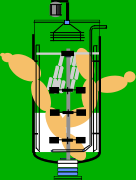


Fermentációs összefoglaló



Fermentációs tápoldatok

MIKROORGANIZMUSOK TÁPANYAG IGÉNYE

TERMELŐKÉPESSÉG

KÖRNYEZET

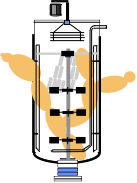
GENOM

Néhány mikroba összetétel

összetétel a sejt szárazanyag százalékában

Mikroorganizmus

	C	H	O	N	S
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	45	6,8	30,6	9,0	
<i>Methylomonas methanolica</i>	45,9	7,2		14,0	2,6
<i>Penicillium chrysogenum</i>	43	6,9	35,0	8,0	



Fermentációs tápoldatok

**C-forrás + N-forrás + O₂ + ásványi sók +
+speciális tápanyagok (pl. vitamin) →**

→ új sejttömeg(ΔX) + termék(ek) + CO₂ + H₂O

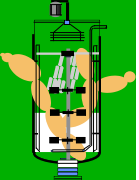
Tápanyag igény

$$\frac{dx}{dS_i} = \frac{\Delta x}{\Delta S} = \frac{\frac{dx}{dt}}{\frac{dS}{dt}} = \frac{\mu_x}{\mu_s} = \frac{\mu_x}{Q_s} = Y_{x/s_i}$$

HOZAMKIFEJEZÉS ÁLTALÁNOSÍTÁSA

Tápoldatok

szintetikus
félszintetikus
természetes alapú



SZÉNFORRÁS

KÉMIAI

ENERGIAFORRÁS

FÉNY

**SZERVES
HETEROTRÓFOK**

KEMOORGANOTRÓF

Legtöbb baktérium, gomba...mi

SZERVES

...glükóz...

FOTOORGANOTRÓF

Bíbor (nem kén-)baktérium.
Néhány eukarióta alga

SZERVES

...glükóz...

**ELEKTRON
DONOR**

**SZÉNDIOXID
AUTOTRÓFOK**

KEMOLITOTRÓF

H-, S-, Fe-
Denitrifikáló-
baktériumok

SZERVETLEN en.forrás

H_2S , S, $S_2O_3^{2-}$, H_2 , Fe(II),
 NH_3 , NO_2 ,

FOTOLITOTRÓF

Zöld növények, eukarióta algák
(fényben)
Blue/green algák
Cianobaktériumok
Fotoszint.baktériumok

SZERVETLEN

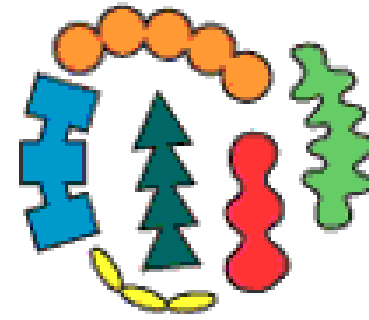
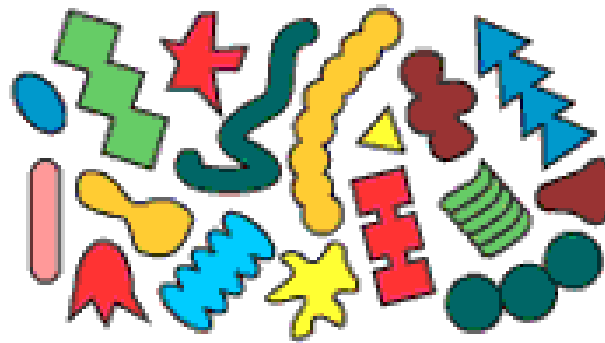
H_2O , H_2S , S...

**ELEKTRON
DONOR**

(És mi az elektron akceptor??)

food
molecules

the many molecules
that form the cell



CATABOLIC
PATHWAYS

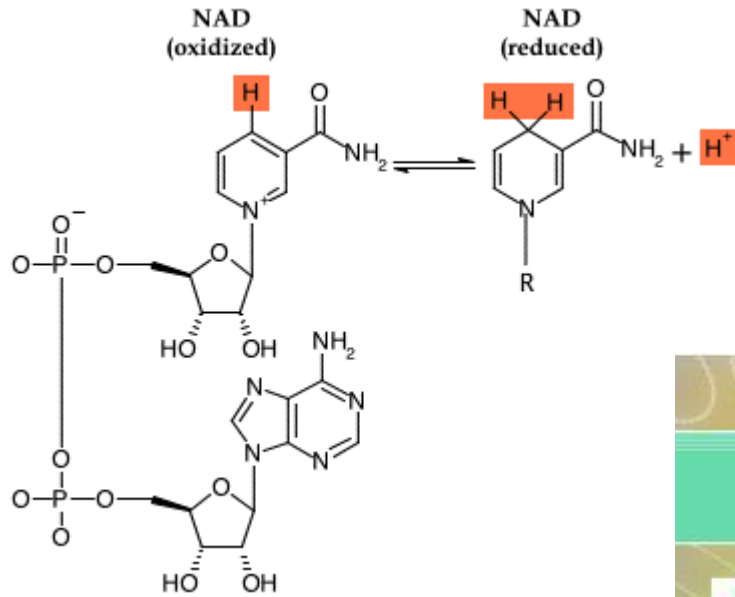
useful
forms of
energy

ANABOLIC
PATHWAYS



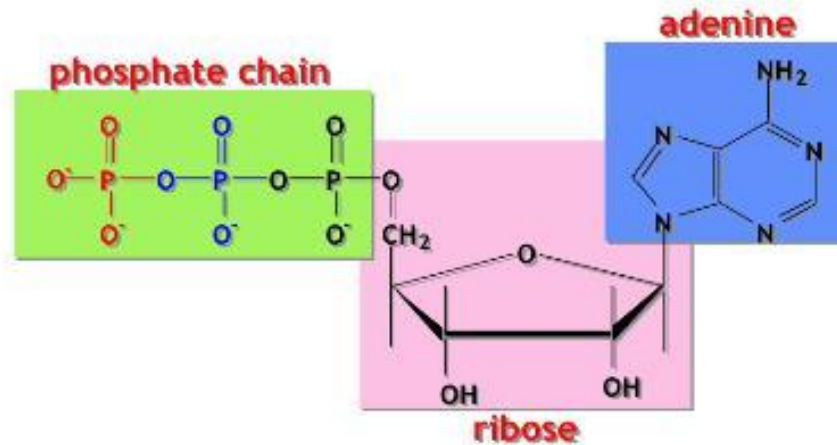
the many building blocks
for biosynthesis

NAD

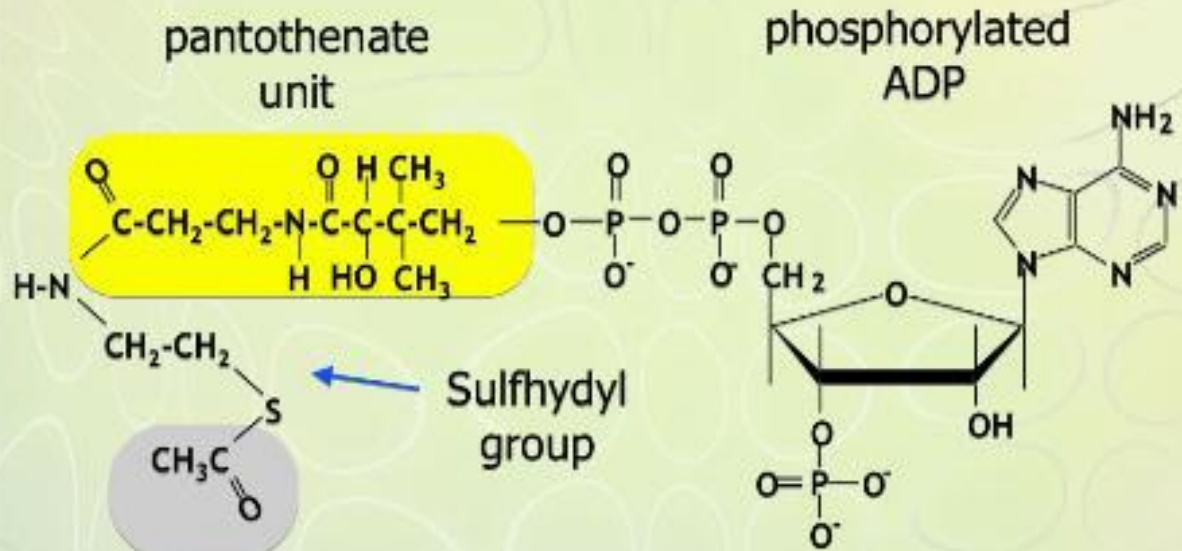


ATP

ATP adenosine triphosphate
a nucleotide composed of three basic units.

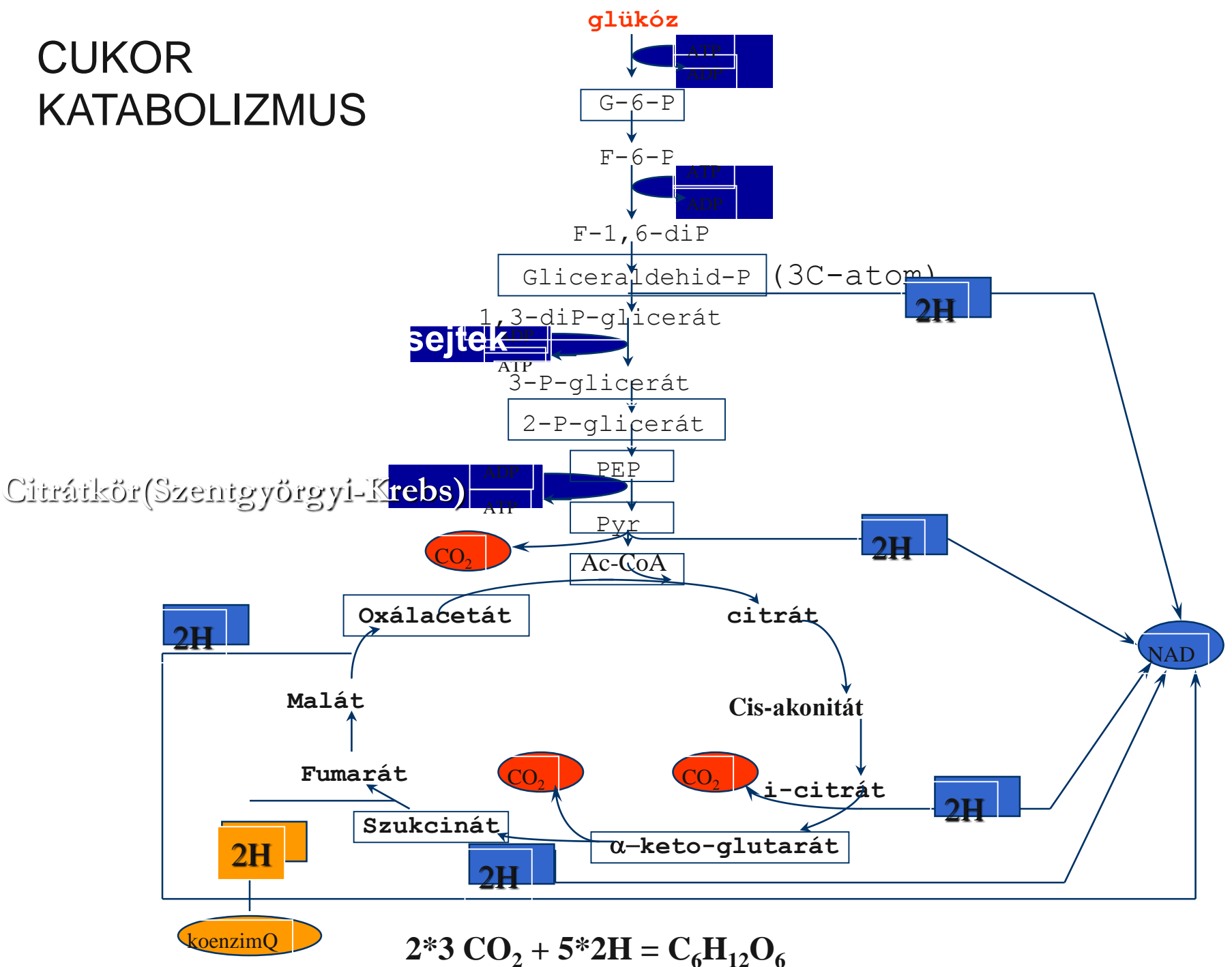


Acetyl - coenzyme A

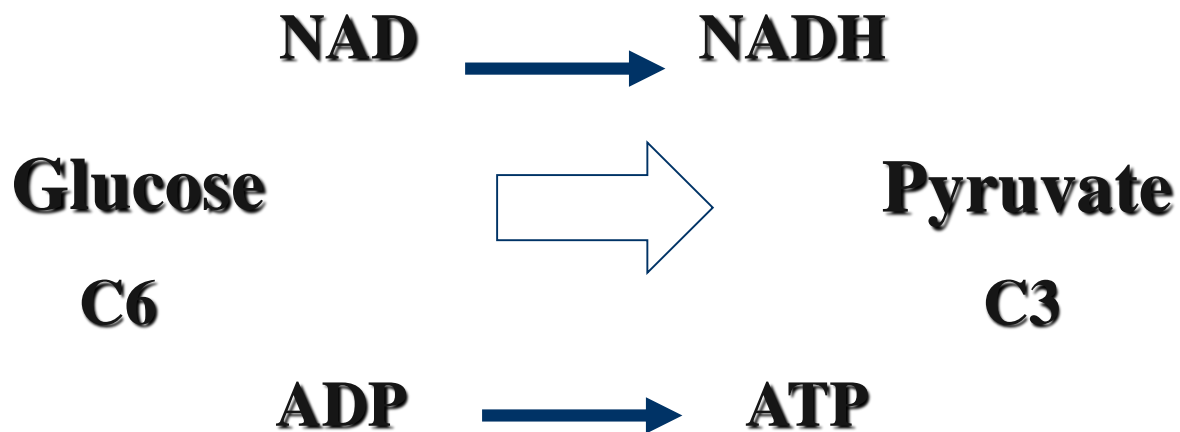


This molecule serves as the carrier for the small molecules from digestion.

CUKOR KATABOLIZMUS

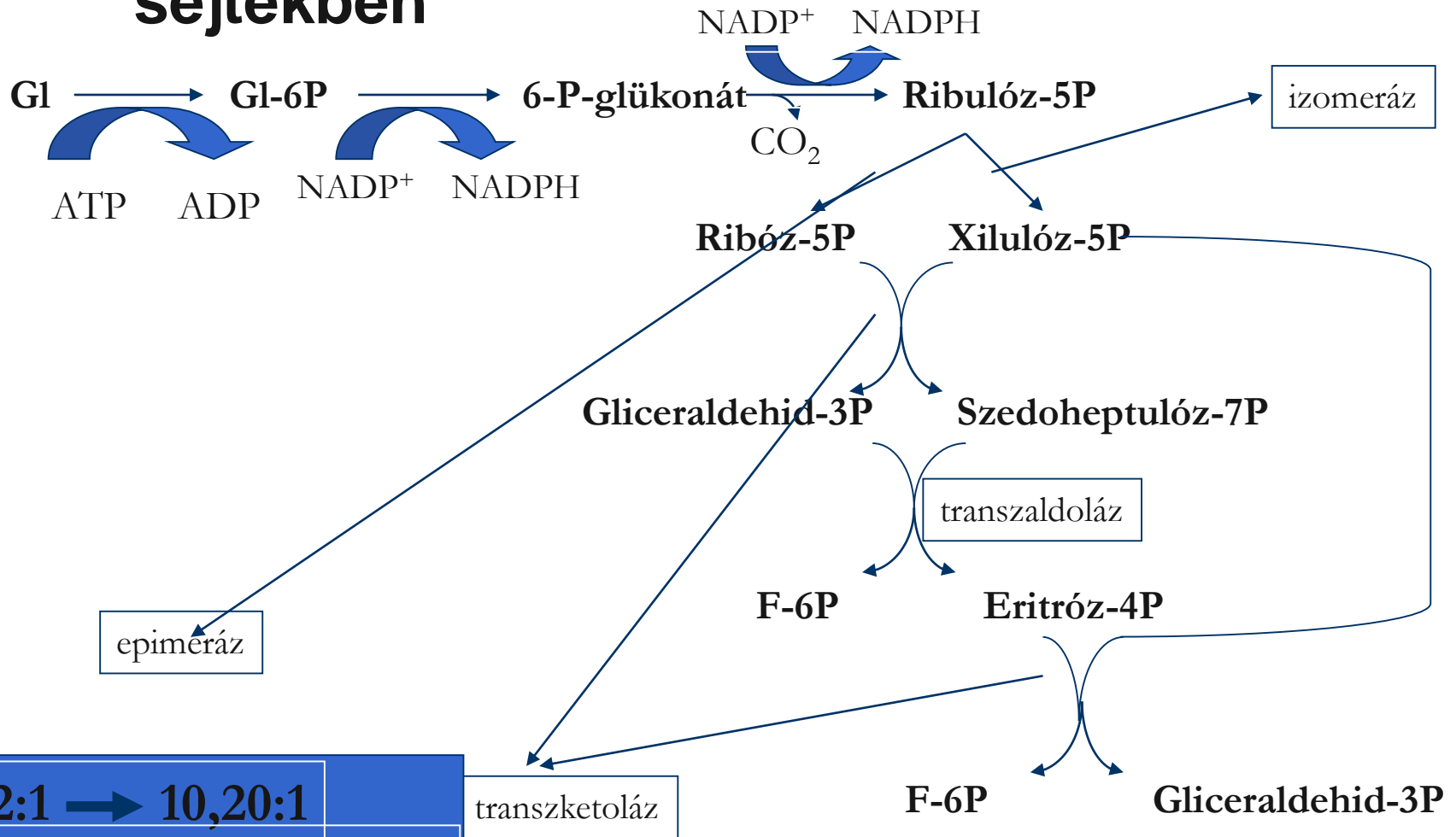


Glikolízis



Egyéb cukor katabolizmus utak

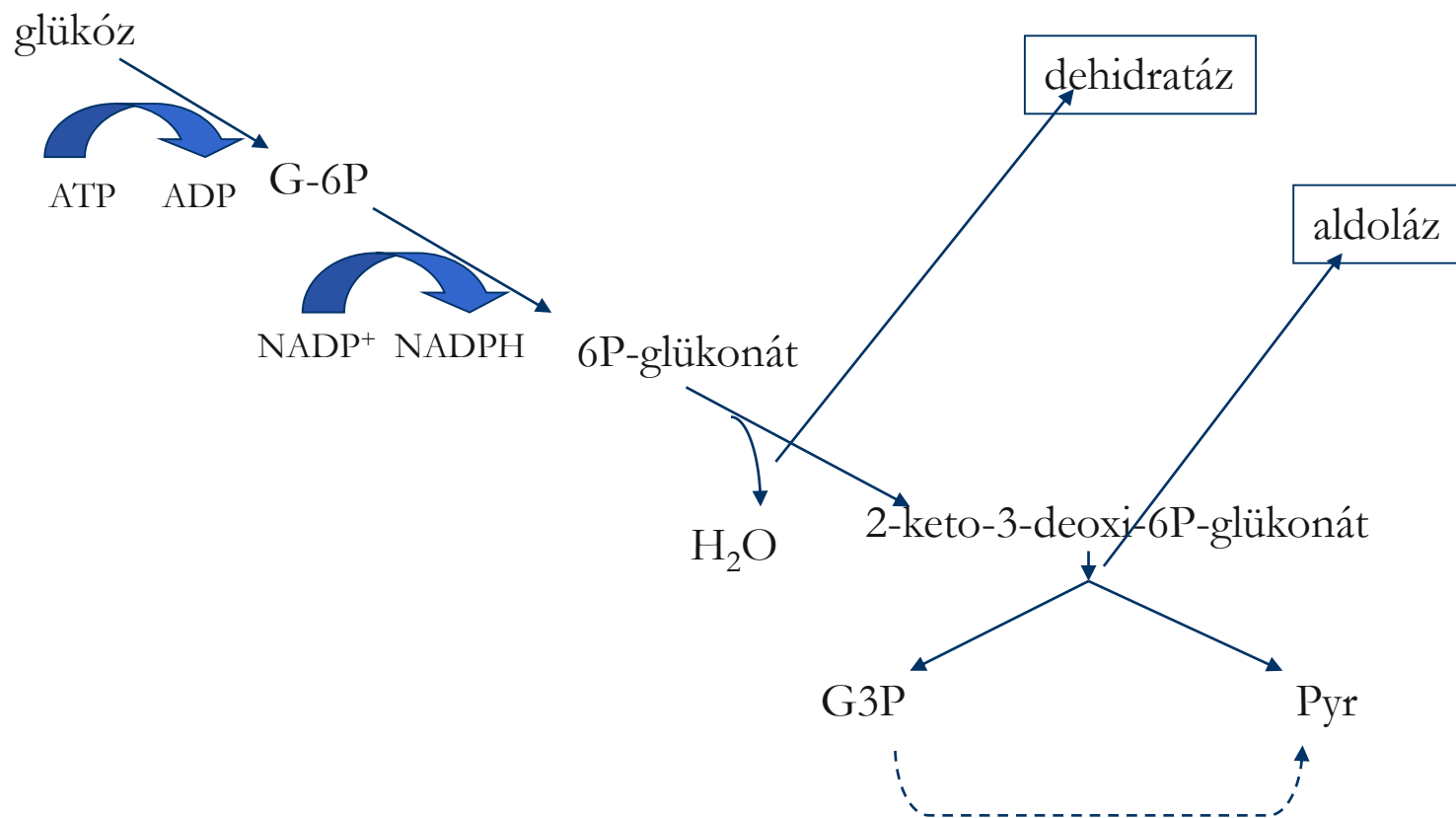
Pentóz foszfát út (hexose monophosphate sönt) NADPH termelés, általános növ. és állati sejtekben



