

Κλασματική Απόσταση

Φροντιστήριο 5

Παράδειγμα 1

Μίγμα συστατικών A (33% mol) και B (67% mol) αποστάζεται σε κλασματική στήλη σε ατμοσφαιρική πίεση. Η τροφοδοσία είναι 3120 kg/h, η οποία εξατμίζεται κατά 45% πριν εισέλθει στην στήλη, το 45% δηλαδή εισέρχεται ως κορεσμένος ατμός. Το απόσταγμα της κορυφής περιέχει 96% mol A και το υπόλειμμα στην βάση 97% mol B. Χρησιμοποιείται ολικός συμπυκνωτής και μερικός αναβραστήρας. Δίνονται για το A:

x_A	0	0.029	0.06	0.11	0.14	0.26	0.39	0.53	0.66	0.76	0.86	1
y_A	0	0.08	0.15	0.27	0.33	0.49	0.63	0.74	0.82	0.88	0.93	1

$M_{B_A}=82$ g/mol, $M_{B_B}=158$ g/mol

Ζητούνται τα ακόλουθα:

A) Οι γραμμομοριακές παροχές στην κορυφή και στην βάση της στήλης (D και R) καθώς και τα F_A , F_B , D_A , D_B , R_A , R_B .

Από εκφώνηση: $x_{FA} = 0.33$ και $x_{FB} = 0.67$

Μετατρέπουμε την μαζική παροχή σε γραμμομοριακή:

$$MB_F = 0.33 * 82 + 0.67 * 158 = 132.92 \text{ k g/k mol}$$

$$F = 234.72 \text{ kmol/h}, F_A = x_{FA}F = 77.46 \text{ kmol/h} \text{ και}$$

$$F_B = 157.27 \text{ kmol/h}$$

$$D = F \frac{x_F - x_R}{x_D - x_R} = 75.72 \text{ kmol/h}$$

$$R = F \frac{x_D - x_F}{x_D - x_R} = 159.01 \text{ kmol/h}$$

$$D_A = x_D D = 72.69 \text{ kmol/h}, D_B = 3.028 \text{ kmol/h}$$

$$R_A = x_R R = 4.77 \text{ kmol/h}, R_B = 154.24 \text{ kmol/h}$$

B) Ο ελάχιστος λόγος αναρροής.

- Για την γραμμή τροφοδοσίας: $q=0.55$ (55% ως κορεσμένο υγρό).

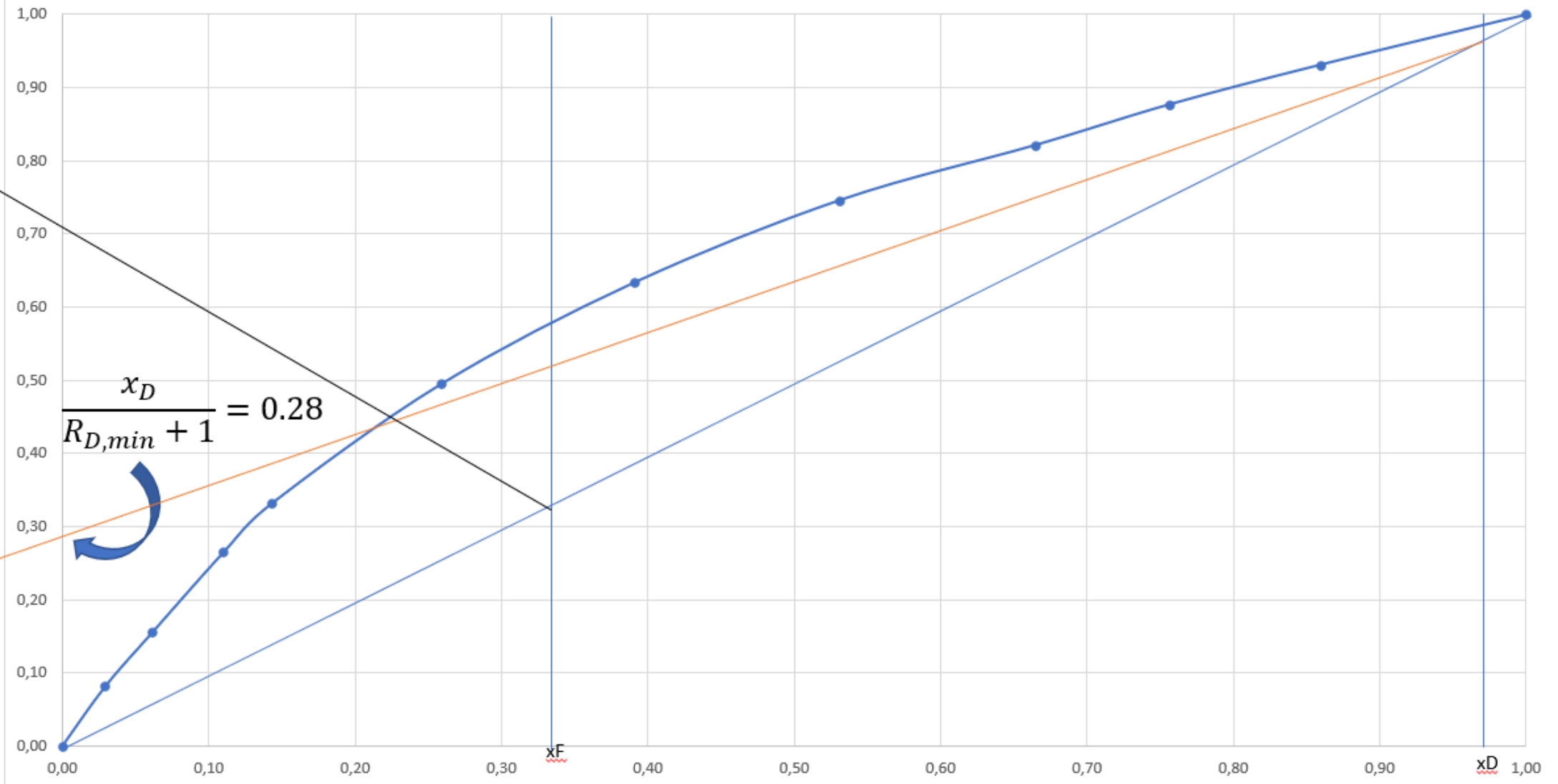
Η γραμμή τροφοδοσίας έχει κλίση : $-\frac{q}{1-q} = -\frac{0.55}{0.45} = -1.222$ και διέρχεται από το $(x_F, x_F)=(0.33, 0.33)$.

- Φέρνω την γραμμή εμπλουτισμού από το $(x_D, x_D)=(0.96, 0.96)$ και περνάει από το σημείο τομής της καμπύλης ισορροπίας με την γραμμή τροφοδοσίας.

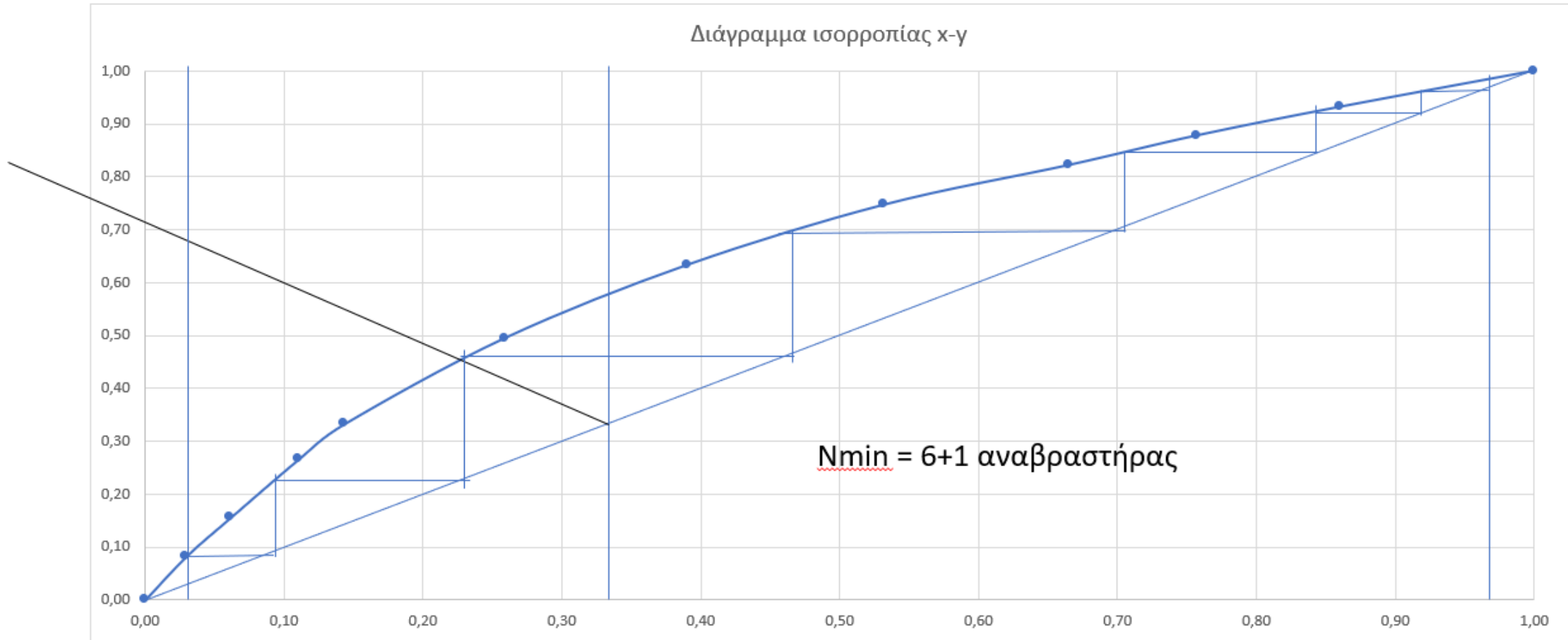
- Η τεταγμένη βρίσκεται 0.28:

