

תהליכי הפרדה 1 - נוסחאות והגדרות

מונחים כלליים

יחס ריכוז = ריכוז סופי של תוצר / ריכוז התחלתי של תוצר
 פעילות ספציפית = פעילות ביולוגית בדוגמא (u) / כמות חלבון כללית בדוגמא (mg)
 פקטור ניקוי = פעילות ספציפית סופית של התוצר / פעילות ספציפית התחלתית של התוצר
 ניצולת = כמות סופי של תוצר / כמות התחלתית של תוצר

שבירת תאים

R – רמת השחרור, פקטור המציין כמות יחסית של תוצר במהלך השבירה, למשל כמות חלבון/כמות מוצק.
 R_{max} – רמת שחרור מרבית (Rm)

$$D = \frac{R}{R_m} = \text{יחס השבירה}$$

$$\ln\left(\frac{R_m}{R_m - R}\right) = \ln\left(\frac{1}{1 - D}\right) = k' \cdot N = k_p \cdot N \cdot P^\alpha = k_t \cdot N \cdot t \quad \text{: משוואת Hetherington}$$

$$K' - \text{קבוע פירוק אמפירי הנקבע לכל מכשיר ומיקרואורגניזם} \quad t - \text{זמן קבוע הזמן} \quad \tau = \frac{1}{K'_i N}$$

K – קבוע פירוק אמפירי של המכשיר
 N – מס' המעברים (מס' הפעמים שהתאים עברו במכשיר)
 α – קבוע פירוק אמפירי הנקבע עבור כל מיקרואורגניזם
 P – לחץ

צורה ליניארית של משוואת Hetherington לצורך הצגה גראפית : $\ln\left[\ln\left(\frac{1}{1 - D}\right)\right] = \alpha \ln P + \ln(k_p N)$

$$D = 1 - e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad \ln\left(\frac{1}{1 - D}\right) = \frac{t}{\tau} \quad \text{: משוואת Hetherington כתלות בזמן}$$

$$\ln\left(\frac{1}{1 - D}\right) = k_t \cdot N \cdot t \quad \text{: שבירת תאים בטחנת כדורים}$$

$$\Delta\pi = P_{out} - P_{in} = RT \cdot \left(\sum_i C_i^{out} - \sum_i C_i^{in}\right) \quad \text{: משוואת ואנט הוף לחישוב לחץ אוסמוטי}$$

C – ריכוז מולרי של חומר בתמיסה
 $\Delta\pi$ – הפרש הלחצים האוסמוטיים

הימגון מנתי

$$\bar{F} = \frac{W}{n} \quad \frac{c_f}{c_o} = k^n$$

W – ספיקה נפחית
 c_o – ריכוז תאים בתרחיף מקורי
 c_f – ריכוז ביציאה מההמגון
 k – שבר התאים השורדים
 F – ספיקה ממוצעת
 n – מס' מעברים

המגון מנתי עם שחרור

$$\frac{c_f}{c_o} = e^{\left(\frac{Wt(1-k)}{V}\right)}, \quad \bar{F} = \frac{V}{t}$$

המגון רציף עם תחזיר

R – ספיקת תחזיר
 C – ריכוז התאים בכניסה למהמגון
 C_0 – ריכוז התאים בכניסה למיכל

נניח ש-K קבוע :

$$k = \frac{c_f}{c_o}$$

$$W = R + F$$

$$W \cdot c = R \cdot c_f + F \cdot c_o$$

מאזן מסה :

מאזן ריכוזים :

$$\frac{c_o}{c_f} = \frac{W}{F} \cdot \left(\frac{1}{K} - 1 \right) + 1 \quad \frac{c_f}{c_o} = \frac{1}{\frac{W}{F} \cdot \left(\frac{1}{K} - 1 \right) + 1} \quad \bar{F} = F \quad \text{מכאן מקבלים כי :}$$