2:1 → 10,20:1
Gyors lassú növekedés

Entner Doudoroff út

Néhány baktériumban -EMP helyett



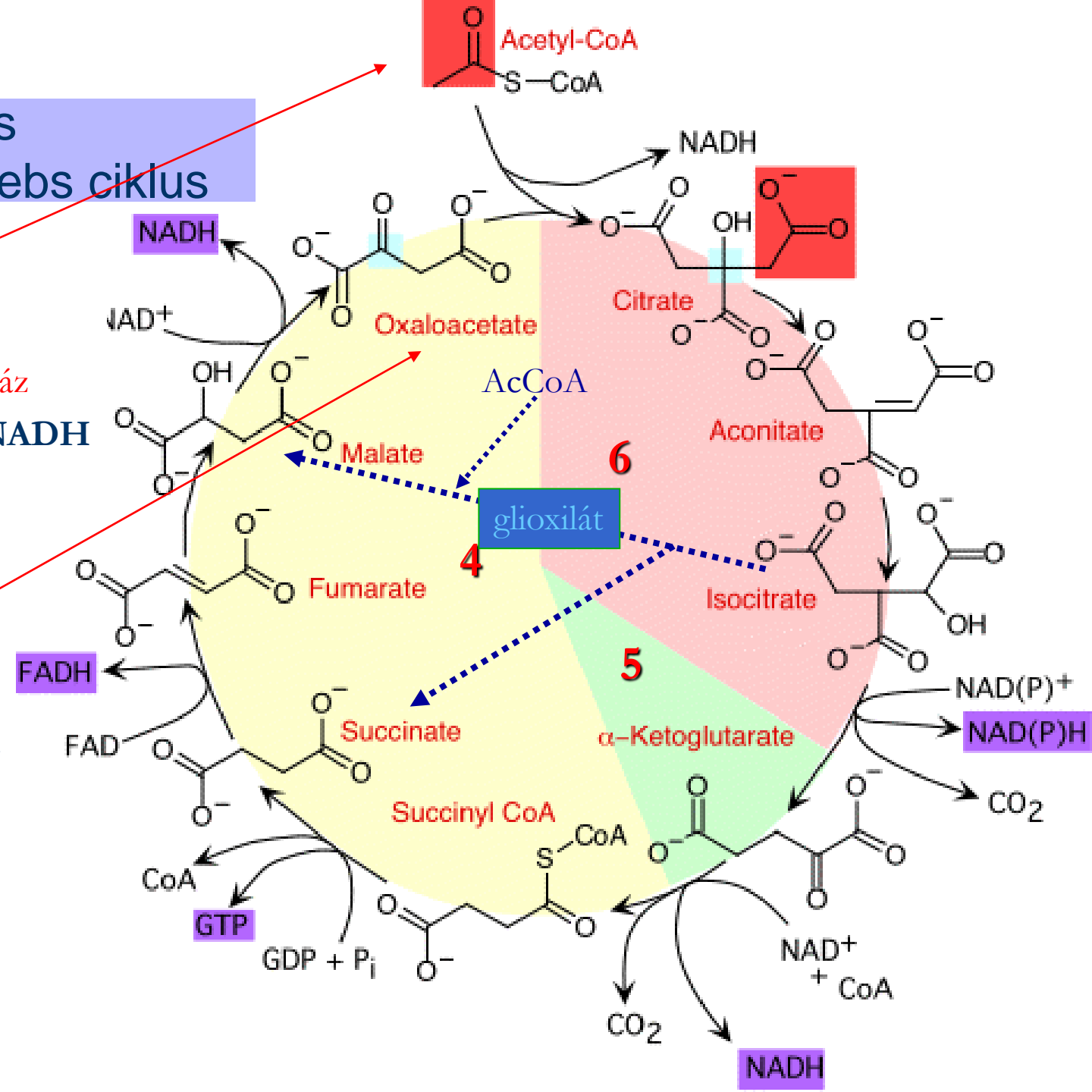
Citromsav ciklus Szentgyörgyi-Krebs ciklus



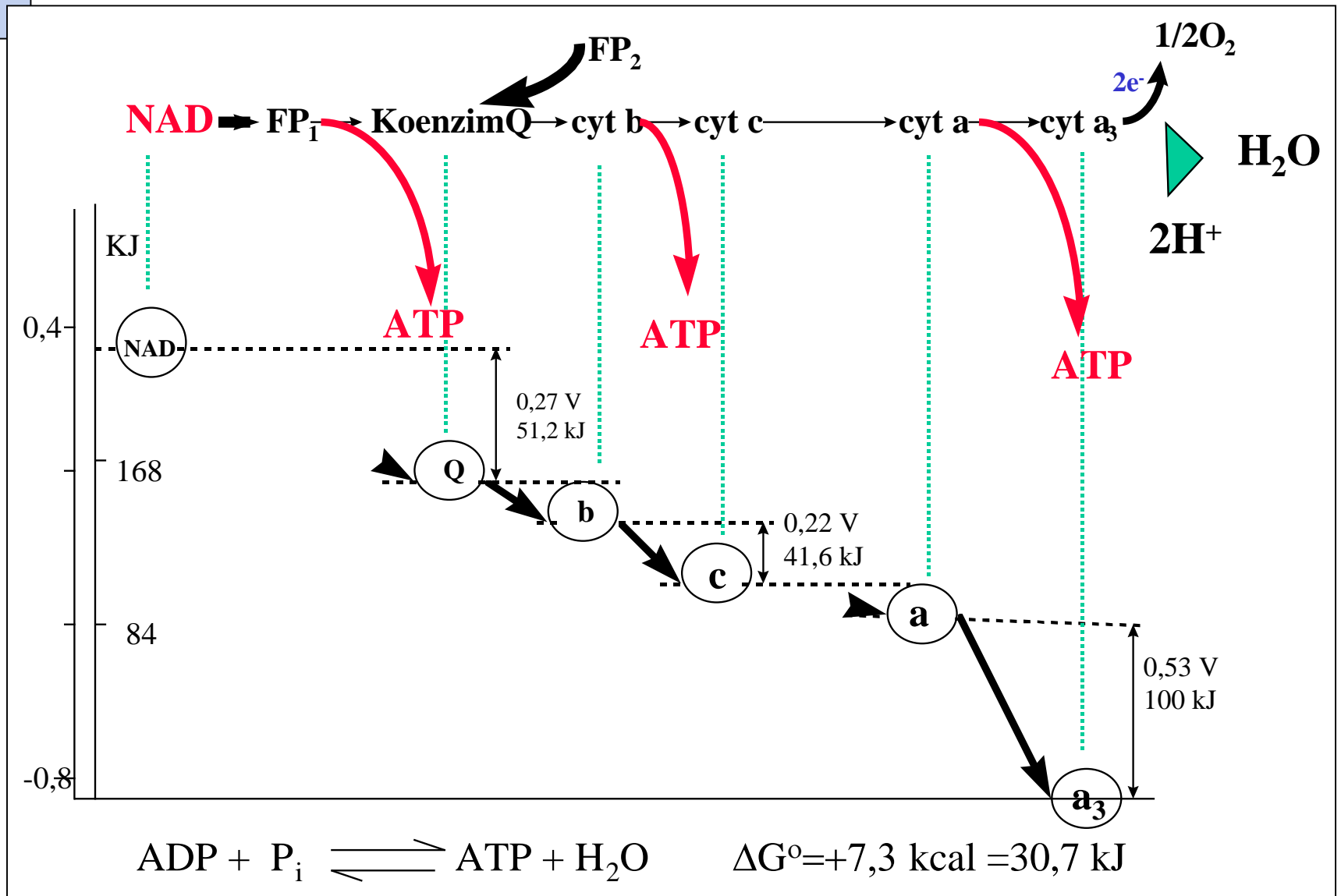
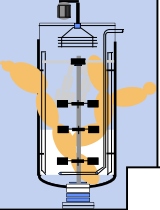
Piruvát-↓dehidrogenáz



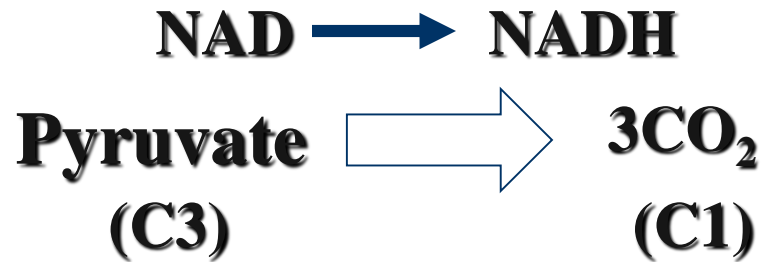
Piruvát-↓karboxiláz



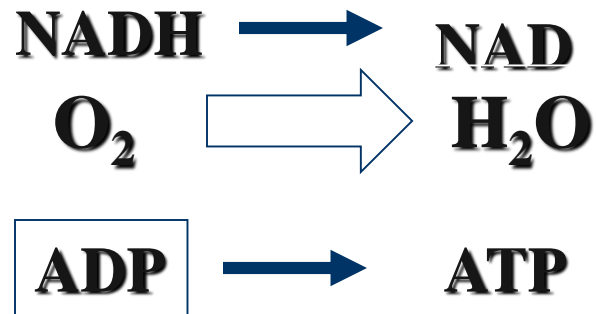
Az oxigén szerepe , légzés

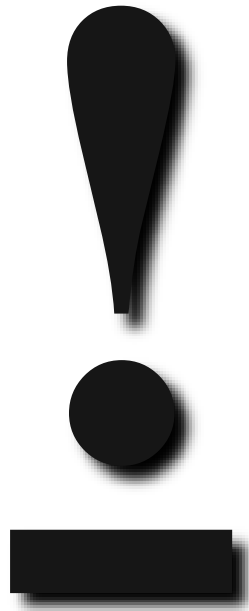


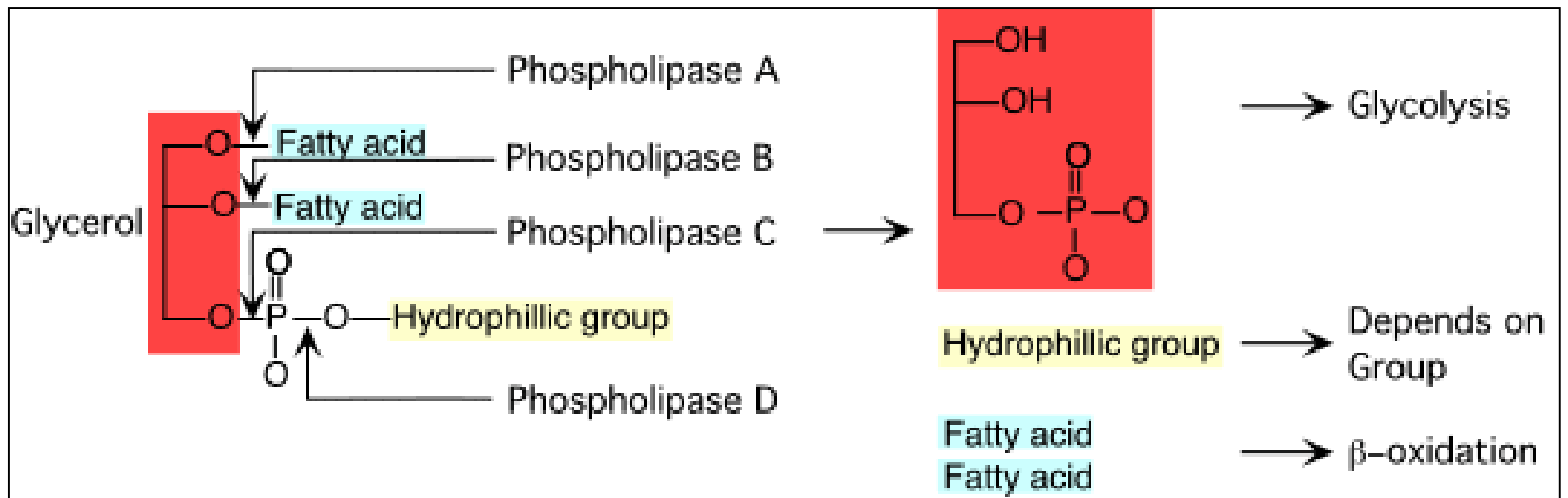
Krebs Cycle (C4-C6 intermediate compounds)