$$\frac{x_D}{R_{D,min}+1} = 0.28 \longrightarrow R_{D,min} = \frac{x_D}{0.28} - 1 = 2.428$$

Διάγραμμα ισορροπίας x-y



Γ) Ο ελάχιστος αριθμός βαθμίδων σε ολική αναρροή γραφικά. Αφού βρείτε το N_{min} υπολογίστε το συντελεστή σχετικής πτητικότητας από την εξίσωση Fenske.



Από εξίσωση Fenske: $N_{min} = \frac{\log\left(\frac{x_D(1-x_R)}{x_R(1-x_D)}\right)}{\log(a_{AB})} - 1$ με a_{AB} μεταξύ των α_D και α_R .

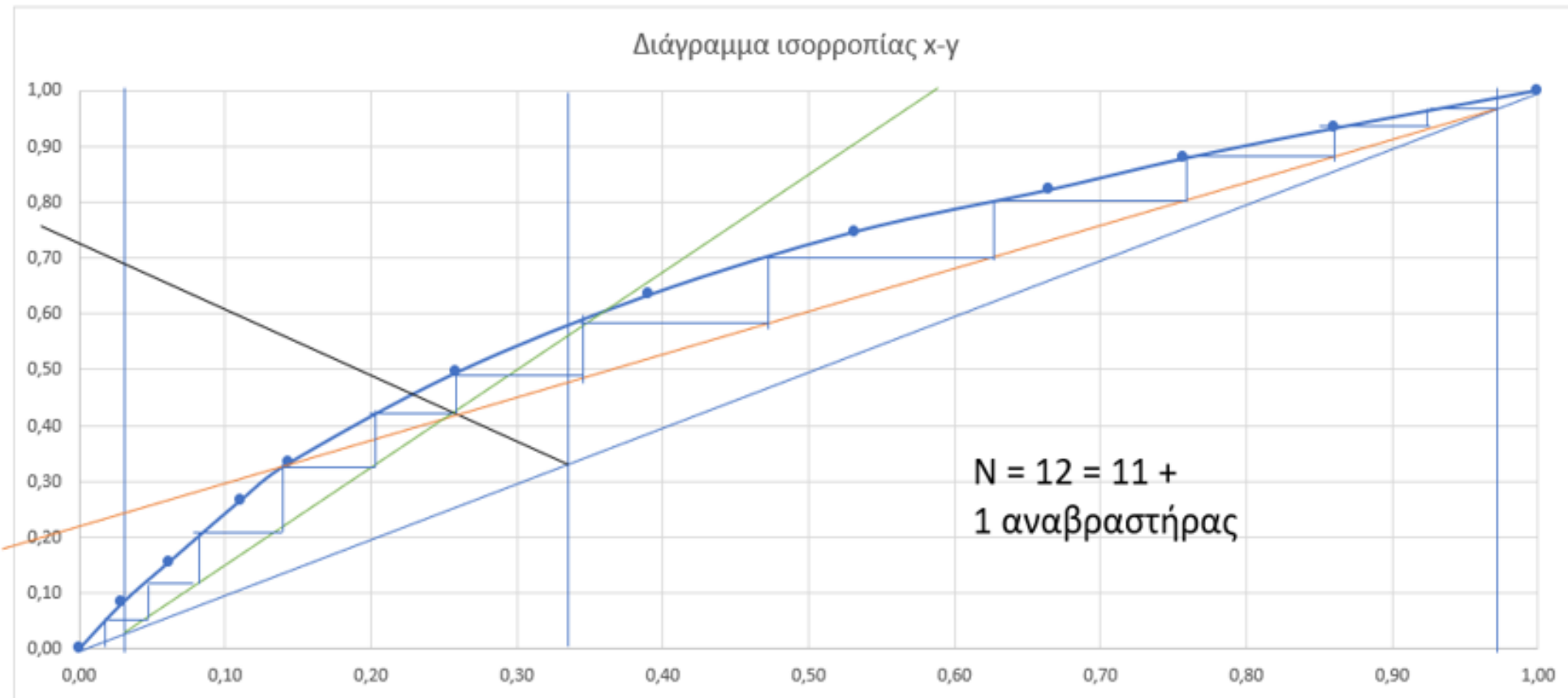
Λύνοντας:

$$\log(a_{AB}) = \frac{\log\left[\frac{0.96(1-0.03)}{0.03(1-0.96)}\right]}{7} = 0.4127$$

