

Προβλήματα εκχύλισης

Πηγή: Μαρίνου-Κουρή, Παρλιάρου-Τσάμη, *Ασκήσεις Φυσικών Διεργασιών*, εκδ. Παπασωτηρίου, Αθήνα, 1994

1. Εκχύλιση ακετόνης από νερό με χλωροβενζόλιο σε μονοβάθμιο εκχυλιστήρα.

100 kg διαλύματος ακετόνης (συστατικό B) 50% κ.β. σε νερό (συστατικό A) εκχυλίζονται με χλωροβενζόλιο. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται πειραματικά δεδομένα ισορροπίας (% κ.β.) για το σύστημα Ακετόνη-Νερό-Χλωροβενζόλιο. Σε κάθε γραμμή του πίνακα δίνονται οι συστάσεις δύο υγρών φάσεων σε ισορροπία. Η τελευταία γραμμή είναι το «σημείο αναστροφής» όπου οι δύο κλάδοι της καμπύλης ισορροπίας συναντώνται και οι δύο φάσεις έχουν την ίδια σύσταση, δηλ. ουσιαστικά εκεί αρχίζει η μονοφασική περιοχή.

Υπόλειμμα (R)			Εκχύλισμα (E)		
B	A	S	B	A	S
0	99.89	0.11	0	0.18	99.82
10	89.79	0.21	10.79	0.49	88.72
20	79.69	0.31	22.23	0.79	76.98
30	69.42	0.58	37.48	1.72	60.80
40	58.64	1.36	49.44	3.05	47.51
50	46.28	3.72	59.19	7.24	33.57
60	27.41	12.59	61.07	22.85	15.08
60.58	25.66	13.76	60.58	25.66	13.76

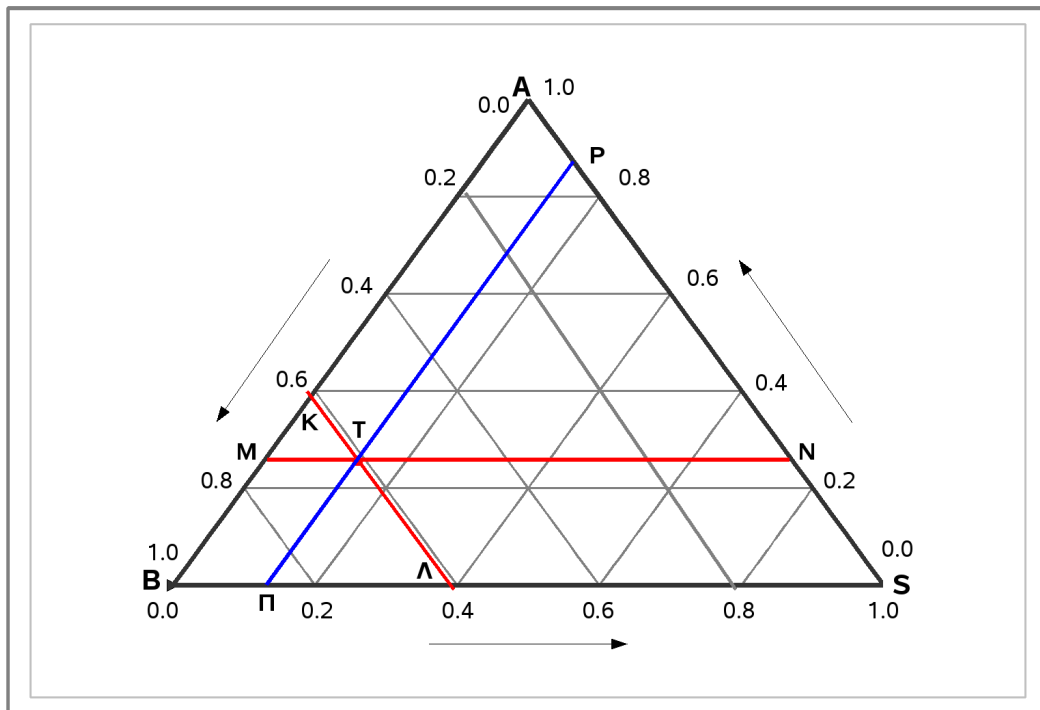
Ζητούνται:

- Να κατασκευαστεί το τριγωνικό διάγραμμα για Ακετόνη (A) – Νερό (B) – Χλωροβενζόλιο (S)
- Η ποσότητα του διαλύτη που απαιτείται αν στο υπόλειμμα θέλουμε να παραμένει όχι πάνω από 10% ακετόνη
- Ποια η σύσταση και ποσότητα του εκχυλίσματος και του υπολείμματος και ποια η μάζα του B σε κάθε φάση;

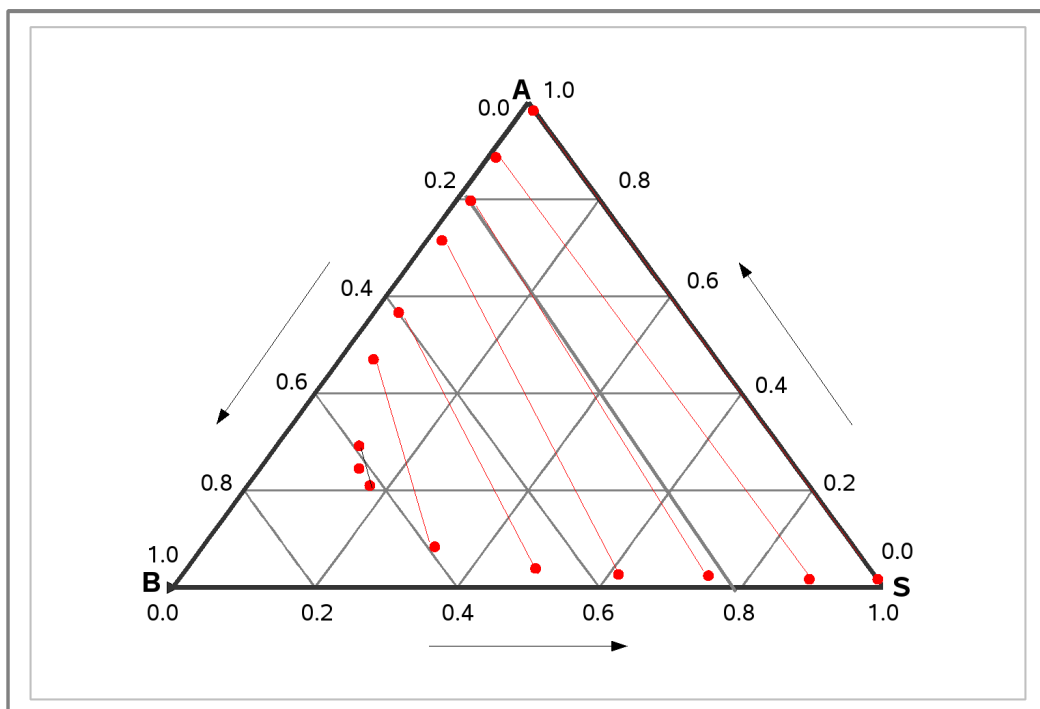
Λύση:

α) Ας θυμηθούμε πώς γίνεται η τοποθέτηση των σημείων πάνω στο τριγωνικό διάγραμμα. Για παράδειγμα, ας πάρουμε τις συστάσεις από την τελευταία εγγραφή του πίνακα, αυτή του σημείου αναστροφής – βλ. Σχήμα 1. Για το συστατικό B έχουμε 60.58% (ή 0.6058), άρα το ζητούμενο σημείο θα είναι πάνω στην ευθεία ΚΛ, παράλληλη προς την πλευρά AS (απέναντι από την κορυφή του συστατικού B). Το συστατικό A υπάρχει σε περιεκτικότητα 25.66% (ή 0.2566), άρα θα βρίσκεται πάνω στην ευθεία MN, παράλληλη προς την πλευρά BS (απέναντι από την κορυφή A). Η τομή των δύο ευθειών είναι το σημείο T που είναι και το ζητούμενο. Τότε, φέροντας και την ευθεία ΠΡ, παράλληλα προς την πλευρά AB (απέναντι από την κορυφή S) παρατηρούμε ότι αντιστοιχεί στη σωστή σύσταση για το διαλύτη (περίπου 14%).

