

## Enzimkinetika

Az enzim reakció sebességének leírása, jellemző paraméterek azonosítása. Ha:



A sztöchiometriához mindegyiket mól-ban vagy grammal kellene kifejezni. De: az enzimpredarátum sohasem tiszta.

Ezért az enzimek mennyiségét a *hatásuk* alapján adjuk meg:



---

---

---

---

---

---

---

---

## Enzimkinetika

Egy *egység (Unit)* az az enzim mennyiség, amely 1  $\mu\text{mol}$  szubsztrátot alakít át vagy 1  $\mu\text{mol}$  terméket képez 1 perc alatt *adott reakció körülmények között*.

SI rendszerben: 1 *Katal*: 1 mol szubsztrátot alakít át 1 s alatt.

Ez hatalmas egység, praktikusabb a nanoKatal =  $10^{-9}$  Kat

$$1 \text{ U} = 16,67 \text{ nanoKatal}$$

Fajlagos aktivitás: U/mg, U/ml



---

---

---

---

---

---

---

---

## Enzimkinetika

Kérem, hogy jegyezzék fel azoknak a diáknak a sorszámát, amit már tanultatok máshol! (Pl. fizikából, reakciókinetikaként.) Kíváncsi vagyok a határra, amitől kezdve újat mondok.

Később Slidóval elkérem a számokat.



---

---

---

---

---

---

---

---

### Michaelis-Menten kinetika


$$E + S \xrightleftharpoons[k_{-1}]{k_1} ES \xrightleftharpoons[k_{-2}]{k_2} E + P$$

Kiindulási feltételezések:

- $k_{-2} = 0$  (a második lépés irreverzibilis)
- az első lépés gyorsan egyensúlyra jut = **RAPID EKUILIBRIUM:**  $k_1SE = k_{-1}(ES)$

Egyensúlyi állandója:  $K_s = \frac{k_{-1}}{k_1} = \frac{S \cdot E}{(ES)}$

➤ az ES komplex stabil, az EP komplex elhanyagolható



4

---

---

---

---

---

---

---

---


### Michaelis-Menten kinetika

$$E + S \xrightleftharpoons[k_{-1}]{k_1} ES \xrightarrow{k_2} E + P$$

- egy aktív centrum, egy szubsztrát
- aktivitás helyett koncentráció használható
- $(S) \gg (E_0)$  vagyis  $E_0 / S \ll 1$

a „minket érdeklő” reakciósebesség:  $V = \frac{dP}{dt} = k_2(ES)$

anyagmérleg az enzimre:  $E_0 = E + (ES)$



5

---

---

---

---

---

---

---

---

### Michaelis-Menten kinetika

Osszuk el a két egyenletet:

$$\frac{V}{E_0} = \frac{k_2(ES)}{E + (ES)}$$


Helyettesítsük be:  $K_s = \frac{k_{-1}}{k_1} = \frac{S \cdot E}{(ES)}$

$$\frac{V}{E_0} = \frac{k_2 \frac{S \cdot E}{K_s}}{E + \frac{S \cdot E}{K_s}}$$

Rendezzük át:

$$\frac{V}{k_2 E_0} = \frac{\frac{S}{K_s}}{1 + \frac{S}{K_s}} = \frac{S}{K_s + S}$$

$V_{max} = k_2 E_0$  mert  $V = \frac{dP}{dt} = k_2(ES)$  volt



6

---

---

---

---

---

---

---

---

### Michaelis-Menten kinetika

Ebből a sebességi egyenlet:

$$V = V_{\max} \frac{S}{K_s + S} \quad \text{avagy} \quad \frac{V}{V_{\max}} = \frac{\frac{S}{K_s}}{1 + \frac{S}{K_s}}$$



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

7

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### M és M



**Maud Menten**  
1879-1960

**Leonor Michaelis**  
1875-1949

Michaelis, L., Menten, M. (1913) Die kinetik der invertinwirkung, *Biochemische Zeitung* 49, 333-369