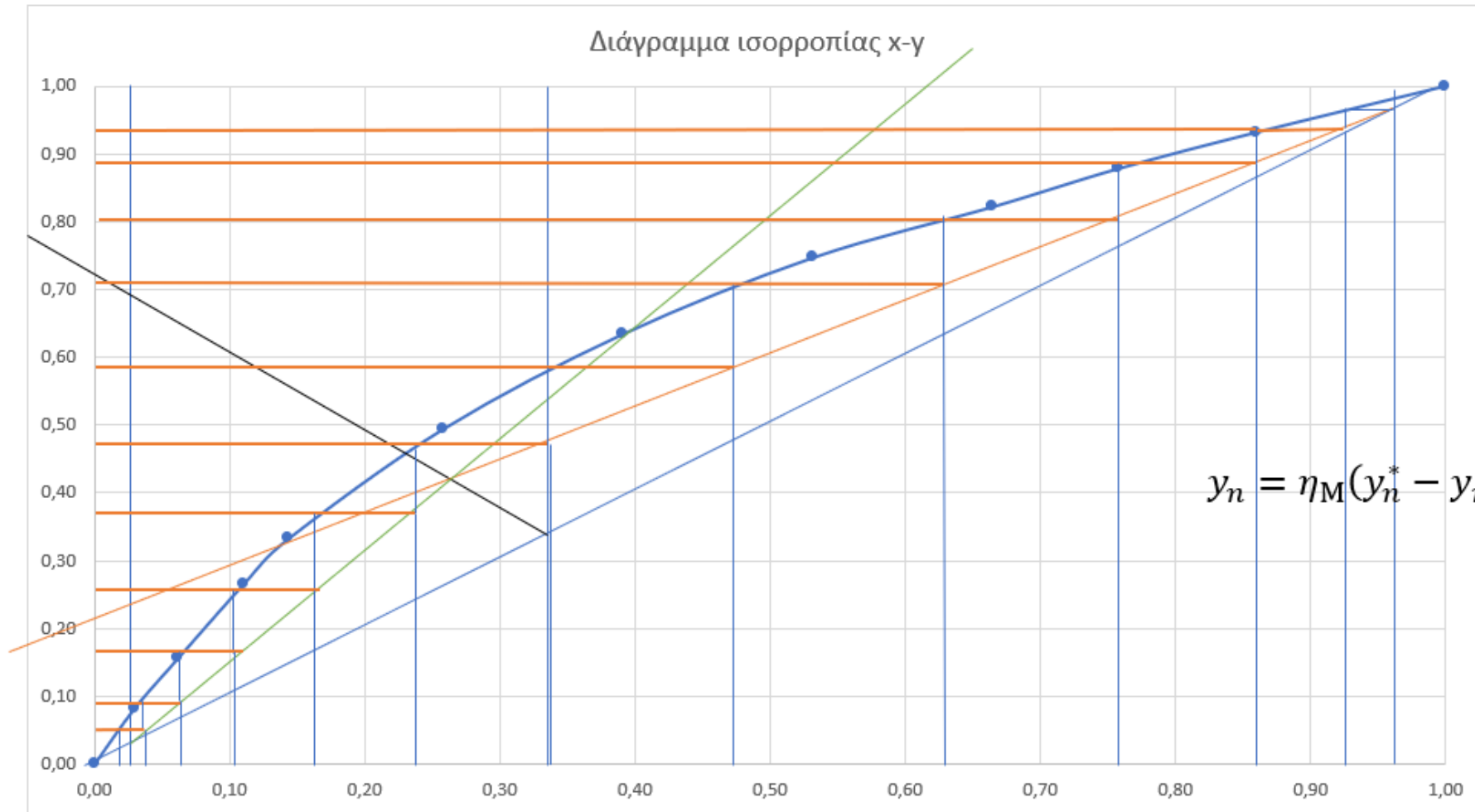
$$a_{AB} = 10^{0.4127} = 2.586$$

Δ) Ο συνολικός αριθμός των θεωρητικών βαθμίδων, ο αριθμός των βαθμίδων στο τμήμα εμπλουτισμού και στο τμήμα εξάντλησης και η προβλεπόμενη βαθμίδα τροφοδοσίας για πραγματικό λόγο αναρροής 50% μεγαλύτερο του ελάχιστου.

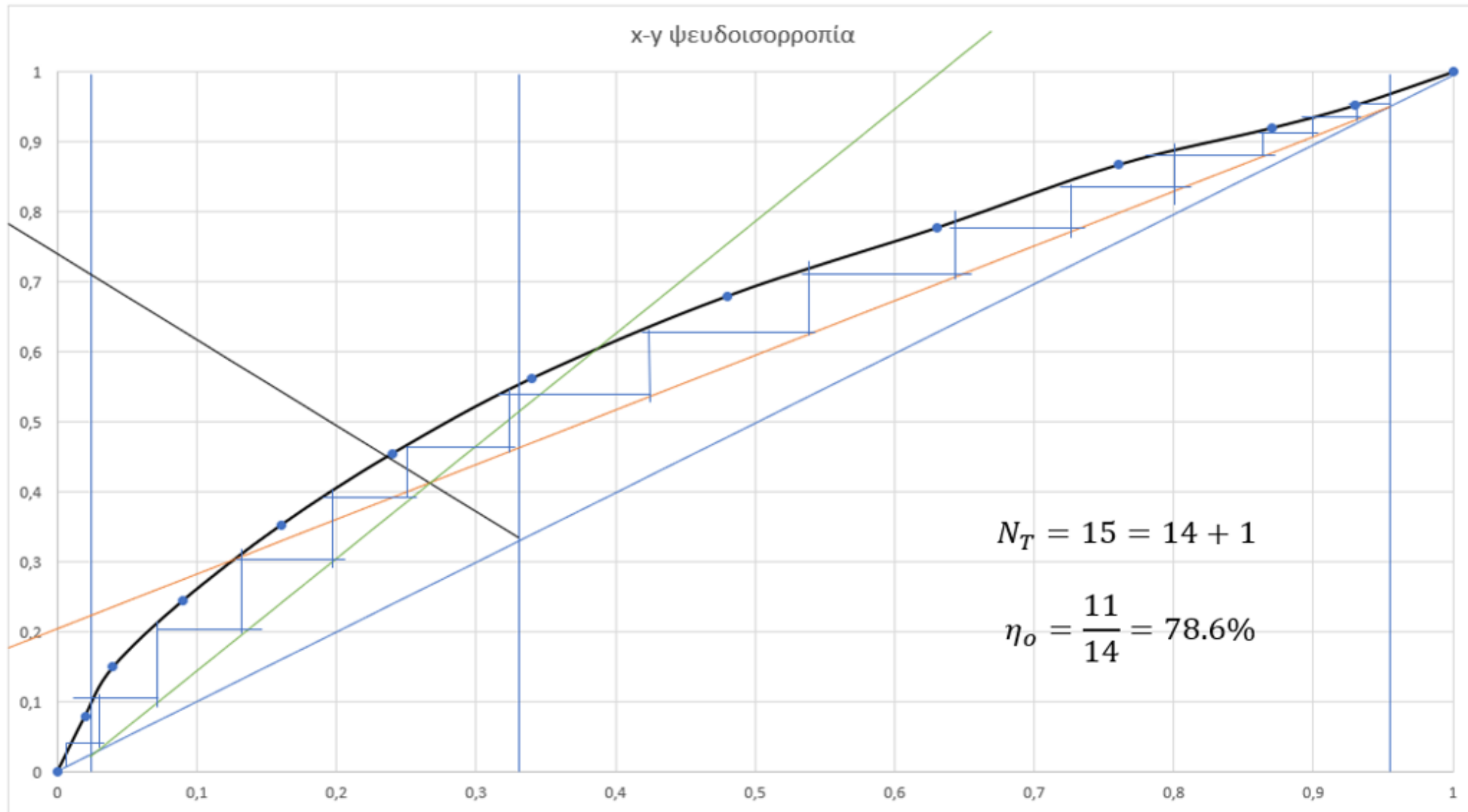
$$R_D = 1.5R_{D,min} = 3.642 \rightarrow \frac{x_D}{R_D+1} = 0.2068$$



Ε) Αν ο βαθμός απόδοσης Murphree είναι 75% υπολογίστε τον πραγματικό αριθμό βαθμίδων και τον συνολικό βαθμό απόδοσης της στήλης.



χ-γ ψευδοισοροπία



y_{th}	y_n	y_{n+1}	x_n
	1		1
0,96	0,9525	0,93	0,93
0,93	0,92	0,89	0,87
0,89	0,8675	0,8	0,76
0,8	0,7775	0,71	0,63
0,71	0,68	0,59	0,48
0,59	0,5625	0,48	0,34
0,48	0,455	0,38	0,24
0,38	0,3525	0,27	0,16
0,27	0,245	0,17	0,09
0,17	0,15	0,09	0,04
0,09	0,08	0,05	0,02
	0		0

ΣΤ) Αν το θερμαντικό μέσο είναι ατμός πίεσεως 1.36 atm ποια είναι η απαιτούμενη μαζική παροχή ατμού στον αναβραστήρα;

$$m_s = \frac{\lambda_{\alpha\nu\alpha\beta}\bar{V}}{\lambda_s} \quad (1)$$

$$\lambda_{\alpha\nu\alpha\beta} = \lambda_A x_R + \lambda_B(1 - x_R) = (7300 * 0.03 + 7900 * 0.97) = 7882 \frac{kcal}{kmol}$$

Για να υπολογίσουμε το \bar{V} στο τμήμα εξάντλησης χρειαζόμαστε τον ορισμό του q της τροφοδοσίας:

$$q = \frac{\bar{L}-L}{F} \rightarrow (1 - q) = \frac{V-\bar{V}}{F} \rightarrow V - \bar{V} = (1 - q)F \rightarrow \bar{V} = V - (1 - q)F \quad (2)$$

Για το V στο τμήμα εμπλουτισμού:

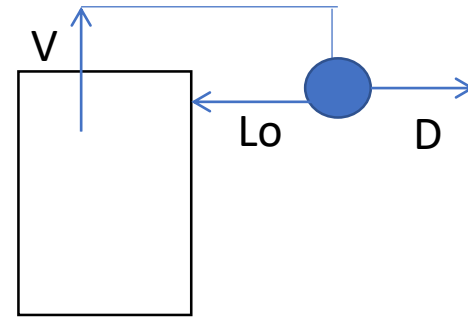
$$V = L_o + D \quad (3)$$

$$R_D = L_o/D \quad (4)$$

Από τις (3) και (4):

$$V = R_D D + D = 351.658 \text{ kmol/h} \text{ και από την (2): } \bar{V} = 246.03 \frac{kmol}{h}$$

$$\text{Από την (1): } m_s = \frac{\lambda_{\alpha\nu\alpha\beta}\bar{V}}{\lambda_s} = 3714.95 \frac{kg}{h}$$



Z) Αν το ψυκτικό υγρό εισέρχεται στον συμπυκνωτή με θερμοκρασία 24.3 °C και εξέρχεται με θερμοκρασία 67.5 °C ποια είναι η απαιτούμενη μαζική παροχή του νερού ($C_{pv} = 1 \frac{kcal}{kg-^{\circ}C}$)

