

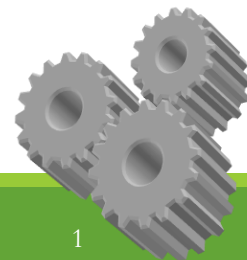
SZENT ISTVÁN
EGYETEM

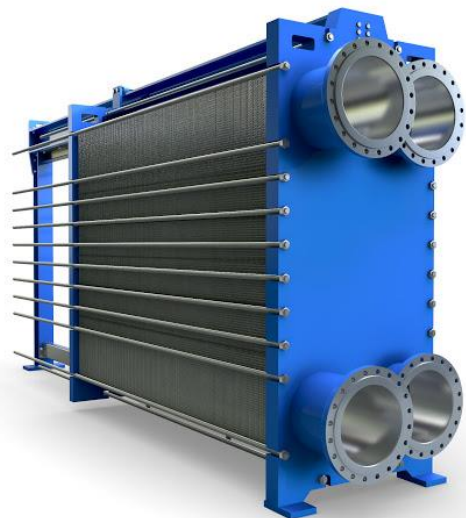
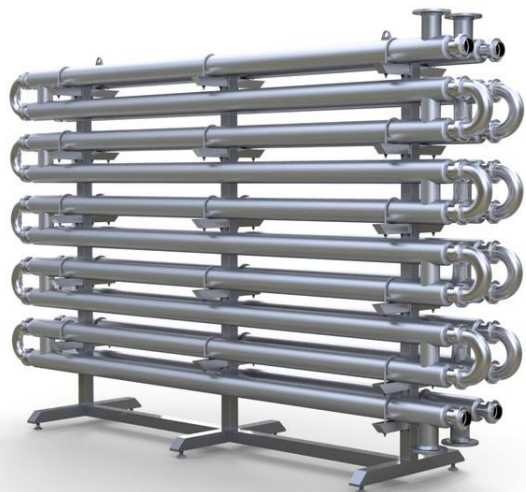
ÉLELMISZERTUDOMÁNYI KAR, BUDAPEST

A pálinkakészítés műveletei és berendezései

Dr. Bánvölgyi Szilvia

Banvolgyi.Szilvia@szie.hu





Hőcserélő berendezések

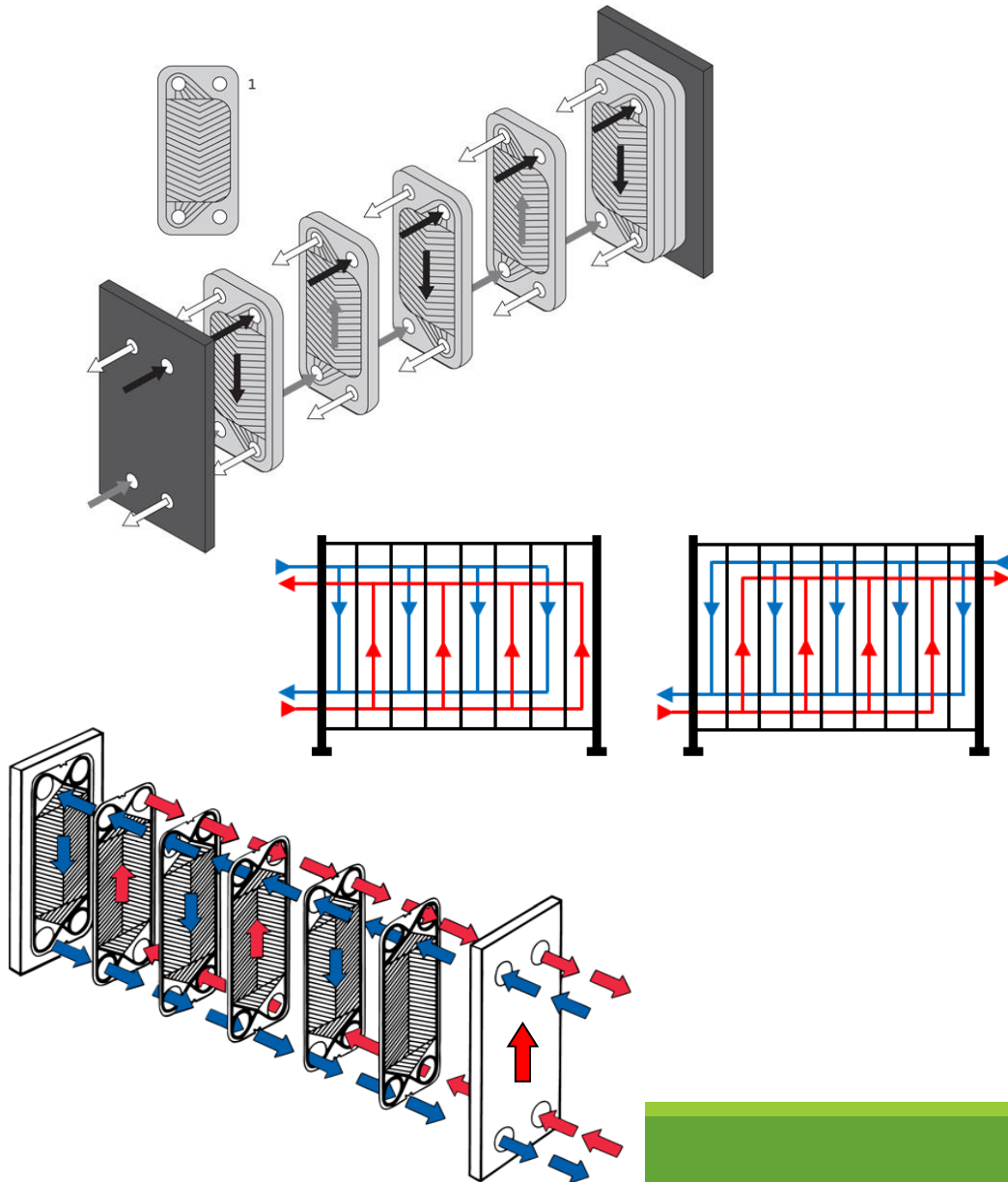
Csőkígyós tartály



Duplafalú edények



Lemezes hőcserélő



https://www.youtube.com/watch?v=osrj5S_hnHA

Lemezes hőcserélő

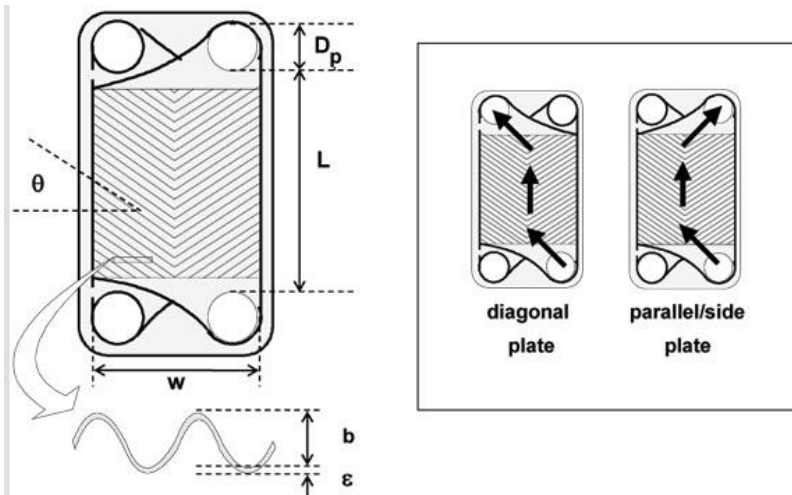
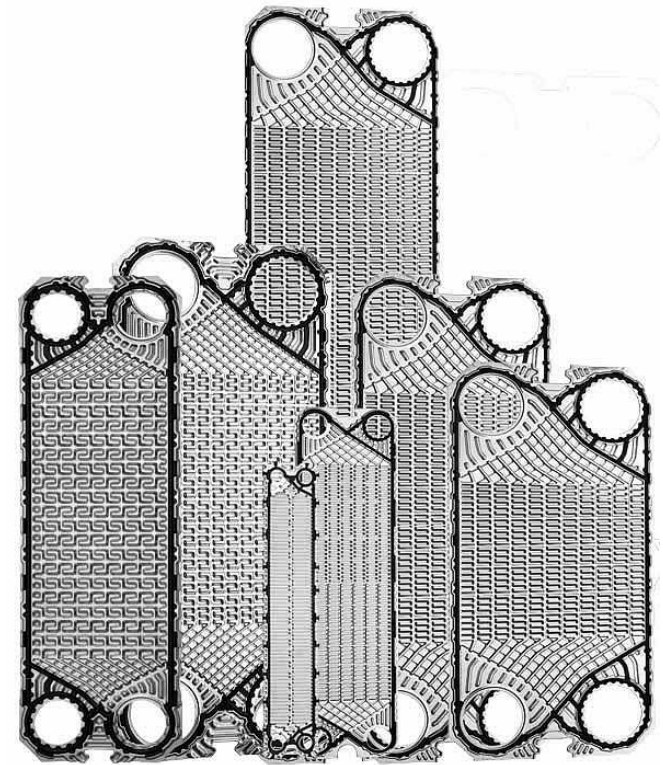
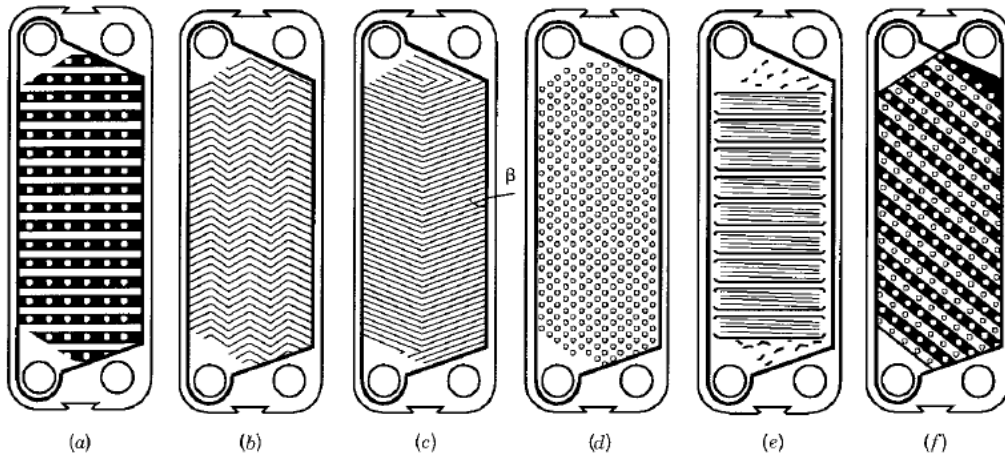
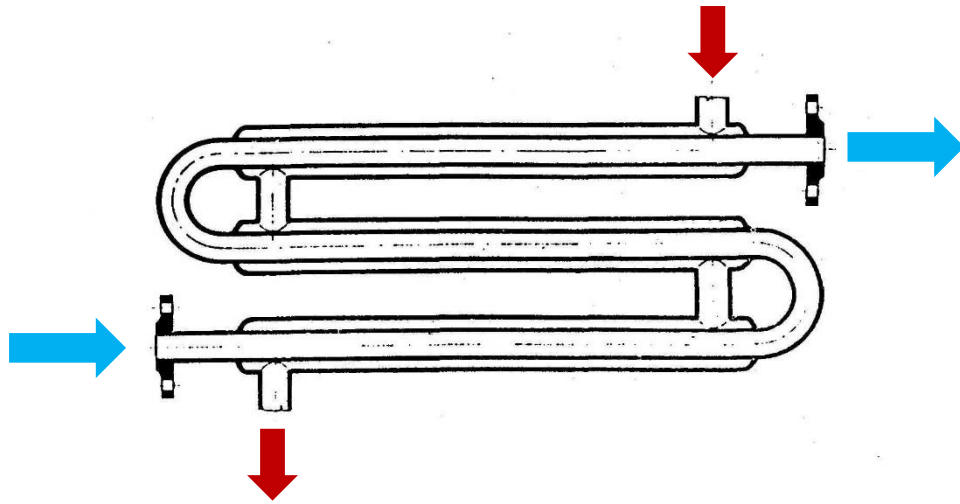
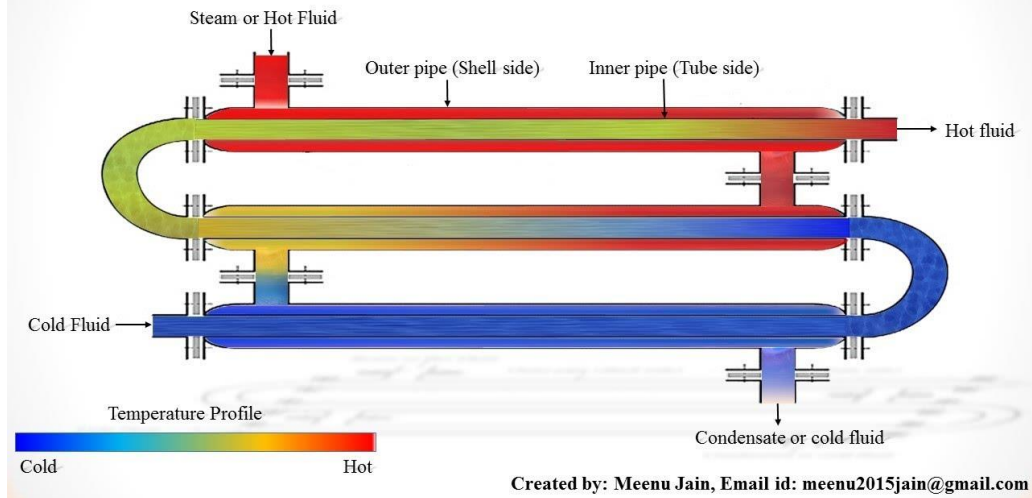


Figure 1: Main plate dimensions and types of flow pattern in the channel.

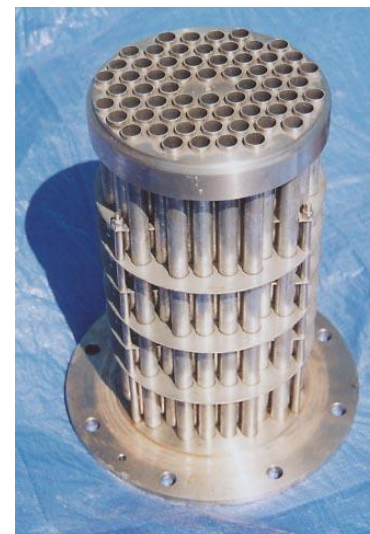
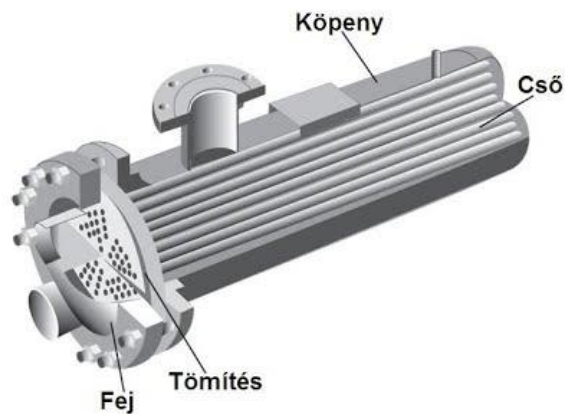
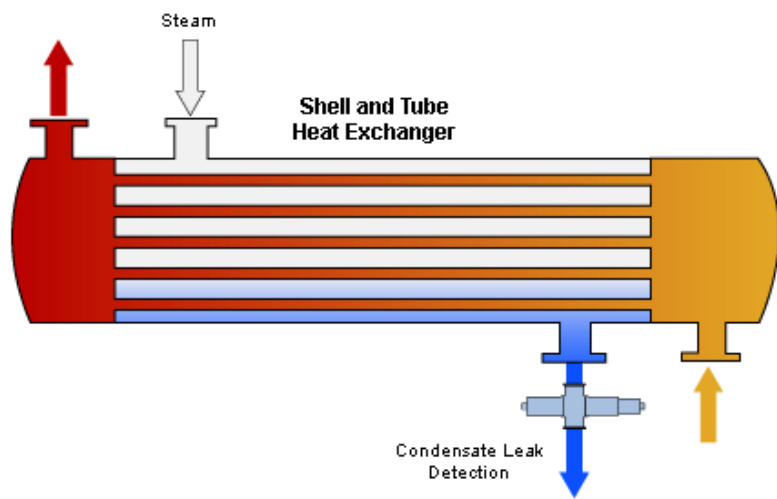
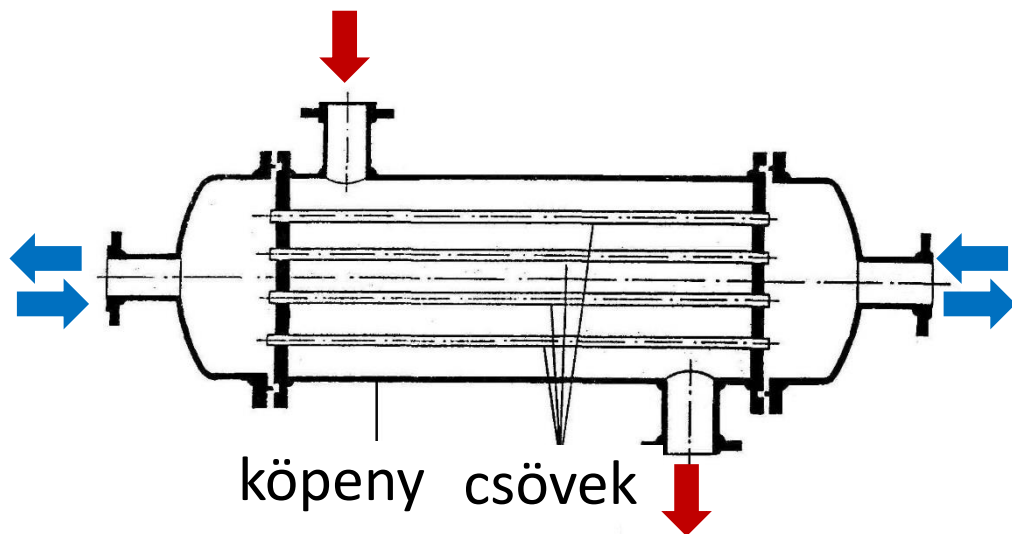
Cső a csőben hőcserélő



Multi pass Double Pipe Heat Exchanger

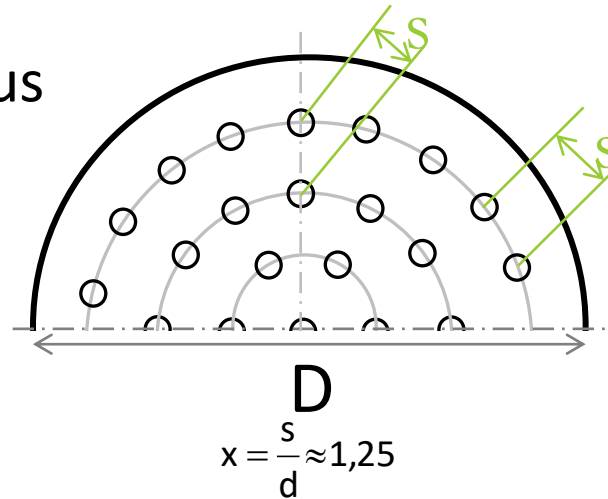


Csőköteges hőcserélő

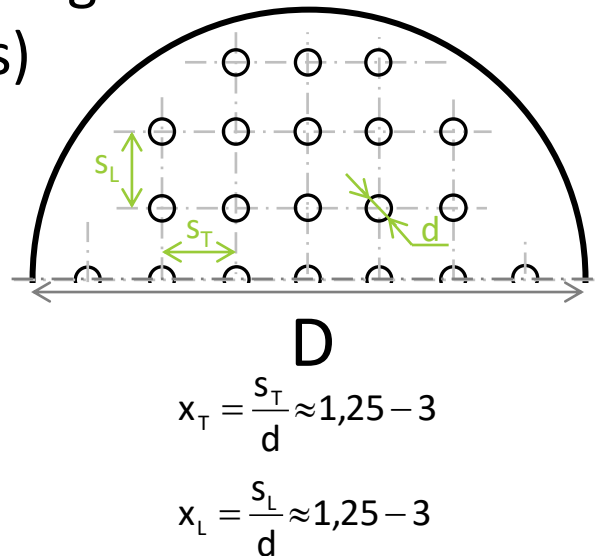


Csőköteg elrendezések

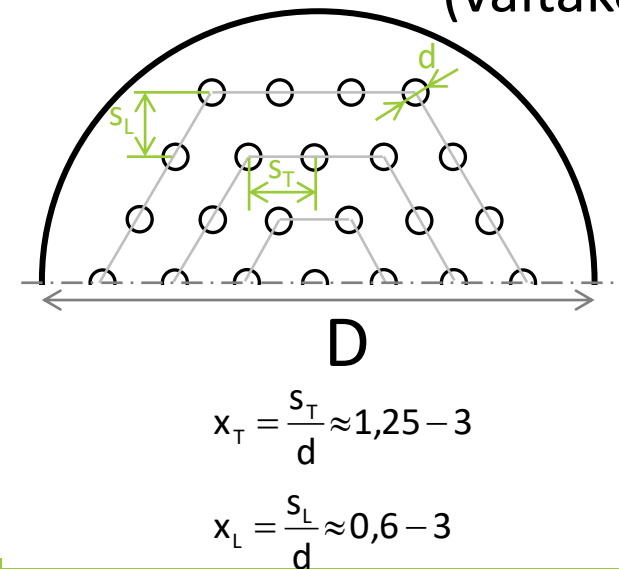
Koncentrikus



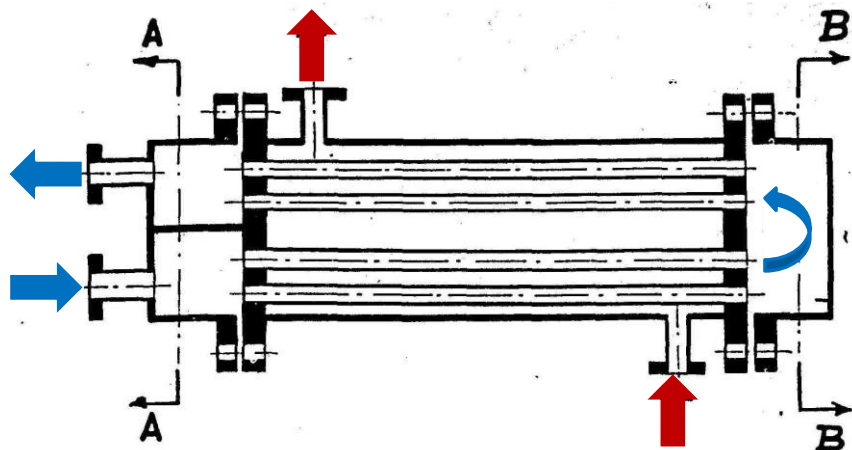
Négyszögletes
(soros)



Hatszögletes
(váltakozó)

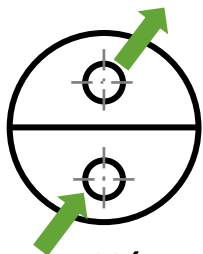


Többjáratú csőköteges hőcserélő

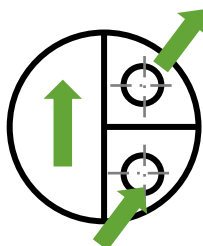
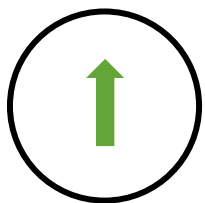