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

8

---

---

---

---

---

---

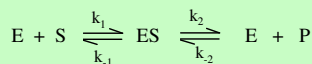
---

---

---

---

### Briggs-Haldane kinetika



Ugyanazok a difegyenletek, de a feltételezés: (kvázi) állandó-  
 sult állapot = steady state ↓

$$\frac{dS}{dt} = -k_1 ES + k_{-1}(ES)$$

$$\frac{d(ES)}{dt} = k_1 ES - k_{-1}(ES) - k_2(ES)$$

$$\frac{dP}{dt} = k_2(ES)$$

$$d(ES)/dt = 0$$

(S) >> (E<sub>0</sub>) vagyis E<sub>0</sub>/S << 1  
 k<sub>1</sub>ES > k<sub>-1</sub>(ES) ill. k<sub>1</sub>ES > k<sub>2</sub>(ES)



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

9

---

---

---

---

---

---

---

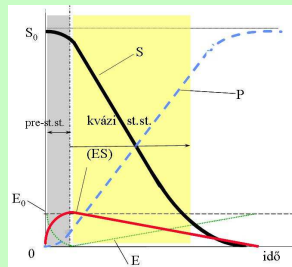
---

---

---

### Briggs-Haldane kinetika

Egy rövid átmeneti szakasz (pre-steady state) után csak nagyon lassú a változás (kvázi-steady state).



Briggs, G. E., and Haldane, J. B. (1925) A Note on the Kinetics of Enzyme Action, *Biochem J* 19, 338-339.



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

10

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Briggs-Haldane kinetika

$$\frac{d(ES)}{dt} = k_1 \cdot E \cdot S - k_{-1}(ES) - k_2(ES) = 0$$

$$k_1 \cdot E \cdot S = (k_{-1} + k_2)(ES)$$

$$(ES) = \frac{k_1 \cdot E \cdot S}{(k_{-1} + k_2)}$$

$$E + (ES) = E_0$$

$$V = \frac{k_2 E_0 S}{K_m + S} = V_{max} \frac{S}{K_m + S}$$

$$K_m = (k_{-1} + k_2) / k_1$$

Michaelis állandó



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

11

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Diszkusszió

Michaelis-Menten

$$V = V_{max} \frac{S}{K_s + S}$$

$$K_s = \frac{k_{-1}}{k_1}$$

Briggs-Haldane

$$V = V_{max} \frac{S}{K_m + S}$$

$$K_m = \frac{k_{-1} + k_2}{k_1}$$

$$K_m = K_s + \frac{k_2}{k_1}$$

ha  $(k_1) \gg (k_2)$  akkor a két konstans azonos!



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

12

---

---

---

---

---

---

---

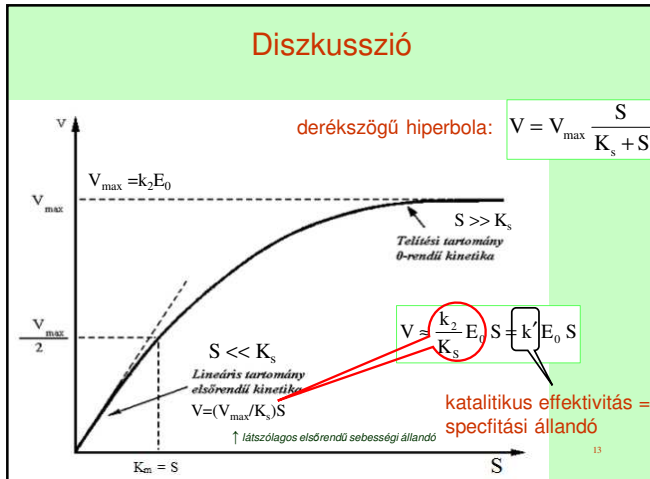
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