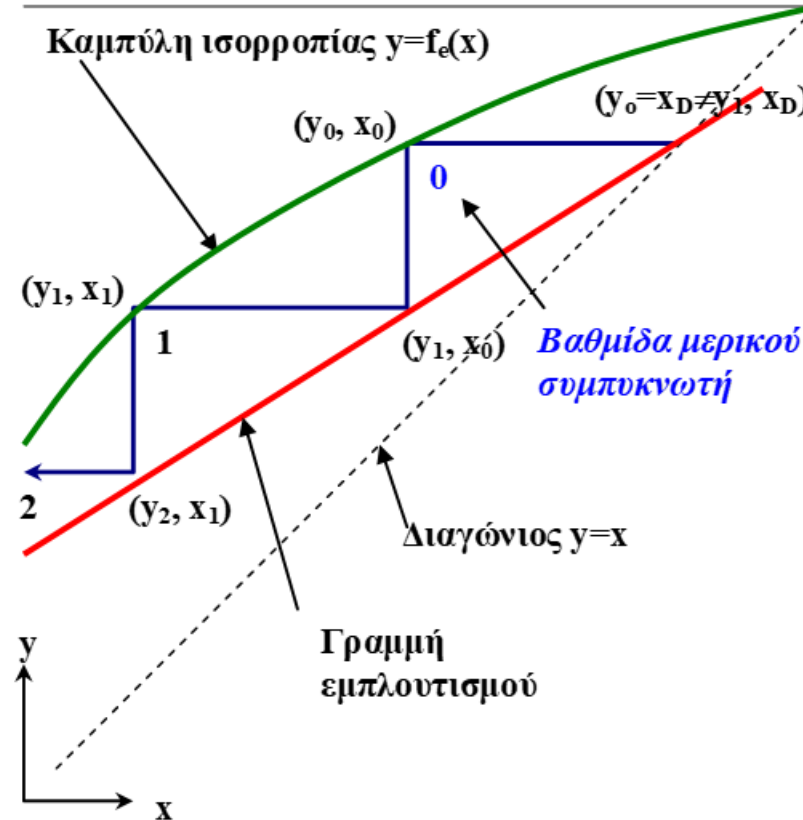
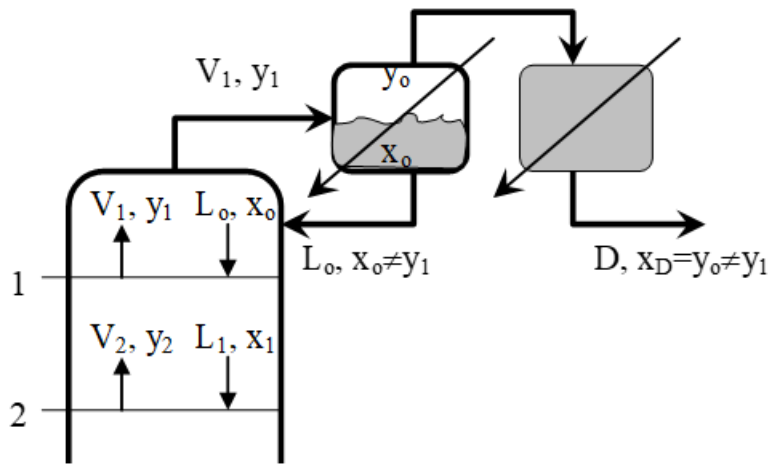
$$m_c = \frac{\lambda_{συμπ} V}{C_{pv}(T_2 - T_1)}$$

$$V = 351.658 \text{ kmol/h}$$

$$\lambda_{συμπ} = x_D \lambda_A + (1 - x_D) \lambda_B = 7324 \frac{kcal}{kmol}$$

$$\text{Έτσι } m_c = \frac{\lambda_{συμπ} V}{C_{pv}(T_2 - T_1)} = 59619 \text{ kg/h.}$$

H) Αν χρησιμοποιούσαμε μερικό συμπυκνωτή τι θα άλλαζε στον σχεδιασμό σας.



Παράδειγμα 2

Μια αποστακτική στήλη με 8 θεωρητικές βαθμίδες, ένα μερικό αναβραστήρα και έναν ολικό συμπυκνωτή, χρησιμοποιείται για τον διαχωρισμό βενζολίου- τολουολίου με 36% σε βενζόλιο σε πίεση 101 kPa. Η τροφοδοσία εισέρχεται ως κορεσμένο υγρό και ο αναβραστήρας παράγει $V = 100$ kmol/h ατμούς. Η σύσταση στο απόσταγμα είναι 84% ενώ η σύσταση του πυθμένα 15% σε βενζόλιο. Αν ο λόγος αναρροής είναι κατά 20% μεγαλύτερος του ελάχιστου, τότε:

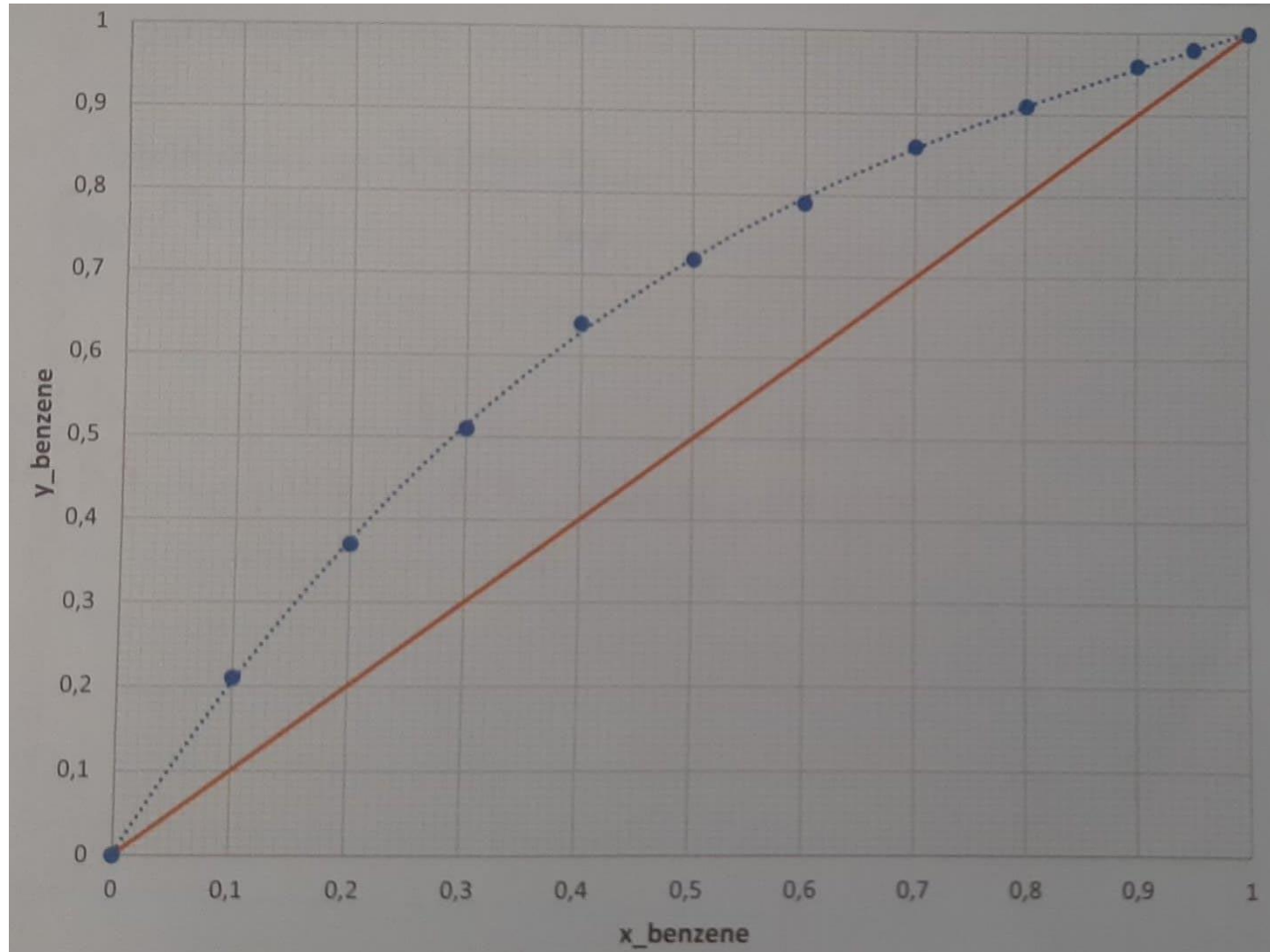
A) Σχεδιάστε τις θεωρητικές βαθμίδες με την μέθοδο McCabe Thiele αφού πρώτα υπολογίσετε τον ελάχιστο λόγο αναρροής $R_{d,min}$. Δώστε αναλυτικά τις γραμμές λειτουργίας. Κόβει η τροφοδοσία την στήλη στο μέσο της;

B) Υπολογίστε F , D , R και τα L , \bar{L} , V και \bar{V} σε kmol/h.