A-A metszet

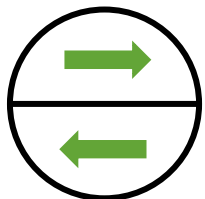
B-B metszet



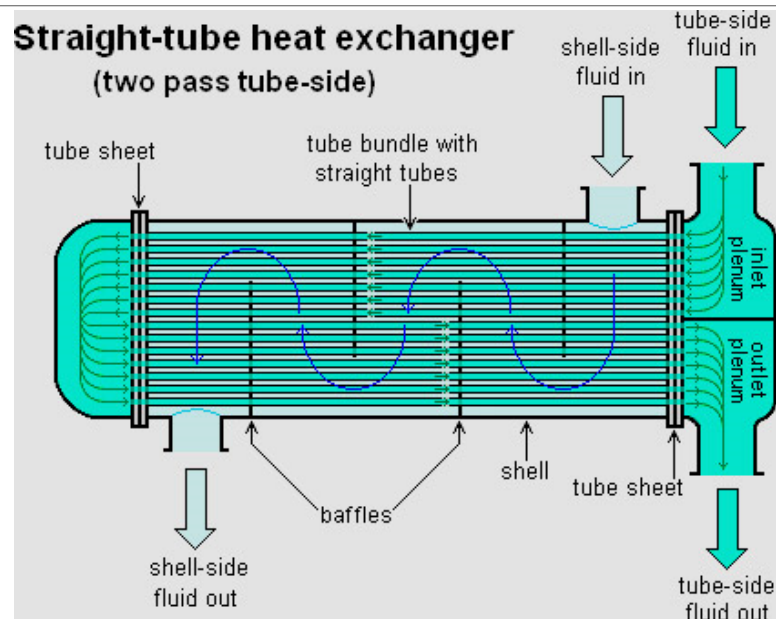
Kétszeres átömlés



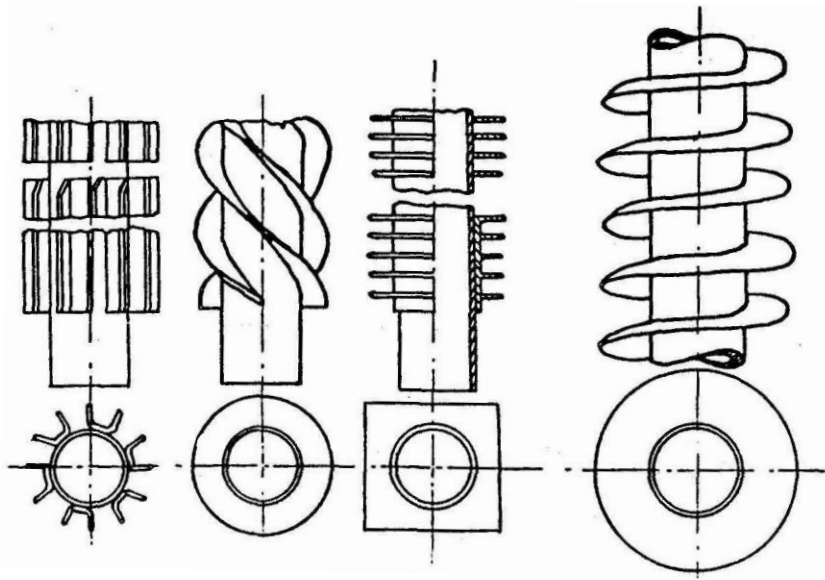
Négyszeres átömlés



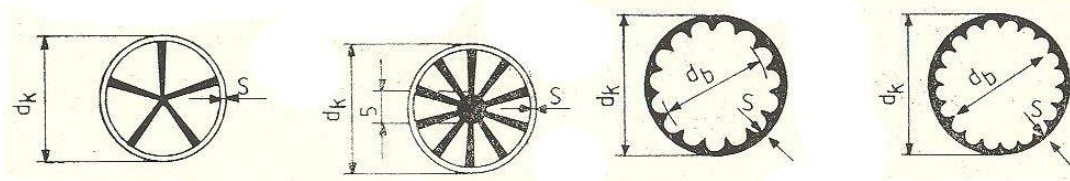
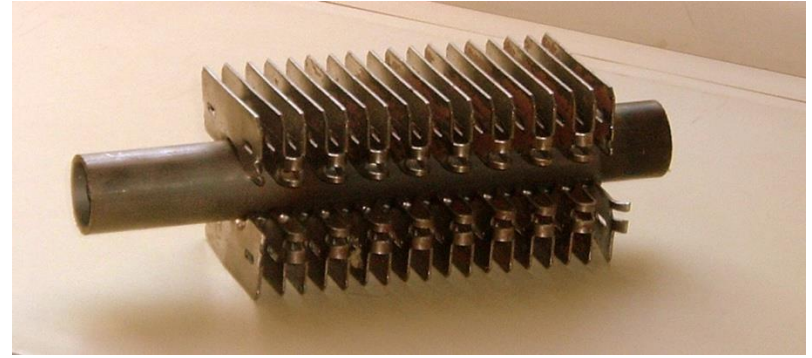
Straight-tube heat exchanger
(two pass tube-side)



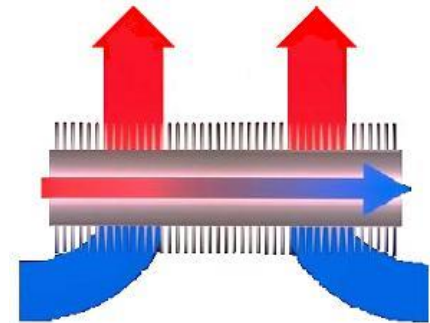
Bordáscsöves hőcserélők



Bordázott cső (kívül)



Csőön belüli bordák



Tervezési példa: Cső a csőben hőcserélő

Feladat: 1200 kg/h tömegáramú 20%-os cukoroldat lehűtése 85 °C-ról 45 °C-ra 10 °C-os hűtővízzel, ellenáramú cső a csőben hőcserélőben.

Cukoroldat jellemzőinek meghatározása átlag-hőmérsékleten (65 °C-on):

- $c_p = 3775 \text{ J/(kgK)}$
- $\eta = 8,518 \cdot 10^{-4} \text{ Pas}$
- $\rho = 1120 \text{ kg/m}^3$
- $\lambda = 0,5809 \text{ W/(mK)}$
- $Pr = 5,26$

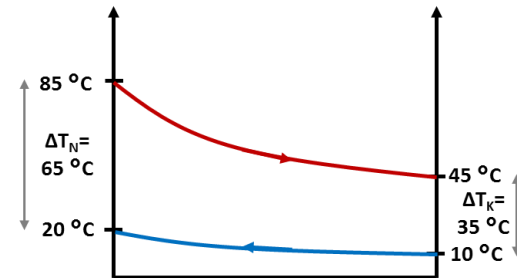
Hőáram meghatározása (cukor oldalon): $q = w_{\text{cukor}} \cdot c_{p,\text{cukor}} \cdot \Delta T_{\text{cukor}} = 0,33 \cdot 3775 \cdot (85 - 45) = 49830 \text{ W}$

Hőátbocsátási tényező felvétele: $k = 1100 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Hűtővíz kilépő hőmérsékletének becslése: $T_{\text{HV,ki}} = 20 \text{ °C}$

$\Delta T_{\log}$ számítása ellenáramra:
$$\Delta T_{\log} = \frac{\Delta T_{\text{nagy}} - \Delta T_{\text{kicsi}}}{\ln \frac{\Delta T_{\text{nagy}}}{\Delta T_{\text{kicsi}}}} = \frac{65 - 35}{\ln \frac{65}{35}} = 48,46 \text{ °C}$$

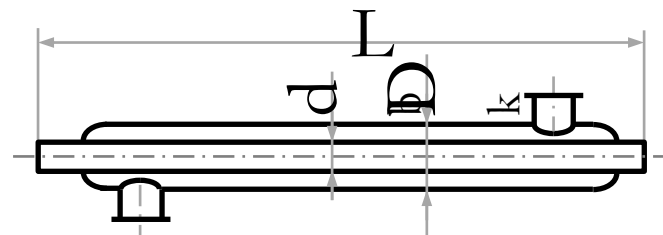
Hőátadó felület számolása:
$$A = \frac{q}{k \cdot \Delta T_{\log}} = \frac{49830}{1100 \cdot 48,46} = 0,93 \text{ m}^2$$



Tervezési példa: Cső a csőben hőcserélő

Ez alapján névleges átmérők felvétele táblázatból:

- NA külső: 40 ($D_b=39,3$ mm)
- NA belső: 25 ($d_b=25,4$ mm; $d_k=30$ mm; $e=2,3$ mm)



A belső cső átmérője és falvastagsága ($d_b \times s$)	A külső cső átmérője (D_k)				
	58	89	106	133	159
25×2,3					
38×2,6					
57×2,9					
89×3,6					
108×4					
Csőhosszak (L)	1000	4000	9000		
	1500	6000	12000		
	2000	8000			

Forrás: Pálfi Zoltán: *Vegyipari
készülékek, szerkesztési atlasz*,
Műszaki Könyvkiadó, Budapest,
1986

Tervezési példa: Cső a csőben hőcserélő

Csőhossz számítása:

$$L = \frac{A}{d_k \cdot \pi} = \frac{0,93}{0,03 \cdot \pi} = 9,87 \text{ m}$$

Áramlás turbulens legyen mindkét oldalon: Re számok meghatározása

Hűtővíz jellemzőinek meghatározása átlag-hőmérsékleten (15 °C-on):

- $c_p = 4180 \text{ J/(kgK)}$
- $\eta = 1,03 \cdot 10^{-3} \text{ Pas}$
- $\rho = 999,8 \text{ kg/m}^3$
- $\lambda = 0,587 \text{ W/(mK)}$
- $Pr = 9,28$

Cukoroldali Re szám:

- Áramlási keresztmetszet: $A_{\text{cukor}} = \frac{d_b^2 \cdot \pi}{4} = \frac{0,025^2 \cdot \pi}{4} = 5,06 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

- Sebesség: $v_{\text{cukor}} = \frac{w_{\text{cukor}}}{\rho_{\text{cukor}} \cdot A_{\text{cukor}}} = \frac{0,33}{1120 \cdot 5,06 \cdot 10^{-4}} = 0,57 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

- Re szám: $Re_{\text{cukor}} = \frac{d_b \cdot v_{\text{cukor}} \cdot \rho_{\text{cukor}}}{\eta_{\text{cukor}}} = \frac{0,025 \cdot 0,57 \cdot 1120}{8,518 \cdot 10^{-4}} = 19123,8$

Tervezési példa: Cső a csőben hőcserélő

Hűtővízoldali Re szám:

- Tömegáram:
$$w_{HV} = \frac{q}{c_{p,HV} \cdot \Delta T_{HV}} = \frac{49830}{4180 \cdot (20 - 10)} = 1192 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$
$$W_{HV} = \frac{w_{HV}}{\rho_{HV}} = \frac{1192}{999,8} = 1192 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$
- Áramlási keresztmetszet:
$$A_{HV} = \frac{D_b^2 \cdot \pi}{4} - \frac{d_k^2 \cdot \pi}{4} = \frac{0,0393^2 \cdot \pi}{4} - \frac{0,03^2 \cdot \pi}{4} = 5,06 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$
- Sebesség:
$$v_{HV} = \frac{W_{HV}}{\rho_{HV} \cdot A_{HV}} = \frac{1192}{999,8 \cdot 5,06 \cdot 10^{-4}} = 2,36 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$
- Egyenértékű átmérő:
$$D_e = 4 \cdot \frac{A}{K} = \frac{4 \cdot A_{HV}}{D_b \cdot \pi + d_k \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 5,06 \cdot 10^{-4}}{0,0393 \cdot \pi + 0,03 \cdot \pi} = 0,0039 \text{ m}$$
- Re szám:
$$\text{Re}_{HV} = \frac{D_e \cdot v_{HV} \cdot \rho_{HV}}{\eta_{HV}} = \frac{0,0039 \cdot 2,36 \cdot 999,8}{103 \cdot 10^{-3}} = 16856,54$$

Tervezési példa: Cső a csőben hőcserélő

Cukoroldali hőátadási tényező:

$$\alpha_{\text{cukor}} = \frac{0,023 \cdot \text{Re}_{\text{cukor}}^{0,8} \cdot \text{Pr}_{\text{cukor}}^{0,4} \cdot \lambda_{\text{cukor}}}{d_b} = \frac{0,023 \cdot 19123,8^{0,8} \cdot 5,26^{0,4} \cdot 0,5809}{0,025} = 2720,5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Hűtővíz oldali hőátadási tényező:

$$\alpha_{\text{HV}} = \frac{0,023 \cdot \text{Re}_{\text{HV}}^{0,8} \cdot \text{Pr}_{\text{HV}}^{0,4} \cdot \lambda_{\text{HV}}}{D_e} = \frac{0,023 \cdot 16856,54^{0,8} \cdot 9,28^{0,4} \cdot 0,587}{0,0039} = 8517,6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Hőátbocsátási tényező kiszámítása:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{cukor}}} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{\text{HV}}}} = \frac{1}{\frac{1}{2720,5} + \frac{0,0023}{17,5} + \frac{1}{8517,6}} = 1622,29$$

Felvett és számított hőátbocsátási tényező közötti különbség:

$$\frac{k_{\text{felvett}}}{k_{\text{számított}}} = \frac{1100}{1622,29} = 0,678 \Rightarrow 32,2 \% \text{ eltérés} \geq 5 \%$$

Új hőátbocsátási tényező felvétele: $k_2 = 1620 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Számítás újbóli elvégzése

Tervezési példa: Cső a csőben hőcserélő

Hőáram, $\Delta T_{\log}$ értéke nem változik

Új hőátadó felület: $A=0,63 \text{ m}^2$

Ez alapján névleges átmérők felvétele táblázatból:

- NA külső: 40 ($D_b=39,3 \text{ mm}$)
- NA belső: 25 ($d_b=25,4 \text{ mm}$; $d_k=30 \text{ mm}$; $e=2,3 \text{ mm}$)

Csőhossz: $L=6,8 \text{ m}$

Sebességek és Re számok kiszámítása:

- $v_{\text{cukor}}=0,57 \text{ m/s}$ és $Re_{\text{cukor}}=19123,8$
- $v_{\text{HV}}=2,357 \text{ m/s}$ és $Re_{\text{HV}}=16856,54$

Hőátadási tényezők meghatározása:

- $\alpha_{\text{cukor}}=2720,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- $\alpha_{\text{HV}}=8517,6 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

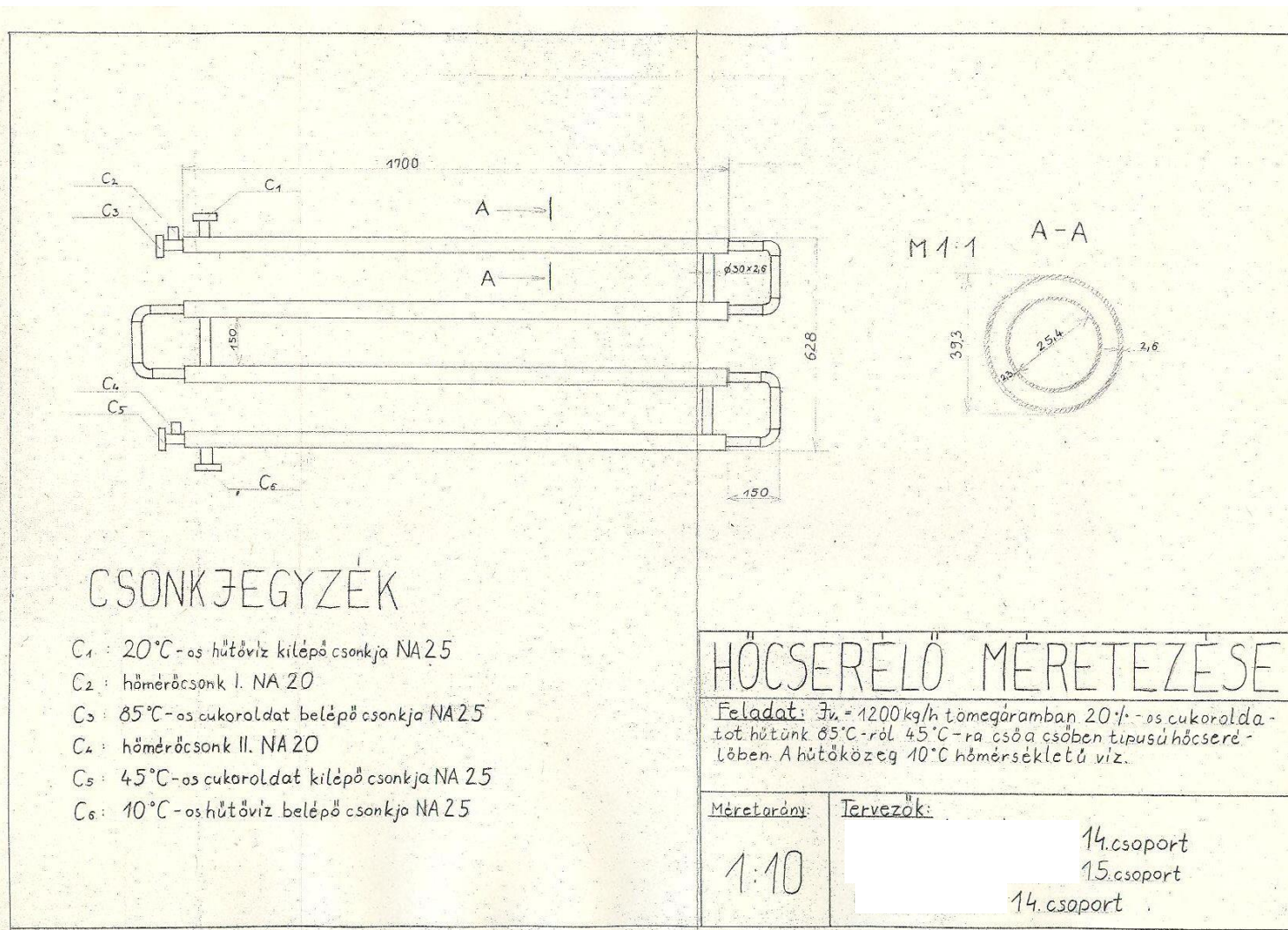
Hőátbocsátási tényező számítása:

- $k_3=1622,29 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

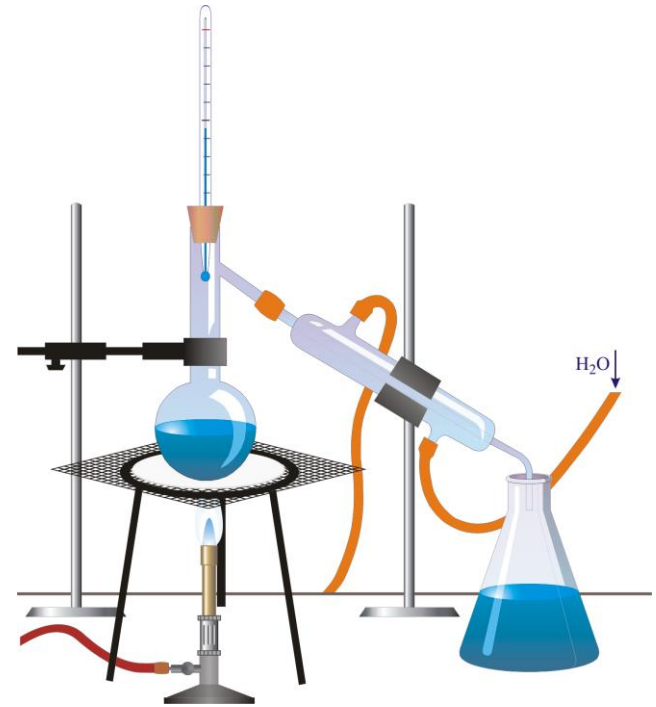
Eltérés: $0,14\% \leq 5 \%$

Jó a tervezett hőcserélő 😊

Tervezési példa: Cső a csőben hőcserélő



Lepárlás



Lepárlás definíciója

- Definíció: Két vagy több illékony komponenst tartalmazó homogén folyadékelegy szétválasztása az elegy **részleges elpárologatásával**, majd a keletkező **gőzök egyszeri vagy többszöri kondenzálásával**.
- A szétválasztás alapja (hajtóerő): az **eltérő gőznyomás**.
- Termékek: **desztillátum** és **maradék**.
- A lepárlásnak két módszere van:
 - desztilláció
 - rektifikálás
- Működtetés szerint lehet:
 - folyamatos
 - szakaszos

Lepárlás fajtái

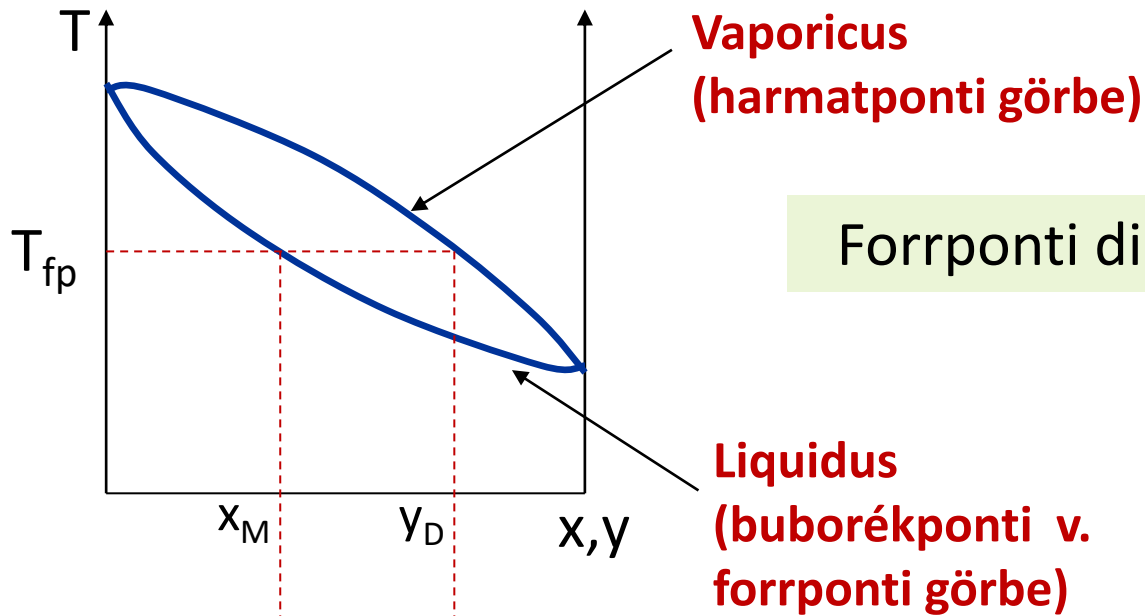
- **Desztillálás:** a folyadékelegyet egyszer, részlegesen párologtatjuk el. Olyan elegyek szétválasztására alkalmas, amelyek komponenseinek illékonysága nagymértékben különbözik. Folyadékelegyek előzetes szétválasztására alkalmas.
- A **rektifikálás:** az egymással nem egyensúlyban levő gőz- és folyadékfázis között kétirányú hő- és anyagátvitel megy végbe. A fázisok hőmérséklete különböző és azok egymáshoz képest ellenirányú áramlásban vannak. Az alkoholgyártásban és a kőolaj-feldolgozásban terjedt el.