Γενικά, όπως αρκούν οι δύο από τις τρεις συστάσεις για να βρεθεί η τρίτη (π.χ. $x_S = 1 - x_A - x_B$), έτσι και στο διάγραμμα, αρκεί να φέρουμε δύο ευθείες που προσδιορίζουν το ζητούμενο σημείο ως τομή τους και η τρίτη ευθεία θα αντιστοιχεί στη σωστή σύσταση. Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία, τοποθετούμε και τα υπόλοιπα σημεία, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2. Κάθε ζεύγος σημείων συνδέεται και με την αντίστοιχη γραμμή σύνδεσης (tie line).



Σχ. 1 Εντοπισμός του μείγματος με σύσταση $A = 25.66\%$, $B = 60.58\%$ και $S = 13.76\%$ στο τριγωνικό διάγραμμα (σημείο T)

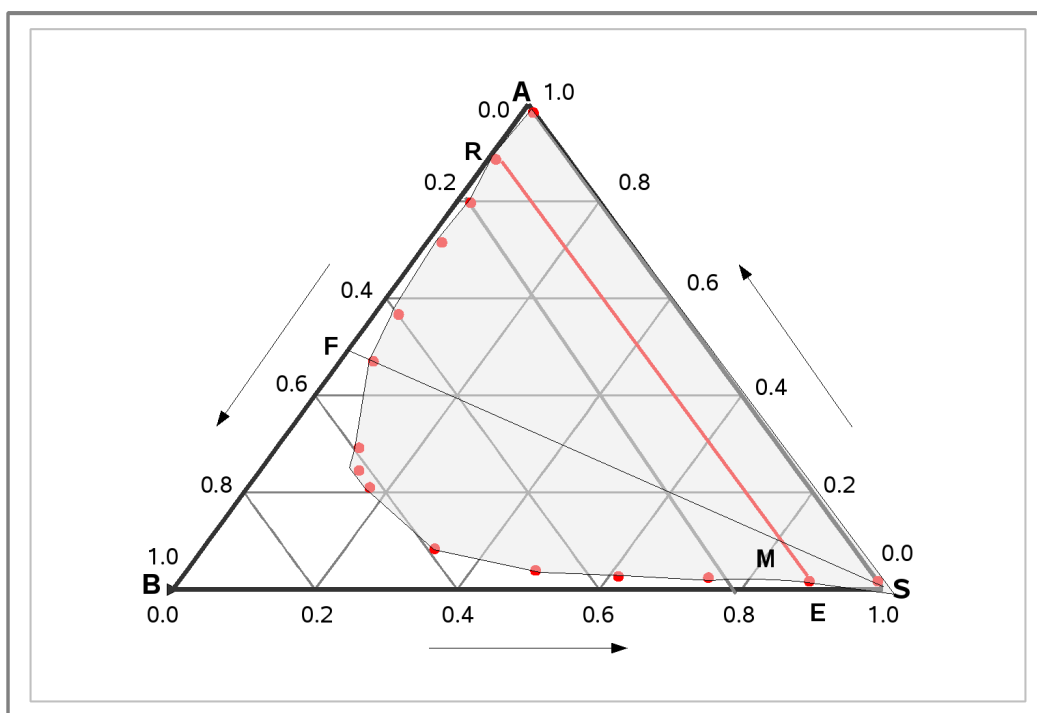


Σχ. 2 Απεικόνιση δεδομένων ισορροπίας φάσεων για το σύστημα ακετόνη-νερό-χλωροβενζόλιο. Κάθε μείγμα με σύσταση τέτοια ώστε να βρίσκεται πάνω σε μια γραμμή σύνδεσης (κόκκινες γραμμές) διαχωρίζεται σε δύο φάσεις με συστάσεις που αντιστοιχούν στα σημεία στα άκρα της γραμμής. Το ποσό κάθε φάσης καθορίζεται από τον κανόνα του μοχλού.