Γ) Αν το θερμαντικό μέσο είναι ατμός πίεσεως 1.36 atm ποια είναι η απαιτούμενη μαζική παροχή ατμού αμελώντας απώλειες θερμότητας και υποθέτοντας ότι η αναρροή είναι κορεσμένο υγρό ($\lambda_s = 522$ kcal/kg σε $P = 1.36$ atm)

Δ) Αν το ψυκτικό υγρό (νερό) εισέρχεται στον συμπυκνωτή με θερμοκρασία 25 °C και εξέρχεται σε θερμοκρασία 65 °C, ποια είναι η απαιτούμενη μαζική παροχή του νερού ($C_{pv} = 1 \frac{kcal}{kg - ^\circ C}$).

Δίνεται το διάγραμμα ισορροπίας



$$x_F = 0.36$$

$$x_D = 0.84$$

$$x_R = 0.15$$

$$q = 1 \text{ (κορ. υγρό)}$$

$$R_D = 1.2 R_{D,\min}$$

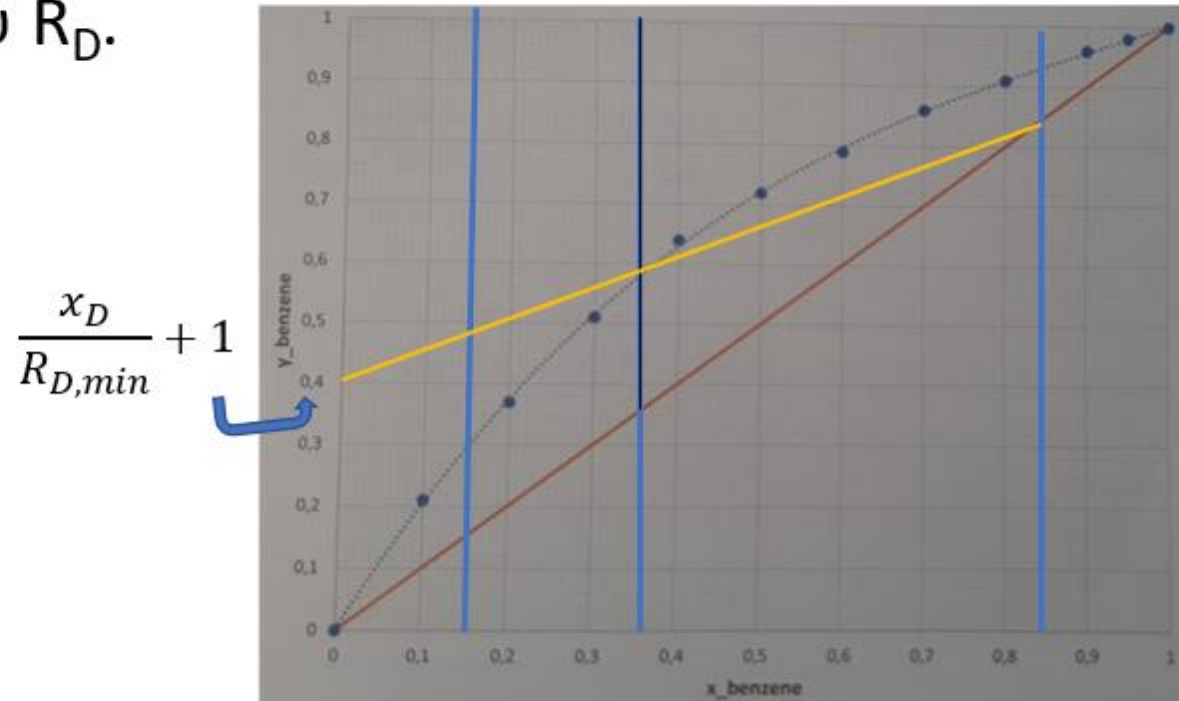
$$\bar{V} = 100 \text{ kmol/h}$$

$$\lambda_A = 7360 \text{ cal/mol}$$

$$\lambda_B = 7960 \text{ cal/mol}$$

A), B)

1. Γραμμή τροφοδοσίας: $y = -\frac{q}{1-q}x + \frac{x_F}{1-q}$, με $q=1$ προκύπτει κατακόρυφη γραμμή και περνάει από το $(x_F, x_F) = (0.36, 0.36)$.
2. Γραμμή εμπλουτισμού: $y = \frac{L}{V}x + \frac{D}{V}x_D$ ή $y = \left(\frac{R_D}{R_D+1}\right)x + \frac{1}{(R_D+1)}x_D$
3. Δεν γνωρίζουμε L , V και R_D . Πρέπει να προσδιορίσουμε το $R_{D,min}$ για τον υπολογισμό του R_D .



4. $\frac{x_D}{R_{D,min}} + 1 = 0.4$ και $R_{D,min} = 1.1$.

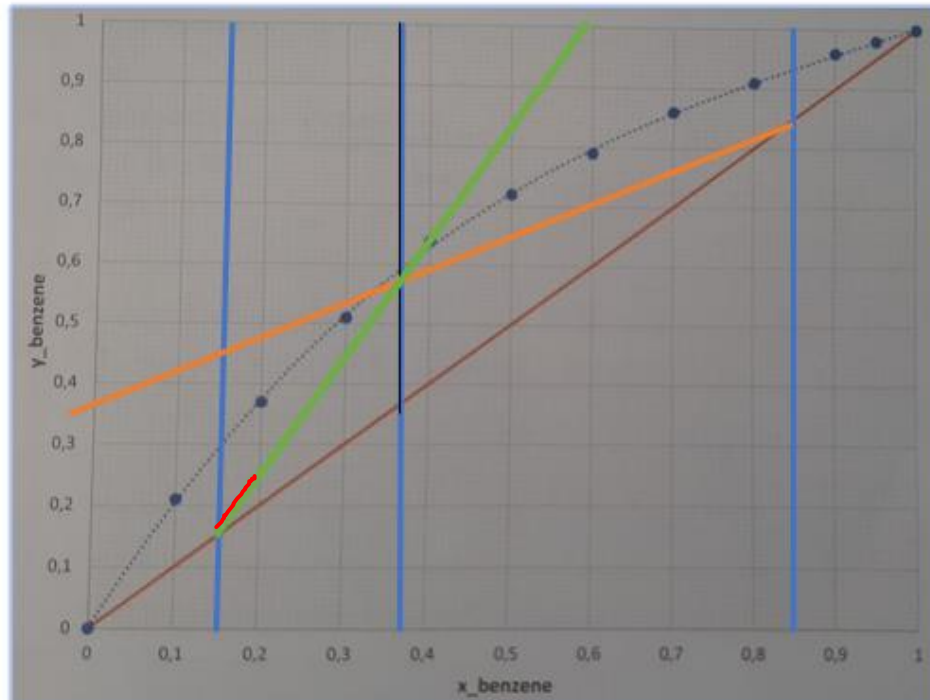
5. $R_D = 1.2 * 1.1 = 1.32$.

6. Γυρίζοντας στην γραμμή εμπλουτισμού: $y = \left(\frac{R_D}{R_D+1}\right)x + \frac{1}{(R_D+1)}x_D \rightarrow$

$\rightarrow y = 0.569x + 0.362$ και $L/V = 0.569$, αν $V = 100$ kmol/h, $L = 57$ kmol/h από την κλίση.

7. Γραμμή εξάντλησης: $y = \frac{\bar{L}}{\bar{V}}x - \frac{R}{\bar{V}}x_R$. Δεν γνωρίζουμε το \bar{L} , αλλά $\bar{V} = 100$ kmol/h.

8. Αφού η τροφοδοσία είναι κορεσμένο υγρό $V = \bar{V}$ και $\bar{L} = L + F$. Δεν γνωρίζουμε το F , αλλά $L = 57$ kmol/h.