צנטריפוגות

$$F_b = \frac{mg\rho}{\rho_p} \quad \text{כוח עילוי (ארכימדס) -}$$

$$F_D = \frac{C_D v^2 \rho A_p}{2} \quad \text{כוח גרר (עבור כדור) -}$$

$$F_D = 3\pi\mu v_g D_p \quad \text{כוח סטוקס -}$$

$$C_D = \frac{24}{N_{Re}} = \frac{24}{\left(\frac{\rho v_t D}{\mu} \right)} \quad \text{מקדם הגרירה -}$$

$$m \frac{dv}{dt} = F_e - F_b - F_D \quad \text{מאזן כוחות על חלקיק ששוקע :}$$

מהירות שקיעה של חלקיק במצב עמיד :

$$v_g = \sqrt{\frac{2gm(\rho_p - \rho)}{C_D \rho_p A_p \rho}}$$

$$v_s = \sqrt{\frac{4g(\rho_s - \rho) \cdot d}{3C_D \rho}}$$

כאשר החלקיק כדורי אז :

$$v_g = \frac{gD_p^2(\rho_p - \rho)}{18\mu}$$

מהירות שקיעה של חלקיק כדורי במצב עמיד כאשר $Re \ll 1$:

$$v_s = \sqrt{\frac{10g(\rho_s - \rho_w)}{3\rho_w}}$$

מהירות שקיעה של חלקיק כדורי במצב עמיד כאשר $Re > 2000$:

תנועה בשדה צנטריפוגלי

$$v_\omega = \frac{D_p^2(\rho_p - \rho)}{18\mu} \cdot \omega^2 R = \frac{v_g}{g} \cdot \omega^2 R$$

מהירות שקיעה עבור חלקיק בצנטריפוגה :

$$\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right) = \frac{D_p^2(\rho_p - \rho)}{18\mu} \cdot \omega^2 t = \frac{v_g}{g} \cdot \omega^2 t$$

הקשר בין הזמן למיקום החלקיק :

$$v_z = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\pi(R_o^2 - R_i^2)}$$

מהירות ממוצעת של חלקיק בכיוון Z :

$$Q_{\max} = v_g \cdot \sum = v_g \cdot \left[\frac{\pi L (R_o^2 - R_i^2) \omega^2}{g \ln\left(\frac{R_o}{R_i}\right)} \right]$$

ספיקה מקסימאלית :

השימוש בנוסחה הנ"ל היא לטובולרית כאשר R_o זהו רדיוס הצנטריפוגה ו- R_i זה מרחק הנוזל מהציר L זהו גובה הצנטריפוגה

$$Q_{\max} = v_g \cdot \left[\frac{2\pi \cdot n (R_o^3 - R_i^3) \omega^2}{3g \cdot \tan \theta} \right]$$

חישוב ספיקה נדרשת בצנטריפוגת דיסקים :

הערה לגבי 2 הנוסחאות האחרונות – יש לשים לב, הגודל R_o ב-2 סוגי הצנטריפוגות אינו בהכרח מציין אותו גודל, יש לשים לב לנתונים !!!

R_o רדיוס חיצוני R_i רדיוס פנימי (להיזהר לא להציב קוטר)

סינון מספרי ריינולדס מאוד קטנים בתהליכי סינון מכיוון שקוטר חורי הסינון קטן מאוד.

S_p – שטח פנים כולל של החלקיקים, V_p – נפח החלקיקים

$$\frac{S_p}{V_p} = \frac{6}{D}$$

עבור כדור -

עבור חלקיק לא כדורי

$$\frac{S_p}{V_p} = \frac{6}{\Phi_s D_p} \left[\Phi_s = \frac{S_p / V_p \text{ sphere}}{S_p / V_p \text{ non sphere}} \right]$$

$$D_{eq} = \frac{2}{3} \cdot \Phi_s \cdot D_p \cdot \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} \quad \text{קוטר אקויוולנטי של תעלות :}$$

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{72 \lambda_1 \bar{v}_o \mu (1-\varepsilon)^2}{\Phi_s D_p^2 \cdot \varepsilon^3} \quad \text{לחץ סינון כולל תיקון עבור פיתול :}$$

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{150 \bar{v}_o \mu (1-\varepsilon)^2}{\Phi_s D_p^2 \cdot \varepsilon^3} \quad \text{משוואת kozeny- canman כאשר } Re \leq 1, \lambda_1 = 2.1$$

$$Q = \frac{A \Delta P}{L \mu} \cdot K \quad \left(K = \frac{\Phi_s D_p^2 \varepsilon^3}{72 \lambda_1 (1-\varepsilon)^2} \right) \quad \text{חוק Darcy :}$$

סינון במפל לחצים קבוע:

B – התנגדות הממברנה

$$\frac{At}{V} = K \frac{V}{A} + B$$

: משוואת Darcy

$$\frac{\mu \alpha C}{2 \Delta P} = K \quad \frac{\mu R_m}{\Delta P} = B \quad (\Delta P \text{ הוא לפעמים הואקום})$$

$$t = K \left(\frac{V}{A} \right)^2 \quad \text{בהרבה מקרים התנגדות הממברנה לסינון זניחה לעומת התנגדות העוגה, ואז :}$$

“עוגה”

$$L_c = \frac{V_c}{A} = \frac{C \cdot V}{\rho_m (1-\varepsilon)} \cdot \frac{1}{A} \quad \text{נפח “עוגה” :} \quad V_c = \frac{C \cdot V}{\rho_m} \cdot \frac{1}{1-\varepsilon} \quad \text{אורך “עוגה” :}$$

$$R_c = \frac{L_c}{k} = \frac{1}{k} \cdot \frac{C \cdot V}{\rho_m \cdot (1-\varepsilon)} \cdot \frac{1}{A} = \frac{\alpha \cdot C \cdot V}{A} \quad \text{התנגדות ה“עוגה” (עוגה בלתי דחיסה) :}$$

$$\alpha = \alpha' \cdot (\Delta P)^s \quad \alpha' = \mu \cdot \frac{\partial c}{\partial \Delta P} \quad \text{כאשר ה“עוגה” דחיסה יש לבצע תיקון :}$$

S – דחיסות העוגה, $(0 < S < 1)$, בפועל ערכי S לעוגות דחיסות נעים בין 0.1 ל- 0.8.

$$\log \alpha = \log \alpha' + s \log \Delta P$$

סינון בקצב קבוע (ספיקה קבועה): ΔP חייב להשתנות

(ניתן לחשב זמן סינון מקסימאלי עם נתון אילוף של לחץ מקסימאלי)

$$\frac{V}{At} R_m + \frac{\mu \alpha C}{A^2 t^2} t \left(\frac{V^2}{A^2 t^2} \right) = \Delta P, \quad \frac{V}{t} = Q = v \cdot A \Rightarrow v R_m + \mu \alpha C v^2 = \Delta P$$

$$\boxed{\frac{\Delta P}{\alpha} = \mu C v^2}$$

אם התנגדות הממברנה לסינון קטנה יחסית להתנגדות העוגה לסינון אזי:

$$\Delta P^{(1-s)} = \alpha' \mu C v^2 t = K_r t \quad \Rightarrow \quad \frac{\Delta P}{\alpha' \Delta P^s} = \mu C v^2 \quad \text{ואם העוגה דחיסה :}$$

הקשר בין מהירות סיבוב לפרמטרים של הסינון (תוף טוב)

$$t_f = k \left(\frac{V}{A} \right)^2$$

$$t_f = \beta \cdot t_c$$

t_f – זמן היווצרות העוגה (זמן סינון אפקטיבי)

t_c – זמן המחזור (כמה זמן לוקח לו לעשות סיבוב)

β - יחס בין זמן ההיווצרות לזמן המחזור

A - השטח הטבול

K - התנגדות המכשיר

חישוב מהירות הסינון-המשך

עבור תוף סובב יש להתחשב במהירות הסינון ובשילבי הסינון (הזמן בו התוף נמצא בתרחיף, וזמן הסינון הכולל):

$$\frac{V_f}{A} = \left(\frac{2 * \beta * \Delta P^{1-s} * t_c}{\mu * \alpha' * \rho_0} \right)^{\frac{1}{2}}$$

β - קבוע המגדיר את הזמן בו התוף נמצא בתרחיף
 t_c - זמן סיבוב מלא של התוף
 V_f - נפח הפילטרט
 ΔP - הפרש הלחץ על המסנן, $\text{gr}/(\text{cm} * \text{sec}^2)$
 $1 \text{ atm} = 1.01 * 10^6 \text{ gr}/(\text{cm} * \text{sec}^2)$
 μ - צמיגות דינמית, $\text{gr}/(\text{cm} * \text{sec})$
 α - התנגדות סגולית של העוגה, cm/gr
 ρ_0 (C) - ריכוז מוצקים בתרחיף לסינון, ככל שריכוז המוצקים בתרחיף גדול יותר כך הצטברות העוגה תהיה מהירה יותר, gr/cm^3
 V_f - נפח התסינון (גדל ככל שהסינון מתמשך), cm^3
 A - שטח הסינון, cm^2

