

## BIOMÉRNÖKI MŰVELETEK ÉS FOLYAMATOK

Környezetmérnök MSc hallgatók számára  
2 + 0 + 0 óra, 2 kredit  
írásbeli vizsga

Előadók: Pécs Miklós, Németh Áron



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

1

## TARTALOMJEGYZÉK

1. Enzimmérnöki ismeretek (Pécs Miklós)
  - az enzimműködés alapjai
  - enzimkinetika
  - enziminhibíció
  - rögzített enzimek
2. Fermentációs ismeretek (Németh Áron)
  - mikrobaszaporodás leírása
  - fermentációs technikák
  - levegőztetés
  - sterilizálás



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

4

## Tananyag

Felkészülés: érdemes/célszerű előadásra járni

Diasorok (folyamatosan frissül):

[http://oktatas.ch.bme.hu/oktatas/konyvek/mezgaz/BIM\\_Kornyezetmernok/](http://oktatas.ch.bme.hu/oktatas/konyvek/mezgaz/BIM_Kornyezetmernok/)

Digitális jegyzet: Biomérnöki műveletek és folyamatok

<http://oktatas.ch.bme.hu/oktatas/konyvek/mezgaz/BIM/BIM00%20Digit%c3%a1lis%20jegyzet/>

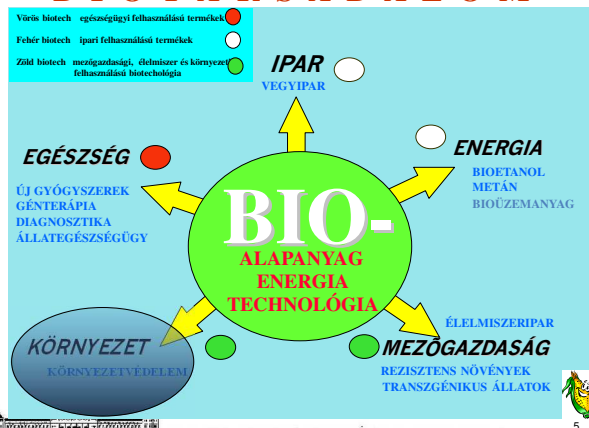
Ez képernyőn többet nyújt, mint a kinyomtatott .pdf, videók, animációk, interaktív diagramok vannak benne.



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék



## BIOTÁRSADALOM



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

5

## Nem kell az egész tankönyvet megtanulni!

**BSC-N NEM KELL TUDNI AZ ALÁBB KIJELELT ALFEJEZETEKET**

**TARTALOMJEGYZÉK**

1. BEVEZETÉS. A BIOMÉRNÖK ÉS A BIOTECHNOLÓGIA

1.1. A biotechnológia vázlatos története

1.2. A biotechnológiai eljárások jellemzői

2. ENZIMMÉRNÖKI ALAPISMERETEK

2.1. Az enzimek működésének alapjai

2.2. Az enzimek tulajdonságai, nevezéktanuk

2.3. Egyszerű enzimes reakciók kinetikai leírása

2.4. Enzimmoduláció, bevezetés, áttekintés

2.5. Többszubsztrátos reakciók

2.6. Egyéb hatások az enzimek aktivitására

2.7. Heteronén fázisú enzimes reakciók viselkedése

**a 2.52 EGYENLETTŐL KEZDVE A KINETIKA NEM KELL.**

2.8. Az enzimek alkalmazási területei és néhány enzimtechnológiai alapfogalom

2.9. Allosztérikus enzimek

2.10. Transzportfolyamatok kimerülései

Tartalomjegyzék-részletes-KörnyMSc.doc



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

3

## ENZIMEK

1833: Payen és Persoz: csírázó árpa szerepe a keményítő hidrolízisben - dextrinek, cukrok

Memoir sur la diastase, les principaux produits de ses reactions, et leurs applications aux arts industriels, *Annales de Chimie et de Physique*, 1833, 2me Serie 53, 73-92

1835: Berzelius – diasztáz hidrolízis KATALÍZIS

1853-1857: N-tartalmú szerves (szervezetlen) anyag, illetve élő szervezet (alacsonyrendű növény vagy „infusorium”) (pl. alkoholos fermentáció)