9. Η κλίση της γραμμής εξάντλησης από το διάγραμμα είναι:

$$\frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{0.57 - 0.15}{0.36 - 0.15} = 2 \quad \text{και η εξίσωσή της είναι: } y = 2x - \frac{0.15R}{100}.$$

Επίσης $\bar{L} = 2 \bar{V} = 200 \text{ kmol/h}$

10. Για τον υπολογισμό του R πρέπει να λυθούν τα ισοζύγια μάζας:

$$F = D + R$$

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

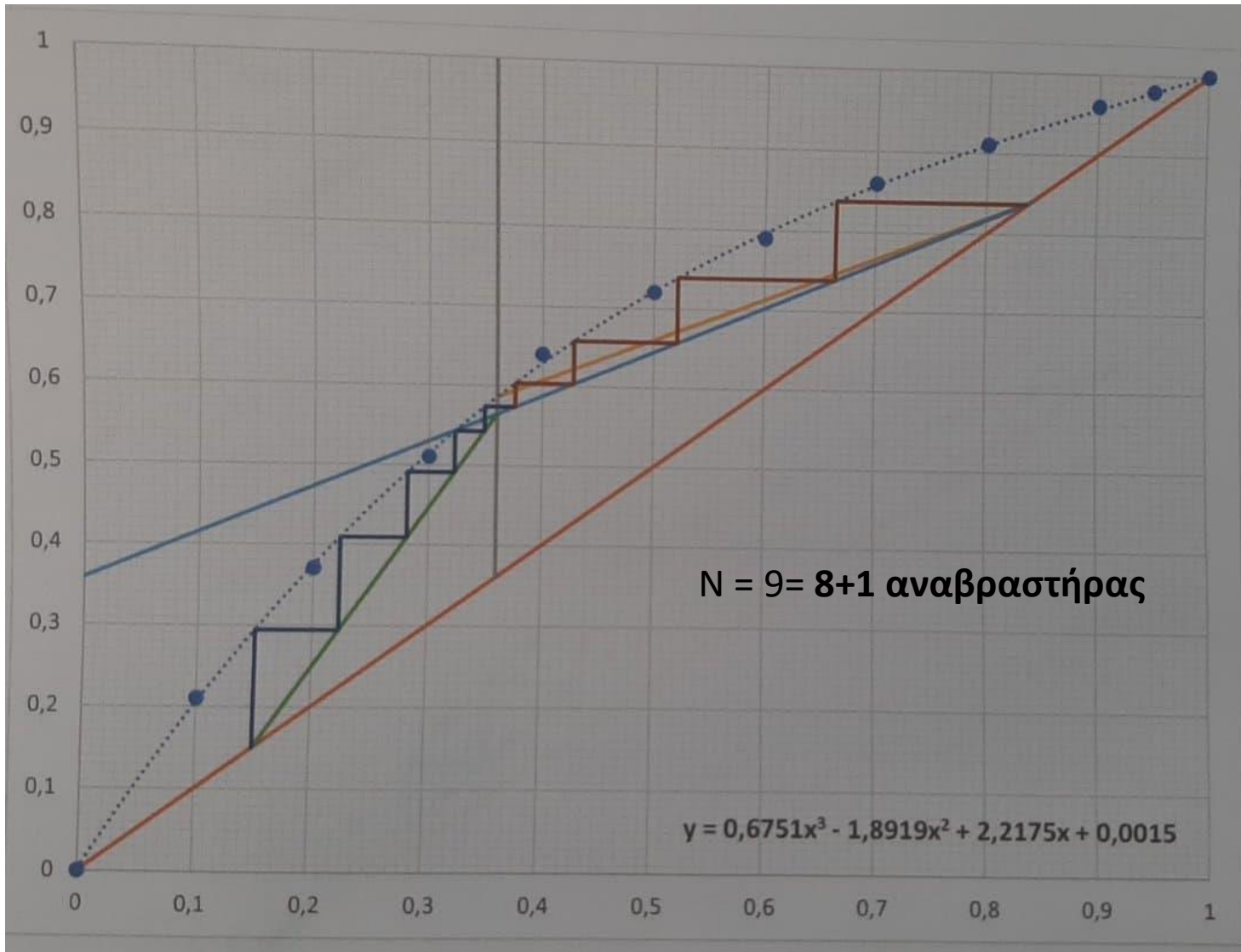
$$R_D = \frac{L_o}{D} = 1.32 \rightarrow D = \frac{57}{1.32} = 43.2 \frac{\text{kmol}}{\text{h}}$$

$$\text{Από το } q, \quad q = \frac{\bar{L} - L}{F} \rightarrow F = 143 \frac{\text{kmol}}{\text{h}},$$

$$\text{και } R = F - D = 99.8 \frac{\text{kmol}}{\text{h}}$$

11. Η γραμμή εξάντλησης είναι: $y = 2x - 0.15$.

12.



Γ) Αναβραστήρας

$$q_r = \lambda_{\alpha\nu\alpha\beta} \bar{V} = 787000 \text{ kcal/h}$$

$$\lambda_{\alpha\nu\alpha\beta} = x_R \lambda_A + (1 - x_R) \lambda_B = 7870 \text{ kcal/kmol}$$

$$m_s = \lambda_{\alpha\nu\alpha\beta} \bar{V} / \lambda_s = 1507.66 \text{ kg/h}$$

Συμπυκνωτής

$$q_c = -\lambda_c V = -745600 \text{ kcal/h}$$

$$\lambda_c = x_D \lambda_A + (1 - x_D) \lambda_B = 7456 \text{ kcal/kmol}$$

$$m_c = \frac{\lambda_c V}{c_{p,v}(T_2 - T_1)} = 18640 \text{ kg/h}$$

Παράδειγμα 3

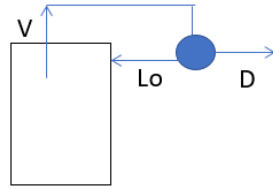
1000 kmol/h n-εξανίου 30 mol% και n-οκτανίου 70% αποστάζονται σε στήλη που αποτελείται από έναν μερικό αναβραστήρα, μια βαθμίδα ισορροπίας και από έναν μερικό συμπυκνωτή, τα οποία λειτουργούν όλα σε πίεση 1 atm. Δίνεται το διάγραμμα ισορροπίας. Η τροφοδοσία είναι υγρό στο σημείο φυσαλίδας και εισάγεται στον αναβραστήρα, από τον οποίο απομακρύνεται υγρό προϊόν στον πυθμένα. Αναρροή επίσης στο σημείο φυσαλίδας επιστρέφει στο δίσκο. Το απόσταγμα περιέχει εξάνιο 80% και ο λόγος αναρροής $L/D = 2$.

Να υπολογίσετε την σύσταση των προϊόντων πυθμένα και την παροχή του αποστάγματος.

Να σχεδιαστεί το διάγραμμα McCabe Thiele του παραπάνω συστήματος.

1. Η γραμμή εμπλουτισμού θα ξεκινά από το x_D και θα έχει κλίση L/V ,

$$\frac{L}{V} = 1 - \frac{1}{\left[1 + \frac{L}{D}\right]} = 2/3 .$$



2. Επειδή η τροφοδοσία εισέρχεται στον αναβραστήρα, δεν υπάρχει τμήμα εξάντλησης.

3. Σημειώνονται 3 βαθμίδες και διαβάζουμε σύσταση στον πυθμένα $x_R = 0.135$.