Fázisegyensúlyi alapok

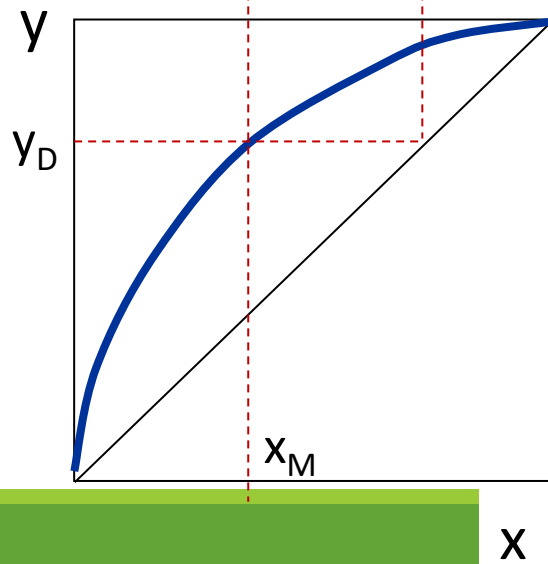
- Az az anyag az illékonyabb, amelyik forráspontja egy adott nyomáson alacsonyabb.
- Ha egy folyadékelegy forr, akkor (általános esetben) az illékonyabb komponens dúsul a gőztérben, a vele egyensúlyban lévő folyadékban pedig nagyobb hányadban lesz a kevésbé illékony komponens.
- Több komponensű elegy esetén az 'i' komponens illékonyága számszerűsíthető a gőzfázisban (y) és a folyadékfázisban (x) mérhető tömegtört/móltört hányadosával (megoszlási együttható):

$$m = \frac{y_i}{x_i}$$

Ideális elegyek fázisdiagramjai

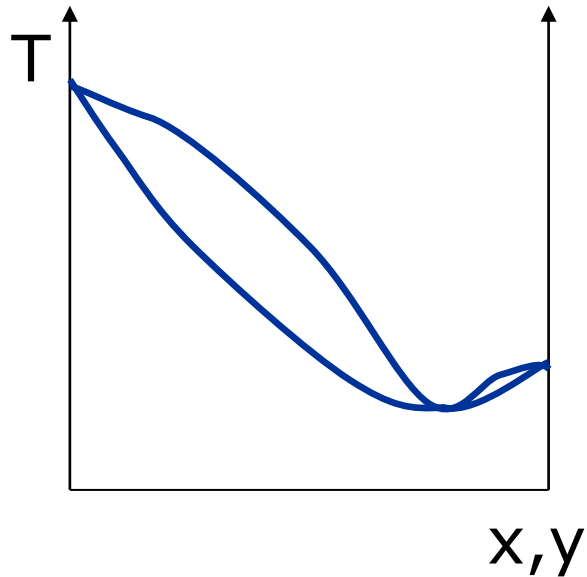


Forrponti diagram

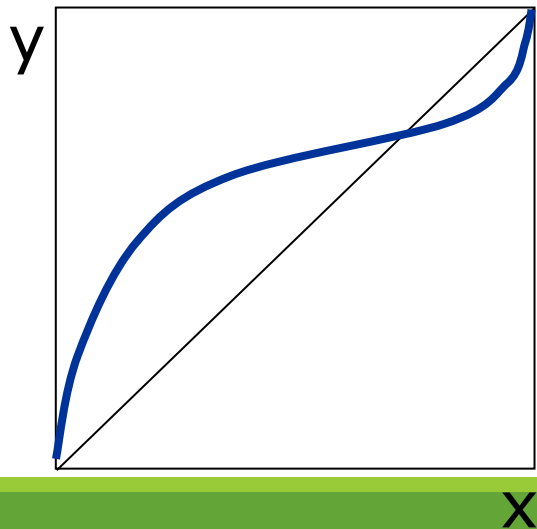


Egyensúlyi diagram

Reális elegyek fázisdiagramjai



- A Raoult és a Dalton tv. nem érvényes



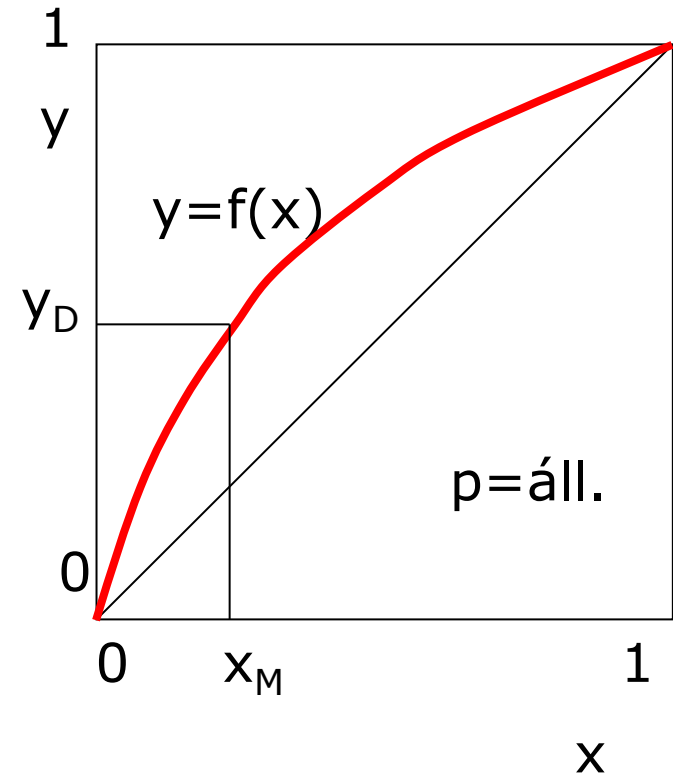
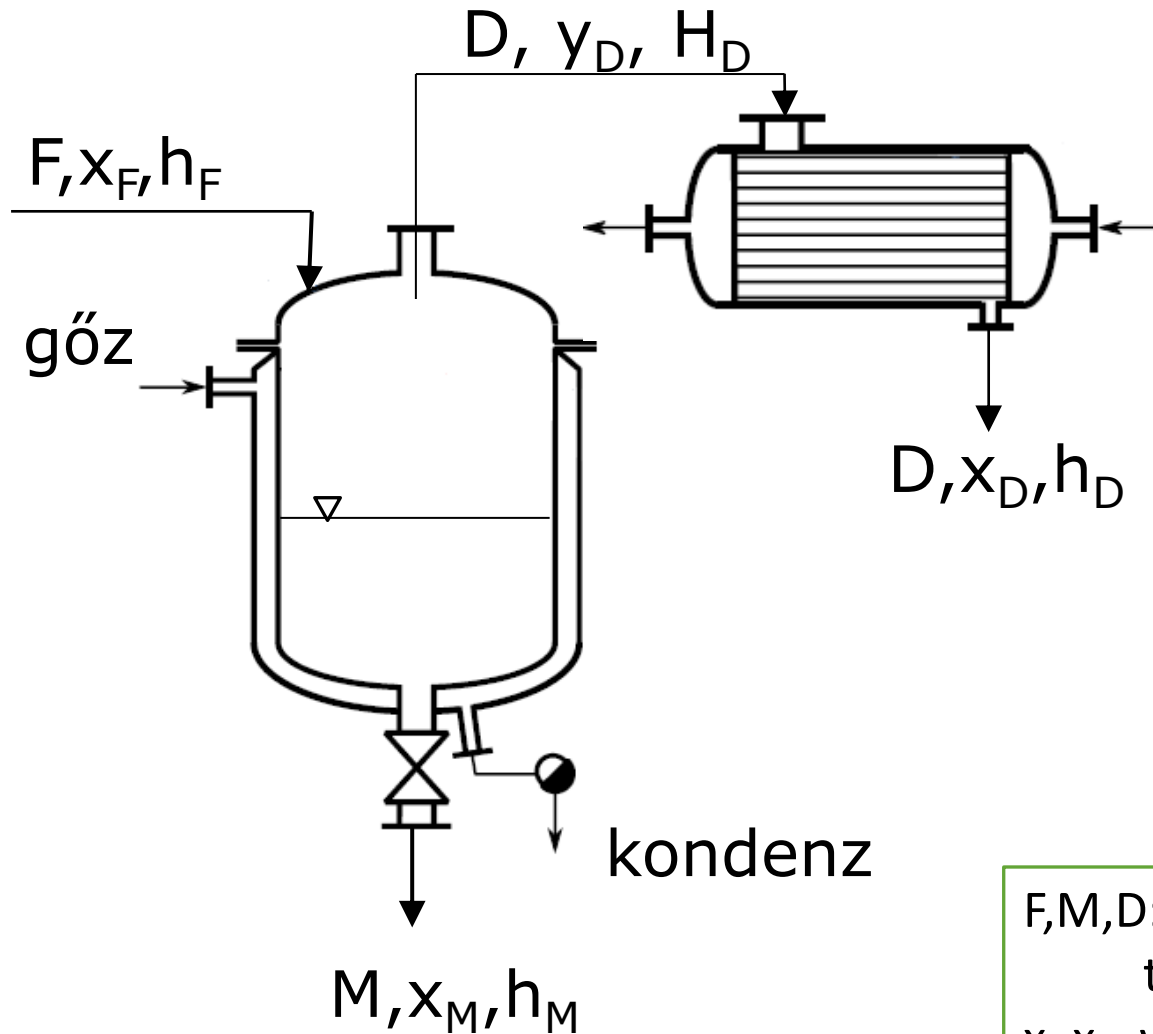
Desztilláció

FOLYAMATOS (EGYENSÚLYI) DESZTILLÁCIÓ

Egyensúlyi desztilláció forralóüsttel

- Hőcserélő segítségével felmelegítik az elegyet, majd folyamatosan forrásban tartják.
- A folyadékból adiabatikusan gőz képződik úgy, hogy a keletkezett gőz egyensúlyban legyen a folyadékkal.
- A kapott két fázist folytonosan elkülönítik egymástól.
- A fázisok árama és összetétele (egyéb feltételek változatlansága mellett) időben állandó.

Egyensúlyi desztilláció forralóüsttel



F, M, D : tömegáram vagy
térfogatáram (áll.)
 x_F, x_M, y_D : tömegtört vagy
térfogattört (áll.)

Egyensúlyi desztilláció

- *Egy egyensúlyi fokozatnak* megfelelő, állandósult állapotban üzemeltetett desztillációs művelet.
- A betáplálást *részlegesen elpárologtatják*.
- A keletkező folyadék (a maradék) és a pára (desztillátum) egymással *egyensúlyban vannak*, azaz az x és y összetételek az egyensúlyi görbe egyetlen pontjának koordinátái.
- A fázisok árama és összetétele (egyéb feltételek változatlansága mellett) *időben állandó*.
- A forrási hőmérséklet a desztilláció alatt *állandó*.

Anyag- és komponensmérleg

- A teljes anyagmérleg (AM): $F = D + M$

- Az illékony komponens mérlege (KM):

$$F \cdot x_F = D \cdot y_D + M \cdot x_M$$

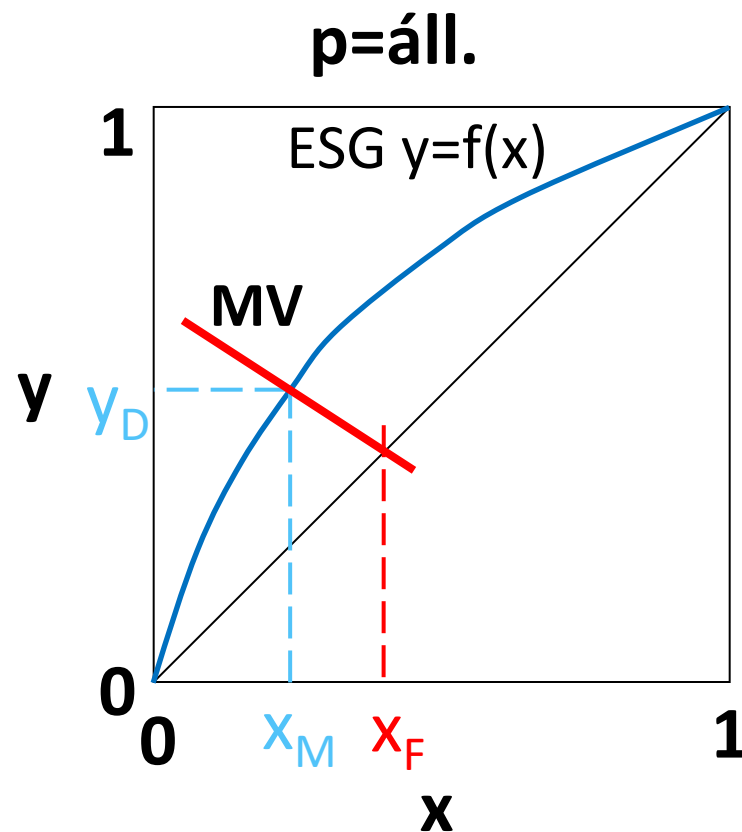
- A folyamat munkavonalának (MV) egyenlete:

$$y_D = -\frac{M}{D} \cdot x_M + \frac{F \cdot x_F}{D}$$

Munkavonal

- A munkavonal átmegy az (x_F, x_F) és (x_M, y_D) pontokon
- iránytangense:

$$-\frac{M}{D} = -\frac{y_D - x_F}{x_F - x_M}$$

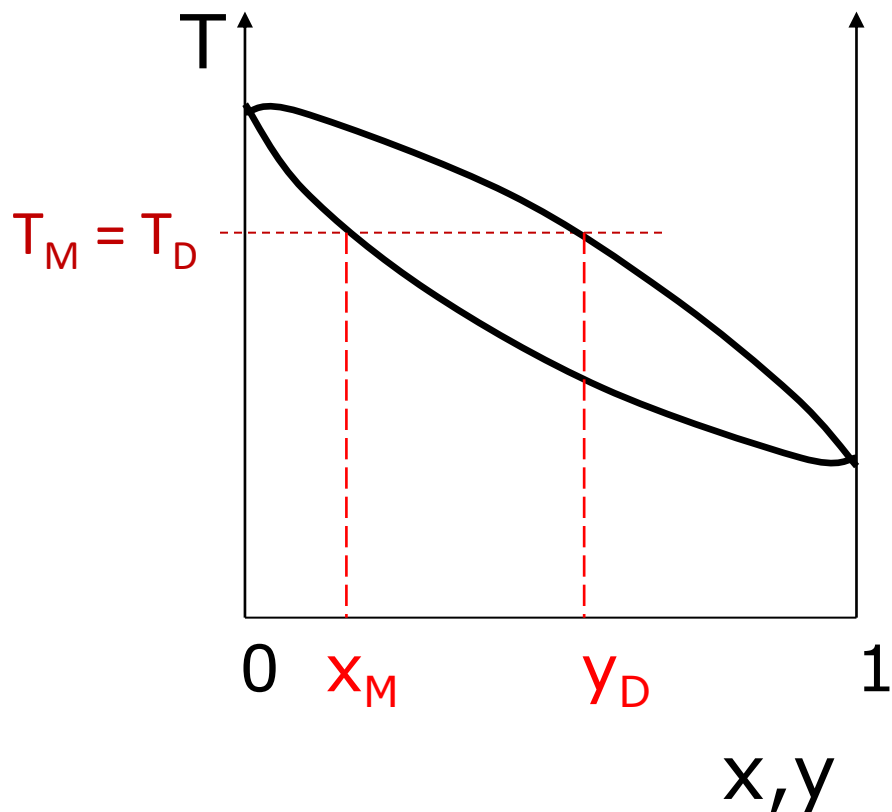


Egyensúlyi desztilláció

- A munkavonal meredeksége a maradék és a pára áramának aránya. Ezeket mi állítjuk be a fűtés (esetleg hűtés) mértékével.
- Folyamatos egyensúlyi desztillációval nem lehet tetszőleges tisztaságú párat és maradékot előállítani.
- Ritkán használják önálló műveletként, mert csak korlátozott tisztaság érhető el. Egy elméleti fokozatnak megfelelő elválasztást lehet elérni.

Forráspont

- A forrponti diagramon az egyensúlyban lévő fázisok hőmérséklete megegyezik



Hő (entalpia) mérleg

- A művelet hőszükséglete (kondenzátor nélkül) a hőmérlegből számolható:

$$F \cdot h_F + q = D \cdot H_D + M \cdot h_M$$

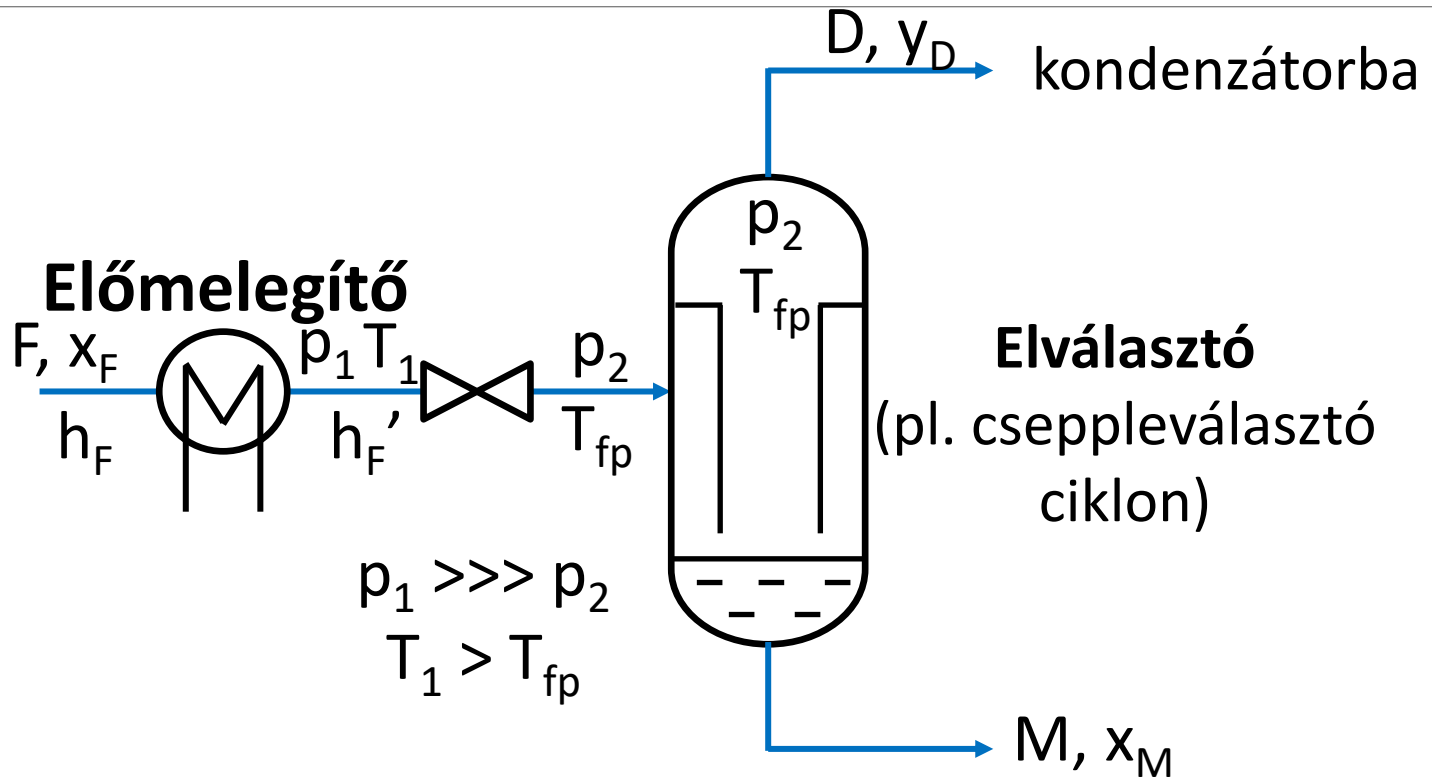
H_D - a telített gőz entalpiája [kJ/kg] vagy [kJ/kmol]

h_F, h_M - a folyadék entalpiája [kJ/kg] vagy [kJ/kmol]

- A kondenzátorban elvonandó hőáram:

$$q_k = D \cdot \left(\underbrace{H_D - h_D}_{r_D} \right)$$

Flash desztilláció



- Az előmelegítőben nyomás alatt olyan magas hőmérsékletre melegítjük a folyadékot, hogy még ne forrjon fel, de a nyomáscsökkentés után már a forrpontja felett legyen. A felmelegedett folyadék a fojtás után állandó nyomáson szétválik gőz- és folyadékfázisra, amelyet fázis-szétválasztó különít el. A gőzfázist kondenzátor kondenzálja.
- A művelet során az idő függvényében a rendszer össznyomása, hőmérséklete, valamint a két egyensúlyi fázis összetétele nem változik.

Feladat – egyensúlyi desztilláció

1000 kg/h 0,1 kg etil alkohol/kg elegy koncentrációjú etil-alkohol – víz elegyet egyensúlyi desztillációval választunk szét. A maradék 4 tömeg%-os kell, hogy legyen.

- Határozza meg a termékek mennyiségét és összetételét!
- Határozza meg az elegy forráspontját!
- Számítsa ki a relatív illékonyságot!

