



FKITMCMXIX

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet kemijskog
inženjerstva i tehnologije

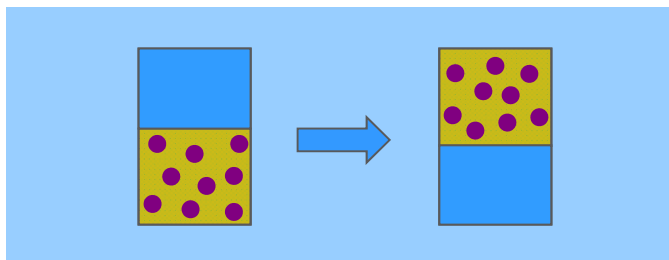


EKSTRAKCIJA

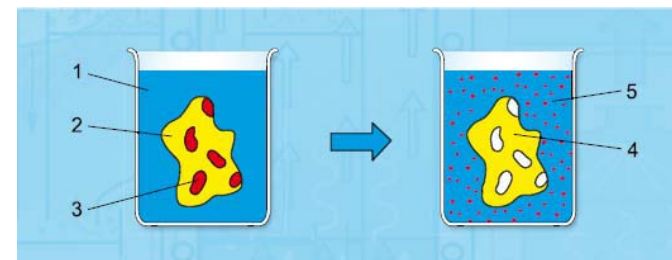
Prof. dr.sc. Aleksandra Sander

Definicija

- Ravnotežni separacijski proces uklanjanja jedne ili više komponenti iz čvrste ili kapljevite smjese pomoću selektivnog otapala.
- Ekstrakcija kapljevina-kapljevina
- Ekstrakcija krutina-kapljevina → IZLUŽIVANJE



Ekstrakcija kapljevina-kapljevina



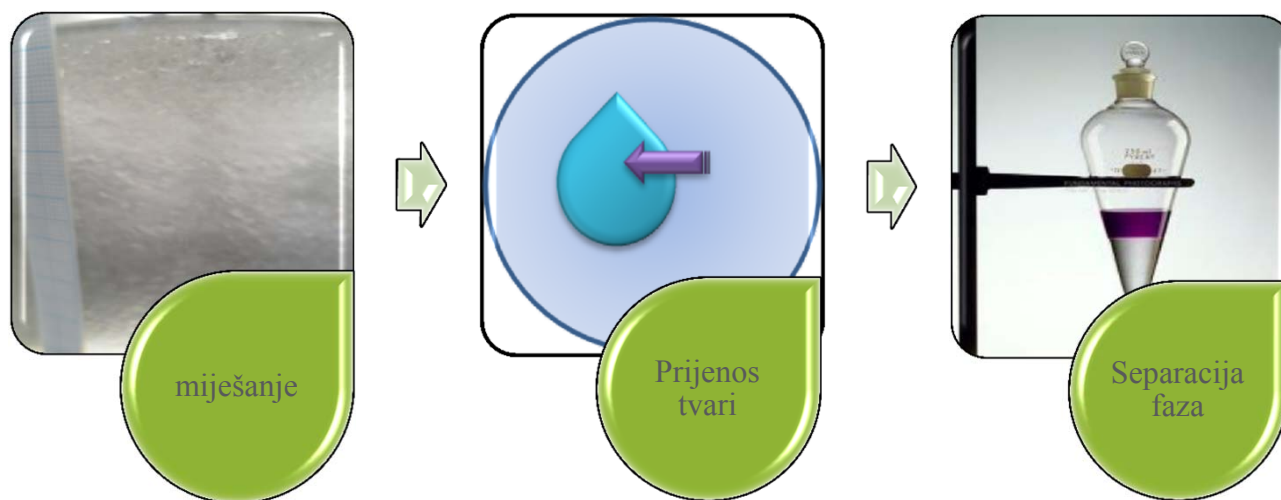
Ekstrakcija kapljevina-krutina

- kada se separacija ne može provesti destilacijom
 - niska hlapivost komponenti
 - bliske hlapivosti
 - toplinski osjetljive komponente
 - otopljena je komponenta prisutna u vrlo maloj količini

Stupnjevi

1. intenzivno miješanje kapljevite smjese sa selektivnim otapalom
2. separacija izmiješane otopine u dvije nemješljive faze
3. regeneracija selektivnog otapala

POTREBNO DOVESTI TOPLINU



-
- Za dizajn je bitno:
 - miješanje faza
 - formiranje kapi i njihovo održavanje u disperznom stanju
 - separacija faza

- **Miješanje**
- Fizikalna svojstva fluida-gustoća, viskoznost površinska napetost
- Slabo miješanje-prevelike kapi-mala površina-redukcija prijenosa tvari i efikasnosti
- Preintenzivno miješanje-smanjenje otpora prijenosu tvari; opasnost od stvaranja emulzije
- Ravnoteža je definirana najvećom kapi, dok je taloženje definirano najsitnijom kapi

- Aksijalno miješanje u kolonama reducira efikasnost

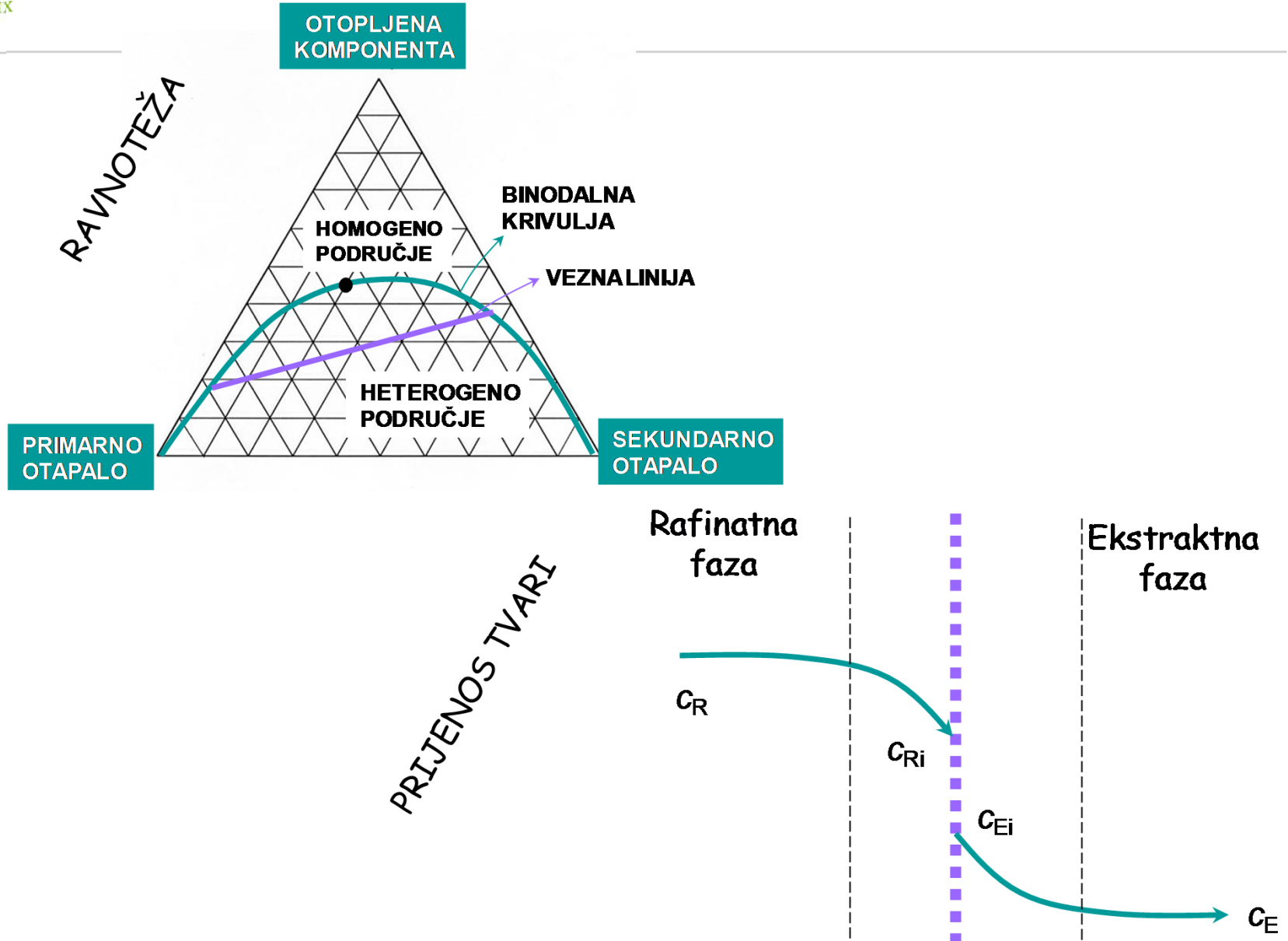
-
- Taloženje
 - Svojstva fluida i intenzitet miješanja
 - Ekstraktor-miješalica-prestankom miješanja faze se razdvajaju
 - Kolona-unutrašnji ili vanjski dio u kojem dolazi do separacije faza
 - Emulzije-preintenzivno miješanje ili nečistoće koje smanjuju površinsku napetost
 -



FKIT MCMXIX



Potrebno poznavanje



Miješanje dvije nemiješljive kapljevine

- Povećanje međufazne površine između dvije nemiješljive kapljevine → ekstrakcija
- Općenito se faza manjeg volumena umiješa u kontinuiranu fazu gdje se dispergira u sitne kapljice
- Ako su volumeni slični može doći do inverzije faza ovisno o fizikalnim svojstvima faza

