

Proračun ekstrakcijskog sustava za kruto-tekuće izdvajanje biotehnoloških proizvoda

Izdvajanje i pročišćavanje
biotehnoloških proizvoda (IPBTP)

Seminar 2.

Izdvajanje i pročišćavanje biotehnoloških proizvoda (SPBTP)

Raspored rada na seminaru

- Ekstrakcija (Sem. 1)
- Adsorpcija (Sem. 3)
- Destilacija (Sem. 5)
- Kristalizacija (Sem. 7)
- Sušenje (Sem. 9)

Izdvajanje i pročišćavanje biotehnoloških proizvoda (SPBTP)- seminar

- Vanjski i unutrašnji prijenos (difuzijski model)
- Kinetika (kinetički model)
- Bilanca tvari, energije i količine gibanja

- Hidrodinamičke karakteristike sustava (vrste strujanja, miješanje, model miješanja)

Izdvajanje i pročišćavanje biotehnoloških proizvoda
(SPBTP)- seminar
ekstrakcija kruto-tekuće

- Jednostupanjska ekstrakcija (primjer 1; šaržna ekstrakcija)
- Višestepena ekstrakcija (primjer 2; kontinuirana ekstrakcija)

Za primjere 1 i 2

- Dinamička ravnoteža
- Sirovina (biomasa) i ekstraktor idealno pripremljeni (biomasa usitnjena i homogenizirana)
- Nema otpora prijenosu tvari (unutar fazni i među fazni prijenos)
- Potpuno razdvajanje krute i tekuće faze nakon ekstrakcije (centrifugiranje, taloženje)

Uz iznesene prepostavke riješite primjer 1

Primjer 1

U jedostupanjskom ekstraktoru provodi se ekstrakcija lipida iz biomase alge. 100 kg suhe tvari biomase ekstrahira se s 100 kg otapala (petrol-etera). Maseni udio lipida u suhoj tvari biomase je 20%.

Maseni udio lipida u ekstraktu nakon ekstrakcije je 16.67%.

Maseni udio staničnih ostataka u rafinatu je 60%.

Izračunajte masu i masene udjele na početku i na kraju procesa iz primjera 1.

Primjer 1. Shema ekstraktora



L_0 -masa krute faze (biomase) (kg)

V_2 -masa otapala (kg)

V_1 -masa ekstrakta (kg)

L_1 -masa rafinata (kg)

A –ostaci stanica (inertni materijal)

B-lipidi

C-otapalo

L_0 – masa biomasa=stanični ostaci+lipidi=100kg

V_2 – masa otapala=100kg

M - Ukupna masa=Biomasa+otapalo=200kg

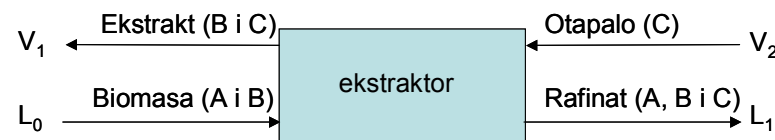
$w_{B,V1}$ - maseni udio lipida u ekstraktu=0.1667

$w_{A,L1}$ - maseni udio staničnih ostataka u rafinatu=0.6

$w_{B,L0}$ - maseni udio lipida=0.2

$w_{A,L0}$ - maseni udio staničnih ostataka=0.8

$w_{A,M}$ - maseni udio stanični ostataka u ukupnoj masi=?



Tablica 1. Mase i maseni udjeli (Primjer 1).

	Ukupna masa (kg)	Wt% A	Wt% B	Wt% C
Masa biomase L_0				
Masa otapala V_2				
Masa ekstrakta V_1				
Masa rafinata L_1				



Bilanca za stanične ostatke (A):

$$M w_{A,M} = V_1 w_{A,V1} + L_1 w_{A,L1}$$

$w_{A,M}$ - maseni udio staničnih ostataka u ukupnoj masi (M)

$$w_{A,M} = 0.4$$

$w_{A,V1}$ - maseni udio staničnih ostataka u ekstraktu

Uz Idealno razdvajanje:

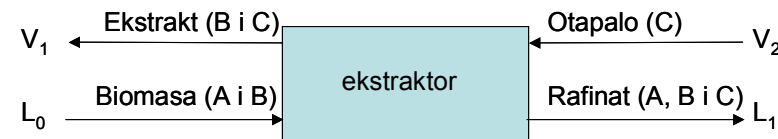
$$w_{A,V1} = 0$$

$w_{A,L1}$ - maseni udio staničnih ostataka u rafinatu

$$w_{A,L1} = 0.6$$

$$L_1 = M \frac{w_{A,M}}{w_{A,L1}} = 200 \frac{0.4}{0.6}$$

$$L_1 = 133.333 \text{ kg} \quad \text{Masa rafinata}$$



Maseni udio lipida (B) i otapala (C) u rafinatu izračunat je iz bilance za:

Lipide (B)

$$L_1 w_{B,L1} + V_1 w_{B,V1} = L_0 w_{B,L0} + V_2 w_{B,V2}$$

$$w_{B,L1} = \frac{L_0 w_{B,L0} - V_1 w_{B,V1}}{L1} = \frac{100 \cdot 0.2 - 66.666 \cdot 0.1667}{133.333}$$

$$w_{B,L1} = 0.067$$

$$w_{A,L1} + w_{B,L1} + w_{C,L1} = 1$$

$$w_{C,L1} = 1 - 0.6 - 0.067$$

$$w_{C,L1} = 0.333$$



Tablica 1. Mase i maseni udjeli (Primjer 1).

	Ukupna masa (kg)	Wt% A	Wt% B	Wt% C
Masa biomase L_0				
Masa otapala V_2				
Masa ekstrakta V_1				
Masa rafinata L_1				



Tablica 1. Mase i maseni udjeli (Primjer 1).

	Ukupna masa (kg)	Wt% A	Wt% B	Wt% C
Masa biomase L_0	100	80	20	0
Masa otapala V_2	100	0	0	100
Masa ekstrakta V_1	66.6	0	16.6	83.3
Masa rafinata L_1	133.3	60	6.7	33.3



Primjer 2

U višestupanjskom ekstraktoru provodi se ekstrakcija β -glukana iz biomase. 10 000 kg biomase ima sljedeći sastav:

28% voda

32% glukana

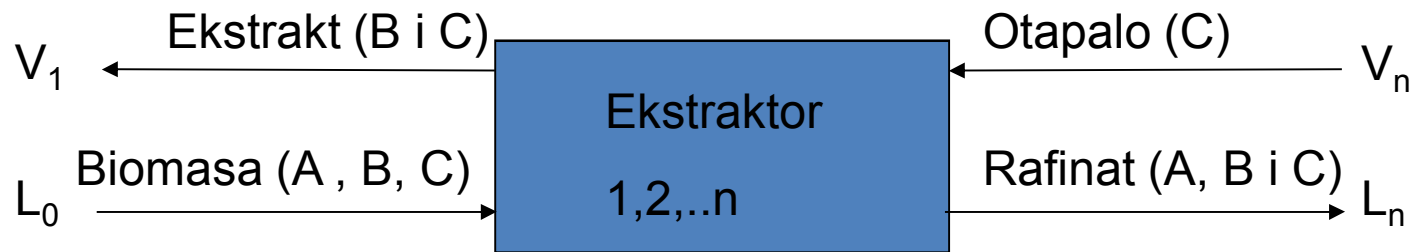
40% inertni materijal

Proces se provodi kontinuiranim protustrujnim postupkom.

Ekstrakt ima 40% glukana, a efikasnost ekstrakcije je 90%.

1 kg inertnog materijala zadržava 3 kg otapala (udio inertnog materijala u rafinatu je 25%).

