

## Desztilláció: gyakorló példák

### 1. feladat

Számítsa ki egy 40 mol% benzolt és 60 mol% toluolt tartalmazó folyadékelegy egyensúlyi gőzfázisának összetételét 60 °C-on! Az adott elegyre érvényes Raoult törvénye.

Határozza meg, hogy milyen összetételű benzol–toluol elegy forr 90 °C-on, 760 Hgmm nyomás mellett! Milyen ekkor az egyensúlyi gőzösszetétel? ( $T = 60^\circ\text{C}$ ,  $p_1^0 = 391,5 \text{ torr}$ ;  $p_2^0 = 139 \text{ torr}$ ;  $P = 240 \text{ torr}$ ;  $y_1 = 0,6525$ ;  $T = 90^\circ\text{C}$ ,  $p_1^0 = 1021 \text{ torr}$ ;  $p_2^0 = 406,7 \text{ torr}$ ;  $x_1 = 0,575$ ;  $y_1 = 0,772$ )

### 2. feladat

Számítsa ki a benzol–toluol elegy egyensúlyi fázisainak összetételét 760 torr nyomáson, és szerkessze meg a forrponyi és az egyensúlyi diagramot a Raoult–Dalton-törvény alapján!

A diagramok alapján határozza meg az 55 mol% benzolt tartalmazó elegy forráspontját, és a hozzá tartozó gőzösszetételt! ( $T_{fp} = 90,5^\circ\text{C}$ ;  $y = 0,75$ ; *számítással: 90,69°C és y=0,7537*)

### 3. feladat

Ha folyamatos egyensúlyi desztillációval 100 kmol/h, 0,5 móltörtű benzol–toluol elegyet 0,4 móltörtű maradékig desztillálunk, mi lesz a desztillátum összetétele, valamint a desztillátum és a maradék molárama? (*diagramról leolvasva: y = 0,62; L = 54,55 kmol/h; V = 45,45 kmol/h; fázisegyensúly számítással: y = 0,6218; L = 54,92 kmol/h; V = 45,08 kmol/h*)

### 4. feladat

Egyensúlyi desztilláció során 70 kmol/h, 42 mol% metanolt tartalmazó metanol-víz elegyet 27 mol% metanoltartalmú maradékig desztillálunk légköri nyomáson.

Mi lesz a desztillátum összetétele, valamint a desztillátum és a maradék molárama? ( $x_{D,metanol} = 0,575$ ;  $V = 28,38 \text{ kmol/h}$ ;  $L = 41,62 \text{ kmol/h}$ )

Az elpárologtatott elegy mennyiségét megváltoztatva mennyi lehet a desztillátum maximális metanoltartalma? ( $y_{max} = 0,74$ )

### 5. feladat

Flash desztilláció során 18 kmol/h, 49 mol% fenolt tartalmazó fenol–metakrezol elegyet választunk szét légköri nyomáson és 193 °C-on.

- Mi lesz a maradék és a desztillátum összetétele, valamint a desztillátum és a maradék molárama?
- Az elpárologtatott elegy mennyiségét megváltoztatva mennyi lehet a maradék maximális metakrezol-tartalma?

( $y_{fenol} = 0,53$ ;  $x_{fenol} = 0,4$ ;  $V = 12,46 \text{ kmol/h}$ ;  $L = 5,54 \text{ kmol/h}$ ,  $y_{fenol,min} = 0,53$ ;  $x_{fenol,min} = 0,36$ ; és  $T = 193,9^\circ\text{C}$ ; *tehát I-  $x_{fenol,min} = x_{metakrezol,max} = 0,64$* )

### 6. feladat

Egyensúlyi desztilláció során 35 mol% hexánt tartalmazó pentán-hexán elegy 40%-át elpárologtatjuk légköri nyomáson. Milyen összetételű desztillátumot és maradékot kapunk? ( $x_{F,pentán} = 0,65$ ;  $y_{pentán} = 0,79$ ;  $x_{pentán} = 0,56$ )

### 7. feladat

Egyszerű szakaszos desztillációval 10 kmol 50 mol%-os benzol–toluol elegyből állítunk elő 5 mol% benzoltartalmú maradékot. Számítsa ki, hogy ehhez hány mól anyagot kell ledesztillálnunk, mennyi a desztillátum és a maradék tömege, és milyen a desztillátum összetétele!