Odabir otapala

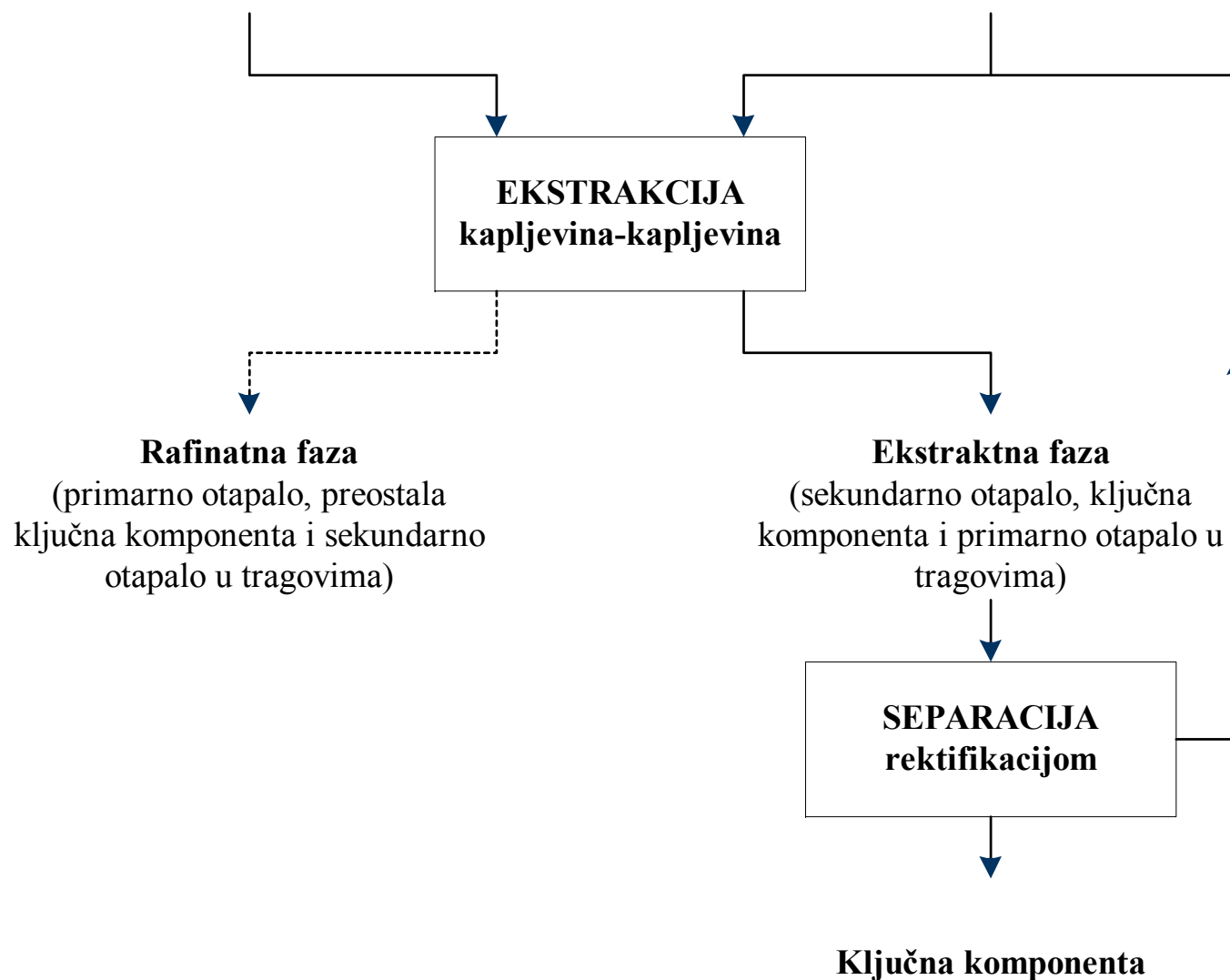
- Dobra topljivost ključne komponente
- Velika selektivnost
- Nemiješljivost primarnog i sekundarnog otapala
- Jednostavna regeneracija
- Velika razlika gustoća
- Odgovarajuća površinska napetost
- Mala viskoznost
- Niski tlak para
- Toplinska i kemijska stabilnost
- Dostupno, jeftino, siguran rad



Pojna smjesa

(primarno otapalo i ključna komponenta)

Sekundarno otapalo



- selektivno otapalo i određena količina otopljene komponente
- na ulazu sadrži malu količinu komponente koja se uklanja iz primarnog otapala (ili je potpuno čisto)
- na izlazu sadrži veću količinu otopljene komponente

-
- primarno otapalo i komponenta koju je potrebno ukloniti
 - na ulazu sadrži veću količinu otopljene komponente
 - na izlazu sadrži manju količinu otopljene komponente

Koeficijent raspodjele

- određuje količinu otopljene komponente u dvije kapljevite faze (D , m)
- definiran kao omjer koncentracije tvari u lakšoj fazi (manja gustoća) i koncentracije tvari u težoj fazi (veća gustoća):

$$D \equiv \left(\frac{Y}{X} \right)_{eq}$$

Relativni koeficijent raspodjele

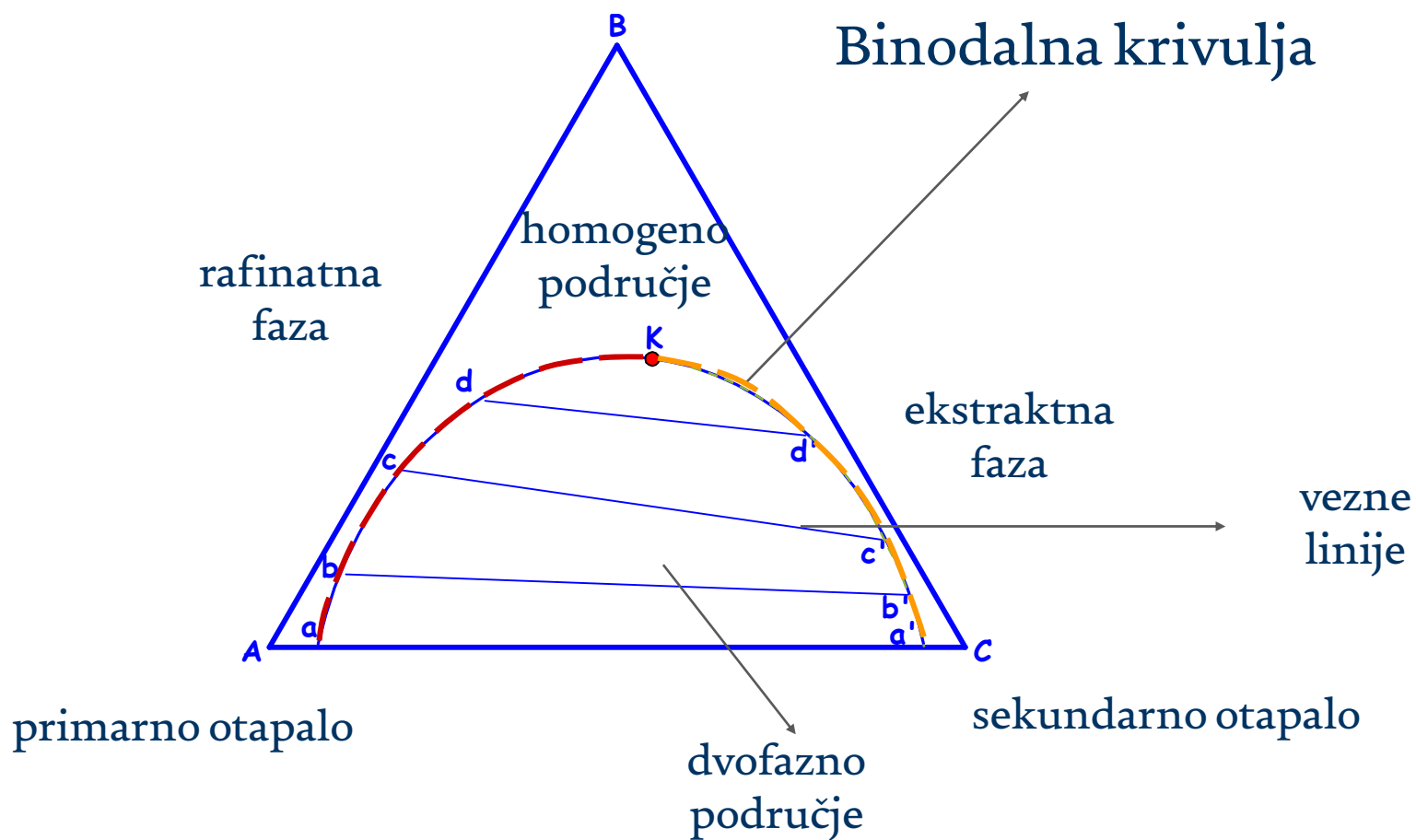
- Ako se dvije komponente raspodijele između faza u ravnoteži, može se definirati važan parametar koji opisuje stupanj separacije tvari u jednom ekstrakcijskom stupnju

$$\alpha \equiv \left(\frac{Y_A / X_A}{Y_B / X_B} \right)_{eq} \equiv \left(\frac{Y_A / Y_B}{X_A / X_B} \right)_{eq} = \frac{D_A}{D_B}$$

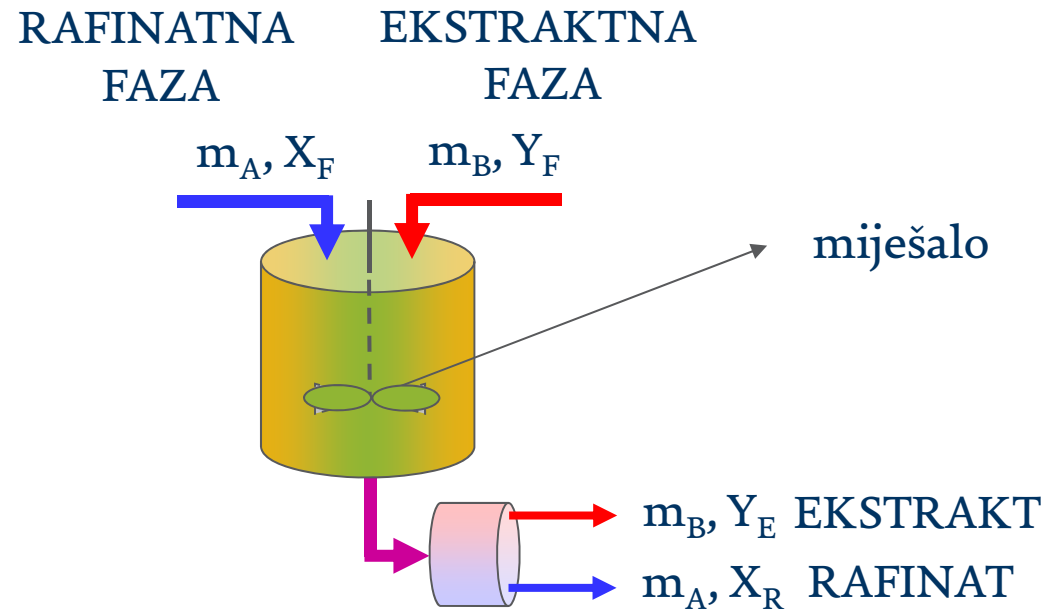
Trokomponentni sustavi

- dodatak otapala u dvokomponentni sustav:
 - nastajanje homogene otopine
 - ➔ – potpuno nemiješljivo sa primarnim otapalom
 - ➔ – djelomično miješljivo sa primarnim otapalom → nastajanje dvije djelomično miješljive kapljevine
 - nastajanje dvije ili tri djelomično miješljive faze