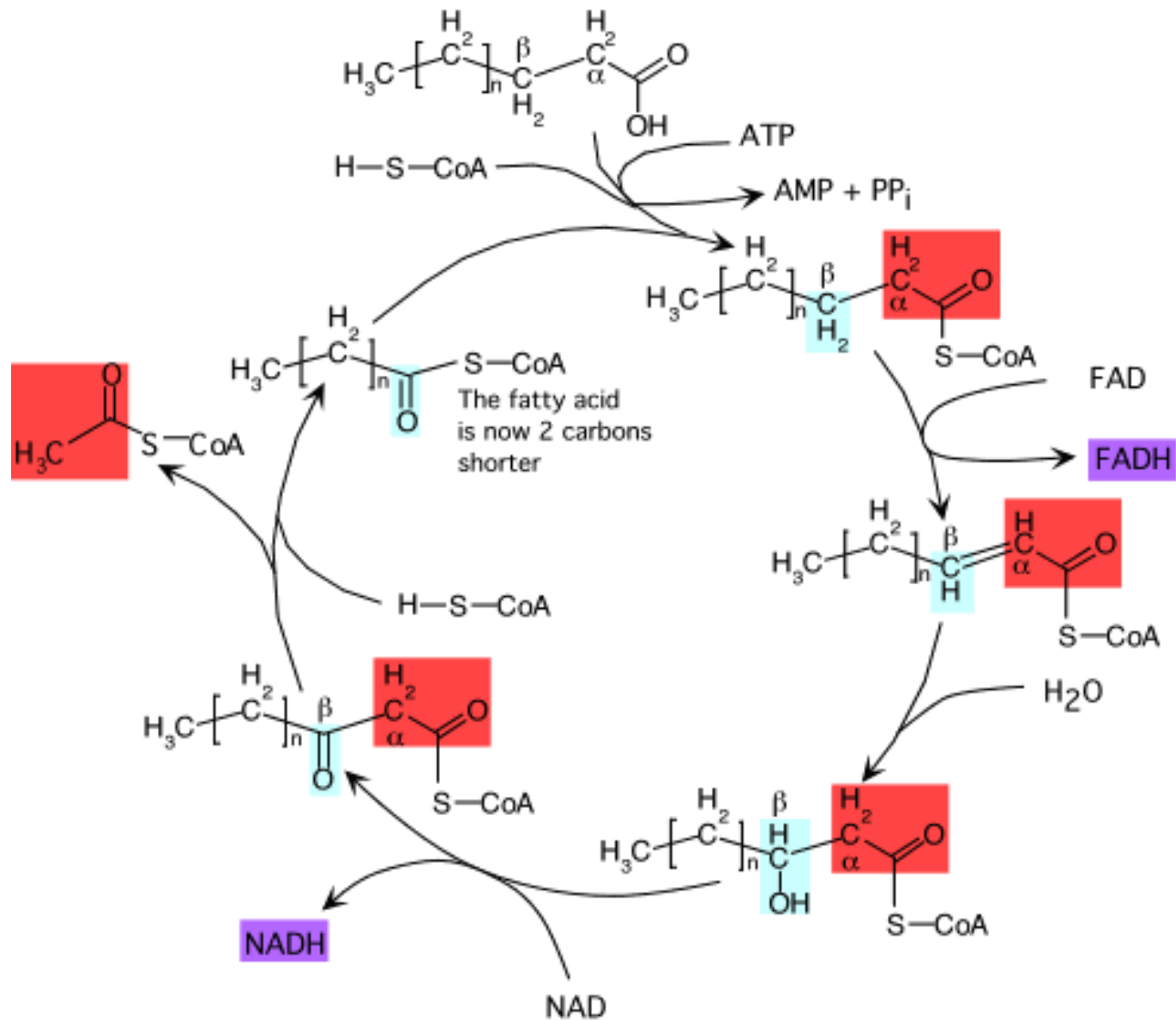
Oxidative phosphorylation



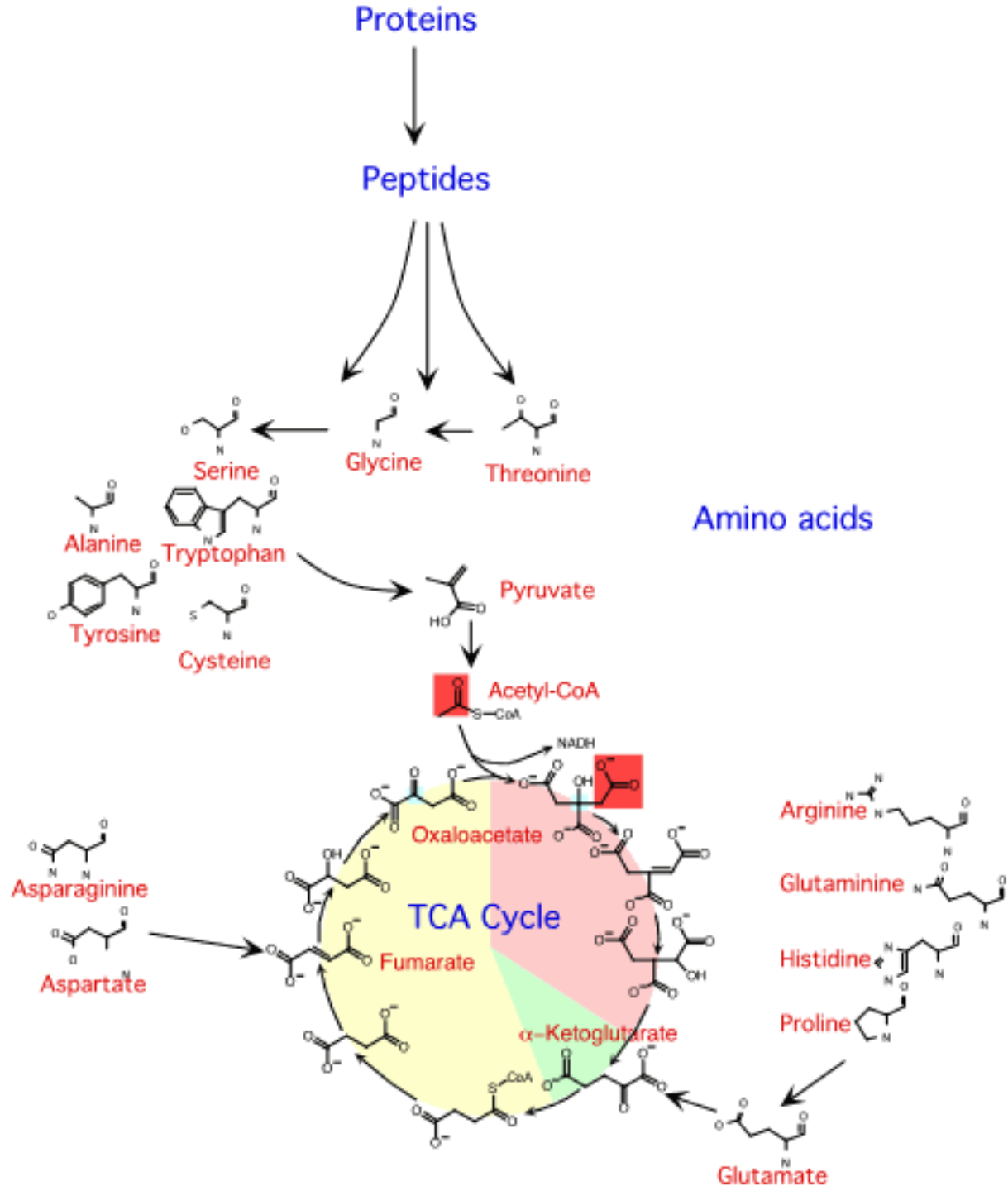




Zsírsvav lebontása
-oxidáció



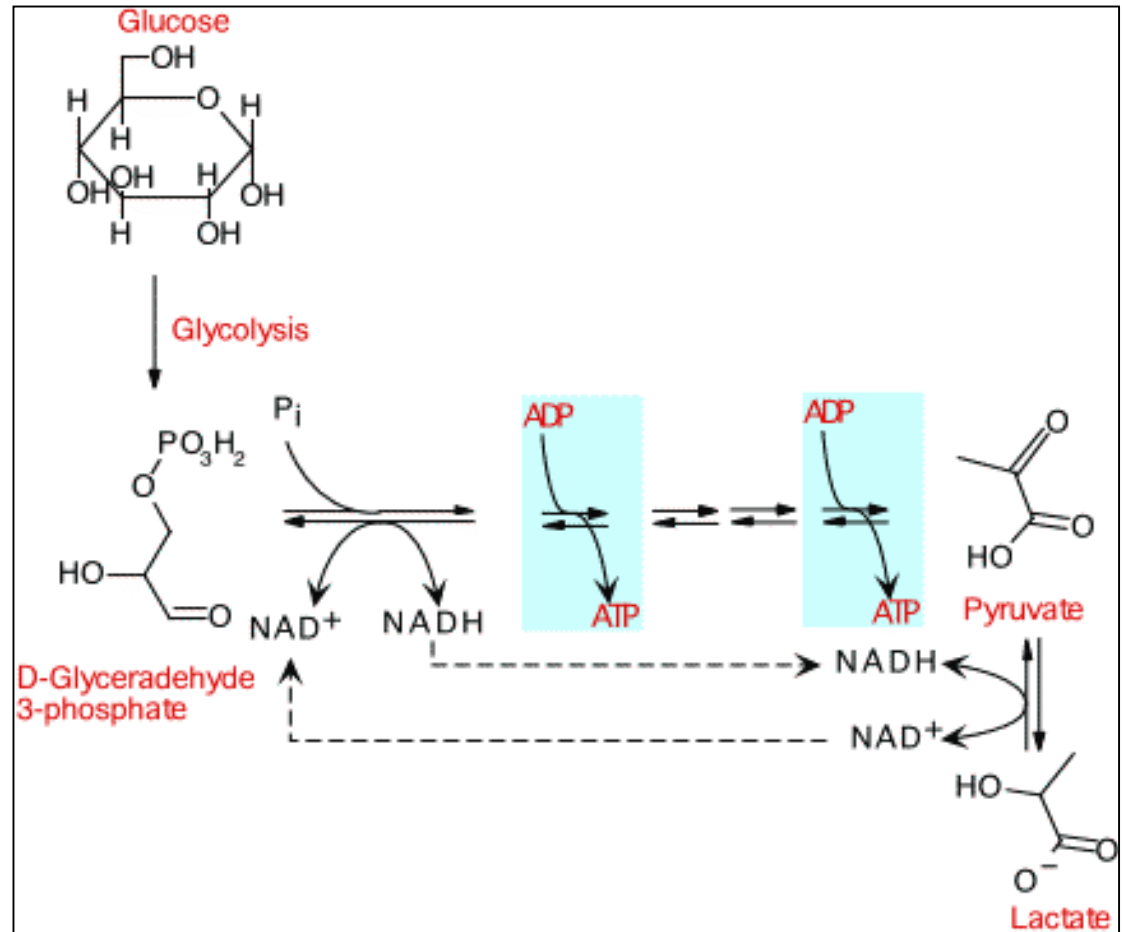
Aminosavak
mint C/energiaforrások



ANAEROB ANYAGCSERE

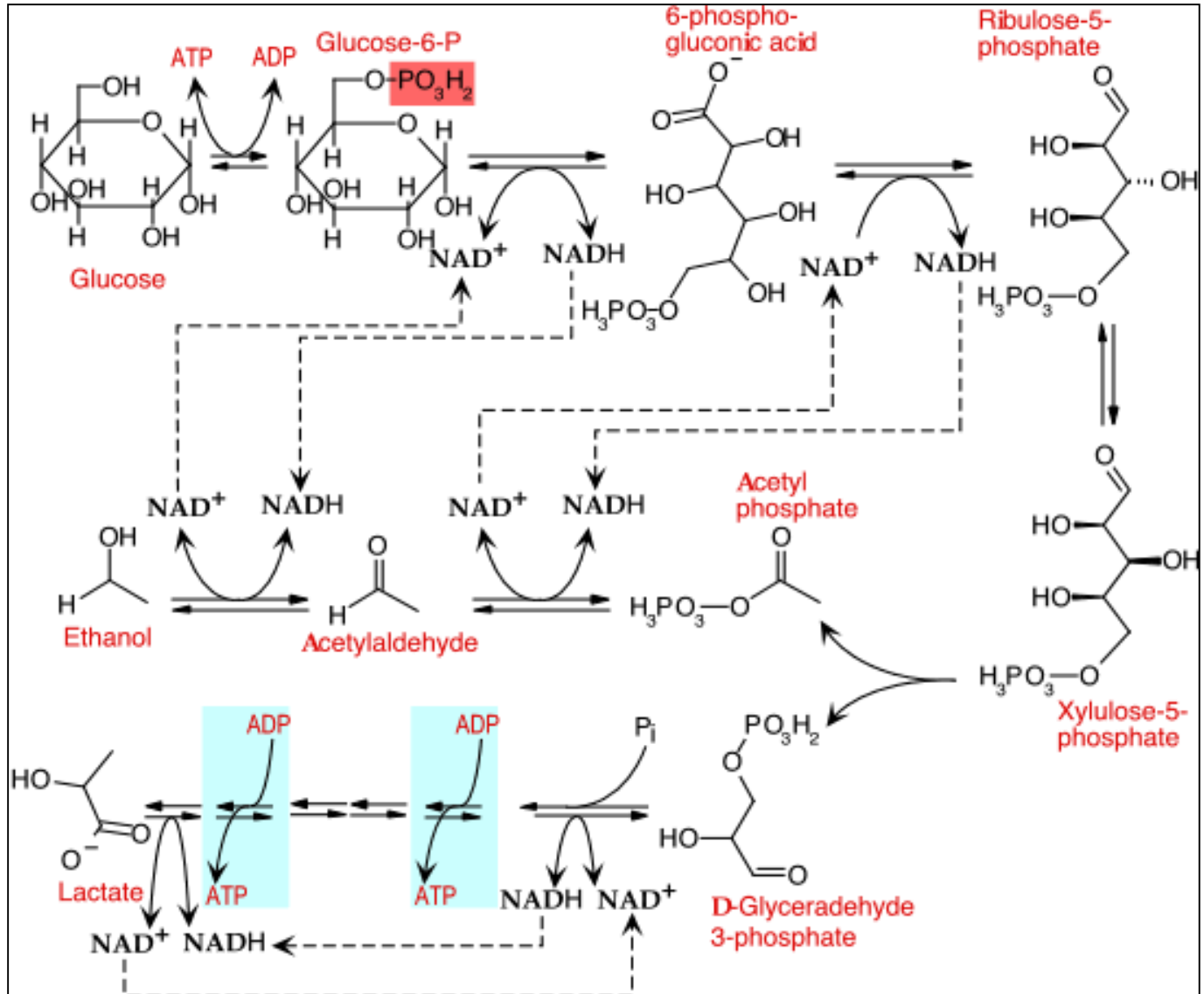
SZUBSZTRÁT SZINTŰ FOSZFORILEZÉS (GIKOLÍZIS, TCA)

NEMCSAK MIKROBÁKBAN: TEJSAV (homolaktikus fermentáció)

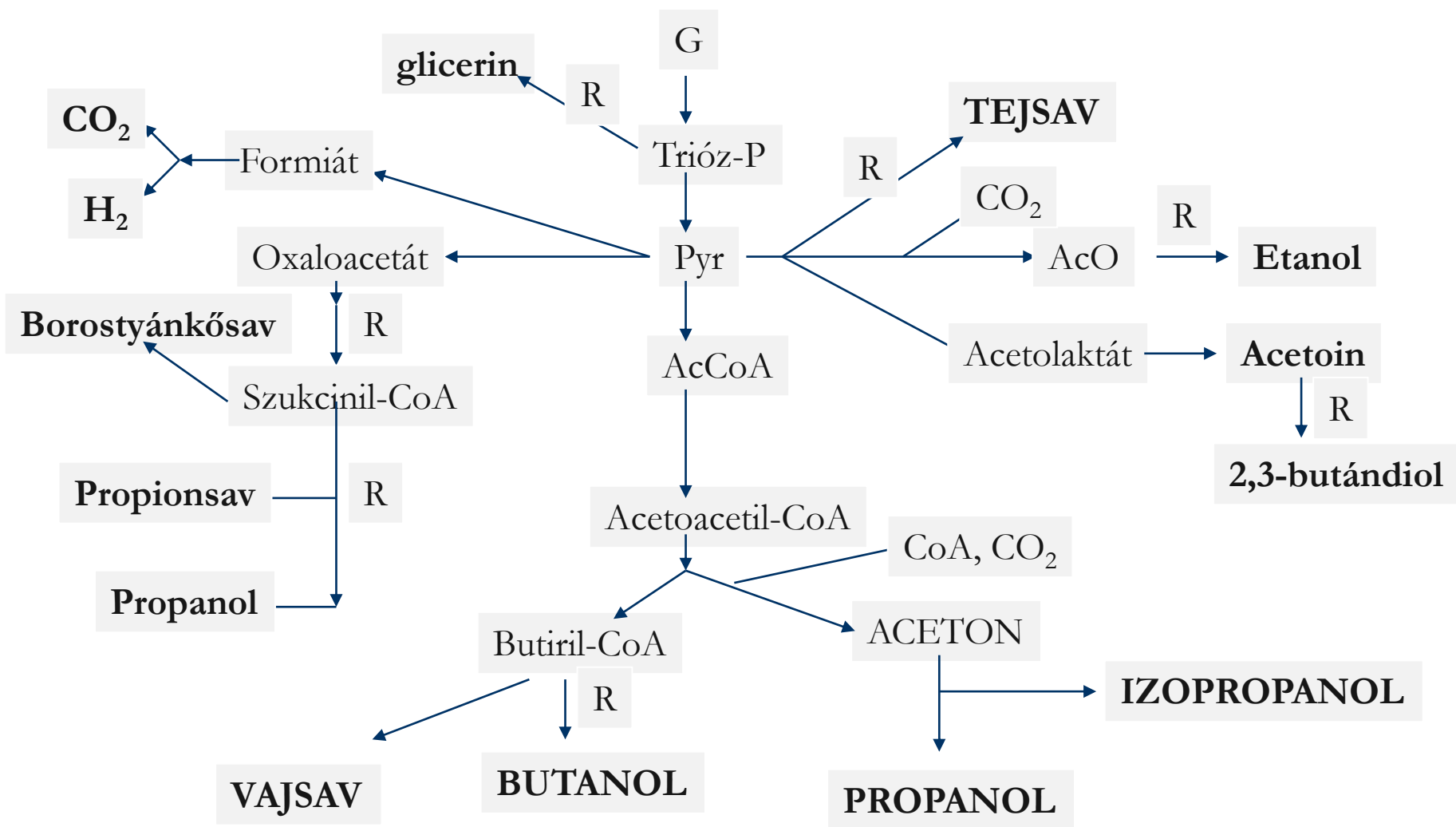


NADH visszaoxidálása egy sor anyagcseretermék, más elektronakceptorok

egy sor anyagcseretermék: heterolaktikus fermentáció



1 egy sor anyagcsere termék: anaerob NADH regeneráló anyagcsere utak, végtermékek



NADH visszaoxidálása: más elektronakceptorok

Energiaforrás (redukáló=oxidálódó vegyület)	Oxidáns (terminális elektron akceptor)	Respiráció termékei	Példa
*H ₂	SO ₄ ²⁻	H ₂ O+S ²⁻	<i>Desulfovibrio</i>
*Szerves vegyület	NO ³⁻	N ₂ +CO ₂	Denitrifikáló baktérium
S ²⁻ +	NO ₃ ⁻	N ₂ +elemi S	Thiomargarita

BIOSZINTÉZIS

Primer anyagcsere

TROPOFÁZIS

kiegyensúlyozott növekedés
balanced growth

Szekunder anyagcsere **IDIOFÁZIS**

kiegyensúlyozatlan növ,
fenntartás: folyik a primer
anyagcsere részben:
m á s f e l é

Ac-CoA

Citrát, Itakonát

Zsírsavak (olajok, zsírok)

PHB

Poliketidek

x3

Mevalonsav(C6)

CO₂

Izoprén egységek (C5)

