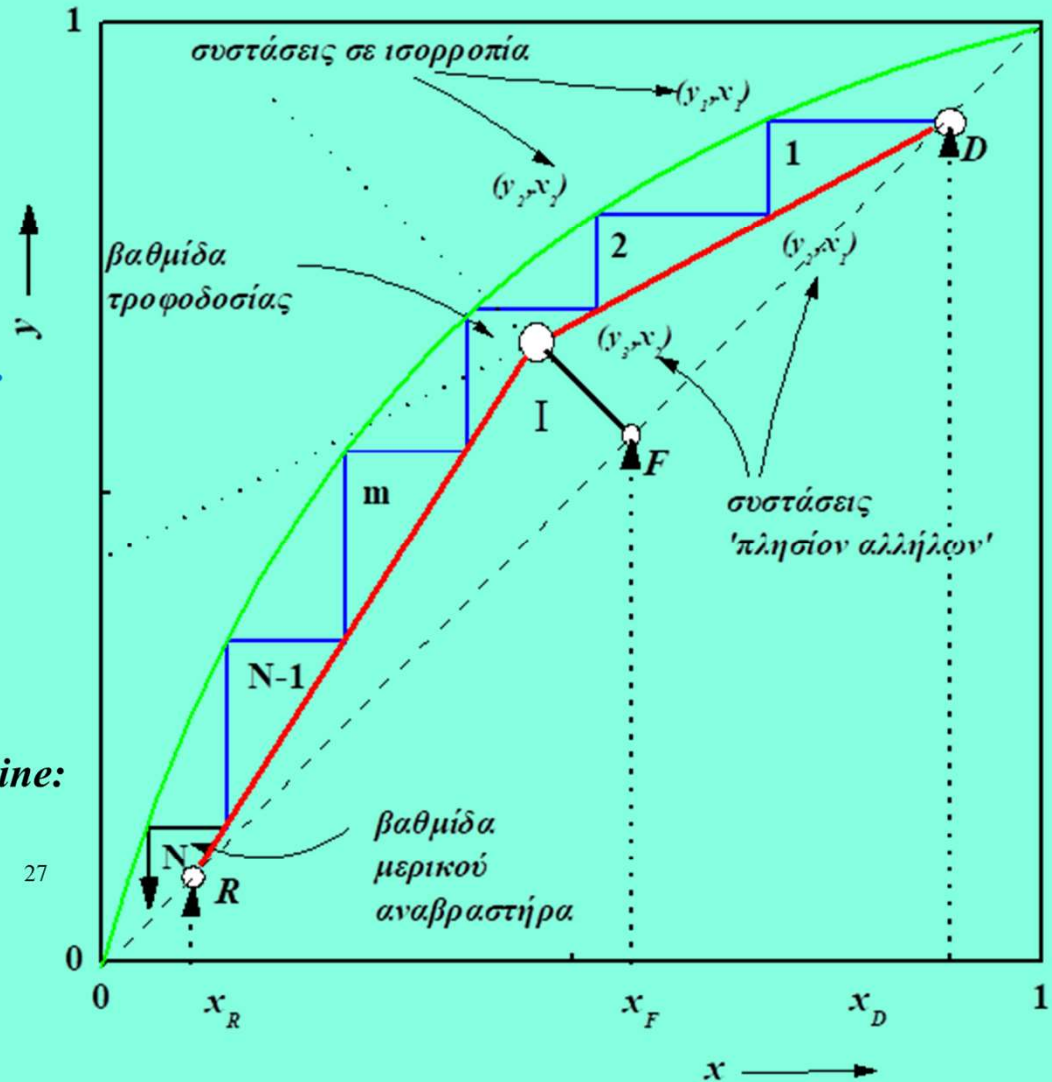
$$y_n = \frac{R_D}{R_D+1} x_{n-1} + \frac{x_D}{R_D+1}$$