Ternarni dijagrami



Jednostupnjevita ekstrakcija



m_A – maseni protok primarnog otapala

m_B – maseni protok sekundarnog otapala

X_F – maseni odnos otopljene komponente u primarnom otapalu

X_R – maseni odnos otopljene komponente u rafinatu

Y_F – maseni odnos otopljene komponente u sekundarnom otapalu

Y_E – maseni odnos otopljene komponente u ekstraktu

-
- šaržni proces
 - pojna smjesa i sekundarno otapalo uvedu se u posudu
 - miješanje zbog boljeg kontakta između faza
 - do postizanja ravnoteže
 - separacija nastalih faza

Bilanca tvari

$$m_A \cdot X_F + m_B \cdot Y_F = m_A \cdot X_R + m_B \cdot Y_E$$

- m_A, m_B – maseni protoci primarnog i sekundarnog otapala, kg/s
- X_F, X_R – sastavi rafinatne faze na početku i kraju procesa, kgC/kgA
- Y_F, Y_E – sastav ekstraktne faze na kraju procesa, kgC/kgB

- poznavanjem ravnotežnog odnosa, uz pretpostavku da je linearna:

$$Y_E = m \cdot X_R$$

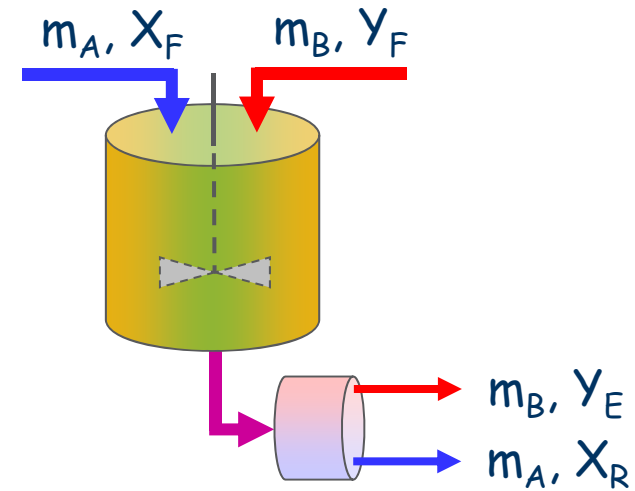
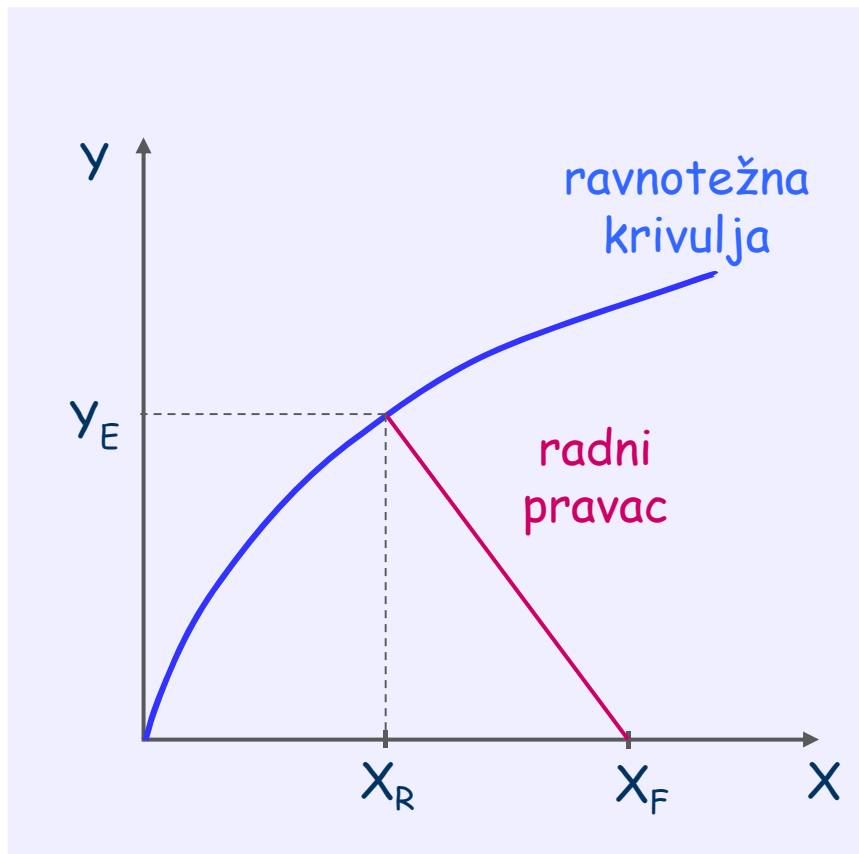
- bilancna se jednačba može preurediti

$$\frac{X_R}{X_F} = \frac{1}{1 + \frac{m_B \cdot m}{m_A}}$$

- solvent odnos

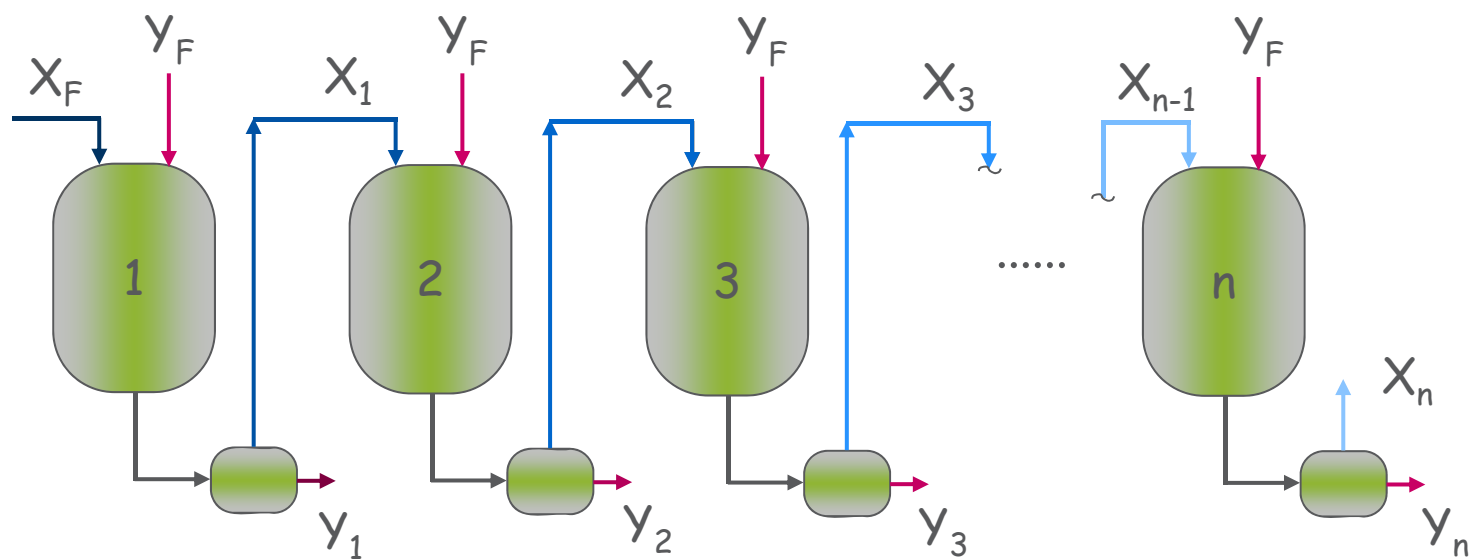
$$S = \frac{m_B}{m_A}$$

Prikaz procesa u ravnotežnom dijagramu



$$Y_E = -\frac{1}{S} \cdot (X_R - X_F)$$

Višestupnjevita istostrujna ekstrakcija



-
- rafinat iz prvog stupnja ulazi kao pojna smjesa u drugi stupanj
 - ekstrakti se sakupljaju u zajedničku posudu
 - što je više ekstraktora bolja je separacija i sastav rafinata je manji → primarno otapalo je čišće