$$F=1000 \text{ kg/h}$$

$$x_F = 0,1 \text{ kg etanol/kg elegy}$$

$$x_M = 0,04 \text{ kg etanol/kg elegy}$$

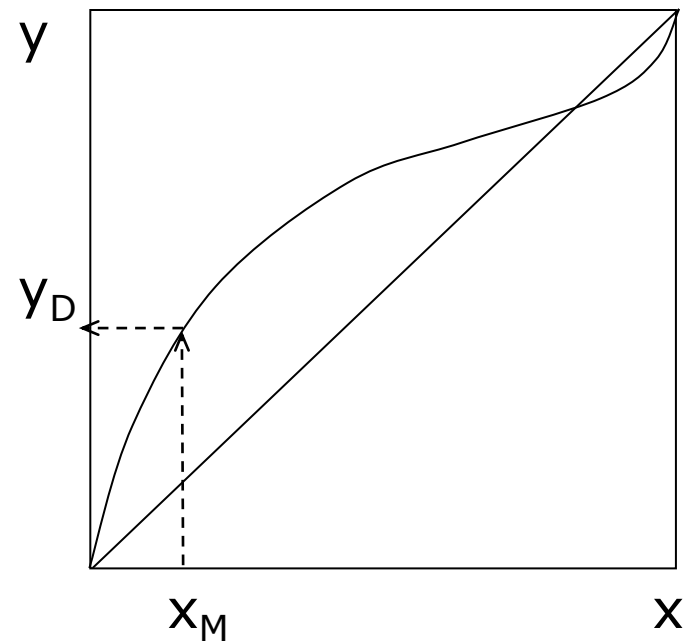
$$y_D, M, D=?$$

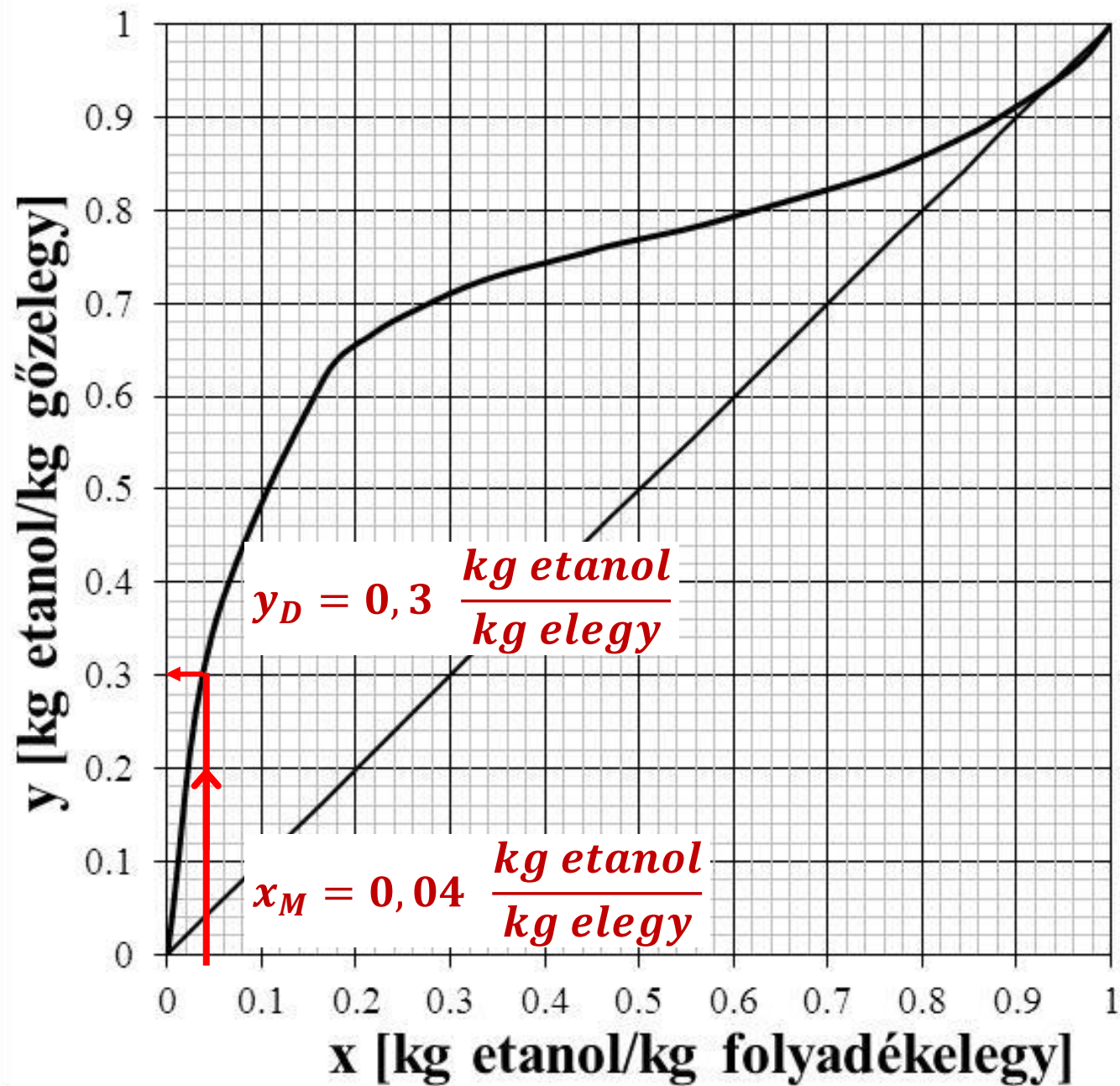
$$T = ?$$

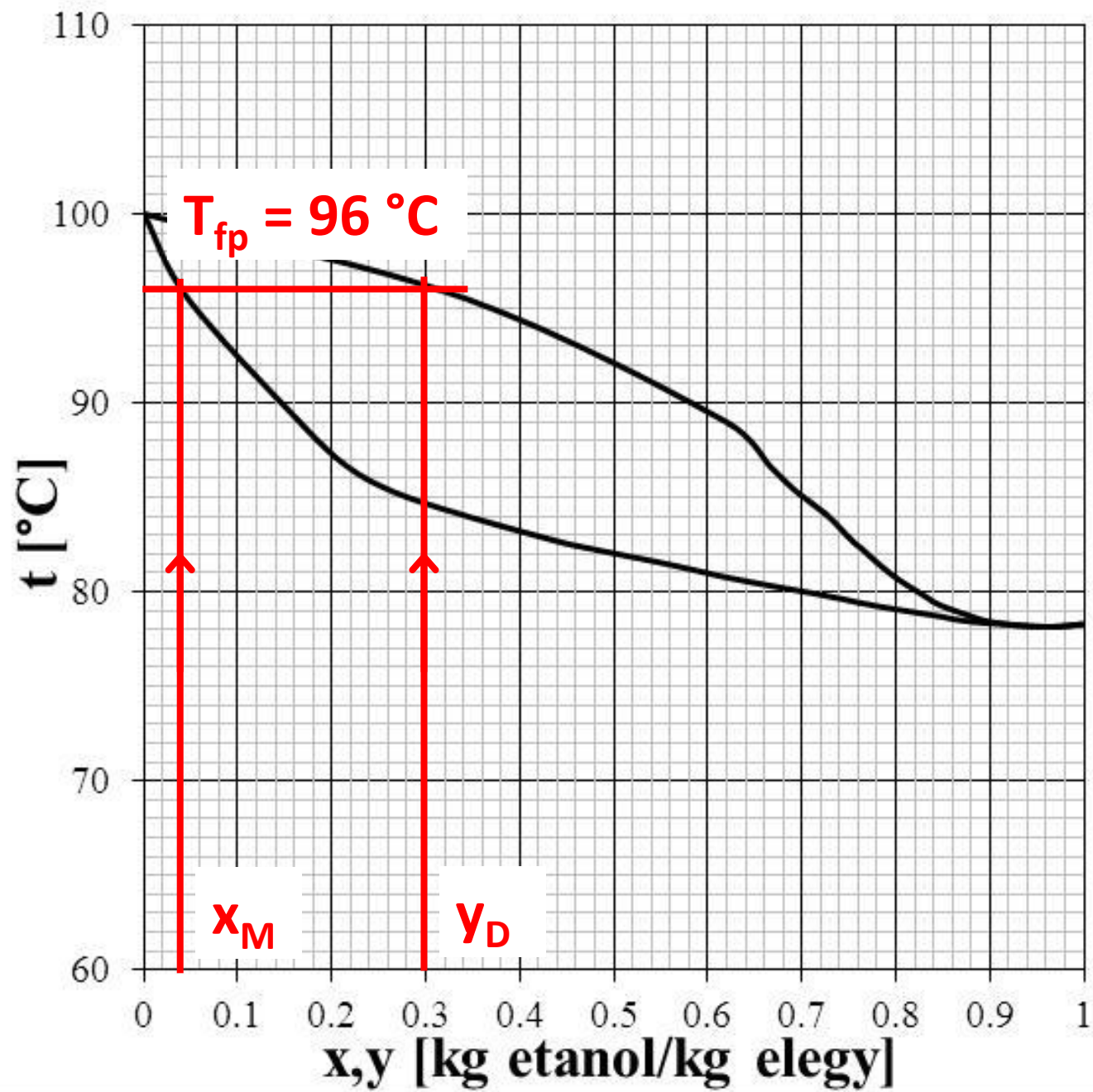
$$\alpha=?$$

Feladat – egyensúlyi desztilláció

- x_M és y_D egymással egyensúlyban lévő fázisok koncentrációi
- Egyensúlyi diagramról leolvasható a desztillátum-összetétel:







Feladat – egyensúlyi desztilláció

- Anyagmérleg: $F = D + M \rightarrow M = F - D$

- Komponensmérleg: $F \cdot x_F = D \cdot y_D + M \cdot x_M$

$$1000 \cdot 0,1 = D \cdot 0,3 + (1000 - D) \cdot 0,04$$

$$\underline{D = 230,77 \text{ kg/h}} \text{ desztillátum}$$

$$\underline{M = 769,23 \text{ kg/h}} \text{ maradék}$$

- Forrponti diagramról: $T_{fp} = 96 \text{ }^\circ\text{C}$

- Relatív illékonyság: a két komponens relatív megoszlása a fázisok között

$$\alpha = \frac{\frac{y_D}{x_M}}{\frac{1 - y_D}{1 - x_M}} = \frac{\frac{0,3}{0,04}}{\frac{0,7}{0,96}} = 10,29$$



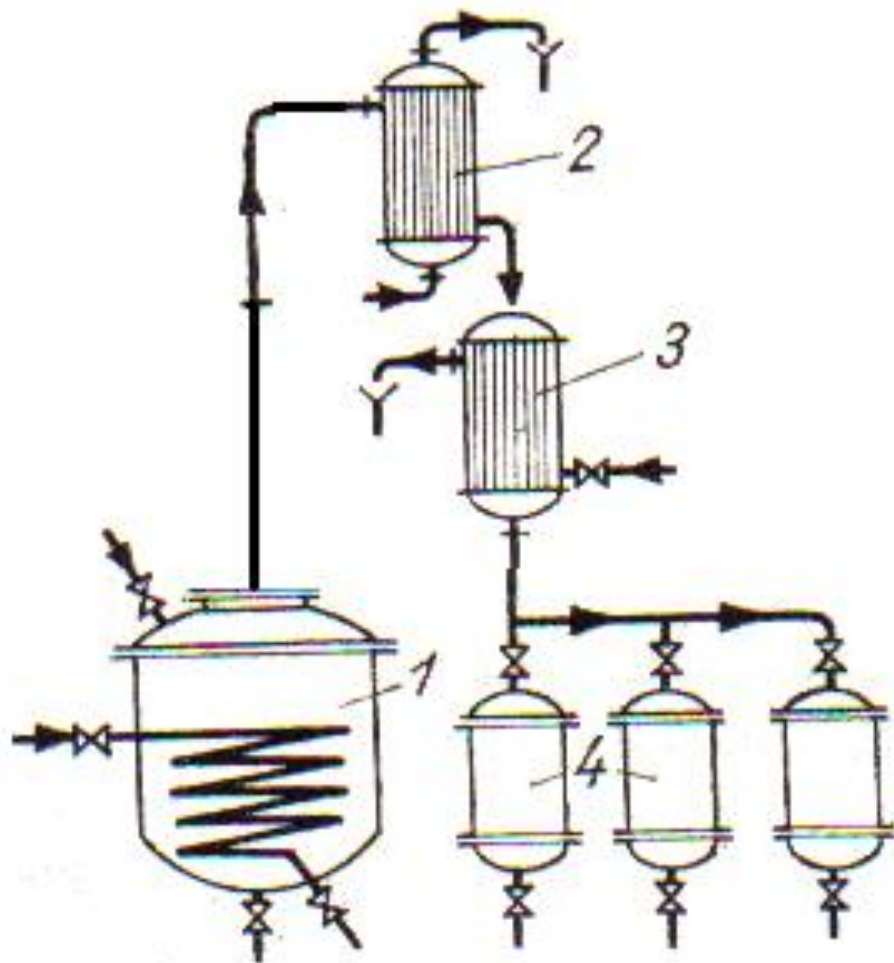
Desztilláció

DIFFERENCIÁLIS (SZAKASZOS) DESZTILLÁCIÓ

Szakaszos desztilláció

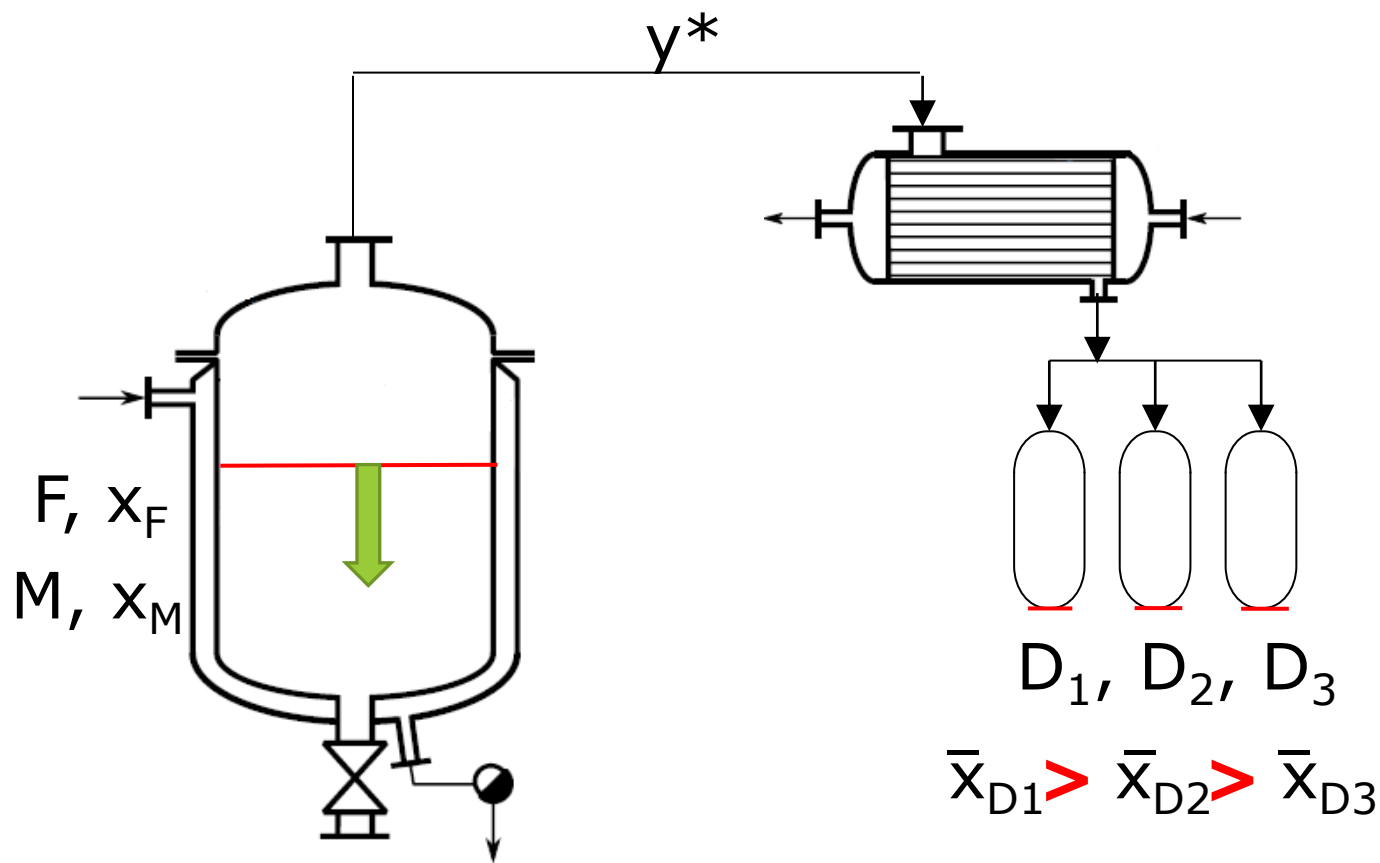
- A szétválasztandó elegy *teljes mennyiségét* a desztilláló üstbe töltjük.
- A fűtés beindításával állandó forrásban tartjuk az elegyet, *utántöltés nélkül* egy részét elpárologtatjuk.
- A keletkező gőzöket kondenzálás után elvezetjük.
- Az üstben a folyadék mennyisége *csökken* az időben.
- Mind a folyadék, mind a gőz összetétele *folyamatosan szegényedik* az illékonyabb komponensben.
- A forrási hőmérséklet a szétválasztás alatt *nő*.

Szakaszos desztilláció művelete



- 1 – forralóüst
- 2 – deflegmátor
- 3 – hűtő
- 4 – szedőedények

Szakaszos desztilláció



F, D, M : anyagmennyiség [kg vagy m^3]
 x_F, x_D, x_M : konc. [tömegtört vagy térfogattört]
 Q : hőmennyiség [kJ]

Szakaszos desztilláció

- Az egyszerű egyszerű szakaszos desztilláció matematikai leírásakor az alábbi egyszerűsítő feltételezésekkel élünk:
- az üstben forrásban levő folyadék és a belőle keletkező pára minden időpillanatban egyensúlyban van,
- a pára nem visz magával folyadékcseppeket (a cseppelragadás elkerülhető, ha nem használnak túlzottan intenzív fűtést – fontos a fűtési sebesség szabályozása),
- a pára részlegesen sem kondenzál le a kondenzátorig vezető úton (üst páratere és csővezetékek). Az üst és a páravezeték tökéletesen szigetelt (nincs hőveszteség).
- A matematikai leírása differenciálegyenleteket igényel az állandósult állapot hiánya miatt, mint hogy *minden egyszerű szakaszos művelet időben változó körülményeket jelent.*

Differenciális komponensmérleg

- Az üstben lévő folyadék mennyisége: L
- Az üstben lévő folyadékban az illékonyabb komponens koncentrációja: x
- $d\tau$ végtelen kis idő alatt elpárolgott folyadék elegy mennyisége: dL
- $d\tau$ végtelen kis idő alatt bekövetkező koncentráció-változás: dx
- Az üstben lévő folyadékkal egyensúlyban lévő gőz koncentrációja: y^*

$$\underbrace{L \cdot x}_{\tau} = \underbrace{(L - dL) \cdot (x - dx) + y^* \cdot dL}_{\tau + d\tau}$$

$$\cancel{L \cdot x} = \cancel{L \cdot x} - dL \cdot x - L \cdot dx + \cancel{dL \cdot dx} + y^* \cdot dL$$

Differenciális komponensmérleg

$$(y^* - x) \cdot dL = L \cdot dx$$

$$\frac{dL}{L} = \frac{dx}{y^* - x}$$

Integrálva $F \rightarrow M$ és $x_F \rightarrow x_M$ között:

$$\int_F^M \frac{dL}{L} = \int_{x_F}^{x_M} \frac{dx}{y^* - x}$$

Rayleigh integrál

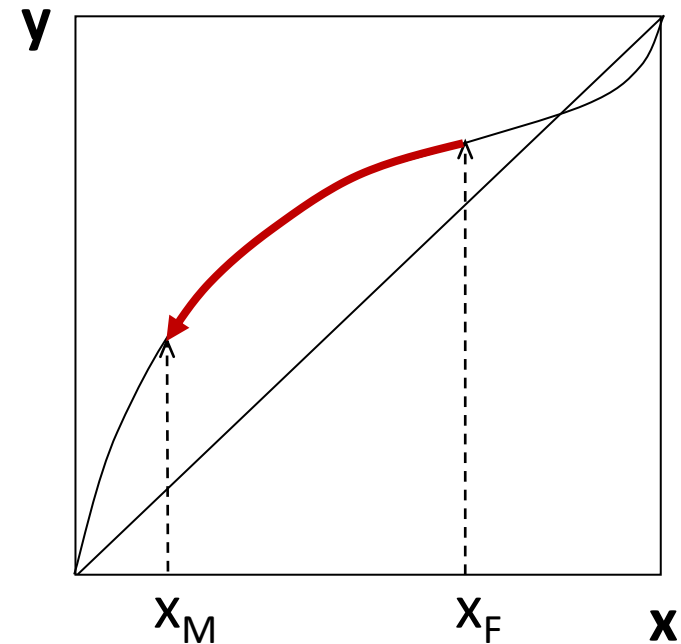
Rayleigh integrál megoldása

- Integrálási határok megfordítása:

$$\int_M^F \frac{dL}{L} = \int_{x_M}^{x_F} \frac{dx}{y^* - x}$$

- Bal oldal integrálható:

$$\ln \frac{F}{M} = \int_{x_M}^{x_F} \frac{dx}{y^* - x}$$



Desztillátum koncentrációja

A kapott desztillátum **átlagos** koncentrációja a *teljes folyamatra* felírt komponens- és anyagmérlegből fejezhető ki.

Komponensmérleg: $F \cdot x_F = M \cdot x_M + D \cdot \overline{y}_D$

Anyagmérleg: $F = D + M \rightarrow D = F - M$

$$\overline{y}_D = \frac{F \cdot x_F - M \cdot x_M}{F - M}$$

Feladat – szakaszos desztilláció

Etil-alkohol – víz elegyének szétválasztását differenciális desztillációval végezzük. A kezdetben 200 kg mennyiségű, 40 tömeg% etil-alkohol tartalmú elegyet addig kell desztillálni, míg a maradék koncentrációja 5 tömeg% lesz. Határozza meg a termékek mennyiségét és a desztillátum átlagos összetételét!

$$F = 200 \text{ kg}$$

$$x_F = 0,40 \text{ kg etil-alkohol/kg elegy}$$

$$x_M = 0,05 \text{ kg etil-alkohol/kg elegy}$$

$$D, M = ?$$

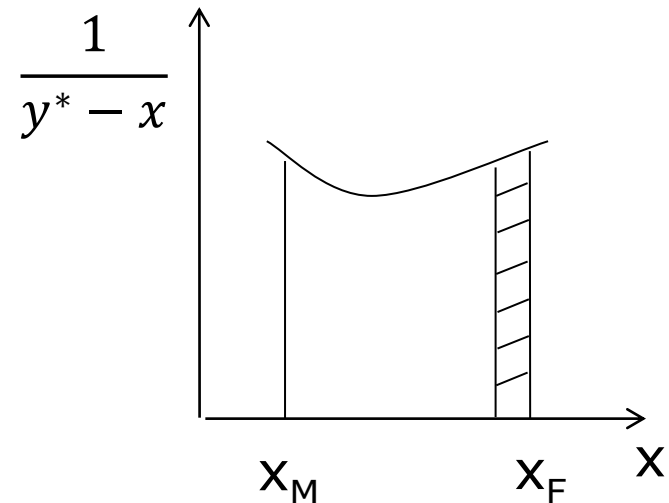
$$\overline{x_D} = ?$$

Feladat – szakaszos desztilláció

- Komponensmérleg differenciál-egyenlet formájában:

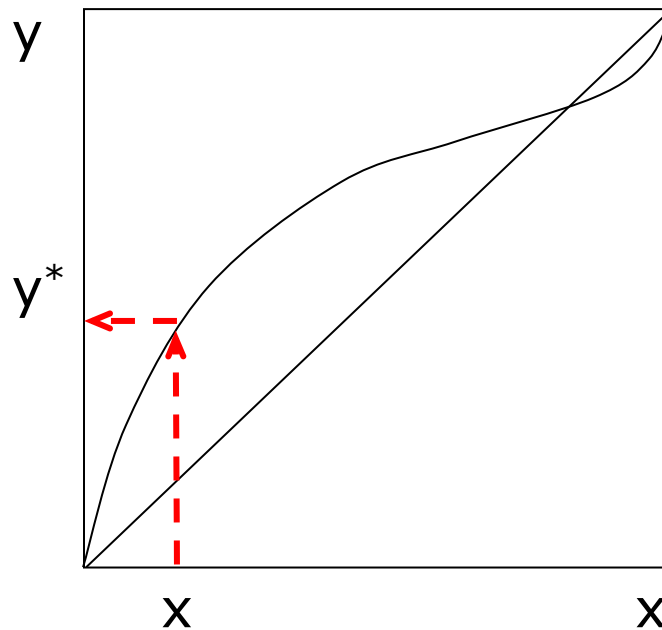
$$\ln \frac{F}{M} = \int_{x_M}^{x_F} \frac{1}{y^* - x} \cdot dx \quad \text{Rayleigh integrál}$$

- A Rayleigh integrál jobb oldala az $\frac{1}{y^* - x} \sim x$ függvény görbe alatti területével egyezik meg, ami numerikus úton, vagy grafikusan a trapéz-módszerrel számítható:

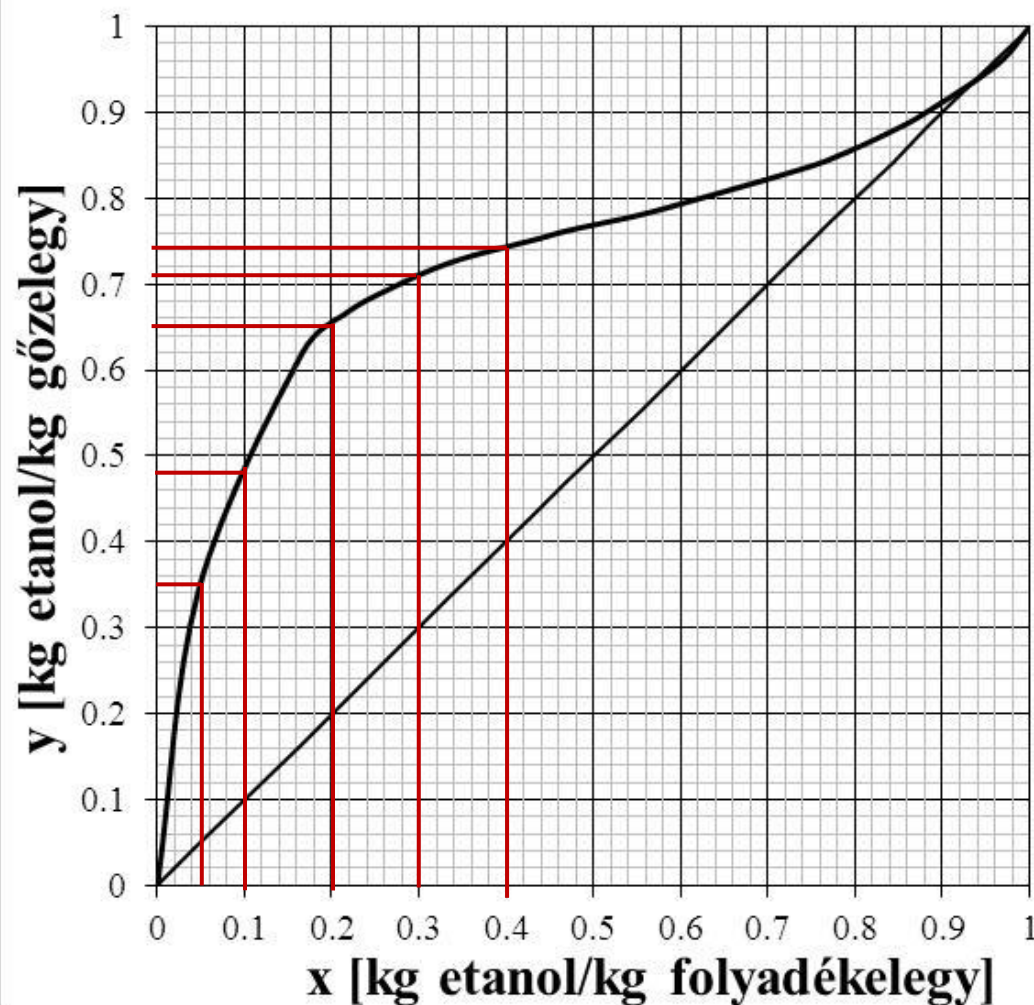


Feladat – szakaszos desztilláció

x	$0,40 = x_F$	$0,30$	$0,20$	$0,10$	$0,05 = x_M$
y^*					
$\frac{1}{y^* - x}$					



x	$0,40 = x_F$	$0,30$	$0,20$	$0,10$	$0,05 = x_M$
y^*	$0,74$	$0,71$	$0,65$	$0,48$	$0,35$
$\frac{1}{y^* - x}$	$2,94$	$2,44$	$2,22$	$2,63$	$3,33$