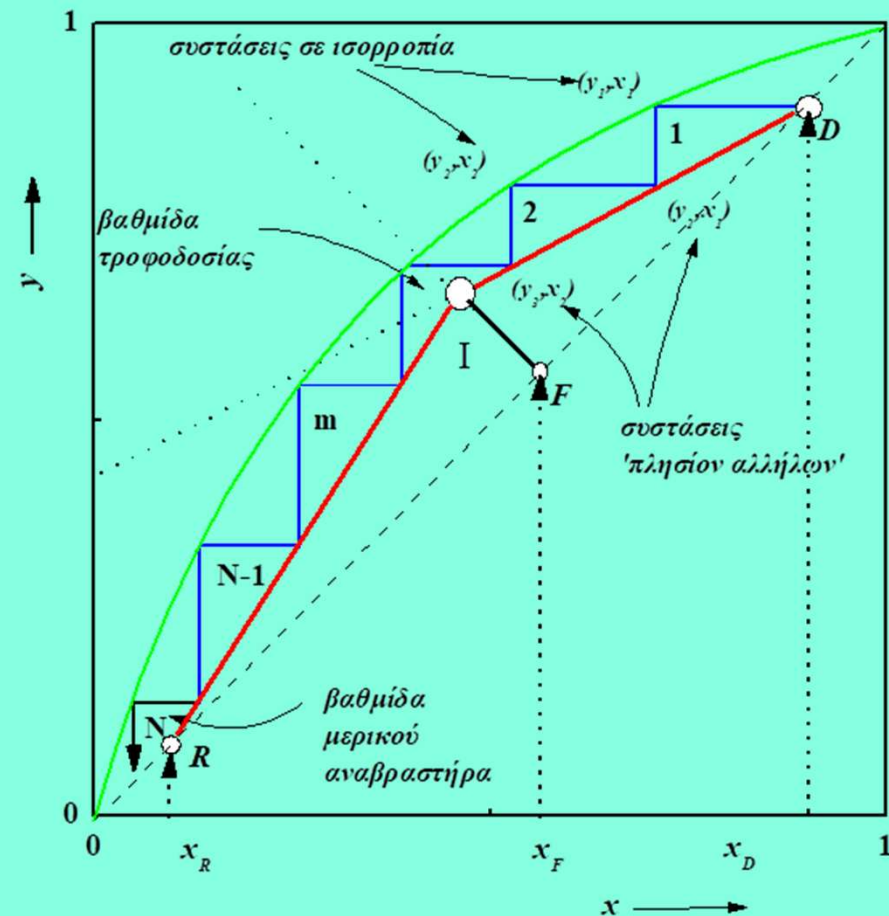
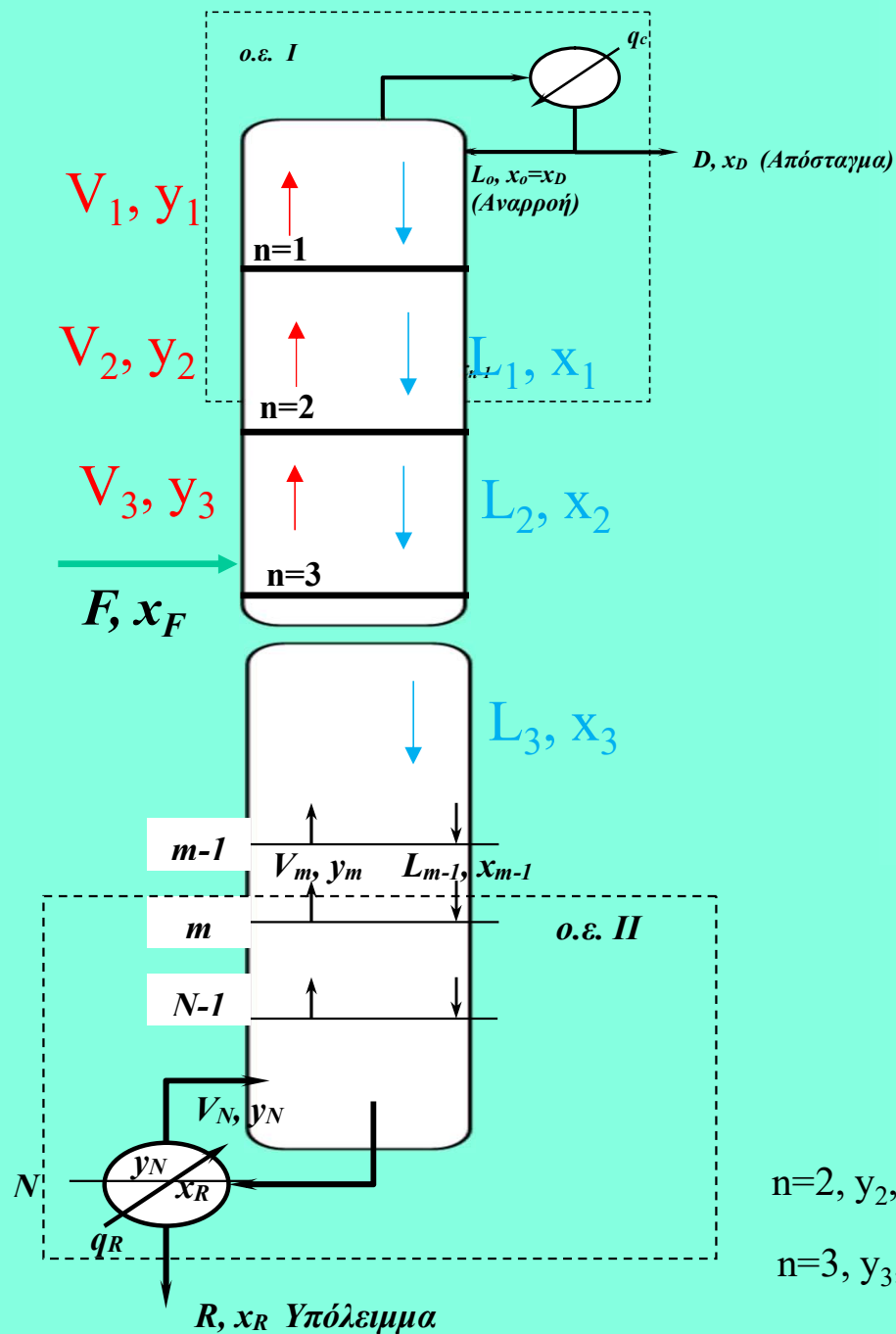
• Γραμμή εξάντλησης:

$$y_m = \frac{\bar{L}}{\bar{L}-R} x_{m-1} - \frac{R}{\bar{L}-R} x_R$$

• Γραμμή τροφοδοσίας ή q-line:

$$y = -\frac{q}{1-q} x + \frac{x_F}{1-q}$$





$$y_A = \frac{a_{AB} x_A}{1 + (a_{AB} - 1) x_A}$$

$$y_n = f(x_n)$$

$$y_1 = f(x_1)$$

$$y_2 = f(x_2)$$

$$y_3 = f(x_3)$$

$$y_n = \frac{R_D}{R_D + 1} x_{n-1} + \frac{x_D}{R_D + 1}$$

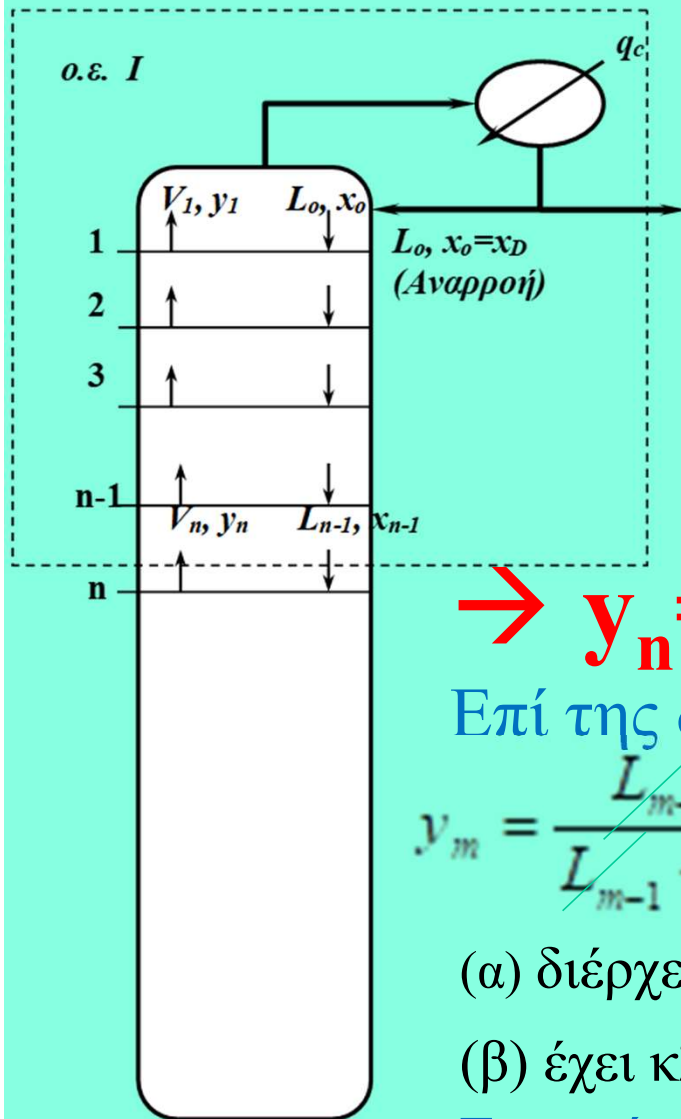
$$n=1, y_1, x_{n-1}=x_0=x_D, y_1=x_D$$

$$n=2, y_2, x_{n-1}=x_1, y_2 = \left[\frac{R_D}{R_D + 1} \right] x_1 + \left[\frac{x_D}{R_D + 1} \right]$$

$$n=3, y_3, x_{n-1}=x_2, y_3 = \left[\frac{R_D}{R_D + 1} \right] x_2 + \left[\frac{x_D}{R_D + 1} \right]$$

Σχεδιασμός Αποστακτικής Στήλης

ΟΡΙΑΚΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ: Α) ΟΛΙΚΗ ΑΝΑΡΡΟΗ



Η ροή του αποστάγματος μηδενίζεται, η αναρροή μεγιστοποιείται

$D \rightarrow 0, L_o \rightarrow V_1, R_D = L_o/D, R_D \rightarrow \infty$

$$y_n = \frac{L_{n-1}}{V_n} x_{n-1} + \frac{D=0}{V_n} x_D \quad y_n = \frac{R_D}{R_D + 1} x_{n-1} + \frac{x_D}{R_D + 1}$$

$$y_n = \frac{L_{n-1}}{L_{n-1} + D=0} x_{n-1} + \frac{D=0}{L_{n-1} + D} x_D$$

$\rightarrow y_n = x_{n-1}$, ευθεία γραμμή εμπλουτισμού:

Επί της διαγωνίου, αποτέμνουσα: $x_D/(R_D + 1) = 0$

$$y_m = \frac{L_{m-1}}{L_{m-1} - R=0} x_{m-1} - \frac{R=0}{L_{m-1} - R} x_R \quad y_m = x_{m-1}, \text{ αποτέμνουσα: } R/(L_{m-1} - R) = 0$$

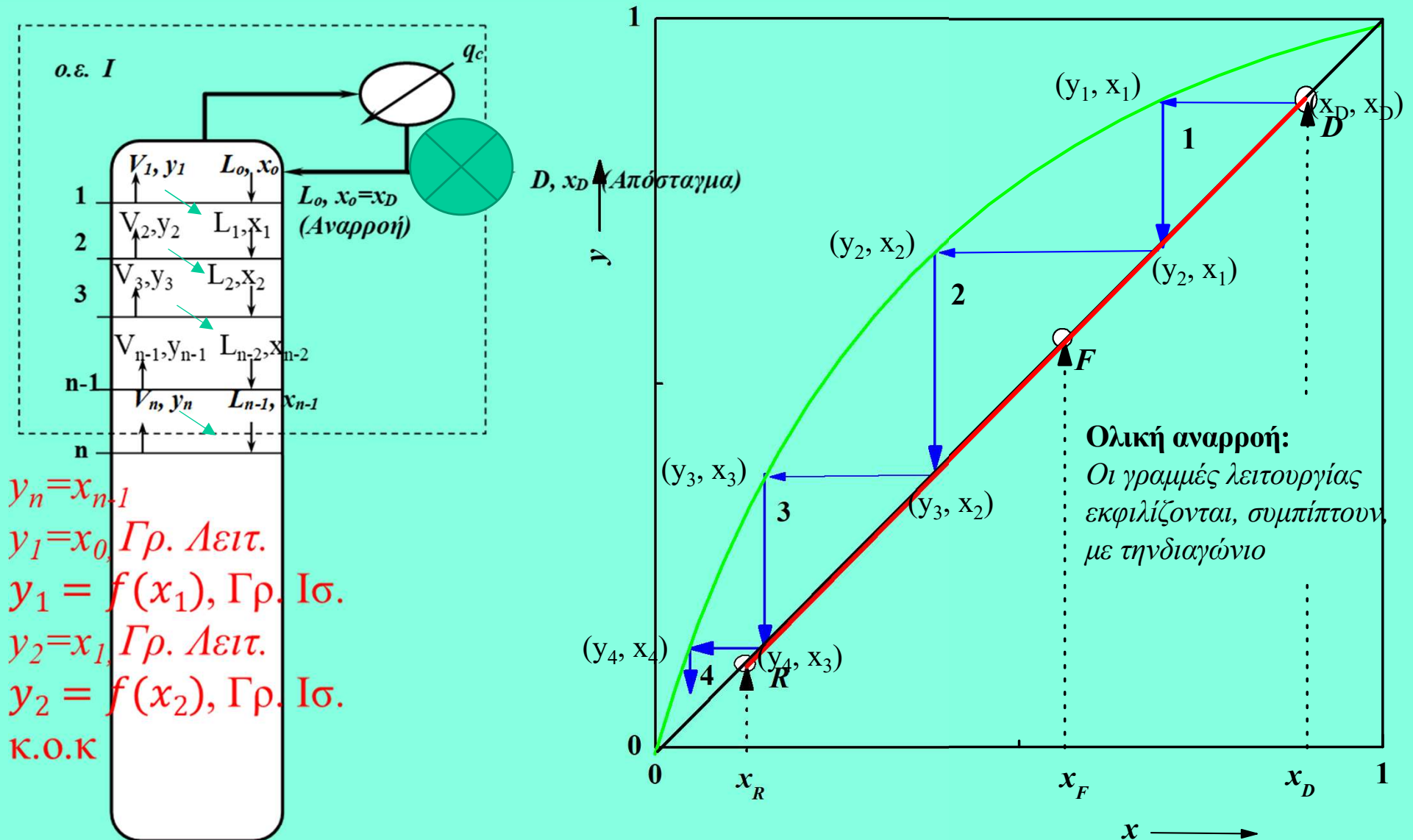
(α) διέρχεται από το σημείο (x_R, x_R) της διαγωνίου

