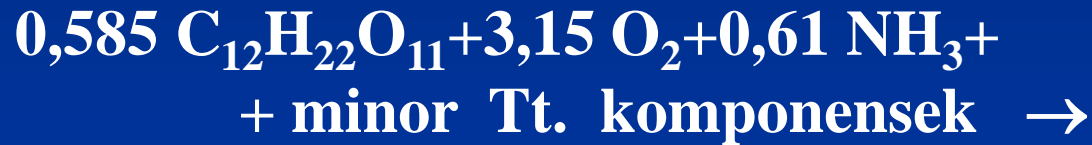


Harrison pékélesztő:

**Harrison,
Minkevich
Eroshin
Herbert**



100 g élesztő szárazanyag

44,7 g C

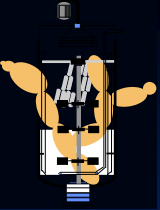
6,16 g H

31,2 g O

8,54 g N

0,54 g S

1,09 g P



mólnyi mikrobatömeg definíciója: $C_a H_b O_c \dots$ (hamu)
 $a = C\%/12$, $b = H\%/1$, $c = O\%/16$, $d = N\%/14$, stb.

Harrison élesztőjének képlete ennek alapján:

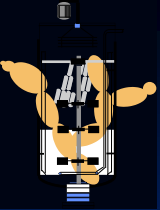


C-mol formula (Herbert)



$M_w = ?$

1 C-molnyi az a mikrobatömeg, amely
 1 g-atomnyi (=12,01 g) C-t tartalmaz.



ELŐNYÖK:

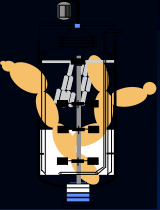
- a mikrobák C-tartalma a legnagyobb ($\cong 50\%$) és a leginkább független a tenyésztési körülményektől, emiatt
- b, c, d változásai csak kismértékben változtatják meg a C-mol képletet,
- **C-mérleg a legfontosabb.**



VALÓDI MÓLTÖMEG:

$$\frac{12 + p + 16n + 14q}{1 - R}$$

ahol: R a hamutartalom ($\sim 5\%$)



Általános szöhiometriai leírás

AEROB + 1 TERMÉK + CO₂ ----- legegyszerűbb eset

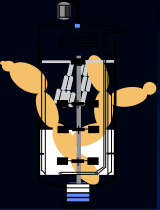
v. ammónia Ekv.



14 paraméter

8 Ismert

(m, l, p, n, q, r, s, t)



C-mérleg: $1 = y_c + z + d \rightarrow$ % hatásfokok

H-mérleg: $m + 3a = y_c p + z r + 2c$

O-mérleg: $1 + 2b = y_c n + z s + c + 2d$

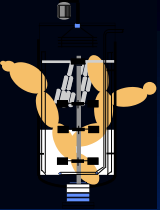
N-mérleg: $a = y_c q + z t$

14 paraméter

8 ismert

4 egyenlet

2 szükséges mérés : **S, x, O₂, CO₂, P, N....**



+ még egy egyenlet!!!

elektron egyenérték

oxidációs fok

available electron equivalent

C: +4

O: -2

N: -3

H: +1

$\text{CO}_2 = 0$

$\text{NH}_3 = 0$

$\text{H}_2\text{O} = 0$

CH_mO_l

A C-energiaforrás elektron egyenértéke: $\gamma_s = 4 + m - 2l$ (Jav.)

A sejtömeg elektron-egyenértéke

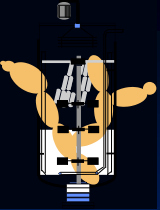
$\text{CH}_p\text{O}_n\text{N}_q$

$$\gamma_x = 4 + p - 2n - 3q$$

A termék elektron-egyenértéke

$\text{CH}_r\text{O}_s\text{N}_t$

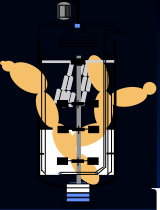
$$\gamma_p = 4 + r - 2s - 3t$$



Sejttömegre az égetési egyenlet:



egy C-mólnyi (szénforrás...) elégetéséhez szükséges
oxigén mólok négyszerese

**Harrison élesztője:**

$$\gamma_X = 4 + 1,64 - 1,04 - 0,492 = 4,1$$

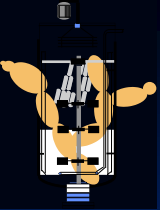
Candida utilis

$$\gamma_X = 4 + 1,82 - 0,94 - 0,51 = 4,37$$

„Átlag” baci

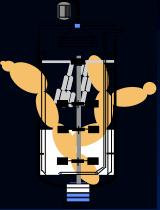
$$\gamma_X = 4 + 1,58 - 0,566 - 0,585 = 4,42$$