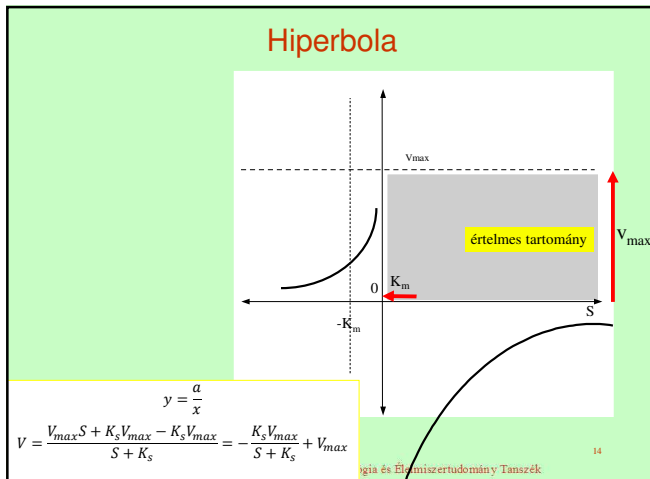
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

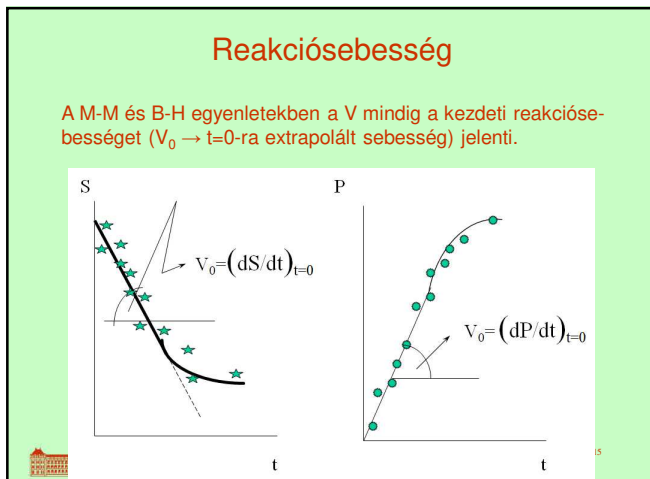
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Paraméterbecslés 1

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{V_{max}S}{K_m + S} \xrightarrow{\text{integrálás}} V_{max}t = S_0 - S + K_m \ln \frac{S_0}{S}$$

$$\frac{S_0 - S}{\ln \frac{S_0}{S}} = V_{max} \frac{t}{\ln \frac{S_0}{S}} - K_m$$

$$\frac{2,3}{t} \lg \frac{S_0}{S} = -\frac{1}{K_m} \frac{S_0 - S}{t} + \frac{V_{max}}{K_m}$$




---

---

---

---

---

---

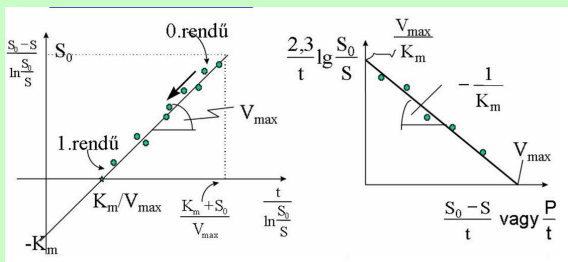
---

---

---

---

### Paraméterbecslés 1



Foster-Niemann módszer




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

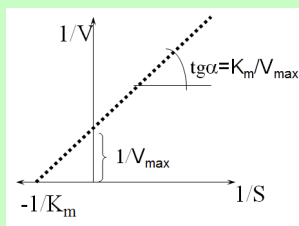
### Paraméterbecslés 2

Linearizált ábrázolást használunk, mert:

- Hiperbolikus regressziót számolni gép nélkül munkáigényes
- Az enziminhíciónál +információt ad.