(β) έχει κλίση: $L_{m-1}/(L_{m-1} - R)$, όμως $R=0, y_m = x_{m-1}$,

Γραμμή εξάντλησης επί της διαγωνίου, αποτέμνουσα=0

Σχεδιασμός Αποστακτικής Στήλης

ΟΡΙΑΚΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ: Α) ΟΛΙΚΗ ΑΝΑΡΡΟΗ



Ολική αναρροή και ελάχιστος αριθμός βαθμίδων, N_{min} , $N = (1.5-2) N_{min}$.

Σχεδιασμός Αποστακτικής Στήλης

ΟΡΙΑΚΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ: Α) ΟΛΙΚΗ ΑΝΑΡΡΟΗ

Από τον ορισμό της σχετικής πτητικότητας παίρνουμε:

$$\alpha_{AB} = \frac{y_A / x_A}{y_B / x_B} = \frac{y_A x_B}{y_B x_A} = \frac{y_A (1 - x_A)}{(1 - y_A) x_A} \Rightarrow \frac{y_A}{1 - y_A} = \alpha_{AB} \frac{x_A}{1 - x_A}$$

$$\frac{y_n}{1 - y_n} = \alpha_{AB} \frac{x_n}{1 - x_n}, \quad \frac{x_{n-1}}{1 - x_{n-1}} = \alpha_{AB} \frac{x_n}{1 - x_n} \quad y_n = x_{n-1}, \text{ Εξίσωση λειτουργίας για ολική αναρροή}$$

$$\left. \begin{array}{l} (n=1): \frac{x_D}{1 - x_D} = \alpha_{AB} \frac{x_1}{1 - x_1} \\ (n=2): \frac{x_1}{1 - x_1} = \alpha_{AB} \frac{x_2}{1 - x_2} \\ \vdots \\ (n=n): \frac{x_{n-1}}{1 - x_{n-1}} = \alpha_{AB} \frac{x_n}{1 - x_n} \end{array} \right\} \rightarrow \frac{x_D}{1 - x_D} = (\alpha_{AB})^n \frac{x_n}{1 - x_n} \quad (2.96)$$

$$N \equiv N_{\min} = \frac{\log [x_D (1 - x_R) / x_R (1 - x_D)]}{\log \alpha_{AB}} - 1$$

$$\frac{x_D}{1 - x_D} = (\alpha_{AB})^{N+1} \frac{x_R}{1 - x_R}$$

Εξίσωση Fenske- Underwood

Σχεδιασμός Αποστακτικής Στήλης

ΟΡΙΑΚΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ: Α) ΟΛΙΚΗ ΑΝΑΡΡΟΗ

Ελάχιστος αριθμός βαθμίδων, $N_{\min} \rightarrow$ Θεωρητικός Αριθμός βαθμίδων, N

Εξίσωση Fenske ($N_{\min}$) $N \equiv N_{\min} = \frac{\log[x_D(1-x_R)/x_R(1-x_D)]}{\log a_{AB}} - 1$

Εξισώσεις Underwood ($R_{D, \min}$) $\frac{\alpha x_F}{a-\theta} + \frac{1-x_F}{1-\theta} = 1-q, \rightarrow \text{υπολ. } \theta$

$$R_{D, \min} + 1 = \frac{\alpha x_D}{a-\theta} + \frac{1-x_D}{1-\theta} \rightarrow \text{υπολ. } R_{D, \min}$$

$$\sum \frac{\alpha_i x_{F,i}}{\alpha_i - \varphi} = 1-q, \rightarrow \text{υπολ. } \varphi$$

$$R_{D, \min} + 1 = \sum \frac{\alpha_i x_{D,i}}{\alpha_i - \varphi}, \rightarrow \text{υπολ. } R_{D, \min}$$