Feladat – szakaszos desztilláció

$$t_1 = (x_1 - x_2) \cdot \frac{y_1 + y_2}{2}$$

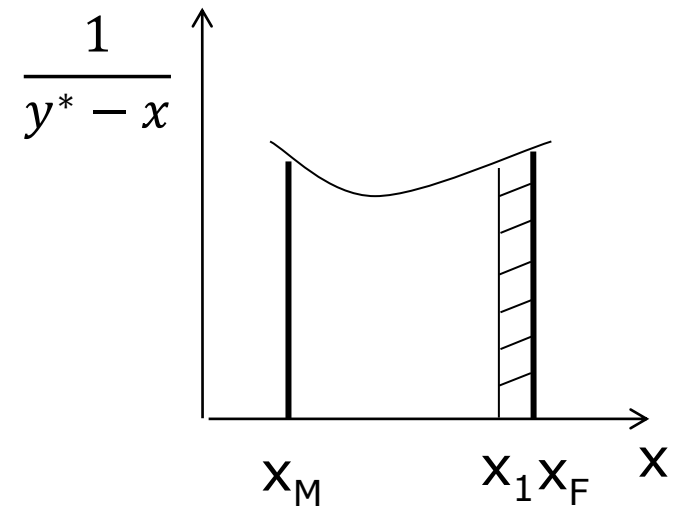
$$t_1 = (0,4 - 0,3) \cdot \frac{2,94 + 2,44}{2} = 0,269$$

$$t_2 = (0,3 - 0,2) \cdot \frac{2,44 + 2,22}{2} = 0,233$$

$$t_3 = (0,2 - 0,1) \cdot \frac{2,22 + 2,63}{2} = 0,243$$

$$t_4 = (0,1 - 0,05) \cdot \frac{2,63 + 3,33}{2} = 0,149$$

$$t_{\text{össz}} = 0,894$$



Feladat – szakaszos desztilláció

$$\ln \frac{F}{M} = t_{\text{össz}} = 0,894$$

$$M = \frac{F}{e^{0,894}} = \frac{200}{2,445} = 81,8 \text{ kg}$$

$$D = F - M = 200 - 81,8 = 118,2 \text{ kg}$$

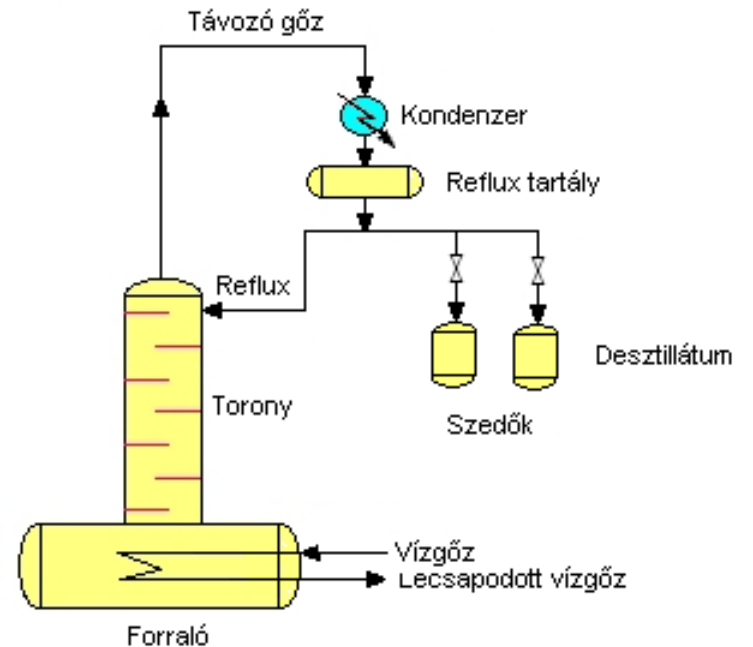
Desztillátum átlagos összetétele:

$$F \cdot x_F = M \cdot x_M + D \cdot \overline{x_D}$$

$$\overline{x_D} = \frac{F \cdot x_F - M \cdot x_M}{D} = \frac{200 \cdot 0,4 - 81,8 \cdot 0,05}{118,2} = 0,642 \frac{\text{kg etanol}}{\text{kg elegy}}$$

Rektifikálás

SZAKASZOS REKTIFIKÁLÁS



Szakaszos rektifikálás

- Ismételt desztilláció, többfokozatú ellenáramú lepárlási művelet.
- A fázisérintkezés a kolonnán (erősítő feltéten) megy végbe.
- A kolonna lehet:
 - tányéros, amely lépcsőzetes fázisérintkezést valósít meg,
 - töltetes, amelyen a fázisok érintkezése folytonos.

Szakaszos rektifikálás

- A szakaszos rektifikálás elméleti alapjait a kétkomponensű elegy példáján tárgyaljuk.
- A szakaszos rektifikálás instacionárius művelet, és akkor alkalmazzák, ha viszonylag kis mennyiségű anyagot kell feldolgozni, és a **szétválasztandó elegy sok szilárd anyagot tartalmaz, például az élelmiszeriparban a gyümölcscefre lepárlása.**

Szakaszos rektifikálás

- A lepárlandó folyadékkal feltöltik az üstöt, az üstben a folyadékot forralják és elgőzölögtetik. A gőzök a kolonnán felfelé haladnak, a kondenzátor a gőzöket kondenzálja.
- A képződött folyadék egy részét a kolonnába (oszlopba) refluxként visszavezetik, a másik részét egy hűtőn keresztül egy vagy több szedőedénybe összegyűjtik.

Erősítő feltét/oszlop

Az oszlop egy hengeres kialakítású, leggyakrabban fémből vagy kisebb léptékben üvegből készült cső. Ezen belül helyezkednek el a tányérok vagy töltetek, amelyek a felfelé haladó pára és a lefelé csorgó folyadék intenzív érintkeztetését (keveredését) biztosítják.



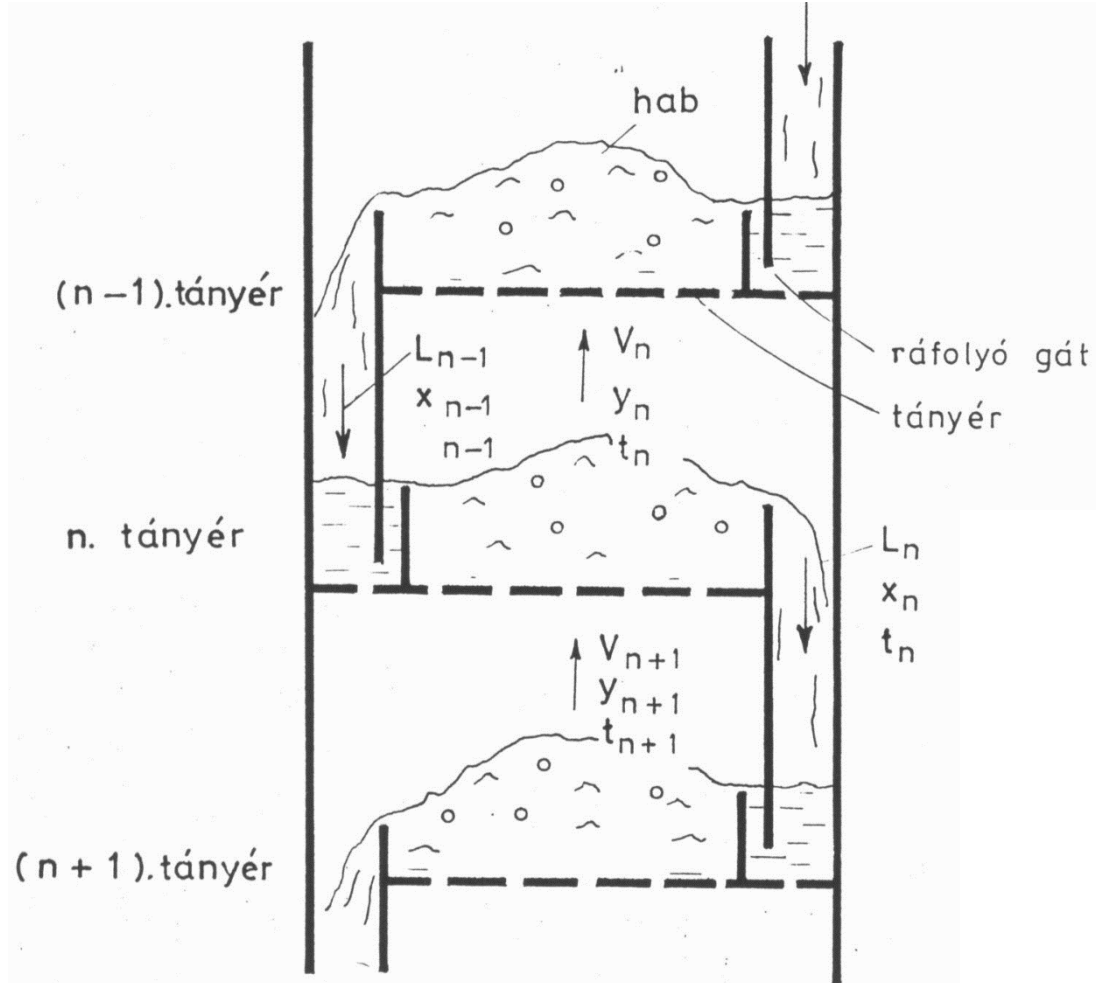
Tányéros oszlop működése

- A tányéron a folyadék- és gőzfázis intenzív érintkeztetése valósul meg. A tányéron folyadékréteg alakul ki, a gőz egyenletesen elosztva belebuborékol ebbe a folyadék-rétegbe és onnan továbbhalad a felette lévő tányérra. A folyadék a tányért lefelé hagyja el és ömlik az alatta levő tányérra.
- Tételezzük fel, hogy minden tányér ideálisan működik, azaz bármilyen összetételben is lép be a tányérra a folyadék- és gőzfázis, a kilépéskor egyensúlyi összetételűek lesznek: azaz a tányér egy **elméleti tányért** valósít meg.

Tányéros oszlop működése

- A gőz hőmérséklete magasabb, mint a folyadéké, így a gőz egy része átadja hőjét a folyadéknak, részben lekondenzálódik, miközben a folyadék részben elpárolog.
- A folyamat addig tart, amíg a két fázis közös egyensúlyi hőmérséklete ki nem alakul, ehhez a hőmérséklethez az egyensúlyi x_n , y_n koncentrációk tartoznak.
- Felfelé haladva a gőz az illékonyabb komponensben egyre dúsabb lesz (a tányérok egyensúlyi hőmérsékletei pedig egyre alacsonyabbak), lefelé haladva a kevésbé illékony komponens koncentrációja nő.

Rektifikáló tányér

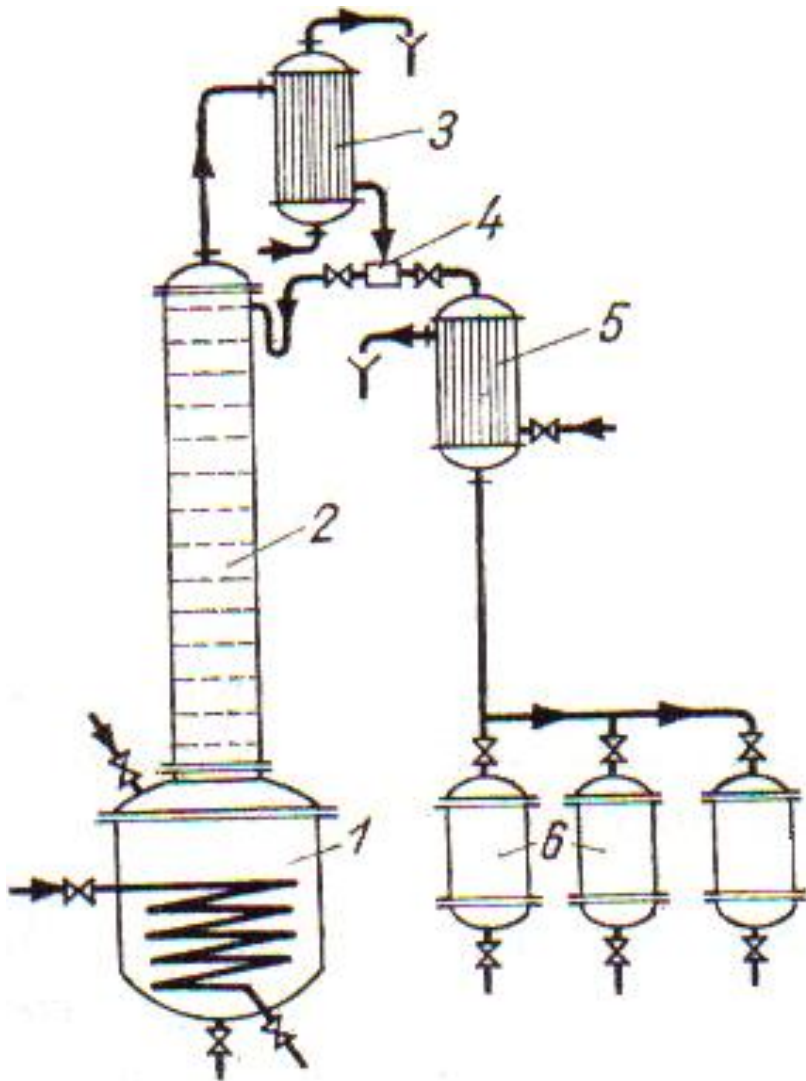


$$x_{n-1} > x_n > x_{n+1}$$

$$y_{n-1} > y_n > y_{n+1}$$

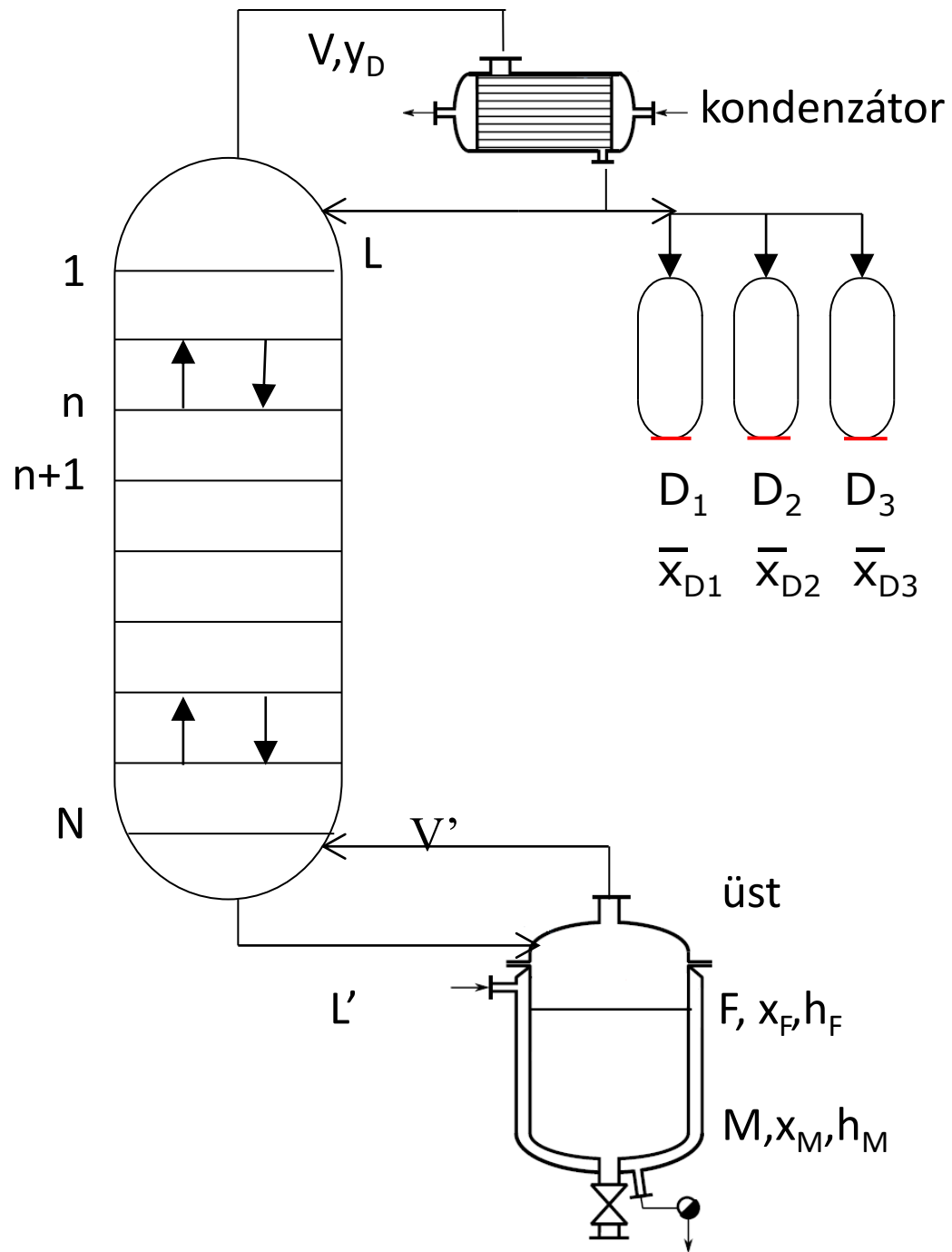
$$t_{n-1} < t_n < t_{n+1}$$

Szakaszos rektifikálás elvi rajza



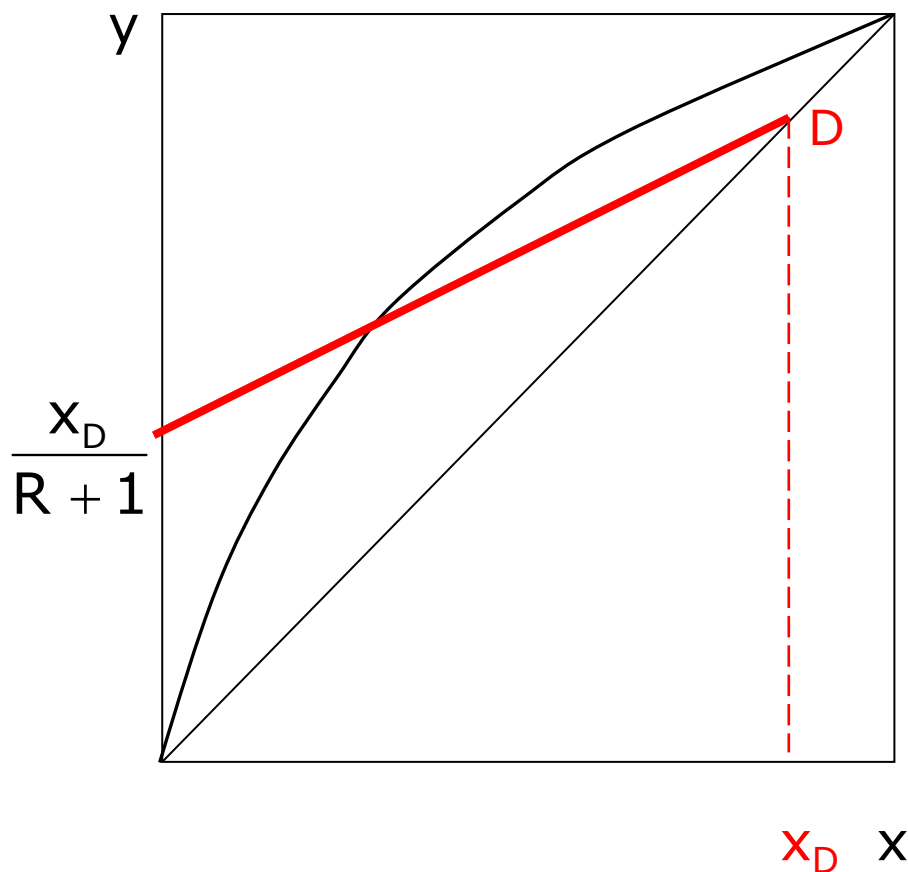
- 1** – forralóüst
- 2** – rektifikálóoszlop
- 3** – deflegmátor
- 4** – refluxelosztó
- 5** – hűtő
- 6** – szedőedények

$$R = \frac{L}{D}$$



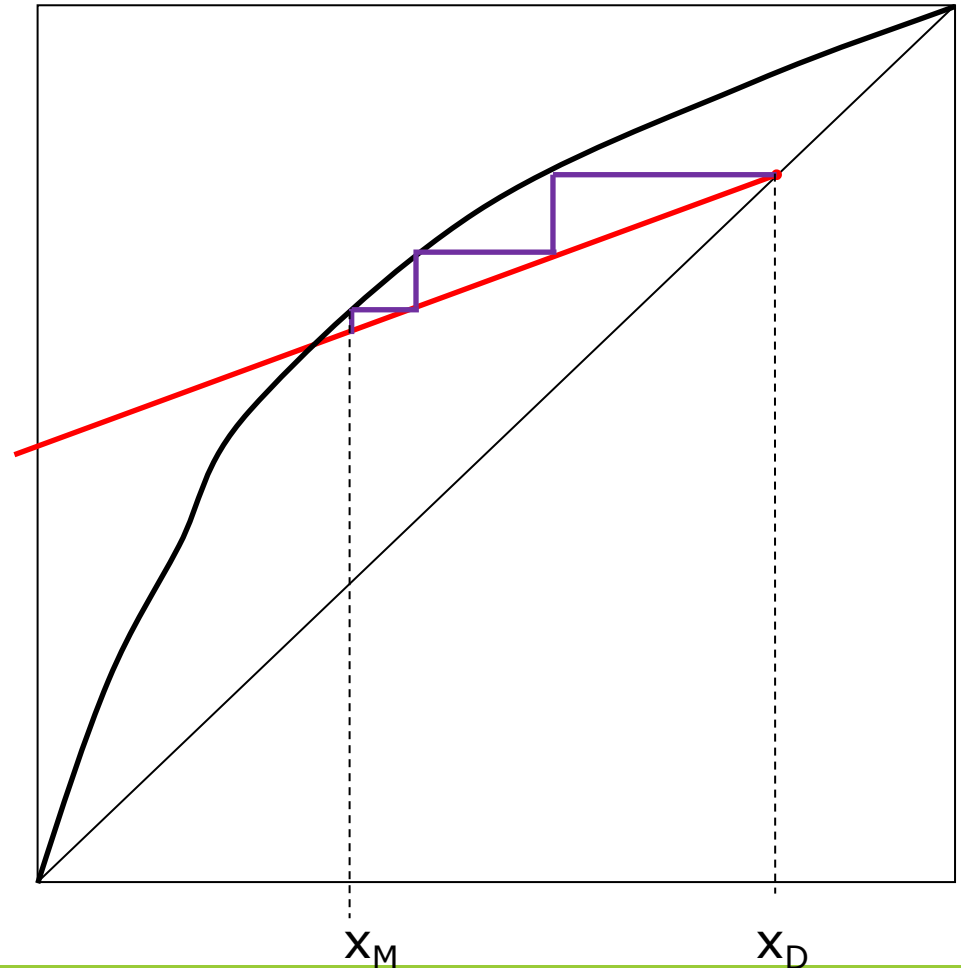
Munkavonal

$$y_{n+1} = \frac{R}{R+1} \cdot x_n + \frac{x_D}{R+1}$$



Elméleti tányérszám

- Megadja, hogy a folyamat során hányszor kerül egyensúlyba a gőz- és a folyadékelegy.
- Jele: N_T
- meghatározása: McCabe – Thiele lépcsőszerkesztéssel.