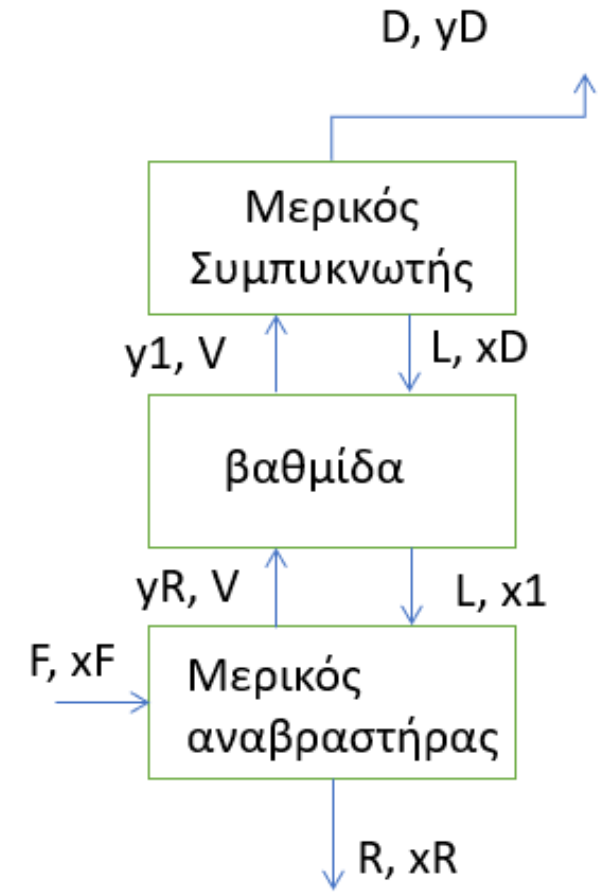
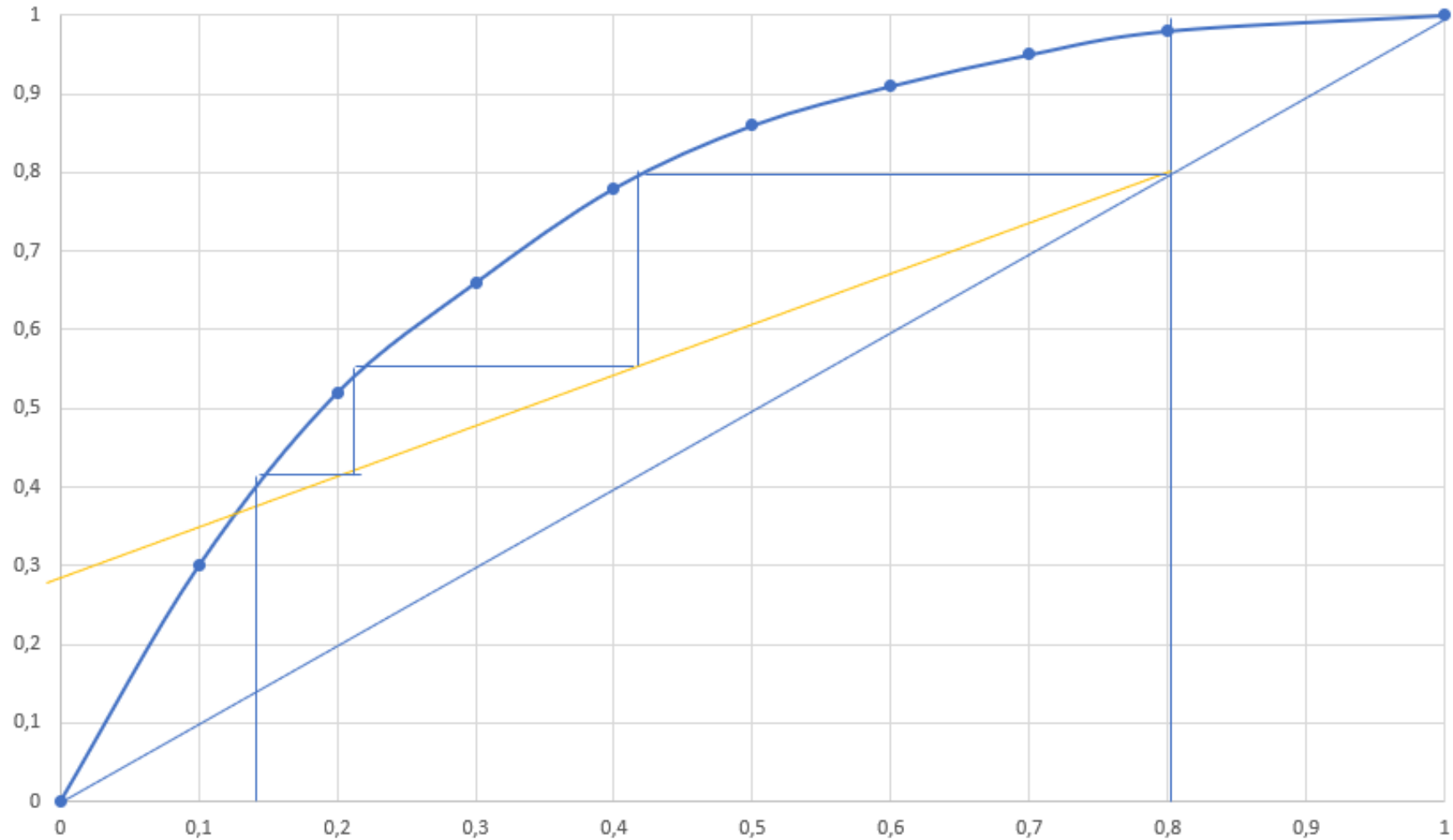
4. Από τα ισοζύγια:

$$x_F F = y_D D + x_R R \rightarrow 0.3 * 1000 = 0.8 * D + 0.135 * R$$

$$R = 1000 - D$$

$D=248 \text{ kmol/h}$ και $R=752 \text{ kmol/h}$.

Διάγραμμα Ισοροπίας



Παράδειγμα 4

450 lbmol/h μίγματος βενζολίου 60 mol% και τολουολίου 40 mol% διαχωρίζονται σε αποστακτική στήλη. Το απόσταγμα περιέχει 95% βενζόλιο, ενώ το υπόλειμμα καταλήγει με 5% σε βενζόλιο. Η τροφοδοσία εισέρχεται στη στήλη με μια ποσοστιαία γραμμομοριακή εξάτμιση ίση με τον λόγο αποστάγματος προς τροφοδοσία D/F . Με την μέθοδο McCabe Thiele βρείτε:

A) το N_{min} , B) το R_{min} , Γ) το N για $R/R_{min} = 1.3$ και την θέση της τροφοδοσίας.

Υπολογίζουμε το D και το R:

$$\text{Ολικό ισοζύγιο: } F = D + R \rightarrow 450 = D + R \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{Ισοζύγιο πτητικού: } x_F F &= x_D D + x_R R \rightarrow \\ &\rightarrow 0.60(450) = 0.95D + 0.05R \quad (2) \end{aligned}$$

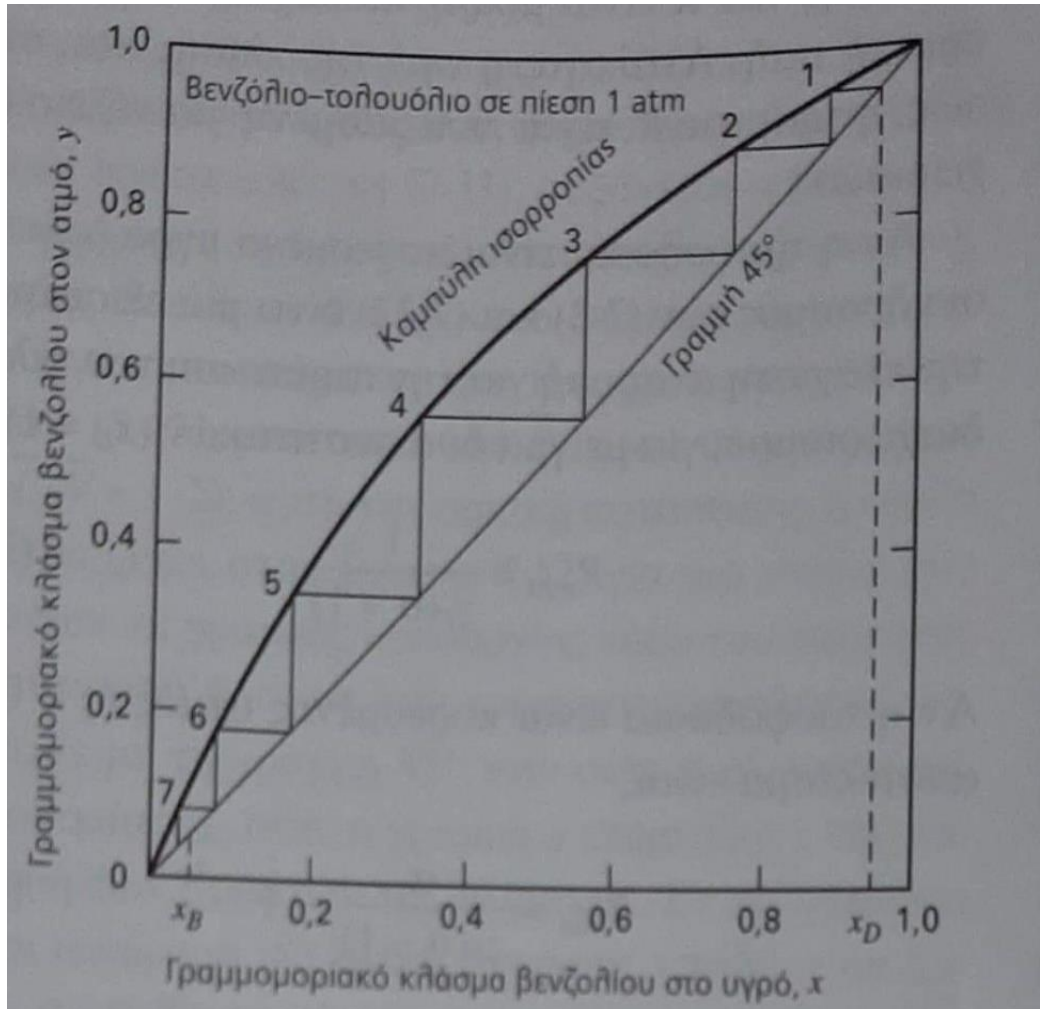
Από τις σχέσεις 1, 2: $D=275 \text{ lbmol/h}$ και $R=175 \text{ lbmol/h}$ και $D/F= 0.611$.