$$\alpha = \alpha' * \Delta P^s$$

- התנגדות הסגולית של היעוגה" (α) קבועה רק אם היא אינה דחיסה.
- במקרה וה"יעוגה" דחיסה: ההתנגדות הסגולית משתנה כתלות בלחץ α' קבוע ההתנגדות הסגולית
- S - מידת דחיסות העוגה (S=0 עוגה לא דחיסה $\alpha = \alpha'$)
- (S=1 עוגה בעלת דחיסות גבוהה)

סינון דרך ממבראנה ואולטרפילטריציה

Cutoff – מושג המציין את המשקל המולקולארי המינימאלי שאינו עובר את הממבראנה (שכבת הסינון).

משוואת האגן פואסיל מתארת את הזרימה (הסעה) דרך ממבראנת האולטרפילטריציה:

$$v = \frac{(\Delta P - \Delta \pi) D^2 \varepsilon}{32 L \tau \mu}$$

המשתנים: \mathcal{E} - void volume של התעלות בממבראנה, τ - פיתוליות התעלות בממבראנה
 D - קוטר התעלות בממבראנה, L - גובה הממבראנה.

ניתן לשקלל את כולם לפרמטר אחד – פרמביליות הממבראנה - Q_m
 הפרמביליות מגדירה את השטף של מים (או ממס אחר) בטמפי' החדר עם השינוי בלחץ.

$$v = Q_m \Delta P$$

כאשר מבצעים אולטרפילטריציה לתמיסה אחרת, המכילה מומסים שאינם עוברים את הממבראנה, אזי יש

$$v = Q_m (\Delta P - \Delta \pi) \frac{\mu_{H_2O}}{\mu}$$

לתקן את המשוואה בהתאם:

כאשר ישנה עבירות חלקית של המומס דרך הממבראנה:

$$v = Q_m (\Delta P - \sigma \Delta \pi) \frac{\mu_{H_2O}}{\mu}$$

σ - Rejection coefficient

הערה- ניתן לעבור מיחידות שטף למהירות עם משחק ביחידות

כאמור- הלחץ האוסמוטי בפני הממבראנה תלוי בריכוז המומסים ליד הממבראנה.
 השטף של מומס דרך הממבראנה הוא תוצאה של מעבר נוזל + מומס דרך הממבראנה וכן דיפוזיה של מומס משכבת הגיל אל השכבות שבהן ריכוז המומס נמוך יותר.

$$k_c = \frac{D_v}{\delta}$$

מגדירים: מקדם מעבר מסה k_c :

$$\ln \frac{C_m - C_p}{C_f - C_p} = \frac{JL}{D_v} = \frac{J}{k_c}$$

ולאחר אינטגרציה מקבלים:

אם כל המומס נדחה מהממבראנה ואינו עובר אותה (למשל חומר בעל מ. מולרית גבוהה מסף המעבר של

$$v = k_c \ln \left[\frac{C_m}{C_f} \right] \quad \text{הממבראנה) אז } C_2 = 0 \text{ ומקבלים:}$$

כאשר חלק מהמומס עובר את הממבראנה וחלק נדחה- מגדירים מקדים דחייה R_F

- C_p - ריכוז המומס בפרמיאט, $mg/l, gr/m^3$
- C_f - ריכוז המומס בהזנה, $mg/l, gr/m^3$

$$R_F = 1 - \frac{C_p}{C_f} \approx 1 - \frac{C_2}{C_1}$$

את k_c מחשבים מתוך אנלוגיות (קורלציות) אמפיריות של מעבר מסה.
לצורך זה צריך להגדיר מספרים חסרי מימד:

$$\text{מס' Reynolds: } Re = \rho v D / \mu \quad \text{מס' Schmidt: } Sc = \mu / \rho D_v \quad \text{מס' Sherwood: } Sh = k_c D / D_v$$