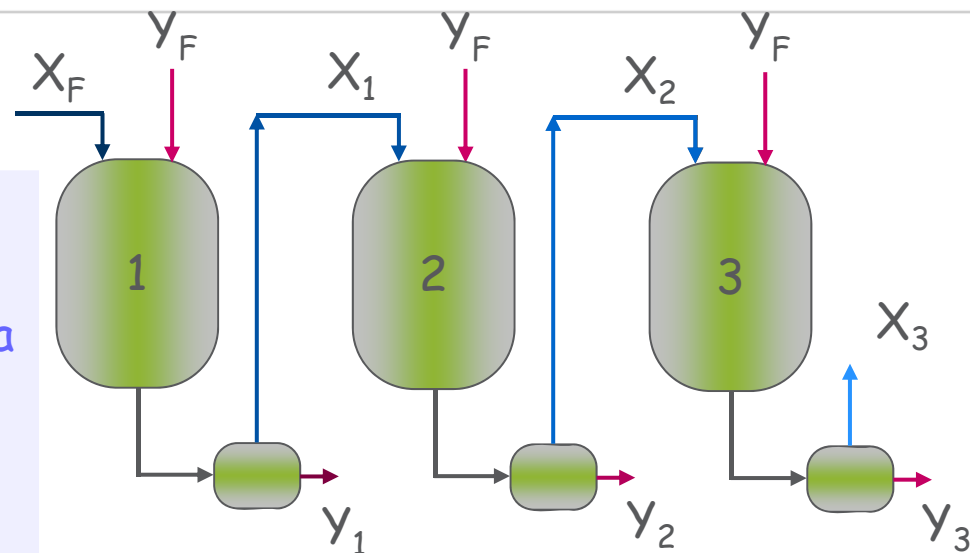
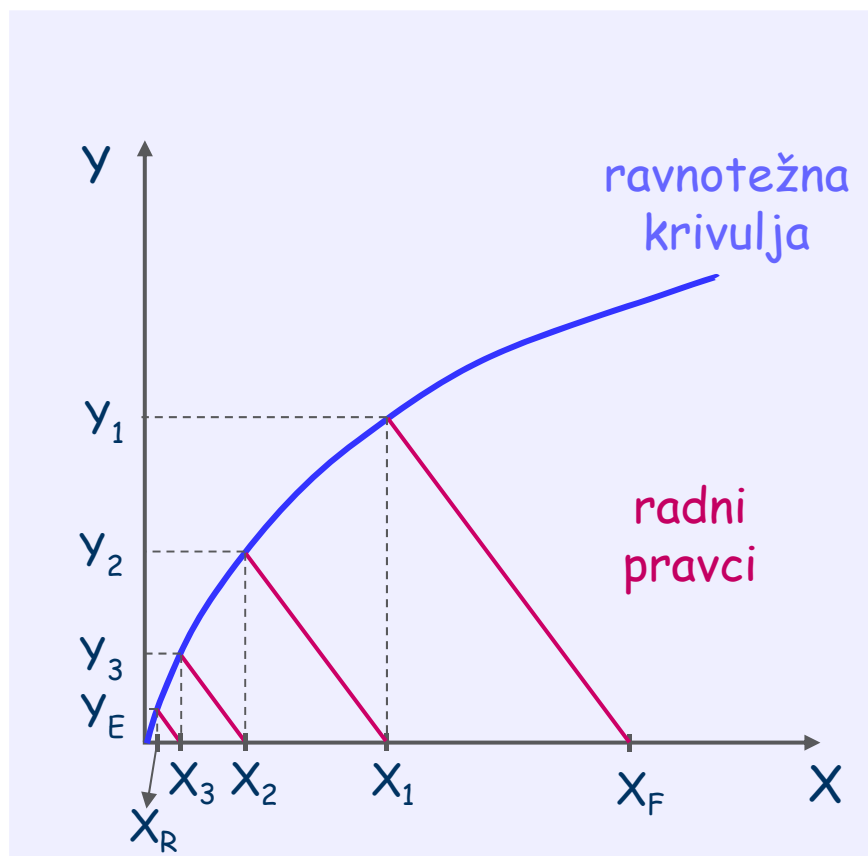
Bilanca tvari

$$m_A \cdot X_{j+1} = m_A \cdot X_j + \frac{m_B}{N} \cdot Y_j$$

- Uvođenjem ravnotežnog odnosa i ekstrakcijskog faktora:

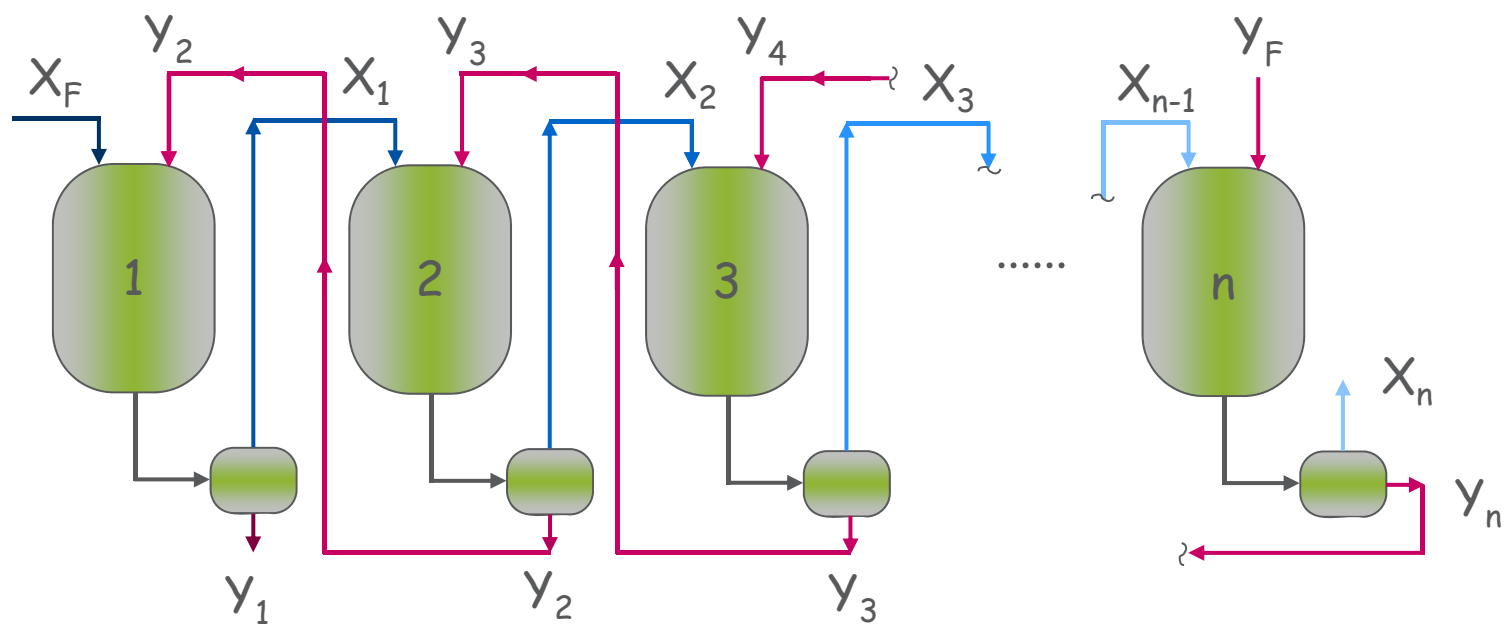
$$\frac{X_j}{X_{j+1}} = \frac{1}{1 + \frac{E}{N}}$$

Prikaz procesa u ravnotežnom dijagramu



$$Y_1 = -\frac{N}{S} \cdot (X_1 - X_F)$$

Višestupnjevita protustrujna ekstrakcija



- Bilanca tvari j-tog stupnja

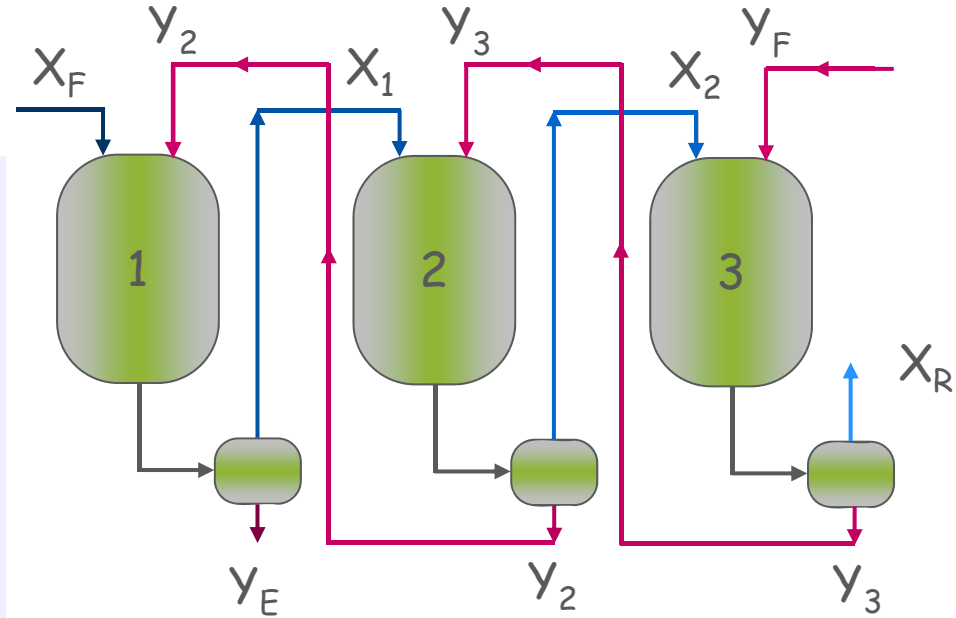
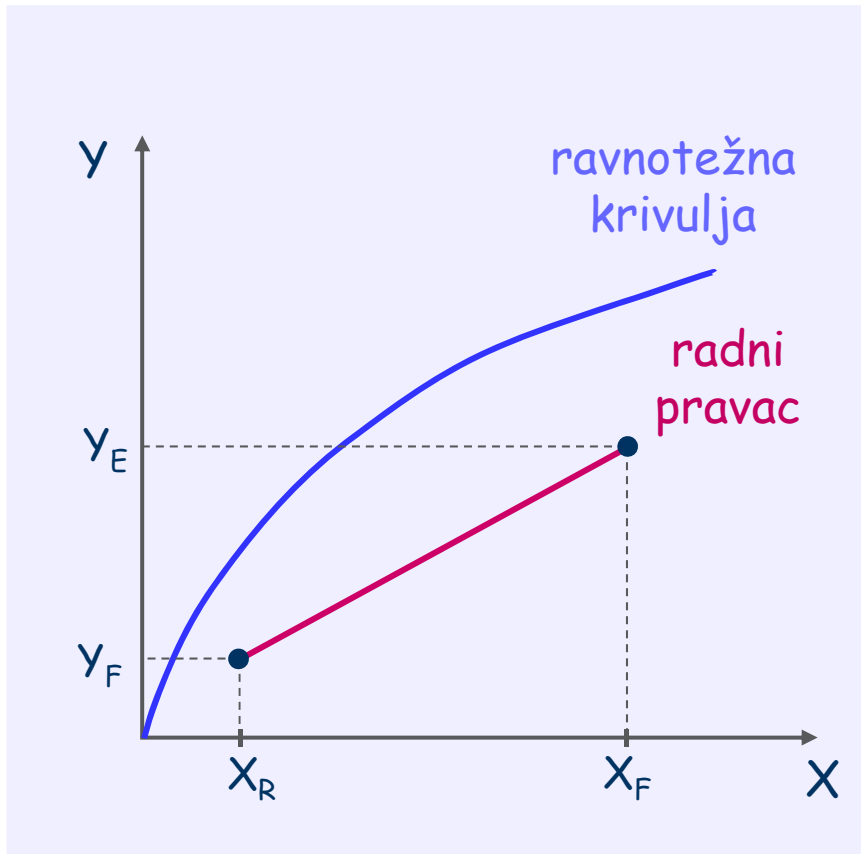
$$m_A \cdot X_{j+1} + m_B \cdot Y_{j-1} = m_A \cdot X_j + m_B \cdot Y_j$$