γ_x értéke jó közelítéssel *gyakorlatilag* állandó,
mikrobától és tenyésztési körülményektől függetlenül **4,2±2 %**



Mikrobák C-tartalma, elektronegyenértéke

Mikroorganizmus	C-forrás	α_2	γ_x
1. <i>Candida tropicalis</i>	n-alkánok	0,493	4,385
2. <i>Bacterium</i> sp.	n-pentán	0,501	4,607
3. <i>Pseudomonas fluorescens</i>	n-alkánok	0,467	4,497
4. <i>Candida</i> sp.	n-alkánok	0,470	4,260
5. <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	glükóz	0,462	4,237
6. <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	glükóz	0,467	4,291
7. <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	etanol	0,493	4,469
8. <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	ecetsav	0,492	4,416
	Átlag	0,481	4,395
	relativ szórás	3,3%	3,0%



Mikrobák C-tartalma, elektronegyenértéke és égéshői

		α_2	γ_x	Q_{OX}
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	n-hexán	0,458	4,320	104,4
2. <i>Candida</i> sp.	n-alkánok	0,463	4,728	117,8
3. <i>Candida</i> .sp.	glükóz	0,446	4,074	109,6
4. <i>Candida</i> sp.	cellulóz			
	hidroli zátum	0,491	4,110	105,5
5. <i>Candida</i> sp.		0,470	4,122	112,5
6. <i>Candida</i> sp.		0,459	4,201	109,4
7. <i>Candida</i> sp.		0,446	4,087	113,8
8. <i>Candida</i> sp.		0, 449	4,220	110,2
9. <i>Candida</i> sp.		0,455	4,214	109,8
10. <i>Candida</i> sp.		0,459	4,199	109,3
11. <i>Candida</i> sp.		0,453	4,143	113,4
12. <i>Candida</i> sp.		0,409	4,212	121,4
Átlag		0,455	4,182	112,6
relativ szórás		4,2%	1,8 %	3,9 %

ELEKTRON MÉRLEG EGYENLET:

$$\gamma_s + b(-4) = y_c \gamma_x + z\gamma_p$$

$$\frac{4b}{\gamma_s} + \frac{y_c \gamma_x}{\gamma_s} + \frac{z\gamma_p}{\gamma_s} = 1$$

xi

$$\varepsilon + \eta + \xi = 1$$

A szubsztrátban levő hozzáférhető elektronok

$4b/\gamma_s = \varepsilon$ -od része az oxigénre,

$y_c \gamma_x / \gamma_s = \eta$ -ad része az új sejttömegre és

$$\frac{z\gamma_p}{\gamma_s}$$

$= \xi$ -ed része a termék(ek)-re

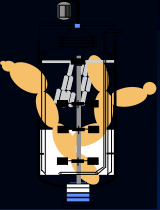
tevődik át a fermentáció során.

14 paraméter

8 ismert

4+1 egyenlet

Az ε , η és ξ hatásfok jellegű mennyiségek, az elektronok megoszlására utalnak.



Különböző szerves vegyületek moláris égéshője közel arányos azzal az oxigén mennyiséggel, amely az adott vegyület elégetéséhez szükséges.

Az átlagérték (becslés) bármely szerves anyagra: **$Q_0=112,6$ KJ/g-ekvivalens,**

1 g-ekvivalens elektronnak oxigén által történő felvétele (az égés folyamata) során ennyi hő szabadul fel.