Kinonok

x2

C₁₀

terpének

C₁₅

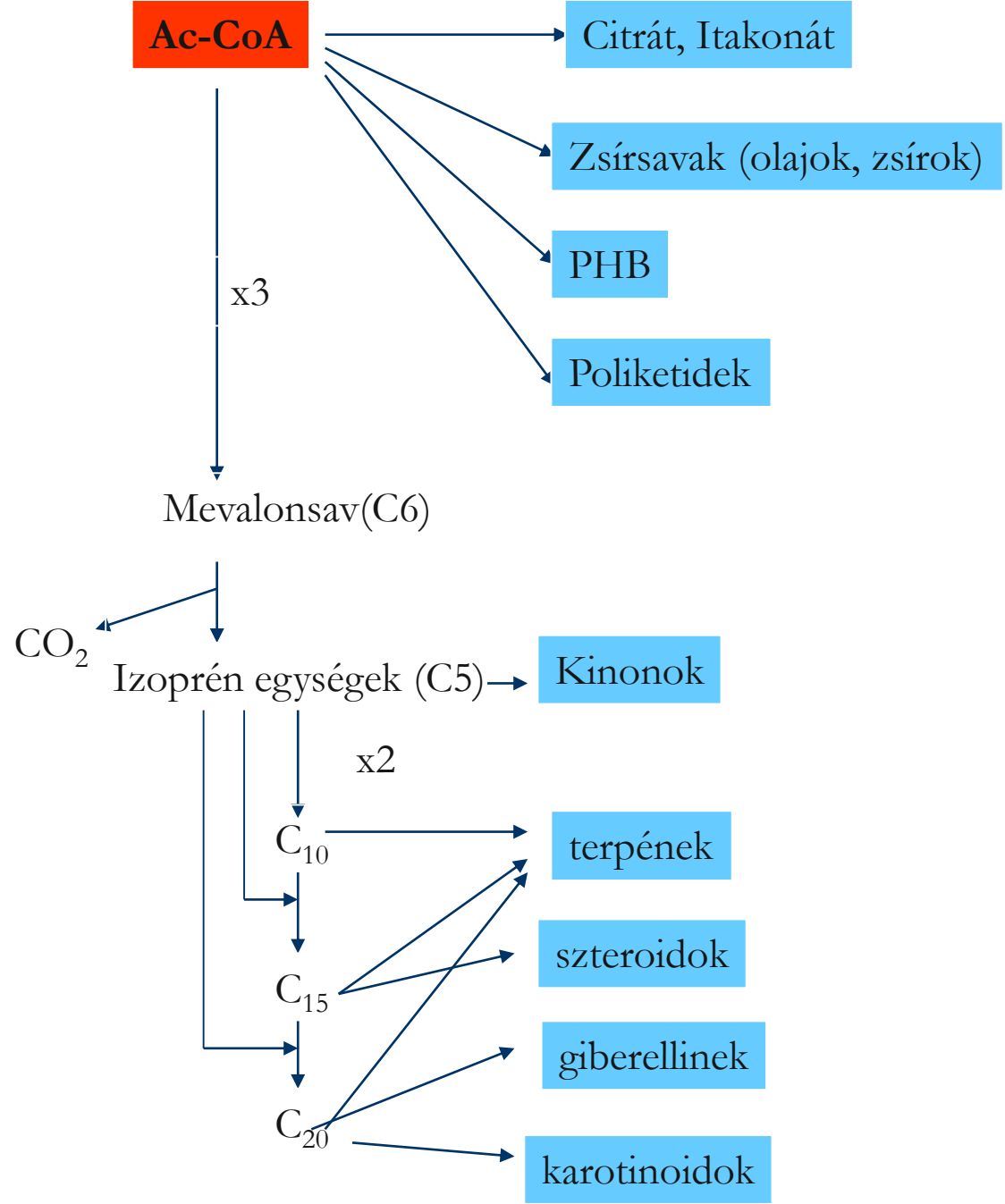
szteroidok

C₂₀

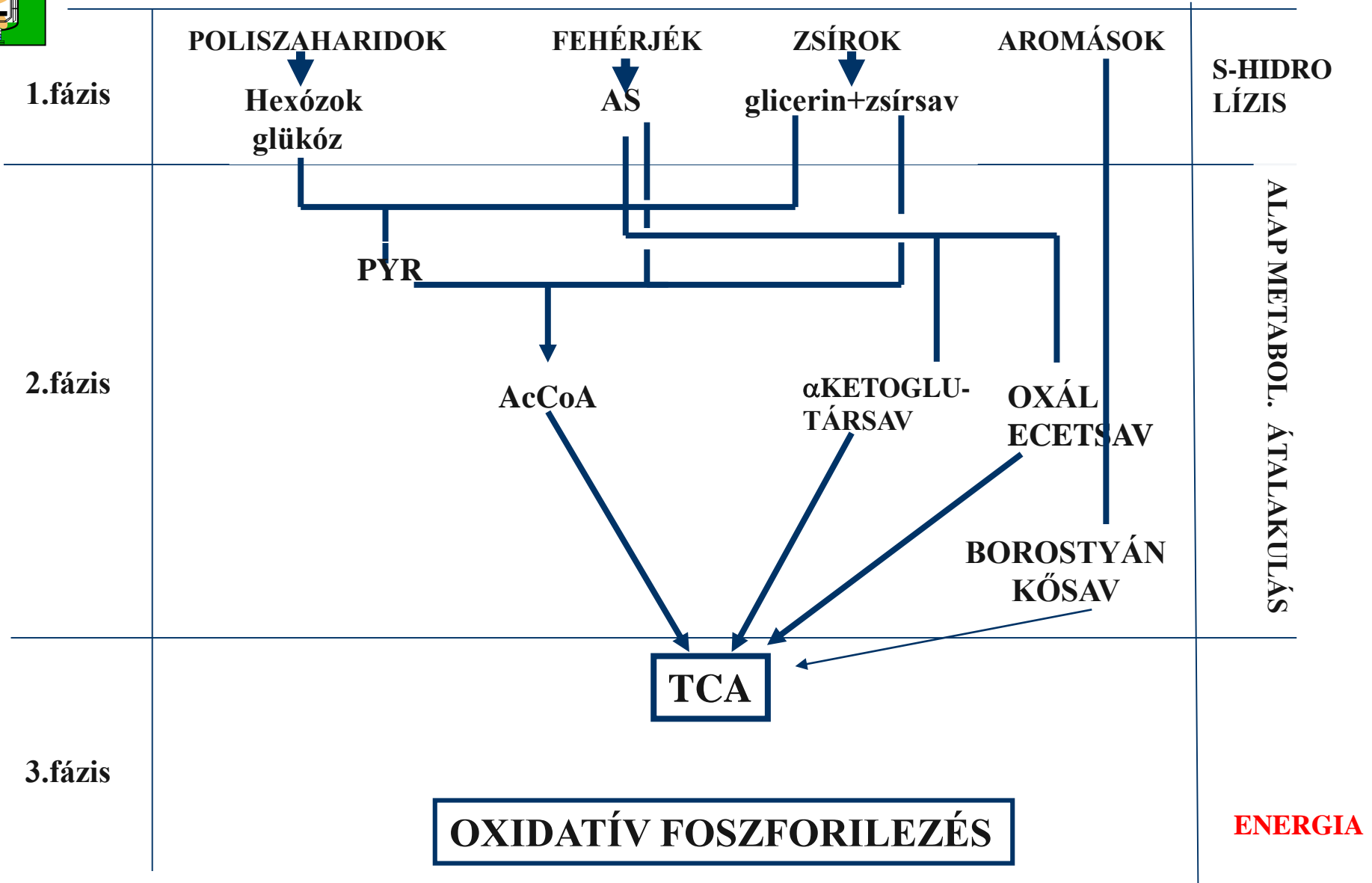
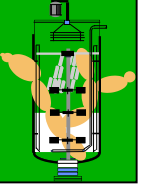
giberellinek

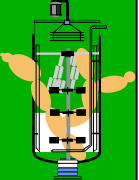
karotinoidok

Szekunder a.c.sere termékek
Acetil-koenzim-A-ból



Fermentációs tápoldatok

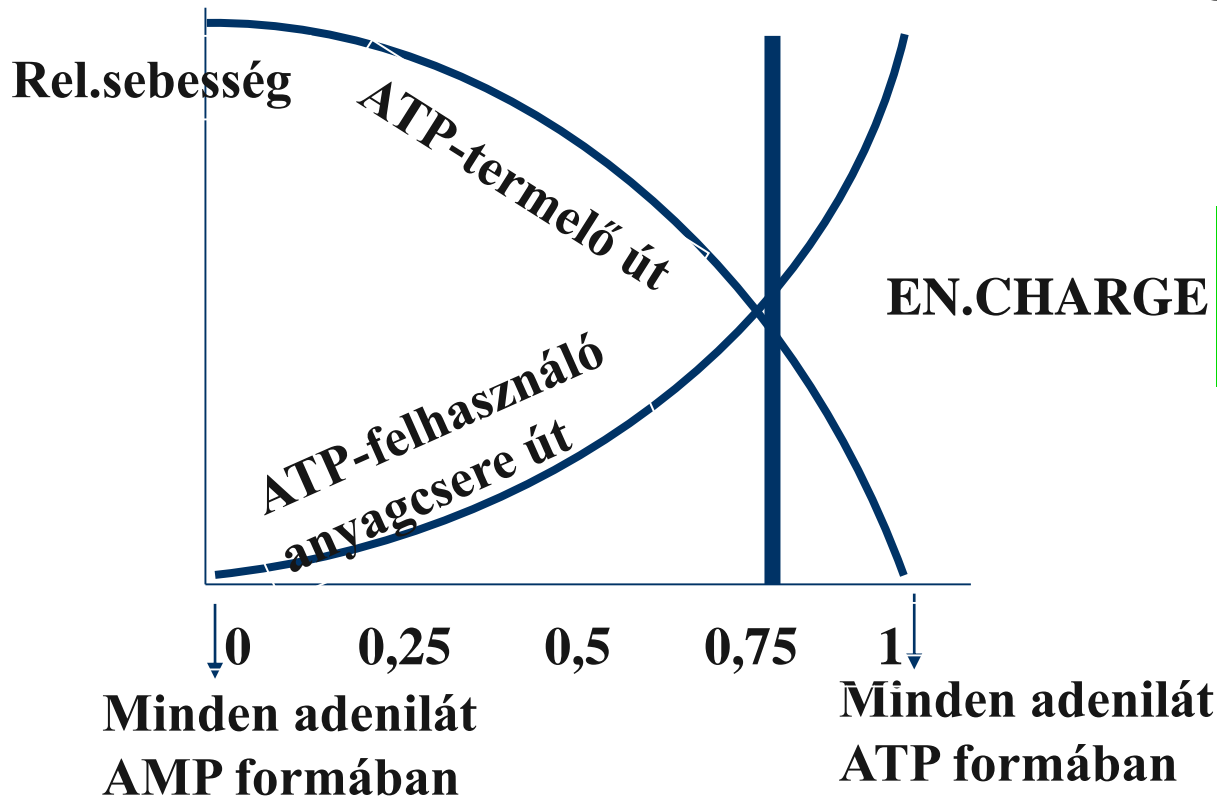




Fermentációs tápoldatok

ENERGY CHARGE ENERGIA-TÖLTÉS

Az energiaállapot indikátora



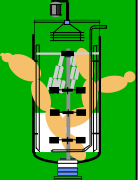
$$\text{EN.CHARGE} = \frac{[\text{ATP}] + 1/2[\text{ADP}]}{[\text{ATP}] + [\text{ADP}] + [\text{AMP}]}$$

0,8-0,95

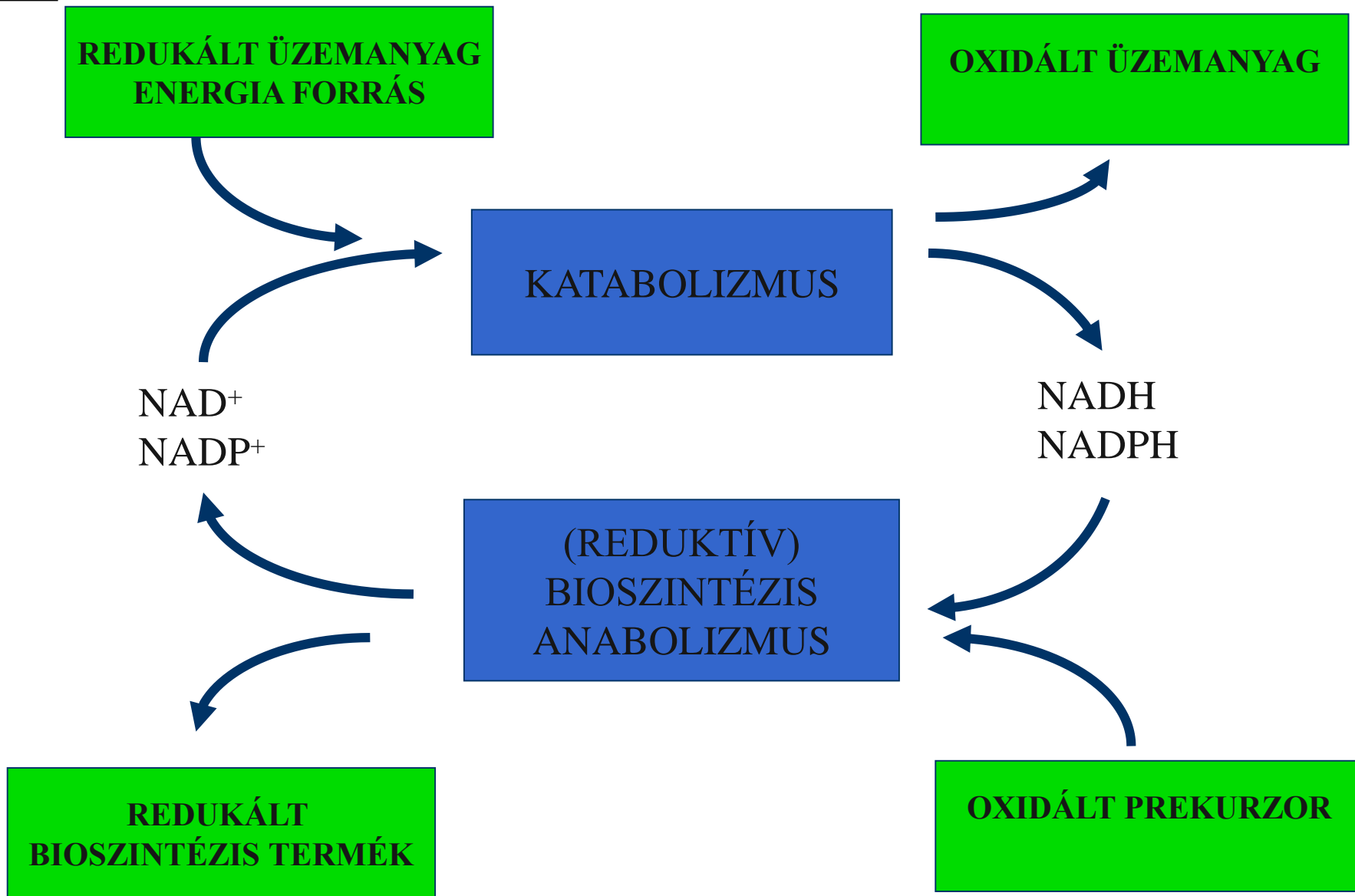
(Adenilát-kináz)

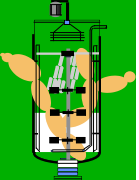
Direktebb mértéke az ATP hozzáférésnek a

$$\text{foszforilezési potenciál} = \frac{[\text{ATP}]}{[\text{ADP}] [\text{P}_i]}$$



Fermentációs tápoldatok „REDUKÁLÓ ERŐ”





C-forrás SZENHIDRÁTOK — glükóz ← HYDROL
— szaharóz ← MELASZ %
— malátakivonat
— keményítő, dextrin
— szulfitlúg (hexózok, pentózok)
! (— cellulóz)

NÖVÉNYI OLAJOK : szója, palma, gyapok

ALKOHOLOK — MeOH
— EtOH ← CH

PARAFFINOK C_{12} - C_{18} alkánok (60-as évek!)

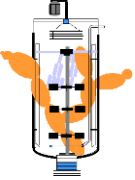
N-forrás SZERJETLEN — $(NH_4)_2SO_4$, $(NH_4)NO_3$, $(NH_4)_2CO_3$
— karbamid

TERMÉSZETES — szójaliszt
— KUKORICALÉKVÁR %
— MALÁTA
— SZÁZSIKÉR
— HALLISZT ...
— ÉLESÍTŐEXTRAKT
— PEPTONOK

OXIGÉN → igény → -átadás

NÖVEKEDÉSI FAKTOROK, VITAMINOK, BIOSZANYAGOK

EGYEDI TÁPOLDATOK → TÁPOLDAT OPTIMÁLÁS



A mikroba szaporodás alapösszefüggései

$$X = X_0 2^{\frac{t}{t_g}} = X_0 2^n$$

Generációs idő - doubling time
generation time

Sejtszám db/ml

N, X

Sejttömeg: sz.a.
mg/ml, g/l, kg/m³

$$\frac{dx}{dt} = \mu \cdot X$$

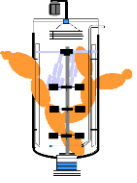
MONOD, 1942

μ : fajlagos növekedési sebesség

$$\mu \equiv \frac{1}{X} \frac{dx}{dt}$$

$$h^{-1}$$

A mikroba szaporodás alapösszefüggései



Jacques Monod

$$\frac{dx}{dt} = \mu \cdot x$$



$$x = x_0 e^{\mu t}$$

μ és a generációs idő kapcsolata:

$$t_{\text{g}} = \frac{\ln 2}{\mu}$$

$$\frac{dN}{dt} = v \cdot N$$

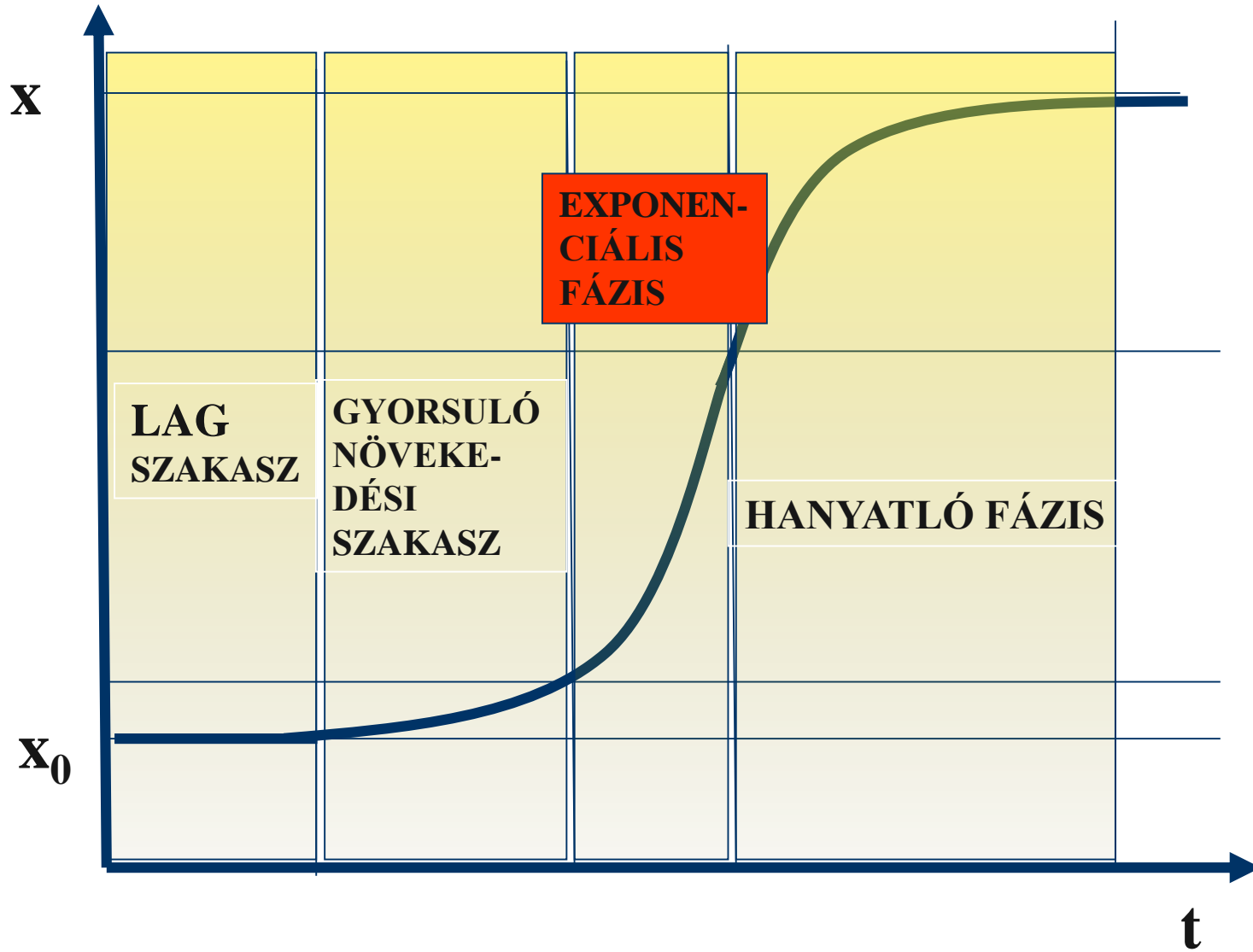
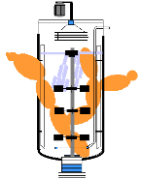