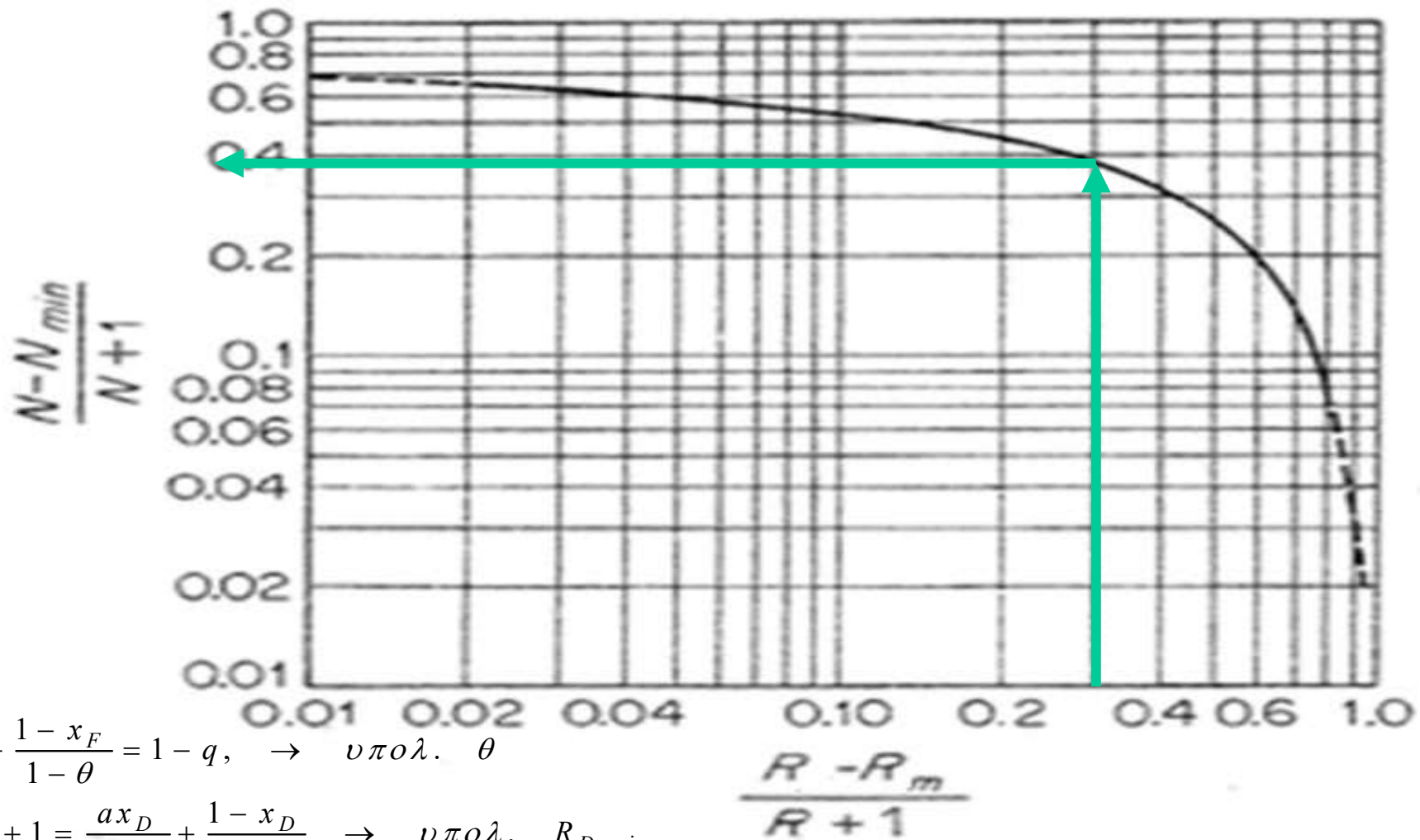
Διαγράμματα Gilliland (N)

$(N-N_{\min})/(N-1)$ vs. $(R_D - R_{D, \min})/(R_D + 1)$

$\alpha_{ij} = 1/2 (\alpha_D + \alpha_R)$, $\alpha_{ij} = (\alpha_D \alpha_R)^{1/2}$, $\alpha_{ij} = (\alpha_D \alpha_F \alpha_R)^{1/3}$, για μεγάλες θερμοκρασιακές διαφορές

3- Shortcut Methods:

b) Gilliland, Fenske , Underwood Method
(Gilliland Chart to use instead of equation)



$$\frac{\alpha x_F}{a - \theta} + \frac{1 - x_F}{1 - \theta} = 1 - q, \quad \rightarrow \quad \nu \pi o \lambda. \quad \theta$$

$$R_{D,min} + 1 = \frac{\alpha x_D}{a - \theta} + \frac{1 - x_D}{1 - \theta} \quad \rightarrow \quad \nu \pi o \lambda. \quad R_{D,min}$$

$$\frac{R - R_{min}}{R + 1}$$

Σχεδιασμός Αποστακτικής Στήλης

Θεωρητικός Αριθμός βαθμίδων, N- Μέθοδος Smoker

$$N_{\text{εμπλ. ή εξάντ.}} = \frac{\log \frac{x'_D [1 - mc(a-1)x'_N / (a - mc^2)]}{x'_N [1 - mc(a-1)x'_D / (a - mc^2)]}}{\log(a / mc^2)}$$

α: συντελεστής σχετικής πτητικότητας

m: η κλίση της εκάστοτε γραμμής λειτουργίας (εμπλουτισμού ή εξάντλησης)

$$x'_D = x_D - \kappa$$

$$x'_N = x_N - \kappa \quad x_{\text{int}} = [(R_D + 1)x_F + (q - 1)x_D] / (R_D + q) = x_N$$

$$c = 1 + (\alpha - 1)\kappa$$

κ: σημείο τομής της γραμμής λειτουργίας με την καμπύλη ισορροπίας, δηλ. η κοινή ρίζα (x) των εξισώσεων:

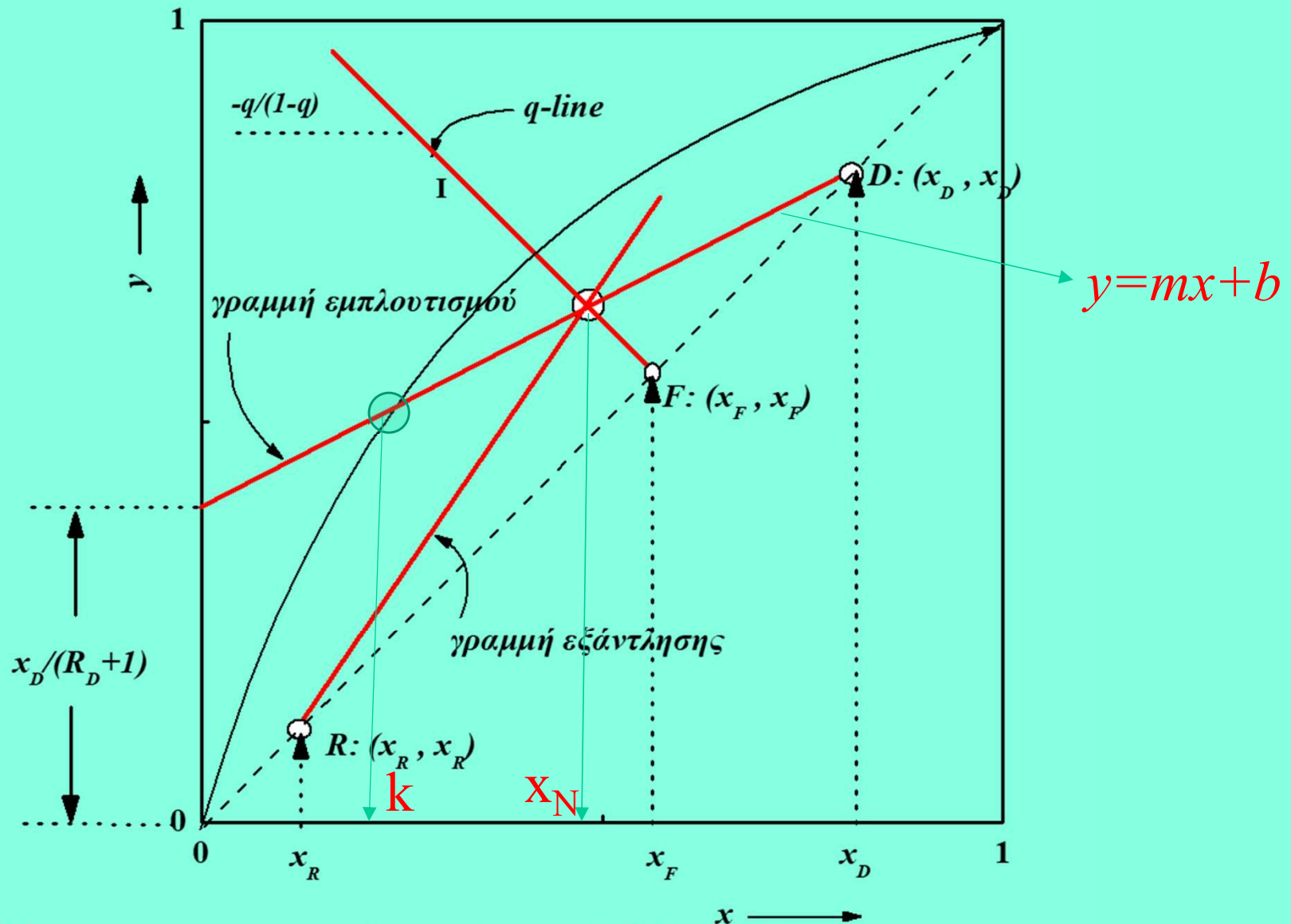
$$y = \alpha x / [1 + (\alpha - 1)x] \text{ (ισορροπίας)}, y = mx + b \text{ (γραμμή λειτουργίας)}$$

$$0 < \kappa < 1, \text{ λύση της εξίσωσης } m(\alpha - 1)\kappa^2 + [m + b(\alpha - 1) - \alpha]\kappa + b = 0$$

x_N : Εάν η εξίσωση Smoker εφαρμόζεται για το τμήμα εμπλουτισμού, τότε x_N είναι η τομή της γραμμής εμπλουτισμού με την q-line.

Σχεδιασμός Αποστακτικής Στήλης

Θεωρητικός Αριθμός βαθμίδων, **N- Μέθοδος Smoker**



Σχεδιασμός Αποστακτικής Στήλης

Θεωρητικός Αριθμός βαθμίδων, N- Μέθοδος Smoker

- Εφαρμόζεται ξεχωριστά για το τμήμα εμπλουτισμού και ξεχωριστά για το τμήμα εξάντλησης Smoker's Equation:

$$N = \frac{\log \frac{x'_o \{1 - [mc(\alpha - 1)x'_n / (\alpha - mc^2)]\}}{x'_n \{1 - [mc(\alpha - 1)x'_o / (\alpha - mc^2)]\}}}{\log(\alpha / mc^2)}$$