HŐMÉRLEG EGYENLET

$$Q_{0,s} \gamma_s + Q_{0,ox} b(-4) = Q_{0,x} y_c \gamma_x + Q_{0,p} z \gamma_p$$

Sejt égéshő

$$Q_{0,s} = Q_{0,x} = Q_{0,p} = Q_0$$

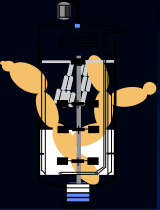
termék égéshő

$$\varepsilon + \eta + \xi = 1$$

=entalpia mérleg

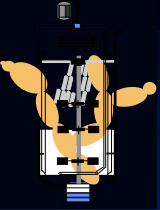
Metabolikus hőtermelés

Szubsztrát égéshő



Szubsztrát	CH_mO_l típusú képlet	(=4+m-2l) γ_s	QOs KJ	γ_s/γ_x
1. Metán	CH ₄	8	112,2	1,90
2. Etán	CH ₃	7	111,3	1,67
6. Metanol	CH ₄ O	6	119,0	1,43
7. Etanol	CH ₃ O _{1/2}	6	114,1	1,43
8. Propanol	CH _{8/3} O _{1/3}	6	111,6	1,43
9. i-Propanol	CH _{8/3} O _{1/3}	6	110,3	1,43
.....				
17. Izovajsav	CH ₂ O	5	108,13	1,19
18. n-Valeriánsav	CH ₂ O _{2/5}	5 1/5	109,6	1,24
19. Oxálsav	CHO ₂	1	125,8	0,24
20. Malonsav	CH _{4/3} O _{4/3}	2 2/3	108,3	0,64
21. Borostyánkősav	CH _{3/2}	3,5	106,5	0,83
22. Glükóz	CH ₂ O	4	117,0	0,95
23. Galaktóz	CH ₂ O	4	116,6	0,95
24. Fruktóz	CH ₂ O	4	117,7	0,95
25. Arabinóz	CH ₂ O	4	116,6	0,95

Átlag: 112,57



$$Q_{O_i} = \frac{\text{C-mólnyi } i \text{ égéshője}}{\text{g-ekvivalens oxigén}}$$