β) Το υπόλειμμα είναι μία από τις δύο φάσεις που δημιουργούνται όταν αναμειγνύουμε την

τροφοδοσία με το διαλύτη, άρα θα βρίσκεται πάνω στην καμπύλη ισορροπίας. Αν η σύσταση του υπολείμματος είναι 10% σε ακετόνη τότε το σημείο R που του αντιστοιχεί, θα βρίσκεται στην τομή της καμπύλης ισορροπίας με την ευθεία των σημείων που αντιστοιχούν σε 10% ακετόνη. Αν σχεδιάσουμε τη συνδετική γραμμή (tie line) από το R μέχρι την άλλη άκρη της καμπύλης ισορροπίας θα βρούμε το σημείο E που αντιστοιχεί στο εκχύλισμα. Στο σχήμα μας (βλ. Σχ. 3), η συγκεκριμένη tie line υπάρχει γιατί τα πειραματικά δεδομένα περιέχουν και τη σύσταση που προκύπτει για 10% ακετόνη, καθώς και αυτή της άλλης φάσης, άρα ξέρουμε και τη σύσταση του εκχυλίσματος κατευθείαν από τον πίνακα των δεδομένων:

Υπόλειμμα (R)			Εκχύλισμα (E)		
B	A	S	B	A	S
10	89.79	0.21	10.79	0.49	88.72



Σχ. 3 Εντοπισμός τριαδικού μείγματος με τη βοήθεια συνδετικής γραμμής και γραμμής αραιώσης

Τώρα, για να βρούμε την απαιτούμενη ποσότητα του διαλύτη, πρέπει να βρούμε από ποιο συγκεκριμένο μείγμα προέκυψαν οι δύο παραπάνω φάσεις. Αυτό το μείγμα, πριν διαχωριστεί σε αυτές τις φάσεις ήταν ένα σημείο πάνω στη συνδετική γραμμή RE. Ξέρουμε όμως επίσης, ότι αυτό προήλθε από την ανάμειξη 50% μείγματος ακετόνης-νερού με καθαρό διαλύτη (χλωροβενζόλιο). Το αρχικό μείγμα ήταν επομένως το σημείο F στο μέσο της πλευράς AB του τριγώνου, ενώ η αραιώσή του με το διαλύτη παριστάνεται, όπως γνωρίζουμε, από την ευθεία FS. Επομένως, το άγνωστο μείγμα είναι πάνω στην ευθεία FS.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι το μείγμα είναι το σημείο M στην τομή των ευθειών RE και FS. Τώρα, απομένει να εφαρμόσουμε τον κανόνα του μοχλού:

$$\frac{S}{F} = \frac{FM}{MS} \Rightarrow S = F \frac{FM}{MS} = 100 \text{ kg} \frac{FM}{MS}$$

Από το διάγραμμα βλέπουμε ότι $FM/MS \approx 4$, άρα η απαιτούμενη ποσότητα διαλύτη θα είναι

$$S = 400 \text{ kg.}$$

γ) Η σύσταση του υπολείμματος και του εκχυλίσματος δόθηκε στο προηγούμενο ερώτημα

σύμφωνα με τα πειραματικά δεδομένα.