Για το τμήμα εξάντλησης

$$X_0 = X_{\text{int}}$$

$$X_n = X_R$$

$$M = \frac{L'}{V'} = \frac{R_D + q + q(R/D)}{R_D + q - (1 - q)(R/D)}$$

$$b = \frac{(x_F - x_D)x_R}{(R_D + 1)x_F + (q - 1)x_D - (R_D + q)x_R}$$

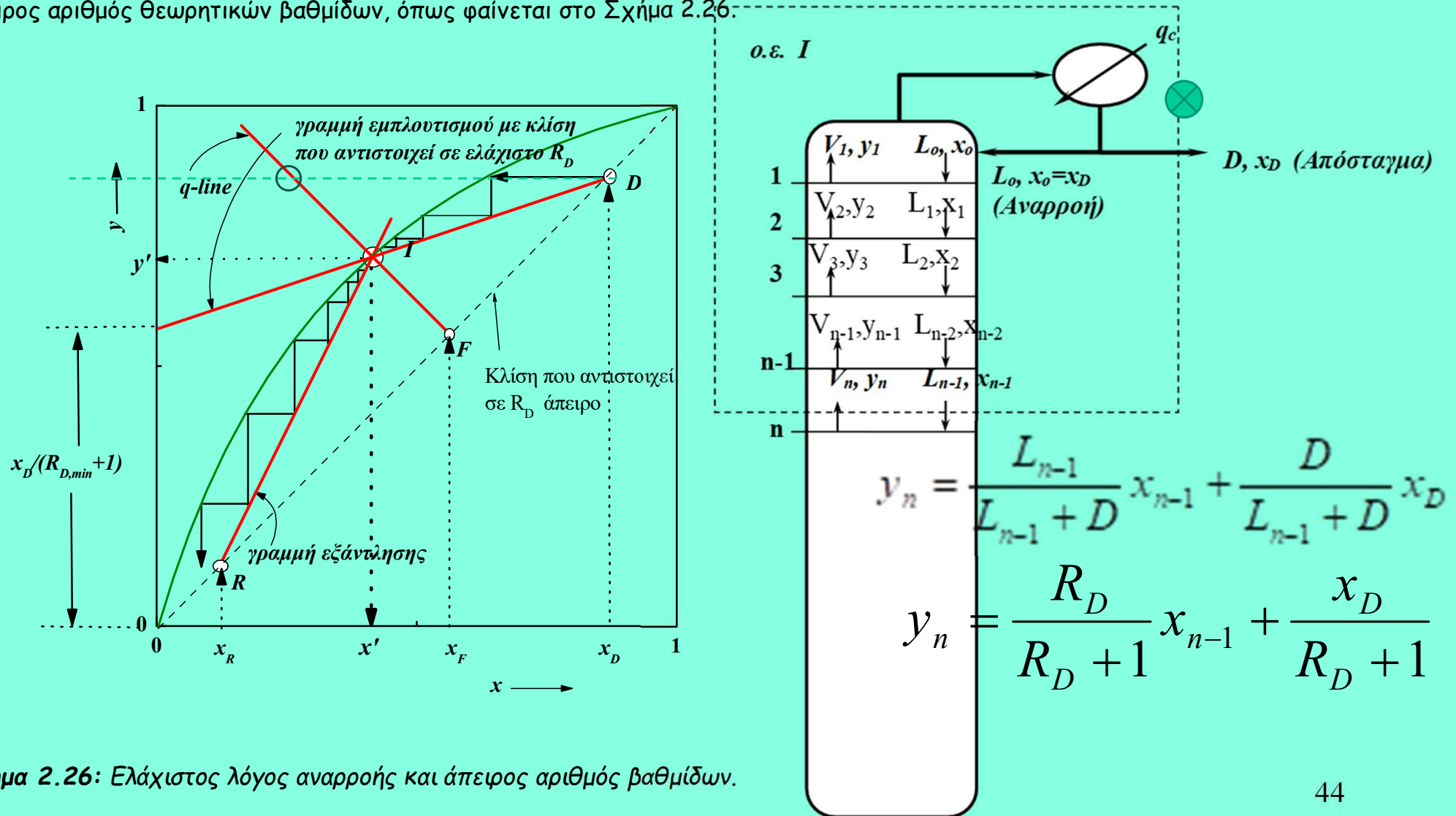
Εάν εφαρμόζεται για το τμήμα εξάντλησης τότε $x_N = x_R$ αλλά το x_D αντιστοιχεί στο προηγούμενως αναφερθέν σημείο τομής.

Σχεδιασμός Αποστακτικής Στήλης

ΟΡΙΑΚΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ: Β) ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΑΝΑΡΡΟΗ, $R_{D,\min}$

➤ Ελάχιστος Λόγος Αναρροής - Άπειρος Αριθμός Βαθμίδων:

Ελαττωμένου του λόγου αναρροής R_D , ελαττώνεται η κλίση $R_D/(1+R_D)$ της γραμμής εμπλουτισμού. Για δοθέντα διαχωρισμό, ο ελάχιστος λόγος αναρροής, αντιστοιχεί στην περίπτωση που η γραμμή εμπλουτισμού και τροφοδοσίας τέμνονται επί της καμπύλης ισορροπίας*. Στην περίπτωση ελάχιστου λόγου αναρροής απαιτείται άπειρος αριθμός θεωρητικών βαθμίδων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.26.