- Uvođenjem ravnotežnog odnosa, te preuređenjem, dobiva se:

$$X_{j+1} - X_j = E \cdot (X_j - X_{j-1})$$

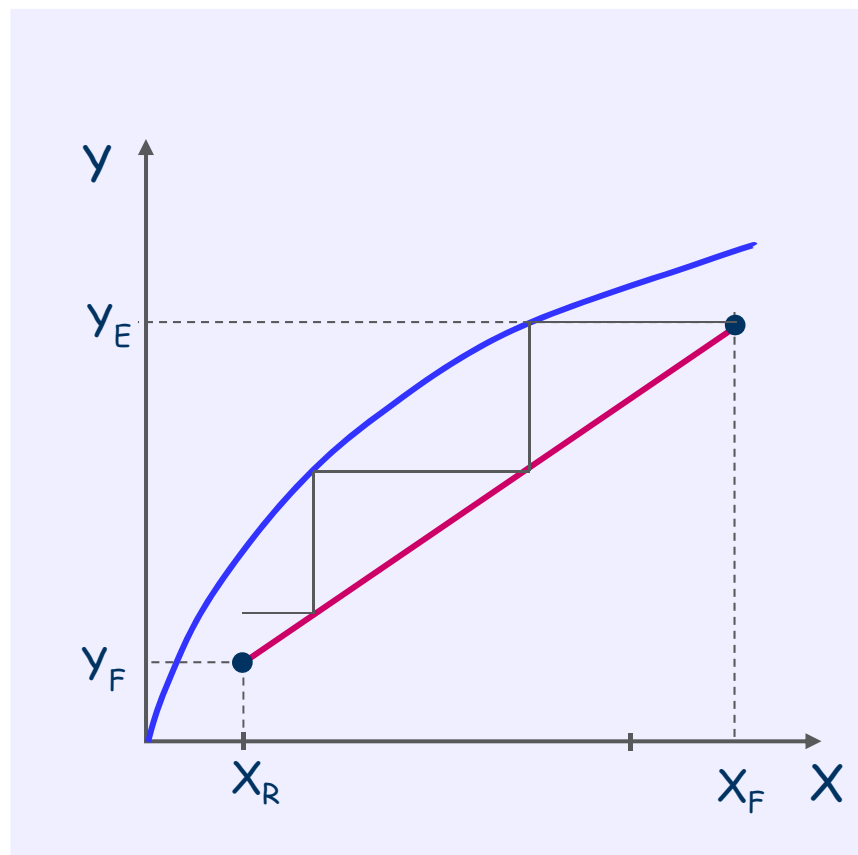


Prikaz procesa u ravnotežnom dijagramu



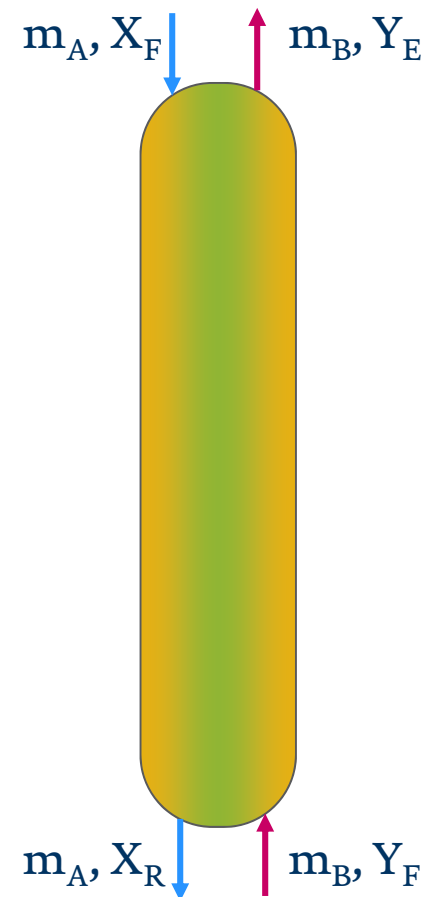
$$Y_E = \frac{1}{S} \cdot (X_F - X_R) + Y_F$$

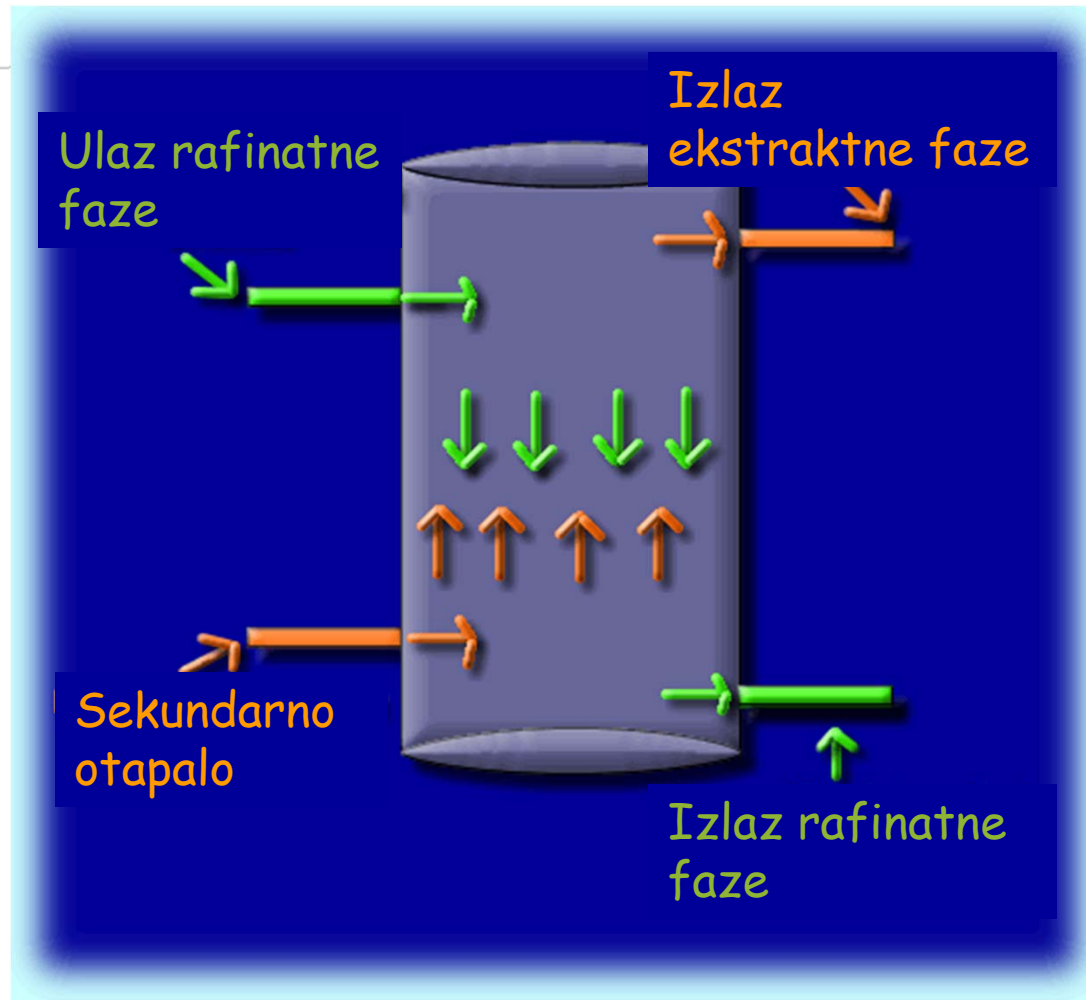
Određivanje broja koncentracijskih stupnjeva



Kolonska ekstrakcija (protustrujna kontinuirana ekstrakcija)

- lakša se faza uvodi na dnu kolone
- teža se faza uvodi na vrhu kolone





Bilanca tvari

$$m_A \cdot X_F + m_B \cdot Y_F = m_A \cdot X_R + m_B \cdot Y_E$$

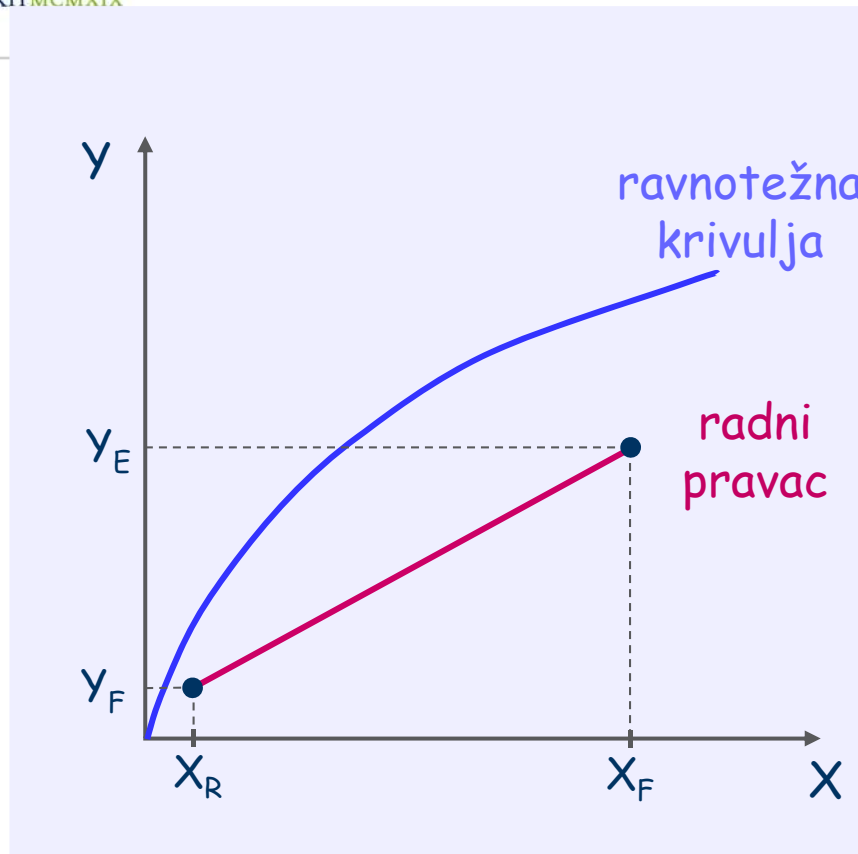
$$Y_E = \frac{1}{S} \cdot (X_F - X_R) + Y_F$$