$$N = N_0 e^{vt}$$

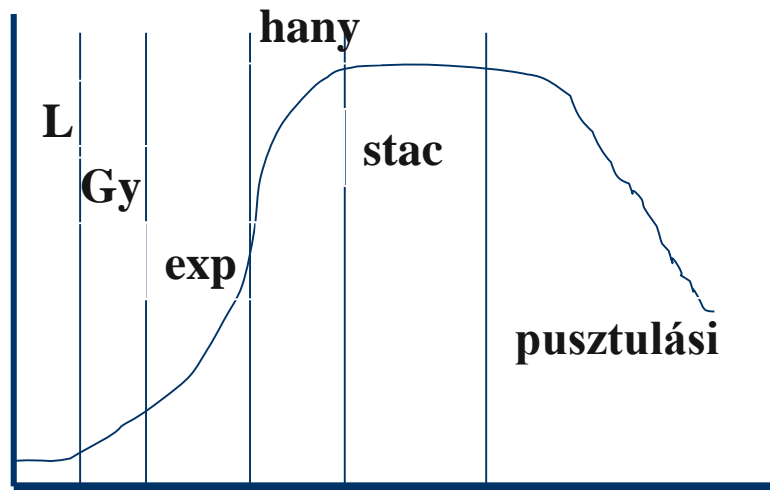


v : fajlagos szaporodási sebesség

A mikroba szaporodás alapösszefüggései

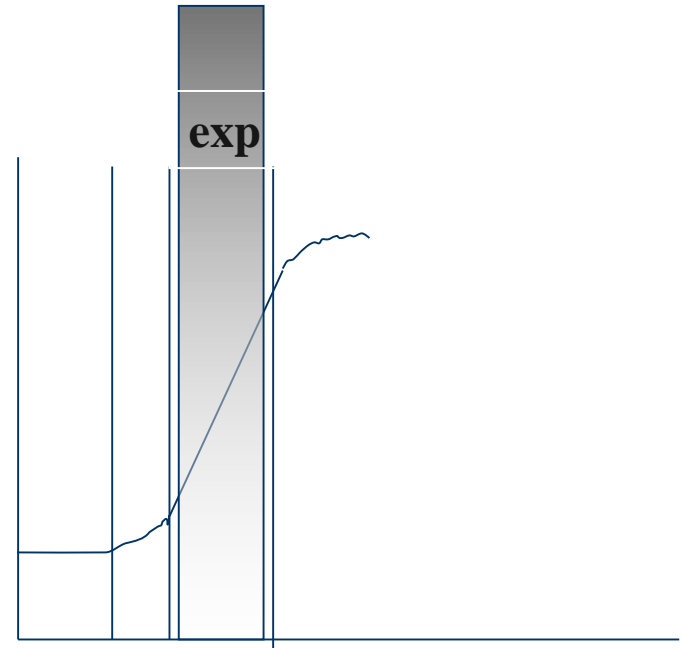


Élő sejtszám



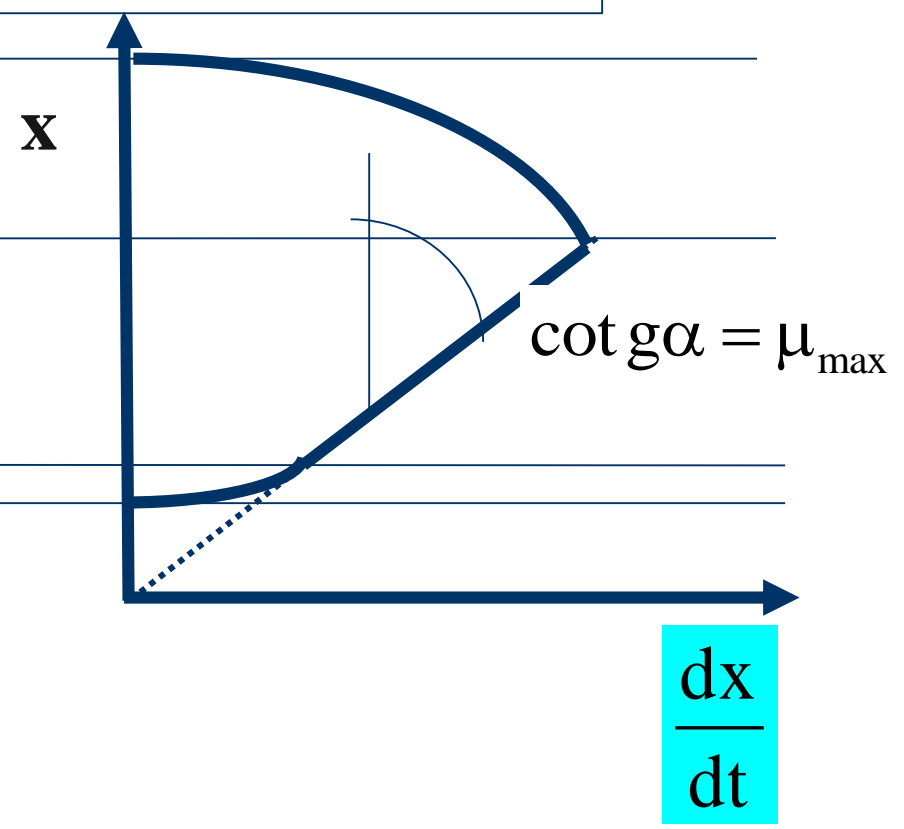
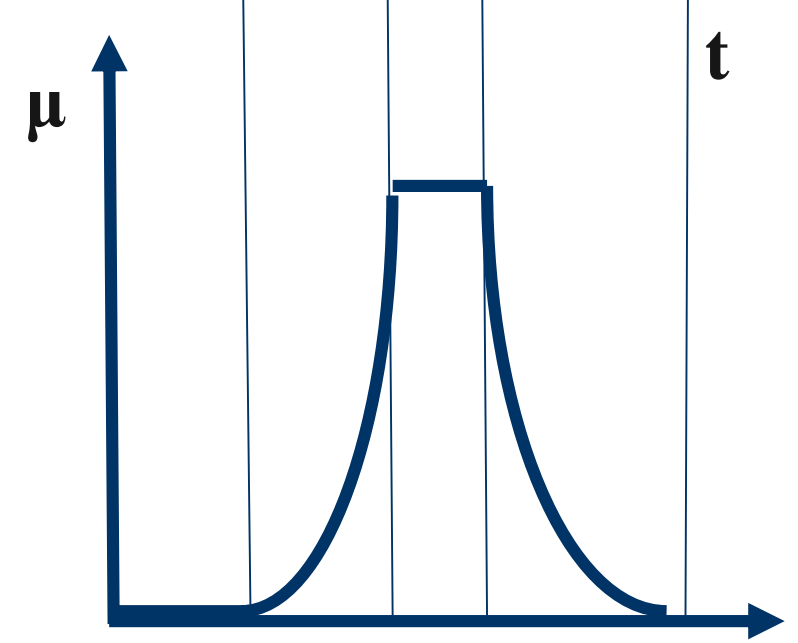
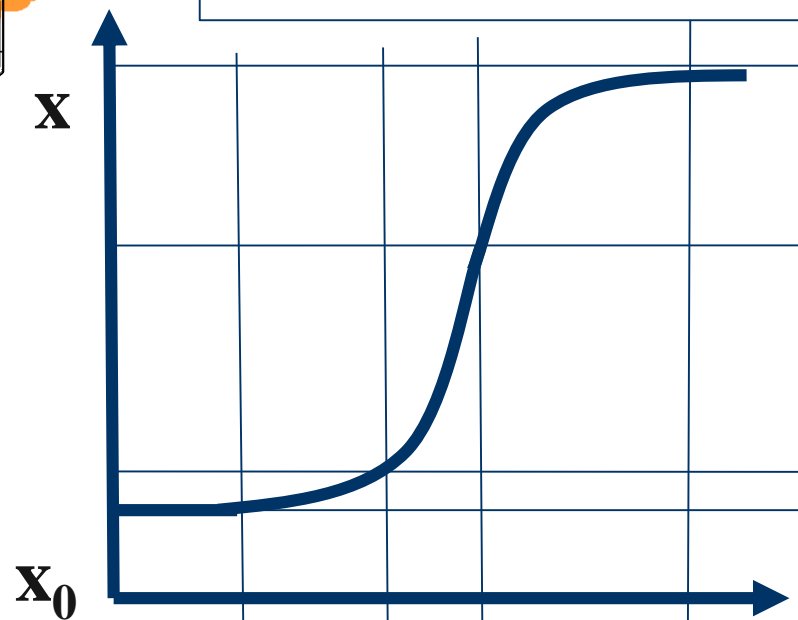
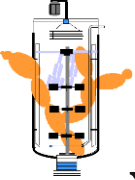
idő

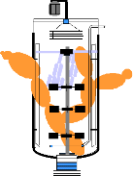
lg x



idő

A mikroba szaporodás alapösszefüggései





MI AZ OKA A HANYATLÓ FÁZISNAK?

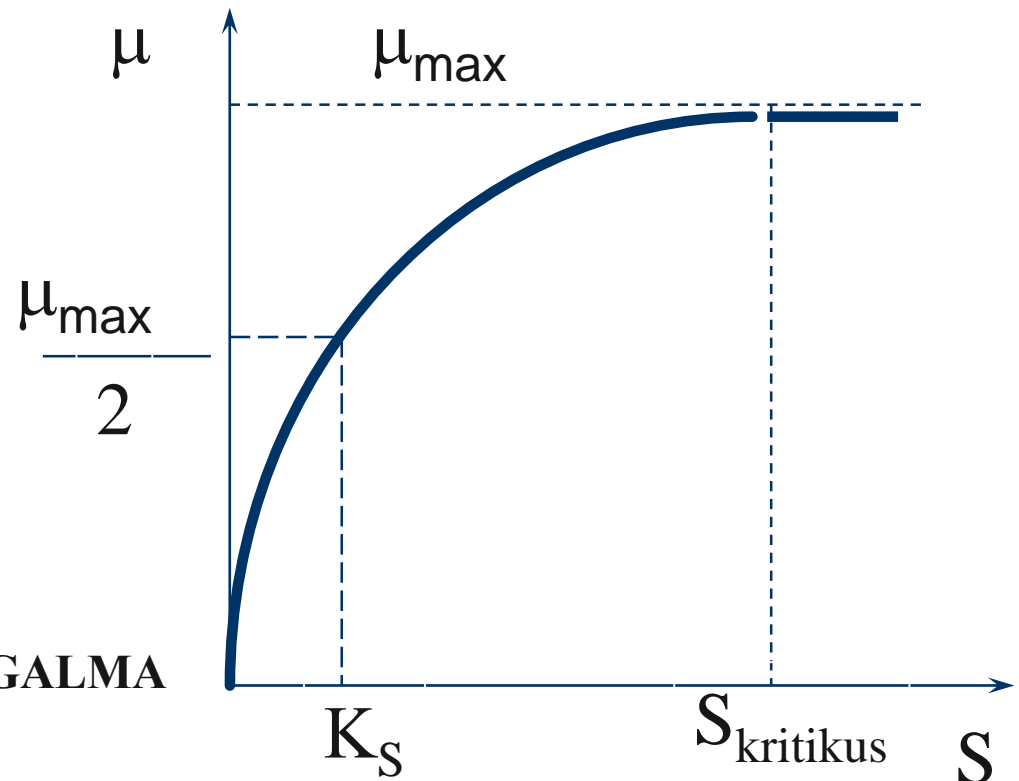
1. TÁPANYAG LIMITÁCIÓ
2. TOXIKUS METABOLIT TERMÉK(EK)
3. HELYHIÁNY

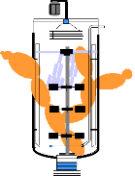
MONOD- modell

$$\mu = \mu_{\max} \frac{S}{K_S + S}$$

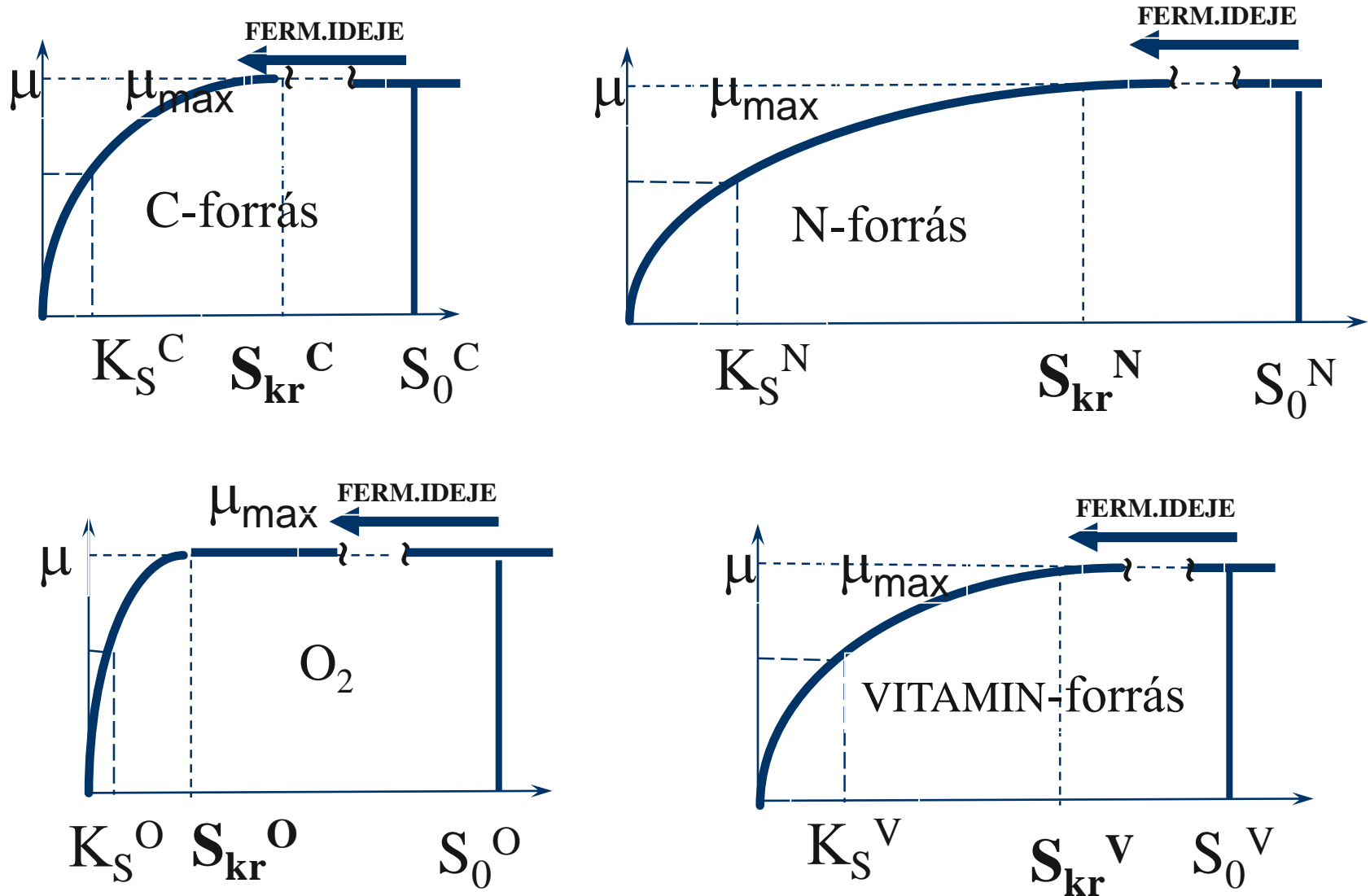
KRITIKUS KONCENTRÁCIÓ FOGALMA

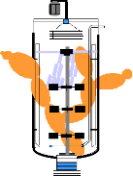
LIMITÁLÓ SZUBSZTRÁT





MELYIK S LESZ LIMITÁLÓ S ???





A mikrobaszaporodás alapösszefüggései

LIMITÁLÓ SZUBSZTRÁTRA

HOZAM:

$$\frac{dx}{dS} = -Y_{x/s} = \frac{\Delta x}{\Delta S} = \frac{\frac{1}{x} \frac{dx}{dt}}{\frac{1}{S} \frac{dS}{dt}}$$

KITERJESZTÉS

$$\frac{dx}{dS_i} = -Y_{x/s_i} \quad \text{vagy} \quad = -Y_i$$

MINDÍG IGAZ:

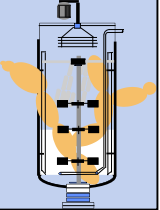
$$r_x = \frac{dx}{dt} = \mu x$$

**Exponenciális és
Hanyatló fázisban:**

$$r_x = \frac{dx}{dt} = \mu \frac{S}{K_s + S} x$$
$$r_s = \frac{dS}{dt} = -\frac{1}{Y_{x/s}} \mu \frac{S}{K_s + S} x$$

megoldható
diffegy.rendszer

MONOD-modell egyenletei



MONOD modell-család

Több limitáló szubsztrát

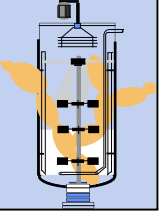
interaktív vagy multiplikatív leírás:
$$\mu_x = \mu_{x\max} \frac{S_1}{K_{s1} + S_1} \frac{S_2}{K_{s2} + S_2} \dots \frac{S_n}{K_{sn} + S_n}$$

$$\mu_x = \mu_{x\max} \prod_{i=1}^n \frac{S_i}{K_{si} + S_i}$$

additív leírás
$$\mu_x = \mu_{x\max} \cdot \left(w_1 \frac{S_1}{K_{s1} + S_1} + w_2 \frac{S_2}{K_{s2} + S_2} \dots + w_n \frac{S}{K_{sn} + S_n} \right)$$

$$w_j = \frac{\frac{K_j}{S_j}}{\sum_{i=1}^n \frac{K_i}{S_i}} \quad \text{súlyfüggvények}$$

nem interaktív leírás $\mu = \mu(S_1)$ vagy $\mu = \mu(S_2)$ vagy ... $\mu = \mu(S_n)$



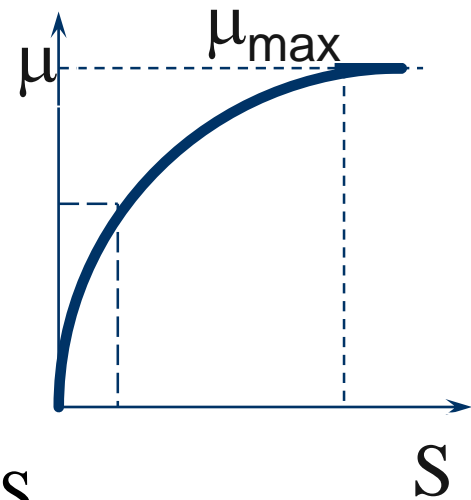
MONOD modell-család

Monod-modell „javításai”

Teissier egyenlet $\mu = \mu_{x \max} \left(1 - e^{-KS}\right)$

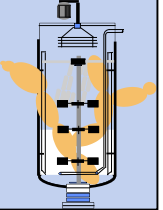
Moser egyenlet $\mu = \mu_{x \max} \frac{S^n}{K_s + S^n} = \mu_{x \max} \left(1 + K_s S^{-n}\right)^{-1}$

Contois egyenlet $\mu = \mu_{x \max} \frac{S}{K_{sx} X + S}$



SZUBSZTRÁT INHIBÍCIÓ

$$r_x = \frac{dx}{dt} = \mu_{x \max} \frac{S}{aS + \frac{S^2}{K_i} + K_S} x$$



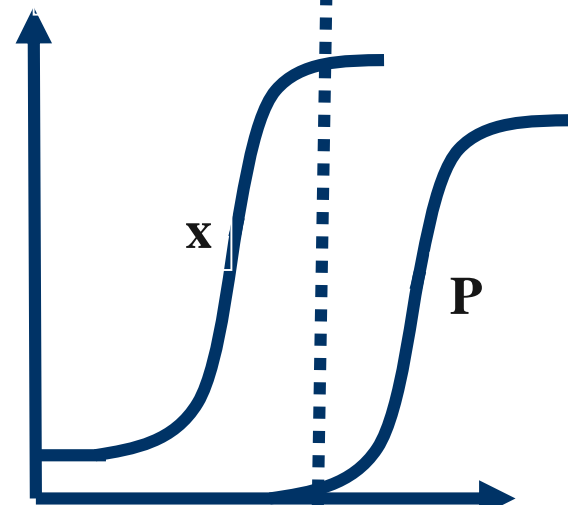
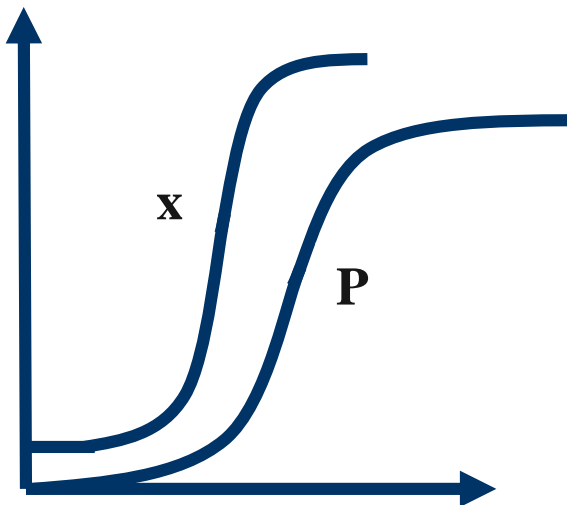
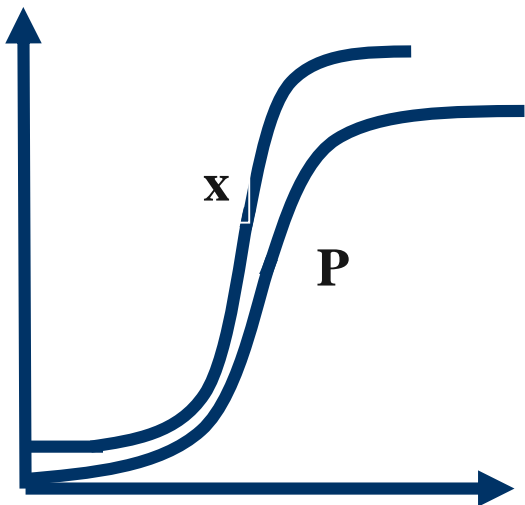
MONOD modell-család

GAEDEN-féle termékképződési típusok

Primer acs. termék

.....