Izračunajte masu i masene udjele ulaznih i izlaznih materijalnih tokova bioprocesa iz primjera 2. Iz dobivenih vrijednosti koristeći ternarni diagram odredite broj ekstrakcijskih stupnjeva.



$$x_{B,V1} = 0.4$$

$$L_0 = 10.000 \text{ kg}$$

$$x_{B,L0} = 0.32$$

90% glukana (B) treba ekstrahirati (efikasnost je 90%) i ekstrakt sadrži 40% glukana

Balanca za glukana (B):

$$V_1 * x_{B,V1} = 0.9 * L_0 * x_{B,L0}$$

$$V_1 = \frac{0.9 \cdot 10000 \cdot 0.32}{0.4}$$

$$= 7.200 \text{ kg}$$

Balanca za inertni materijal (A)

$$L_n * x_{A,Ln} + V_1 * x_{A,V1} = V_n * x_{A,Vn} + L_0 * x_{A,L0}$$

$$x_{A,Ln} = \frac{A}{A+B+C} = \frac{1}{1+3} = 0.25$$

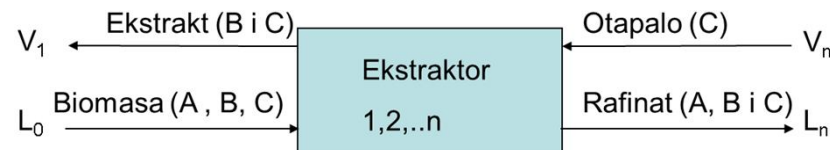
uz pretpostavku potpunog razdvajanja tj. u ekstraktu nema inertnog materijala (A) slijedi:

$$x_{A,V1} = 0$$

Otapalo je čista voda tj.

$$x_{A,Vn} = 0$$

$$L_n = L_0 \frac{x_{A,L0}}{x_{A,Ln}} = 10000 \frac{0.4}{0.25} = 16000 \text{ kg}$$



Bilanca za glukozu (B)

$$V_1 \cdot x_{B,V1} + L_n \cdot x_{B,Ln} = L_0 \cdot x_{B,L0} + V_n \cdot x_{B,Vn}$$

uz $x_{B,Vn} = 0$ (otapalo je čista voda) slijedi:

$$x_{B,Ln} = \frac{L_0 x_{B,L0} - V_1 x_{B,V1}}{L_n} = \frac{10000 \cdot 0.32 - 7200 \cdot 0.4}{16000} = 0.02$$

Bilanca za ekstraktor

$$L_0 + V_n = L_n + V_1$$

$$V_n = L_n + V_1 - L_0 = 16,000 + 7,200 - 10,000 = 13200 \text{ kg}$$



Tablica 2. Mase i maseni udjeli (Primjer 2).

	Ukupna masa (kg)	X% A	X% B	X% C
Masa biomase L_0	10000	40	32	28
Masa otapala V_n	13200	0	0	100
Masa ekstrakta V_1	7200	0	40	60
Masa rafinata L_n	16000	25	2	73



Grafičko određivanje broja ekstrakcijskih stupnjeva

1. Nacrtajte pravac $x_{A,L_n} = 0.25$ (pravac rafinata)
2. Prikažite točke: L_0 ($x_{A,L_0} = 0.4$, $x_{B,L_0} = 0.32$, $x_{C,L_0} = 0.28$),
 V_1 ($x_{A,V_1} = 0$, $x_{B,V_1} = 0.4$, $x_{C,V_1} = 0.6$),
 V_n ($x_{C,V_n} = 1$) i
 L_n ($x_{A,L_n} = 0.25$, $x_{B,L_n} = 0.02$, $x_{C,L_n} = 0.73$)
3. Povucite pravac kroz točke V_1 L_0
4. Povucite pravac kroz točke V_n L_n
5. Odredite sjecište pravaca (Točka D)
6. Nacrtajte pravac između točke A (točka na ternarnom diagramu) i točke V_1
7. Odredite točku sjecišta L_1 pravca AV_1 s pravcem rafinata
8. Povucite pravac između točkaka L_1 i točke D
9. Sjecište pravca L_1D i desne stranice diagrama daje točku V_2
10. Navedeni postupak se ponavlja dok posljednji pravac u nizu ne bude u neposrednoj blizini pravca V_nD , a točka sjecišta posljednjeg pravca s pravcem rafinata u neposrednoj blizini točke L_n .