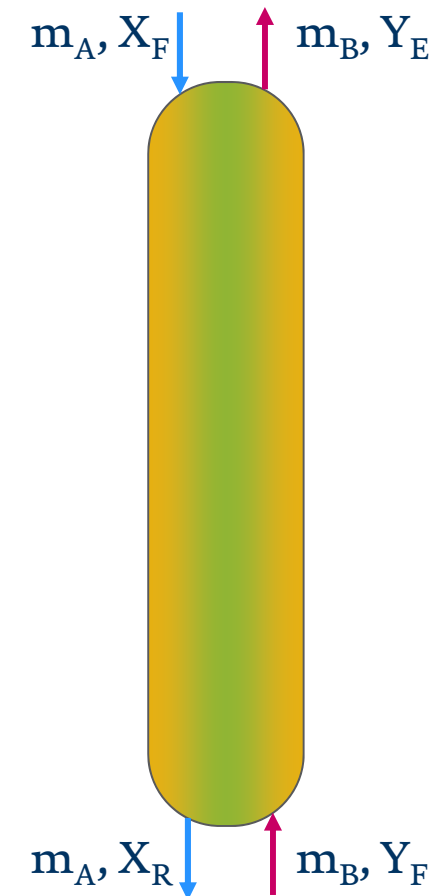
FKITMCMXIX



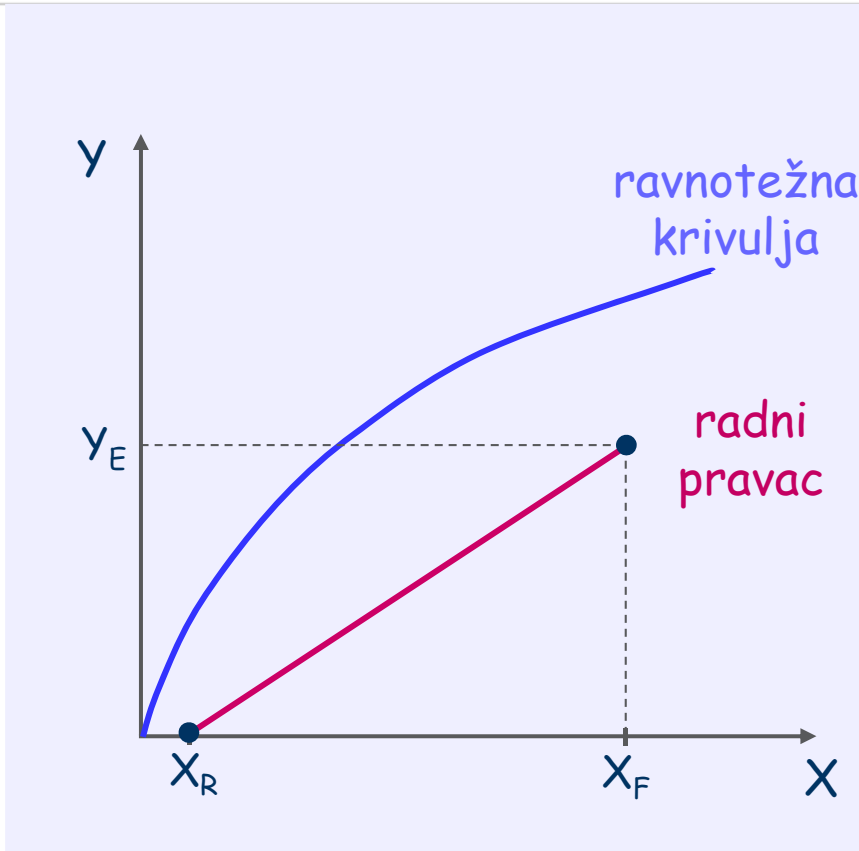
Prikaz procesa u ravnotežnom dijagramu



sekundarno otapalo sadrži određenu količinu otopljene komponente



$$Y_E = \frac{1}{S} \cdot (X_F - X_R) + Y_F$$



sekundarno otapalo ulazi
čisto u kolonu

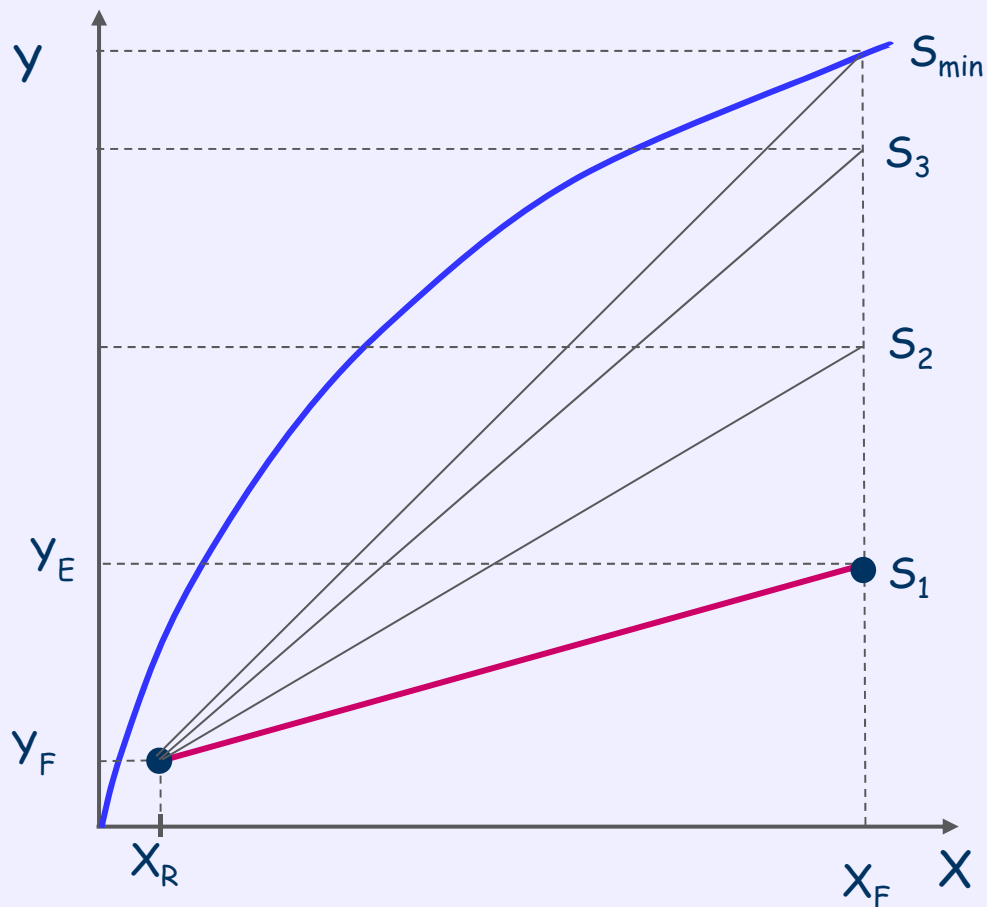
$$Y_E = \frac{1}{S} \cdot (X_F - X_R) + Y_F$$



FKIT MCMXIX



utjecaj promjene solvent odnosa



porastom solvent odnosa smanjuje se broj potrebnih koncentracijskih stupnjeva

za slučaj minimalnog solvent odnosa, S , radni pravac siječe ravnotežnu krivulju u sastavu x_F

- Brzina prijenosa tvari C

$$\dot{m}_c = K_R \cdot A \cdot (X - X_{eq}) \cdot \rho_R$$

$$\dot{m}_c = K_E \cdot A \cdot (Y_{eq} - Y) \cdot \rho_E$$

- K_R, K_E - koeficijenti prijenosa tvari u rafinatnoj i ekstraktnoj fazi, m/s
- X, Y, X_{eq}, Y_{eq} - sastavi rafinatne i ekstraktne faze i odgovarajuće ravnotežne vrijednosti
- ρ_R, ρ_E - gustoće rafinata i ekstrakta, kg/m^3

- Brzina prijenosa tvari u elementu visine dH :

$$d\dot{m}_c = K_R \cdot a \cdot (X - X_{eq}) \cdot dH \cdot \rho_R \cdot A_K$$

$$d\dot{m}_c = K_E \cdot a \cdot (Y_{eq} - Y) \cdot dH \cdot \rho_E \cdot A_K$$

- a - specifična međufazna površina, m^2/m^3
- dH - element visine kolone, m

$$d\dot{m}_c = \dot{m}_A \cdot \Delta X = \dot{m}_B \cdot \Delta Y$$

- izjednačavanjem jednadžbi toka i bilancne jednadžbe, dobiva se izraz koji definira broj jedinica prijenosa tvari

$$\frac{K_R \cdot a \cdot A_K \cdot H}{\dot{V}_a} = \int_{x_R}^{x_F} \frac{dx}{x - x_{eq}} = NTU_R$$

$$\frac{K_E \cdot a \cdot A_K \cdot H}{\dot{V}_b} = \int_{y_0}^{y_E} \frac{dy}{y_{eq} - y} = NTU_E$$

- V_a, V_b - volumni protoci rafinatne i ekstraktne faze.
- $K_R \cdot a$ i $K_E \cdot a$ – koeficijenti kapaciteta kolone obzirom na rafinatnu i ekstraktnu fazu.