Szakaszos rektifikálás

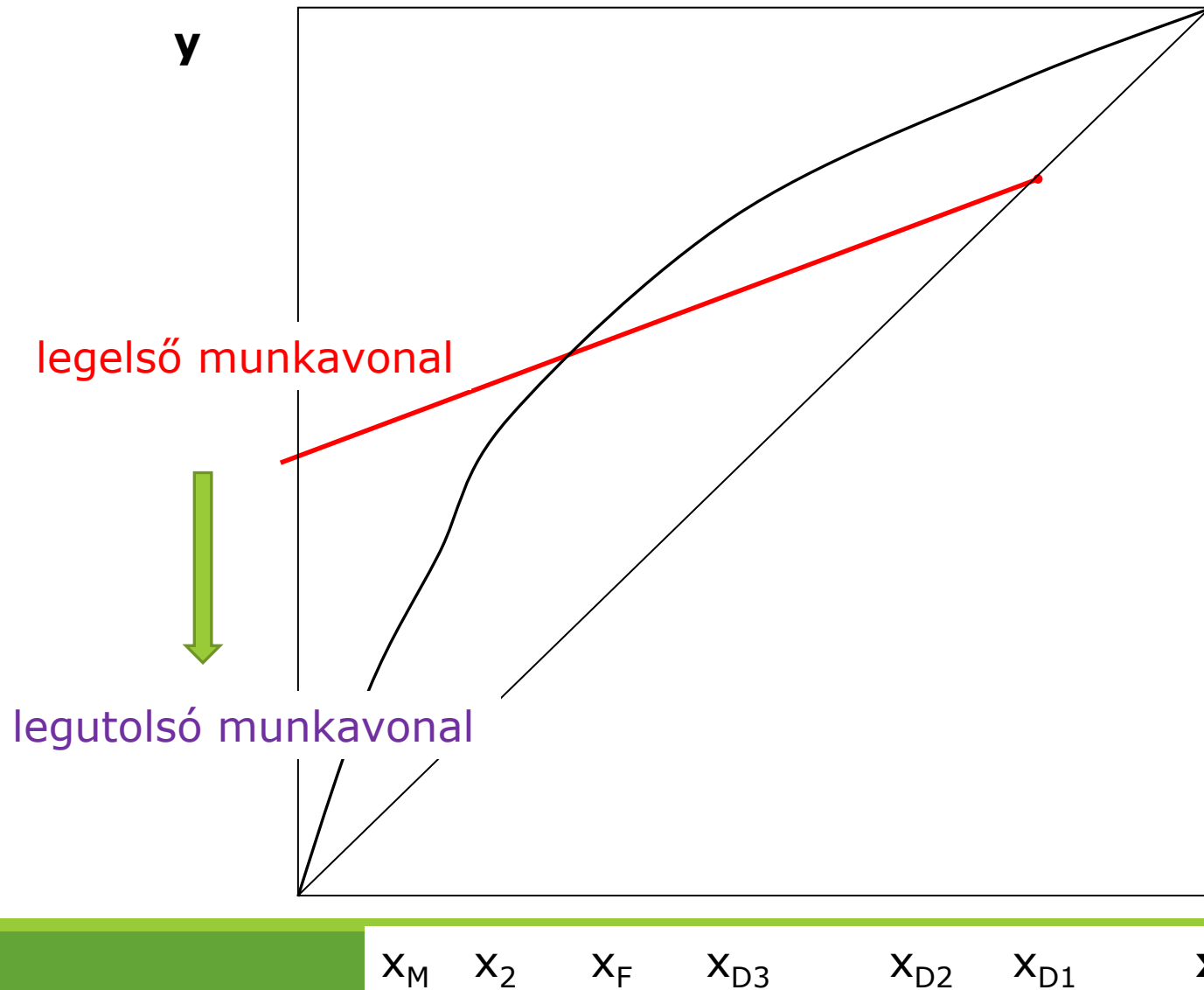
ÁLLANDÓ REFLUXARÁNY MELLETT



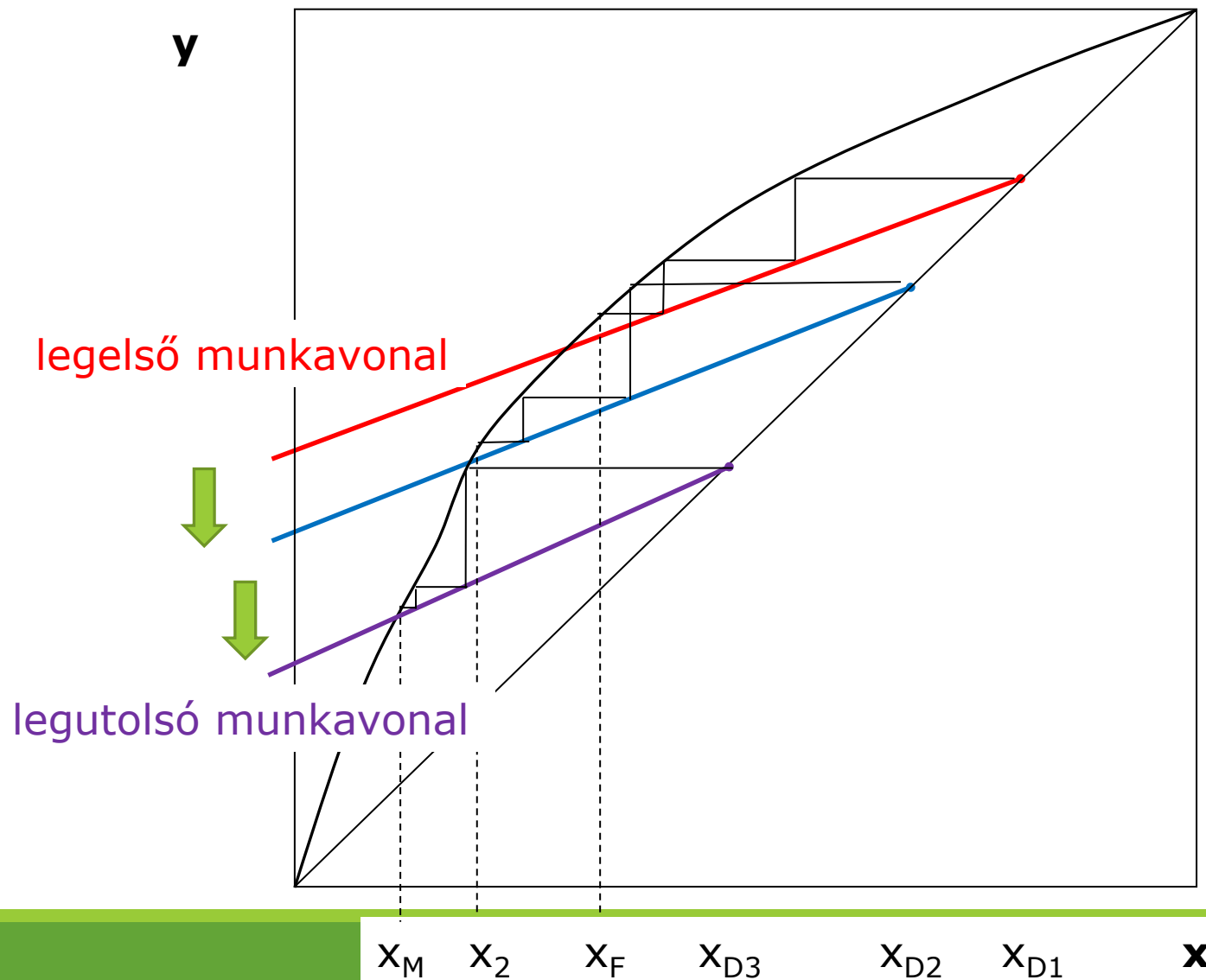
Szakaszos rektifikálás $R = \text{áll.}$ esetben

- Az x konc. folyamatosan csökken az időben,
- ezért a munkavonal minden időpillanatban máshol lesz, folyamatosan tolódik a diagramon.
- A munkavonal meredeksége (R értéke) nem változik, tehát x_D fog változni.
- **x csökken, $R=\text{áll.} \Rightarrow x_D$ csökken**
- Az első munkavonalat *próbalgatással* keressük meg úgy, hogy az elméleti tányérszám x_F -et adja.
- Az utolsó munkavonal elméleti tányérszáma pedig x_M -et adja.
- Köztük végtelen sok munkavonal rajzolható be.

Szakaszos rektifikálás $R = \text{áll.}$ esetben



Szakaszos rektifikálás $R = \text{áll.}$ esetben



Szakaszos rektifikálás $R = \text{áll.}$ esetben

- Differenciális komponensmérleg:

$$\ln \frac{F}{M} = \int_{x_M}^{x_F} \frac{1}{x_D - x} \cdot dx$$

Feladat – Szakaszos rektifikálás $R = \text{áll.}$ esetben

Etil-alkohol vizes oldatából 250 kg-ot töltünk egy szakaszos rektifikáló oszlop üstjébe és 1 bar nyomáson lepároljuk. A kiindulási oldat 32 tömeg% etanolt tartalmaz. Az üstre szerelt oszlop 2 elméleti tányérnak felel meg. A lepárlást állandó 0,33 értékű refluxaránnal végezzük, míg a maradék koncentrációja 6 tömeg% lesz.

Számítsa ki a desztillátum mennyiségét, annak átlagos összetételét és a kiforralt gőz mennyiségét.

$$F = 250 \text{ kg}$$

$$x_F = 0,32$$

$$x_M = 0,06$$

$$N_T = 2+1 \rightarrow \text{üst egy elm. tányér, itt is beáll az egyensúly}$$

$$R = 0,33$$

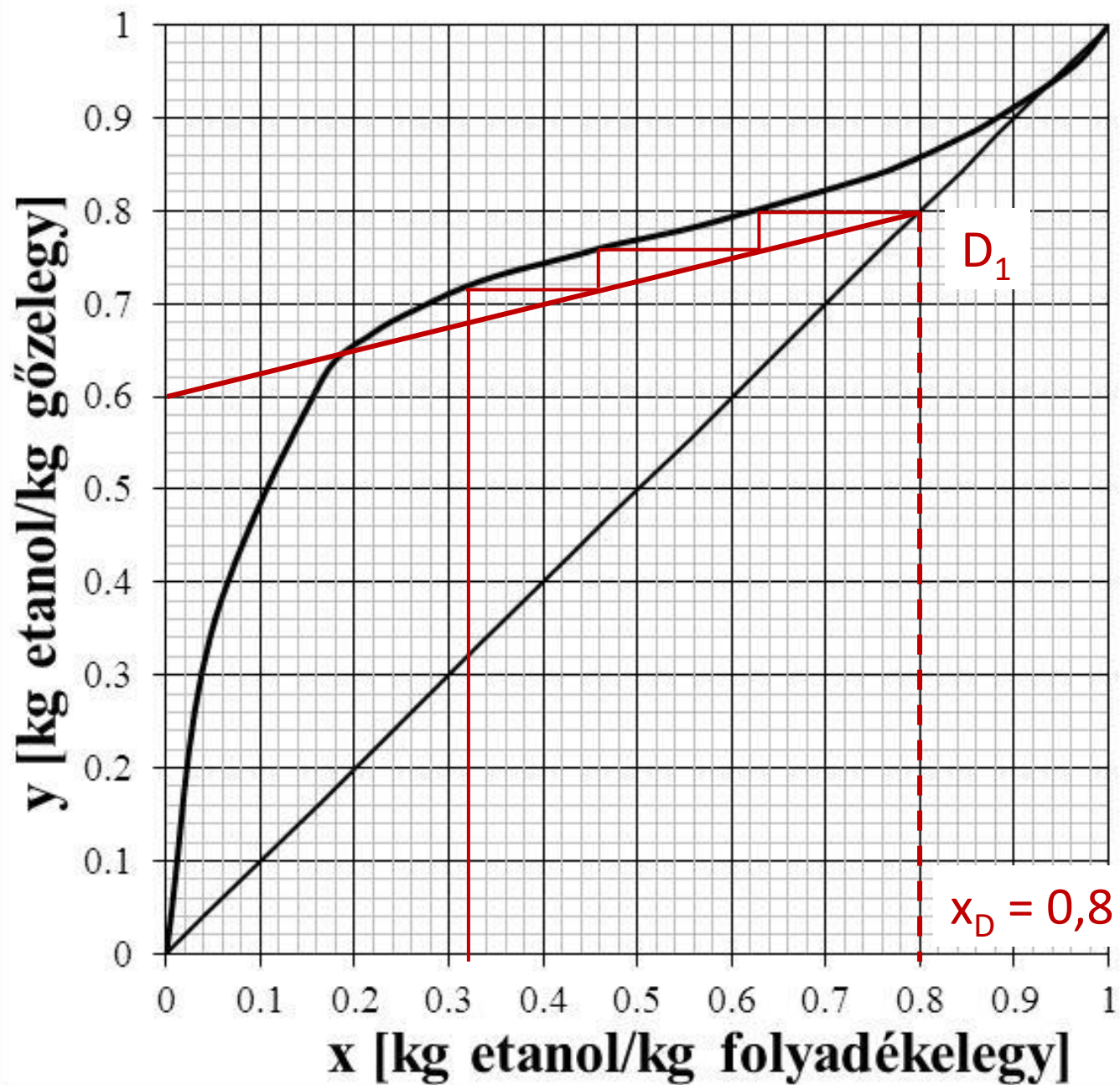
$$D = ?$$

$$\overline{x_D} = ?$$

$$V = ?$$

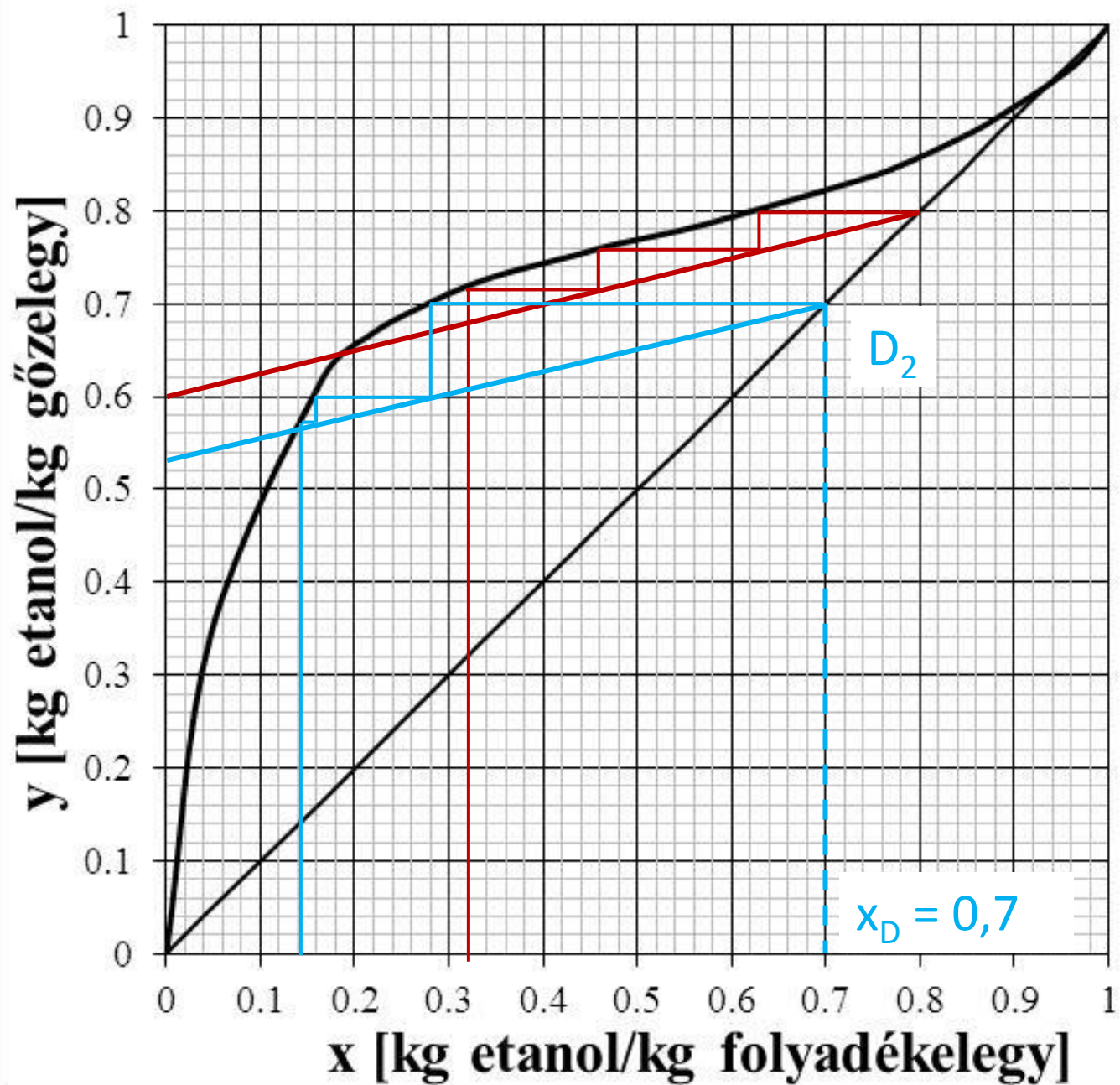
Feladat – Szakaszos rektifikálás $R = \text{áll.}$ esetben

x_D	0,8	0,7	0,6	0,5
$\frac{x_D}{R + 1}$	0,6			
x				
$f(x) = \frac{1}{x_D - x}$				



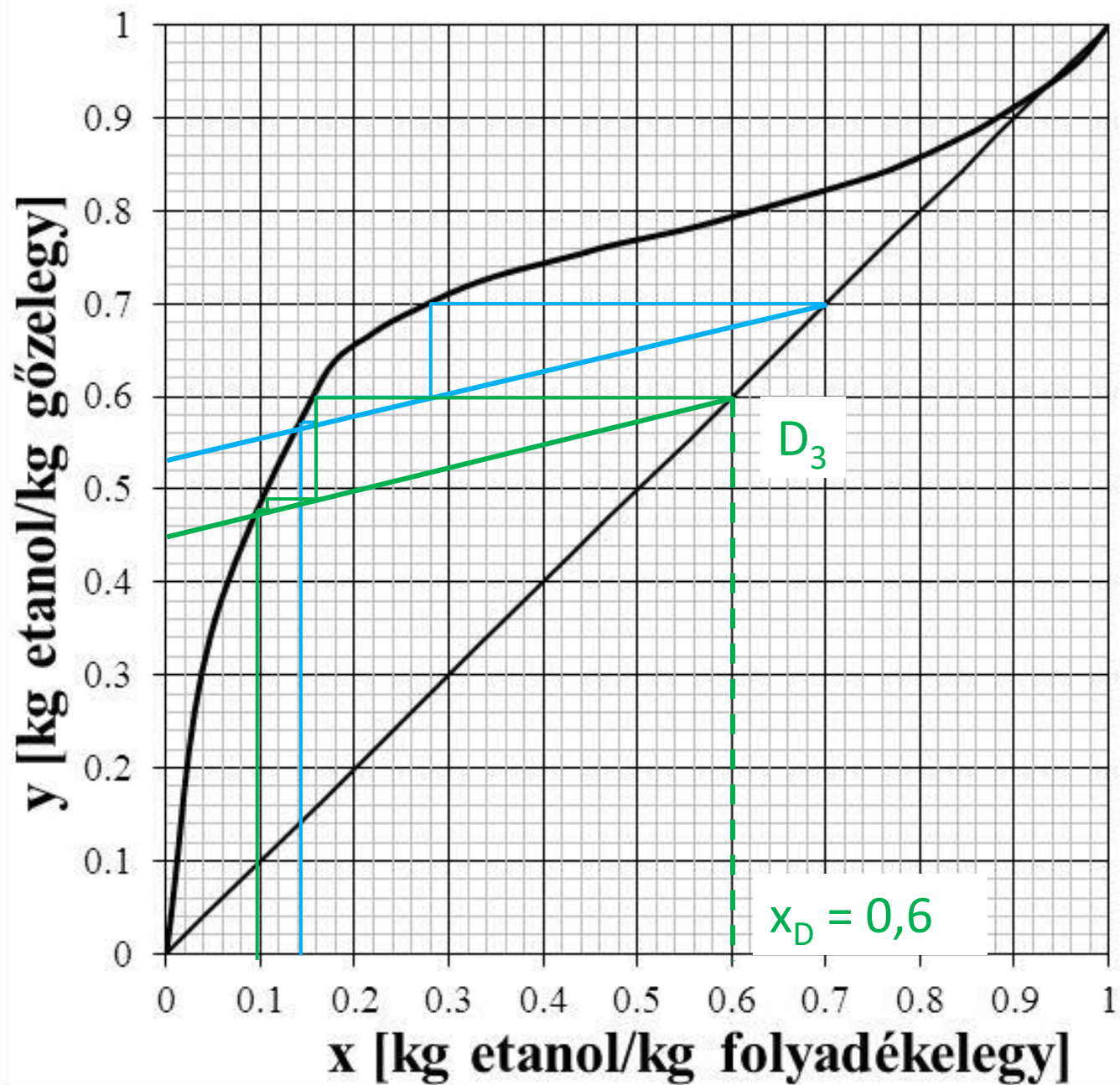
Feladat – Szakaszos rektifikálás $R = \text{áll.}$ esetben

x_D	0,8	0,7	0,6	0,5
$\frac{x_D}{R + 1}$	0,6	0,53		
x	$x_F = 0,32$			
$f(x) = \frac{1}{x_D - x}$	2,08			



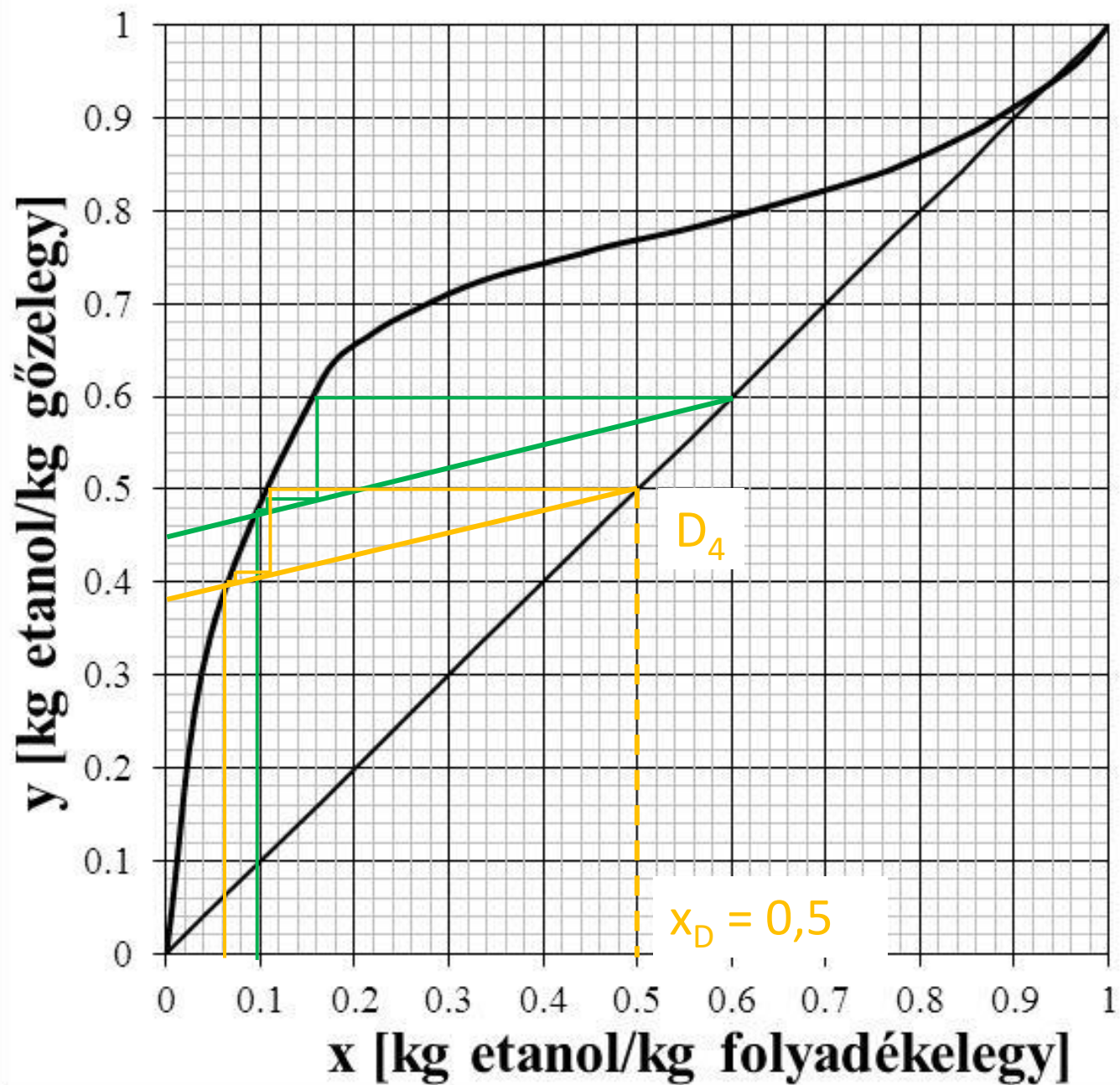
Feladat – Szakaszos rektifikálás $R = \text{áll.}$ esetben

x_D	0,8	0,7	0,6	0,5
$\frac{x_D}{R + 1}$	0,6	0,53	0,45	
x	$x_F = 0,32$	0,14		
$f(x) = \frac{1}{x_D - x}$	2,08	1,79		