האנלוגיות מבטאות את הקשר בין הפרמטרים השונים בתנאי סביבה משתנים.
למשל, עבור זרימה טורבולנטית, מעבר המסה לקיר של צינור יבוטא ע"י:

$$Sh = 0.023 Re^{0.8} Sc^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14} \quad \text{עבור מספרי } Sc \text{ קטנים מ-1:}$$

$$Sh = 0.0096 Re^{0.913} Sc^{0.346} \quad \text{עבור מספרי } Sc \text{ גדולים מ-1:}$$

$$Sh = 0.082 Re^{0.69} Sc^{0.33} \quad \text{קורלציה אחרת עבור זרימה טורבולנטית:}$$

$$k_c = 0.816 \left(\gamma_w \frac{D_v^2}{L} \right)^{1/3} \quad \text{לזרימה למינרית:}$$

$$\text{כאשר: } \gamma_w = \frac{8u}{D} = \text{בצינור (u - מהירות זרימת התמיסה ב-bulk)}$$

משך זמן סינון

$$t = \frac{1}{AQ_m \Delta P} \left\{ (V_0 - V) + \frac{RTn}{\Delta P} \ln \left(\frac{V_0 - \frac{RTn}{\Delta P}}{V - \frac{RTn}{\Delta P}} \right) \right\}$$

V_0 - נפח תרחיף התחלתי, V - נפח תסנין סופי n - מולים של המוצק

אלקטרופורוזה

$$v = m \cdot \frac{d\Phi}{dx}$$

המהירות כתלות בהפרש הפוטנציאלים:

קבוע המוביליות:

$$D = \frac{k_B T}{3\pi\mu d} \quad \text{קבוע הדיפוזיה} \quad m = \frac{DqF}{RT} \left[\frac{cm^2}{V \cdot s} \right]$$

m - מוביליות, $d\Phi$ - פוטנציאל, v - מהירות תנועת החלקיק, D - קבוע דיפוזיה, q - מטען המולקולה,

F - קבוע פאראדיי (96500 קולון למול), $R = 8.31 \frac{J}{mol \cdot ^\circ K}$ - קבוע הגזים, T - טמפרטורה, μ - צמיגות,

d - קוטר המולקולה (ההנחה היא כי החלקיק כדורי)

$$k_B = 1.38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K} \quad \text{קבוע בולצמן}$$

הגדרות ריכוז מוצקים בתרחיף

בתהליכים שונים אנו מעוניינים להפריד מוצק מנוזל או מתרחיף.

אנו מעוניינים לדעת נתונים מספריים על מסת המוצקים, או על נפח התרחיף המכיל מסה זו, או על נפח התסנין שיתקבל בעקבות הפרדת המוצקים מהנוזל. להלן מספר דרכי מעבר מצורת הגדרה אחת לשנייה:

מעבר מריכוז מוצקים בתרחיף לריכוז מוצקים ביחס לתסנין אם אין נוזלים בעוגה

הגדרות:

$c = \frac{m}{V}$	מסת מוצקים ליחידת נפח תסנין	ריכוז ביחס לתסנין
$c_F = \frac{m}{V_F}$	מסת מוצקים ליחידת נפח תרחיף	ריכוז בתרחיף
V_m		נפח המוצקים בתרחיף
V		נפח התסנין
V_F	נפח התסנין ונפח המוצקים	נפח התרחיף
ρ_m		צפיפות המוצק

ברצוננו לבטא את הריכוז ביחס לנפח תסנין ע"י ריכוז המוצקים בתרחיף שהוא נתון לנו :

$$c_F = \frac{m}{V + \frac{m}{\rho_m}} \iff c_F = \frac{m}{V + V_M} \iff c_F = \frac{m}{V_F} \quad \text{נצא מהביטוי}$$

$$c = \frac{m}{V} = \left(\frac{c_F \cdot \rho_m}{\rho_m - c_F} \right)$$

מארגון המשואה נקבל את הגדרת ריכוז המוצקים ביחס לנפח תסנין :

מעבר משבר מסה של מוצקים בתרחיף, a, לריכוז ביחס לנפח תסנין c אם אין נוזלים בעוגה

הגדרות נוספות:

$a = \frac{m}{m_F}$	מסת מוצקים ליחידת מסה תרחיף	שבר מסה
m	מסת המוצקים בתרחיף	מסת המוצקים בתרחיף
m_F	מסת המוצקים ומסת התסנין	מסת התרחיף
m_L	מסת התסנין	מסת התסנין
ρ_L	צפיפות התסנין	צפיפות התסנין

$$a = \frac{m}{V\rho_L + m} \rightarrow a = \frac{m}{m_L + m} \rightarrow a = \frac{m}{m_F} \quad \text{נצא מהגדרת שבר מסה :}$$

$$c = \frac{m}{V} = \frac{a\rho_L}{(1-a)}$$

הגדרת הריכוז ביחס לנפח תסנין :

כאשר העוגה אינה יבשה לחלוטין: מעבר משבר מסה a לריכוז c

הגדרות נוספות:

b	מסת עוגה רטובה למסת עוגה יבשה. נמדד ע"י יבוש העוגה ומדידת משקלה לפני ואחרי היבוש	רטיבות
m_{LC}	מסת המים בעוגה	מסת המים בעוגה

$$b = \frac{m + m_{LC}}{m} \quad \text{הגדרת רטיבות :}$$

$$aV\rho_L = m(1-ab) \quad \text{עבור עוגה רטובה :}$$

$$c = \frac{m}{V} = \frac{a\rho_L}{(1-ab)}$$

ארגון המשואה ייתן את הגדרת הריכוז ביחס לנפח התסנין :

שיקוע חלבונים

כאשר מוסיפים מלח בריכוז נמוך מסיסות החלבון עולה, כאשר מוסיפים מלח בריכוז גבוה המסיסות יורדת, משוואת "קון" מתאימה לאזור ירידת המסיסות בלבד.

$$\log S = \beta - kI$$

$$I = 0.5 \sum c_i Z_i^2$$

$$\log S = a - bc$$

S-מסיסות החלבון

I-חוזק יוני

K, β, a, b-קבועים

c-הריכוז המולרי של כל יון

Z-ערכיות היון (מס' המטענים)

β, b תלוי בסוג החלבון, טמפרטורה ו-pH

a, k תלוי בסוג החלבון והמלח

הערה- C יכול להיות ריכוז מולרי של מלח שאותו מוסיפים כדי לקבל במשקע ריכוז S של חלבון

חישובים כלכליים בתהליכי הפרדה

$$PMT = PV \times PMD \Rightarrow PMD = \frac{i \times (i+1)^N}{(i+1)^N - 1}$$

חישוב החזר הון נדרש :

PV – ההשקעה הכוללת עבור פס ייצור

PMT – החזר ההון הנדרש

PMD – מרכיב תוספת הריבית להחזר ההון

i – אחוז הריבית

N – משך זמן ההחזר (בשנים)

עלות ייצור כוללת = החזר הון נדרש + עלות שכר עובדים + עלות אחזקה + עלות אנרגיה + אחוז התקורה X עלות ייצור כוללת

- ניתן להשתמש בנוסחה המקשרת בין העלות לגודל כאשר ידועים עלות וגודל של מתקן מסוים ניתן לחשב את עלות אותו מתקן בגודל אחר לפי מקדם הגמלון.

$$\frac{\text{cost } t_1}{\text{cost } t_2} = \left(\frac{\text{size}_1}{\text{size}_2} \right)^n$$

- ההשוואה לגבי הגודל נעשית לפי פרמטר מאפיין כגון ספיקה או שטח וכו'.

מקדם הגמלון (n) הוא מספר הנע במרבית המקרים בין 0.5 ל-1 כאשר ככל שהמתקן יותר מתוחכם ומכיל מערכות אלקטרומכניות ומיחשוב, המקדם ישאף ל-1 (בין 0.9 ל-1), עבור מערכות פשוטות שעיקרן מרכיבי בנייה כגון בטון המקדם יהיה קרוב ל-0.5 (מבנים, מיכלים וכו').

השקעה סגולית

- ניתן לתאר את ההשקעה הנדרשת בפרויקט/מתקן/יחידת תהליך כתלות בתפוקת התהליך.
- יחידות ההשקעה הסגולית הן השקעה ליחידת ייצור.
- לדוגמא, עבור מערך רציף לייצור חלבון מסוים בהיקף של 100 ק"ג ליום שההשקעה בו היא 1,000,000 דולר העלות הסגולית תהיה:

$$S.Cost = \frac{1,000,000\$}{100 \frac{kg}{day}} = 10,000 \frac{\$}{kg / day}$$

- עבור אותם ערכים בתהליך מנתי ההשקעה הסגולית תהיה:

$$S.Cost = \frac{1,000,000\$}{100 \frac{kg}{Batch}} = 10,000 \frac{\$}{kg / Batch}$$

עלויות תפעול קבועות-תקורה

- בדרך כלל נהוג לקחת את התקורה כ-10% מסך כול הוצאות התפעול ללא החזר המימון.
- ערכים מקובלים נעים בין 5 ל-10% מעלויות התפעול.