- Poznavanjem ulaznih i izlaznih koncentracija obje faze, kao i ravnotežu odabranog sustava, broj koncentracijskih stupnjeva, NTU, može se izračunati na sljedeći način

$$NTU_R = \frac{\Delta x}{\Delta x_{LM}}$$

$$NTU_E = \frac{\Delta y}{\Delta y_{LM}}$$

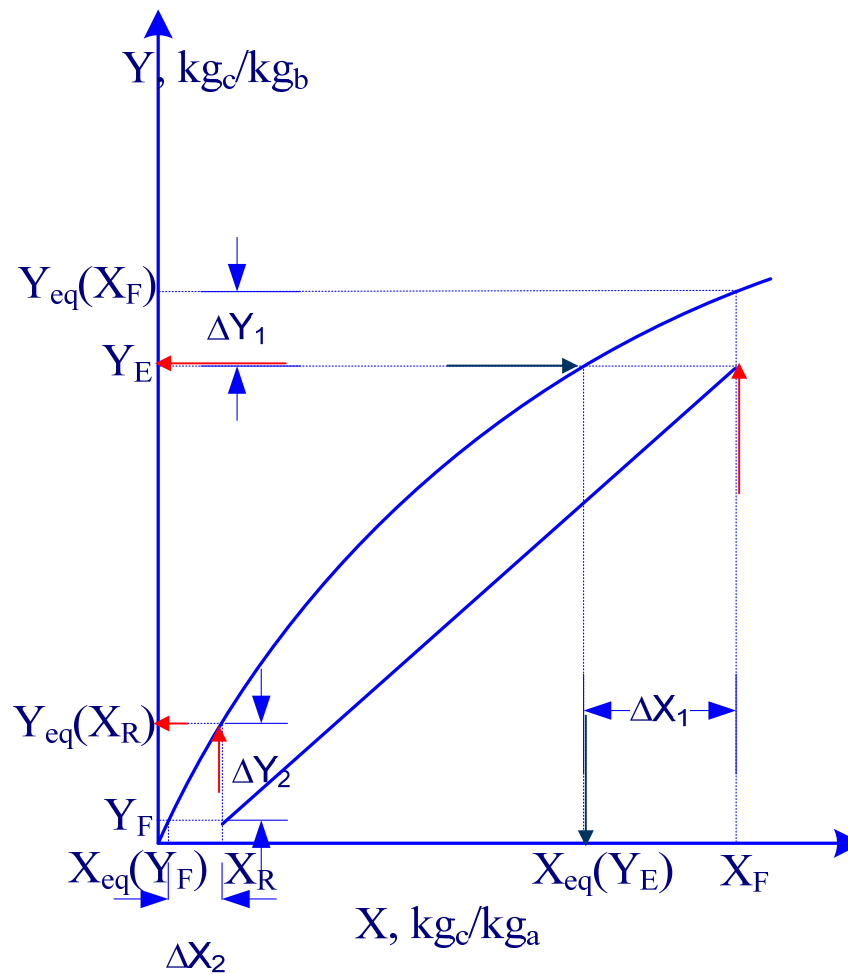
$$\Delta x = x_F - x_R$$

$$\Delta y = y_E - y_F$$

- ostvarena promjena koncentracija

-
- faktor kapaciteta definira promjer kolone
 - djelotvornost definira visinu kolone
 - specifična površina, a , m^2/m^3
 - lakša je faza dispergirana u skup kapljica koje se probijaju kroz kontinuiranu fazu
 - na granici faza dolazi do prijenosa tvari
 - ako je miješanje slabo može doći do koalescencije, čime se smanjuje specifična međufazna površina
 - ako je veća specifična površina, definirana unutrašnjošću kolone, uređaj je manji

Određivanje pokretačke sile



$$\Delta X_{lm} = \frac{\Delta X_1 - \Delta X_2}{\ln\left(\frac{\Delta X_1}{\Delta X_2}\right)}$$

$$\Delta X_1 = X_F - X_{eq}(Y_E)$$

$$\Delta X_2 = X_R - X_{eq}(Y_F)$$

$$\Delta Y_{lm} = \frac{\Delta Y_1 - \Delta Y_2}{\ln\left(\frac{\Delta Y_1}{\Delta Y_2}\right)}$$

$$\Delta Y_1 = Y_{eq}(X_F) - Y_E$$

$$\Delta Y_2 = Y_{eq}(X_R) - Y_F$$

- Visina teoretske jedinice prijenosa, HTU, odnosno jednog koncentracijskog stupnja može se izračunati pomoću sljedećih izraza

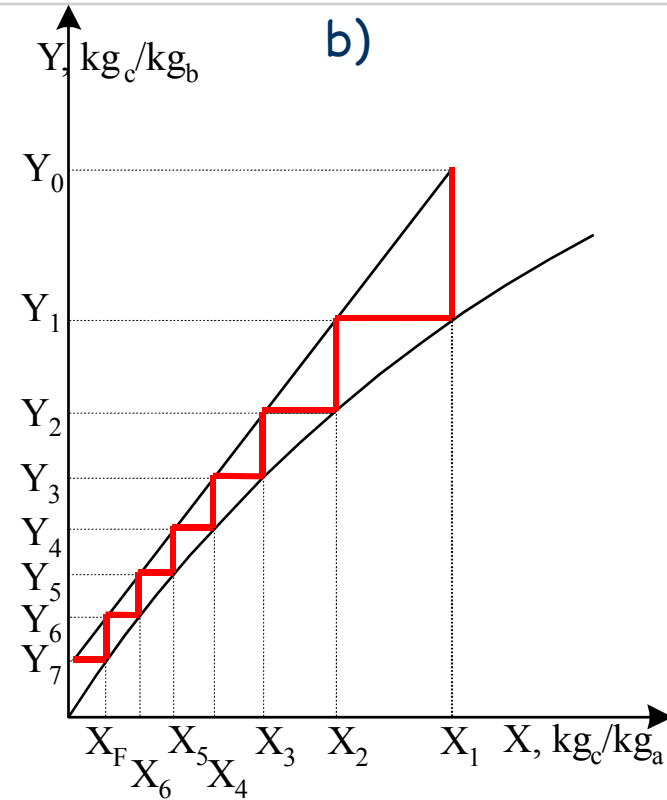
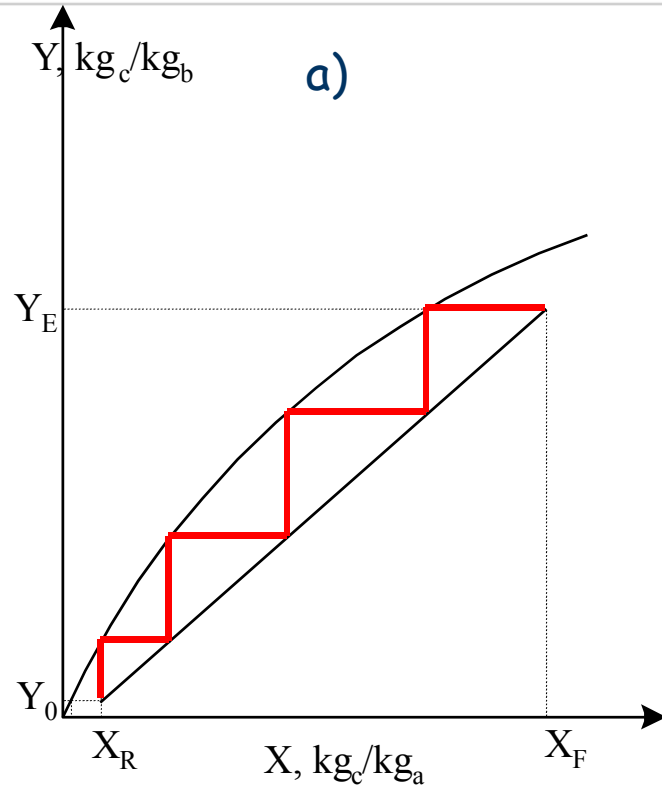
$$\frac{K_R \cdot a \cdot A_K \cdot H}{\dot{V}_a} = \int_{x_R}^{x_F} \frac{dx}{x - x_{eq}} = NTU_R$$

$$HTU_R = \frac{H}{NTU_R} = \frac{v_R}{K_R \cdot a}$$

- H – visina kolone, $HTU_E = \frac{H}{NTU_E} = \frac{v_E}{K_E \cdot a}$
- v_R, v_E – brzine strujanja rafinatne i ekstraktne faze, m/s.

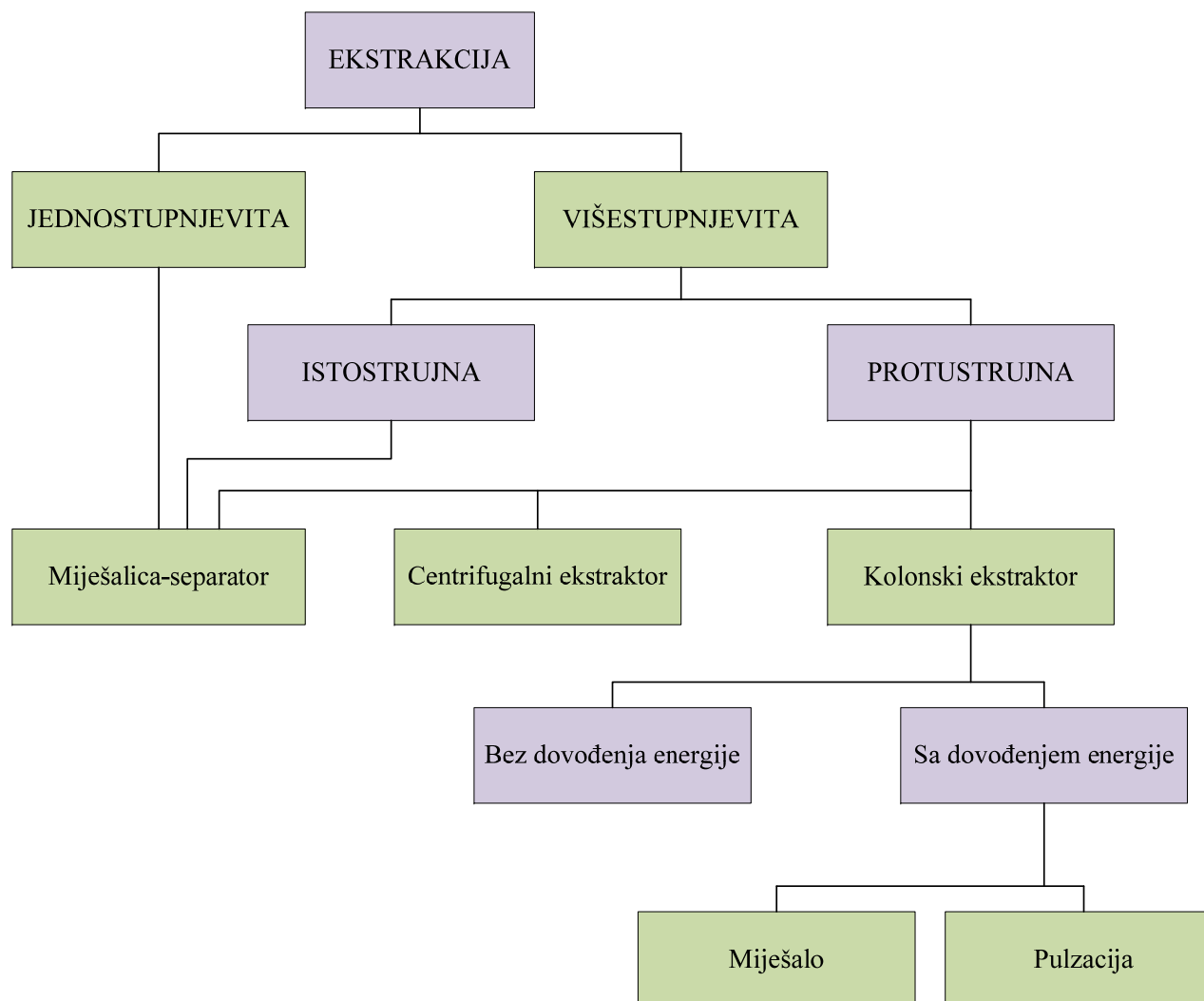
-
- brzina ovisi o volumnom protoku
 - veća brzina \rightarrow veći HTU \rightarrow veća visina kolone
 - povećati faktor kapaciteta znači povećati specifičnu međufaznu površinu (nasipna punila, miješanje)
 - manji HTU \rightarrow manja visina kolone \rightarrow veći NTU \rightarrow veći $K_R a$
 - $HTU_E \neq HTU_R$
 - otpori prijenosu tvari različiti na strani rafinatne i ekstraktne faze
 - $NTU_E \neq NTU_R$