Feladat – Szakaszos rektifikálás $R = \text{áll.}$ esetben

x_D	0,8	0,7	0,6	0,5
$\frac{x_D}{R + 1}$	0,6	0,53	0,45	0,38
x	$x_F = 0,32$	0,14	0,10	
$f(x) = \frac{1}{x_D - x}$	2,08	1,79	2,00	



Feladat – Szakaszos rektifikálás $R = \text{áll.}$ esetben

x_D	0,8	0,7	0,6	0,5
$\frac{x_D}{R + 1}$	0,6	0,53	0,45	0,38
x	$x_F = 0,32$	0,14	0,10	$x_M = 0,06$
$f(x) = \frac{1}{x_D - x}$	2,08	1,79	2,00	2,27

Feladat – Szakaszos rektifikálás $R = \text{áll.}$ esetben

$$t_1 = (x_1 - x_2) \cdot \frac{f(x_1) + f(x_2)}{2}$$

x_D	0,8	0,7	0,6	0,5
$\frac{x_D}{R+1}$	0,6	0,53	0,45	0,38
x	$x_F = 0,32$	0,14	0,10	$x_M = 0,06$
$f(x) = \frac{1}{x_D - x}$	2,08	1,79	2,00	2,27

$$t_1 = (0,32 - 0,14) \cdot \frac{2,08 + 1,79}{2} = 0,3483$$

$$t_2 = (0,14 - 0,1) \cdot \frac{1,79 + 2,00}{2} = 0,0758$$

$$t_3 = (0,1 - 0,06) \cdot \frac{2,00 + 2,27}{2} = 0,0854$$

$$t_{\text{össz}} = 0,5095$$

Feladat – Szakaszos rektifikálás $R = \text{áll.}$ esetben

$$\ln \frac{F}{M} = t_{\text{össz}} = 0,5095$$

$$M = \frac{F}{e^{0,5095}} = \frac{250}{1,664} = 150,2 \text{ kg}$$

$$D = F - M = 250 - 150,2 = 99,8 \text{ kg}$$

Desztillátum átlagos összetétele:

$$F \cdot x_F = M \cdot x_M + D \cdot \overline{x_D}$$

$$\overline{x_D} = \frac{F \cdot x_F - M \cdot x_M}{D} = \frac{250 \cdot 0,32 - 150,2 \cdot 0,06}{99,8} = 0,711 \frac{\text{kg etanol}}{\text{kg elegy}}$$

Kiforralt gőz (V) mennyisége:

$$V = L + D$$

$$V = (R + 1) \cdot D = (0,33 + 1) \cdot 99,8 = 132,72 \text{ kg}$$

Szakaszos rektifikálás

ÁLLANDÓ DESZTILLÁTUM-ÖSSZETÉTEL MELLETT



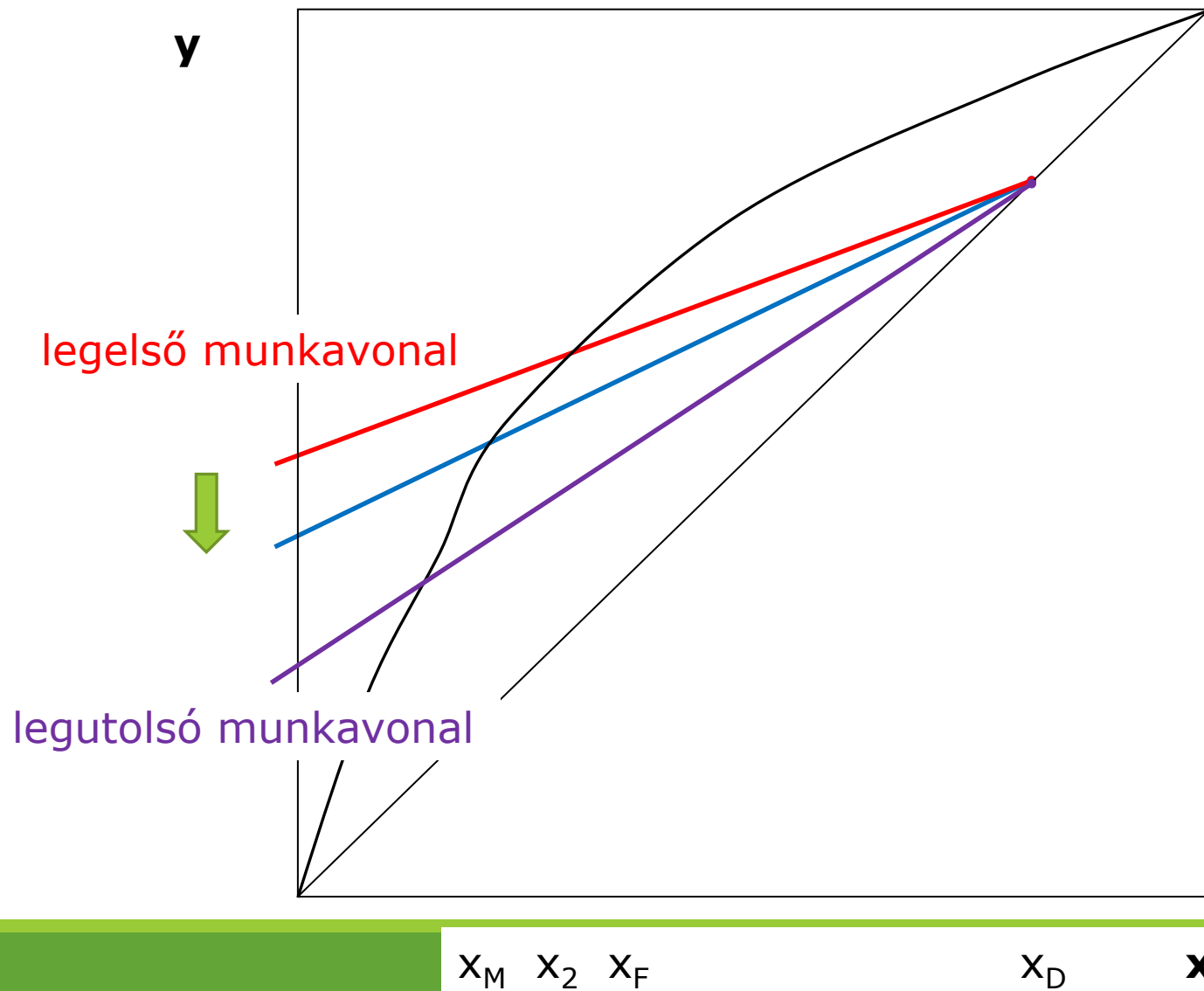
Szakaszos rektifikálás $x_D = \text{áll.}$ esetben

- célja állandó összetételű desztillátum előállítása, az üstben levő változó összetételű folyadékból.
- Ezt csak úgy valósíthatják meg, ha a lepárlást változó (növekvő) refluxaránnal hajtják végbe.
- A rektifikálás kezdetén alkalmazandó refluxarányt ebben az esetben is a fejtermék és a betáplált elegy összetételének függvényeként állítják be, de a továbbiakban a refluxarány növelésével biztosítják a fejtermék állandó összetételét.
- A refluxarány növelésével az oszlop elméleti tányérszáma változik, szétválasztó képessége nő, a teljesítménye viszont csökken.

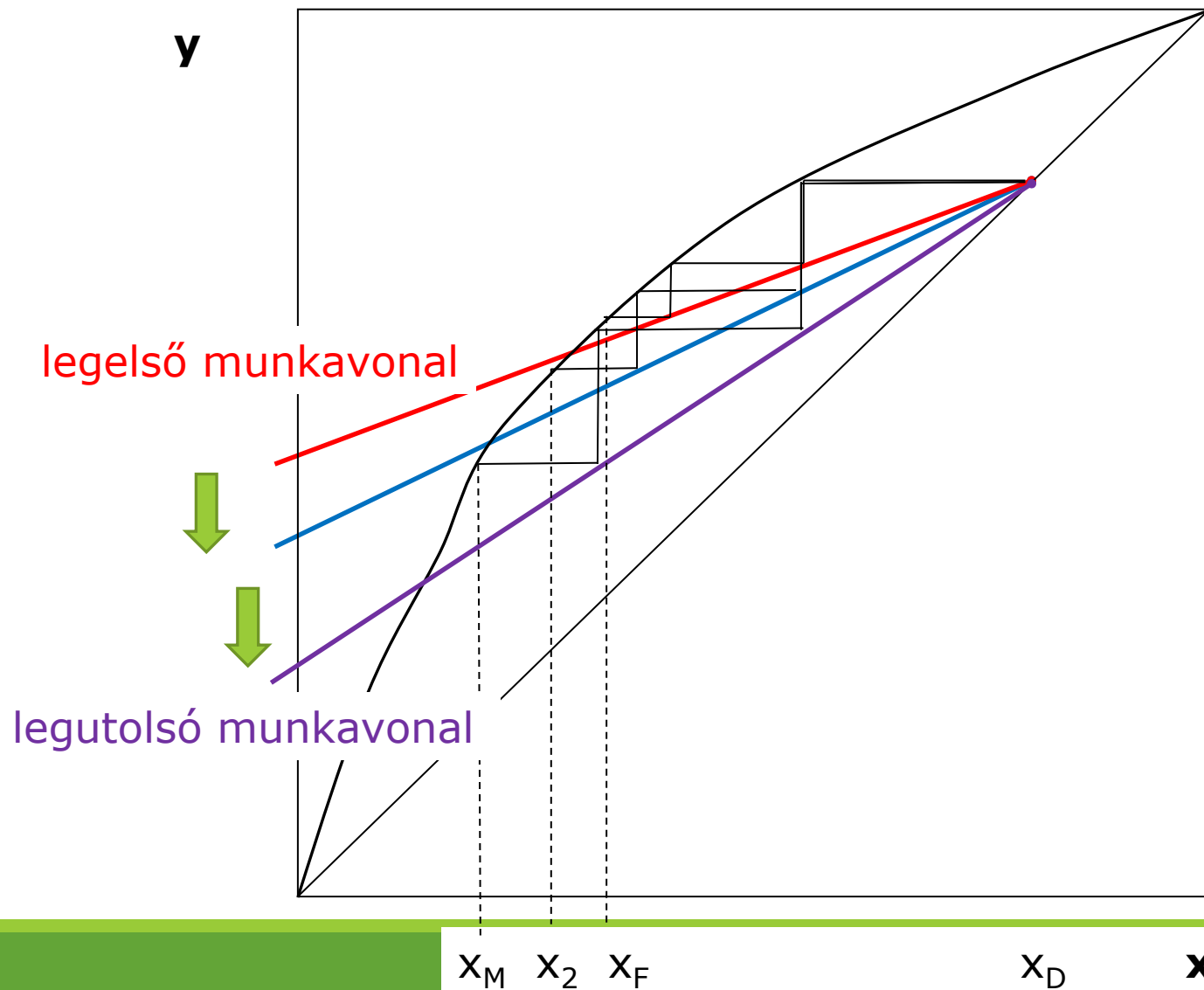
Szakaszos rektifikálás $x_D = \text{áll.}$ esetben

- x változik $\Rightarrow$ fokozatosan változni kell a munkavonal meredekségének ahhoz, hogy x_D állandó maradjon
- **x csökken $\Rightarrow$ meredekség nő (tengelymetszet csökken) $\rightarrow$ R nő**
- Az első munkavonalat *próbálgatással* keressük meg úgy, hogy az elméleti tányérszám x_F -et adja.
- Az utolsó munkavonal elméleti tányérszáma pedig x_M -et adja.
- Köztük végtelen sok munkavonal rajzolható be.

Szakaszos rektifikálás $x_D = \text{áll.}$ esetben



Szakaszos rektifikálás $x_D = \text{áll.}$ esetben



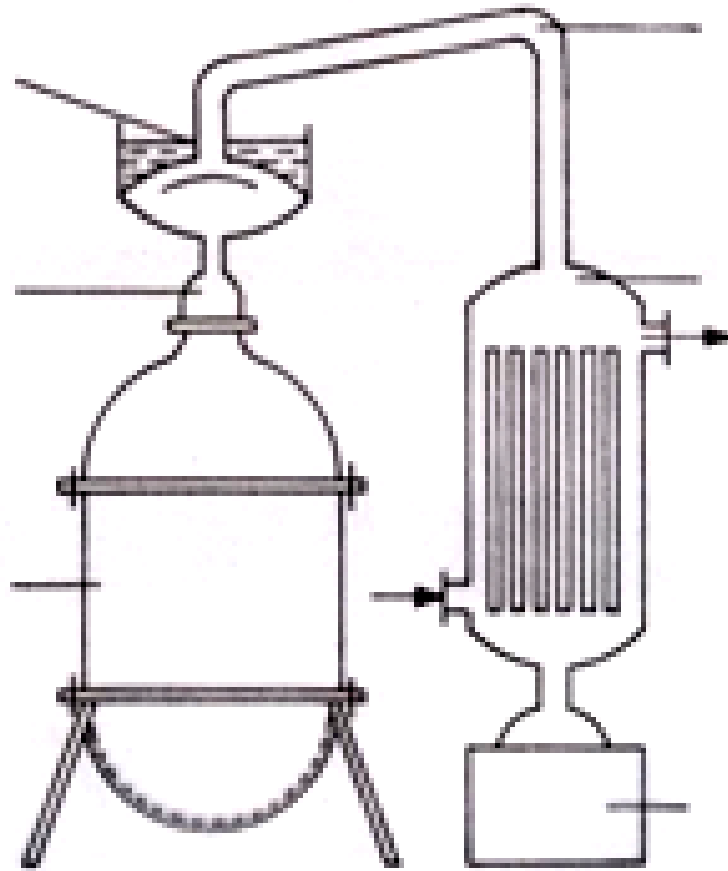
Szakaszos rektifikálás $x_D = \text{áll.}$ esetben

- A refluxarányt az elválasztás során addig kell növelni, míg az üzemeltetéssel elérhető elméleti tányérszámmal a kiforraló üstben levő folyadék kívánt összetételét el nem érjük.
- Az elmondottak értelmében ennél a módszernél a **fejtermék összetétele állandó**, a kolonna legfelső tányérjának hőmérséklete is állandó, ezzel szemben az **üst hőmérséklete folyamatosan emelkedik**.
- Mivel az R nő, így az $\frac{x_D}{R+1}$ csökken, és a munkavonal az átlóhoz közelít.
- A művelet akkor ér véget, ha a **D desztillátum elvételének sebessége nullára csökken**, ugyanis ekkor az **egész kondenzátumot refluxként visszavezetjük**.

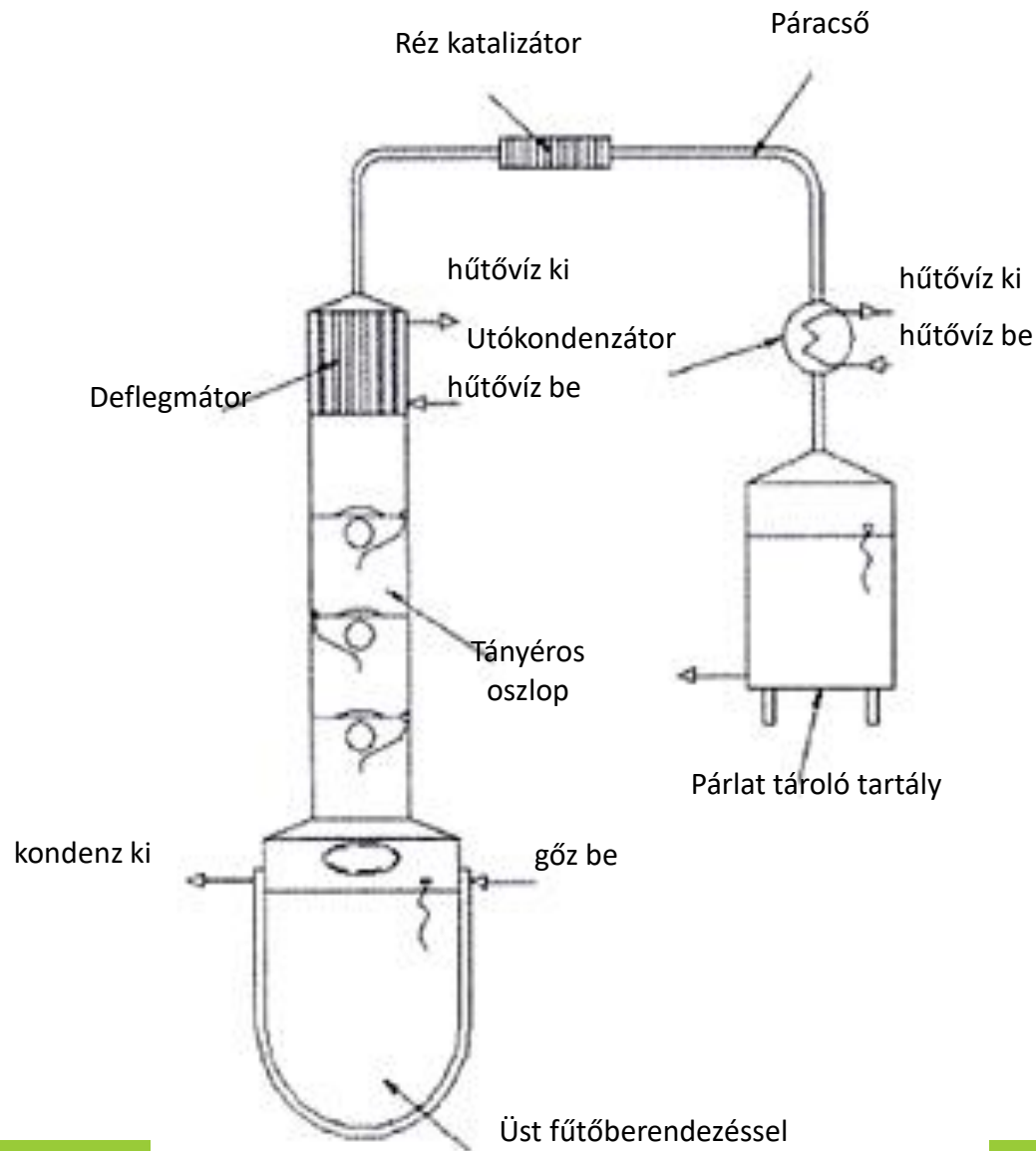


Rektifikáló berendezések

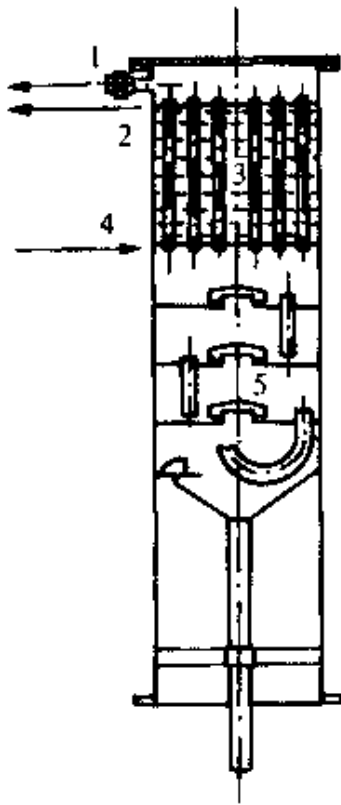
Szakaszos pálinka-desztilláló



Erősítőfeltétes pálinkafőző berendezés

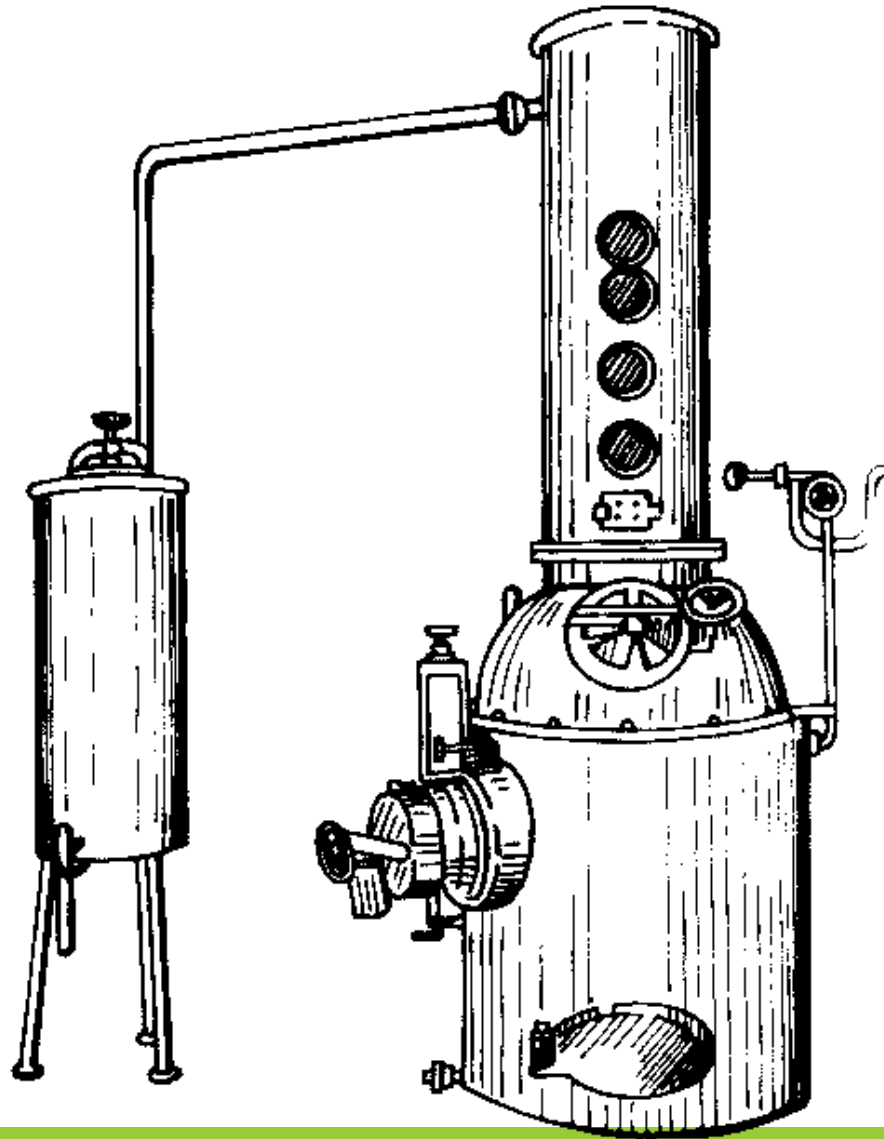


Erősítő feltétek - tányéros oszlopok



32. ábra. Erősítőfeltét szerkezete

1. gőzkivezetés, 2. hűtővíz-kivezetés,
3. csőköteges deflegmátor, 4.
hűtővíz-bevezetés, 5. húborécsapkás
tányérok



33. ábra. Lepárlóüst erősítőfeltéttel

H.Főző Tány. Aj és lsm.
Lap: 33 x 43 cm fekvő

KEZELÉSI LEÍRÁS. Egylépcsős, házi gyümölcspárlat főző készülék üzemeltetése.

A berendezés összeállítását a mellékelt egyszerűsített összeállítási rajz szemlélteti.