Το κλάσμα βάρους του B στο υπόλειμμα είναι

$$x_{B,R} = m_{B,R} / m_R = 0.1 \Rightarrow m_{B,R} = 0.1 m_R \quad (1)$$

Η μάζα του μείγματος είναι :

$$m_R + m_E = m_M = F + S = 500 \text{ kg} \quad (2)$$

Από τον κανόνα του μοχλού έχουμε:

$$m_R / m_M = ME / RE \approx 0.11 \Rightarrow m_R = 0.11 \times 500 = 55 \text{ kg} \quad (3)$$

Μάζα εκχυλίσματος:

$$m_E = m_M - m_R = 445 \text{ kg} \quad (4)$$

Τότε, από την (1) συνεπάγεται ότι η μάζα του B στο υπόλειμμα είναι:

$$m_{B,R} = 5.5 \text{ kg}$$

άρα η μάζα του B στο εκχύλισμα θα είναι:

$$m_{B,E} = 50 - 5.5 = 44.5 \text{ kg}$$

2. Επιλογή άριστου διαλύτη για απλό εκχυλιστήρα

Ζητείται η παραλαβή ουσίας B από μείγμα A + B με εκχύλιση μιας βαθμίδας. Η παροχή του συστατικού A στην τροφοδοσία δίνεται ίση με $F' = 1 \text{ kg A / s}$. Η σύσταση της τροφοδοσίας δίνεται ως ποσότητα του B που αντιστοιχεί στη μονάδα του A: $x_F = 0.55 \text{ kg B / kg A}$. Παρόμοια η ζητούμενη σύσταση του υπολείμματος είναι $x_R = 0.05 \text{ kg B / kg A}$.

Υπάρχει η δυνατότητα επιλογής μεταξύ δύο διαλυτών S1 και S2, που κοστίζουν $C_{S1} = \text{€ } 3 / \text{kg}$ και $C_{S2} = \text{€ } 5 / \text{kg}$.

Ζητείται να επιλεγεί ο πιο οικονομικός διαλύτης αν τα δεδομένα ισορροπίας είναι τα εξής:

- Τόσο ο S1 όσο και ο S2 είναι τελείως μη αναμίξιμοι με το συστατικό A.
- Η ισορροπία στο σύστημα S1-A περιγράφεται από $Y = 0.6 X$ και στο σύστημα S2-A από $Y = 0.8 X$, όπου X (kg B / kg A) η σύσταση του υπολείμματος και Y (kg B / kg A) η σύσταση του εκχυλίσματος.

Λύση:

Δε μπορούμε να αποφασίσουμε ποιος από τους δύο διαλύτες είναι οικονομικότερος με βάση την τιμή τους ανά kg γιατί δε γνωρίζουμε τι ποσότητα θα χρειαστεί από τον καθένα. Πρέπει να την υπολογίσουμε για να βρούμε το συνολικό κόστος.

Οι εξισώσεις που περιγράφουν τη διεργασία είναι:

$$\text{Ισορροπία:} \quad Y = m X \quad (1)$$

$$\text{Ισοζύγιο μάζας:} \quad F' (X_F - X_R) = S' (Y_F - Y_0) \quad (2)$$

$$\text{Συνολικό κόστος:} \quad K = C S' \quad (3)$$

Να σημειωθεί ότι τα τονούμενα σύμβολα αναφέρονται σε «φέροντα» συστατικά, δηλαδή αυτά που μένουν αμετάβλητα στην είσοδο και την έξοδο χωρίς να μεταφερθούν στην άλλη φάση (συστατικό A και διαλύτης).

$$\text{Διαλύτης S1:} \quad Y_{E1} = m X_R = 0.6 \times 0.05 = 0.03 \text{ kg B / kg S'}$$

$$S_1 = 1 \times (0.55 - 0.05) / 0.03 = 16.67 \text{ kg S'_1 / s}$$

$$K_1 = 3.00 \times 16.67 = \text{€ } 50.00$$

Διαλύτης S2: $Y_{E2} = m X_R = 0.8 \times 0.05 = 0.04 \text{ kg B / kg S'}$

$$S_1 = 1 \times (0.55 - 0.05) / 0.04 = 12.50 \text{ kg S}'_1 / \text{s}$$

$$K_1 = 5.00 \times 12.50 = \text{€ } 62.50$$

$K_1 < K_2$, άρα από καθαρά οικονομική άποψη, συμφέρει η χρήση του διαλύτη S1.