$(\ln(L_0/L_1) = 2,782 \text{ (ha } \Delta x = 0,05); L_1 = 0,62 \text{ kmol}; D = 9,38 \text{ kmol}; \bar{x}_D = 0,5297; m_1 = 56,5 \text{ kg}; m_D = 793,5 \text{ kg})$

### 8. feladat

60 mol%-os toluoltartalmú benzol–toluol elegyet légköri nyomáson egyszerű szakaszos desztillációval addig desztilláljuk, míg 903,2 kg 12 mol% benzolt tartalmazó maradékot kapunk. Milyen tömegű desztillátum keletkezett, és mi az összetétele?

$(L_1 = 10,45 \text{ kmol}; x_0 = 0,40; x_1 = 0,12; \ln(L_0/L_1) = 1,500 \text{ (ha } \Delta x = 0,02); L_0 = 46,87 \text{ kmol}; D = 36,42 \text{ kmol}; \bar{x}_D = 0,4804; m_D = 3105,6 \text{ kg})$

### 9. feladat

65 kmol 55 mol%-os fenoltartalmú fenol–metakrezol elegyet légköri nyomáson egyszerű szakaszos desztillációval addig desztilláljuk, míg 75 mol% metakrezolt tartalmazó maradékot kapunk. Mennyi desztillátum keletkezett, és mi az összetétele?

$(L_1 = 6,52 \text{ kmol}; D = 58,48 \text{ kmol}; \bar{x}_D = 0,58)$

### 10. feladat

50 mol% metanol–víz elegyet rektifikálunk 95 mol% metanoltartalmú desztillátumra és 95 mol% víztartalmú maradékra, atmoszférikus nyomáson. A betáplálás forrpointi folyadék.

- Határozza meg a minimális refluxarányt!
- McCabe–Thiele-szerkesztéssel határozza meg a minimális tányérszámot!
- Hány elméleti tányérra van szükség, és hányadik elméleti tányérra kell betáplálni, ha a rektifikálást  $R = 1$  refluxarányval végezzük?

$(x_D/(R_{min}+1) = 0,62; R_{min} = 0,53; N_{min} = 5; N_{elm} = 8; N_{betáplálás} = 5)$

### 11. feladat

8500 kg/h 50 mol%-os benzol–toluol elegyet kell folyamatos rektifikálással szétválasztani úgy, hogy a maradék benzoltartalma 0,05 móltört, a desztillátumé pedig 0,95 móltört legyen. A refluxarány  $R = 3$ . Az elegy párolgáshője 30336 kJ/kmol, fajhője: 1,844 kJ/kgK.

- Mennyi a desztillátum, ill. a maradék tömegárama?
- Hány elméleti tányérra van szükség, és melyikre kell táplálni, hogy az előírt elválasztást elérjük, ha a betáplálás
- forrpointi folyadék,
- 20 °C-os folyadék,
- a betáplálás 70%-a gőz?
- Hány valódi tányérra van szükség, ha a betáplálás 20 °C-os folyadék, és az átlagos tányérhatásfok 75%?
- Mekkora átmérőjű oszlopra van szükség 20 °C-os betáplálás esetén, ha az átlagos tányérhatásfok 75%, a valódi tányérok nyomásesése 4 torr, és a terhelési tényező megengedett értéke az oszlop alján  $1,4 \text{ Pa}^{1/2}$ ?

- h) Mennyi az óránkénti fűtőgőz-, ill. hűtővízszükséglet, ha a fűtőgőz 2,25 bar nyomású, a hűtővíz 20 °C-os, és 20 °C-ot melegedhet, és a betáplálás 1:1 arányú folyadék–gőz elegy?

$$(F = 100 \text{ kmol/h}; W = 50 \text{ kmol/h}; D = 50 \text{ kmol/h}; \dot{m}_W = 4565 \text{ kg/h}; \dot{m}_D = 3935 \text{ kg/h}; q_{(fp)} = 1; N_{elm} \\ (fp) = 9; q_{(20^\circ\text{C})} = 1,372; N_{elm(20^\circ\text{C})} = 9; q_{(70\% \text{ gőz})} = 0,3; N_{elm(q=0,3)} = 10; N_{val} = 10,66 \approx 11; T_{üst} = 108^\circ\text{C}; \\ P_{üst} = 107191 \text{ Pa}; V = 200 \text{ kmol/h}; V' = 237,3 \text{ kmol/h}; \rho_{G,alsó} = 3,09 \text{ kg/m}^3; v_{alsó} = 0,8 \text{ m/s}; \\ D_{oszlop} = 1,76 \text{ m}; V = 200 \text{ kmol/h}; \dot{Q}_{kond} = 1685 \text{ kW}; \dot{m}_{hűtővíz} = 72,6 \text{ t/h}; V' = 150 \text{ kmol/h}; \\ \dot{Q}_{visszaforraló} = 1264 \text{ kW}; r_G = 2191,371 \text{ kJ/kg}; \dot{m}_{gőz} = 2,08 \text{ t/h})$$