1858 Traube feltételezi, hogy a fermentációt fermentumok végzik (Pasteur hatása)

De: első vállalat (1874) Hansen's Laboratory: rennin

1878 Kühne:  $\epsilon \nu \zeta \upsilon \mu \eta$  = élesztőben

1897 Buchner: sejtmentes erjesztés, megállapítja, hogy nem kell az egész sejt, hanem erjesztő enzimek hatnak.



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

6

## A fehérjék speciális csoportjai és biológiai funkcióik

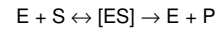
- Regulátor fehérjék
- Transzport fehérjék
- Védőfehérjék
- Toxinok
- Tartalék fehérjék
- Kontraktil fehérjék
- Szerkezeti fehérjék

**ENZIMEK → REAKCIÓ KATALÍZIS**



## Enzimes reakciók

A reakció általános leírása: kialakul egy átmeneti komplex:



**Szubsztrát (S):** a reakcióban átalakuló molekula.

**Termék (P):** a reakcióban keletkező molekula.

**Kötőhely:** az enzim felületének az a része, ahol a szubsztrát megkötődik.

**Aktív hely/aktív centrum:** az átalakításért felelős régió.

(A kettő nem feltétlenül azonos)

Az enzimmolekulán további kötőhelyek is létezhetnek (aktivátor-, inhibitor-, koszubsztrátkötő helyek).



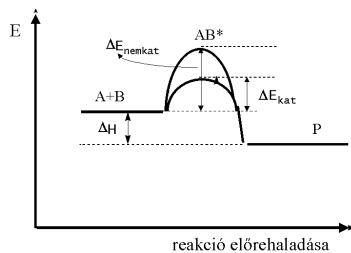
## A KATALÍZIS TERMODINAMIKÁJA

1930-as évek: Eyring :

A reakció során létrejön egy magasabb energiájú átmeneti állapot - aktiválási energia kell:

$$k_f = \frac{kT}{h} e^{-\frac{\Delta S^\ddagger}{R}} \cdot e^{-\frac{\Delta H^\ddagger}{RT}} \approx \text{konst} \cdot e^{-\frac{\Delta E^\ddagger}{RT}}$$

T - abszolút hőmérséklet (Kelvin fok)  
k - Boltzmann állandó (1,37.10<sup>-23</sup> J/°K)  
h - Planck állandó (6,62.10<sup>-34</sup> Js)



Ezt csökkenti a katalizátorok - a katalizált reakció sebessége nagyobb, de az egyensúlyt nem befolyásolja.



## Enzim-szubsztrát kötődés

Szubsztrát kötőhely: zsák, zseb - csak egy kis felület a protein molekulán!

A két molekula felülete közötti kölcsönhatások:

ionpár, hidrogén híd, van der Waals (hidrofób) = másodlagos kölcsönhatások

Az enzimkatalízis általános esetei azonosak a kémiaival:

1. sav-bázis (modern elmélete: Linus Pauling 1946)
2. kovalens katalízis (Haldane 1930)
3. fémion katalízis



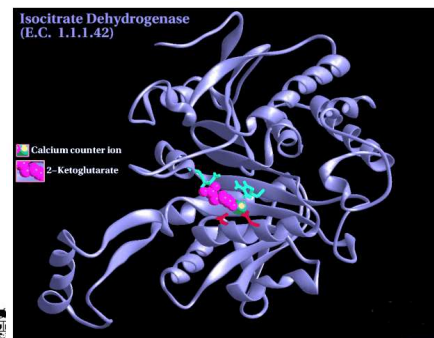
## Egyszerű és enzimes katalízis összehasonlítása

Reakció	Katalizátor	Aktiválási energia kJ/mol	k <sub>rel</sub> 25 °C
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> → H <sub>2</sub> O + 1/2O <sub>2</sub>	-	75	1
	I <sup>-1</sup>	56,5	2,1.10 <sup>3</sup>
	kataláz	26,8	3,5.10 <sup>8</sup>
Kazein + nH <sub>2</sub> O → (n+1)peptid	H <sup>+</sup>	86	1
	tripszín	50	2,1.10 <sup>6</sup>
Szacharóz+H <sub>2</sub> O → glükóz+fruktóz	H <sup>+</sup>	107	1
	invertáz	46	5,6.10 <sup>10</sup>
Linolénsav + O <sub>2</sub> → linolénsavperoxid	-	150-270	1
	Cu <sup>2+</sup>	30-50	~10 <sup>2</sup>
	lipoxigenáz	16,7	~10 <sup>7</sup>