1. Lineweaver-Burk linearizálás  
 $1/v - 1/S$

$$\frac{1}{V} = \frac{1}{V_{max}} + \frac{K_m}{V_{max}} \cdot \frac{1}{S}$$




---

---

---

---

---

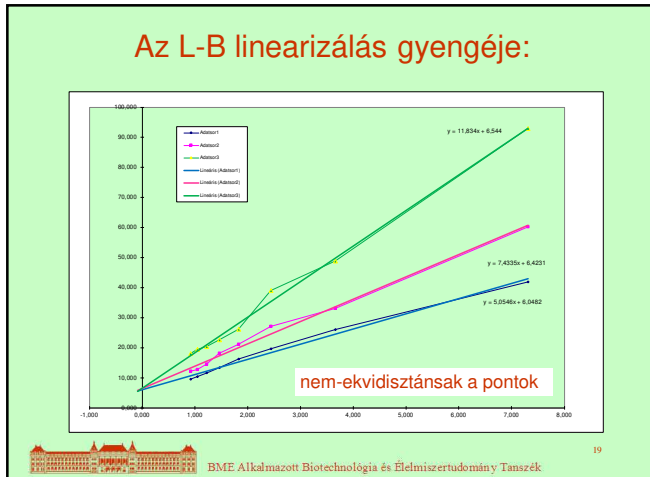
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

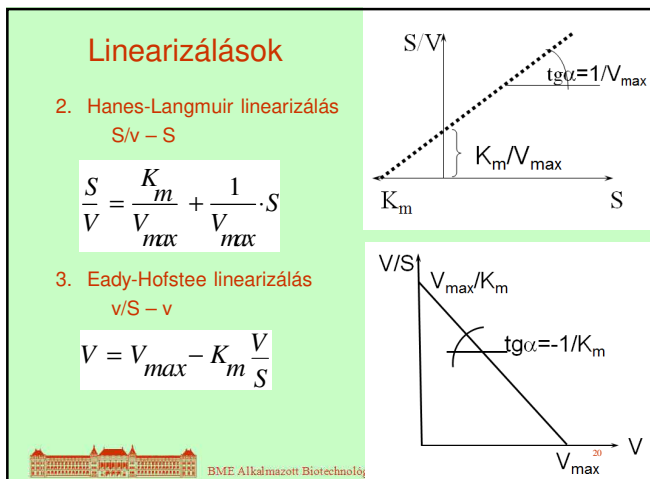
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

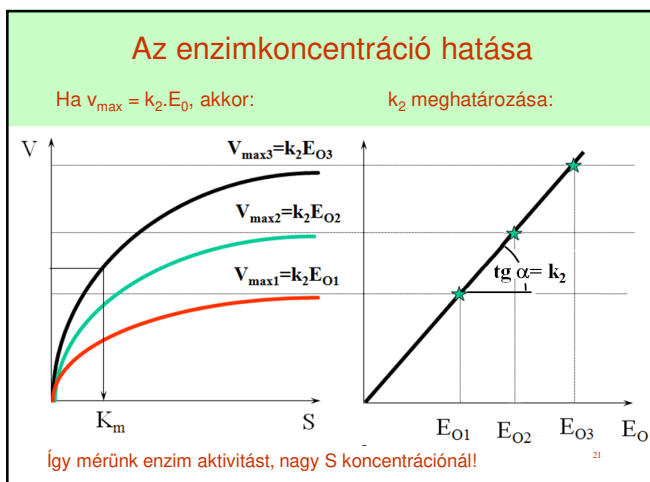
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**slido**



Kérem, írjátok be azon diák sorszámaikat (vesszőkkel elválasztva), amiknek az anyagát más tárgyból már tanultátok!

Start presenting to display the poll results on this slide. 22

---

---

---

---

---

---

---

---

### A kinetikai paraméterek

$V_{max}$  : nem maximum, hanem limit → határsebesség

Nem enzimtulajdonság, mert függ  $E_0$ -tól:  $V_{max} = k_2 \cdot E_0 \rightarrow$   
 = **AKTIVITÁS**

A  $k_2$  enzimtulajdonság = turnover number, váltásszám [ $s^{-1}$ ] →  
 az enzim molekula átalakítási frekvenciája

Kiterjesztés minden enzimre és minden kinetikára:

$V_{max} = k_{cat} \cdot E_0$

$k_{cat}$  [ $s^{-1}$ ]: egy enzim molekula átalakítási frekvenciája S-telítés esetén: egy enzim molekula időegység alatt hány molekula szubsztrátot alakít át.