### 12. feladat

Egy rektifikáló berendezésben 50 mol%-os benzol–toluol elegyet desztillálunk. A desztillálás követelményei:  $x_D = 95$  mol% benzol,  $x_M = 7$  mol% benzol. A berendezés működéséhez a következő adatok állnak rendelkezésre: a refluxarány  $R = 3$ ; a táplálás forrponi folyadék. A reflux teljes kondenzálásból származik.

- 100 kmol/h táplálási áram esetén mekkora lesz a maradék és desztillátum tömegáram?
- A szétválasztáshoz hány elméleti tányér szükséges?
- Melyik elméleti tányérra kell betáplálni?

$$(D = 48,86 \text{ kmol/h} = 3845 \text{ kg/h}; W = 51,14 \text{ kmol/h} = 4655 \text{ kg/h}; N_{elm} = 9; N_{betáplálás} = 5)$$

### 13. feladat

80 kmol/h 47 mol%-os metanol–víz elegyet légköri nyomáson működő folyamatos rektifikáló oszlopba vezetve 90 mol%-os desztillátumot és 7 mol%-os maradékot kapunk. A betáplálás 60%-os gőz–folyadék elegy. Az üstre épített oszlop 8 tányért tartalmaz, átmérője 1,5 m, az alkalmazott refluxarány  $R = 4$ .

- Mekkora a termékek tömegárama és tömegszázalékban kifejezett összetétele?
- Az alkalmazott refluxarány hány-szorosa a minimálisnak?
- Mekkora az oszlop átlagos hatásfoka?
- Mekkora az  $F$  terhelési tényező az oszlop tetején és az oszlop alján, ha a tányérok nyomásesését elhanyagoljuk? A számításához használható a tökéletes gáztörvény.

$$(D = 38,55 \text{ kmol/h}; \dot{m}_D = 1180 \text{ kg/h}; W = 41,45 \text{ kmol/h}; \dot{m}_W = 787 \text{ kg/h}; x_{D,metanol} = 94 \text{ m/m}\%; \\ x_{W,metanol} = 12 \text{ m/m}\%; R_{min} = 0,73; R/R_{min} = 5,47; N_{elm} = 5 (1 \text{ elméleti tányér az üst}); \text{hatásfok} = 0,5; \\ V = 192,75 \text{ kmol/h}; T_{üst} = 95,5^\circ\text{C}; v_{G,üst} = 0,764 \text{ m/s}; \rho_{G,üst} = 0,628 \text{ kg/m}^3; F_{üst} = 0,605 \text{ Pa}^{1/2}; \\ V' = 160,75 \text{ kmol/h}; T_{fej} = 66,6^\circ\text{C}; v_{G,fej} = 0,844 \text{ m/s}; \rho_{G,fej} = 1,098 \text{ kg/m}^3; F_{fej} = 0,885 \text{ Pa}^{1/2})$$

### 14. feladat

60 kmol/h pentán–hexán elegyet választunk szét. Az elegy pentántartalma 40 mol%. Folyamatos rektifikálással a pentántartalom 90%-át kell kinyernünk 96 mol% tisztaságban.

- Mekkora a termékek mólárama?
- Mennyi a minimális tányérszám?
- A minimális refluxarány 1,5-szeresével dolgozva hány elméleti tányérral egyenértékű oszlopra van szükség és hová kell betáplálni a feldolgozandó anyagot, ha a betáplálás forrponi folyadék?

$$(D = 22,5 \text{ kmol/h}; W = 37,5 \text{ kmol/h}; N_{min} = 6; R_{min} = 1,13; R = 1,7; N_{elm} = 11; N_{betáplálás} = 6)$$

### 15. feladat

20 mol/h 62 mol%-os metanol-víz elegyet választunk szét folyamatos rektifikálással. 92 mol% tisztaságú fejterméket és 5 mol% tisztaságú fenékterméket kell előállítanunk. A betáplálás 29 °C-os folyadék. A refluxarány 2,5. Az elegy átlagos párolgáshője 37132 kJ/kmol, fajhője 3,15 kJ/kgK. A számításához használható a tökéletes gáztörvény.