עלויות תפעול משתנות- צריכת חשמל

- לדוגמא עבור משאבה בהספק של 100 קילוואט בשנה כאשר עלות קילוואט"ש מוערכת ב-0.1 דולר החישוב יהיה:

$$E_{year} = 100kW * 7500 \frac{hr}{year} = 750,000 \frac{kWhr}{year}$$

$$750,000 \frac{kWhr}{year} * 0.1 \frac{\$}{kWhr} = 75,000 \frac{\$}{year}$$

- במידה וידועה הצריכה הסגולית של התהליך ב- קוואט"ש ליחידת ייצור של המוצר (ק"ג או מ"ק) ניתן לפי היקף הייצור לחשב את צריכת האנרגיה בתהליך ואת עלותה. לדוגמא אם ידוע כי צריכת האנרגיה היא 50 קוואט"ש לק"ג מוצר והיקף הייצור הוא 10,000 ק"ג בשנה עלות האנרגיה השנתית תהיה:

$$E_{year} = 50 \frac{kWhr}{Kg P} * 10,000 \frac{Kg P}{year} = 500,000 \frac{kWhr}{year}$$

$$500,000 \frac{kWhr}{year} * 0.1 \frac{\$}{kWhr} = 50,000 \frac{\$}{year}$$

הבדלים עיקריים בין סוגי צנטריפוגות

סוג הצנטריפוגה	יתרונות	חסרונות
Tubular bowl	<ol style="list-style-type: none"> 1. כוח צנטריפוגלי רב 2. אחוז מים נמוך במוצקים 3. קל לניקוי- פרוק קל של מיכל 4. ניתנת לקירור 	<ol style="list-style-type: none"> 1. מיועד לריכוז נמוך של מוצקים 2. יוצרת קצף 3. קשה להוציא מוצקים 4. אין אפשרות להוצאת מוצקים רציפה
Chamber bowl	<ol style="list-style-type: none"> 1. יעילות, טיהור והפרדה נשאר קבועה עד שהמיכל מתמלא בוצה. 2. יכולת לצבור משקע רב 3. אחוז נמוך של נוזלים במוצק 4. אפשרות לקירור המיכל 	<ol style="list-style-type: none"> 1. אין אפשרות לסילוק מוצקים רציף 2. קשה לניקוי יותר מאשר ה- tubular 3. קשה להוציא מוצקים
Disc centrifuge	<ol style="list-style-type: none"> 1. אפשרות לפריקת מוצקים באופן רציף. 2. מניעת הקצפה תחת לחצים גבוהים של פריקת נוזל 3. אפשרות לקירור מיכל 4. איכות תוצר גבוהה יותר 	<ol style="list-style-type: none"> 1. אחוז נוזלים גבוה במוצק 2. קשה לניקוי 3. סתימת חרירי הוצאת המוצקים
Decanter centrifuge	<ol style="list-style-type: none"> 1. יכולת סילוק מוצקים בצורה רציפה 2. ניתן להכניס תמיסות בעלות ריכוז מוצקים גבוה 3. זולה ואמינה 	<ol style="list-style-type: none"> 1. כוח צנטריפוגלי נמוך 2. פעילות הבורג גורמת לערבוב בין נוזל למוצק
ציקלון	<ol style="list-style-type: none"> 1. בעל טווח הפרדה גדול. 2. תהליך הפרדה זול יחסית לשאר השיטות. 3. מאפשר הפרדה גם בטמפרטורות גבוהות מאוד עד כ- 10000 צלסיוס. 4. ניתן לשימוש גם בלחץ גבוה (כ- 500 אטמוספרות). 5. בעל צריכת אנרגיה נמוכה כיוון שאינו מכיל חלקים זזים. 	<p>הפרדה לא יעילה בחלקיקים מתחת לגודל של 5 מיקרומטר.</p>