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék 23

---

---

---

---

---

---

---

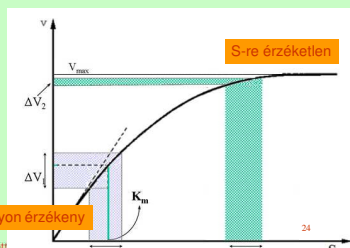
---

### A kinetikai paraméterek: $K_S$ , $K_M$

- az enzim affinitása a szubsztráthoz
- az élő sejtben közelítőleg ennyi az S koncentráció, mert így önszabályozó, és van tartalék kapacitás is.
- Változott a  $K_S \rightarrow$  Inhibitor? Aktivátor?
- Enzimanalítika:

Ha aktivitást mérek:  
 $S \gg K_S \quad v = v_{max}$

ha szubsztrátkoncentrációt mérek:  
 $S \approx K_S$  lineáris tartomány



BME Alkalmazott 24

---

---

---

---

---

---

---

---



## A kinetikai paraméterek

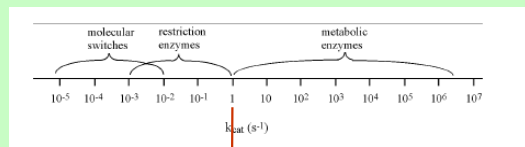
$k_1$   $10^7$ - $10^{10}$   $\text{dm}^3\text{mol}^{-1}\text{min}^{-1}$  [max. érték ( $10^{11}$ ) a kis molekulák diffúziósebessége]  
 $k_{-1}$   $10^2$ - $10^6$   $\text{min}^{-1}$   
 $k_2$   $50$ - $10^7$   $\text{min}^{-1}$   
 $K_m$   $10^{-6}$  -  $10^{-2}$   $\text{mol}/\text{dm}^3$

TABLE 13-1. THE VALUES OF  $K_m$ ,  $k_{cat}$ , AND  $k_{cat}/K_m$  FOR SOME ENZYMES AND SUBSTRATES

Enzyme	Substrate	$K_m$ (M)	$k_{cat}$ ( $\text{s}^{-1}$ )	$k_{cat}/K_m$ ( $\text{M}^{-1} \text{s}^{-1}$ )
Acetylcholinesterase	Acetylcholine	$9.5 \times 10^{-3}$	$1.4 \times 10^4$	$1.5 \times 10^6$
Carbonic anhydrase	$\text{CO}_2$	$1.2 \times 10^{-2}$	$1.0 \times 10^6$	$8.3 \times 10^7$
	$\text{HCO}_3^-$	$2.6 \times 10^{-2}$	$4.0 \times 10^6$	$1.5 \times 10^7$
Catalase	$\text{H}_2\text{O}_2$	$2.5 \times 10^{-2}$	$1.0 \times 10^7$	$4.0 \times 10^8$
Chymotrypsin	N-Acetyl glycine ethyl ester	$4.4 \times 10^{-1}$	$5.1 \times 10^{-2}$	$1.2 \times 10^{-1}$
	N-Acetyl valine ethyl ester	$8.8 \times 10^{-2}$	$1.7 \times 10^{-1}$	1.9
	N-Acetyl tyrosine ethyl ester	$6.6 \times 10^{-4}$	$1.9 \times 10^2$	$2.9 \times 10^5$
Fumarase	Fumarate	$5.0 \times 10^{-6}$	$8.0 \times 10^2$	$1.6 \times 10^8$
	Malate	$2.5 \times 10^{-3}$	$9.0 \times 10^2$	$3.6 \times 10^7$
Urease	Urea	$2.5 \times 10^{-2}$	$1.0 \times 10^4$	$4.0 \times 10^5$