- Milyen magas oszlopra van szükség, ha a tányérok hatásfoka átlagosan 0,75, és a tányértávolság 10 cm?
- Milyen átmérőjű oszlopra van szükség, ha a terhelési tényező megengedett értéke az oszlop tetején  $1 \text{ Pa}^{1/2}$ ?

( $a: q = 1,1; N_{elm} = 6; N_{valódi} = 7; H_{oszlop} = 70 \text{ cm}; T_{fp,fej} = 66^\circ\text{C}; \rho_{G,fej} = 1,11 \text{ kg/m}^3; v_{G,fej} = 0,95 \text{ m/s}; A_{oszlop,fej} = 0,37 \text{ m}^2; D_{oszlop,fej} = 0,69 \text{ m}$ )

### 16. feladat

42 kmol/h 52 mol% hexánt tartalmazó pentán–hexán elegyet választunk szét folyamatos rektifikálással. A desztillátum legfeljebb 5% hexánt, a fenéktermék legfeljebb 6% pentánt tartalmazhat. A betáplálás 29 °C-os folyadék. A refluxarány 1,7. Az elegy átlagos párolgáshője 37132 kJ/kmol, fajhője 2,36 kJ/kgK. A számításához használható a tökéletes gáztörvény.

- Mennyi a termékek mólárama?
- Mennyi a minimális tányérszám?
- Mennyi a terhelési tényező értéke a fejen és a fenékben, ha az oszlop átmérője 0,9 m?
- Mennyi hűtővízre és légköri nyomású fűtőgőzre van szükség, ha a hűtővíz 15 °C-ot melegedhet?

( $D = 19,82 \text{ kmol/h}; W = 22,18 \text{ kmol/h}; N_{min} = 6; q = 1,09; T_{fp,fej} = 37^\circ\text{C}; \rho_{G,fej} = 2,86 \text{ kg/m}^3; V = 53,51 \text{ kmol/h} = 0,38 \text{ m}^3/\text{s}; v_{G,fej} = 0,59 \text{ m/s}; F_{fej} = 1,01 \text{ Pa}^{1/2}; T_{fp,fenék} = 65,6^\circ\text{C}; \rho_{G,fenék} = 3,06 \text{ kg/m}^3; V' = 55,2 \text{ kmol/h} = 0,44 \text{ m}^3/\text{s}; v_{G,fenék} = 0,70 \text{ m/s}; F_{fenék} = 1,22 \text{ Pa}^{1/2}; \dot{Q}_{kondenzátor} = 1,99 \cdot 10^6 \text{ kJ/h}; \dot{m}_{hűtővíz} = 31,7 \text{ t/h}; \dot{Q}_{visszaforraló} = 2,13 \cdot 10^6 \text{ kJ/h}; r_G = 2256,685 \text{ kJ/kg}; \dot{m}_{gőz} = 943 \text{ kg/h}$ )

### 17. feladat

5 kmol/h 40 mol% fenolt tartalmazó fenol–metakrezol elegy szétválasztása során 6 mol% tisztaságú termékeket kell előállítanunk. A folyamatos rektifikálás során a betáplálás 1:1 arányú folyadék–gőz elegy, a refluxarány 6,5. A számításához használható a tökéletes gáztörvény.

- Mennyi a termékek tömegárama, és tömegtörtben kifejezett fenoltartalma?
- Hány elméleti tányérra van szükség az elválasztáshoz, és a betáplálást hányadik tányérra kell vezetni?
- Hány valódi tányérra van szükség, ha a tányérok átlagos hatásfoka 0,8?
- Milyen magas oszlopra van szükség, ha a tányértávolság 35 cm?
- Mekkora legyen az oszlop átmérője, ha a terhelési tényező maximális értéke az oszlop alján  $1,1 \text{ Pa}^{1/2}$ ?