$$1 \text{ C-mól égéshője} = \gamma_i \cdot Q_{O_i}$$

$$1 \text{ mól égéshője} = \gamma_i \cdot Q_{O_i} \cdot K^S$$

K^S = a S C-atomjainak száma

HŐTERMELÉS

$\text{kJ/dm}^3\cdot\text{h}$

50

● *E.coli* glükózon

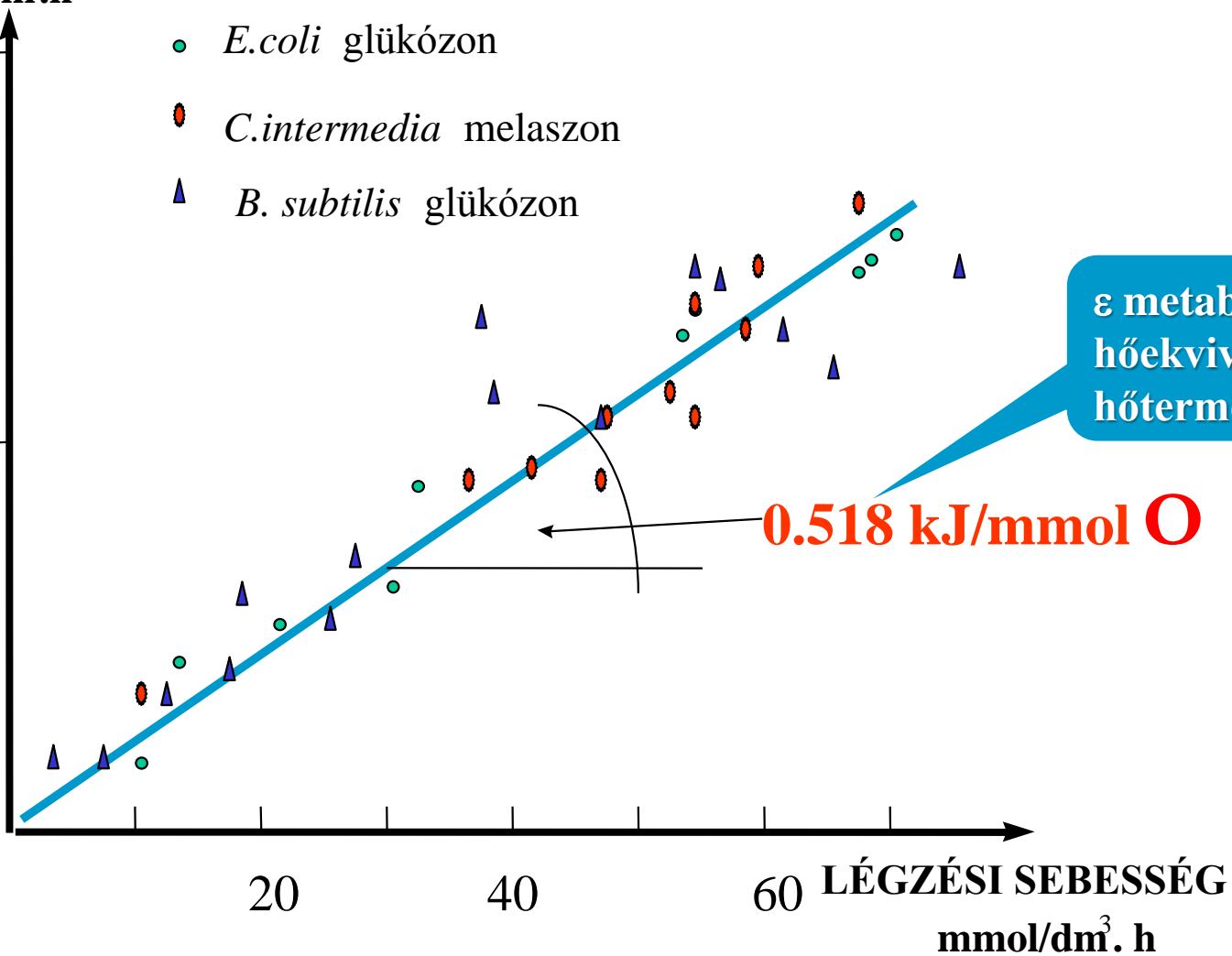
● *C.intermedia* melaszon

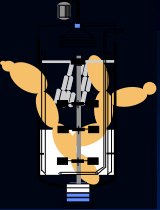
▲ *B.subtilis* glükózon

25

ϵ metabolikus
hőekvivalens=
hőtermelés

0.518 kJ/mmol O





HOZAMOK

SEJTHOZAM

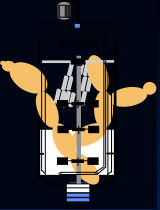
C-mol hozam

$$y_c = \frac{\text{g - atom képződött sejt szén}}{\text{g - atom fogyott szubsztrát szén}}$$

$$Y_{X/S} = \frac{\text{g sejt}}{\text{g szubsztrát}} = \frac{y_c (12 + p + 16n + 14q)}{(1 - R)} \frac{1}{(12 + m + 16l)}$$

Vagy egyszerűbben:

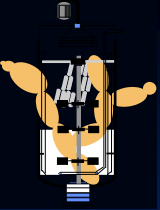
$$Y_{X/S} = y_c \frac{12}{\alpha_2} \frac{\alpha_1}{12} = y_c \frac{\alpha_1}{\alpha_2}$$



termék

$$z = \frac{\text{g atom képződött termék szén}}{\text{g atom fogyott szubsztrát szén}}$$

$$Y_{P/S} = \frac{\text{g termék}}{\text{g szubsztrát}} = \frac{z(12 + r + 16s + 14t)}{(12 + m + 16l)}$$



OXIGÉN

$$Y_O^c = \frac{y_c}{b}$$

$$Y_O = \frac{y_c(12 + p + 16n + 14q)}{(1 - R)} \frac{1}{32b}$$

v.

$$Y_O = \frac{y_c 12}{\alpha_2} \frac{1}{32b}$$

$$Y_O = \frac{y_c 12}{\alpha_2} \frac{4}{32(\gamma_s - y_c \gamma_x - z \gamma_p)}$$

$$b = \frac{1}{4}(\gamma_s - y_c \gamma_x - z \gamma_p)$$

Elektron egyenértékűből

$$Y_O = \frac{3}{2\alpha_2 \gamma_x} \frac{y_c}{\frac{\gamma_s - z \gamma_p}{\gamma_x} - y_c}$$