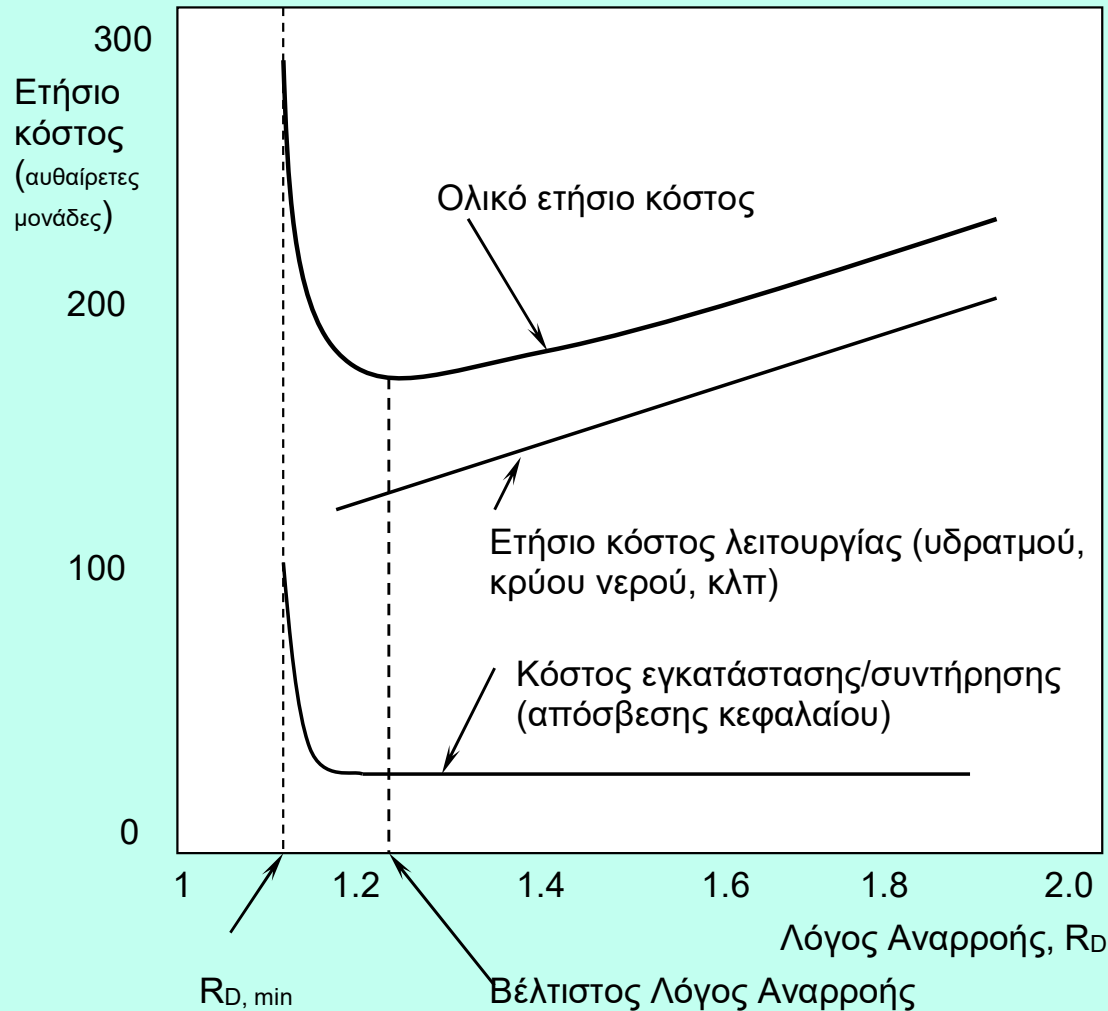


Σχήμα 2.26: Ελάχιστος λόγος αναρροής και άπειρος αριθμός βαθμίδων.

Σχεδιασμός Αποστακτικής Στήλης

Βέλτιστος λόγος αναρροής, $R_D = (1.1-1.5) R_{D,MIN}$

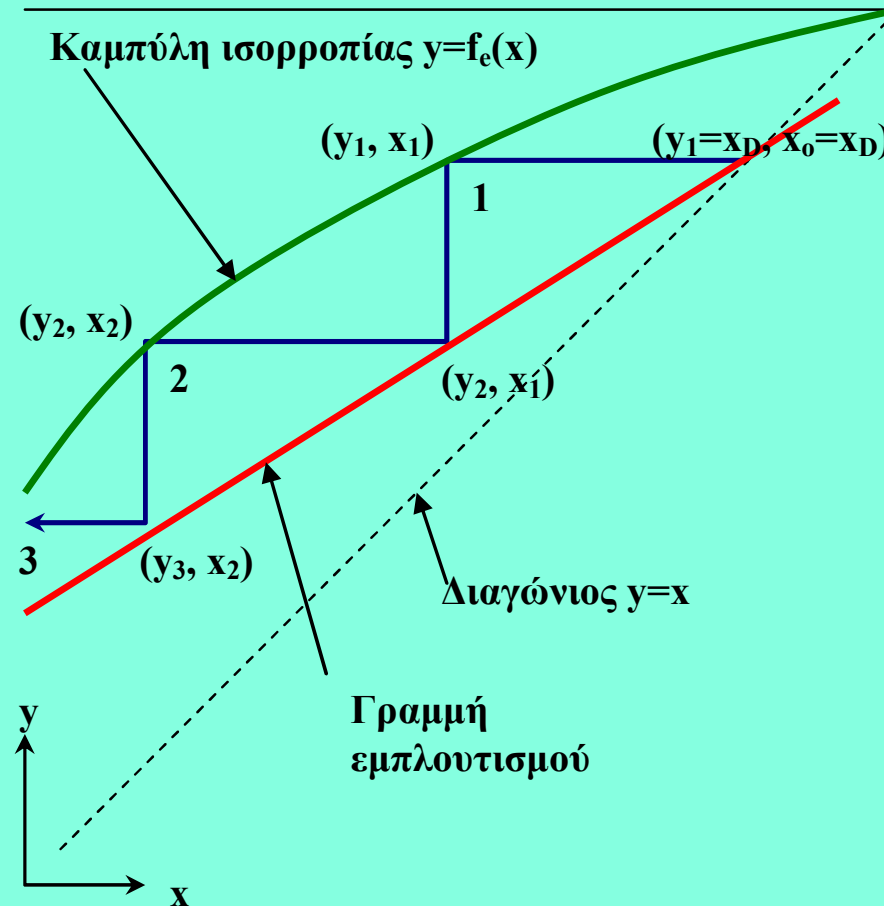
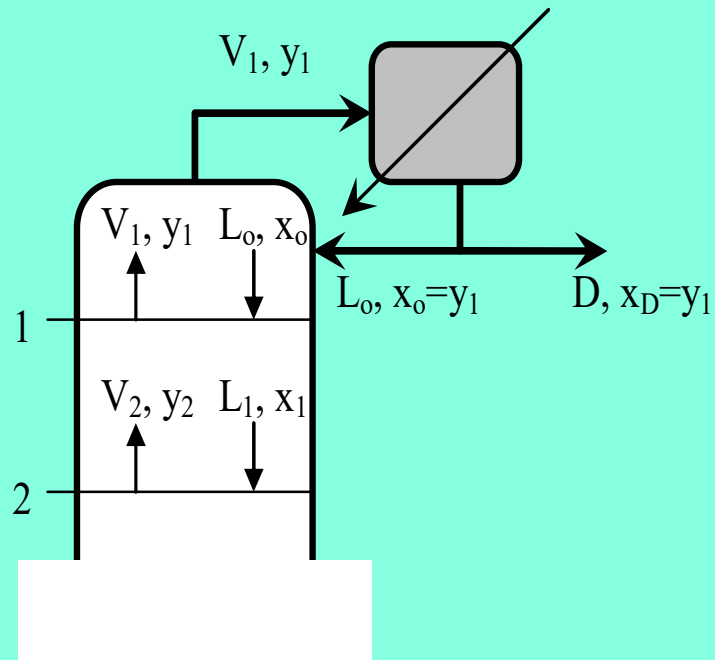
Θεωρητικός αριθμός βαθμίδων $N = (1.5 \text{ μέχρι } 2) N_{min}$



Σχήμα 2.27: Βέλτιστος λόγος αναρροής για μια τυπική αποστακτική στήλη.

Σχεδιασμός Αποστακτικής Στήλης

Ολικός Συμπυκνωτής



Σχεδιασμός Αποστακτικής Στήλης

Μερικός Συμπυκνωτής