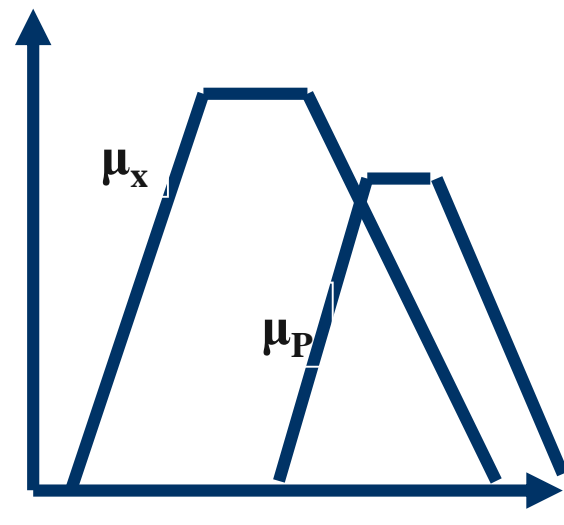
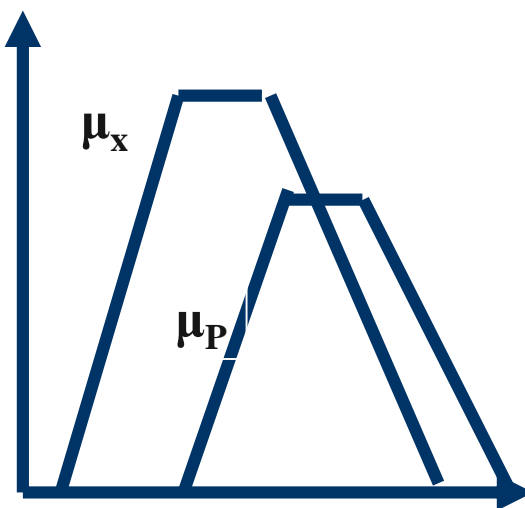
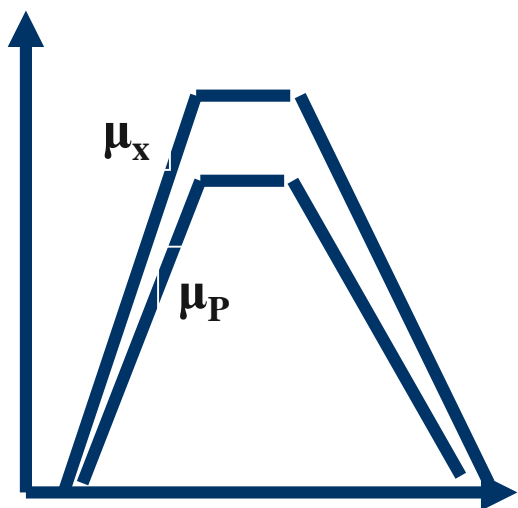
Szekunder acs. termék

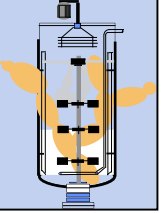


Növekedéshez kötött

Vegyes típus

Növekedéshez nem kötött





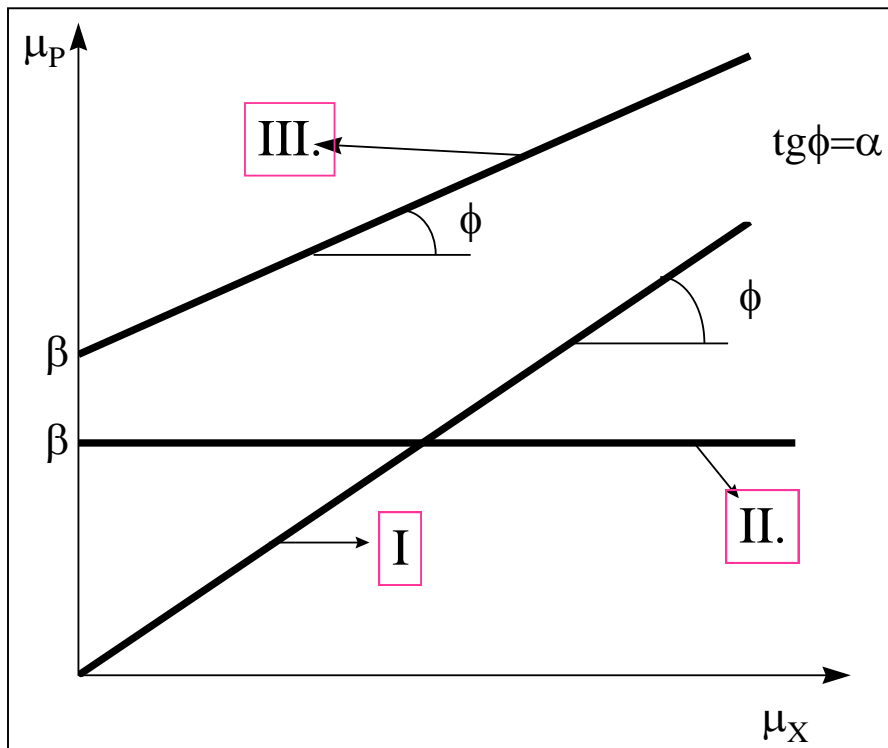
MONOD modell-család

TERMÉKKÉPZŐDÉS KINETIKAI LEÍRÁSA

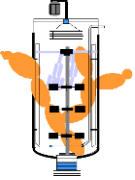
LUEDEKING – PIRET MODELL

$$r_P = \frac{dP}{dt} = \alpha \frac{dx}{dt} + \beta x$$

$$\frac{1}{x} \frac{dP}{dt} = \mu_P = \alpha \mu_x + \beta$$



- I:** $\alpha > 0$ és $\beta = 0$ növekedéshez kötött termékképződés
- II:** $\alpha = 0$ és $\beta > 0$ növekedéshez nem kötött termékképződés
- III:** $\alpha > 0$ és $\beta > 0$ vegyes típusú fermentáció.



C-forrás és hasznosulás

Mire fordítódik a C-forrás?

beépülés energiatermelés

$$\Delta S = \Delta S_C + \Delta S_E$$

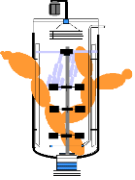
$$\frac{\Delta S}{\Delta X} = \frac{\Delta S_C}{\Delta X} + \frac{\Delta S_E}{\Delta X}$$

$$\frac{1}{Y_{x/s}} = \frac{1}{Y_C} + \frac{1}{Y_E}$$

Eredő hozam

szénhozam

energiahozam



A mikrobaszaporodás alapösszefüggései

Írjunk fel egy anyagmérleget a beépülő szénre

$$\alpha_2 \Delta X = \alpha_1 \Delta S_C$$

Sejttömeg C-tartalma

0,46-0,5 50%

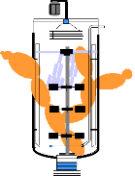
Szubsztrát C-tartalma

Glükóz:0,4

$$\frac{\Delta X}{\Delta S_C} = Y_C = \frac{\alpha_1}{\alpha_2}$$

$$Y_E = \frac{1}{\frac{1}{Y} - \frac{1}{Y_C}} = \frac{Y Y_C}{Y_C - Y}$$

$$Y_E = \frac{Y \cdot \frac{\alpha_1}{\alpha_2}}{\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - Y} = \frac{Y \cdot \alpha_1}{\alpha_1 - Y \cdot \alpha_2}$$



A mikrobaszaporodás alapösszefüggései

$$\Delta S = \Delta S_c + \Delta S_E$$



?

NÖVEKEDÉS

FENNTARTÁS -maintenance

SEJTMOZGÁS

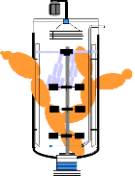
OZMOTIKUS MUNKA

RENDEZETTSÉG FENNTARTÁSA

II.főtétel

reszintézis

$$Y_E = \frac{\Delta x}{\Delta S_E} = \frac{\Delta x}{\Delta S_g + \Delta S_m}$$



A mikrobaszaporodás alapösszefüggései

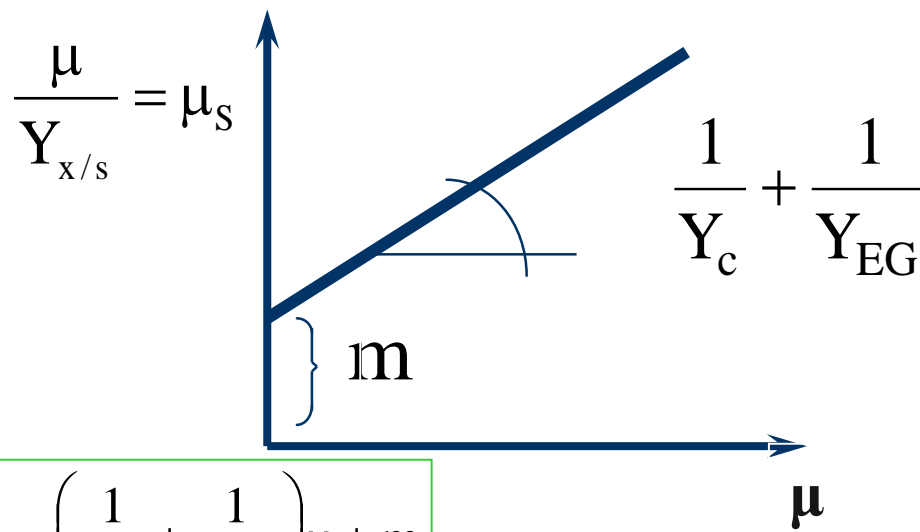
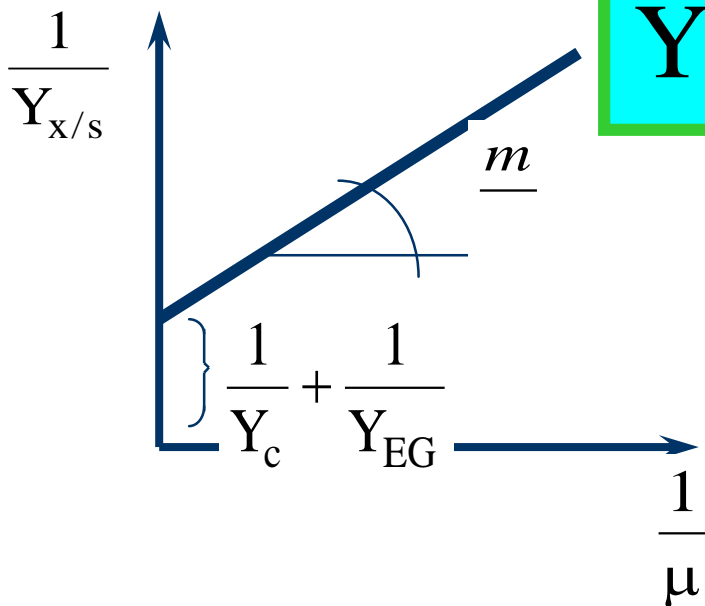
$$\frac{1}{Y_E} = \frac{1}{Y_{EG}} + \frac{m}{\mu}$$

Fajlagos maintenance
Koefficiens

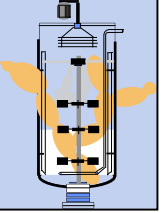
$$g/gh = h^{-1}$$

Eredő hozamra:

$$\frac{1}{Y_{X/S}} = \frac{1}{Y_C} + \frac{1}{Y_{EG}} + \frac{m}{\mu}$$



$$\mu_s = \left(\frac{1}{Y_C} + \frac{1}{Y_{EG}} \right) \mu + m$$

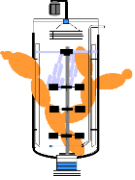


EREDETILEG ÁLLANDÓ Y „hozamkonstans”, de....

$$\frac{1}{Y_{x/s}} = \frac{1}{Y_C} + \frac{1}{Y_{EG}} + \frac{m}{\mu_x}$$

$$\frac{dS}{dt} = \frac{\partial S}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \sum_i \frac{\partial S}{\partial P_i} \frac{dP_i}{dt}$$

$$\frac{1}{Y_{P/S_i}} = - \frac{\partial S}{\partial P_i}$$



ATP-hozam

$$Y_{\text{ATP}} = \frac{\Delta x}{\Delta \text{ATP}} = \frac{Y'_{x/s}}{Y_{\text{ATP}/s}}$$

g/mol

g/mol

$$Y'_{x/s} = M(s) \times Y_{x/s}$$

mol/mol

10,5 g/mol
(8,3-32)

$$\frac{\text{P}}{\text{O}}$$

„P/O hányados”

mol/gatom

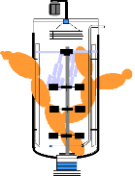
Oxidatív foszforilezés hatékonysága:

3/1=3



$$Y_{\frac{\text{p}}{\text{s}}} = \frac{\Delta \text{P}}{\Delta \text{S}}$$

$$Y_{\frac{\text{p}}{\text{x}}} = \frac{\Delta \text{P}}{\Delta \text{X}}$$



$$Y_H = Y_{\text{kcal}} = \frac{\Delta X}{-\Delta H_x \cdot \Delta X + \Delta H_s \cdot \Delta S} = \frac{\Delta X}{\Delta Q}$$

HŐ(TERMELÉSI)HOZAM

SEJTTÖMEG ÉGÉSHŐ SZUBSZTR.ÉGÉSHŐ

METABOLIKUS
HŐTERMELÉS

Ha van termék....

RQ respirációs hányados

$$\frac{\Delta \text{CO}_2}{\Delta \text{O}_2} = \frac{\frac{d\text{CO}_2}{dt}}{\frac{d\text{O}_2}{dt}} = \frac{q_{\text{CO}_2}}{q_{\text{O}_2}}$$

$RQ_{\text{max}} \triangleleft$ beépülés

$$\Delta\text{ATP} = (\Delta\text{ATP})_g + (\Delta\text{ATP})_m$$

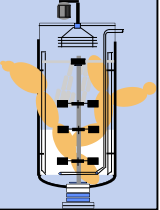
$$\frac{1}{Y_{\text{ATP}}} = \frac{1}{Y_{\text{ATP}}^{\text{max}}} + \frac{m_{\text{ATP}}}{\mu}$$

$$\frac{1}{Y_{\text{x/s}}} = \frac{1}{Y_c} + \frac{1}{Y_{\text{EG}}} + \frac{m}{\mu}$$

~~$$\frac{1}{Y_o} = \frac{1}{Y_o^{\text{beép}}} + \frac{1}{Y_{\text{OG}}^{\text{max}}} + \frac{m_o}{\mu}$$~~

~~$$\frac{1}{Y_N} = \frac{1}{Y_N^{\text{beép}}} + \left(\frac{m_N}{\mu}\right)$$~~

$$\frac{1}{Y_P} = \frac{1}{Y_P^{\text{beép}}}$$

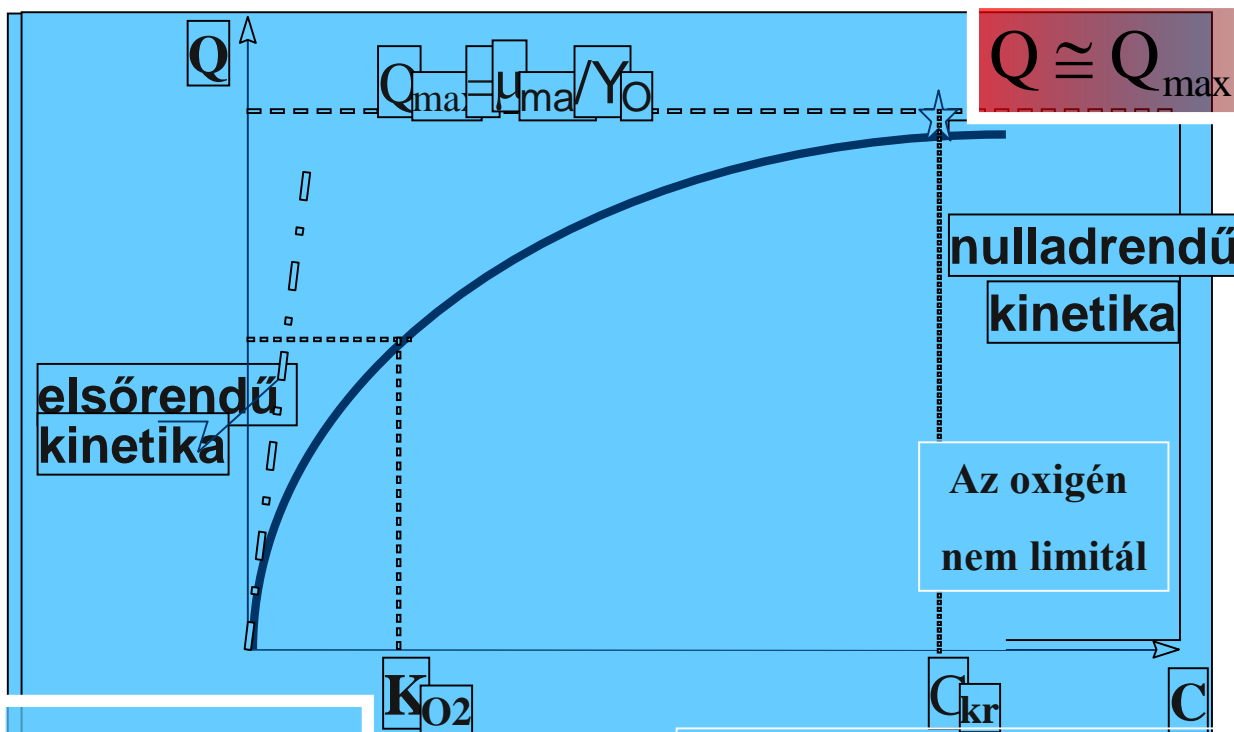


Az oxigén szerepe , légzés, levegőztetés

Az oxigén is lehet limitáló szubsztrát

A mikrobák oxigénigényét két módon lehet megadni:

1. légzési sebesség = $\frac{dc}{dt}$ [mmol O₂/ dm³.h],
[kg O₂/ m³ .h]



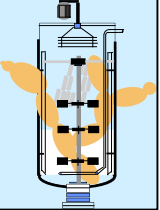
$Q = \frac{1}{x} \frac{dc}{dt}$ [h⁻¹]