Ha nincs termék képzés v. <5%:

$$Y_O = \frac{3}{2\alpha_2\gamma_x} \frac{y_c}{\frac{\gamma_s - Z\gamma_p}{\gamma_x} - y_c}$$



$$Y_O \cong \frac{3}{2\alpha_2\gamma_x} \frac{y_c}{\frac{\gamma_s}{\gamma_x} - y_c}$$

Nem lehet 0
v. negatív

Lehet zéró

$$\eta = y_c \frac{\gamma_x}{\gamma_s} \Rightarrow \frac{\gamma_s}{\gamma_x} = \frac{y_c}{\eta}$$

$\gamma_x \cong 4,2$ és
 $\alpha_2 \cong 0,46-0,5$ állandók

$$Y_O = 0,777 \frac{\eta}{1-\eta}$$

Mikrobára
vonatkozó
entalpiahozam

$\eta < 0,7$ általában

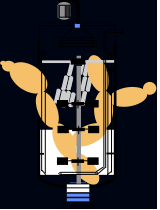


$$0,777 \cdot \frac{0,7}{0,3} = 1,8$$

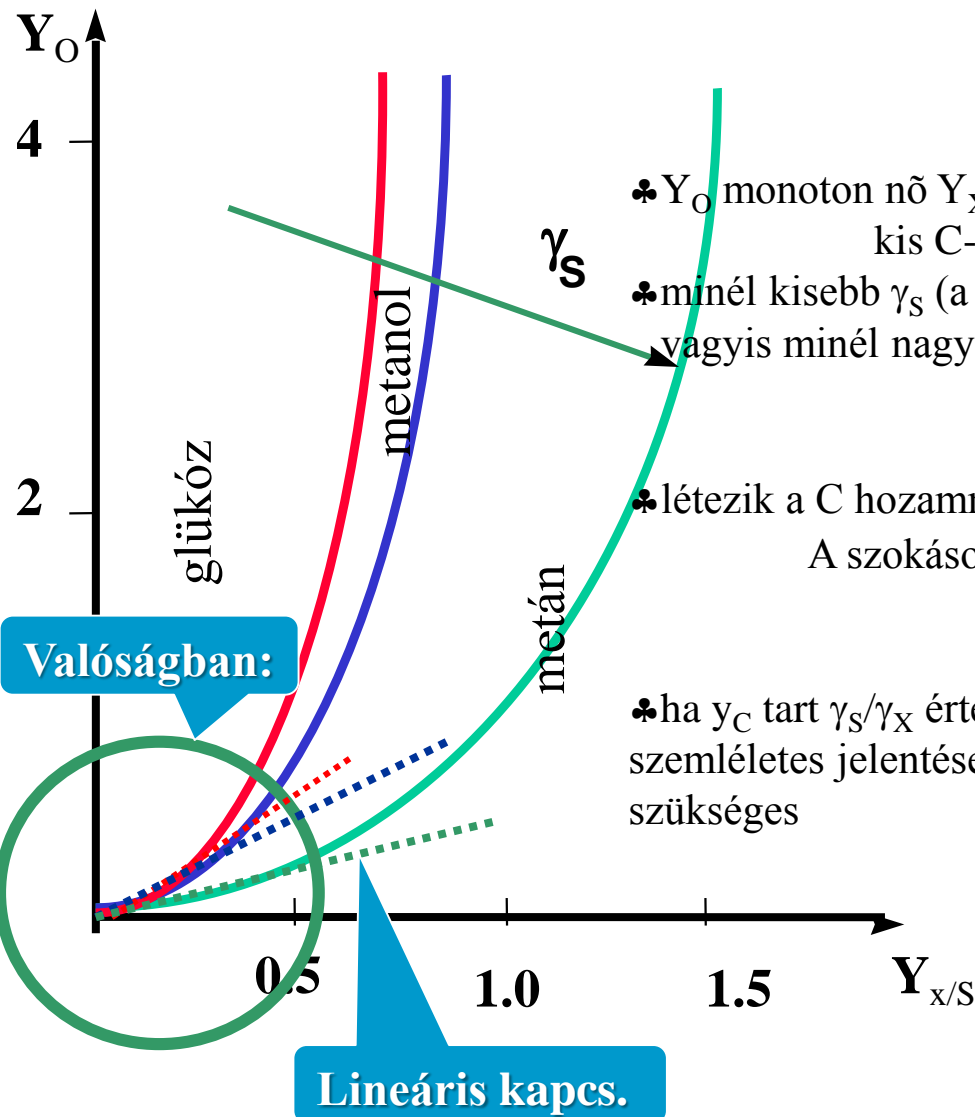
Ennél nem valószínű nagyobb
oxigén hozam!!!