( $D = 1,93 \text{ kmol/h} = 183 \text{ kg/h}; W = 3,07 \text{ kmol/h} = 329 \text{ kg/h}; x_{D,fenol} = 93,17 \text{ m/m}\%; x_{W,fenol} = 5,26 \text{ m/m}\%; N_{elm} = 15; N_{betáplálás} = 9; N_{valódi} = 18; H_{oszlop} = 6,3 \text{ m}; T_{fp,fenék} = 201^\circ\text{C}; \rho_{G,fenék} = 2,44 \text{ kg/m}^3; v_{G,fenék} = 0,704 \text{ m/s}; A_{oszlop,fenék} = 0,184 \text{ m}^2; D_{oszlop,fenék} = 0,484 \text{ m}$ )

### 18. feladat

120 kmol/h 50 mol%-os benzol–toluol elegyet választunk szét folyamatos rektifikálással. A betáplálás 20 °C-os folyadék, a refluxarány 3,2. A fejtermékben legalább 96 mol% benzolnak, a fenéktermékben legalább 95 mol% toluolnak kell lennie. Az elegy átlagos párolgáshője 32060 kJ/kmol, fajhője 1,8 kJ/kgK. A számításhoz használható a tökéletes gáztörvény.

- Mennyi a termékek mólárama?
- Mekkora a tányérok hatásfoka, ha az oszlopban 10 valódi tányér van?
- Mennyi hűtővízre és 1,7 bar túlnyomású fűtőgőzre van szükség, ha a hűtővíz 20 °C-ot melegedhet?

$$(D = 59,34 \text{ kmol/h}; W = 60,66 \text{ kmol/h}; q = 1,34; N_{elm} = 9; \eta = 0,8; V = 249,23 \text{ kmol/h};$$

$$\dot{Q}_{\text{kondezátó}} = 8 \cdot 10^6 \text{ kJ/h}; \dot{m}_{\text{hűtővíz}} = 95,6 \text{ t/h}; V' = 290,03 \text{ kmol/h}; \dot{Q}_{\text{visszaforraló}} = 9,3 \cdot 10^6 \text{ kJ/h};$$

$$r_G = 2174,205 \text{ kJ/kg}; \dot{m}_{\text{gőz}} = 4,28 \text{ t/h})$$

### 19. feladat

90 kmol/h 60 mol% vizet tartalmazó metanol–víz elegyet választunk szét. Folyamatos rektifikálással a metanol 95%-át kell kinyernünk 90 mol%-os tisztaságban. A betáplálás 60% folyadékot tartalmazó folyadék–gőz elegy. A refluxarány 3. Az elegy átlagos párolgáshője 36440 kJ/kmol. A számításhoz használható a tökéletes gáztörvény.

- Mennyi a minimális tányérszám?
- Mennyi hűtővízre és 120 °C-os fűtőgőzre van szükség, ha a hűtővíz 15 °C-ot melegedhet?
- Mekkora legyen az oszlopátmérő, ha a terhelési tényező maximális értéke a fejben 1,2 Pa<sup>1/2</sup>?

$$(N_{\min} = 4; D = 38 \text{ kmol/h}; W = 52 \text{ kmol/h}; x_{w,\text{metanol}} = 3,46 \text{ mol\%}; V = 152,0 \text{ kmol/h};$$

$$\dot{Q}_{\text{kondezátó}} = 5,54 \cdot 10^6 \text{ kJ/h}; \dot{m}_{\text{hűtővíz}} = 88,3 \text{ t/h}; V' = 116,0 \text{ kmol/h}; \dot{Q}_{\text{visszaforraló}} = 4,23 \cdot 10^6 \text{ kJ/h};$$

$$r_G = 2202,675 \text{ kJ/kg}; \dot{m}_{\text{gőz}} = 1,92 \text{ t/h}; T_{fp,\text{fej}} = 67^\circ\text{C}; \rho_{G,\text{fej}} = 1,1 \text{ kg/m}^3; v_{G,\text{fej}} = 1,14 \text{ m/s};$$

$$A_{\text{oszlop,fej}} = 1,03 \text{ m}^2; D_{\text{oszlop,fej}} = 1,145 \text{ m})$$

### 20. feladat

Töltött oszlopban 1 kmol/h 40 mol% fenolt tartalmazó fenol–metakrezol elegyet kell szétválasztani 90 mol% fenolra és 92 mol% krezolra. A refluxarány 7. A betáplálás 80%-os folyadék–gőz elegy, helyzete optimális. Kísérleti adatokból az anyagátbocsátási tényező 0,59 mol/m<sup>2</sup>s. Az oszlop átmérője 23,4 cm, a töltet fajlagos felülete 200 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>. A terhelési tényező megengedett értéke az oszlop tetején 1,2 Pa<sup>1/2</sup>. Számítsa ki az alsó és felső oszloprész átviteli egységeinek számát és magasságát! Milyen magas oszlopra van szükség?