$Q \approx Q_{max} \frac{c}{K_{O_2}}$

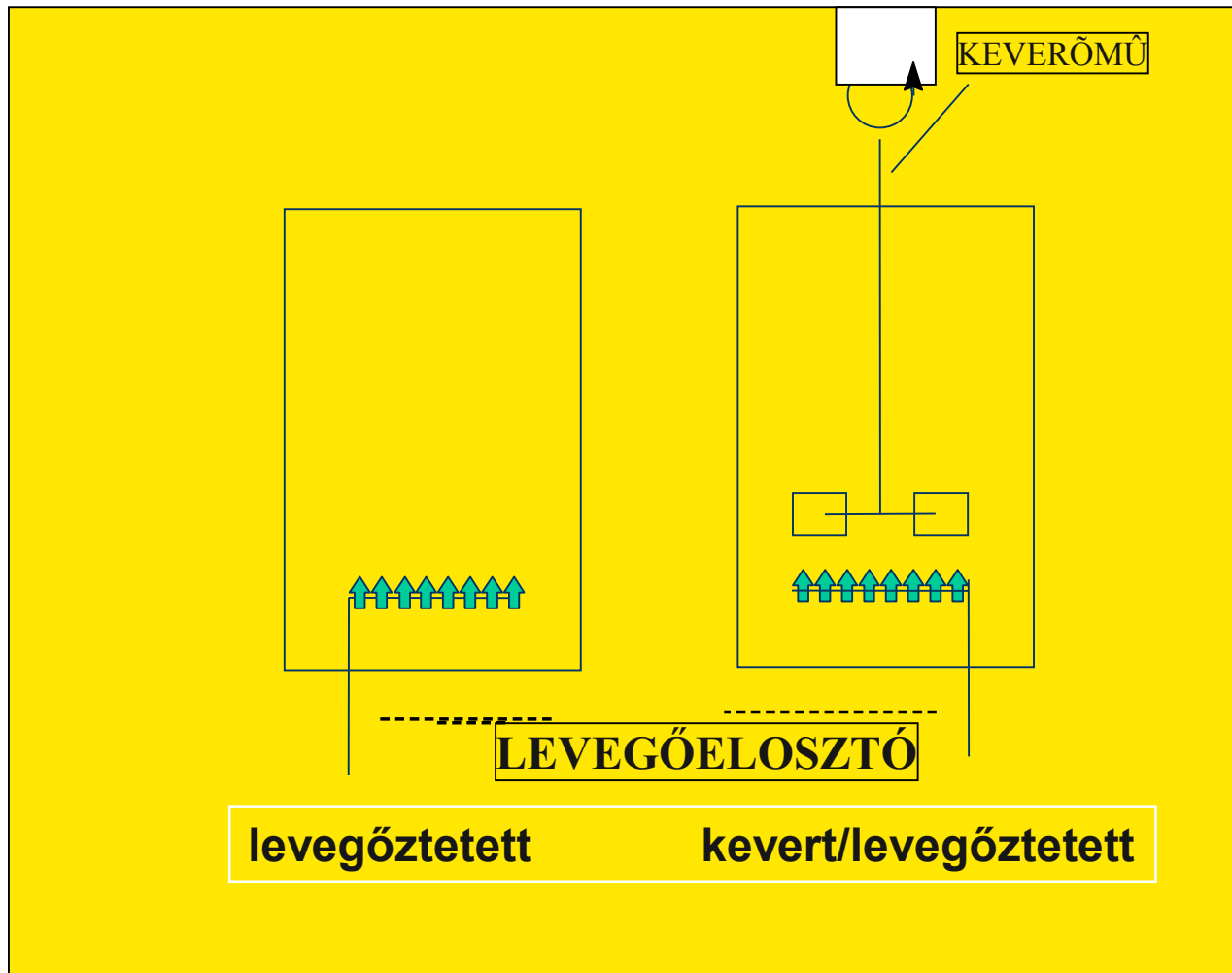
KRITIKUS OXIGÉN KONCENTRÁCIÓ

0,1-1 mg/dm³

Az oxigén nem limitál



A levegőztetés technikai megvalósítása



Oxigén átadás buborékból

1. A gázbuborék főtömegéből diffúzió a gáz/folyadék határfelületre. $1/k_g$ ellenállás k_g "vezetőképesség,,

(anyagátadási tényező)

2. diffúzió a δ_1 vastagságú – a gázbuborékot burkoló – stagnáló folyadékfilmen át. Ellenállása $1/k_1$, vezetőképessége

k_1 anyagátadási együttható.

3. Folyadék főtömege szintén ellenállást képvisel.

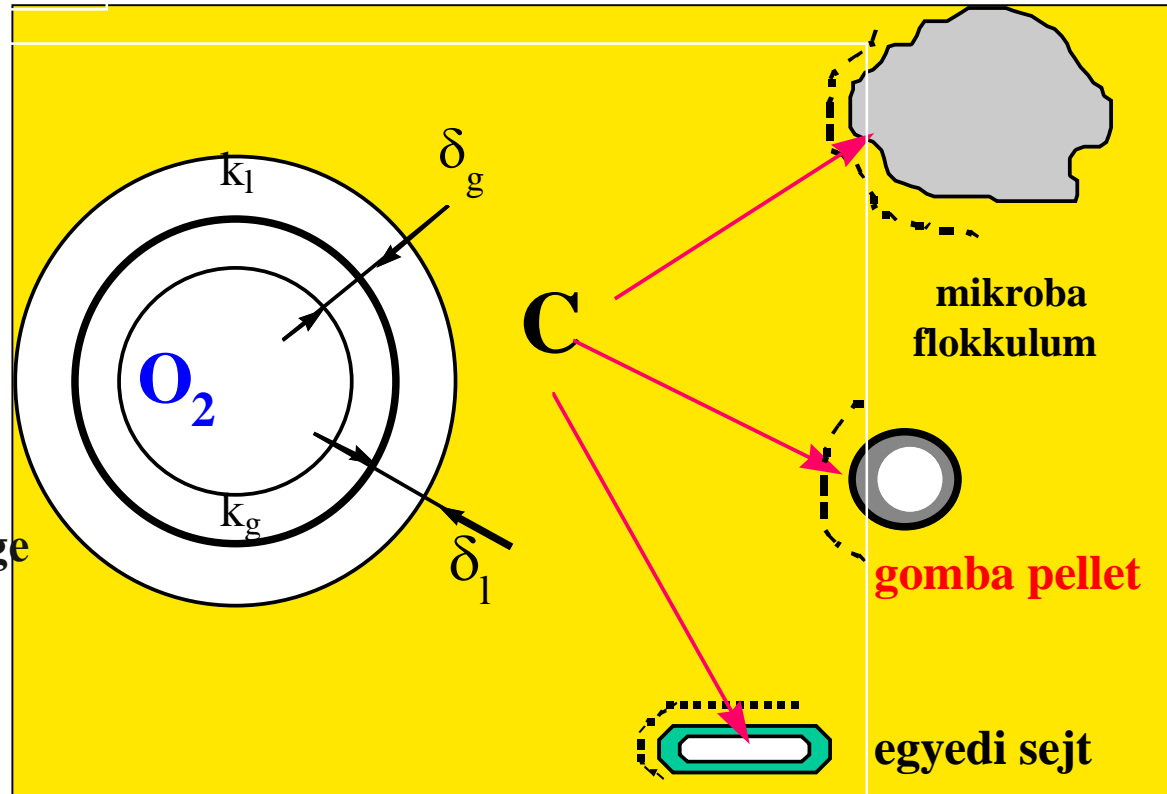
Konvekció, de...

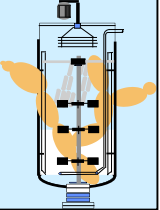
4. Mikrobákat körülvevő folyadékfilm.

Oxigén felvétel mechanizmusa, egy folyadék filmen keresztül történő diffúzióval kezdődik, majd

5. folytatódik a mikroba vagy mikrobatömeg (flokulum) vagy mikroba telep (pellet) belsejébe történő diffúzióval oxigén transzporttal.

6. Ellenállásként tekinthetjük az oxigén hasznosulás "reakció ellenállását" is: a mikroba légzése is időben bizonyos sebességgel jellemezhető folyamat.





$$\frac{dC}{dt} = K_L a (C^* - C)$$

K_L - az eredő folyadékoldali tömegátadási tényező [$\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$]

a - térfogategységre jutó anyagátadási felület [$\text{cm}^2 \cdot \text{cm}^{-3} = \text{cm}^{-1}$]

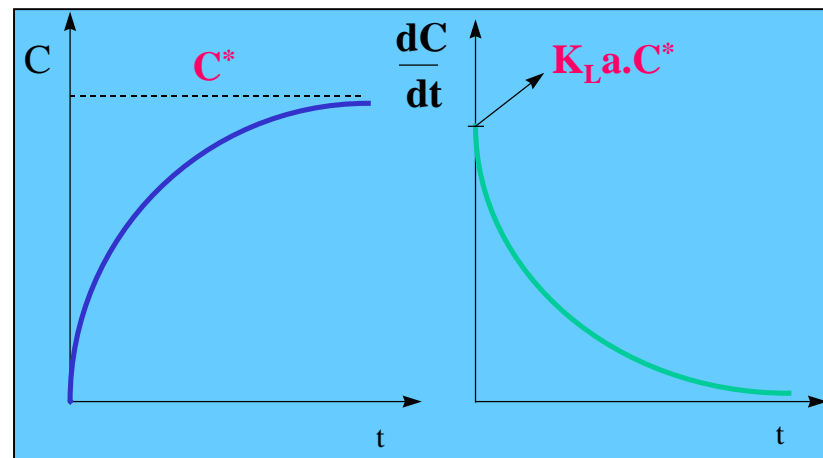
$K_L a$ - eredő folyadékoldali (térfogati)oxigénabszorpciós együttható [s^{-1}]
(h^{-1}).

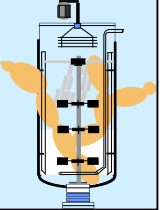
C^* - telítési oxigén koncentráció (mg/dm^3)

C - az aktuális oldott oxigén koncentráció (mg/dm^3)

$$\int_0^C \frac{dC}{C^* - C} = \int_0^C -d \ln(C^* - C) = \int_0^t K_L a \cdot dt$$

$$C = C^* \left(1 - e^{-K_L a \cdot t} \right)$$





OLDÓDÁSI SEBESSÉG

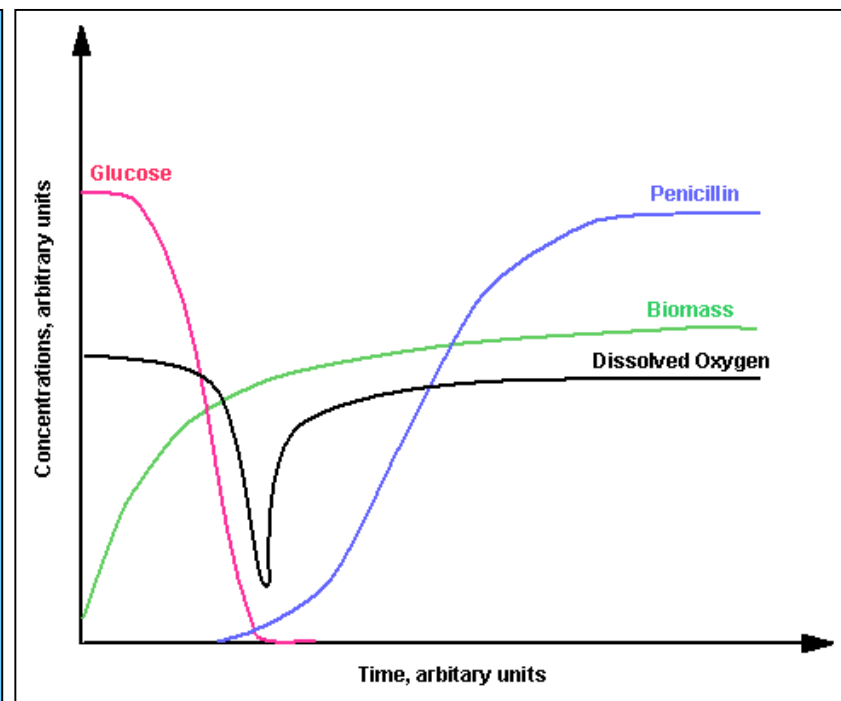
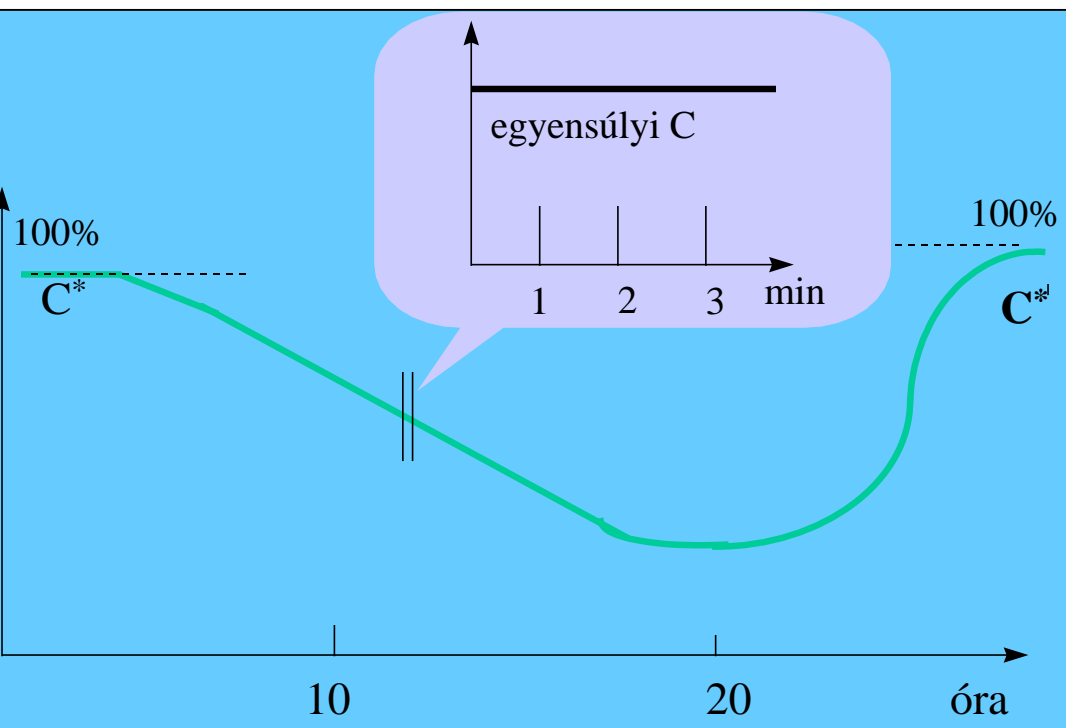
FOGYASZTÁSI SEBESSÉG

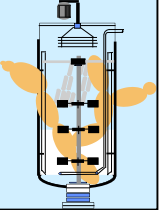
BIM2

2002

$$\frac{dC}{dt} = K_L a (C^* - C) - xQ$$

mindíg $\frac{dC}{dt} = 0$ és $K_L a (C^* - C) = xQ$





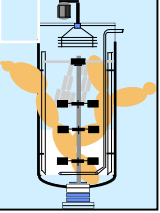
$$\frac{dC}{dt} = K_L a (C^* - C) - xQ$$

Mitől függ és hogyan a telítési oxigén koncentráció, C^* ?

Mitől függ és hogyan a K_L ?

Mitől függ és hogyan az a ?

Mitől függ és hogyan a $K_L a$?



A telítési oxigén koncentráció függése a tenyésztési körülményektől
1. PARCIÁLIS NYOMÁS - Henry törvény :

$$C^* = \frac{1}{H} p_{O_2}$$

2. HŐMÉRSÉKLET : Cl-Cl $\frac{d \ln H}{d\left(\frac{1}{T}\right)} = \frac{\Delta G}{R}$

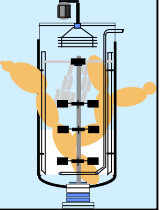
Cl-Cl egyenlet közelítő megoldása

$$C^* \approx \frac{A}{B + t}$$

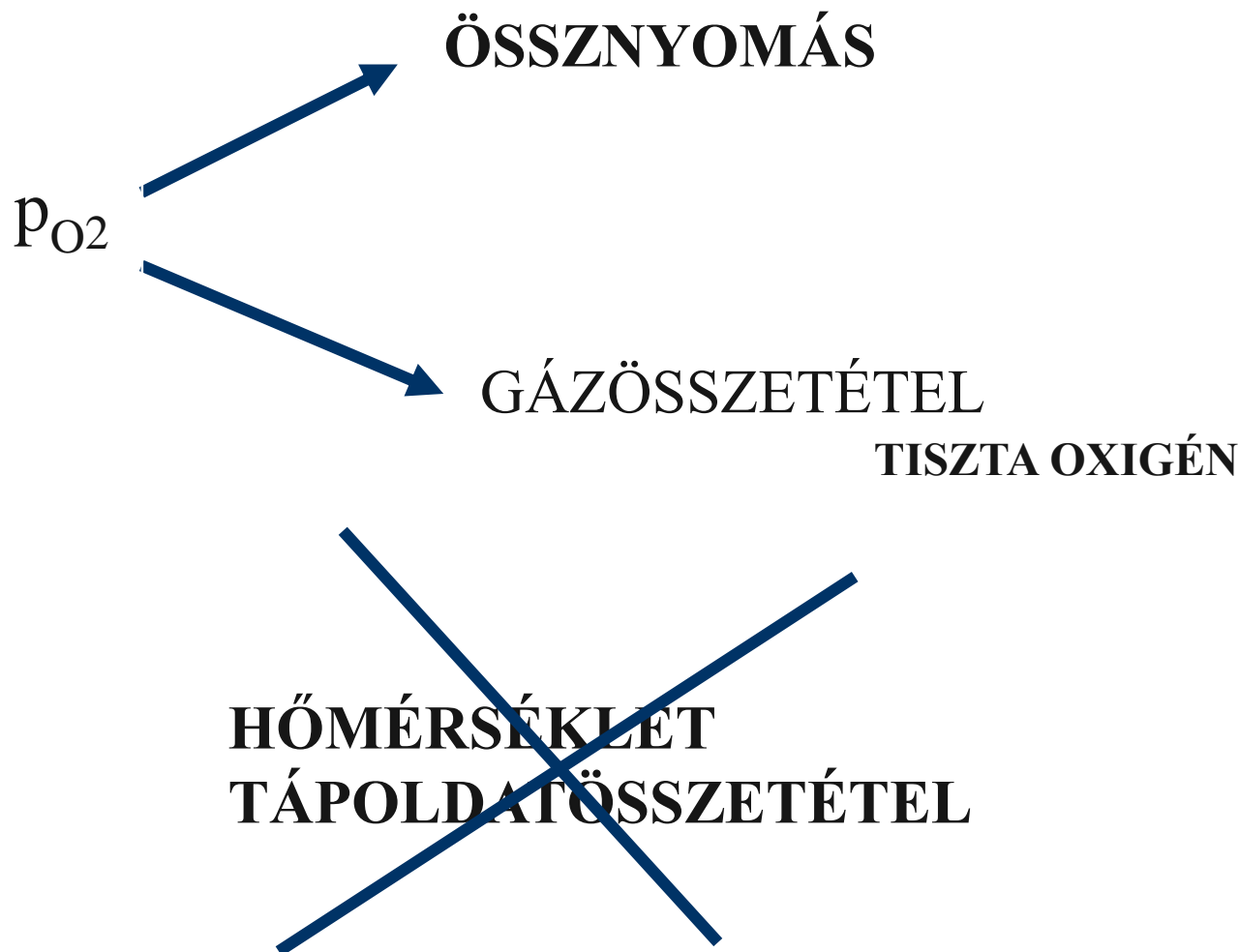
3. TÁPOLDAT ÖSSZETÉTELÉTŐL VALÓ FÜGGÉS

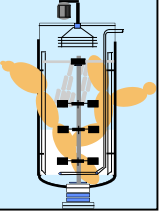
$$\lg \frac{C_0^*}{C^*} = \sum_i H_i I_i \quad I_i = 0,5 c_i z_i^2$$

$$\lg \frac{C_o^*}{C_{szerv}^*} = k C_{szerv}$$



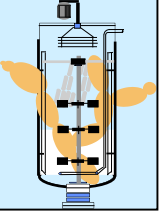
MIVEL NÖVELHETŐ C^* ÉRTÉKE?





$$\text{GÁZVISSZATARTÁS} = \text{Hold up} = \frac{\text{GÁZTÉRFOGAT}}{\text{ÖSSZTÉRFOGAT}}$$

$$a = H_0 \frac{6}{d_b}$$



A keverés szerepe, funkciói:
-energiabevitel a folyadékba

MOZGATÁS
HŐ

P/V \nearrow $K_L a$

-a levegőztető gáz diszpergálása a folyadékban

BUBORÉKKÉPZÉS, ANYAGÁTADÁS

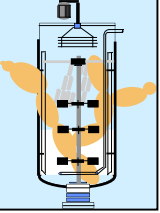
-a gáz- és folyadékfázis elválasztása

FORDÍTOTT A.ÁTADÁS CO_2

-a fermentlé oldott és nem oldott komponenseinek jó elkeverése

ÁLTALÁNOS KEVEREDÉSI FUNKCIÓ

szubsztrátok, termékek...