A S-hő legalább 30%-a metabolikus hő (ϵ) formájában „elvész”

FERMENTÁCIÓK SZTÖCHIOMETRIAI LEÍRÁSA



$$Y_O \cong \frac{3}{2\alpha_2\gamma_x} \frac{y_c}{\frac{\gamma_s}{\gamma_x} - y_c}$$



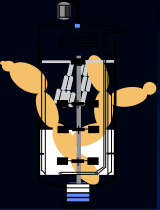
- ♣ Y_O monoton nő $Y_{X/S}$ növekedésével
kis C-hozamoknál közel lineáris a kapcsolat
- ♣ minél kisebb γ_s (a szubsztrát elektron-egyenértéke, redukciós foka),
vagyis minél nagyobb az oxigéntartalma, annál meredekebben
függ Y_O az $Y_{X/S}$ -től

- ♣ létezik a C hozamnak elméleti el nem érhető maximuma.
A szokásos $Y_{X/S}$ hozamra ez a tartomány

$$0 < Y_{X/S} < \frac{\gamma_s \alpha_1}{\gamma_x \alpha_2}, \text{ ha } \frac{\gamma_s}{\gamma_x} < 1 \text{ és } 0 < Y_{X/S} < \frac{\alpha_1}{\alpha_2} \text{ ha } \frac{\gamma_s}{\gamma_x} > 1$$

- ♣ ha y_c tart γ_s/γ_x értékhez, akkor Y_O tart a végtelenhez, aminek szemléletes jelentése az, hogy sejtermeléshez egyre kevesebb oxigén szükséges

termodinamikailag lehetséges
(gyakorlatilag el nem érhető)
maximális C-hozam.

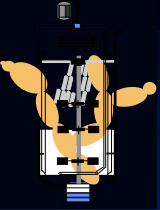


FERMENTÁCIÓK SZTÖCHIOMETRIAI LEÍRÁSA

BIM2

2002

C-energiaforrás	γ_s	Y_C	$Y_{x/s}$ (g/g) (Max)	Valós:
Alkánok				
metán	8	(1,9)1	1,63	
hexán	6,3	(1,5)1	1,82	
hexadekán	6,1	(1,5)1	1,84	
Alkoholok				
metanol	6,0	(1,4)1	0,81	
etanol	6,0	(1,4)1	1,13	~0,7
glicerin	4,7	(1,1)1	0,84	
Szénhidrátok				
formaldehid	4,0	0,95	0,80	
glükóz	4,0	0,95	0,80	
szacharóz	4,0	0,95	0,85	~0,5
keményítő	4,0	0,95	0,90	
cellulóz	4,0	0,95	0,90	
Szerves savak				
ecetsav	4,0	0,95	0,8	
tejsav	4,0	0,9	0,8	
fumársav	3,0	0,7	0,6	
oxálsav	1,0	0,25	0,1	



A sztöchiometriai leírás haszna

1. Ha minden paraméter ismert

- * konzisztencia vizsgálat
- * on-line mérés ellenőrzés
- * $Y_{X/S}^{\text{mért}} < Y_{X/S}^{\text{számított}} \longrightarrow$ melléktermék
- * $RQ^{\text{mért}} \neq RQ^{\text{számított}}$

2. Nem mérhető változók becslése

- * ipar: sz.a., OD

3. Ismeretlen (új) tenyésztés esetén:

- * előzetes Y becslések: $X_{Y/S}$, Y_P , Y_O , Y_{kcal} ...

4. Reaktor kiválasztás, tervezés

- OTR, J (J = $Y_O \cdot \text{OTR}$) reaktortípus
- működési paraméterek kiválasztása

5. Hőtermelés becslése

- reaktortípus
- hőátadási felület, Δt °C
- hűtőközeg áramlás...