$$(D = 0,39 \text{ kmol/h}; V = 0,87 \text{ mol/s}; T_{\text{fej}} = 183,5^\circ\text{C}; \rho_{G,\text{felső}} = 2,55 \text{ kg/m}^3; v_{\text{felső}} = 0,75 \text{ m/s};$$
$$A_{\text{oszlop}} = 0,043 \text{ m}^2; HTU_{y,\text{felső}} = 0,17 \text{ m}; V' = 0,81 \text{ mol/s}; HTU_{y,\text{alsó}} = 0,16 \text{ m}; NTU_{y,\text{felső}} = 6,928;$$
$$NTU_{y,\text{alsó}} = 5,661, H_{\text{felső}} = 1,1 \text{ m}; H_{\text{alsó}} = 0,79 \text{ m}; H = 1,89 \text{ m})$$

### 21. feladat

5 kmol/h 55 mol% vizet tartalmazó metanol–víz elegyet választunk szét töltött oszlopban. A fej- és a fenéktermékre is 95 mol%-os tisztasági követelmény van előírva. A refluxarány 6, a betáplálás forrponton történik. Az oszlop átmérője 0,4 m, a töltet fajlagos felülete 200 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>. Kísérleti adatokból az anyagátbocsátási tényező 0,43 mol/m<sup>2</sup>s.

- Számítsa ki az alsó és felső oszloprész átviteli egységeinek számát és magasságát!
- Számítsa ki az oszlop magasságát!

$(NTU_{felső} = 4,36; NTU_{alsó} = 1,86; D = 2,22 \text{ kmol/h}; V = 15,56 \text{ kmol/h}; HTU_{felső} = 0,4 \text{ m}; V' = 15,56 \text{ kmol/h}; HTU_{alsó} = 0,4 \text{ m}; H_{oszlop,felső} = 1,74 \text{ m}; H_{oszlop,alsó} = 0,74 \text{ m}; H_{oszlop} = 2,48 \text{ m})$

### 22. feladat

2 kmol/h 40 mol% hexánt tartalmazó pentán–hexán elegyet kell elválasztanunk töltött oszlopban folyamatos rektifikálással. A desztillátumban 5 mol%, a fenéktermékben 90 mol% hexán van. A refluxarány 5,8, a betáplálás 1:1 arányú gőz–folyadék elegy. Az oszlop átmérője 0,3 m, a töltet fajlagos felülete  $200 \text{ m}^2/\text{m}^3$ . Kísérleti adatokból az anyagátbocsátási tényező  $0,4 \text{ mol}/\text{m}^2\text{s}$ .

- Számítsa ki az alsó és felső oszloprész átviteli egységeinek számát és magasságát!
- Számítsa ki az oszlop magasságát!

$(NTU_{felső} = 3,59; NTU_{alsó} = 2,65; D = 1,18 \text{ kmol/h}; V = 8 \text{ kmol/h}; HTU_{felső} = 0,39 \text{ m}; V' = 7 \text{ kmol/h}; HTU_{alsó} = 0,34 \text{ m}; H_{oszlop,felső} = 1,41 \text{ m}; H_{oszlop,alsó} = 0,91 \text{ m}; H_{oszlop} = 2,32 \text{ m})$

### 23. feladat

Töltött oszlopú rektifikálással  $400 \text{ mol/h}$  50 mol% összetételű fenol–metakrezol elegyet választunk szét. A desztillátumban 90 mol%, a fenéktermékben 5 mol% fenol van. A refluxarány 5, a betáplálás forrponthi folyadék. Az oszlop átmérője 15 cm, a töltet fajlagos felülete  $200 \text{ m}^2/\text{m}^3$ . Az oszlop magassága 1,7 m, a betáplálás a töltet aljától 1 m-re történik. Számítsa ki az alsó és felső oszloprész átviteli egységeinek magasságát!

$(NTU_{felső} = 5,32; NTU_{alsó} = 8,72; D = 212 \text{ mol/h}; HTU_{felső} = 0,13 \text{ m}; HTU_{alsó} = 0,11 \text{ m})$