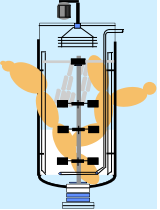


állandó geometriájú bioreaktorra

$$P = A' D_i^5 N^3 \rho \text{Re}^m \text{Fr}^n$$

teljesítményszám (Ne=Newton-szám vagy Eu=Euler-szám) :

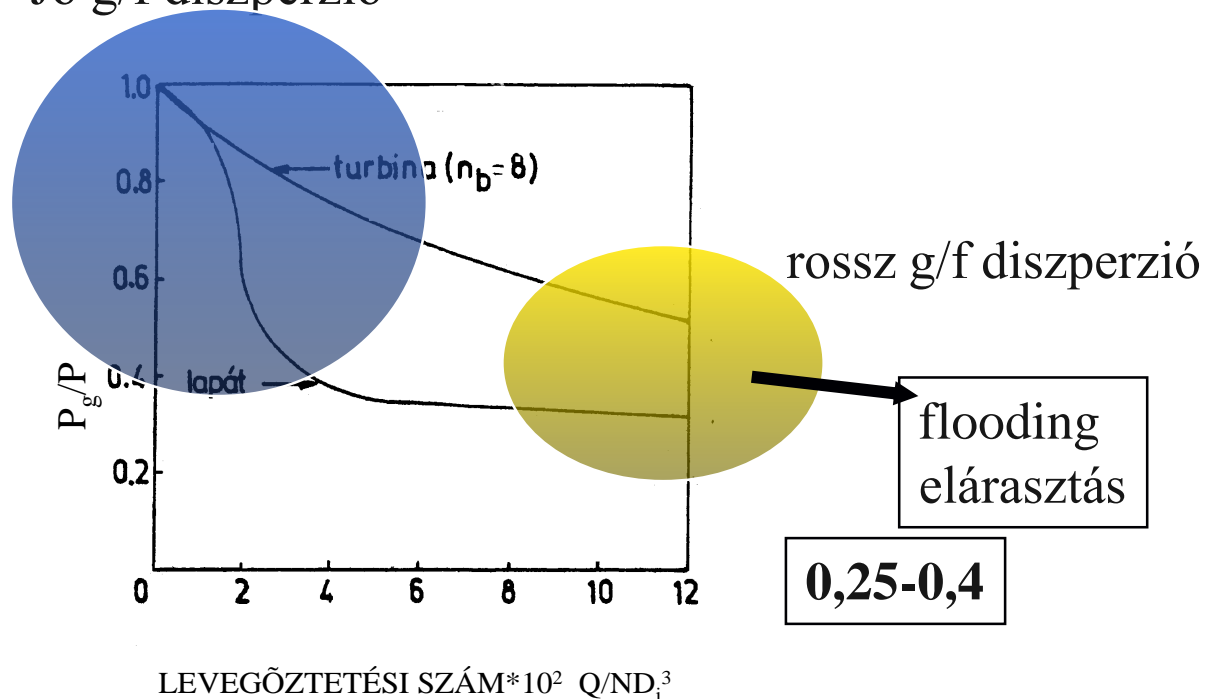
$$N_P = \frac{P}{D_i^5 N^3 \rho} = A' \text{Re}^m \text{Fr}^n$$



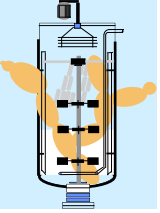
LEVEGŐZTETÉSSEL P csökken

$$Na = \frac{\text{látszólagos felületi (lineáris) légsebesség}}{\text{keverő kerületi sebessége}} = \frac{\frac{F m^3 / s}{\frac{D_i^2 \pi}{4} m^2}}{ND_i \pi m / s} = \frac{F}{ND_i^3}$$

Jó g/f diszperzió



$$\frac{P_{0g}}{P} = f(Na)$$



$$K_L a \propto \left(\frac{P_g}{V} \right)^{0,4} v_s^{0,4} N^{0,5}$$

labor fermentorokra

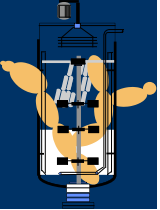
$$K_L a \propto \left(\frac{P_g}{V} \right)^\alpha v_s^\beta N^{0,5}$$

általánosan

α
0,3 — 0,95

β
0,50 — 67

mérettől függő állandók,



Harrison ipari péklesztő fermentáció:
(nagy mennyiség->átlag, melasz)

**Harrison,
Minkevich
Eroshin
Herbert**

**$0,585 C_{12}H_{22}O_{11} + 3,15 O_2 + 0,61 NH_3 +$
+ minor Tt. komponensek →**

100 g élesztő szárazanyag

44,7 g C

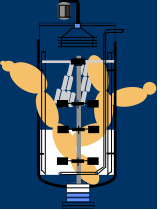
6,16 g H

31,2 g O

8,54 g N

0,54 g S

1,09 g P



Herbert:

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:



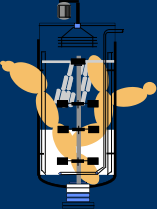
C-mol formula (Herbert)



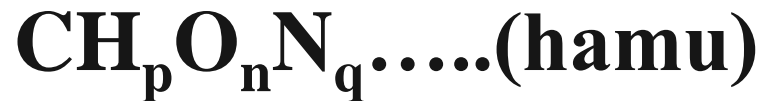
$M_w=?$

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

$\alpha_2 = \sim 50\%$

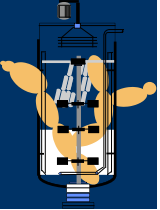
**ELŐNYÖK:**

- 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 (~5%)

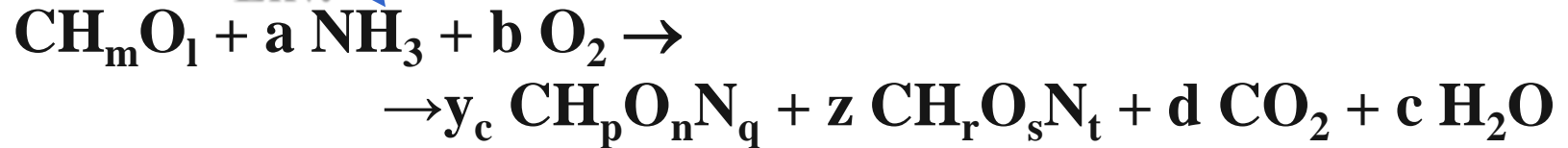


Általános szöhiometriai leírás

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

v. ammónia

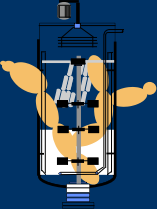
Ekv.



14 paraméter

8 Ismert

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



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

H-mérleg: $m + 3a = y_c p + zr + 2c$

O-mérleg: $l + 2b = y_c n + zs + c + 2d$

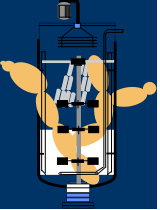
N-mérleg: $a = y_c q + zt$

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

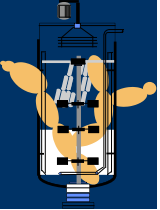
$\text{CH}_p\text{O}_n\text{N}_q$

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

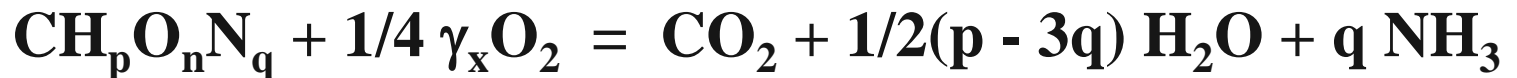
A termék elektron-egyenértéke

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

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

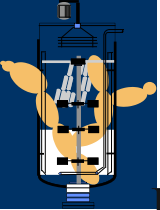


Szubsztrátra az égetési egyenlet:

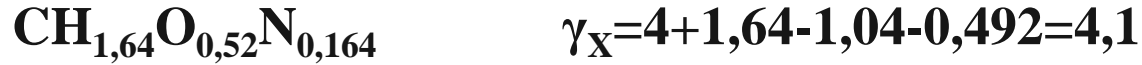


Tehát az elektron egyenérték (pl.: γ_x):

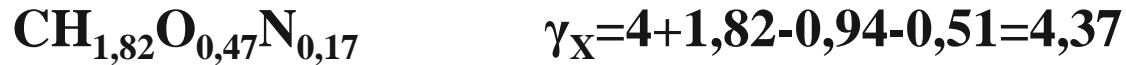
egy C-mólnyi (szénforrás...) elégetéséhez szükséges
oxigén mólok négyszerese



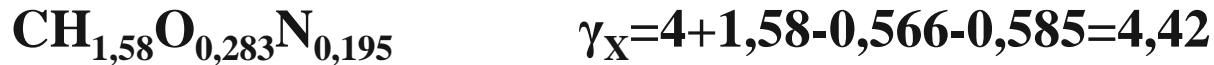
Harrison élesztője:



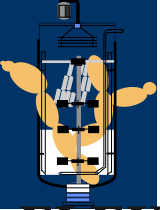
Candida utilis



„Átlag” baci



γ_X értéke jó közelítéssel *gyakorlatilag* állandó,
mikrobától és tenyésztési körülményektől függetlenül $4,2 \pm 2$
%



ELEKTRON

MÉRLEG EGYENLET: $\gamma_s + b(-4) = y_c \gamma_x + z\gamma_p + 4b; /\gamma_s$

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

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

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

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

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

$$\gamma_s$$

$= \xi$ -ed része a termék(ek)-re

tevődik át a fermentáció során.

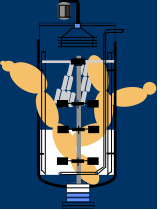
14 paraméter

8 ismert

4+1 egyenlet

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

Energiát képviselik,
S->Term.oxid-

HŐMÉRLEG

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

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

(ld. Köv. tábl.)

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

Sejt égéshő

HŐMÉRLEG ÉGYENLET

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

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

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

termék égéshő

Szubsztrát égéshő

=entalpia mérleg

Aerob Metabolikus hőtermelés

Anaerob: $Y_H = Y_{\text{kcal}} = \frac{\Delta x}{-\Delta H_c \Delta x + \Delta H_c \Delta S} = \frac{\Delta x}{\Delta O}$

Kísérletes bizonyíték: légzés ~ hőterm.

HŐTERMELÉS

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

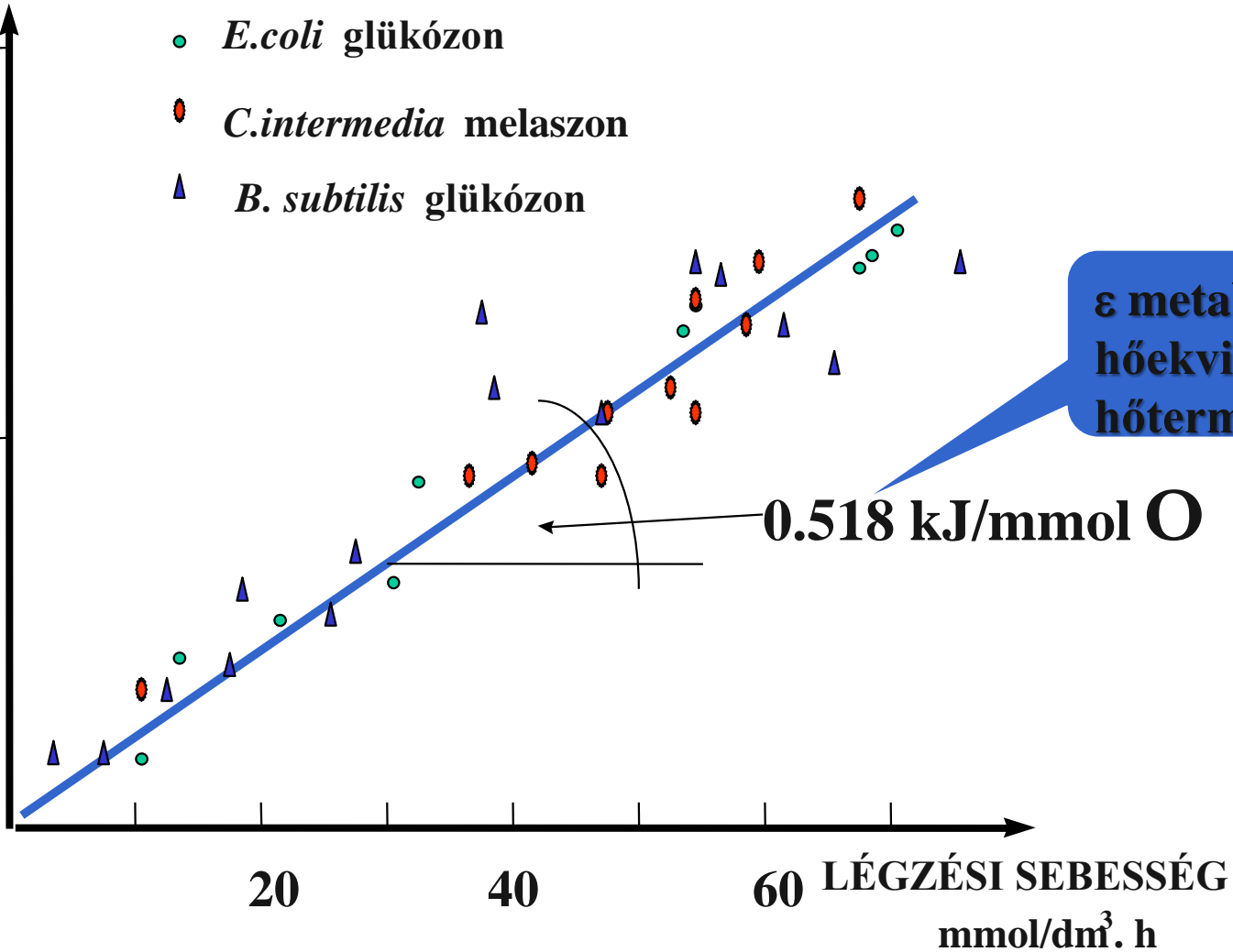
50

● *E.coli* glükózon

● *C.intermedia* melaszon

▲ *B.subtilis* glükózon

25

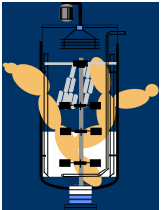


ϵ metabolikus
hőekvivalens=
hőtermelés

0.518 kJ/mmol O

LÉGZÉSI SEBESSÉG

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



HOZAMOK



SEJTHOZAM

C-mol hozam

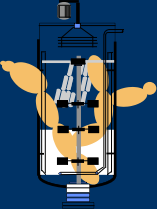
$$y_c = \frac{\text{g - atom képződött sejt szén}}{\text{g - atom fogyott szubsztrát szén}}$$

$$Y_{X/S} = \frac{\text{g sejt}}{\text{g szubsztrát}} = \frac{y_c (12 + p + 16n + 14q)}{(1 - R)} \frac{1}{(12 + m + 161)}$$

Vagy egyszerűbben a C tartalom segítségével:

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

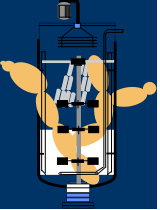
Mw_s



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

Szénmolra:

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

Grammra:

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

v.

$$Y_O = \frac{y_c 12}{\alpha_2} \frac{1}{32b} \text{ g/g } O_x$$

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

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

Elektron egyenértékű

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

Ha nincs termék képzés v. <5%: ~termék, elhanyagolható

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

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

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

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

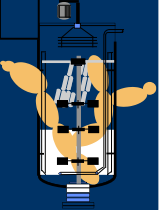
Mikrobára
vonatkozó
entalpiahozam

$\eta < 0,7$ általában

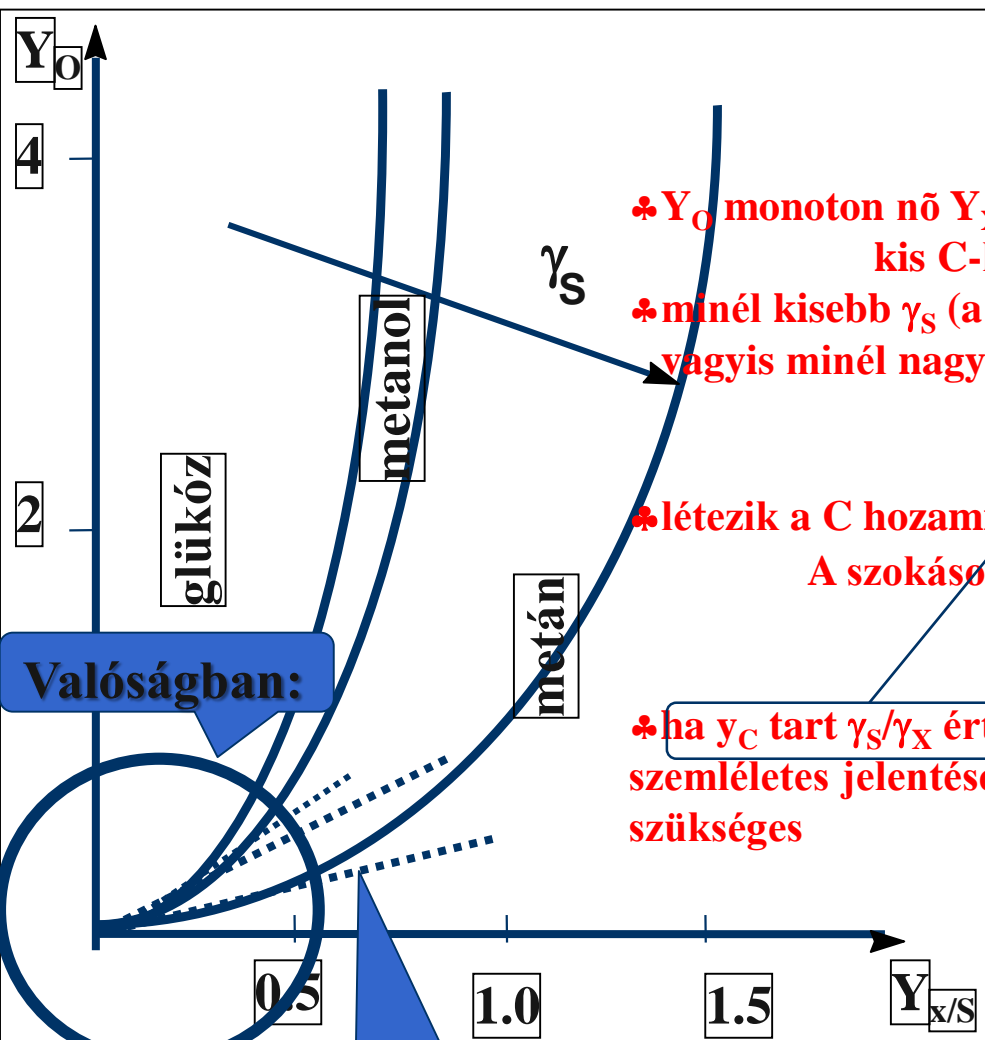
$$0,777 \cdot \frac{0,7}{0,3} = 1,8$$

Ennél nem valószínű nagyobb
oxigén hozam!!!

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



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



- ♣ 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.