$D/F= 0.611$, άρα η γραμμομοριακή εξάτμιση της τροφοδοσίας είναι 61.1% και $q = 0.389$.

Η γραμμή εμπλουτισμού θα ξεκινά από το (x_D, x_D) με κλίση

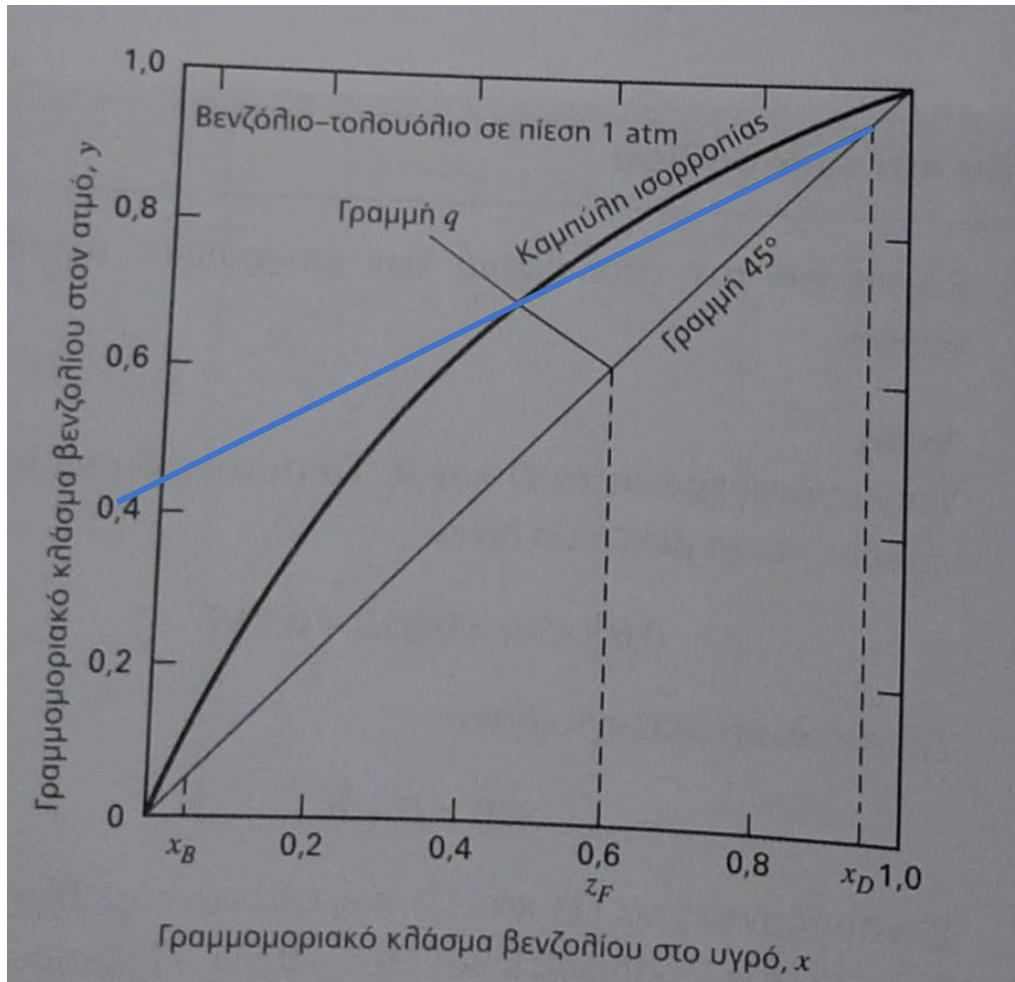
$$\frac{q}{q-1} = -0.637$$

A) Ο σχεδιασμός των ελάχιστων βαθμίδων γίνεται μεταξύ της καμπύλης ισορροπίας και της διαγωνίου $x=y$.



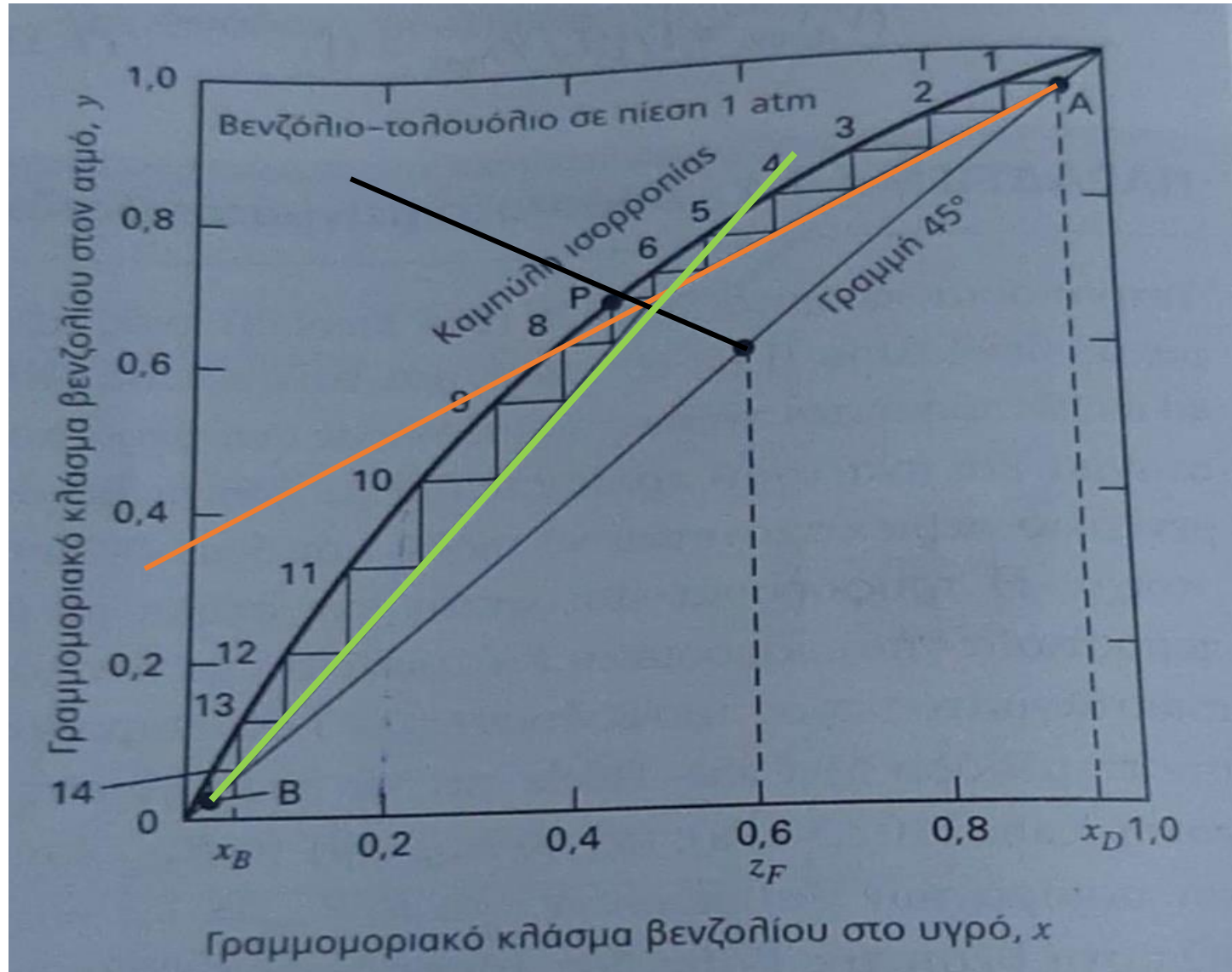
$$N_{\min} = 6 + 1 \text{ αναβραστήρας}$$

B) Η q- line έχει κλίση -0.637 και περνά από το $(x_F, x_F) = (0.6, 0.6)$. Για να βρούμε το R_{min} , χρειαζόμαστε την καμπύλη εμπλουτισμού που τέμνει την q- line πάνω στην καμπύλη ισορροπίας.



$$\frac{x_D}{R_{D,min} + 1} = 0.428 \rightarrow R_{D,min} = 1.22$$

Γ) $R_D = 1.3 * 1.22 = 1.59$ και $x_D / (R_D + 1) = 0.37$.



$N = 13 = 12 + 1$ αναβραστήρας
 $14 = 13 + 1$

Η τροφοδοσία εισέρχεται στην 7^η βαθμίδα.