## Aktív centrum

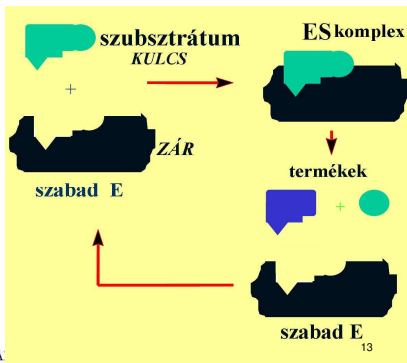
Szubsztrát kötőhely: csak egy kis felület a fehérje molekulán



## Enzim-szubsztrát kötődés: kulcs-zár modell

Hermann Emil Fischer (1852-1919, a 2. Nobel díjas)  
Az enzimek szelektivitása a felületek illeszkedésén alapul.

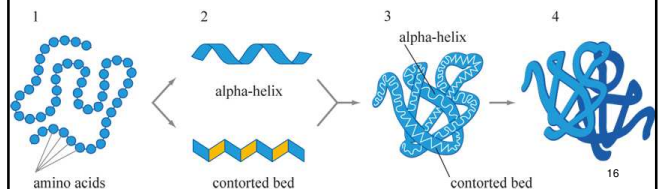
Sima enzimreakció



## Hogyan alakul ki az aktív felület?

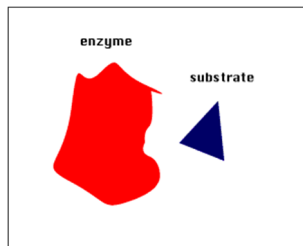
Az összecsavarodott fehérjelánc(ok) alakítják ki a térbeli (3D) szerkezetet (harmadlagos, negyedleges szerkezet). Az aminosavak oldalláncai lehetnek:

- apolárisak (alkil csoportok)
- polárisak (-OH, -SH csoport)
- ionosak (-NH<sub>2</sub>, -COOH csoportok)



## Az enzimkatalízisnél fellépő hatások

Indukált illeszkedés (Koshland, 1958): ha a szubsztrát kellő közelségben megközelíti az enzim molekulát (proximitás), akkor a fehérje szerkezete megváltozik, hozzáigazodik a szubsztráthoz („ráharap”).



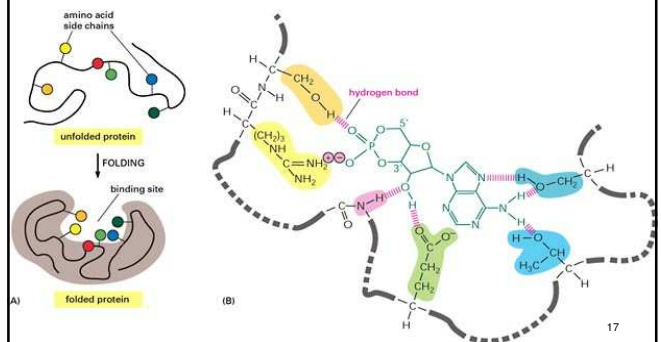
[http://www.chem.ucsb.edu/~molvisual/ABLE/induced\\_fit/index.html](http://www.chem.ucsb.edu/~molvisual/ABLE/induced_fit/index.html)



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

14

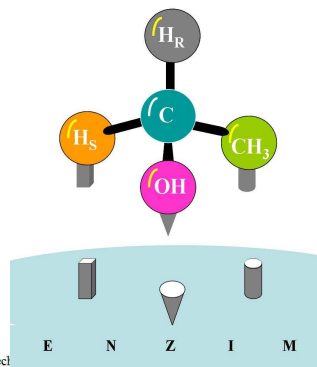
## Aktív centrum kialakulása



## Orientációs effektus

Hárompontos illeszkedés „three-point attachment”: a szubsztrát molekula több funkciócsoportja is kötést alakít ki az enzim felszínével, így pontosan pozícionálódik – nincs forgás.

Csak az egyik optikai izomer kapcsolódik – ez az enzimek sztereospecifitásának az alapja.