Primjer 3

Klorofil se ekstrahira iz biomase (sirovina) pomoću etera (otapalo). Kontinuirana ekstrakcija se provodi u kolonskom pilot ekstraktoru. Površina prijenosa iznosi 0.00455 m^2 . Koncentracija klorofila u biomasi je 0.689 kmol/m^3 , u rafinatu 0.683 kmol/m^3 , otapalu 0.00397 kmol/m^3 i u ekstraktu 0.01147 kmol/m^3 . Eter protjeće kroz kolonu s protokom od $5.67 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$. Jednadžba ravnotežne krivulje je:

$$c_E^* = 0.0247 \cdot c_R$$

Volumni koeficijent brzine prijenosa (koeficijent kapaciteta kolone) iznosi 0.000778 s^{-1} .

Izračunajte potrebnu visinu sloja stanica biomase u ekstraktoru.

$$A=0.00455\text{m}^2$$

$$F= 5.67 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{ s}$$

$$c_{E1}=0.00397 \text{ kmol/m}^3$$

$$c_{E2}=0.01147 \text{ kmol/m}^3$$

$$c_{R1}=0.683 \text{ kmol/m}^3$$

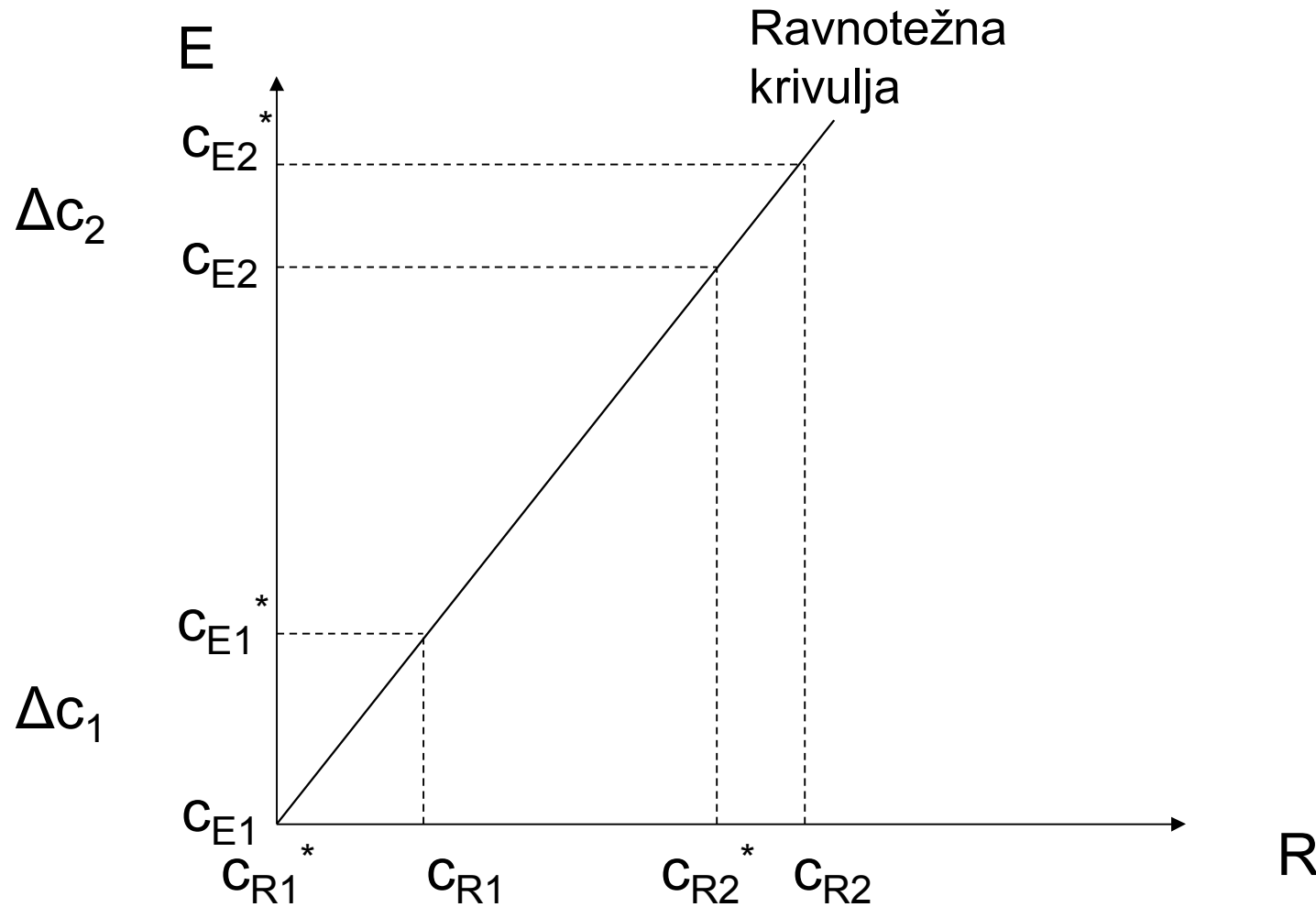
$$c_{R2}=0.689 \text{ kmol/m}^3$$

$$K_E a=0.000778 \text{ s}^{-1}$$



$$c_E^* = m \cdot c_R$$

m-koeficijent raspodjele



Bilanca za klorofil:

Ulaz-izlaz=međufazni prijenos

$$F \cdot (c_{E2} - c_{E1}) = K_E \cdot a \cdot \Delta c_{LM} \cdot H \cdot A$$

$$\Delta C_{LM} = \frac{\Delta C_1 - \Delta C_2}{\ln \frac{\Delta C_1}{\Delta C_2}} = 0.00878 \text{ kmol/m}^3$$