$K_{cat}$ :  $\alpha$ -amiláz:  $500 \text{ s}^{-1}$ , glükóamiláz:  $160 \text{ s}^{-1}$ , glükóz-izomeráz:  $3 \text{ s}^{-1}$

## $k_{cat}$ értékek



$k_{cat}$  alsó határa metabolikus enzimeknél  
 Legtöbb enzim e két szélső eset között  
 Természetes enzimeknél:  $>10^5$   
 Mesterséges E-nél (DNA-zyme, abzyme):  $<10^3$

$$\frac{k_{cat}}{K_m} = 10^7 \text{ s}^{-1} \text{ M}^{-1} = \frac{10^7 \text{ s}^{-1}}{1 \text{ M}} = \frac{1 \text{ s}^{-1}}{10^{-7} \text{ M}}$$

## Fajlagos aktivitás és váltásszám

Ez a kettő hasonlít egymásra, mert:

$$\text{fajlagos aktivitás} = \frac{\text{Unit}}{\text{mg E}} = \frac{\mu\text{mól S}}{\text{min} \cdot \text{mg E}}$$

$$\text{váltásszám} = \frac{\text{db S}}{\text{sec} \cdot \text{db E}} = \frac{\mu\text{mól S}}{\text{sec} \cdot \mu\text{mól E}}$$

Ha az enzimpreparátum tiszta, nincs benne ballaszt anyag, akkor a kettő kb. egyenlő.

### Fajlagos aktivitás és váltásszám

Ha az enzim móltömege 60000 és fajlagos aktivitása 1 U/mg, mekkora a  $k_{cat}$ ?

$M_s = 60000 \text{ Da}$        $1 \text{ U/mg}$        $k_{cat} = ? \text{ s}^{-1}$

$$1 \text{ U} = \frac{1 \mu\text{mol S}}{1 \text{ min}} \quad 1 \text{ U/mg} = \frac{1 \mu\text{mol S}}{1 \text{ min} \cdot 1 \text{ mg E}}$$

mivel

$$1 \text{ mg E} = \frac{1}{60000} \text{ mmol E} = \frac{1}{60} \mu\text{mol E}$$

$$1 \text{ U/mg} = \frac{1 \mu\text{mol S}}{60 \text{ s} \cdot \frac{1}{60} \mu\text{mol E}} = \frac{1 \mu\text{mol S}}{1 \text{ s} \cdot 1 \mu\text{mol E}} = 1 \text{ s}^{-1} = k_{cat}$$




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Reverzibilis reakciók

Alap: minden enzimes reakció reverzibilis – egyensúlyra vezet. Sokszor ez az egyensúly erősen eltolódik az egyik oldalra – pl. a **biopolimerek hidrolízisének** (amilázok, proteinázok), más- hol viszont közel 50-50%-os (például a glükóz izomeráz reakció)



Mindkét kinetikai leírásban feltételeztük, hogy a  $k_{-2} = 0$ , ezért a reverzibilis reakciót két ellentétes egyirányú folyamat leírásából állítjuk össze.




---

---

---

---

---

---

---

---

---

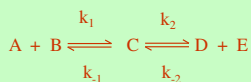
---

---

---

### Reverzibilis reakciók

Fizkém reakciókinetika egymást követő (konzekutív) egyen- súlyi reakciók leírására:



$$K_1 = \frac{k_1}{k_{-1}} \quad K_2 = \frac{k_2}{k_{-2}}$$

$$K_{\text{eq(üilbri um)}} = K_1 K_2 = \frac{k_1 k_2}{k_{-1} k_{-2}}$$




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Reverzibilis reakciók

$$E + S \xrightleftharpoons[k_{-1}]{k_1} ES \xrightleftharpoons[k_{-2}]{k_2} E + P$$


A két ellentétes irányú reakció egyensúlyi állandóit fölrva:

$$K_s = \frac{k_{+1}}{k_{-1}} = \frac{(ES)}{S \cdot E} \qquad K_p = \frac{k_{-2}}{k_{+2}} = \frac{(ES)}{P \cdot E}$$