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

## Az enzimek tulajdonságai

Csak termodinamikailag lehetséges reakciókat gyorsítanak,  $\Delta G < 0$

Minden enzimreakció reverzibilis, egyensúlyra vezet de: a konverzió eltolható, pl. a termék elvételével

A fehérjék denaturálhatóak: t, pH, ionerősség (kisózás), oldószerek

- Specifikusak:
- szubsztrát-specifitás
  - csoport-specifitás
  - sztereo-specifitás
  - régió-specifitás
  - reakció-specifitás



BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék

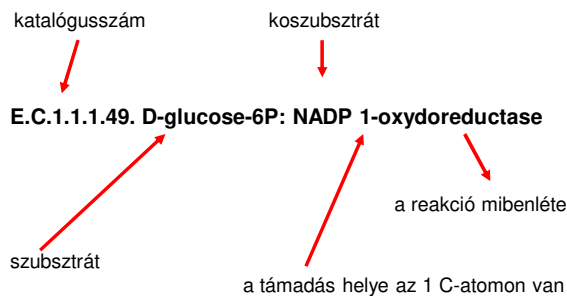
18

### Az enzimes katalízis előnyei

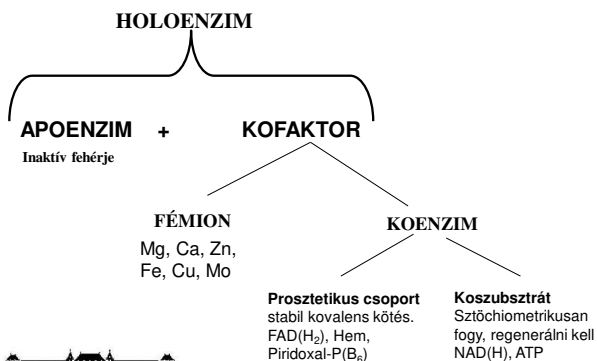
- Nagyobb reakciósebesség: akár  $10^6$ - $10^{12}$ x gyorsabb
- Enyhébb reakciókörülmények (hőmérséklet, pH)
- Nagyobb specifitás(ok), mint a kémiában
- Regulálhatóság



### Enzim nevezéktan



### További reakciópartnerek



Class	Example (reaction type)	Reaction Catalyzed
1. Oxidoreductases	Alcohol dehydrogenase (EC 1.1.1.1) (oxidation with NAD <sup>+</sup> )	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} + \text{NAD}^+ \rightarrow \text{CH}_3\text{CHO} + \text{NADH} + \text{H}^+$ Ethanol → Acetaldehyde
2. Transferases	Hexokinase (EC 2.7.1.2) (phosphorylation)	$\text{D-Glucose} + \text{ATP} \rightarrow \text{D-Glucose-6-phosphate} + \text{ADP}$
3. Hydrolases	Carboxypeptidase A (EC 3.4.17.1) (peptide bond cleavage)	$\text{C-terminal of polypeptide} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Shortened polypeptide} + \text{C-terminal residue}$
4. Lyases	Pyruvate decarboxylase (EC 4.1.1.1) (decarboxylation)	$\text{Pyruvate} \rightarrow \text{Acetaldehyde} + \text{CO}_2$
5. Isomerases	Maleate isomerase (EC 5.2.1.1) (cis-trans isomerization)	$\text{Maleate} \rightleftharpoons \text{Fumarate}$
6. Ligases	Pyruvate carboxylase (EC 6.4.1.1) (carboxylation)	$\text{Pyruvate} + \text{CO}_2 + \text{ATP} \rightarrow \text{Oxaloacetate} + \text{ADP} + \text{P}_i$

### Enzimek elnevezése

- Szubsztrát szerint:  $\text{urea} + \text{víz} \rightleftharpoons \text{CO}_2 + 2\text{NH}_3$   
→ **ureáz**      **S-név + áz**
- Szubsztrát és reakció után:  $\text{EtOH} \rightarrow \text{AcO} \rightarrow \text{AcOH}$   
→ **alkohol-dehidrogenáz**  
**(S-név)+reakciónév+ áz**
- Triviális nevek:  
pepszin, tripszin, rennin    mind fehérjebontók    **+ -in**
- IUB, IUPAC, IUBMB    1964, 1972, 1978    Enzyme Commission  
szisztematikus névadás