A berendezés fő részei a vörösréz, 80 literes, szimlafalu üst, (1) melynek fűtését közvetlen alátüzeléssel, pl. gázégővel, fával stb. lehet biztosítani. Az üstből felszálló pára áthalad az üstfedélén (2) (páradóm), mely vörösrézből készült, és ezáltal biztosítja azt a katalizációs hatást, amely szükséges a pálinka jellegű iz-anyagok képződéséhez. Ezek a párák azonban nem kerülnek lecsapásra mint a hagyományos, kétfélcpsős eljárásnál, hanem mint „alszesz-gőzök”, áthaladnak egy 5 tányéros desztilláló (erősítő) oszlopon (3). Az oszlopon belül elhelyezett tányérok (3.1) olyan szerkezeti elemekkel vannak felszerelve, melyek biztosítják, hogy a felszálló gőz a tányérokra lévő folyadék rétegen áthaladva ezt a folyadék réteget fűtse. Így minden egyes tányéron egy-egy újabb desztilláció zajlik le. Egy 5 tányéros oszloppal ellátott berendezéssel kb. olyan desztillációs hatást lehet elérni, mintha a hagyományos eljárásnál keletkezett alszeszt 4 – 5 alkalommal újra finomítanánk. Ez jelentős munka- és hőenergia (gáz) megtakarítást eredményez, és a hagyományos eljárásához képest magasabb szeszfokú, (90 → 55 v. %) és tisztább végtermék párlatot biztosít. Az oszlopfejéhez egy csökötes rendszerű visszahűtő (4) (deflegmátor) van csatlakoztatva, mely biztosítja, hogy a párák egy része lecsapódva visszafolyék a tányérokra (reflux), és ezáltal, valamint a tányérokra lévő lefolyócsövek tányérsíkból való kiállásával (lefolyógát) állandó folyadék réteget biztosítsanak a tányérokra. A refluxból termékként elvezetett párlatrész egy duplikált hűtőcsőben (5) lehűl lehűl, azaz végtermék-párlatként egy szedő edényben (6) felfogható. A termék elhúzás mennyiségi szabályozását a reflux vezetékbe szerelt áramlás-figyelő üveghegyer feletti csap (X) nyitásával vagy fajtásával végezzük.

A készüléken elhelyezett hőmérők (TI) a desztilláció előre haladottságát jelzik, vagyis, ahogy csökken a készülékben lévő anyag alkohol tartalma, úgy emelkednek a hőmérsékletek.

Normális hőmérséklet tartomány a desztilláció eljöttől a végéig: 80 C° → 98 C°.

MŰKÖDTETÉS:

- Tisztítás:** Az üst tisztítására vonatkozó utasításokat a mellékelt kézikönyv tartalmazza. Cél szerű az üst tisztítását minden újratöltés előtt elvégezni, bár ha azonos cefréből folytatódik a lepárlás, ez nem feltétlenül szükséges.
- Üst töltés:** A töltést az üstfedél elbillentése után végezhetjük. Ehhez a párcsövet és a visszafolyócsövet a csavarzatok odásával el kell távolítani. Ügyeljünk a tömítések sértetlenségére. Cefrével tölteni max. az üst 75 – 80%-áig szabad.
- Felfűtés:** A felfűtést viszonylag gyorsan, nagy lánggal végezzük. Amikor az oszlop alsó hőmérő megközelíti a 80 C°-ot, a fűtést erősen redukáljuk, egészen addig, amíg a párlat visszafolyás (reflux) meg nem jelenik a látúvegen. Ezután a fűtést úgy szabályozzuk, hogy egyenletes, vékony sugarú de határozott (kb. 2 - 3 mm átmérőjű, „ceruzabél” vastagságú) sugárban folyék vissza a párlat. Túl gyors felfűtés áthabzást, oszlop felárasztódást és egyéb komoly üzemzavarokat eredményez. Amikor ezt az egyensúlyt beállítottuk, a látúveg feletti csap fajtásával a párlat egy részét a hűtőcső felé tereljük. Ezt a részt lehűzésnek nevezzük, és végtermékként fogjuk fel. Az arányt (reflux-arányt) úgy kell beszabályozni, hogy a párlat kb. 1/3-a folyék termék irányba, és 2/3-a vissza, refluxként. A lepárlás elején még lehet akár 50%-os (fele-fele) arányt is tartani.

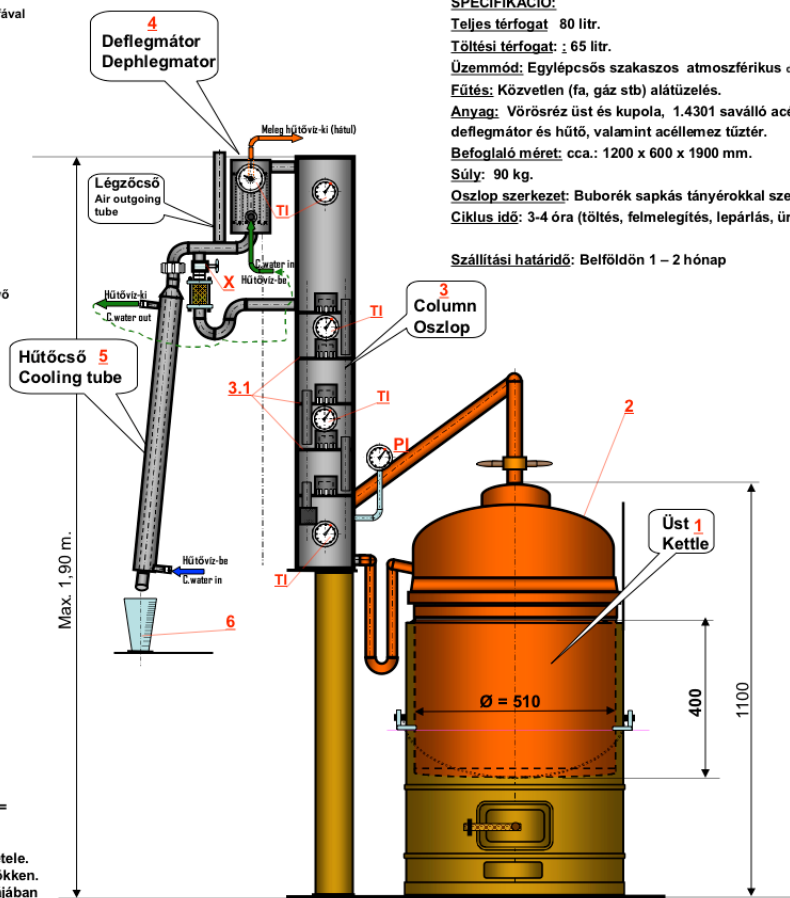
- Desztillálás:** A desztilláció első párlatrésze az előpárlat, melyet el kell választani a főterméktől. Ez a berendezés típus az előpárlati komponenseket nagyon koncentráltan választja el, ezért igen kevés mennyiség is elegendő. Általában az összes alkoholtartalomra vetítve 3 % elegendő. Példaképpen: Ha az üstbe töltünk 70 liter cefrét, melynek alkohol tartalma 6 %, akkor az elválasztandó előpárlat mennyisége:

$$\frac{70 \text{ liter} \times 6\%}{100} \times 0,03 = 0,126 \text{ liter abs. alkohol, ami } 85\text{-os alkoholtartalom (a meginduló párlat foka) esetén: } \frac{0,126}{0,85} = 0,148 \text{ liter, vagyis kb. másfél deciliter előpárlatot jelent.}$$

Mindezek irányszámok, de a tapasztalati gyakorlat szerint elegendő 1 – 3 deci mennyiségű előpárlat elvétele. A meginduló párlat foka általában 85 – 90 v% között van. Ez a koncentráció a párlás előre haladtával csökken. Általában 50 ± 5% körüli szeszfoknál jelenik meg az utópárlat, ami opálosság, és kellemetlen szag formájában jelentkezik. Amikor ez érzékelhető, akkor a lepárlást vagy beszüntetjük, vagy a középpárlattól elválasztva kifőzzük a teljes utópárlat mennyiségét. Ezt elegendő mennyiségben összegyűjtve még egyszer lefinomíthatjuk, vagy kisebb, 2 – 4 literes tételekben vissza keverhetjük a következő cefre adaghoz. A középpárlatot desztillált, vagy ioncserélt vízzel hígítva állítjuk be az általános gyümölcspárlati fokra, ami 52 v% alkohol tartalom.

- Ürités:** Az üst szintén az üst billentésével történik Az üritéssel kapcsolatos részletesebb információkat a mellékelt HASZNÁLATI UTASÍTÁS (kézikönyv) tartalmazza. BILLENÉSKOR ÜGYELJÜNK A FORRÁZÁS VESZÉLYRE !!! Az üstöt célszerű rögtön újra tölni, míg ki nem hűl. Átöblíteni csak akkor kell, ha teljesen más jellegű cefretelét következik.

KÉSZÜLÉK ISMERTETŐ



Tárgy: Házi pálinka főző készülék, egylépcsős

Típus: ALC-SYS 75/90.típ. oszloppal szerelt közvetlen alátüzelésű, billentős üritésű desztilláló üst. (További fejlesztett típus)

SPECIFIKÁCIÓ:

Teljes térfogat: 80 liter.

Töltési térfogat: 65 liter.

Üzem mód: Egylépcsős szakaszos atmoszférikus desztilláció

Fűtés: Közvetlen (fa, gáz stb) alátüzelés.

Anyag: Vörösréz üst és kupola, 1.4301 saválló acél oszlop, deflegmátor és hűtő, valamint acéllemez tüztér.

Befoglaló méret: cca.: 1200 x 600 x 1900 mm.

Súly: 90 kg.

Oszlop szerkezet: Buborék sapsák tányérokra szerelt.

Ciklus idő: 3-4 óra (töltés, fellemegetés, lepárlás, ürités)

Szállítási határidő: Belföldön 1 – 2 hónap

	Dátum	Név	Dátum	Név	MÉRÉ- ARÁNY SCALE:
Tervező Designer	12.10. 2011.	Kempelen	Modosítás Modification		
Rajz kész Drawing (handy)			Valtozat Version	1. 12.10. 2011.	Kempelen
Rajz Rajzer P.	12.10. 2011.	Kempelen			
MEGNEVEZÉS: Házi pálinka főző készülék					HPF-A-GG.2-2011
Denominatión: Home distilling still					Felkészítő tervező Responsible designer
TERV FAJTA Kind of plan	BEMUTATÓ		PROJEKT Project ÁLTALÁNOS Basic	KEMPELEN	

Erősítő feltétek - tányéros oszlopok

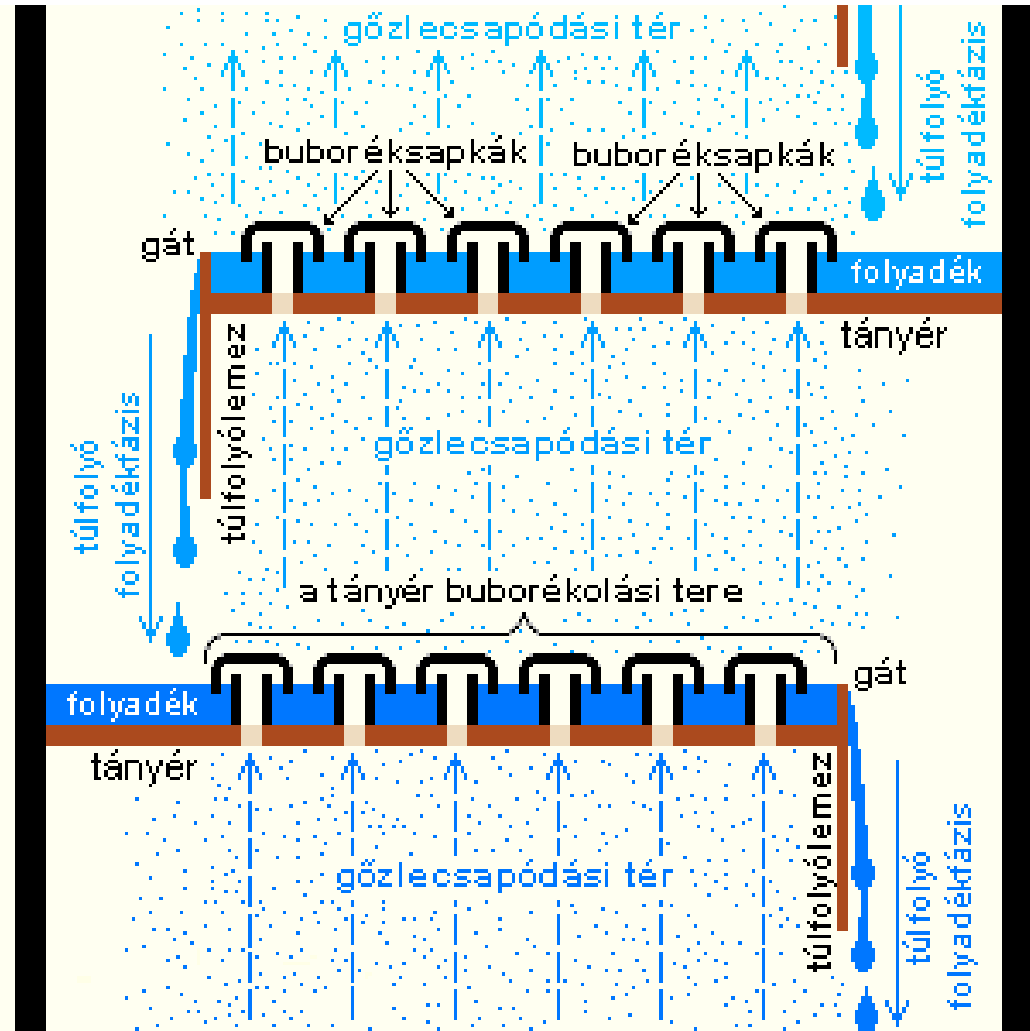
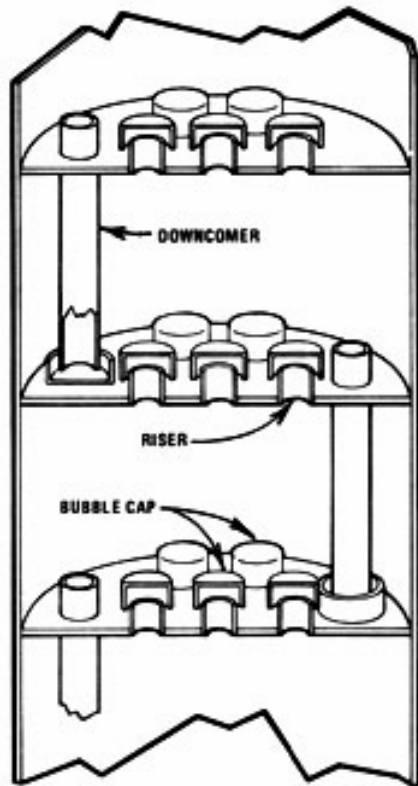
Buboréksapkás tányér

Szitatányér

Szelepes tányér



Buboréksapkás tányér



Buboréksapkás tányér



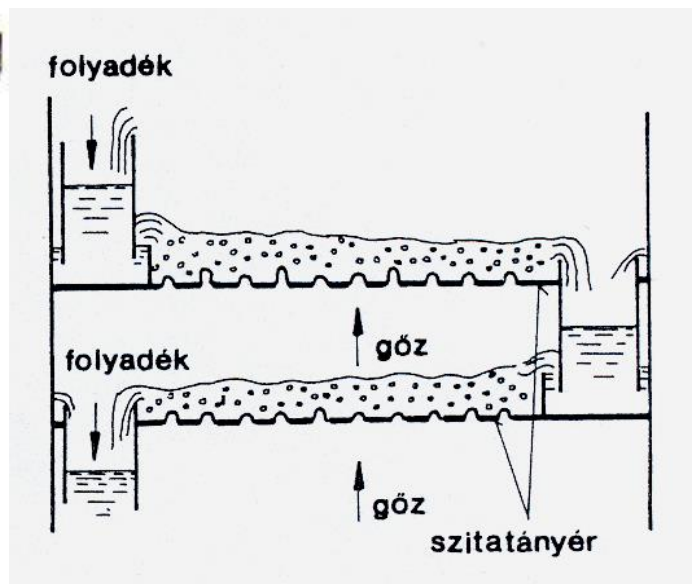
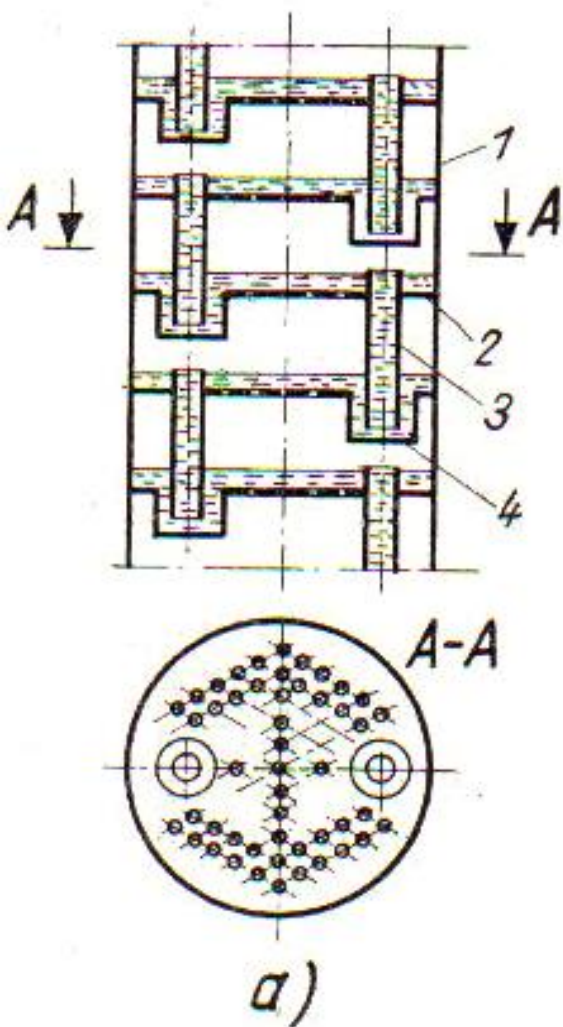
<https://www.youtube.com/watch?v=18mweX5HQjI>

<https://www.youtube.com/watch?v=iOS1x8uZpUE>

Szitatányér

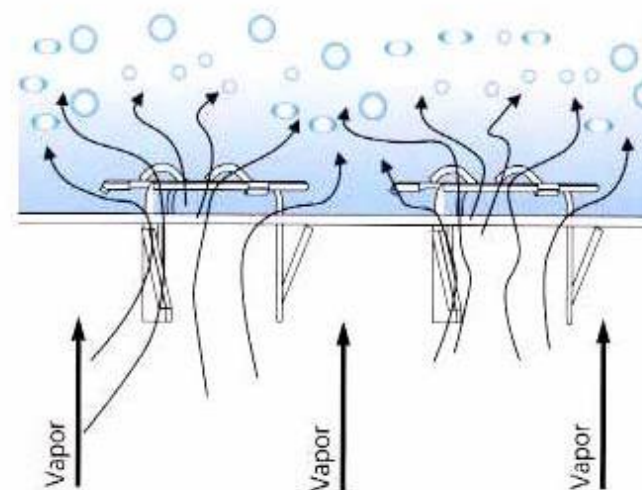
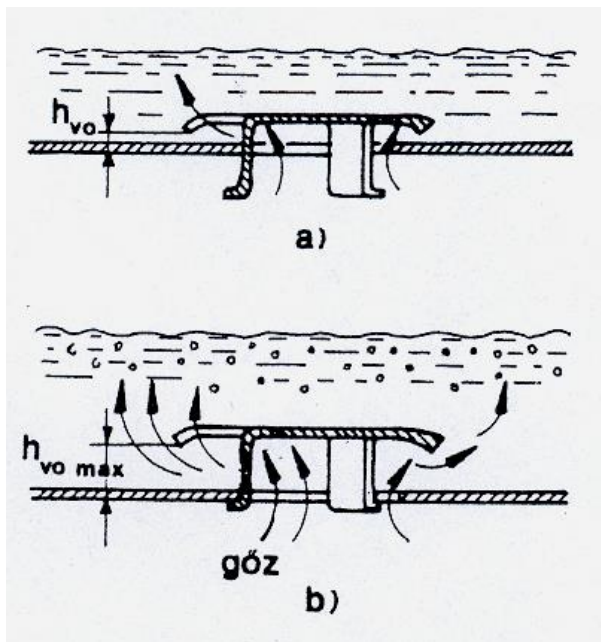
<https://www.youtube.com/watch?v=zmklAdPCrGM>

https://www.youtube.com/watch?v=OZle__HB7Y0



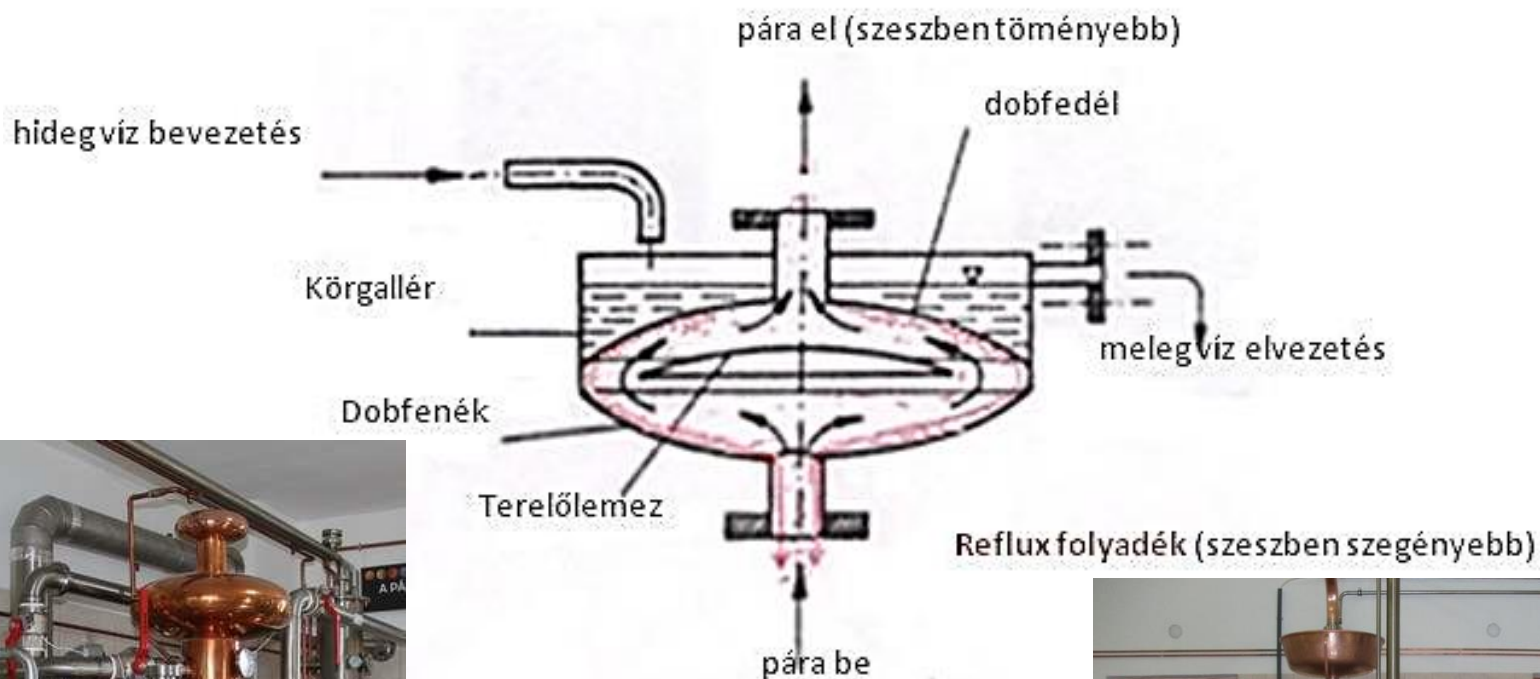
Szelepes tányér

https://www.youtube.com/watch?v=Ch68_F-G9z8



Pistorius-tányér

(részleges kondenzáció – deflegmáció)



KÖSZÖNÖM A FIGYELMET!



TANULOK, MERT A BELE
FEKTETETT ERŐ MEGHOZZA
GYÖMÖLCSÉT

A gyümölcsből pedig pálinkát lehet főzni

www.demotivalo.com



A JÓ ZH OLYAN, MINT A JÓ
HÁZI PÁLINKA

60 %-os...