A közös elemet kiemelve:

$$\frac{k_{+1}}{k_{-1}} S = \frac{(ES)}{E} = \frac{k_{-2}}{k_{+2}} P$$

Az eredő egyensúlyi állandót kifejezhetjük:

$$K_{eq(\text{uilibrium})} = \frac{P_{eq}}{S_{eq}} = \frac{k_{+1}k_{+2}}{k_{-1}k_{-2}}$$


31

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Reverzibilis reakciók

HALDANE leírásához:


$$E + S \xrightleftharpoons[k_{-1}]{k_1} ES \xrightleftharpoons[k_{-2}]{k_2} E + P$$

$$K_{ms} = \frac{k_2 + k_{-1}}{k_1} \qquad V_{maxs} = k_2 E_o$$

$$K_{mp} = \frac{k_2 + k_{-1}}{k_{-2}} \qquad V_{maxp} = k_{-1} E_o$$

$$K_1 = \frac{k_1}{k_{-1}} \qquad K_2 = \frac{k_2}{k_{-2}}$$

$\swarrow$   $1/K_s$    $\searrow$   $K_p$



32

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Reverzibilis reakciók

Végezzük el a következő osztásokat:

$$\frac{V_{maxs}}{K_{ms}} = \frac{k_1 k_2 E_o}{k_2 + k_{-1}} \qquad \text{és} \qquad \frac{V_{maxp}}{K_{mp}} = \frac{k_{-2} k_{-1} E_o}{k_2 + k_{-1}}$$

$$\frac{\frac{V_{maxs}}{K_{ms}}}{\frac{V_{maxp}}{K_{mp}}} = \frac{V_{maxs} K_{mp}}{V_{maxp} K_{ms}} = \frac{k_1 k_2}{k_{-1} k_{-2}} = K_{eq} \quad \text{ugyanaz!}$$

Egyensúlyi állandóra ugyanazt kaptuk - HALDANE összefüggés



33

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Reverzibilis reakciók

MI TÖRTÉNIK?  
 $S \rightarrow P$  vagy  $P \rightarrow S$  ?

MITŐL FÜGG?  $K_{eq}$ ,  $S$ ,  $P$  értéke

Itt feltételezzük az EP komplex létezését:

$$E + S \xrightleftharpoons[k_{-1}]{k_1} ES \xrightleftharpoons[k_{-2}]{k_2} EP \rightleftharpoons E + P$$

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

34

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Reverzibilis reakciók

Az eredő sebesség a két folyamat különbsége:

$$V_{netto} = V_{előre} - V_{vissza} = k_2(ES) - k_{-2}(EP)$$

Ezt az eddigiekhez hasonlóan az enzim anyagmértékével

osztjuk el:

$$E_o = E + (ES) + (EP)$$

$$\frac{v_{előre}}{E_o} = \frac{k_2(ES)}{E + (ES) + (EP)}$$

$$\frac{v_{vissza}}{E_o} = \frac{k_{-2}(EP)}{E + (ES) + (EP)}$$

ebből:

$$\Delta v = \frac{E_o k_2(ES) - E_o k_{-2}(EP)}{E + (ES) + (EP)}$$

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

35

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Reverzibilis reakciók

Behelyettesítve :

$$\Delta v = \frac{v_{maxS}(ES) - v_{maxP}(EP)}{E + (ES) + (EP)}$$

figyelembe véve, hogy:

$$(ES) = E \frac{S}{K_s} \quad (EP) = E \frac{P}{K_p}$$

$$\Delta v = \frac{v_{maxS} \frac{S}{K_s} E - v_{maxP} \frac{P}{K_p} E}{E + \frac{S}{K_s} E + \frac{P}{K_p} E}$$

azaz

$$\Delta V = \frac{V_{maxS} \left( S - \frac{P}{K_{eq}} \right)}{K_{ms} \left( 1 + \frac{P}{K_{mp}} \right) + S}$$