Za desnu stranu kolone:

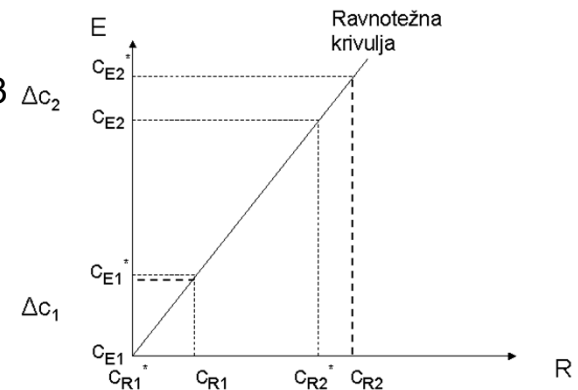
$$c_{E1}^* = 0.0274 \cdot c_{R1} = 0.0274 \cdot 0.683 = 0.0169 \text{ kmol/m}^3$$

$$\Delta c_1 = (c_{E1}^* - c_{E1}) = 0.0169 - 0.00397 = 0.01293 \text{ kmol/m}^3$$

Za lijevu stranu kolone:

$$c_{E2}^* = 0.0274 \cdot c_{R2} = 0.0274 \cdot 0.689 = 0.01702 \text{ kmol/m}^3$$

$$\Delta c_2 = (c_{E2}^* - c_{E2}) = 0.00555 \text{ kmol/m}^3$$



$$F \cdot (c_{E2} - c_{E1}) = K_E \cdot a \cdot \Delta c_{LM} \cdot H \cdot A$$

$$v \cdot (c_{E2} - c_{E1}) = K_E \cdot a \cdot \Delta c_{LM} \cdot H$$

$$v = F/A = 5.67 \cdot 10^{-6} / 0.00455 = 1.245 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

$$\Delta c_E = c_{E2} - c_{E1} = 0.01147 - 0.00397 = 0.0075 \text{ kmol/m}^3$$

Slijedi:

$$H = \frac{v \cdot \Delta C_E}{K_E \cdot a \cdot \Delta C_{LM}} = \mathbf{1.36 \text{ m}}$$



Primjer 4

Vitamin E se ekstrahira iz biomase pomoću kloroforma (otapalo). Kontinuirana ekstrakcija se provodi u kolonskom pilot ekstraktoru. Promjer kolone je 0.0467m, a visina je 1.09 m. Biomasa se dovodi na vrhu kolone. Kloroform ulazi čist s površinskim volumnim protokom od $0.0013\text{m}^3/\text{m}^2\text{s}$.