Određivanje broja koncentracijskih stupnjeva

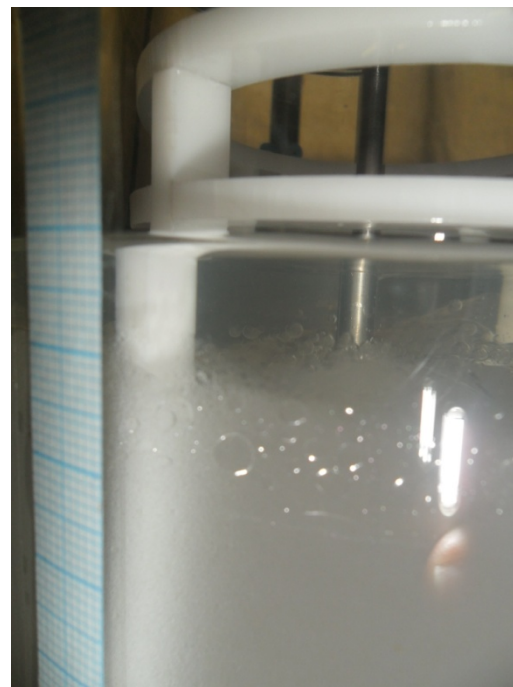


- a) uklanjanje otopljene komponente iz težeg pomoću lakšeg otapala
 b) uklanjanje otopljene komponente iz lakšeg pomoću težeg otapala

EKSTRAKTORI



Šaržni ekstraktor - miješalica

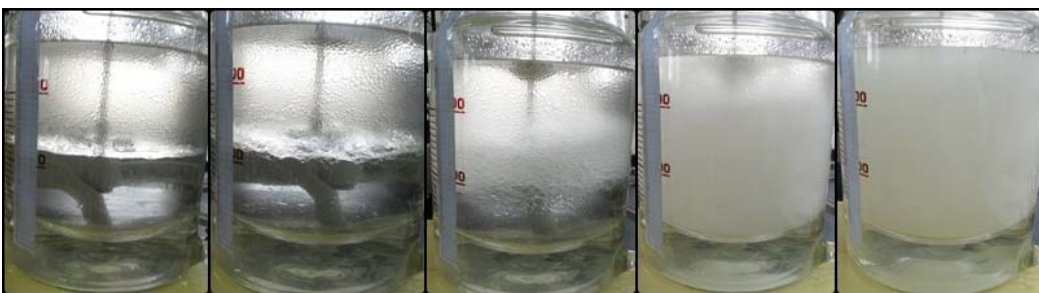
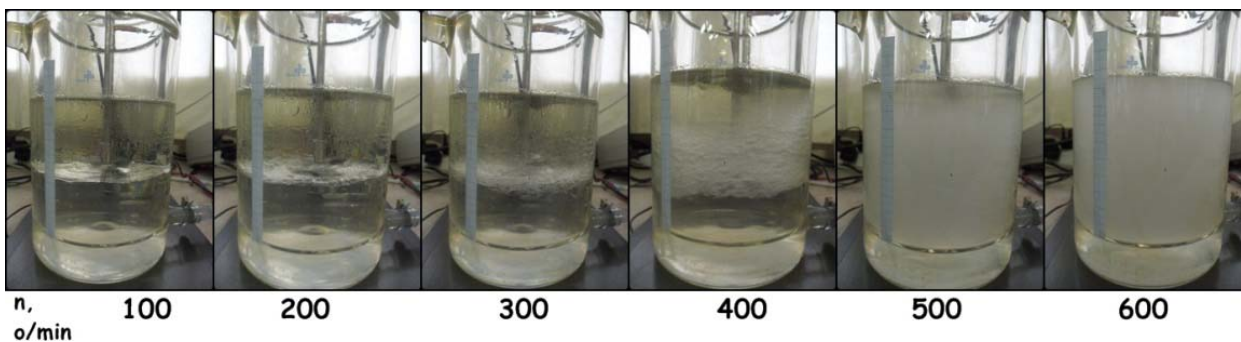
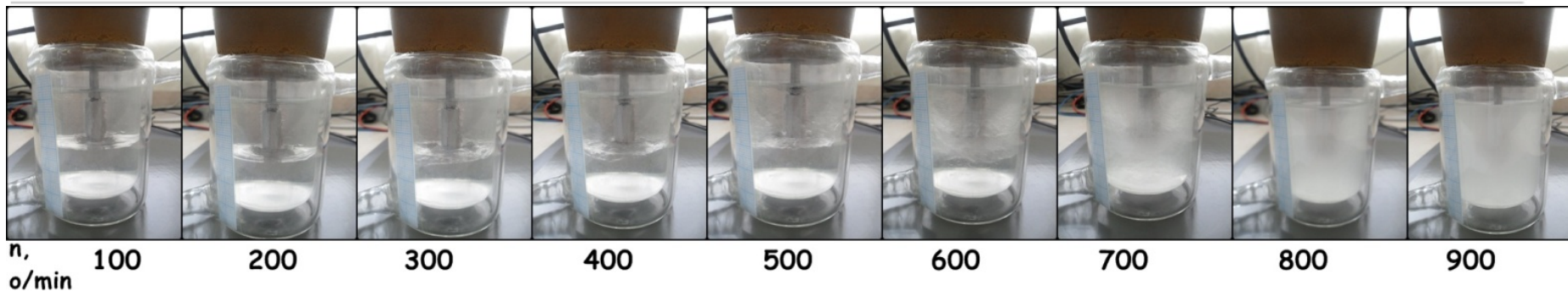


S=1,00

D/2



FKIT MCMXIX



n, o/min 49

D3

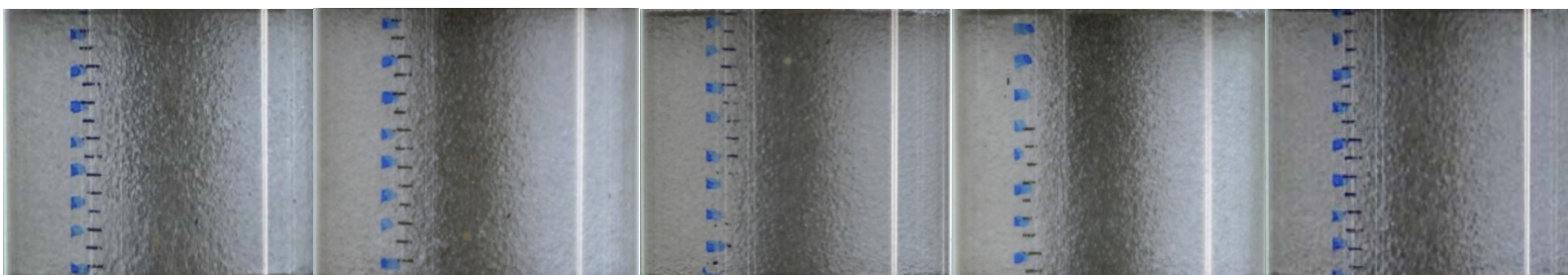
D2

D1

Geometrijski slični ekstraktori

Kontinuirani kolonski ekstraktor s pulzirajućim pliticama

$f=90 \text{ min}^{-1}$



$S=0,21$

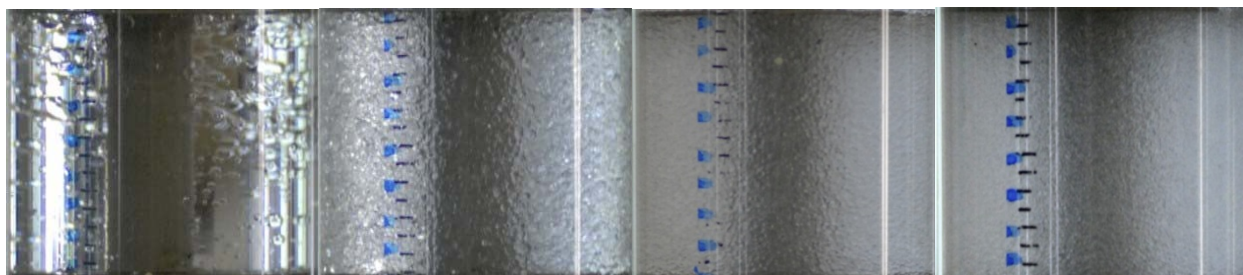
$S=0,24$

$S=0,33$

$S=0,43$

$S=0,65$

$S=0,33$



$f=30 \text{ min}^{-1}$

$f=60 \text{ min}^{-1}$

$f=90 \text{ min}^{-1}$

$f=120 \text{ min}^{-1}$