Reverzibilis M-M egyenlet 36

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Reverzibilis reakciók

$$\Delta v = \frac{v_{\max s} \frac{S}{K_s} - v_{\max p} \frac{P}{K_p}}{\frac{S}{K_s} + \frac{P}{K_p} + S}$$

$$\Delta v = \frac{v_{\max s} S - v_{\max p} \frac{K_s P}{K_p}}{K_s + S + \frac{K_s P}{K_p}}$$

$$\frac{v_{\max s}}{v_{\max p}} = \frac{k_2 E_0}{k_{-1} E_0}$$

$$v_{\max p} = v_{\max s} \frac{k_{-1}}{k_2}$$

$$\frac{K_s}{K_p} = \frac{(k_2 + k_{-1}) k_{-2}}{k_1 (k_2 + k_{-1})} = \frac{k_{-2}}{k_1}$$

$$\Delta v = \frac{v_{\max s} S - v_{\max p} \frac{k_{-1} k_{-2} P}{k_2 k_1}}{K_s \left(1 + \frac{P}{K_p}\right) + S}$$

$$\Delta v = \frac{v_{\max s} S - v_{\max p} \frac{P}{K_{eq}}}{K_s \left(1 + \frac{P}{K_p}\right) + S}$$

$$K_{eq} = \frac{P_{eq}}{S_{eq}} = \frac{k_1 k_2}{k_{-1} k_{-2}}$$

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

37

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Reverzibilis reakciók

$$\Delta v = \frac{v_{\max s} S - v_{\max p} \frac{P}{K_{eq}}}{K_s \left(1 + \frac{P}{K_p}\right) + S}$$

$$\frac{P}{K_{eq}} = \frac{P \cdot S_{eq}}{P_{eq}}$$

$$\Delta v = \frac{v_{\max s} \left(S - S_{eq} \frac{P}{P_{eq}}\right)}{K_s \left(1 + \frac{P}{K_p}\right) + S}$$

$$(S - S_{eq}) = P_{eq} - P = K_{eq} \cdot S_{eq} - P$$

$$P = K_{eq} \cdot S_{eq} - S + S_{eq} = S_{eq} (K_{eq} + 1) - S$$

$$\Delta v = \frac{v_{\max s} \left(S - \frac{S_{eq} (K_{eq} + 1) - S}{K_{eq}}\right)}{K_s \left(1 + \frac{P}{K_p}\right) + S}$$

$$\Delta v = \frac{v_{\max s} \left(\frac{S K_{eq} - S_{eq} K_{eq} - S_{eq} + S}{K_{eq}}\right)}{K_s \left(1 + \frac{P}{K_p}\right) + S}$$

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

38

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Reverzibilis reakciók

$$\Delta v = \frac{v_{\max s} \left(S - S_{eq} - \frac{S_{eq}}{K_{eq}} + \frac{S}{K_{eq}}\right)}{K_s \left(1 + \frac{P}{K_p}\right) + S}$$

$$\Delta v = \frac{v_{\max s} (S - S_{eq}) \left(1 + \frac{1}{K_{eq}}\right)}{K_s \left(1 + \frac{P}{K_p}\right) + S}$$

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

39

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Reverzibilis reakciók

$$\Delta v = \frac{v_{\max} s (S - S_{eq}) \left(1 + \frac{1}{K_{eq}}\right)}{K_s \left(1 + \frac{P}{K_p}\right) + S}$$

A reakció sebessége nem állandó, az egyensúlyt közelítve lassul.

A hajtóerő az a szubsztrát koncentráció eltérése  $(S - S_{eq})$  az egyensúlytól.

A nevezőben pedig az  $\left(1 + \frac{P}{K_{mp}}\right)$  tag az jelenti, hogy a termék kompetitív inhibitorként viselkedik (ld. a következő fejezetben).



---

---

---

---

---

---

---

---

slido



Melyik levezetés melyik szakasza volt a legkevésbé érthető/követhető?

Start presenting to display the poll results on this slide.

---

---

---

---

---

---

---

---