Koncentracija vitamina u ekstraktu je $0.376\text{ kmol}/\text{m}^3$.

Koncentracija vitamina u biomasi (na ulazu) je $1.185\text{ kmol}/\text{m}^3$, a koncentracija u rafinatu je $0.817\text{ kmol}/\text{m}^3$.

Ravnotežni odnosi su definirani omjerom vitamina u kloroformu i biomasi pri čemu je koncentracija vitamina u kloroformu 0.548 puta veća od njene koncentracije u biomasi.

Izračunajte volumni koeficijent brzine prijenosa vitamina (koeficijent kapacitet kolone). Kao i teorijsku visinu jedinice prijenosa ekstraktora.

$$D=0.0467\text{m}$$

$$H=1.09\text{m}$$

$$v=0.0013\text{m}^3/\text{m}^2\text{s}$$

$$c_{E2}=0.376 \text{ kmol}/\text{m}^3$$

$$c_{E1}=0 \text{ kmol}/\text{m}^3$$

$$c_{R1}=0.817 \text{ kmol}/\text{m}^3$$

$$c_{R2}=1.185 \text{ kmol}/\text{m}^3$$

m-ravnotežni odnos koeficijent
raspodjele između biomase i
otapala

$$m= 0.548$$



Razlika koncentracije vitamina u otapalu tijekom
ekstrakcije:

$$c_{E2} - c_{E1} = 0.376 - 0 = 0.376 \text{ kmol}/\text{m}^3 = \Delta c_E$$

Za desnu stranu kolone:

$$c_{R1} = 0.817 \text{ kmol/m}^3$$

$$c_{E1}^* = 0.548 \cdot c_{R1} \quad \leftarrow \quad \text{U ravnoteži: } c_{E1}^* = m \cdot c_{R1}$$

$$c_{E1}^* = 0.548 \cdot 0.817 = 0.448 \text{ kmol/m}^3$$

$$\Delta c_1 = (c_{E1}^* - c_{E1}) = 0.448 \text{ kmol/m}^3$$

Za lijevu stranu kolone:

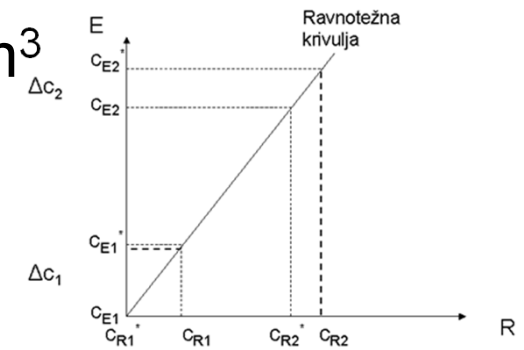
$$c_{R2} = 1.185 \text{ kmol/m}^3$$

$$c_{E2}^* = 0.548 \cdot c_{R2}$$

$$c_{E2}^* = 0.548 \cdot 1.185 = 0.649 \text{ kmol/m}^3$$

$$\Delta c_2 = (c_{E2}^* - c_{E2}) = 0.649 - 0.376 = 0.273 \text{ kmol/m}^3$$

$$\Delta C_{LM} = \frac{\Delta C_1 - \Delta C_2}{\ln \frac{\Delta C_1}{\Delta C_2}} = 0.355 \text{ kmol/m}^3$$



$$\frac{K_E \cdot a \cdot H}{v} = \frac{\Delta c}{\Delta c_{LM}} = NTU$$

$$K_E \cdot a = \frac{v \cdot \Delta c}{H \cdot \Delta c_{LM}}$$

$$K_E \cdot a = \frac{v \cdot \Delta c}{H \cdot \Delta c_{LM}} = \frac{0.0013 \cdot 0.376}{1.09 \cdot 0.355} = 0.00126 s^{-1}$$

$$\frac{K_E \cdot a \cdot H}{v} = NTU$$

$$H = HTU \cdot NTU$$

$$HTU = H / NTU$$

$$HTU = \frac{v}{K_E \cdot a} = 1.03 m$$